

Giáo trình

Trắc địa cao cấp

MỤC LỤC

<u>Giáo trình.....</u>	<u>1</u>
<u>Trắc địa cao cấp.....</u>	<u>1</u>
<u>MỤC LỤC.....</u>	<u>2</u>
<u>1. ý nghĩa của phép chiếu mặt Ellipsoid lên mặt phẳng.....</u>	<u>87</u>

LỜI NÓI ĐẦU

Trắc địa là một ngành khoa học có lịch sử lâu đời và được xếp vào nhóm các khoa học về Trái đất. Vai trò và ý nghĩa của nó được thể hiện trước hết và chủ yếu ở nhiệm vụ nghiên cứu, xác định kích thước, hình dạng và trọng trường của Trái đất cùng sự thay đổi của chúng theo thời gian. Đây cũng chính là nội dung, chức năng cơ bản của một bộ phận quan trọng của khoa học Trắc địa được biết đến với tên gọi là Trắc địa cao cấp.

Tên gọi này dùng để chỉ cả một chuyên ngành đào tạo trong Trắc địa gồm nhiều môn học chuyên sâu. Nó cũng có thể được hiểu là một môn học cùng nhiều môn học khác trong lĩnh vực Trắc địa.

Trong khuôn khổ chương trình khung giáo dục đại học ngành kỹ thuật trắc địa - bản đồ được Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua cách đây 5 năm đã hình thành học phần Trắc địa cao cấp đại cương với 4 tín chỉ. Đề cương của học phần này đã được xây dựng tại Bộ môn Trắc địa cao cấp thuộc khoa Trắc địa của trường Đại học Mỏ - Địa chất, một trong không nhiều cơ sở đào tạo có bề dày xấp xỉ 50 năm với uy tín được thừa nhận rộng rãi trong lĩnh vực trắc địa - bản đồ ở nước ta. Đề cương đã được trình duyệt và thông qua bởi các cấp có thẩm quyền.

Để phục vụ và đáp ứng nhu cầu giảng dạy, học tập môn Trắc địa cao cấp theo Đề cương nói trên, tập thể giảng viên có thâm niên nhiều năm của Bộ môn Trắc địa cao cấp khoa Trắc địa trường Đại học Mỏ - Địa chất tiến hành biên soạn cuốn Giáo trình Trắc địa cao cấp đại cương này. Trách nhiệm chủ biên do GS. TSKH. Phạm Hoàng Lân đảm nhận. Nội dung của các chương, tiết cụ thể được phân chia biên soạn như sau:

GS.TSKH. Phạm Hoàng Lân: chương 1, chương 2, các tiết 3.1, 4.1, 5.4;

PGS. TS. Đặng Nam Chinh: các tiết 3.3, 4.2, 5.5, 5.6;

TS. Vũ Văn Trí: các tiết 3.2, 5.3;

TS. Dương Văn Phong: các tiết 4.3, 5.1, 5.2;

ThS. Nguyễn Xuân Tùng: các tiết 3.4, 3.5.

Tập thể tác giả bày tỏ sự cảm ơn chân thành đối với Bộ môn Trắc địa cao cấp đã tín nhiệm giao phó nhiệm vụ và thường xuyên quan tâm, động viên, tạo điều kiện thuận lợi cho việc biên soạn giáo trình này.

Do giáo trình được biên soạn lần đầu, lại gồm nhiều tác giả, nên không tránh khỏi những thiếu sót nhất định cả về nội dung và hình thức. Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn đồng nghiệp và bạn đọc về những ý kiến nhận xét, đóng góp cho giáo trình và sẽ nghiêm túc tiếp thu, chỉnh sửa để các lần ấn hành tiếp sau được hoàn chỉnh hơn.

Hà nội, tháng 6 năm 2011

Chương 1

MỞ ĐẦU

1.1. Nhiệm vụ và vai trò của Trắc địa cao cấp

1.1.1. Nhiệm vụ của Trắc địa cao cấp

Trắc địa cao cấp là một lĩnh vực khoa học về Trái đất, có nhiệm vụ nghiên cứu, xác định kích thước, hình dạng và trường lực hút hay trọng trường của Trái đất cùng sự thay đổi của chúng theo thời gian. Nếu như Trắc địa được xem là một ngành khoa học và được xếp vào nhóm các khoa học về Trái đất thì trước hết và chủ yếu chính là vì trong đó có hàm chứa chức năng, nhiệm vụ khái quát nêu trên.

Trái đất, như đã biết, là một vật thể vũ trụ thuộc hệ thống Mặt trời; Nó là một khối vật chất có hình thù và độ lớn nhất định, tự quay quanh trục mình (và quay quanh Mặt trời), và do vậy gây ra một trường lực hút tồn tại cả ở bên ngoài và bên trong bề mặt tự nhiên của nó. Con người với tư cách chủ thể, đại diện cao cấp nhất của sự sống và nền văn minh trên Trái đất cần phải và trên thực tế từ rất sớm đã đặt ra để tự giải đáp ngày càng cặn kẽ câu hỏi tất yếu về độ lớn, hình thù của hành tinh mình sống trên đó và bản chất, ảnh hưởng của lực hút chi phối mọi hiện tượng và quá trình tự nhiên xảy ra trong thế giới xung quanh. Từ câu hỏi tự nhiên và rất cơ bản ấy đã hình thành cả một lĩnh vực kiến thức rộng lớn và sâu sắc được gọi là Trắc địa với thành phần cốt lõi chính là Trắc địa cao cấp.

Bề mặt thực của Trái đất vốn uốn nếp, lồi lõm; Hình dạng thực của nó không thể thể hiện bằng một biểu thức toán học đơn giản. Do vậy, xác định kích thước, hình dạng và trọng trường của Trái đất là chọn ra bề mặt toán học tương đối chuẩn tắc, nhưng khá gần với hình khối của Trái đất, làm mặt tham khảo để rồi tìm cách xác định khoảng chênh không lớn giữa mặt đất thực và bề mặt đã biết này. Mặt tham khảo như thế thường được chấp nhận là mặt ellipsoid tròn xoay với độ dẹt nhỏ. Vấn đề tiếp theo là cần xác định các đặc trưng hình học tương ứng, chẳng hạn, là bán trục lớn và độ dẹt của ellipsoid đó. Khoảng chênh cần biết giữa bề mặt tự nhiên của Trái đất và ellipsoid tham khảo chỉ có thể được xác định thông qua các phép đo đạc trên bề mặt Trái đất cũng như trong không gian bên ngoài nó. (Cách giải quyết hoàn toàn tương tự cũng được áp dụng trong trường hợp nghiên cứu, xác định trọng trường Trái đất). Đó là các phép đo trắc địa truyền thống trong đó các đại lượng đo là: góc (hướng), chiều dài, độ cao; Phép đo thiên văn trong đó đại lượng đo là vị trí

tương hỗ tính theo đơn vị góc giữa phương của đường dây dọi đi qua điểm xét và phương tới của các thiên thể; Phép đo trọng lực trong đó đại lượng đo là cường độ (độ lớn) của lực hút do Trái đất gây ra; Phép quan sát vệ tinh trong đó đại lượng đo là khoảng cách và phương hướng giữa vệ tinh nhân tạo có tọa độ đã biết và điểm xét. Nhưng, các phép đo khác nhau lại chịu ảnh hưởng và có liên quan ở mức độ này hay mức độ khác với trường lực hút của Trái đất.

Như vậy, trọng trường của Trái đất không chỉ là một đối tượng nghiên cứu, xác định độc lập cùng với hình dạng Trái đất, mà còn là thành phần thiết yếu gắn kết chặt chẽ với nó trong nhiệm vụ mang tính chất khoa học của Trắc địa cao cấp.

Bề mặt tự nhiên cũng như kích thước, hình dạng của Trái đất nói chung không bất biến, mà thay đổi theo thời gian, dù rất ít và rất chậm, với chu kỳ hàng thế kỉ. Trục quay và tốc độ quay ngày đêm của Trái đất cũng như cấu trúc bên trong của nó cũng không cố định. Cùng với nhiều nguyên nhân khác, các hiện tượng như thế dẫn đến chuyển động hiện đại của vỏ Trái đất và làm cho kích thước, hình dạng và trọng trường của Trái đất, kể cả trên qui mô toàn cầu và trong phạm vi cục bộ, liên tục biến đổi. Nghiên cứu, xác định các biến đổi đó cũng được qui về nhiệm vụ có tính khoa học mà Trắc địa cao cấp đảm nhận.

Những bài toán mang tầm cỡ và ý nghĩa như trên không thể được giải quyết, nếu không có các số liệu đo đạc thực tế thu nhận được bằng các phương pháp và các thiết bị, máy móc quan trắc, đo đạc chính xác cao ngày càng hoàn chỉnh và đa dạng cùng lí thuyết và phương tiện xử lí thông tin ngày càng mạnh. Các dạng đo đạc cục bộ cỡ khu vực hay quốc gia cùng các lí thuyết có liên quan chẳng những làm nên nền tảng thiết yếu cho việc xây dựng nên công trình đồ sộ với nhiệm vụ, chức năng khoa học là Trắc địa cao cấp, mà còn hợp thành nội dung của một nhiệm vụ quan trọng khác nữa của nó, đó là nhiệm vụ khoa học – kĩ thuật. Sản phẩm của nhiệm vụ này là tập hợp các điểm trên mặt đất được liên kết thành các mạng lưới tọa độ được xác định trong một hệ thống cụ thể nào đó riêng biệt cho từng quốc gia, từng khu vực hay thống nhất toàn cầu. Chúng là cơ sở cho việc nghiên cứu, xác định bề mặt và trọng trường Trái đất trên qui mô cục bộ, cũng như để đáp ứng nhu cầu về tọa độ của các ngành kĩ thuật, kinh tế quốc dân và an ninh quốc phòng ở mỗi nước. Đôi khi nhiệm vụ khoa học - kĩ thuật của Trắc địa cao cấp còn được gọi là nhiệm vụ thực tiễn của nó.

Cần lưu ý rằng cách phân chia như trên về các nhiệm vụ của Trắc địa cao cấp chỉ mang tính chất ước lệ tương đối, vì thực ra chúng liên kết rất mật thiết với nhau, bổ sung cho nhau. Dễ hiểu là các nhiệm vụ khoa học chỉ khả thi trên cơ sở các thành quả của nhiệm vụ thực tiễn, và ngược lại các nhiệm vụ thực tiễn chỉ có thể được giải quyết một cách sâu sắc, triệt để và có hiệu quả, nếu xuất phát và dựa trên những thành tựu của các nhiệm vụ khoa học của Trắc địa cao cấp.

1.1.2. Vai trò của Trắc địa cao cấp

Là bộ phận cốt lõi và đặc trưng cho thuộc tính khoa học của Trắc địa, Trắc địa cao cấp luôn đưa ra các mục tiêu, yêu cầu định hướng cho sự phát triển chung của khoa học Trắc địa và các bộ phận cấu thành của nó. Với nhiệm vụ xuyên suốt đã nêu ở phần trước, Trắc địa cao cấp đã triệt để khai thác thế mạnh và các thành tựu mới nhất ở các giai đoạn lịch sử cụ thể của lý thuyết và thực tiễn đo đạc trắc địa chính xác cao, đo thiên văn, quan sát vệ tinh nhân tạo của Trái đất và các vật thể vũ trụ ở xa Trái đất như: Mặt trăng, các ngôi sao phát sóng vô tuyến, đo sức hút và các đặc trưng khác của trọng trường cả ở trên đất liền, trên biển và từ vệ tinh, v.v... Trắc địa cao cấp chẳng những đề ra các yêu cầu ngày càng cao về độ chính xác, mật độ, quy mô cho các dạng số liệu đo đạc, quan trắc, mà còn xây dựng nên các lý thuyết kết hợp sử dụng các số liệu khác loại đang ngày càng đa dạng với khối lượng thông tin khổng lồ đang không ngừng được tích lũy.

Về mặt lý thuyết, với nhiệm vụ xuyên suốt nêu ở phần trước Trắc địa cao cấp đã đưa ra phương pháp hình học trong đó sử dụng số liệu thiên văn và số liệu trắc địa, rồi đến phương pháp vật lý trên cơ sở khai thác số liệu đo lực hút trọng trường và phương pháp vũ trụ thông qua kết quả quan sát vệ tinh nhân tạo của Trái đất và các vật thể ở bên ngoài Trái đất. Chính bài toán nghiên cứu, xác định kích thước, hình dạng và trọng trường của Trái đất trong một thể thống nhất đã đặt ra nhu cầu kết hợp sử dụng các phương pháp và các loại số liệu khác nhau và thiết lập khung quy chiếu và hệ tọa độ chung cho toàn cầu trên cơ sở có tính đến ảnh hưởng của các hiện tượng địa động như: chuyển động cực của Trái đất, địa triều, dịch chuyển mảng của vỏ Trái đất, v.v... Tương ứng đã hình thành các lĩnh vực nghiên cứu sâu rộng có liên quan với đặc thù riêng, nhưng được định hướng vào mục tiêu chung thể hiện trong nhiệm vụ của Trắc địa cao cấp.

Yêu cầu về độ chính xác cao, về qui mô bao quát rộng lớn và về chủng loại đa dạng của số liệu đo đạc đòi hỏi sự không ngừng hoàn thiện về phương pháp luận, về trang thiết bị. Từ nguyên lí đo ngắm chủ yếu và phổ biến từ nhiều thế kỉ trước dựa trên cơ sở quang học, các máy móc, dụng cụ thu nhận thông tin phục vụ các bài toán của Trắc địa cao cấp từ cách đây khoảng 50-60 năm đã chuyển mạnh sang ứng dụng các thành tựu tiên tiến của điện tử, tin học với công nghệ số, chẳng hạn trong quan trắc vệ tinh và các vật thể vũ trụ, trong theo dõi chuyển động hiện đại của vỏ Trái đất, sự biến đổi của các đặc trưng trọng trường, v.v...

Với các giá trị tọa độ không gian của các điểm xét nằm cách nhau hàng trăm, hàng nghìn, thậm chí hàng chục nghìn kilômét kể cả ở trên đất liền, trên biển và trên không cùng các dữ liệu về đặc trưng trọng trường của Trái đất trên quy mô khu vực hay toàn cầu, hàng loạt bài toán về định vị, dẫn đường nhằm đáp ứng các mục đích khoa học – kĩ thuật, kinh tế cũng như an ninh - quốc phòng với mức độ chính xác và chỉ tiêu khác nhau đã trở nên hoàn toàn khả thi.

Có thể nói, thành quả khoa học và thực tiễn của trắc địa cao cấp đã trở nên thiết yếu và đóng vai trò ngày càng đáng kể trong hoạt động nghiên cứu cũng như sản xuất của con người.

1.2. Cấu trúc của Trắc địa cao cấp

1.2.1. Các mảng kiến thức cấu thành

Với chức năng của một lĩnh vực chuyên ngành đã được trình bày, trắc địa cao cấp bao gồm các mảng kiến thức cấu thành và có liên quan mật thiết là: xác lập vị trí tương hỗ cùng các nguyên nhân làm thay đổi vị trí của các ngôi sao (thiên thể) trên bầu trời và sử dụng chúng để xác định vị trí của điểm xét trên mặt đất; Phân tích cấu trúc trọng trường và xác định ảnh hưởng của nó đến các đặc trưng hình học của Trái đất; Liên kết hình học giữa các điểm trên bề mặt Trái đất và qui chuyển chúng về mặt tham khảo dạng ellipsoid; Liên kết toán học giữa các yếu tố đường và mặt trên ellipsoid và thể hiện chúng lên mặt phẳng; Kết nối vị trí giữa các vật thể vũ trụ cũng như vệ tinh nhân tạo của Trái đất với các điểm xét trên mặt đất và thiết lập khung qui chiếu và hệ tọa độ trên qui mô toàn cầu, kể cả đất liền và đại dương; Xử lí chặt chẽ các số liệu đo đạc chính xác cao và kết hợp tối ưu thành quả quan trắc khác loại.

Những chủ đề trên chính là cốt lõi của các môn học tương ứng với các tên gọi: Thiên văn cầu, Thiên văn trắc địa, Lí thuyết hình dạng Trái đất (Trọng lực trắc địa,

Trắc địa vật lý), Xây dựng lưới trắc địa (Các công tác trắc địa cơ bản), Bình sai lưới trắc địa, Trắc địa mặt cầu, Công nghệ GPS (Trắc địa vệ tinh), Trắc địa biển.

Ở một số nước, cùng với Trắc địa công trình, Trắc địa ảnh và các chuyên ngành khác, có đào tạo chuyên ngành Trắc địa cao cấp. Chẳng hạn, ở LB Nga chuyên ngành này cho đến nay vẫn còn với tên gọi là Thiên văn - Trắc địa; Ở Trung quốc nó cũng được gọi là Thiên văn - Trắc địa, nhưng chỉ tồn tại cho đến những năm cuối của thế kỷ trước, rồi sau đó được ghép với các chuyên ngành trắc địa khác. Trong chương trình đào tạo chuyên ngành Trắc địa cao cấp như thế có môn học Trắc địa cao cấp, nhưng nội dung chủ yếu chỉ bao gồm công tác đo đạc ngoại nghiệp và phần tính toán bình sai. Cùng với nó là các môn học chuyên sâu với các tên gọi được nhắc đến ở phía trên. Còn đối với các chuyên ngành không phải là Trắc địa cao cấp thì kiến thức về Trắc địa cao cấp được trình bày trong khuôn khổ môn học mang tên là “Trắc địa cao cấp” như ở Nga, ở Trung quốc hay “Đo đạc Trái đất” như ở Đức. Ở Việt Nam, Trắc địa cao cấp chưa bao giờ được tách thành chuyên ngành riêng, mà nằm trong chương trình đào tạo bậc đại học theo chuyên ngành với tên ghép là Trắc địa cao cấp – công trình như trước đây hay gọn hơn là Trắc địa như hiện nay.

Chỉ ở bậc đào tạo tiến sĩ mới có chuyên ngành Trắc địa cao cấp trong đó một số chủ đề chính được giảng dạy ở dạng các chuyên đề, còn ở bậc đại học cho đến nay kiến thức về Trắc địa cao cấp được chuyển tải qua một số môn học như: Trắc địa cao cấp ngoại nghiệp, Thiên văn cầu và đo thiên văn gần đúng, Bình sai, Trắc địa mặt cầu, Trắc địa lý thuyết, Công nghệ GPS, Trắc địa biển.

Trong khuôn khổ chương trình khung trình độ đại học được xây dựng cho ngành đào tạo Kỹ thuật Trắc địa - Bản đồ từ cách đây 3 năm đã hình thành học phần Trắc địa cao cấp đại cương với mục tiêu: sau khi học xong học phần, sinh viên hiểu được trắc địa cao cấp là một trong các môn học về Trái đất; Trắc địa cao cấp sử dụng máy móc, thiết bị thu nhận và xử lý thông tin về hình dạng, kích thước, thể trọng trường của Trái đất, về định vị điểm trên mặt đất và không gian quanh Trái đất, cung cấp số liệu trắc địa gốc cho công tác trắc địa, bản đồ phục vụ kinh tế và quốc phòng.

1.2.2. Nội dung cơ bản của Trắc địa cao cấp

Dưới đây Trắc địa cao cấp được xem xét như một môn học không thuộc chuyên ngành Trắc địa cao cấp theo cách hiểu và phân định đã được nêu ở phần trên. Vì thế, nội dung cơ bản của Trắc địa cao cấp được đề cập đến sẽ bao gồm chủ yếu là các

khái niệm, các nguyên lý cùng các nguyên tắc giải quyết vấn đề và được trình bày theo trình tự đi từ nhận thức lý thuyết đến các giải pháp thực tế.

Như vậy, các kiến thức cơ bản của trắc địa cao cấp được xây dựng xuất phát từ khái niệm về trọng trường và hình dạng Trái đất. Từ các lực thành phần tồn tại khách quan trong tự nhiên là lực hấp dẫn và lực li tâm, đã hình thành lực tổng hợp với tên gọi là lực hút của Trái đất hay trọng lực và tương ứng với nó có trường trọng lực hay trọng trường. Trên cơ sở mối quan hệ giữa các khái niệm về thế và lực, ta có các đặc trưng cơ bản khác nhau của trọng trường là đường sức và mặt đẳng thế và hiểu rằng đặc trưng cốt lõi của trọng trường là thế trọng trường để từ đó tiếp cận khái niệm thế trọng trường chuẩn cũng như thế nhiễu và các yếu tố chính của trọng trường là: trọng lực, dị thường trọng lực, độ lệch dây dọi và dị thường độ cao. Tiếp đó, dựa trên mối liên hệ mật thiết giữa thế trọng trường và hình dạng Trái đất, sẽ xem xét các nguyên lý và phương pháp khác nhau trong việc giải quyết nhiệm vụ của Trắc địa cao cấp thông qua số liệu đo đạc trên mặt đất như: đo trắc địa, đo trọng lực và kết quả quan trắc các đối tượng ngoài Trái đất như: đo thiên văn, quan sát vệ tinh. Do cả hình dạng và thế trọng trường của Trái đất cần được xác định trên cơ sở chọn ra bề mặt tham khảo có dạng ellipsoid tròn xoay phù hợp nhất với Trái đất, nên cần hiểu được nguyên lý xác lập ellipsoid chuẩn và ellipsoid thực dụng cùng các hệ thống tọa độ gắn với chúng cũng như các bài toán có liên quan. Các mục đích khoa học và thực tiễn của Trắc địa cao cấp chỉ có thể đạt được bằng cách sử dụng số liệu đo đạc thực tế, chính vì vậy, một nội dung quan trọng không thể thiếu phải là các dạng lưới đo đạc cơ bản từ mạng lưới tọa độ mặt bằng, mạng lưới độ cao, mạng lưới trọng lực đến đo thiên văn, quan trắc vệ tinh cùng vấn đề xử lý số liệu đo.

Với các nội dung cơ bản nêu trên, Trắc địa cao cấp được diễn giải một cách khái quát, nhưng đủ độ chi tiết cần thiết để người đọc có thể hiểu được nhiệm vụ, vai trò cùng các khả năng giải quyết thực thi của nó.

1.3. Mối liên hệ giữa Trắc địa cao cấp và các khoa học Trái đất khác

Trong số các khoa học về Trái đất thì thiên văn học là lĩnh vực đầu tiên gắn bó với Trắc địa cao cấp, vì nó cung cấp các kiến thức quan trọng và cần thiết nhất về vị trí tương hỗ giữa các thiên thể trên bầu trời cũng như giữa các thiên thể và điểm xét trên mặt đất để trên cơ sở đó có thể sử dụng các kết quả quan sát thiên thể vào mục đích trắc địa. Tương ứng, Trắc địa cao cấp cần đến các chuyên ngành có liên quan

trực tiếp là: Thiên văn cầu, Thiên văn thực dụng (Thiên văn trắc địa) và Thiên văn đo lường. Cùng với việc sử dụng vệ tinh nhân tạo của Trái đất và các vật thể vũ trụ ở xa, Trắc địa cao cấp quan tâm đến các qui luật chuyển động của vật chất dưới ảnh hưởng của lực hấp dẫn được xem xét trong chuyên ngành Cơ học thiên thể. Dựa trên các phép đo đạc và quan trắc thực hiện trong bầu khí quyển của Trái đất, Trắc địa cao cấp rất cần đến kiến thức của chuyên ngành Vật lý khí quyển. Khoảng $\frac{3}{4}$ bề mặt Trái đất bị bao phủ bởi tầng thủy quyển, nên có thể nói khu vực nghiên cứu chủ yếu Trắc địa cao cấp là biển và đại dương, và do vậy Hải dương học có một vị trí rất quan trọng trong việc giải quyết các nhiệm vụ cơ bản của Trắc địa cao cấp. Đối tượng khảo sát của Trắc địa cao cấp về hình dạng và thế trọng trường của Trái đất, mà đối tượng này lại liên quan trực tiếp đến trạng thái phân bố vật chất trong lòng Trái đất, nên Trắc địa cao cấp không thể đạt tới mục tiêu nghiên cứu có ý nghĩa và tác dụng sâu sắc, căn bản về Trái đất, nếu thiếu sự liên kết chặt chẽ và bổ sung cần thiết của Địa chất học cũng như Địa vật lý. Các số liệu mà Trắc địa cao cấp sử dụng để giải quyết nhiệm vụ của mình đều được thu nhận từ kết quả quan trắc, đo đạc bằng các thiết bị, dụng cụ hoạt động dựa trên các nguyên lý của cơ khí, quang học, âm học, điện tử, v.v... với các yêu cầu rất cao về độ tin cậy và độ chính xác. Để hiểu là với lý do này Trắc địa cao cấp có liên quan chặt chẽ với các lĩnh vực Đo lường - Tiêu chuẩn, Chế tạo máy tinh vi. Về mặt lý thuyết, Trắc địa cao cấp phải sử dụng các công cụ mạnh từ lĩnh vực Vật lý, Toán học như: lý thuyết trường, lý thuyết thế, các hàm đặc biệt (gồm hàm số cầu, hàm elip, hàm Bessel, v.v...), hàm ngẫu nhiên, hình học vi phân, toán thống kê, v.v...

Song, Trắc địa cao cấp không chỉ tận dụng các thành tựu của các ngành khoa học về Trái đất và các ngành khoa học tự nhiên khác, mà bản thân nó đã đặt ra những vấn đề, những bài toán rất cơ bản để các ngành đó tham gia giải quyết và thông qua đó có điều kiện để mở rộng và phát triển. Chính lịch sử phát triển của Trắc địa cao cấp đã minh chứng cho điều này. Công tác đo cung độ với yêu cầu cao về độ chính xác của các tọa độ thiên văn đòi hỏi sự hoàn thiện và phát triển của phương pháp, thiết bị và lý thuyết xử lý kết quả quan sát trong lĩnh vực Thiên văn đo lường và dẫn đến sự hình thành chuyên ngành Thiên văn trắc địa. Nhu cầu sử dụng số liệu đo trọng lực trong việc giải quyết nhiệm vụ của Trắc địa cao cấp đã tạo nên chuyên ngành Trọng lực trắc địa, về sau phát triển thành Trắc địa vật lý. Số liệu đo đạc do

các nhà trắc địa Anh thực hiện ở Ấn độ vào giữa thế kỷ 19 đã đóng vai trò nền tảng cho việc đề xuất lý thuyết cân bằng đẳng tĩnh rất cơ bản về cấu trúc của vỏ Trái đất được thừa nhận rộng rãi trong Địa chất và Địa vật lý. Kết quả đo trọng lực biển cũng như đo cao từ vệ tinh (Altimetry) cho phép nghiên cứu, xác định chính xác bề mặt vật lý của biển và đại dương, và do đó đóng góp rất hiệu quả vào việc giải quyết nhiều bài toán cơ bản của Hải dương học. Kết quả giao thoa giữa Trắc địa với Thiên văn, Địa chất, Địa lý, Địa vật lý, Hải dương học, v.v.. chính là sự ra đời của ngành Địa động lực học (Geodinamics) đang phát triển mạnh mẽ với ý nghĩa và vai trò rất sâu rộng. Với việc khai thác tín hiệu điện từ phát đi từ vệ tinh thuộc các hệ thống định vị toàn cầu (GPS) khác nhau Trắc địa cao cấp đang đem lại cho lĩnh vực Vật lý khí quyển những cách tiếp cận mới hết sức hiệu quả trong việc nghiên cứu tầng điện ly và thông qua đó theo dõi chuyển động hiện đại của vỏ Trái đất cùng các thảm họa thiên nhiên như: động đất, núi lửa, sóng thần, v.v... Còn có thể kể ra nhiều dẫn chứng nữa về mối quan hệ và vai trò của Trắc địa cao cấp nói riêng và Trắc địa nói chung đối với các ngành khoa học Trái đất cũng như các ngành khoa học khác.

Để khái quát điều này, chúng tôi xin dẫn ý kiến mà Giáo sư Krasovski F.N. đã viết ra trong bộ sách giáo khoa tầm cỡ của mình với tiêu đề "Cẩm nang Trắc địa cao cấp" là: *" vào những thời kì nhất định, các thành tựu của Trắc địa đã là luận chứng cần thiết cho sự vận động mạnh mẽ của ý tưởng trong lĩnh vực vật lí, cơ học và thiên văn học "*.

1.4. Lịch sử và phương hướng phát triển của trắc địa cao cấp

1.4.1. Các giai đoạn phát triển của trắc địa cao cấp

Trong suốt quá trình phát triển kể từ khi hình thành đến nay trắc địa cao cấp luôn định hướng và xuất phát từ chức năng chủ yếu và cơ bản nhất là nghiên cứu, xác định hình dạng và trọng trường của Trái đất cùng sự thay đổi của chúng theo thời gian. Chính khái niệm về hình dạng và thế trọng trường của Trái đất cùng nguyên lí và phương tiện xác định chúng là cơ sở để phân định lịch sử phát triển của Trắc địa cao cấp thành các giai đoạn chính khác nhau như sau:

1. Giai đoạn Trái đất được coi là khối cầu

Cách đây khoảng 2500 năm, tức là vào thế kỉ thứ VI trước công nguyên, khái niệm trực quan sơ khai tồn tại từ rất lâu trước đó về Trái đất phẳng đã được thay

thể bởi kết luận do nhà toán học người Hy Lạp Pithagor đưa ra theo đó Trái đất là một khối cầu. Trên cơ sở khái niệm có cơ sở khoa học đầu tiên này công việc xác định kích thước của Trái đất đã được tiến hành từ thời cổ đại với nhiệm vụ tìm ra bán kính R của nó. Mục đích này được quy về bài toán xác định chiều dài của cung tròn trên bề mặt Trái đất tương ứng một góc ở tâm của nó có giá trị bằng 1° ; Tương ứng đã xuất hiện dạng đo đạc với tên gọi là “đo cung độ”. Góc ở tâm được đo bằng cách quan sát thiên văn; Chiều dài cung được đo vào thời kì xa xưa theo cách trực tiếp rất thô sơ. Kết quả đáng tin cậy đầu tiên về bán kính Trái đất gắn với tên tuổi của nhà bác học người Hy Lạp là Erastophen.

Sau một thời kì dài bị quên lãng, đến thế kỉ XVI vấn đề kích thước, hình dạng Trái đất mới được quan tâm trở lại do xuất hiện nhu cầu khám phá thế giới với các chuyến thám hiểm vượt đại dương nổi tiếng trong lịch sử. Công tác đo cung độ cũng đã được đặt vào tầm cỡ các vấn đề khoa học thu hút sự chú ý của các nhà bác học lớn đương thời. Dựa trên đề xuất vào năm 1615 của nhà bác học người Hà Lan có tên là Snellius việc xác định chiều dài cung trên bề mặt Trái đất đã đạt tới thành tựu rất đáng kể là thực hiện theo phương pháp đo tam giác mà từ đó trở thành phổ biến trong trắc địa với các dụng cụ đo ngắm quang học ngày càng hoàn thiện.

2. Giai đoạn hình dạng Trái đất được đặc trưng bởi khối ellipsoid tròn xoay

Một bước ngoặt hết sức cơ bản trong khái niệm về hình dạng Trái đất đã xuất hiện cùng với lập luận khoa học của nhà bác học vĩ đại người Anh Newton I. (1643 – 1727) dựa trên chính định luật vạn vật hấp dẫn mà ông đưa ra năm 1666 và đã được kiểm chứng bằng công trình đo cung độ nổi tiếng do Viện Hàn lâm khoa học Pháp thực hiện tại Peru vào các năm 1735 – 1742 và tại bán đảo Scăngđinavơ vào giai đoạn 1736 – 1737, theo đó Trái đất phải có dạng ellipsoid tròn xoay hơi dẹt ở phía hai cực. Khái niệm về hình dạng Trái đất đã thay đổi hay, nói đúng hơn, đã được chính xác hoá, song công cụ để nghiên cứu, xác định nó vẫn không là gì khác ngoài công tác đo cung độ. Nhưng, bài toán đã trở nên phức tạp hơn với hai tham số cần xác định là bán trục lớn và bán trục nhỏ hay bán trục lớn và độ dẹt của ellipsoid tròn xoay. Công tác đo cung độ đã được triển khai ở nhiều nước thuộc các khu vực khác nhau trên Trái đất trong đó các cung được bố trí dọc theo kinh tuyến cũng như vĩ tuyến với chiều dài cung được xác định từ số liệu đo đạc trắc địa theo các chuỗi tam giác trải dài từ hàng trăm đến hàng nghìn kilômét và ở hai đầu cung có đo thiên văn. Kết quả

đã nhận được nhiều ellipsoid Trái đất với các giá trị thông số kích thước cụ thể khác nhau phù hợp cho từng quốc gia hay cả một lục địa.

Cùng với sự khác biệt giữa bán trục lớn và bán trục nhỏ hay tương tự với nó là độ dẹt của ellipsoid Trái đất người ta đã phát hiện ra sự chênh lệch giữa giá trị trọng lực tại các độ vĩ khác nhau trên bề mặt của nó, tức là chênh lệch do ảnh hưởng của độ dẹt. Điều này đã được nhà toán học người Pháp có tên là Clairaut A.C. (1713 – 1765, người đã tham gia công trình đo cung độ của Viện hàn lâm khoa học Pháp) thể hiện ở dạng định lý mang tên ông ta. Chính Clairaut đã đặt nền móng cho một phương hướng mới trong việc nghiên cứu, xác định hình dạng Trái đất, đó là sử dụng kết quả đo trọng lực. Như vậy, cùng với cách giải quyết đã biết từ lâu trước đó dựa trên số liệu đo thiên văn và đo trắc địa thông qua công tác đo cung độ mà người ta thường gọi là phương pháp hình học, trong giai đoạn này đã xuất hiện thêm phương pháp vật lý.

3. Giai đoạn hình dạng Trái đất được đặc trưng bởi mặt đẳng thế trọng trường cơ bản có tên gọi là geoid

Trên cơ sở so sánh số liệu đo cung độ cũng như đo trọng lực ở nhiều khu vực khác nhau trên Trái đất người ta nhận thấy rằng bề mặt đặc trưng của Trái đất không chỉ có độ cong thay đổi nhẹ nhàng, đều đặn do ảnh hưởng của độ dẹt cực của Trái đất, mà bị uốn nếp phức tạp theo các hướng khác nhau. Từ đó đã hình thành khái niệm về một bề mặt đặc trưng xác thực hơn của Trái đất vốn không thể biểu diễn bởi bất kỳ một phương trình bề mặt toán học đã biết nào. Người ta hình dung ra bề mặt yên tĩnh, trung bình của các đại dương, đặt cho nó tên gọi là geoid theo đề xuất của nhà vật lý người Đức tên là Listing và coi đó là một tiệm cận mới, phù hợp hơn với thực tế cho hình dạng của Trái đất. Nhiệm vụ chủ yếu của Trắc địa cao cấp khi đó được quy về việc nghiên cứu, xác định geoid. Ở mức độ gần đúng thường được chấp nhận trong nhiều bài toán thực tiễn, geoid được hiểu là một trong các đặc trưng cơ bản của trọng trường Trái đất. Để nghiên cứu, xác định nó, nhà địa vật lý người Anh là Stokes G. (1819 – 1903) đã xây dựng cả một lý thuyết sâu sắc trong đó sử dụng các giá trị trọng lực với các số hiệu chỉnh phức tạp tương ứng được cho trên phạm vi toàn bộ Trái đất. Theo hướng này còn có các đóng góp khoa học rất có ý nghĩa của các nhà bác học người Đức tên là Bruns H. (1848 – 1919) và Helmert F. (1843 – 1917), người Hà lan tên là Vening - Meinesz F. (1887 – 1966), v.v...

Geoid còn được nghiên cứu, xác định theo phương pháp hình học thông qua số liệu trắc địa là chủ yếu, hay kết hợp cả với số liệu trọng lực.

4. Giai đoạn từ khi nhiệm vụ chủ yếu của Trắc địa cao cấp được qui về việc nghiên cứu, xác định bề mặt thực của Trái đất và thế trọng trường bên ngoài nó đến nay

Lí thuyết Stokes nghiên cứu, xác định geoid đòi hỏi phải biết chính xác cấu trúc bên trong của Trái đất; Nhưng, dữ liệu như thế không thể có được thông qua đo đạc, quan trắc thực tế trên bề mặt nó, ngoài việc chấp nhận các giả thuyết khác nhau. Vì thế, bài toán về geoid không có lời giải chặt chẽ, chính xác.

Để khắc phục tình trạng này, năm 1945 nhà bác học Liên Xô Molodenski M.S. (1909 – 1991) đã đề xuất ý tưởng khước từ geoid với tư cách là mục tiêu chủ yếu của Trắc địa cao cấp, mà định hướng vào việc nghiên cứu, xác định bề mặt thực của Trái đất và thế trọng trường bên ngoài nó trong đó chỉ sử dụng kết quả đo đạc thực tế trên bề mặt Trái đất. Lí thuyết của Molodenski M.S. được thừa nhận là mở đầu cho một giai đoạn mới với cách giải quyết hoàn toàn chặt chẽ cả nhiệm vụ khoa học cũng như thực tiễn của Trắc địa cao cấp với kết quả chỉ phụ thuộc vào chất lượng, khối lượng và mức độ đa dạng của chính các số liệu đo đạc thực tế được khai thác, sử dụng. Chính lý thuyết mới này đòi hỏi và tạo điều kiện để kết hợp sử dụng các dạng đo đạc khác loại có thể có được, từ số liệu trắc địa mặt đất truyền thống trên đất liền và trên biển, đến số liệu đo thiên văn, đo trọng lực, quan trắc vệ tinh và các vật thể vũ trụ ở gần cũng như ở rất xa Trái đất. Theo hướng đi này nhiều phương pháp và thuật toán kết hợp xử lí hiệu quả số liệu đo đạc đa dạng với khối lượng khổng lồ như: collocation, biến đổi Fourier nhanh, v.v... đã được đề xuất. Trắc địa cao cấp không chỉ tiếp tục nghiên cứu, xác định bề mặt thực và trọng trường bên ngoài của Trái đất trong hệ qui chiếu và hệ tọa độ ba chiều thống nhất toàn cầu, mà còn quan tâm ngày càng nhiều đến bản chất động học và động lực học của sự thay đổi vị trí của các điểm trên bề mặt Trái đất và các yếu tố trọng trường không gian bao quanh. Có thể nói, ở giai đoạn hiện nay Trắc địa cao cấp không những khẳng định chắc chắn vị thế chuyên ngành khoa học vốn có của mình, mà đang thực sự mở rộng, làm sâu sắc nhiệm vụ, chức năng và vai trò, ảnh hưởng của một lĩnh vực kiến thức cơ bản về Trái đất để phối hợp và thúc đẩy sự phát triển của các mảng khoa

học truyền thống có liên quan, thậm chí tạo ra những hướng đi mới ở nơi tiếp giáp giữa Trắc địa cao cấp và các chuyên ngành khoa học khác.

1.4.2. Phương hướng phát triển của Trắc địa cao cấp

Chức năng, nhiệm vụ chủ yếu của Trắc địa cao cấp trong những năm tiếp theo vẫn sẽ là nghiên cứu, xác định hình dạng và thể trọng trường của Trái đất, nhưng cách giải quyết sẽ dựa trên cơ sở phối hợp ngày càng rộng rãi các phương pháp và các phương diện đo đạc, quan trắc đa dạng với các thành tựu mới nhất.

1. Bài toán xác định kích thước và hình dạng Trái đất suy cho cùng đòi hỏi phải biết được vị trí của bất kì điểm xét nào trên bề mặt Trái đất với độ chính xác cần thiết ngày càng cao trong một hệ tọa độ cụ thể gắn chặt với Trái đất ứng với thời điểm tùy ý cho trước. Hệ tọa độ tiện dụng nên là hệ tọa độ vuông góc không gian có gốc tọa độ đặt tại tâm quán tính, còn trục Z hướng theo trục quay của Trái đất ứng với một thời đại qui ước chọn trước nào đó có thể thay đổi sau những khoảng thời gian nhất định. Hệ tọa độ đó cần được hiện thực hoá với một tập hợp nhất định các điểm bố trí vững chắc, kiên cố thường được gọi là các mốc trắc địa cố định trên mặt đất và bởi các vệ tinh nhân tạo bay quanh Trái đất với chức năng các mốc trắc địa di động trên bầu trời. Về nguyên tắc hoàn toàn có thể bỏ qua các mốc trắc địa cố định trên mặt đất, song để tiện lợi cho mục đích sử dụng thực tế, các mốc đó vẫn cần có; Tuy vậy, mật độ của chúng có thể giảm đi đáng kể so với hiện nay, chẳng hạn khoảng cách giữa các mốc có thể chỉ vào cỡ 70 – 100 km. Từ các mốc đó tọa độ có thể được truyền tiếp cho bất kì điểm xét nào nằm lọt giữa chúng dựa trên nguyên lí định vị tương đối bằng vệ tinh. Nhờ vậy, trên qui mô toàn bộ bề mặt Trái đất sẽ có cả một tập hợp điểm với số lượng ngày càng tăng được cung cấp giá trị tọa độ vuông góc không gian ba chiều cùng các thông số cần thiết để qui chuyển về bất kì thời điểm xét nào cả trong quá khứ và tương lai trên cơ sở sử dụng hệ tọa độ động.

2. Trọng trường của Trái đất sẽ được nghiên cứu, xác định với độ chính xác và mức độ chi tiết cùng tính cập nhật rất cao trên cơ sở các phương pháp đo đạc truyền thống trên mặt đất kết hợp với các công nghệ hiện đại như: đo gradient trọng lực trên vệ tinh (Satellite Gradientometry). Các dữ liệu về trọng trường cùng tọa độ trên quy mô quốc gia cũng như toàn cầu sẽ là cơ sở thiết yếu của tổ hợp thông tin đa dạng về Trái đất được tập hợp, xử lý, khai thác và quản lý theo các Trung tâm quốc gia và quốc tế tương ứng.

3. Các số liệu cơ bản về hình dạng và thể trọng trường của Trái đất sẽ đóng vai trò ngày càng lớn trong nghiên cứu cấu trúc bên trong của Trái đất nói riêng và trong lĩnh vực địa động lực học nói chung. Chúng còn là nền tảng cho việc giải quyết các bài toán khoa học - kỹ thuật của Trắc địa cao cấp trong đó có nhiệm vụ định vị và dẫn đường tự động, độc lập theo nguyên lý quán tính - trọng trường được đánh giá cao trong lĩnh vực an ninh - quốc phòng.

4. Việc sử dụng tín hiệu điện từ phát đi từ vệ tinh vào mục đích định vị trong trắc địa cao cấp đã trở thành một hướng mới đang phát huy hiệu quả cao trong việc nghiên cứu, theo dõi tầng điện ly và tầng đối lưu trong bầu khí quyển bao quanh Trái đất và trên cơ sở đó sẽ đưa đến một cách tiếp cận mới trong việc dự báo và hạn chế hậu quả của thảm họa thiên nhiên như: động đất, núi lửa, sóng thần, bão tố, v.v...

5. Chuyển động cực cũng như chuyển động quay ngày đêm của Trái đất cùng chuyển động hiện đại của vỏ Trái đất cũng như hiện tượng địa triều, thủy triều sẽ được nghiên cứu, theo dõi chi tiết hơn và với độ chính xác cao hơn trong đó các phương pháp vũ trụ như: quan sát gương phản chiếu đặt trên Mặt trăng bằng tia lade, giao thoa vô tuyến cạnh đáy dài, quan trắc tàu vũ trụ bay xa, v.v... đóng vai trò ngày càng hiệu quả.

6. Các dữ liệu về trọng trường cùng tọa độ trên quy mô quốc gia cũng như toàn cầu cần được tập hợp, xử lý, khai thác và quản lý theo các Trung tâm quốc gia và quốc tế tương ứng. Chúng sẽ là cơ sở thiết yếu của tổ hợp thông tin khổng lồ đa dạng, thống nhất về Trái đất được thể hiện ở dạng số có khả năng đáp ứng mọi nhu cầu sử dụng.

7. Trên cơ sở sử dụng rộng rãi các phương tiện vũ trụ, bài toán nghiên cứu hình dạng và trọng trường của thiên thể không chỉ giới hạn ở đối tượng truyền thống là Trái đất, mà sẽ mở rộng sang Mặt trăng và các hành tinh thuộc hệ thống Mặt trời như: sao Kim, sao Hỏa, v.v...

Chương 2

KHÁI NIỆM VỀ TRỌNG TRƯỜNG VÀ HÌNH DẠNG TRÁI ĐẤT

2.1. Trọng trường Trái đất và các đặc trưng của nó

2.1.1. Lực hấp dẫn, lực li tâm và trọng lực

1. Lực hấp dẫn

Mọi vật thể trong vũ trụ đều gây ra và chịu tác động tương hỗ của lực có tên là lực hấp dẫn được đặc trưng bởi định luật vạn vật hấp dẫn do Newton đưa ra năm 1666. Theo định luật này, hai vật thể ở cách xa nhau một khoảng vô cùng lớn so với kích thước của chúng sẽ hút lẫn nhau với một lực có độ lớn tỉ lệ thuận với tích các khối lượng của chúng và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng. Biểu thức toán học của định luật có dạng như sau:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r_{12}^2}; \quad (2.1)$$

trong đó m_1, m_2 là khối lượng của mỗi vật thể; r_{12} là khoảng cách giữa chúng; G là hằng số, thường được gọi là hằng số hấp dẫn.

Về thực chất, hai vật thể nói đến ở đây phải được hiểu là hai chất điểm. Một vật thể được gọi là vật hút, còn vật thể kia là vật bị hút. Để giản tiện cho diễn giải, người ta thường quy ước coi khối lượng của vật bị hút là $m_1 = 1$ và kí hiệu khối lượng của vật hút là $m_2 = m$. Khi đó, bỏ qua chỉ số 1, 2 ứng với hai vật thể, biểu thức (2.1) sẽ được viết lại ở dạng gọn hơn:

$$F = G \cdot \frac{m}{r^2}. \quad (2.2)$$

Lực hấp dẫn được quy ước hướng từ vật bị hút sang phía vật hút. Như vậy, lực hấp dẫn là một đại lượng vectơ có gốc đặt tại vật bị hút, hướng từ vật bị hút sang vật hút và có độ lớn xác định bởi biểu thức (2.2); Nó được kí hiệu là \vec{F} . Tương

Ứng, khoảng cách giữa hai vật thể cũng là một đại lượng véctơ với gốc đặt tại vật hút, hướng từ vật hút sang vật bị hút, và được kí hiệu là \vec{r} . Rõ ràng \vec{F} và \vec{r} là hai véctơ đồng phương, nhưng đối chiều (hình 2.1). Ở dạng véctơ biểu thức (2.2) sẽ được viết lại như sau:

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{m}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}. \quad (2.3)$$

Hằng số hấp dẫn G là một trong những hằng số vật lí quan trọng nhất. Nó được xác định bằng con đường thực nghiệm hết sức công phu. Theo công bố mới nhất vào năm 2002 của tổ chức quốc tế về dữ liệu khoa học và công nghệ (Committee on Data for Science and Technology – CODATA) thì $G = (6,6742 \pm 0,0010) 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$



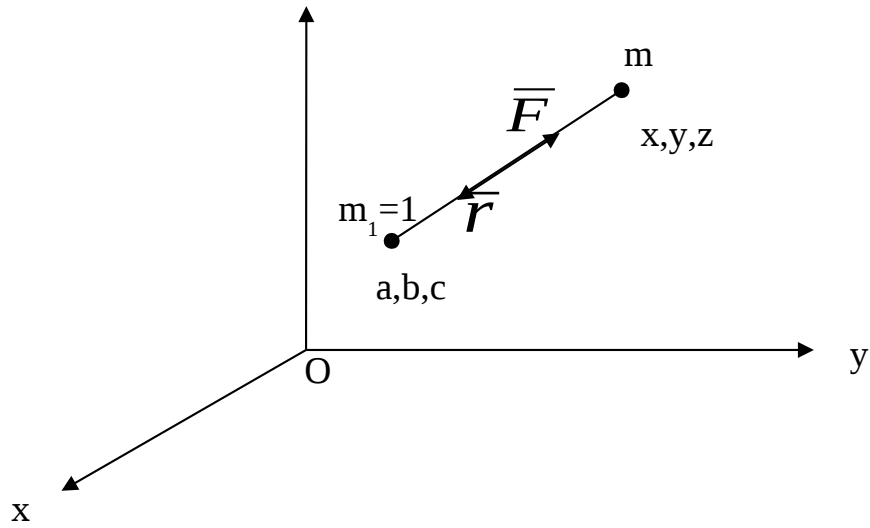
Hình 2.1. Véctơ lực hấp dẫn và véctơ khoảng cách

Ta hãy chọn hệ tọa độ vuông góc tùy ý x,y,z và kí hiệu các thành phần tọa độ tương ứng với vật hút (điểm hút) là (x,y,z) , còn các thành phần tọa độ của vật bị hút (điểm bị hút) là (a,b,c) (hình 2.2). Khi đó, các thành phần của véctơ lực hấp dẫn theo các trục tọa độ sẽ được biểu diễn ở dạng:

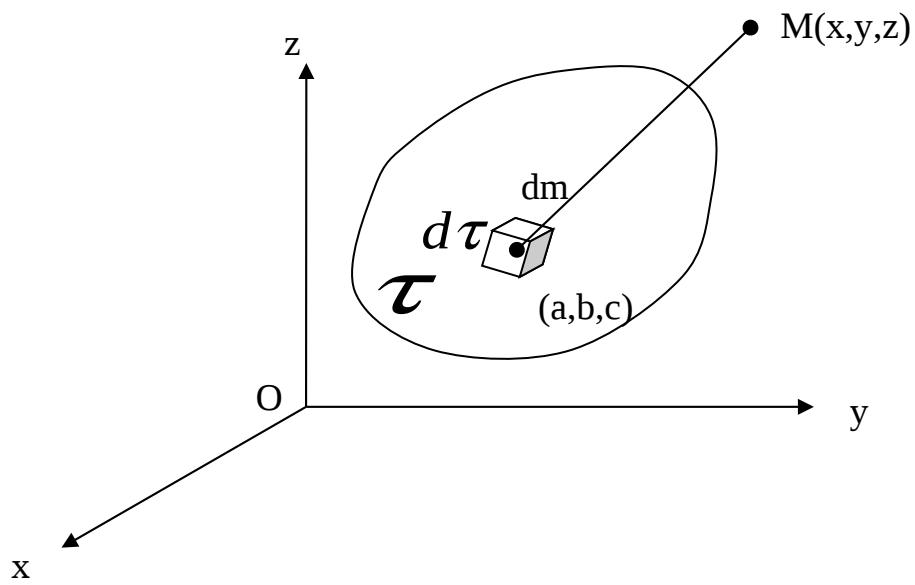
$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos(F, x) = -\frac{Gm}{r^2} \frac{(x-a)}{r} = -Gm \frac{(x-a)}{r^3}; \\ F_y &= F \cos(F, y) = -\frac{Gm}{r^2} \frac{(y-b)}{r} = -Gm \frac{(y-b)}{r^3}; \\ F_z &= F \cos(F, z) = -\frac{Gm}{r^2} \frac{(z-c)}{r} = -Gm \frac{(z-c)}{r^3}; \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

trong đó

$$r = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}. \quad (2.5)$$



Hình 2.2. Vectơ lực hấp dẫn và vectơ khoảng cách
trong hệ tọa độ vuông góc không gian



Hình 2.3. Vật hút ở dạng vật khối

Bây giờ ta hãy xét trường hợp vật bị hút là một chất điểm với khối lượng bằng 1, nhưng vật hút là một vật thể có hình dạng xác định với thể tích τ (hình 2.3); Khi đó, vật hút thường được gọi là vật khối. Để hiểu là để biểu diễn lực hấp dẫn của vật hút dạng khối như thế, không thể sử dụng ngay các biểu thức vừa nêu ở trên, vì một trong hai vật thể đang xét, mà cụ thể là vật hút, không phải là chất điểm với kích thước nhỏ vô cùng so với khoảng cách giữa chúng, như định luật Newton yêu cầu. Tuy vậy, bài toán đặt ra có thể được giải quyết bằng cách chia nhỏ vật khối thành vô số phần tử với thể tích $d\tau$ và khối lượng dm sao cho tỉ số $\frac{d\tau}{dm}$ tiến tới một giá trị xác định δ nào đó khi thu nhỏ vô cùng phần tử $d\tau$ xung quanh điểm có tọa độ (a,b,c) trong lòng vật khối. Đại lượng $\delta(a,b,c) = \lim_{d\tau \rightarrow 0} \frac{dm}{d\tau}$ được gọi là mật độ vật khối.

Tương ứng ta có biểu thức:

$$dm = \delta(a,b,c) \cdot d\tau . \quad (2.6)$$

Điểm có tọa độ (a,b,c) với mật độ vật khối $\delta(a,b,c)$ được gọi là điểm chạy. Khi đó, ta có thể áp dụng trực tiếp biểu thức cơ bản của định luật vạn vật hấp dẫn cho từng cặp điểm là điểm xét M với tọa độ (x,y,z) và điểm chạy với tọa độ (a,b,c) trong lòng vật khối, rồi cộng tất cả các giá trị lực hấp dẫn thành phần như thế lại, sẽ nhận được lực hấp dẫn tổng thể của vật khối tại điểm điểm xét cho trước. Tương ứng ta có biểu thức toán học

$$F^r(x,y,z) = G \int_{\tau} \int \frac{\delta(a,b,c)}{r^2} d\tau . \quad (2.7)$$

Các thành phần của vectơ lực hấp dẫn của vật khối theo các trục tọa độ vuông góc sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} F_x^r(x,y,z) &= -G \int_{\tau} \int \delta(a,b,c) \frac{(x-a)}{r^3} d\tau; \\ F_y^r(x,y,z) &= -G \int_{\tau} \int \delta(a,b,c) \frac{(y-b)}{r^3} d\tau; \\ F_z^r(x,y,z) &= -G \int_{\tau} \int \delta(a,b,c) \frac{(z-c)}{r^3} d\tau; \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

2. Lực li tâm

Giả sử có một vật thể ở dạng chất điểm với khối lượng m quay quanh trục T ở cách nó một khoảng bằng ρ với tốc độ dài có độ lớn là v (hình 2.4). Khi đó, vật này sẽ chịu tác dụng của lực li tâm P hướng ra phía ngoài theo phương vuông góc với trục T và véctơ vận tốc \vec{v} . Từ chương trình vật lí phổ thông ta biết:

$$P = \frac{v^2}{\rho}. \quad (2.9)$$

Nếu kí hiệu tốc độ góc tương ứng là ω , ta có

$$v = \omega \cdot \rho,$$

và do đó (2.9) được viết lại ở dạng:

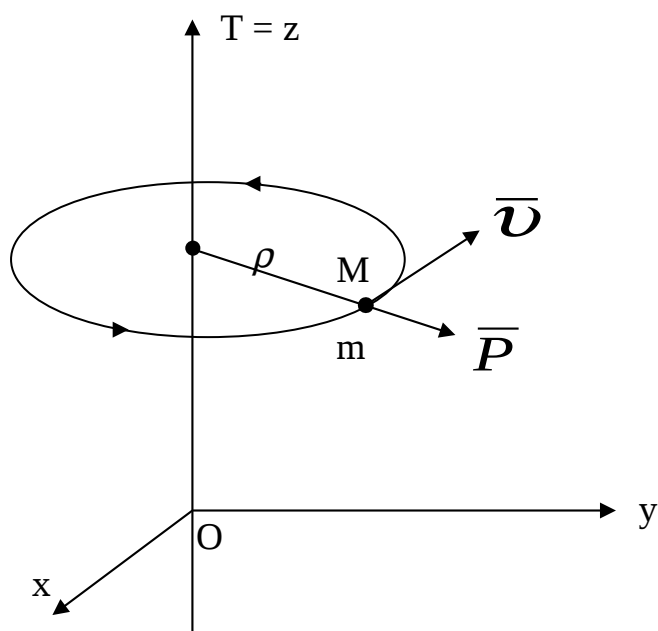
$$P = \omega^2 \cdot \rho. \quad (2.10)$$

Ta hãy chọn hệ tọa độ vuông góc không gian x, y, z sao cho trục z trùng với trục quay T . Khi đó, các thành phần tọa độ của điểm xét M sẽ là (x, y, z) . Ta có:

$$\rho^2 = x^2 + y^2. \quad (2.11)$$

Biểu thức (2.10) sẽ có dạng mới là:

$$P = \omega^2 \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (2.12)$$



Hình 2.4. Lực li tâm

Các thành phần hình chiếu của lực P trên các trục tọa độ vuông góc được xác định theo các biểu thức:

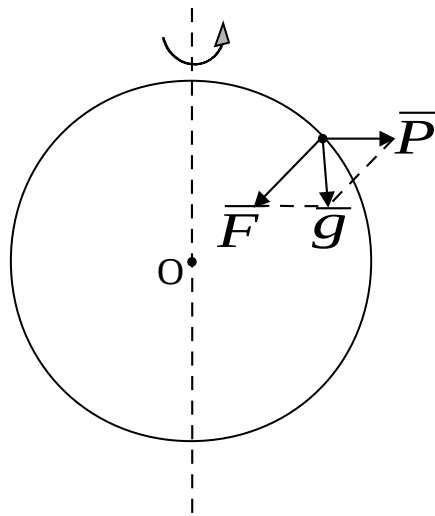
$$\left. \begin{aligned} P_x &= P \cos(P, x) = \omega^2 \cdot \rho \cdot \frac{x}{\rho} = \omega^2 x; \\ P_y &= P \cos(P, y) = \omega^2 \cdot \rho \cdot \frac{y}{\rho} = \omega^2 y; \\ P_z &= P \cos(P, z) = 0; \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

3. Trọng lực

Nếu điểm xét M gắn liền với Trái đất thì nó sẽ chịu tác dụng của lực hấp dẫn \bar{F} do toàn bộ vật chất của Trái đất gồm khối thạch quyển, lớp thủy quyển và bầu khí quyển bao quanh nó gây ra. Điểm xét đó đồng thời còn chịu tác dụng của lực li tâm \bar{P} sinh ra do tham gia chuyển động quay ngày đêm quanh trục của Trái đất. Tổng

hợp lực của hai lực như thế sẽ tạo ra một lực mới có tên là *trọng lực* và được kí hiệu là \bar{g} (hình 2.5). Ta có:

$$\bar{g} = \bar{F} + \bar{P}. \quad (2.14)$$



Hình 2.5. Lực hấp dẫn, lực ly tâm và trọng lực

Cần lưu ý rằng do Trái đất không phải là khối cầu đồng nhất, nên lực hấp dẫn không hướng đúng về tâm Trái đất; Mặt khác, lại còn do ảnh hưởng của lực li tâm hướng ra phía ngoài, theo phương vuông góc với trục quay của Trái đất, nên nói chung trọng lực tại điểm xét bất kì chỉ hướng về phía tâm Trái đất, chứ phương của nó không xuyên đúng vào tâm Trái đất.

Mỗi điểm xét trên Trái đất có một giá trị trọng lực cụ thể thường được coi là đại lượng không đổi theo thời gian. Song, cần lưu ý rằng thực ra lực hấp dẫn không chỉ do vật chất gắn với Trái đất gây ra, mà còn là tác dụng của toàn bộ vật chất trong vũ trụ trong đó trước hết phải kể đến các thiên thể ở gần Trái đất như: Mặt trăng, Mặt trời và các hành tinh. Nhưng, như đã biết, vị trí tương hỗ giữa các vật thể vũ trụ này và điểm xét trên Trái đất luôn thay đổi. Không những thế, tốc độ quay ngày đêm của Trái đất không phải là hằng số và bản thân phương trục quay ngày đêm của Trái

đất cũng không hoàn toàn cố định trong lòng nó. Kết quả là giá trị trọng lực tại một điểm xét cho trước sẽ biến thiên theo thời gian. Tuy vậy, mức độ biến thiên cụ thể thường nhỏ đến mức có thể bỏ qua trong nhiều trường hợp không đòi hỏi độ chính xác cao và hoàn toàn có thể được tính đến khi cần thiết ở dạng các số hiệu chỉnh tương ứng. Do vậy, trên thực tế người ta chấp nhận cách xem xét nêu trên về giá trị trọng lực tại điểm xét.

Cũng như bất kỳ một đại lượng vật lý nào khác, trọng lực cần có thứ nguyên. Có thể nhận thấy ngay rằng thứ nguyên đó chẳng là gì khác mà chính là thứ nguyên của lực, chẳng hạn, trong hệ CGS sẽ là $\text{g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2$ (din); Din là lực tác động lên vật thể có khối lượng 1 gam (g) làm cho nó có được gia tốc 1 xentimét (cm) sau 1 giây (s).

Nhưng, với quy ước cho khối lượng của vật thể xét bằng 1 gam (g) thì người ta hoàn toàn có thể lấy đơn vị để biểu diễn lực là cm/s^2 , tức là chấp nhận thứ nguyên của gia tốc làm thứ nguyên cho trọng lực. $1\text{cm}/\text{s}^2$ được gọi là 1 gal để ghi nhận công lao của nhà bác học nổi tiếng người Ý có tên Galilei G. (1564-1642) là người đầu tiên đo được giá trị trọng lực trên Trái đất. Như vậy, nếu khối lượng của vật bị hút là 1g thì giá trị trọng lực biểu diễn bằng din sẽ có trị số đúng bằng giá trị gia tốc biểu diễn bằng gal. Cần lưu ý rằng đúng ra khi biểu diễn giá trị trọng lực bằng gal, ta phải gọi đó là gia tốc trọng lực; Song, để cho giản tiện, người ta thường chỉ gọi tắt đó là trọng lực.

Trong thực tế, để thể hiện độ chênh giá trị trọng lực giữa các điểm xét trong một phạm vi nhỏ cũng như độ biến thiên của giá trị trọng lực theo thời gian hay đặc trưng độ chính xác của kết quả đo trọng lực, cần sử dụng các ước số của gal như: miligal (mgal), microgal (μgal):

$$1\text{mgal} = 0,001 \text{ gal};$$

$$1\mu\text{gal} = 0,001\text{mgal} = 0,000\ 001 \text{ gal}.$$

Trên quy mô toàn bộ Trái đất giá trị trọng lực có trị số trung bình bằng 980 gal và tăng dần từ 978 gal ở vùng xích đạo lên đến 983 gal ở vùng cực; Nó lại giảm dần theo độ cao so với mặt biển với gradien trung bình xấp xỉ 0,3 mgal/m.

Trong những năm gần đây người ta thường biểu diễn trọng lực bằng thứ nguyên theo hệ SI, trong đó độ dài tính bằng mét (m), khối lượng tính bằng kilogram (kg) và thời gian tính bằng giây (s). Mỗi liên hệ với thứ nguyên truyền thống là gal được thể hiện như sau:

$$1 \text{ gal} = 0,01 \text{ m/s}^2;$$

$$1 \text{ mgal} = 10 \text{ } \mu\text{/s}^2;$$

$$1 \text{ } \mu\text{gal} = 0,01 \text{ } \mu\text{/s}^2.$$

2.1.2. Thế hấp dẫn, thế li tâm, thế trọng trường

1. Thế hấp dẫn

Gắn liền với khái niệm về lực có một khái niệm rất cơ bản là thế hay hàm thế. Ở dạng tổng quát người ta nói rằng: giả sử có hàm vectơ $\vec{F}(x, y, z)$ của tọa độ điểm xét và tồn tại một hàm vô hướng $V(x, y, z)$ mà đạo hàm riêng của nó theo các thành phần tọa độ chính bằng hình chiếu của vectơ này trên các trục tọa độ tương ứng; Khi đó, $V(x, y, z)$ được gọi là *hàm thế* hay đơn giản là *thế* của vectơ đã cho. Nói cách khác, nếu có vectơ:

$$\vec{F}(x, y, z) = F_x \cdot \vec{i} + F_y \cdot \vec{j} + F_z \cdot \vec{k}, \quad (2.15)$$

trong đó, $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ là các vectơ đơn vị trên các trục tọa độ x, y, z và tương ứng có hàm $V(x, y, z)$ mà

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial x} &= F_x, \\ \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial y} &= F_y, \\ \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial z} &= F_z, \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

thì $V(x, y, z)$ được xem là thế (hàm thế) của vectơ $\vec{F}(x, y, z)$.

Bây giờ, giả sử $\vec{F}(x, y, z)$ là vectơ lực hấp dẫn của chất điểm đã xét trong mục

2.1.1. Ta hãy xét hàm số vô hướng

$$V(x, y, z) = G \frac{m}{r}. \quad (2.17)$$

Sau khi lấy đạo hàm riêng của nó theo ba thành phần tọa độ trong đó lưu ý tới (2.5), ta sẽ có:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial x} &= -G \frac{m}{r^2} \frac{\partial r}{\partial x} = -G \frac{m}{r^2} \frac{(x-a)}{r} = -Gm \frac{(x-a)}{r^3}; \\ \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial y} &= -G \frac{m}{r^2} \frac{\partial r}{\partial y} = -G \frac{m}{r^2} \frac{(y-b)}{r} = -Gm \frac{(y-b)}{r^3}; \\ \frac{\partial V(x, y, z)}{\partial z} &= -G \frac{m}{r^2} \frac{\partial r}{\partial z} = -G \frac{m}{r^2} \frac{(z-c)}{r} = -Gm \frac{(z-c)}{r^3}; \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Trên cơ sở so sánh (2.18) với (2.4) và dựa vào (2.16), ta có thể nhận ra ngay (2.17) chính là hàm thế của lực hấp dẫn. Đó là thế hấp dẫn của vật thể ở dạng chất điểm.

Bằng cách tương tự ta cũng có thể dễ dàng chứng minh được rằng thế hấp dẫn của vật khối có biểu thức tương ứng là:

$$V^r(x, y, z) = G \int_{\tau} \int \int \frac{\delta(a, b, c)}{r} d\tau. \quad (2.19)$$

2. Thế li tâm

Ứng với lực li tâm cũng có thế li tâm; Biểu thức toán học cụ thể của nó như sau:

$$Q(x, y, z) = \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2). \quad (2.20)$$

Tính đúng đắn của biểu thức nêu trên có thể thấy rõ trên cơ sở đối chiếu các đạo hàm riêng của hàm $Q(x, y, z)$ theo các thành phần tọa độ với các biểu thức của P_x , P_y , P_z trong (2.13).

3. Thế trọng trường

Hàm thế tương ứng với trọng lực được gọi là thế trọng trường và kí hiệu là $W(x, y, z)$. Cũng như trọng lực được hợp thành từ lực hấp dẫn và lực li tâm của Trái đất, thế trọng trường là kết quả tổng hợp của thế hấp dẫn và thế li tâm do Trái đất gây ra. Ta có:

$$W(x, y, z) = V^r(x, y, z) + Q(x, y, z) = G \int_{\tau} \int \int \frac{\delta(a, b, c)}{r} d\tau + \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2). \quad (2.21)$$

Thế trọng trường của Trái đất, như có thể thấy từ biểu thức (2.21), phụ thuộc vào mật độ phân bố vật chất trong lòng Trái đất, vào kích thước và hình dạng của Trái đất, vào tốc độ quay ngày đêm của nó. Chính mối quan hệ này được lấy làm nền tảng cho nguyên lí sử dụng số liệu trọng lực để nghiên cứu, xác định kích thước, hình dạng Trái đất mà ta sẽ có dịp tìm hiểu sâu trong các phần sau của Giáo trình này và các giáo trình có liên quan của lĩnh vực trắc địa cao cấp.

Thế trọng trường của Trái đất là hàm liên tục của tọa độ điểm xét trong toàn bộ không gian, kể cả ở bên ngoài và ở trong lòng Trái đất. Thành phần chính của thế trọng trường là thế hấp dẫn; Nó cũng là hàm liên tục trong toàn bộ không gian, nhưng giảm dần khi đi xa khỏi Trái đất và tiến tới bằng 0 ở vô cực.

Thành phần thứ hai của thế trọng trường là thế li tâm; Nó chỉ tồn tại đối với điểm xét có tham gia chuyển động quay ngày đêm cùng Trái đất, tức là phải gắn với Trái đất. Như vậy, miền tồn tại của thế li tâm và do đó miền tồn tại của thế trọng trường của Trái đất là hữu hạn.

Bây giờ ta hãy xét mối quan hệ giữa thế trọng trường và trọng lực. Với mục đích này ta lấy vi phân toàn phần của thế trọng trường:

$$dW(x, y, z) = \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial y} \cdot dy + \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial z} \cdot dz. \quad (2.22)$$

Đem chia cả hai vế của biểu thức trên cho vi phân khoảng cách theo hướng l bất kì, ta có:

$$\frac{dW(x, y, z)}{dl} = \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dl} + \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dl} + \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial z} \cdot \frac{dz}{dl}. \quad (2.23)$$

Lưu ý rằng

$$\frac{dx}{dl} = \cos(x, l), \quad \frac{dy}{dl} = \cos(y, l), \quad \frac{dz}{dl} = \cos(z, l), \quad \text{ta có thể viết lại (2.23) ở dạng:}$$

$$\frac{dW(x, y, z)}{dl} = \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial x} \cdot \cos(x, l) + \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial y} \cdot \cos(y, l) + \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial z} \cdot \cos(z, l) \quad (2.24)$$

Dựa trên cơ sở khái niệm về thế được thể hiện ở biểu thức (2.16), ta có

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial x} &= g_x; \\ \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial y} &= g_y; \\ \frac{\partial W(x, y, z)}{\partial z} &= g_z; \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

Nhưng g_x, g_y, g_z về bản chất là các thành phần hình chiếu của vectơ trọng lực g trên các trục tọa độ, tức là:

$$\left. \begin{aligned} g_x &= g \cos(g, x), \\ g_y &= g \cos(g, y), \\ g_z &= g \cos(g, z). \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

Sau khi thay (2.26), (2.25) vào (2.24), ta sẽ nhận được:

$$\begin{aligned} \frac{dW(x, y, z)}{dl} &= g \cos(g, x) \cdot \cos(x, l) + g \cos(g, y) \cdot \cos(y, l) + g \cos(g, z) \cdot \cos(z, l) = \\ &= g [\cos(g, x) \cos(x, l) + \cos(g, y) \cos(y, l) + \cos(g, z) \cos(z, l)] = g \cos(g, l) \end{aligned} \quad (2.27)$$

Biểu thức (2.27) cho thấy là đạo hàm của thế trọng trường theo hướng l bất kì chính bằng hình chiếu của trọng lực trên hướng ấy. Điều này cũng chỉ ra tính chất đặc trưng với mức độ khái quát cao hơn của khái niệm thế so với khái niệm lực. Ở các phần sau ta sẽ có dịp nhận thấy rằng các đại lượng đặc trưng khác của trường trọng lực của Trái đất chính là các đạo hàm các bậc khác nhau của thế trọng trường.

2.1.3. Đường sức và mặt đẳng thế trọng trường

Trường trọng lực hay trọng trường của Trái đất có nhiều đặc trưng khác nhau. Đó có thể là yếu tố hình học hay yếu tố vật lí, có yếu tố có thể nhận biết bằng trực giác của con người hoặc có thể đo đạc trực tiếp, có yếu tố chỉ có thể xác định gián tiếp thông qua tính toán. Trong số các đặc trưng của trọng trường Trái đất, trọng lực có thể được xem là đặc trưng chủ yếu và cơ bản nhất. Gắn với nó có hai đặc trưng khác được sử dụng rộng rãi từ rất sớm trong hoạt động của con người, đó là đường sức và mặt đẳng thế trọng trường. Trọng lực, như đã biết, là một đại lượng vectơ. Độ lớn hay cường độ của vectơ này chính là giá trị trọng lực được thể hiện theo thứ nguyên riêng, chẳng hạn như gal. Phương của trọng lực chính là phương của *đường dây dọi* vốn quen thuộc trong cuộc sống thường nhật của chúng ta. Phương này có xu thế chung là hội tụ về phía tâm Trái đất, nhưng không song song với nhau giữa các điểm xét khác nhau.

1. Đường sức

Đường cong không gian mà tại mỗi điểm liên tục trên đó vectơ trọng lực được chấp nhận là tiếp tuyến của đường cong sẽ được gọi là *đường sức trọng trường* hay đơn giản là *đường sức*.

Các kết quả khảo sát toán học cho thấy là đường sức trọng trường của Trái đất được biểu diễn bằng các hàm liên tục và phương của đường dây dọi thay đổi liên tục giữa các điểm xét. Phương của đường dây dọi cùng với phương của trục quay ngày đêm của Trái đất được sử dụng làm đường thẳng và mặt phẳng chính để thiết lập nên hai trong ba thành phần tọa độ không gian cơ bản trong thiên văn và trắc địa.

Phương của đường dây dọi hay phương của tiếp tuyến với đường sức chính là phương của trọng lực. Nó còn được gọi là *phương thẳng đứng*.

Độ lớn hay cường độ của trọng lực chính là đạo hàm của thế trọng trường theo phương thẳng đứng. Chiều của trọng lực hướng về phía tâm Trái đất, tức là hướng xuống phía dưới, nếu xét theo tư thế đứng thẳng của người quan sát. Lưu ý rằng vectơ cùng phương, nhưng ngược chiều với vectơ trọng lực được gọi là pháp tuyến ngoài và kí hiệu là n . Khi đó, tương ứng với (2.27) ta có:

$$\frac{dW(x, y, z)}{dn} = g \cos(g, n) = -g$$

$$\text{hay } g = -\frac{dW(x, y, z)}{dn}.$$
(2.28)

Đây là biểu thức cơ bản thể hiện mối quan hệ giữa trọng lực và thế trọng trường thực của Trái đất.

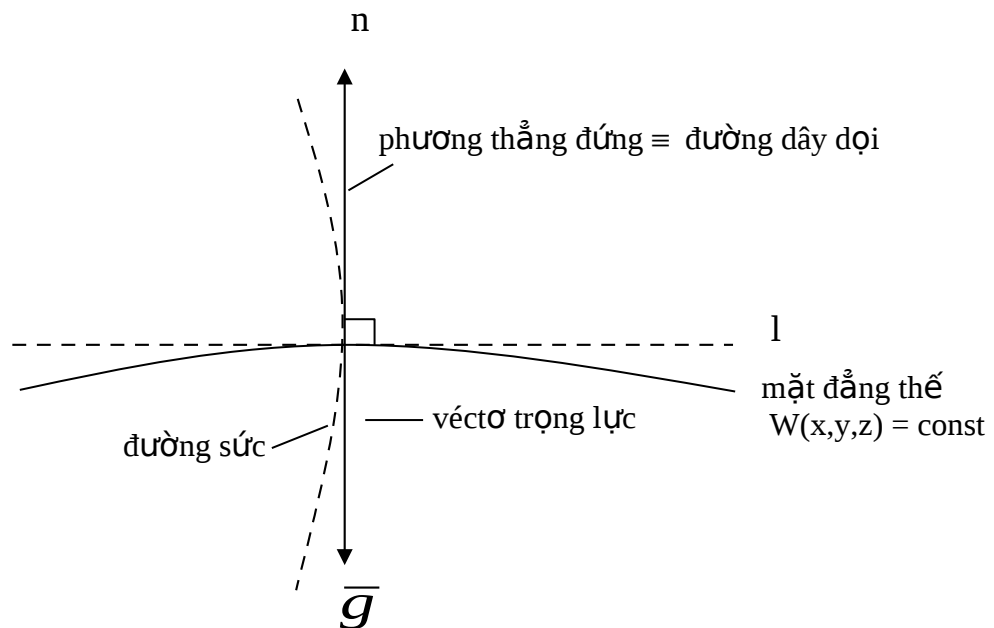
2. Mặt đẳng thế trọng trường

Nếu cho

$$W(x, y, z) = \text{const},$$
(2.29)

ta sẽ có phương trình của một bề mặt mà tại mọi điểm trên đó giá trị thế là như nhau. Bề mặt đó được gọi là *mặt đẳng thế trọng trường*.

Mặt nước hồ yên tĩnh, mặt nước sông, mặt biển không có sóng, gió đều có thể được xem là mặt đẳng thế trọng trường tự nhiên. Quay trở lại xét biểu thức (2.27), ta hãy cho góc giữa phương xét l và phương của trọng lực \bar{g} bằng 90° , tức là cho điểm xét dịch chuyển theo phương vuông góc với phương của trọng lực (hình 2.6)

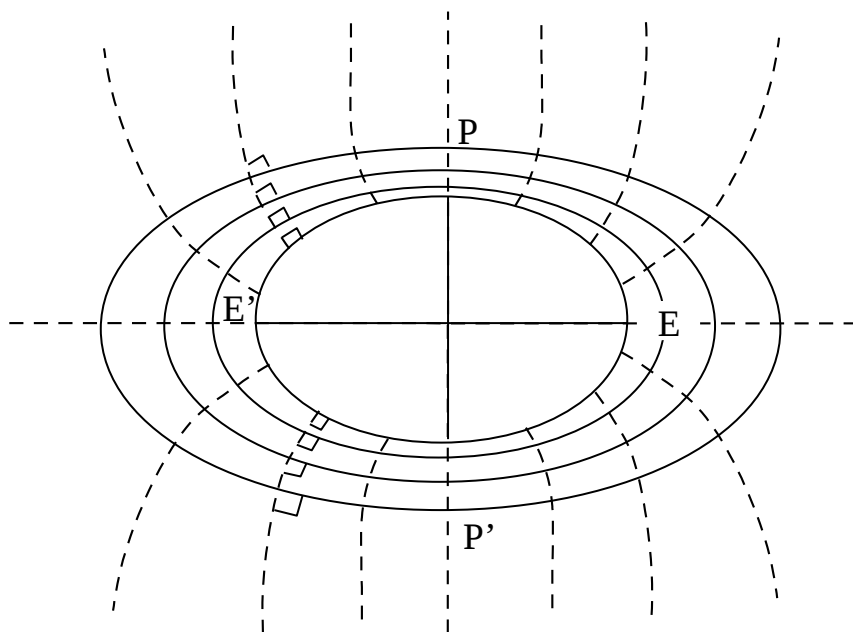


Hình 2.6. Vị trí tương hỗ giữa đường dây dọi và mặt đẳng thế

Khi đó, $\cos(g,l) = 0$ và do đó $dW(x,y,z) = 0$, suy ra $W(x,y,z) = \text{const}$. Điều này có nghĩa là khi điểm xét dịch chuyển về mọi phía, nhưng theo phương vuông góc với phương của trọng lực thì giá trị thế trọng trường trên đó sẽ không thay đổi. Nhưng, đó chính là trường hợp dịch chuyển trên mặt đẳng thế. Từ đây có thể suy ra rằng tại mọi điểm trên mặt đẳng thế trọng trường vectơ trọng lực luôn vuông góc với mặt này. Đây là kết luận quan trọng về vị trí tương hỗ giữa mặt đẳng thế và vectơ trọng lực.

Mặt phẳng tiếp xúc với mặt đẳng thế, tức vuông góc với phương thẳng đứng tại điểm xét, được gọi là *mặt phẳng nằm ngang* hay *mặt phẳng chân trời* của điểm xét. Đây là đường thẳng và mặt phẳng định hướng cơ bản trong các bài toán định vị không gian.

Nếu cho đại lượng const trong (2.29) các giá trị cụ thể khác nhau, ta sẽ có các mặt đẳng thế trọng trường khác nhau; Chúng hợp thành họ các mặt đẳng thế trọng trường. Các khảo sát toán học có liên quan cho thấy các mặt đẳng thế trọng trường của Trái đất là các bề mặt liên tục, khép kín và không giao cắt nhau. Các mặt đẳng thế trọng trường nói chung không song song với nhau, nhưng trên qui mô toàn cầu có xu thế xít lại nhau ở phía hai cực và dần tách ra ở phía xích đạo của Trái đất. Tương ứng, các đường sức luôn cắt các mặt đẳng thế theo phương vuông góc, nhưng luôn hướng về lõi của chúng về phía hai cực, như được mô tả trên hình 2.7.



Hình 2.7. Quang cảnh phân bố đường sức
và mặt đẳng thế trọng trường trên Trái đất

Trong vô số mặt đẳng thế trọng trường có một bề mặt rất cơ bản được Gauss C.F. (1777-1855) đề xuất với vai trò “hình dạng toán học của Trái đất” và sau đó được Listing đặt tên là geoid. Bề mặt này không trùng, nhưng rất gần với bề mặt trung bình yên tĩnh của các đại dương trên phạm vi toàn cầu. Giá trị thế trọng trường trên mặt geoid được kí hiệu là W_0 và thường được chấp nhận như giá trị thế trọng trường trên mặt biển trung bình của Trái đất.

2.2. Mối liên hệ giữa trọng trường và hình dạng Trái đất

2.2.1. Trọng trường chuẩn

Trường trọng lực hay trọng trường của Trái đất bao gồm và hàm chứa thế trọng trường với tư cách là thành phần chính (chủ yếu) cùng các thành phần khác là đạo hàm các bậc của thế trọng trường. Thế trọng trường thực của Trái đất được biểu diễn ở dạng tổng quát khá đơn giản (2.21), nhưng trên thực tế có cấu trúc rất phức tạp và không thể được mô tả bởi bất kì một hàm giải tích nào; Ở dạng chuỗi đó sẽ là tổng vô hạn các số hạng. Vì thế, để nghiên cứu xác định thế trọng trường và hình dạng thực của Trái đất, người ta đã sử dụng cách giải quyết hợp lí được thừa nhận rộng rãi từ lâu là tách ra một phần chính có thể xác định tương đối đơn giản, dễ dàng, rồi tập trung tìm kiếm phần còn lại vốn nhỏ hơn nhiều nên có thể coi là đại lượng tuyến tính để áp dụng các thủ pháp lược giản thích hợp cho phép.

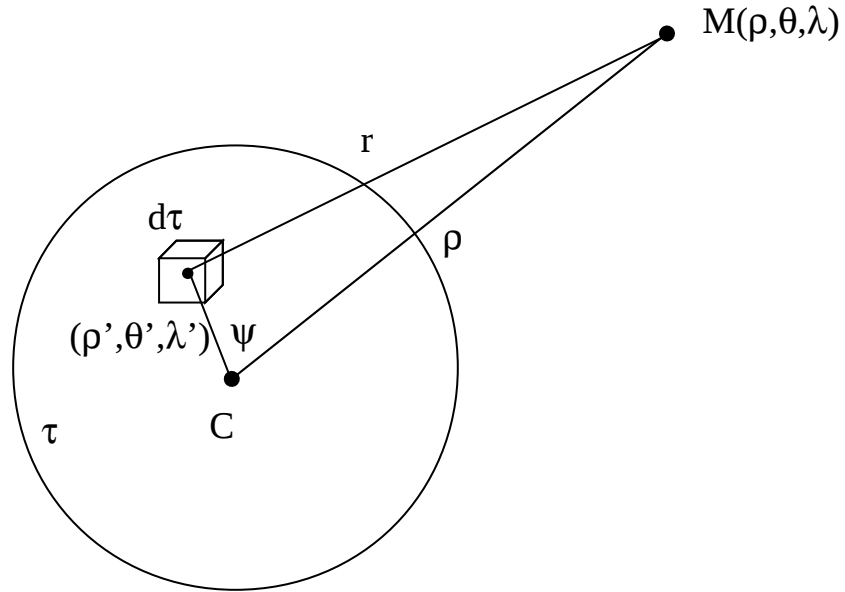
Thành phần chính đối với thế trọng trường nói đến ở đây là thế trọng trường chuẩn. Sau đây ta sẽ tìm hiểu các phương pháp chủ yếu trong việc xác định nó và đề cập đến các thông số cơ bản có liên quan.

1. Xác định trọng trường chuẩn theo phương pháp Laplace (1749 - 1827)

Theo phương pháp này thế trọng trường thực của Trái đất được biểu diễn ở dạng chuỗi vô hạn như sau:

$$W(\rho, \theta, \lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\rho^{n+1}} \left[\sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\theta) \right] \quad (2.30)$$

trong đó ρ, θ, λ là các yếu tố tọa độ mặt cầu của điểm xét (hình 2.8); $C_{nm}, S_{nm}, P_{nm}(\theta)$ là các hệ số điều hoà và đa thức Legendre liên hợp bậc n cấp m .



Hình 2.8. Trái đất và các yếu tố tọa độ mặt cầu

Mỗi hệ số điều hoà trong (2.30) có ý nghĩa vật lí cụ thể, chẳng hạn $C_{2,1}$, $S_{2,1}$, $S_{2,2}$ biểu diễn các tích quán tính và xác định hướng của các trục quán tính chủ yếu của Trái đất; $C_{2,2}$ phụ thuộc vào sự khác biệt giữa các mômen quán tính của Trái đất so với các trục tọa độ x,y trong mặt phẳng xích đạo và đặc trưng cho độ dẹt xích đạo của Trái đất:

$$D_2^0 = G \left(\frac{A+B}{2} - C \right),$$

trong đó A,B,C là các mômen quán tính của Trái đất so với các trục tọa độ x,y,z.

Bằng cách đặt gốc tọa độ trùng với tâm quán tính và cho các trục tọa độ trùng với các trục quán tính chủ yếu của Trái đất, ta sẽ có:

$$C_{1,0} = C_{1,1} = S_{1,1} = 0, \quad C_{2,1} = S_{2,1} = S_{2,2} = 0.$$

Nếu ta chỉ tính đến dạng cầu và độ dẹt cực của Trái đất và bỏ qua độ dẹt xích đạo cùng các số hạng bậc cao của chuỗi (2.29) thì thế trọng trường của Trái đất có dạng đơn giản hơn như sau:

$$W'(\rho, \theta, \lambda) = \frac{GM}{\rho} + \frac{G(A_m - C)}{\rho^2} \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) + \frac{\omega^2}{2} \rho^2 \sin^2 \theta, \quad (2.31)$$

trong đó $A_m = \frac{A+B}{2}$; M là khối lượng của Trái đất.

Biểu thức trên được lấy làm thành phần chính của thế trọng trường của Trái đất; Người ta gọi nó là *thế trọng trường chuẩn* và kí hiệu là $U(\rho, \theta, \lambda)$:

$$U(\rho, \theta, \lambda) = \frac{GM}{\rho} + \frac{G(A_m - C)}{\rho^3} \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) + \frac{\omega^2}{2} \rho^2 \sin^2 \theta. \quad (2.32)$$

Tương ứng ta sẽ có biểu thức của mặt đẳng thế trọng trường chuẩn ở dạng Sferoid mang tên Clairaut:

$$\rho = a \left[1 - \left\{ \frac{3(C - A_m)}{2Ma^2} + \frac{q}{2} \right\} \cos^2 \theta \right], \quad (2.33)$$

trong đó a là bán kính xích đạo, q là tỉ số giữa lực li tâm và trọng lực trên xích đạo.

Giá trị thế trọng trường chuẩn trên mặt đẳng thế chuẩn được biểu diễn như sau:

$$U_0 = \frac{GM}{a} - \frac{G(A_m - C)}{2a^3} + \frac{\omega^2 a^2}{2}. \quad (2.34)$$

Giá trị trọng lực ứng với trọng trường chuẩn được gọi là *trọng lực chuẩn* và kí hiệu là γ ; Ta có quan hệ:

$$\gamma = -\frac{\partial U}{\partial n'}, \quad (2.35)$$

trong đó n' là pháp tuyến với mặt đẳng thế chuẩn, hướng lên phía trên và ngược chiều với trọng lực chuẩn.

Ở ngay trên bề mặt Sferoid Clairaut trọng lực chuẩn được xác định theo công thức Clairaut:

$$\gamma_o = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 \varphi), \quad (2.36)$$

$$\text{trong đó } \varphi = 90^\circ - \theta; \beta = \frac{\gamma_p - \gamma_e}{\gamma_e}. \quad (2.37)$$

γ_p, γ_e là giá trị trọng lực chuẩn tại cực và tại xích đạo. Đại lượng β được gọi là độ dẹt trọng lực. Nó liên hệ với độ dẹt cực α theo biểu thức:

$$\alpha + \beta = \frac{5}{2} q. \quad (2.38)$$

2. Xác lập trọng trường chuẩn dựa trên định lí Stokes

Theo cách giải quyết trình bày ở mục trên, thế trọng trường chuẩn được tạo ra bằng cách chỉ giữ lại một số rất ít trong chuỗi vô hạn các số hạng của biểu thức triển khai thế trọng trường thực. Rõ ràng là để cho thế trọng trường chuẩn càng gần với thế trọng trường thực thì nó càng phải bao gồm nhiều số hạng, và do vậy biểu thức tương ứng càng phức tạp. Các hệ số điều hoà trong chuỗi (2.30) chỉ có thể

được xác định dựa trên số liệu đo đạc thực tế như: đo trọng lực, quan trắc vệ tinh nhân tạo của Trái đất (sau đây sẽ gọi là vệ tinh) v.v...; Bậc triển khai của chuỗi càng cao thì số liệu đo đạc ngày càng phải nhiều và càng phải chi tiết trên quy mô toàn bộ bề mặt Trái đất, song độ tin cậy của kết quả xác định chúng lại không cao như mong muốn. Vì vậy, người ta đã đề xuất cách giải quyết khác, ưu việt hơn dựa trên cơ sở sử dụng định lý Stokes. Theo định lý này, nếu biết mặt đẳng thế S của trọng trường, giá trị thế W_0 ở trên đó (hoặc là toàn bộ khối lượng vật chất M chứa trong mặt này) và thế li tâm Q thì thế trọng trường W và giá trị trọng lực g trên mặt S cũng như trong toàn bộ không gian bên ngoài S sẽ được xác định một cách đơn trị.

Ta hãy chọn mặt đẳng thế S có dạng ellipsoid trong xoay với bán trục lớn a , bán trục nhỏ b thoả mãn phương trình:

$$S = \frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} - 1 = 0. \quad (2.39)$$

Ở đây cần chú ý rằng việc sử dụng thế trọng trường chuẩn trong bài toán xác định thế trọng trường thực của Trái đất không phải là cách làm nhất thiết mang tính chất nguyên tắc. Thực ra, đã có một số tác giả đưa ra cách giải quyết không dùng đến trọng trường chuẩn. Song, thế trọng trường chuẩn cho phép giải quyết vấn đề một cách đơn giản, thuận tiện hơn, và do vậy ý nghĩa và vai trò của nó đã được thừa nhận rộng rãi. Nhưng cũng chính vì lí do này, trọng trường chuẩn cần được chọn sao cho càng đơn giản và càng phù hợp với trọng trường thực càng tốt. Như đã biết, bề mặt toán học tương đối đơn giản, nhưng rất gần với hình dạng chung của Trái đất là mặt ellipsoid tròn xoay. Đây là cơ sở của việc đề xuất biểu thức toán học (2.39) cho mặt đẳng thế S đã nêu ở trên.

Kết quả xác định thế trọng trường chuẩn trên cơ sở định lý Stokes đối với mặt đẳng thế chuẩn dạng ellipsoid tròn xoay (2.39) sẽ cho ta các biểu thức sau (bỏ qua phần chứng minh, biến đổi):

Thế trọng trường chuẩn trên mặt ellipsoid chuẩn:

$$\gamma_e = \frac{GM}{a} \left(1 + \frac{\bar{m}}{2} + \frac{1}{2} I_2 + \frac{27}{40} J_2^2 + \frac{9}{70} \bar{m} I_2 - \frac{9}{280} \bar{m}^2 + \dots \right). \quad (2.40)$$

Trọng lực trên mặt ellipsoid chuẩn:

$$\gamma_o = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 \beta - \beta_1 \sin^2 2B). \quad (2.41)$$

Trọng lực tại xích đạo trên mặt ellipsoid chuẩn:

$$\gamma_e = \frac{GM}{a^2} \left(1 - \bar{m} + \frac{3}{2} I_2 + \frac{27}{8} I_2^2 + \frac{9}{14} \bar{m} I_2 - \frac{9}{56} \bar{m}^2 + \dots \right). \quad (2.42)$$

Độ dẹt trọng lực:

$$\beta = 2\bar{m} - \frac{3}{2} I_2 - \frac{9}{8} I_2^2 - \frac{75}{14} \bar{m} I_2 + \frac{117}{56} \bar{m}^2 + \dots \quad (2.43)$$

Độ dẹt cực:

$$\alpha = \frac{3}{2} I_2 + \frac{1}{2} \bar{m} + \frac{9}{8} I_2^2 - \frac{3}{14} \bar{m} I_2 - \frac{11}{56} \bar{m}^2 + \dots \quad (2.44)$$

Hệ số β_1 :

$$\beta_1 = -\frac{9}{32} I_2^2 + \frac{3}{4} \bar{m} I_2 + \frac{9}{32} \bar{m}^2 + \dots \quad (2.45)$$

Trong các biểu thức trên \bar{m} là đại lượng được xác định như sau:

$$\bar{m} = \frac{\omega^2 a^3}{GM}. \quad (2.46)$$

I_2 được gọi là *hệ số điều hoà đối bậc hai* của thế trọng trường; Nó liên hệ với hệ số điều hoà bậc 2 cấp 0 là $C_{2,0}$ của thế trọng trường thực trong biểu thức (2.29) theo quan hệ: $I_2 = -C_{2,0}$.

Trong các thông số đặc trưng cho thế trọng trường chuẩn chỉ có 4 thông số độc lập. Chúng được gọi là 4 thông số cơ bản và trong những năm gần đây được chấp nhận bao gồm: Bán trục lớn của ellipsoid chuẩn a ; Độ dẹt cực của ellipsoid chuẩn α ; Hằng số trọng trường địa tâm GM ; Tốc độ góc của Trái đất ω . Ứng với một trong các Hệ thống trắc địa toàn cầu mới nhất của Trái đất là hệ WGS-84 ta có:

$$a = 6378137 \text{ m};$$

$$\alpha = 1/298,257223563;$$

$$GM = 3986004,418.10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2;$$

$$\omega = 7292115.10^{-11} \text{ rad/s}.$$

2.2.2. Thế nhiễu, dị thường độ cao

1. Thế nhiễu

Ứng với Trái đất có thế trọng trường thực W . Bằng các cách khác nhau như đã xét ở mục trên ta có thể tạo ra được thế trọng trường chuẩn U . Đại lượng chênh lệch giữa W và U được gọi là *thế nhiễu* và kí hiệu là T . (Gần đây trong một số tài liệu nước ngoài thế nhiễu T còn có tên là *thế dị thường*). Ta có:

$$T = W - U. \quad (2.47)$$

Tuỳ thuộc vào kết quả chọn thể chuẩn U , thể nhiều T sẽ đạt độ lớn nhỏ khác nhau ít nhiều; Song, nói chung T là đại lượng nhỏ so với W , mà cụ thể là

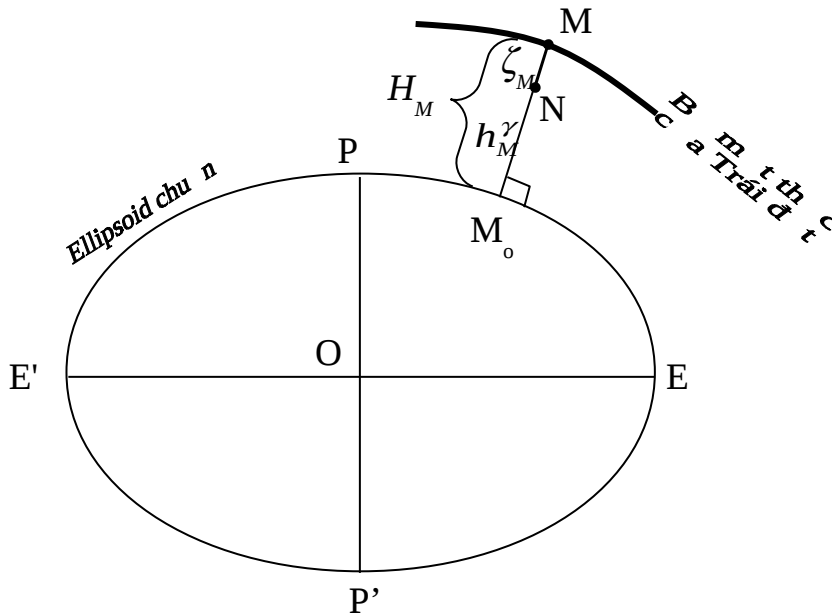
$\left| \frac{T}{W} \right| \leq 1,6 \cdot 10^{-5}$. Chính vì T là đại lượng nhỏ, nên trong lí thuyết xác định Trái đất người ta thường chỉ xét đến thành phần tuyến tính và bỏ qua các thành phần nhỏ

như: T^2 , $T \cdot \frac{dT}{dl}$, v.v... và nhờ vậy các chứng minh, biến đổi toán học có liên quan sẽ đơn giản và nhẹ nhàng hơn nhiều. Như vậy, bài toán nghiên cứu xác định thể trọng trường thực vốn rất công kềnh, phức tạp được quy về mục tiêu với đối tượng gọn nhẹ hơn trên cơ sở biểu thức rút ra từ (2.47) là:

$$W = U + T. \quad (2.48)$$

Tương ứng, bề mặt thực hay bề mặt tự nhiên của Trái đất sẽ được hoàn toàn xác định, nếu tìm được khoảng chênh giữa nó và mặt ellipsoid chuẩn đã chọn trước ở bước xác lập trọng trường chuẩn.

2. Dị thường độ cao



Hình 2.9. Các thành phần độ cao

Ta hãy coi ellipsoid chuẩn được chọn làm mặt đẳng thế chuẩn cơ bản của Trái đất đồng thời là ellipsoid thực dụng được lấy làm mặt khởi tính trong trắc địa. Khi

đó độ cao của điểm xét M trên bề mặt thực của Trái đất tính từ mặt ellipsoid chuẩn theo pháp tuyến của nó hạ từ điểm xét được gọi là *độ cao trắc địa* và kí hiệu là H_M .

Bây giờ ta hình dung có điểm N ở phía dưới, nhưng cùng nằm trên pháp tuyến với ellipsoid chuẩn hạ từ điểm M trên mặt đất mà tại đó giá trị trọng lực chuẩn γ_N bằng giá trị trọng lực thực g_M . Khi đó độ cao trắc địa của N, tức đoạn pháp tuyến NM_0 , được gọi là *độ cao chuẩn* của điểm M và kí hiệu là h_M^γ . Đoạn MN được gọi là *dị thường độ cao* và được kí hiệu là ζ_M . Từ hình 2.9 ta có ngay quan hệ:

$$H_M = h_M^\gamma + \zeta_M. \quad (2.49)$$

$$\zeta_M = H_M - h_M^\gamma. \quad (2.50)$$

Điều này có nghĩa là: dị thường độ cao là khoảng chênh giữa độ cao trắc địa và độ cao chuẩn hay là đại lượng cần thêm vào độ cao chuẩn để có được độ cao trắc địa của điểm xét.

Dị thường độ cao là một trong các đặc trưng chính của thể nhiều. Nó có thể được xác định trực tiếp từ thể nhiều theo định lí Bruns:

$$\zeta_M = \frac{T_M}{\gamma_N}. \quad (2.51)$$

Trong khi bán kính R của Trái đất có giá trị trung bình cỡ 6000 km thì trên phạm vi Trái đất dị thường độ cao ζ chỉ đạt giá trị tối đa là 150 m. Như vậy, $\left| \frac{\zeta}{R} \right| \leq 2,5 \cdot 10^{-5}$,

tức là cùng cỡ với $\left| \frac{T}{W} \right|$.

3. Dị thường trọng lực

Như đã biết, ứng với trọng trường thực có trọng lực thực, còn ứng với trọng trường chuẩn có trọng lực chuẩn. Trọng lực là đại lượng véctơ, có độ lớn và có hướng. Độ lớn của véctơ trọng lực thực được kí hiệu là g , độ lớn của véctơ trọng lực chuẩn được kí hiệu là γ . Đại lượng chênh khác giữa g và γ được gọi là *dị thường trọng lực* và thường được kí hiệu là Δg ;

Ta có:

$$\Delta g = g - \gamma \quad (2.52)$$

Trên thực tế, cho đến nay chưa có máy móc, phương tiện nào có thể đo được giá trị thế trọng trường. Song, từ lâu người ta đã xác định được giá trị trọng lực thực

bằng các phép đo trực tiếp, chẳng hạn Galilei G. đã nhận được giá trị trọng lực đầu tiên trên Trái đất bằng cách đo thời gian rơi tự do của một vật nặng từ độ cao đã biết của tháp nghiêng Pisa nổi tiếng. Giá trị trọng lực chuẩn có thể được tính ra theo công thức có sẵn tương ứng với mô hình trọng trường chuẩn chọn trước. Như vậy, dị thường trọng lực là đặc trưng bằng số cho độ chênh khác giữa thế trọng trường thực và thế trọng trường chuẩn, tức là cho thể nhiễu; Điều quan trọng là đặc trưng này có thể được xác định từ kết quả đo đạc thực tế ngay trên Trái đất. Cùng với sự phát triển của phương pháp và thiết bị đo trọng lực (cả ở trên mặt đất, trên biển và trên không) cho đến nay dị thường trọng lực vẫn được xem là số liệu trọng lực cơ bản nhất, dễ tiếp cận nhất để đáp ứng mục đích nghiên cứu xác định thế trọng trường và hình dạng của Trái đất cũng như giải quyết các bài toán khoa học - kỹ thuật và an ninh, quốc phòng khác nhau.

Tuỳ thuộc vào giá trị g và γ đem so sánh với nhau, dị thường trọng lực được chia làm các loại như sau:

- Dị thường trọng lực thuần túy

Đây là trường hợp giá trị trọng lực thực g được đo tại điểm xét M trên mặt đất và giá trị trọng lực chuẩn cũng được tính ra cho chính điều đó; Ta có:

$$\Delta g_{\text{thuần túy},M} = g_M - \gamma_M. \quad (2.53)$$

Do bề mặt tự nhiên của Trái đất vẫn đang còn là đối tượng cần xác định trong bài toán nghiên cứu xác định thế trọng trường và hình dạng của Trái đất và do vậy độ cao trắc địa H_M của điểm xét chưa xác định, nên không thể tính chính xác giá trị γ_M của dị thường trọng lực thuần túy. Song, cùng với sự ra đời của công nghệ GPS, trở ngại nêu trên đã được khắc phục về nguyên tắc. Do đó, hiện nay và trong thời gian tới dị thường trọng lực thuần túy sẽ được sử dụng ngày càng rộng rãi và có hiệu quả. Gần đây loại dị thường trọng lực này được đề cập đến nhiều với tên gọi là "nhiều trọng lực".

- Dị thường trọng lực hỗn hợp

Bằng các phương pháp đo đạc truyền thống mà cụ thể là từ kết quả đo cao hình học kết hợp với đo trọng lực dọc tuyến đo cao ta có thể xác định được độ cao chuẩn h_M^γ của điểm xét M (chi tiết cụ thể được trình bày trong giáo trình Trắc địa lý thuyết). Trên cơ sở đó ta sẽ tính được giá trị trọng lực chuẩn tại điểm N tương ứng với điểm xét M trên mặt đất. Bây giờ, đem giá trị trọng lực chuẩn nhận được cho

điểm N so sánh với giá trị trọng lực thực đo được tại điểm M, ta sẽ có giá trị dị thường trọng lực hỗn hợp:

$$\Delta g_{\text{hỗn hợp},M} = g_M - \gamma_N. \quad (2.54)$$

Do giá trị trọng lực chuẩn tại N có thể được tính với các số hiệu chỉnh khác nhau, nên $\Delta g_{\text{hỗn hợp}}$ sẽ được phân biệt thành hai loại như sau:

+ Dị thường trọng lực (hỗn hợp) chân không, hay đơn giản là dị thường chân không

Trong trường hợp này γ_N được tính theo biểu thức:

$$\gamma_N = \gamma_{O,N} - 0,3086.h_M^\gamma, \quad (2.55)$$

trong đó $\gamma_{O,N}$ là giá trị trọng lực chuẩn trên mặt ellipsoid chuẩn tại điểm nằm trên cùng một pháp tuyến hạ từ M, được tính theo công thức (2.41) với độ vĩ của điểm M, tức là

$$\gamma_{O,N} = \gamma_e (1 + \beta_1 \sin^2 B_M - \beta_2 \sin^2 2B_M). \quad (2.56)$$

Số hạng thứ hai trong (2.55) được gọi là số hiệu chỉnh chân không. Tương ứng, giá trị dị thường trọng lực hỗn hợp tính theo biểu thức dưới đây có tên là dị thường trọng lực chân không hay dị thường chân không:

$$\Delta g_{\text{chân không},M} = g_M - \gamma_{O,N} + 0,3086.h_M^\gamma. \quad (2.57)$$

+ Dị thường trọng lực (hỗn hợp) Bouguer hay đơn giản là dị thường Bouguer

Lớp vật chất nằm giữa mặt đất cắt ngang điểm xét M và mặt biển trung bình được gọi là lớp trung gian. Lực hút (lực hấp dẫn) của nó được tính theo biểu thức:

$$\delta g = 0,0418\delta.h^\gamma, \quad (2.58)$$

trong đó δ là mật độ vật chất của lớp trung gian. Với giá trị trung bình của δ bằng $2,67\text{g/cm}^3$ ta có $\delta g \approx 0,1116.h^\gamma$. Bằng cách loại bỏ ảnh hưởng này khỏi giá trị dị thường trọng lực chân không, ta sẽ nhận được dị thường trọng lực Bouguer:

$$\Delta g_{\text{Bouguer},M} = \Delta g_{\text{chân không},M} - 0,1116.h_M^\gamma. \quad (2.59)$$

Để đáp ứng yêu cầu nghiên cứu xác định thể trọng trường và hình dạng Trái đất, tức là để phục vụ mục đích trắc địa, người ta sử dụng dị thường chân không là chủ yếu. Trong khi đó dị thường Bouguer lại rất hữu hiệu đối với các bài toán địa vật lí.

Giữa dị thường trọng lực chân không và thể nhiều có mối liên hệ ở dạng phương trình vi phân với tên gọi là điều kiện biên trị của thể nhiều:

$$-\frac{\partial T}{\partial h} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T = \Delta g, \quad (2.60)$$

trong đó Δg là dị thường trọng lực (hỗn hợp) chân không; h là độ cao, có chiều tính từ mặt ellipsoid chuẩn ngược lên theo pháp tuyến của nó.

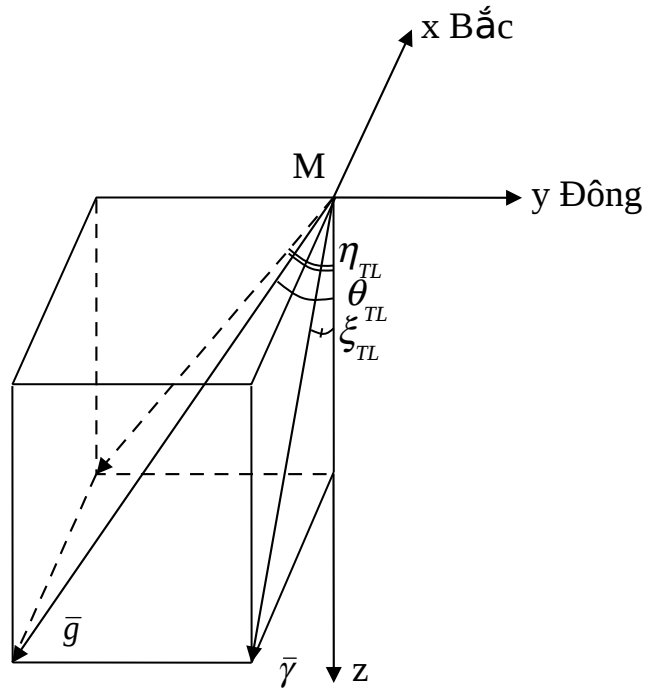
Giá trị Δg cần được cho trên toàn bộ bề mặt Trái đất. Kết quả giải phương trình (2.60) chính là thế nhiễu T cần tìm để từ đó sẽ có được thế trọng trường thực W .

4. Độ lệch dây dọi

Trọng lực thực và trọng lực chuẩn không chỉ chênh khác nhau về độ lớn hay trị số tuyệt đối được thể hiện thông qua dị thường trọng lực như đã xem xét ở mục trước, mà còn có phương không trùng nhau. Góc lệch giữa phương của vectơ trọng lực thực \vec{g} và phương của vectơ trọng lực chuẩn $\vec{\gamma}$ tại điểm xét được gọi là độ lệch dây dọi trọng lực toàn phần tại điểm này và kí hiệu là θ_{TL} .

Độ lệch dây dọi trọng lực toàn phần thường được tách thành hai thành phần bằng cách chiếu lên mặt phẳng kinh tuyến và mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất của điểm xét.

Với mục đích này ta chọn hệ tọa độ vuông góc có gốc tọa độ đặt tại điểm xét M , trục z hướng xuống dưới theo chiều của vectơ trọng lực chuẩn $\vec{\gamma}$, trục x hướng về phía Bắc theo phương tiếp tuyến với cung kinh tuyến đi qua M , trục y hướng vuông góc với trục x về phía Đông. Khi đó hình chiếu của θ_{TL} , trong mặt phẳng kinh tuyến là ξ_{TL} , hình chiếu trong mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất là η_{TL} (hình 2.10).



Hình 2.10. Độ lệch dây dọi trọng lực và các thành phần của nó

Cũng như dị thường trọng lực và dị thường độ cao, độ lệch dây dọi trọng lực là một đặc trưng khác của thể nhiễu, và do vậy giữa chúng phải có mối liên hệ toán học tương ứng. Ta có các biểu thức sau:

$$\left. \begin{aligned} \xi_{TL} &= -\frac{1}{\gamma} \frac{\partial T}{\partial x}, \\ \eta_{TL} &= -\frac{1}{\gamma} \frac{\partial T}{\partial y}, \end{aligned} \right\} \quad (2.61)$$

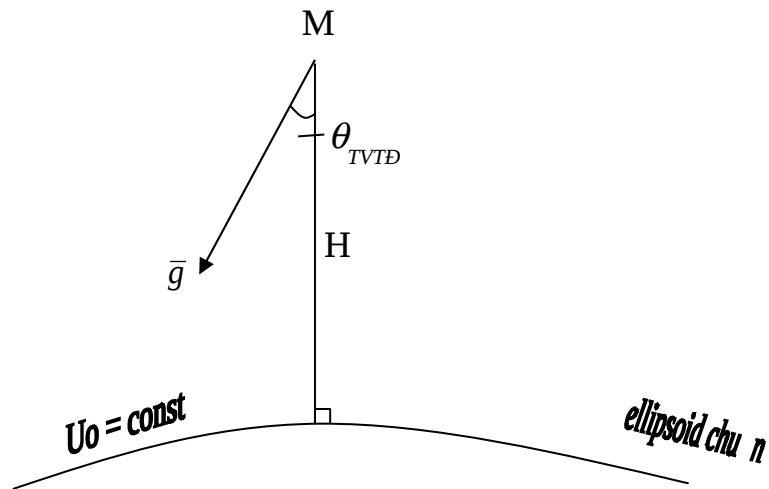
hay

$$\left. \begin{aligned} \xi_{TL} &= -\frac{1}{\gamma \cdot R} \frac{\partial T}{\partial B}, \\ \eta_{TL} &= -\frac{1}{\gamma \cdot R \cos B} \frac{\partial T}{\partial L}, \end{aligned} \right\} \quad (2.62)$$

trong đó x và y là các thành phần tọa độ vuông góc không gian, B và L là các thành phần tọa độ trắc địa mặt cầu của điểm xét; R là bán kính trung bình, γ là giá trị trọng lực chuẩn trung bình của Trái đất.

Nếu thay cho phương của vectơ trọng lực chuẩn ta lại xét phương của đường pháp tuyến hạ từ điểm xét xuống mặt ellipsoid chuẩn, khi đó ta sẽ có một loại độ lệch dây dọi khác được gọi là độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa. Đó là góc lệch

$\theta_{TVTĐ}$ giữa phương của đường dây dọi và phương của pháp tuyến với ellipsoid chuẩn hạ từ điểm xét (hình 2.11).



Hình 2.11. Độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa

Tương ứng với nó cũng sẽ có thành phần độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa trong mặt phẳng kinh tuyến $\xi_{TVTĐ}$ và thành phần độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa trong mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất $\eta_{TVTĐ}$.

Để dàng nhận thấy là độ lệch dây dọi trọng lực tại một điểm xét cho trước không bằng độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa tại đó, do phương của vectơ trọng lực chuẩn nói chung không trùng với phương pháp tuyến của mặt ellipsoid chuẩn ứng với cùng một điểm.

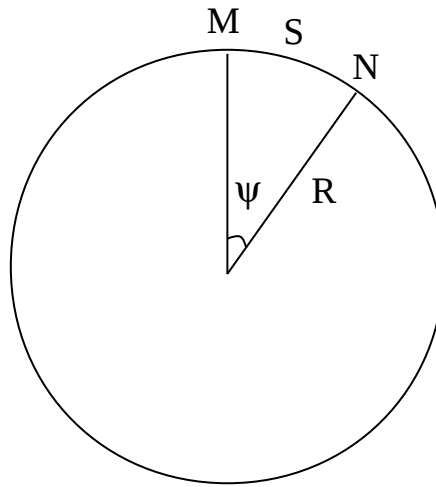
Độ lệch dây dọi cùng dị thường độ cao là các đặc trưng thiết yếu của thế trọng trường Trái đất được sử dụng rộng rãi trong các bài toán trắc địa đòi hỏi độ chính xác cao. Không những thế, nếu lưu ý rằng dị thường độ cao là khoảng chênh giữa mặt đất thực cần xác định và bề mặt nằm cách mặt ellipsoid chuẩn được chọn trước một khoảng có thể xác định được là độ cao chuẩn, còn độ lệch dây dọi về thực chất là góc nghiêng giữa mặt đẳng thế trọng trường thực và mặt đẳng thế chuẩn, ta có thể nhận rõ mối liên hệ mật thiết và ảnh hưởng qua lại quan trọng giữa thế trọng trường và hình dạng của Trái đất.

2.3. Các nguyên lí xác định hình dạng, kích thước Trái đất

2.3.1. Xác định theo số liệu thiên văn - trắc địa

Ở dạng khái quát nhất hình dạng toán học của Trái đất được xem là khối cầu với bán kính R . Giữa cung S và góc ở tâm ψ có mối liên hệ:

$$S = R \cdot \psi. \quad (2.63)$$



Hình 2.12. Nguyên lí đo cung độ

Từ đây ta rút ra:

$$R = \frac{S}{\psi}. \quad (2.64)$$

Như vậy, nếu đo được chiều dài cung S giữa hai điểm trên bề mặt Trái đất và xác định được góc ψ tương ứng cung đó, ta có thể tính được bán kính Trái đất (hình 2.12). Việc xác định bán kính Trái đất theo cách nêu trên, như đã biết, có tên trong trắc địa là đo cung độ. Đây là nguyên lí cơ bản và cũng là phương án triển khai đầu tiên của lí thuyết sử dụng số liệu thiên văn và số liệu trắc địa để nghiên cứu xác định kích thước, hình dạng của Trái đất. Phương pháp đo cung độ tiếp tục được phát triển để xác định hai tham số của bề mặt đặc trưng sát thực hơn của Trái đất ở dạng ellipsoid tròn xoay cũng như định các yếu tố định vị của khối ellipsoid đó trong lòng Trái đất

Lý thuyết của phương pháp đo cung độ trong trường hợp này được xây dựng trên cơ sở là chiều dài cung kinh tuyến hay cung vĩ tuyến cũng như bất kỳ cung nào trên mặt ellipsoid đều là hàm số của các yếu tố kích thước và hình dạng của nó và có thể được biểu diễn thông qua tọa độ thiên văn và tọa độ trắc địa của các điểm ở hai đầu cung, chẳng hạn ta có các biểu thức sau:

- Đối với cung kinh tuyến

$$\xi_i = \xi_A + (B_i - B_A) - \frac{\Delta a}{a} - \Delta e^2 \sum_{i1}^i (B_i - B_{i-1}) \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos 2B_m \right) + l_i^\xi, \quad (2.65)$$

$$l_i^\xi = (\varphi_i - B_i^0) - (\varphi_A - B_A^0).$$

- Đối với cung vĩ tuyến

$$\eta_i = \eta_A + (L_i - L_A) \cos B_A \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{1}{2} \Delta e^2 \sin^2 B_A \right) + l_i^\eta, \quad (2.66)$$

$$l_i^\eta = (\lambda_i - \lambda_A - L_i^0 - L_A^0) \cos B_A.$$

Trong các biểu thức trên B, L là kí hiệu của toạ độ trắc địa; φ, λ là kí hiệu của toạ độ thiên văn; Chỉ số A ở dưới là kí hiệu chỉ điểm khởi đầu, còn chỉ số 0 ở trên là kí hiệu chỉ giá trị gần đúng của các đại lượng có liên quan; a, e là bán trục lớn và tâm sai thứ nhất của ellipsoid, còn $\Delta a, \Delta e$ là các số hiệu chỉnh của chúng; ξ, η là các thành phần độ lệch dây dọi.

Trong trường hợp có nhiều cung kinh tuyến và cung vĩ tuyến ta sẽ có hệ các phương trình dạng (2.65) và (2.66) với các ẩn số $\Delta a, \Delta e, \xi_A, \eta_A$. Chúng sẽ được giải theo nguyên lí bình phương nhỏ nhất với các điều kiện:

$$\sum \xi_i^2 = \min, \sum \eta_i^2 = \min.$$

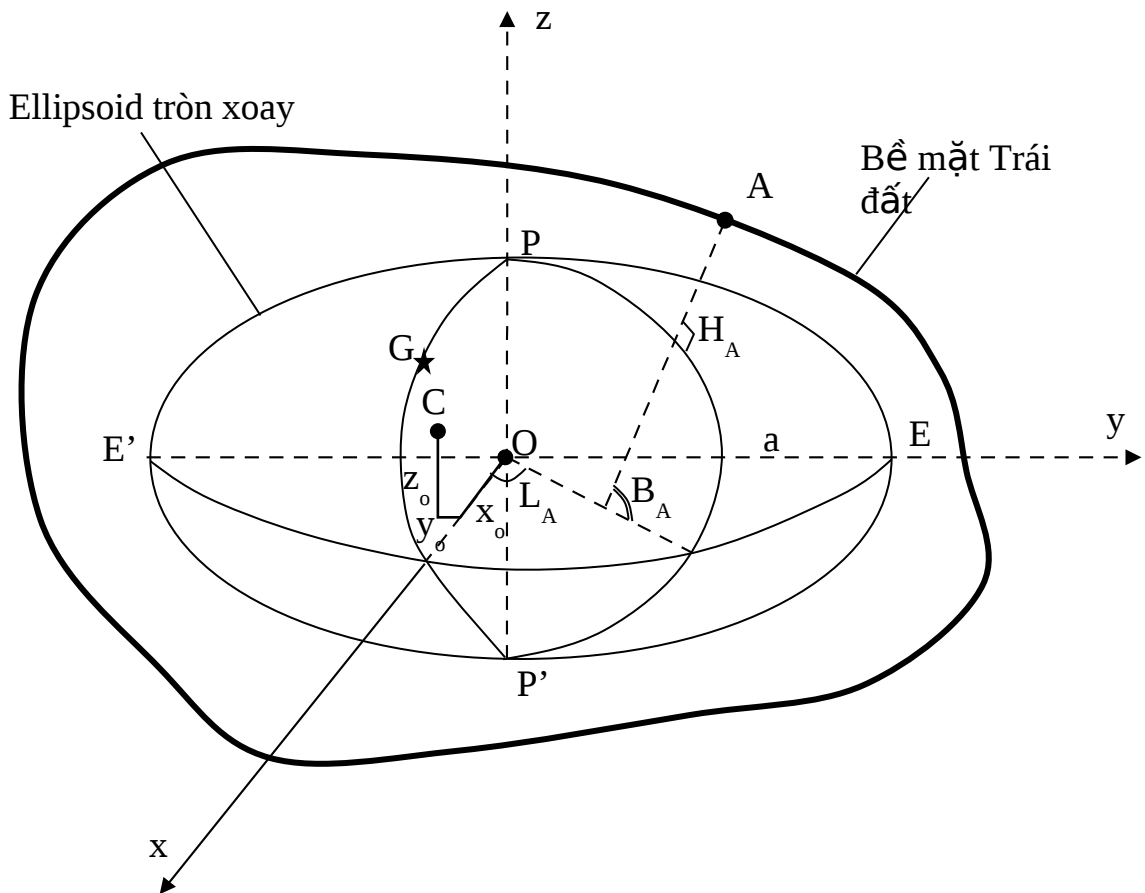
Khi đó ta sẽ có các yếu tố kích thước, hình dạng cần tìm của ellipsoid là:

$$a = a_0 + \Delta a, e = e_0 + \Delta e$$

và toạ độ trắc địa của điểm khởi đầu là:

$$\left. \begin{aligned} B_A &= \varphi_A - \xi_A \\ L_A &= \lambda_A - \eta_A \sec B_A \end{aligned} \right\} \quad (2.67)$$

Toạ độ trắc địa B_A, L_A của điểm khởi đầu A đóng vai trò là yếu tố định vị của ellipsoid, tức là tương ứng với chúng ellipsoid đã có một vị trí xác định cụ thể trong lòng Trái đất.



Hình 2.13. Ellipsoid tròn xoay với tâm hình học O
định vị trong lòng Trái đất với tâm quán tính C

Bằng cách sử dụng phương pháp đo cung độ như trình bày ở trên người ta đã xác định được kích thước cho một số ellipsoid được chấp nhận sử dụng chung ở nhiều vùng lãnh thổ cũng như trên qui mô toàn cầu. Sau khi có được ellipsoid với bán trục lớn, độ dẹt và các yếu tố định vị xác định trong lòng Trái đất, ta có thể sử dụng bề mặt của nó làm bề mặt khởi tính để xử lý các số liệu đo đạc nhận được trong các mạng lưới trắc địa phát triển trên mặt đất, đồng thời xác định chính bề mặt thực của Trái đất theo một dạng đo đạc đặc biệt có tên là đo cao thiên văn dựa trên tọa độ thiên văn (φ, λ) và tọa độ trắc địa (B, L) của các điểm đo ngay trên bề mặt đó theo công thức:

$$dH = dh - \theta_{IVTD} \cdot dl_H, \quad (2.68)$$

trong đó

$$\theta_{IVTD} = \xi_{IVTD} \cos \alpha + \eta_{IVTD} \sin \alpha; \quad (2.69)$$

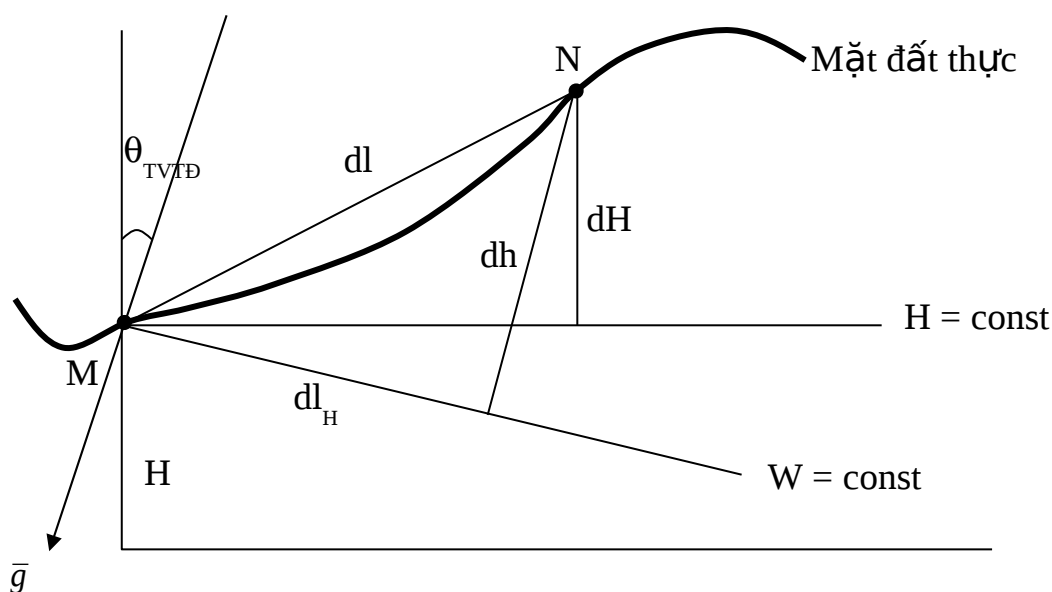
$$\left. \begin{aligned} \xi_{IVTD} &= \varphi - B; \\ \eta_{IVTD} &= (\lambda - L) \cos B; \end{aligned} \right\}; \quad (2.70)$$

α là phương vị của tuyến đo, dl_H là vi phân khoảng cách nằm ngang giữa hai điểm xét kề nhau trên tuyến đo, còn dh là vi phân chênh cao tính theo phương thẳng đứng giữa chúng (hình 2.14). Đại lượng dh có thể được xác định bằng đo thủy chuẩn.

dH chính là vi phân độ cao trắc địa giữa hai điểm xét kề nhau. Nếu M là điểm xuất phát có độ cao trắc địa đã biết, khi đó với dH xác định được theo (2.68) giữa điểm M và điểm N liền kề, độ cao trắc địa của N sẽ được tính theo biểu thức sau:

$$H_M = H_N + dH. \quad (2.71)$$

Bằng cách phát triển tuyến đo liên tiếp như thế, ta sẽ nhận được độ cao trắc địa của bất kỳ điểm xét nào so với mặt ellipsoid đã chọn, tức là hoàn toàn xác định được bề mặt tự nhiên của Trái đất.



Hình 2.14. Đo cao thiên văn

Thực ra, độ cao trắc địa thường được tách thành hai thành phần trong đó một thành phần là độ cao so với mặt geoid (hay mặt biển trung bình) và thành phần còn lại là độ cao của mặt geoid so với mặt ellipsoid. Thành phần thứ nhất được xác định từ kết quả đo thủy chuẩn và có thể coi là đại lượng đã biết. Vì thế, bài toán xác định độ cao trắc địa sẽ được quy về việc xác định thành phần thứ hai. Khi đó, người ta cũng sử dụng công tác đo cao thiên văn, nhưng để tìm độ cao của mặt geoid so với mặt ellipsoid. Tương ứng, ta có dạng đo đạc với tên gọi là đo cao thiên văn để xác

định mặt geoid. Kết quả cuối cùng, như ta có thể nhận ra, vẫn lại là mặt đất thực cần xác định.

Trên thực tế, đo cao thiên văn để xác định trực tiếp mặt đất thực hay gián tiếp thông qua mặt geoid là dạng công tác trắc địa đặc biệt trong đó phải đo thiên văn với mật độ điểm rất dày (chẳng hạn, khoảng cách giữa các điểm liền kề có thể chỉ là 5 - 7 km, thậm chí 1 - 2 km và nhỏ hơn) và do vậy thường rất tốn kém. Để làm giảm số lượng điểm thiên văn cần đo, tức là giảm chi phí của dạng đo đạc này, người ta có sử dụng thêm số liệu trọng lực và trên cơ sở đó đã đề xuất phương pháp đo cao thiên văn - trọng lực. Song về bản chất, cách giải quyết nêu trên chỉ sử dụng kết quả đo thiên văn và đo trắc địa là chủ yếu. Cũng chính vì vậy, phương pháp xác định kích thước, hình dạng Trái đất được xét ở mục này có tên là phương pháp thiên văn - trắc địa.

2.3.2. Xác định theo số liệu trọng lực

Một trong các đặc trưng cơ bản của trọng lực - phương của nó - đã được lấy làm phương định hướng chủ yếu trong thiên văn và trong trắc địa. Độ vĩ, độ kinh thiên văn được xây dựng trên cơ sở sử dụng phương này. Độ lệch giữa phương của vectơ trọng lực và phương của pháp tuyến với mặt ellipsoid thực dụng - độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa đã được tính đến trong các phương trình đo cung độ. Như vậy là ở một mức độ nhất định yếu tố trọng lực đã tham gia vào nhiệm vụ nghiên cứu xác định kích thước, hình dạng Trái đất, nhưng mới chỉ đóng vai trò phối hợp thông qua đặc trưng hình học của nó. Ý nghĩa và tác dụng to lớn hơn nhiều của trọng lực trong bài toán về kết cấu hình học của Trái đất đã được chỉ ra trên cơ sở các công trình nghiên cứu của Clairaut A.K. thông qua định lí nổi tiếng của ông về sự thay đổi của giá trị trọng lực trên bề mặt Trái đất phụ thuộc vào độ dẹt của nó và vào độ vĩ của điểm xét với hai biểu thức toán học cơ bản như sau:

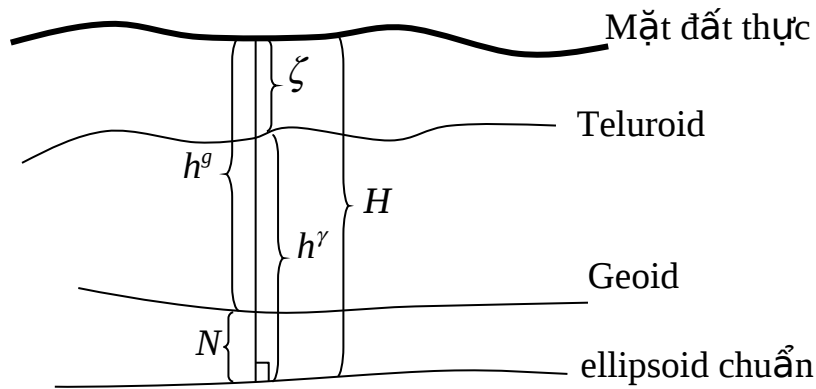
$$g_{\varphi} = g_e + (g_p - g_e) \sin^2 \varphi; \quad (2.72)$$

$$\frac{g_p - g_e}{g_e} = \beta = \frac{5}{2} q - \alpha, \quad (2.73)$$

trong đó g_p, g_e, g_{φ} là giá trị trọng lực trên cực, trên xích đạo và tại điểm xét có độ vĩ φ ; q là tỉ số giữa lực li tâm và trọng lực trên xích đạo; α là độ dẹt hình học; β là độ dẹt trọng lực. Chính định lí nói trên được xem là nền móng cho lí thuyết nghiên

cứu xác định hình dạng và kích thước Trái đất theo số liệu trọng lực. Tương ứng ta có phương pháp vật lý song hành với phương pháp hình học đã tìm hiểu trong đó sử dụng số liệu thiên văn - trắc địa là chủ yếu.

Phương pháp vật lý để nghiên cứu xác định kích thước, hình dạng Trái đất được tiếp tục phát triển và hoàn thiện nhờ các công trình nghiên cứu của Stokes G. với định lý cho phép xác định mặt đẳng thế trọng trường của Trái đất chỉ dựa vào kết quả đo trọng lực trên mặt nó. Trên cơ sở này người ta đã xây dựng lý thuyết nghiên cứu xác định bề mặt đặc trưng sát thực hơn nữa của Trái đất là mặt geoid thông qua bài toán Stokes với công thức tính độ cao geoid của Stokes, công thức tính độ lệch dây dọi của Vening - Meinesz theo số liệu trọng lực đo được trên toàn bộ Trái đất. Độ cao geoid N là khoảng chênh giữa mặt geoid và mặt ellipsoid chuẩn được chọn trước, do vậy nếu biết thêm độ chênh h^s giữa mặt đất thực và mặt geoid trên cơ sở đo thủy chuẩn kết hợp với đo trọng lực dọc tuyến độ cao, ta sẽ có được khoảng cách H giữa mặt đất thực và mặt ellipsoid chuẩn đã biết, có nghĩa là hoàn toàn xác định được bề mặt tự nhiên của Trái đất. Thực ra, mặt geoid là một bề mặt tưởng tượng, lại không thể xác định chính xác, do lý thuyết Stokes đòi hỏi giá trị trọng lực phải được cho ngay trên bề mặt geoid và bên ngoài geoid không còn vật chất hấp dẫn; Nhưng, để đảm bảo được yêu cầu như thế, cần biết chính xác mật độ vật chất ở phía dưới bề mặt vật lý của Trái đất vốn không thể xác định bằng cách đo đạc trực tiếp, mà chỉ có thể nhận được gần đúng trên cơ sở các giả thuyết. Để khắc phục tình trạng này, người ta đã hướng bài toán nghiên cứu xác định kích thước, hình dạng Trái đất sang một đối tượng khác tồn tại khách quan và thực tế, đó chính là bề mặt tự nhiên hay bề mặt vật lý của Trái đất. Tương ứng có lý thuyết chặt chẽ và hoàn toàn khả thi do Molodenski M.S. đề xuất trong đó chỉ cần sử dụng số liệu đo đạc ngay trên mặt đất, mà không dùng bất kỳ giả thuyết nào về cấu tạo bên trong của Trái đất. Cũng với cách giải quyết đã áp dụng trong lý thuyết Stokes là chọn trước khối ellipsoid, lý thuyết Molodenski tách độ cao H của điểm xét trên mặt đất so với mặt ellipsoid chuẩn thành hai thành phần: thành phần thứ nhất nằm ở phía dưới, tính từ mặt ellipsoid ngược trở lên và gọi là *độ cao chuẩn* h' ; Còn thành phần thứ hai nằm ở phía trên, kéo dài đến điểm xét và gọi là *dị thường độ cao* ζ (hình 2.15).



Hình 2.15. Các bề mặt đặc trưng cơ bản của Trái đất **vẽ lại mặt geoid, ell. chuẩn !!!**

Độ cao chuẩn được xác định theo số liệu đo thủy chuẩn kết hợp với đo trọng lực, được coi là đại lượng đã biết. Đầu mút của độ cao chuẩn hợp thành bề mặt có tên là teluroid. Dị thường độ cao được xác định theo các giá trị dị thường trọng lực được cho trên toàn bộ bề mặt Trái đất thông qua công thức gần đúng của Stokes hay công thức chặt chẽ của Molodenski.

Như ta thấy, theo lý thuyết Stokes hay lý thuyết Molodenski thì phương pháp vật lý để nghiên cứu xác định kích thước, hình dạng Trái đất đều sử dụng số liệu trọng lực được cho trên qui mô toàn cầu nhằm xác định ra một đại lượng đặc trưng hình học quan trọng của trọng trường Trái đất là độ cao geoid hay dị thường độ cao để rồi cộng thêm nó vào đại lượng tương ứng đã biết là độ cao chính hay độ cao chuẩn mà tính ra độ cao trắc địa:

$$H = h^g + N = h^\gamma + \zeta. \quad (2.74)$$

2.3.3. Xác định theo số liệu quan trắc vệ tinh

Vệ tinh nhân tạo của Trái đất sau khi được phóng lên quỹ đạo sẽ chuyển động tuân thủ các định luật do nhà thiên văn người Đức tên là Kepler J. (1571-1630) đưa ra, theo đó quỹ đạo sẽ có đường cong phẳng bậc hai (đó có thể là đường tròn, đường elíp, đường parabol hay đường hypebol), nếu cả vệ tinh và Trái đất đều là chất điểm và ngoài lực hút của Trái đất tác dụng lên vệ tinh thì không còn một ngoại lực nào khác. Song, trên thực tế không phải như vậy, cho nên chuyển động của vệ tinh quanh Trái đất sẽ bị “nhiều” đi. Một trong những nguyên nhân gây nhiễu đáng kể nhất chính là độ dẹt của Trái đất theo cả vòng kinh tuyến và vòng xích đạo; Ảnh hưởng này được đánh giá lớn hơn khoảng 10.000 lần so với tác động của sức hút Mặt trăng

và Mặt trời. Cũng chính vì vậy mà từ kết quả quan trắc chuyển động của vệ tinh để xác định ra các thành phần nhiễu đối với quỹ đạo của nó, ta có thể xác định được nhiễu tác động nhiễu trong đó có độ dẹt của Trái đất. Chẳng hạn, trên cơ sở quan trắc các nhiễu chu kì dài và chu kì hàng thế kỉ của các yếu tố quỹ đạo của vệ tinh có thể xác định với độ tin cậy cao hệ số điều hoà đối bậc hai J_2 trong chuỗi triển khai thế trọng trường của Trái đất, và từ đó sẽ tính được độ dẹt α của Trái đất theo biểu thức:

$$\alpha = \frac{3}{2} J_2 + \frac{1}{2} \bar{m} + \frac{9}{8} J_2^2 - \dots, \quad (2.75)$$

trong đó \bar{m} là tỉ số đã biết giữa lực li tâm và trọng lực trên xích đạo.

Chính bằng cách này mà chỉ với số liệu quan trắc vệ tinh trong một khoảng thời gian ngắn (cỡ vài tuần) sau khi phóng vệ tinh nhân tạo đầu tiên của Trái đất vào ngày 4 tháng 10 năm 1957 người ta đã xác định ngay được độ dẹt của Trái đất với trị số hầu như trùng khớp so với kết quả nhận được từ số liệu đo đạc trắc địa trên mặt đất của nhiều quốc gia và lãnh thổ trong nhiều thế kỉ trước đó.

Số liệu quan trắc vệ tinh còn cho phép xác định bán trục lớn của ellipsoid Trái đất trên cơ sở so sánh giá trị dị thường độ cao ζ nhận được theo độ cao trắc địa H xác định bằng vệ tinh và độ cao chuẩn h' xác định bằng đo thuỷ chuẩn kết hợp với đo trọng lực và dị thường độ cao $\bar{\zeta}$ nhận được theo số liệu trọng lực, tức là dựa vào biểu thức:

$$\Delta a \left(1 - \frac{e^2}{2} \sin^2 B \right) = \zeta - \bar{\zeta}, \quad (2.76)$$

trong đó Δa là đại lượng cần xác định để cộng thêm vào cho giá trị bán trục lớn \tilde{a} đã chấp nhận trong các biểu thức tính toán có liên quan trước đó nhằm rút ra giá trị cuối cùng:

$$a = \tilde{a} + \Delta a. \quad (2.77)$$

Có ellipsoid với kích thước (a, α) xác định và các yếu tố định vị cụ thể, các kết quả quan trắc vệ tinh từ điểm xét trên mặt đất sẽ cho phép xác định được giá trị độ cao trắc địa tương ứng, tức là khoảng chênh so với mặt ellipsoid đã biết. Khi đó, bề mặt tự nhiên của Trái đất có thể được xem là đã được xác định bằng cách quan trắc vệ tinh từ một điểm trên bề mặt Trái đất có vị trí đã biết trong hệ toạ độ địa tâm (có gốc toạ độ đặt tại tâm quán tính của Trái đất, trục Z hướng theo trục quay của Trái

đất về phía cực Bắc của nó, trục X hướng song song với mặt phẳng kinh tuyến Greenwich và trục Y hướng vuông góc với hai trục kia về phía Đông), ta có thể truyền tọa độ lên vệ tinh để biến nó thành điểm tọa độ di động. Tiếp theo, bằng cách quan trắc vệ tinh đó từ một điểm khác chưa biết tọa độ, ta sẽ xác định được tọa độ cho điểm này. Đây chính là phương pháp động học cho phép xác định vị trí tuyệt đối của điểm xét bất kì trên mặt đất trên cơ sở sử dụng vệ tinh như một “mốc” trắc địa có tọa độ đã biết. Nếu tiến hành quan trắc đồng thời cùng một vệ tinh từ hai điểm thì ta có thể xác định hiệu tọa độ (gia số tọa độ) giữa hai điểm đó mà không cần biết tọa độ của vệ tinh, nghĩa là chỉ coi vệ tinh là “điểm ngắm” tức thời. Trong trường hợp này ta có phương pháp hình học cho phép xác định vị trí tương hỗ giữa các điểm xét. Trên cơ sở sử dụng các phương pháp động học cũng như hình học như thế ta có thể xác định được vị trí của hàng loạt điểm xét nằm cách nhau hàng trăm, hàng nghìn kilômét trên phạm vi toàn bộ bề mặt Trái đất, nghĩa là hoàn toàn xác định được bề mặt tự nhiên của Trái đất thông qua quan trắc vệ tinh nhân tạo của nó.

Trên cơ sở quan trắc các nhiễu trong chuyển động của vệ tinh có thể xác định được các hệ số điều hoà trong chuỗi triển khai thế trọng trường và tương ứng xây dựng được các mô hình trọng trường của Trái đất. Không những thế, còn có thể thu nhận được các thông số cơ bản khác nhau của trọng trường như: giá trị trọng lực trên xích đạo γ_e , hằng số hấp dẫn địa tâm GM , v.v... Các đại lượng này lại có liên quan mật thiết với các đặc trưng về hình dạng, kích thước của Trái đất.

CHƯƠNG 3

ELLIPSOID TRÁI ĐẤT

3.1. Các loại ellipsoid Trái đất

Như đã biết, bề mặt thực của Trái đất bị lồi lõm, uốn nếp rất phức tạp. Vì thế, để đáp ứng đa phần các nhu cầu nghiên cứu lý thuyết cũng như các ứng dụng thực tiễn, người ta thường thay thế nó bằng bề mặt có dạng hình học đơn giản, nhưng cũng đủ gần với nó; Đó là mặt ellipsoid tròn xoay. Để cho ngắn gọn, nhưng lại chỉ rõ tính năng đặc trưng cho Trái đất, khối ellipsoid tương ứng được gọi là ellipsoid Trái đất. Tùy thuộc vào phạm vi của phần bề mặt Trái đất mà khối ellipsoid cụ thể đặc trưng cho nó, ta sẽ có hai loại ellipsoid Trái đất chủ yếu là: ellipsoid chung và ellipsoid thực dụng. Sau đây là các khái niệm cụ thể về các loại ellipsoid này.

3.1.1. Ellipsoid chung

Ellipsoid phù hợp tốt nhất đối với Trái đất trên phạm vi toàn bộ bề mặt của nó được gọi là ellipsoid chung của Trái đất.

Mức độ phù hợp tốt nhất thường được hiểu là: tổng bình phương các giá trị độ cao của mặt geoid so với mặt ellipsoid chung trên quy mô toàn cầu phải là nhỏ nhất; Ở dạng biểu thức toán học, ta có:

$$\int_{\sigma} N^2 d\sigma = \min, \quad (3.1)$$

trong đó $d\sigma$ là kí hiệu phần tử bề mặt.

Nó cũng có thể được hiểu theo khái niệm độ lệch dây dọi ở dạng:

$$\int_{\sigma} \hat{p}^2 d\sigma = \int_{\sigma} (\xi^2 + \eta^2) d\sigma = \min, \quad (3.2)$$

hay theo khái niệm dị thường trọng lực:

$$\int_{\sigma} \hat{g}^2 d\sigma = \min, \quad (3.3)$$

Ngoài các khái niệm mang ý nghĩa hình học là chủ yếu như trên, ellipsoid chung còn được xây dựng với khái niệm mang ý nghĩa vật lý, theo đó nó phải có khối lượng, trọng trường trên bề mặt nó, hiệu các mômen quán tính chủ yếu và tốc độ góc đúng bằng các đại lượng tương ứng của Trái đất, tức là:

$$\left. \begin{aligned} M_{el.chung} &= M_{T.dat}; \\ U_{o,el.chung} &= W_{o,T.dat}; \\ G \left(C - \frac{A+B}{2} \right) \Big|_{el / chung} &= G \left(C - \frac{A+B}{2} \right) \Big|_{T.dat}; \\ W_{el.chung} &= W_{T.dat}. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Có thể chứng minh được rằng các điều kiện (3.1) - (3.4) là hoàn toàn tương đương.

Trước đây, khi số liệu đo đạc chủ yếu nhận được bằng phương pháp thiên văn và phương pháp trắc địa, mà lại chỉ ở trên các lục địa, tức là chỉ trong phạm vi tối đa là ¼ bề mặt Trái đất, việc thiết lập ellipsoid chung của Trái đất mới chỉ là vấn đề đặt ra để tiến tới giải quyết và trên thực tế được xem là bài toán của tương lai. Nhưng, cùng với sự xuất hiện và phát triển nhanh chóng của các nguyên lí và phương tiện đo đạc khác như: đo trọng lực trong đó có trọng lực biển, trọng lực hàng không cho phép thu nhận được số liệu cả trên biển và đại dương cũng như các vùng địa hình phức tạp, hiểm trở, có quan trắc vệ tinh và các vật thể vũ trụ cho phép bao quát toàn bộ bề mặt Trái đất và khoảng không gian bên trên nó, v.v..., bài toán đó đã được giải quyết trên cơ sở sử dụng kết hợp nhiều loại số liệu khác nhau theo tất cả các điều kiện đã nêu ở trên. Kết quả là đến nay các thông số cơ bản của ellipsoid chung của Trái đất đã có được các trị số cụ thể với độ tin cậy cao và đang được liên tục cập nhật để đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của lí thuyết và thực tiễn.

Ellipsoid chung không chỉ được xem là một hình khối với các thông số hình học đặc trưng tốt nhất đóng vai trò bề mặt toán học tham khảo trong bài toán nghiên cứu, xác định hình dạng Trái đất cũng như để đáp ứng các mục đích trắc địa, mà nó còn có ý nghĩa và tác dụng về mặt vật lí là tạo ra trọng trường chuẩn trong bài toán nghiên cứu, xác định thế trọng trường thực của Trái đất. Hai bài toán này cần được giải quyết trên qui mô toàn cầu trong một thể thống nhất với cùng một hệ thống toạ độ và một bề mặt tham khảo. Bề mặt đó chính là ellipsoid chung. Tâm hình học của nó cũng chính là gốc toạ độ, được lấy trùng với tâm quán tính của Trái đất. Trục chính của nó trùng với trục quay ngày đêm của Trái đất và được lấy làm trục Z của hệ toạ độ vuông góc không gian địa tâm; Mặt phẳng toạ độ (X,Y) được lấy trùng với mặt phẳng xích đạo của Trái đất.

3.1.2. Ellipsoid thực dụng

Mãi đến khoảng những năm 70 của thế kỷ trước các thông số cơ bản của ellipsoid chung của Trái đất mới được xem là đã thiết lập để có thể sử dụng một cách tin cậy vào các mục đích khoa học – kỹ thuật khác nhau. Song, ellipsoid chung không thể và không nhất thiết phải phù hợp tốt nhất với mặt geoid trong phạm vi một quốc gia hay một khu vực cụ thể trên bề mặt Trái đất; Hơn thế nữa, hàng loạt bài toán khoa học cũng như thực tiễn trên quy mô không rộng lớn cũng không đòi hỏi sự phù hợp tốt nhất của bề mặt toán học tham khảo cho toàn bộ Trái đất, nghĩa là không cần đến ellipsoid chung. Khi đó, chỉ cần sử dụng ellipsoid tròn xoay phù hợp tốt nhất với mặt geoid trong một phạm vi cho trước. Tương ứng, ta có ellipsoid thực dụng.

Dễ hiểu là có thể có nhiều ellipsoid thực dụng khác nhau, trong khi ellipsoid chung chỉ có một. Mỗi ellipsoid thực dụng sẽ có một nhóm thông số kích thước, hình dạng và yếu tố định vị đặc trưng riêng. Ngay ở một quốc gia hay một vùng xét cho trước, ellipsoid thực dụng cũng có thể được gán những tập hợp thông số cụ thể cho những khoảng thời gian khác nhau, tương thích với những mục tiêu và yêu cầu không giống nhau. Ở Việt Nam vào các thời kì khác nhau đã sử dụng các ellipsoid thực dụng mang tên: Clark, Everest, Krasovski và từ năm 2000 là ellipsoid có bán trục lớn và độ dẹt lấy theo Hệ thống trắc địa quốc tế WGS-84.

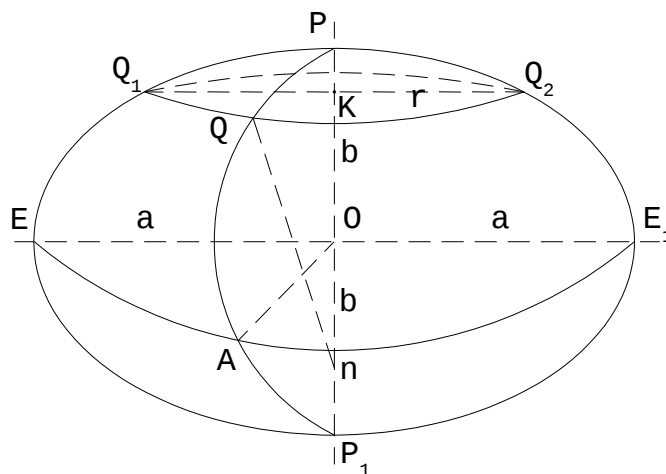
Trên thực tế, để đáp ứng các công trình đo đạc đặc biệt như: quan trắc các hiện tượng địa động khu vực hay đo vẽ bản đồ tỉ lệ lớn, người ta có thể sử dụng ellipsoid thực dụng địa phương với hệ thống tọa độ độc lập tương ứng.

Ellipsoid thực dụng được sử dụng với chức năng thuần túy là bề mặt hình học tham khảo trong việc nghiên cứu, xác định bề mặt Trái đất trên phạm vi cục bộ cũng như phục vụ các mục đích trắc địa qui mô quốc gia. Nó không đóng vai trò mặt đẳng thế trọng trường chuẩn như ellipsoid chung hay bất cứ một đặc trưng nào khác của trọng trường Trái đất.

3.2. Các yếu tố hình học của ellipsoid Trái đất

3.2.1. Kinh tuyến, vĩ tuyến và cung pháp tuyến.

Mặt ellipsoid Trái đất có thể được mô tả bởi một hình elip (PEP_1E_1P) quay xung quanh trục PP_1 (hình 3.1).



H×nh 3.1

Ellipsoid Trái đất, kinh tuyến, vĩ tuyến của điểm Q **Sửa P₁ thành P !!!!**

Hình 3.2 thành 3.1

1. Kinh tuyến

Mặt phẳng chứa trục quay của ellipsoid được gọi là mặt phẳng kinh tuyến. Mặt phẳng kinh tuyến cắt mặt ellipsoid theo một đường cong có tên là vòng kinh tuyến. Trên hình 3.1 đường cong P₁Q P₁ là vòng kinh tuyến của điểm Q. Các kinh tuyến của các điểm xét khác nhau trên ellipsoid Trái đất đều có hình dạng đường ellip. Các thông số hình học của ellipsoid Trái đất có thể là:

- Bán trục lớn, được ký hiệu là a;
- Bán trục nhỏ, được ký hiệu là b;
- Độ dẹt, được ký hiệu là f và xác định theo biểu thức :

$$f = \frac{a-b}{a} ; \quad (3.5)$$

- Tâm sai thứ nhất e:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} ; \quad (3.6)$$

- Tâm sai thứ hai e':

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} . \quad (3.7)$$

Hình dạng, kích thước của ellipsoid Trái đất thường được đặc trưng bởi hai thông số cơ bản là a và f, trong đó a được coi là thông số kích thước, còn f được coi là thông số hình dạng. Ứng với mỗi ellipsoid cụ thể, chúng có trị số xác

định chọn trước; Chẳng hạn, đối với ellipsoid WGS-84, các thông số này có trị số bằng :

$$a = 6378137,0 \text{ m}; f = 1: 298,257223563.$$

Trong quá trình giải các bài toán trắc địa cơ bản trên ellipsoid Trái đất người ta còn thường dùng bổ sung một số đại lượng sau :

- Bán kính cực: $c = \frac{a^2}{b}$; (3.8)

- Hai đại lượng bổ trợ: $t = \operatorname{tg} B$ và $\eta = e' \cos B$ $\eta^2 = e'^2 \cos^2 B$ BỔ BÌNH PHƯƠNG !!!! (3.9)

- Hai đại lượng cơ bản :

$$W = (1 - e^2 \sin^2 B)^{\frac{1}{2}} \text{ và } V = (1 + e'^2 \cos^2 B)^{\frac{1}{2}}. \quad (3.10)$$

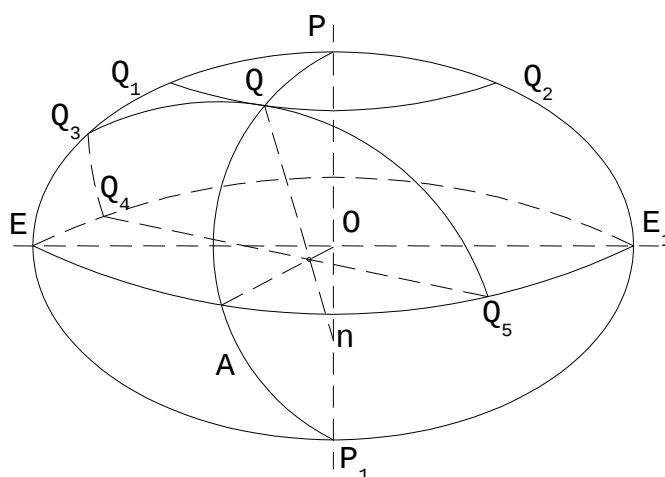
Trong các biểu thức trên B là độ vĩ trắc địa của điểm xét; Đại lượng này sẽ được đề cập cụ thể trong tiết 3.3.

2. Vĩ tuyến

Mặt phẳng vuông góc với trục quay của ellipsoid được gọi là mặt phẳng vĩ tuyến. Giao tuyến giữa mặt phẳng vĩ tuyến và mặt ellipsoid có tên là vòng vĩ tuyến. Trên hình 3.2 đường cong Q_1Q_2 là vòng vĩ tuyến của điểm Q. Vĩ tuyến luôn có dạng đường tròn. Bán kính vĩ tuyến được ký hiệu là r . Xích đạo của ellipsoid Trái đất là vòng vĩ tuyến có bán kính lớn nhất với trị số bằng bán trục lớn a .

Kinh tuyến, vĩ tuyến của mỗi điểm xét trên ellipsoid Trái đất là các đường tọa độ xác định vị trí của điểm đó trong hệ tọa độ trắc địa.

3. Cung pháp tuyến



H×nh 3.2

Mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất và cung thẳng đứng thứ nhất tại Q

Sửa hình 3.3 thành 3.2 !!!

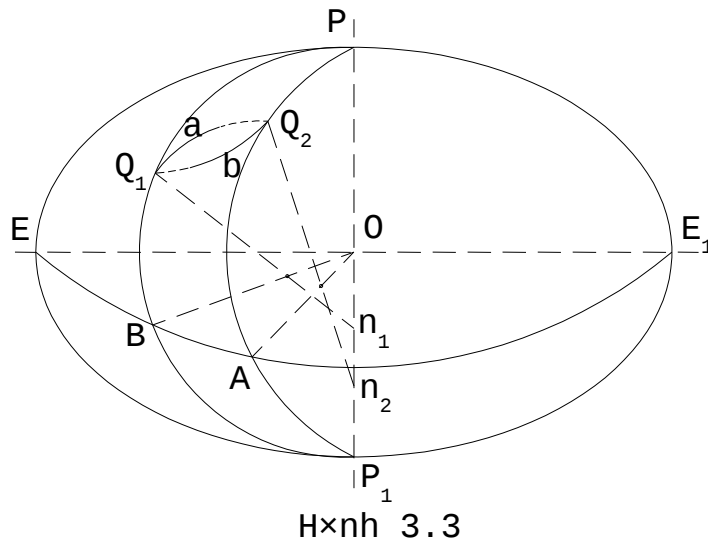
Đường thẳng vuông góc với mặt ellipsoid được gọi là pháp tuyến với ellipsoid. Trên hình 3.2 ta có Qn là pháp tuyến với ellipsoid tại điểm Q. Pháp tuyến với ellipsoid luôn nằm trong mặt phẳng kinh tuyến của điểm xét, tức là luôn giao cắt trực quay của ellipsoid, trừ trường hợp điểm xét nằm ngay tại cực.

Mặt phẳng chứa pháp tuyến với ellipsoid được gọi là mặt phẳng pháp tuyến. Tại bất kỳ điểm xét nào trên mặt ellipsoid cũng sẽ có vô số mặt phẳng pháp tuyến tương ứng. Mặt phẳng kinh tuyến cũng là mặt phẳng pháp tuyến, nhưng mặt phẳng vĩ tuyến không phải là mặt phẳng pháp tuyến. Mặt phẳng pháp tuyến vuông góc với mặt phẳng kinh tuyến được gọi là mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất.

Giao tuyến giữa mặt phẳng pháp tuyến và mặt ellipsoid có tên là cung pháp tuyến. Tương ứng với mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất có cung thẳng đứng thứ nhất. Trên hình 3.2 ta có đường cong Q_3QQ_5 là cung thẳng đứng thứ nhất của điểm xét Q.

Cung kinh tuyến và cung thẳng đứng thứ nhất được coi là hai cung pháp tuyến chính tại một điểm xét cho trước trên ellipsoid.

Góc giữa hướng của cung pháp tuyến và hướng bắc của kinh tuyến tại điểm xét được gọi là góc phương vị trắc địa của cung pháp tuyến.



Cung pháp tuyến thuận nghịch giữa hai điểm Q_1 và Q_2 SỬA n_1 và n_2, Q_1, Q_2 !!!

Hình 3.4 thành 3.3

Trong trường hợp liên hệ giữa hai điểm xét trên ellipsoid cần phân biệt *cung pháp tuyến thuận và cung pháp tuyến nghịch*. Trên hình 3.3 ta có Q_1n_1 là pháp tuyến với ellipsoid tại điểm xét Q_1 . Mặt phẳng chứa pháp tuyến Q_1n_1 và điểm Q_2 là mặt phẳng pháp tuyến của Q_1 , kí hiệu là (Q_1n_1, Q_2) . Giao tuyến của (Q_1n_1, Q_2) với mặt ellipsoid là cung pháp tuyến Q_1aQ_2 . Tương tự, khi xét tại Q_2 có pháp tuyến Q_2n_2 , mặt phẳng pháp tuyến (Q_2n_2, Q_1) và cung pháp tuyến Q_2bQ_1 . Hai mặt phẳng (Q_1n_1, Q_2) và (Q_2n_2, Q_1) không trùng nhau, do các pháp tuyến Q_1n_1 và Q_2n_2 là các đường thẳng giao chéo trong không gian, tương ứng với các điểm Q_1 và Q_2 không cùng nằm trên một vòng vĩ tuyến. Để phân biệt hai cung pháp tuyến như thế, người ta gọi Q_1aQ_2 là cung pháp tuyến thuận và gọi Q_2bQ_1 là cung pháp tuyến nghịch đối với điểm xét Q_1 , còn gọi Q_2bQ_1 là cung pháp tuyến thuận và gọi Q_1aQ_2 là cung pháp tuyến nghịch đối với điểm xét Q_2 .

Trong trường hợp đặc biệt khi hai điểm xét cùng nằm trên một vòng kinh tuyến thì cung pháp tuyến thuận và cung pháp tuyến nghịch của chúng sẽ trùng nhau và trùng với chính vòng kinh tuyến. Còn nếu hai điểm xét cùng nằm trên một vĩ tuyến thì cung pháp tuyến thuận và cung pháp tuyến nghịch giữa chúng cũng sẽ trùng nhau, nhưng không trùng với vĩ tuyến. Riêng trường hợp hai điểm cùng nằm trên xích đạo thì cung pháp tuyến thuận và cung pháp tuyến nghịch giữa chúng sẽ trùng nhau và trùng luôn với xích đạo.

3.2.2 Các bán kính cong chính tại một điểm

Khi giải các bài toán cơ bản trên ellipsoid Trái đất và xác định chiều dài cung kinh tuyến, cung vĩ tuyến, sẽ cần thiết sử dụng các đại lượng có liên quan đến bán kính cong của các cung chính trên đó. Sau đây ta tìm hiểu kỹ về chúng.

1. Bán kính cong của cung kinh tuyến

Bán kính cong của cung kinh tuyến được ký hiệu là M và được tính theo công thức sau:

$$M = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 B)^3}} = \frac{a(1-e^2)}{W^3} = \frac{c}{V^3} \quad (3.11)$$

2. Bán kính cong của cung thẳng đứng thứ nhất :

Bán kính cong của cung thẳng đứng thứ nhất được ký hiệu là N và được tính theo công thức sau:

$$N = \frac{a}{W} = \frac{c}{V} \quad (3.12)$$

3. Bán kính của vòng vĩ tuyến

Bán kính của vòng vĩ tuyến được ký hiệu là r và được tính theo công thức sau:

$$r = N \cdot \cos B \quad (3.13)$$

4. Bán kính cong của cung pháp tuyến bất kỳ

Bán kính cong của cung pháp tuyến bất kỳ có góc phương vị trắc địa A được ký hiệu là R_A và được tính theo công thức :

$$R_A = \frac{M \cdot N}{N \cos^2 A + M \sin^2 A} = \frac{N}{1 + \eta^2 \cos^2 A} \quad (3.14)$$

5. Bán kính cong trung bình tại điểm xét

Bán kính cong trung bình tại điểm xét được ký hiệu là R và được tính theo công thức :

$$R = \sqrt{M \cdot N} = \frac{c}{V^2} \quad R = \sqrt{M \cdot N} = \frac{c}{V^2} \quad (3.15)$$

SỬA R, M, N THÀNH NGHIÊNG !!!

Tại mỗi điểm xét ta luôn có: $M < R < N$), trong đó M có trị số nhỏ nhất, N có trị số lớn nhất.

6. Chiều dài cung kinh tuyến và cung vĩ tuyến

Giữa hai điểm nằm trên cùng kinh tuyến sẽ xác định một cung kinh tuyến có chiều dài S . Cung kinh tuyến là một cung của elip, cho nên cần dựa vào công thức vi phân: $dS = M \cdot dB$ để lập được công thức tính S . Công thức tính cung kinh tuyến từ xích đạo tới điểm có độ vĩ trắc địa B trên kinh tuyến có dạng sau:

$$S = \int_0^B M \cdot dB \quad (3.16)$$

Khi chiều dài S không lớn hơn 45 km, nếu chỉ cần tính với độ chính xác 0.001 m, có thể dùng công thức sau:

$$S = M_m \frac{(B_2 - B_1)''}{\rho''}, \quad (3.17)$$

trong đó M_m được tính theo độ vĩ trắc địa trung bình B_m của hai điểm đầu cung kinh tuyến : $B_m = (B_1 + B_2)/2$ (3.18)

Giữa hai điểm nằm trên cùng vĩ tuyến sẽ xác định một cung vĩ tuyến có chiều dài S' . Cung vĩ tuyến là một cung tròn, cho nên công thức tính S' có dạng đơn giản :

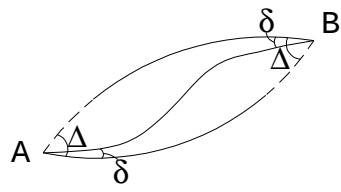
$$S' = N \cos B \frac{l''}{\rho''}, \quad (3.19)$$

trong đó $l'' = (L_2 - L_1)''$ với L_1 và L_2 là độ kinh trắc địa của hai điểm đầu cung vĩ tuyến. Khái niệm về độ kinh trắc địa sẽ được nêu trong tiết 3.3.

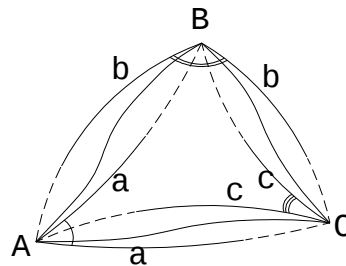
3.2.3. Đường trắc địa

Theo hình học vi phân, đường trắc địa là đường cong không gian ngắn nhất nối hai điểm cùng nằm trên một mặt cong. (Trên mặt phẳng đó chính là đường thẳng).

Đường trắc địa được xác định để thay thế cho các cung pháp tuyến thuận và nghịch giữa hai điểm xét trên mặt ellipsoid. Điều này được minh họa trên các hình vẽ 3.4 và 3.5.



H×nh 3.4



H×nh 3.5

Các cung pháp tuyến thuận, nghịch và đường trắc địa giữa hai điểm A và B **Vai trò của đường trắc địa**
SỬA KÝ HIỆU CÁC GÓC !!!

(ký hiệu một nét, hai nét, ba nét)

sửa hình 3.5 thành 3.4, 3.6 thành 3.5

Trên hình 3.4 hai điểm A và B được nối với nhau bằng 2 cung. Tương ứng, trên hình 3.5 ba điểm A, B, C sẽ được nối với nhau bằng 6 cung. Góc tại A giữa các hướng tới B và C phải là góc giữa cung AaB và cung AaC (ký hiệu một nét). Góc tại B giữa các hướng tới A và C phải là góc giữa cung BbA và cung BbC (ký hiệu hai nét). ; Góc tại C giữa các hướng tới A và B phải là góc giữa cung CcA và cung CcB (ký hiệu ba nét). Như ta thấy, 3 góc nói trên được tạo thành từ 6 cung hoàn toàn khác biệt nhau. Kết quả là 3 điểm xét đã tạo nên một tam giác cong không khép kín! Để khắc phục tình trạng này, cần thay mỗi cặp cung pháp tuyến thuận, nghịch bằng một cung đường trắc địa tương ứng. Đây chính là vai trò, tác dụng của đường trắc địa.

Đường trắc địa giữa hai điểm A, B có vị trí tương hỗ như sau so với cung pháp tuyến thuận và cung pháp tuyến nghịch tương ứng: trên hướng xuất phát từ A sang B nó nằm sát về phía cung pháp tuyến thuận AaB, giữ khoảng cách bằng 1/3 khoảng chênh giữa hai cung, rồi tại vị trí cách đều so với A và B nó sẽ nằm ở chính giữa hai cung, để rồi tiến sát về phía cung pháp tuyến nghịch BbA và lại chia khoảng chênh giữa hai cung theo tỷ số 1/3 như trước và cuối cùng tiến tới B.

Ký hiệu δ là góc giữa cung pháp tuyến thuận và đường trắc địa, Δ là góc giữa hai cung pháp tuyến thuận, nghịch, ta có mối quan hệ sau:

$$\delta'' = \frac{\Delta''}{3} = \frac{1}{12R_m^2} \rho'' e^2 S^2 \text{Cos}^2 B_m \text{Sin} 2A \quad (3.20)$$

BỎ KÝ HIỆU 1, 2 CỦA A !!!

Trong công thức (3.20) đại lượng R_m là bán kính cong tại điểm có độ vĩ trắc địa trung bình giữa hai điểm xét; A là góc phương vị trắc địa của cung pháp tuyến thuận tại điểm xuất phát; S là chiều dài của đường trắc địa nối hai điểm xét.

Dựa trên công thức (3.20) có thể suy ra vị trí tương hỗ giữa đường trắc địa và các cung pháp tuyến thuận, nghịch trong ba trường hợp đặc biệt đã xét ở phần cuối của 3.2.1 như sau: trong cả ba trường hợp, đường trắc địa đều trùng với các cung pháp tuyến thuận và nghịch. Tuy vậy, trong trường hợp cung kinh tuyến thì đường trắc địa chính là cung kinh tuyến, trong trường hợp cung vĩ tuyến thì đường trắc địa không trùng với cung vĩ tuyến, còn trong trường hợp cung xích đạo thì đường trắc địa là cung xích đạo.

Khi thành lập các công thức để giải các bài toán trắc địa cơ bản trên ellipsoid, thường phải sử dụng ba phương trình vi phân của đường trắc địa và phương trình Clairaut. Ta có:

Phương trình vi phân thứ nhất:

$$\frac{dB}{dS} = \frac{\cos A}{M} = \frac{V^3}{c} \cos A \quad ; \quad (3.21)$$

Phương trình vi phân thứ hai :

$$\frac{dL}{dS} = \frac{\sin A}{N \cos B} = \frac{V \sin A}{c \cos B} \quad ; \quad (3.22)$$

Phương trình vi phân thứ ba :

$$\frac{dA}{dS} = \frac{\sin A}{N} \operatorname{tg} B = \frac{V}{c} \operatorname{tg} B \sin A \quad . \quad (3.23)$$

Trong các công thức trên: dS là vi phân chiều dài của đường trắc địa, tương ứng với vi phân độ vĩ trắc địa dB , vi phân độ kinh trắc địa dL và vi phân góc phương vị trắc địa dA .

Phương trình Clairaut có dạng sau:

$$r \cdot \sin A = \text{Const.} \quad (3.24)$$

Nó chỉ ra một tính chất rất quan trọng của đường trắc địa là: *Tại mọi điểm trên đường trắc địa, tích của bán kính vòng vĩ tuyến r với \sin của góc phương vị trắc địa A luôn là một hằng số.*

3.3. Các hệ tọa độ gắn với ellipsoid Trái đất

Trong trắc địa cao cấp, hệ tọa độ sao được sử dụng để biểu thị vị trí các thiên thể trong không gian và hệ tọa độ Trái đất được sử dụng để biểu thị vị trí các điểm trên bề mặt trái đất. Các hệ tọa độ trên là thành phần cơ bản hình thành nên Hệ quy chiếu sao và Hệ quy chiếu trái đất. Hệ quy chiếu là khái niệm rộng hơn, trong đó còn bao gồm cả hệ thống thời gian và các tham số vật lý của trái đất có liên quan. Hệ tọa độ trái đất còn được gọi là hệ tọa độ cố định gắn với trái đất. Các hệ tọa độ này là các hệ tọa độ ba chiều (3D), được sử dụng để biểu thị vị trí của bất kỳ điểm nào trên mặt đất và trong không gian gắn Trái đất.

Hệ tọa độ Trái đất thực dụng được thiết lập dựa trên một ellipsoid Trái đất đã được định vị phù hợp với Trái đất hoặc phù hợp với một phần Trái đất (của một quốc gia) theo một số tiêu chí nào đó. Trên thực tế có rất nhiều hệ tọa độ Trái đất thực dụng, ngay một quốc gia cũng có thể sử dụng một vài hệ tọa độ Trái đất thực dụng.

Để biểu thị cơ sở số liệu gốc trong trắc địa, từ lâu người ta đã sử dụng thuật ngữ ” số liệu trắc địa gốc ” bao gồm cả số liệu trắc địa gốc về mặt bằng và số liệu trắc địa gốc về độ cao. Số liệu trắc địa gốc về mặt bằng được đặc trưng bởi các giá trị tọa độ của điểm gốc trên mặt ellipsoid hay trên hình chiếu của mặt ellipsoid lên mặt phẳng. Số liệu trắc địa gốc về độ cao được đặc trưng bởi giá trị độ cao của điểm gốc so với bề mặt khởi tính thường được lấy theo bề mặt rất gần với mặt geoid là mặt nước biển trung bình. Cần lưu ý rằng, xét trên phạm vi toàn cầu, mực nước biển trung bình không phải là mặt đẳng thế; Chênh lệch giữa mực nước biển trung bình và mặt Geoid có thể đạt tới 2m. Cho đến nay, ở hầu hết các quốc gia, điểm gốc về mặt bằng và điểm gốc về độ cao thường được chọn tách biệt, không trùng nhau.

Hệ tọa độ trái đất quốc tế ITRS là hệ tọa độ xác định bởi ellipsoid GRS-80 định vị phù hợp với Trái đất trên phạm vi toàn cầu, được triển khai bởi Khung quy chiếu trái đất quốc tế ITRF. Gốc tọa độ của ITRS là tâm ellipsoid GRS-80 gần như trùng với tâm quán tính của Trái đất với sai khác cỡ 1-2 cm. Do ảnh hưởng của chuyển dịch cực trái đất và các chuyển động kiến tạo mảng trên toàn cầu vv...cho nên hệ quy chiếu Trái đất quốc tế ITRS là hệ quy chiếu động. Tương ứng với từng thời kỳ, khung quy chiếu Trái đất quốc tế ITRF được ký hiệu là ITRF.YY, trong đó

YY là năm công bố phiên bản ITRF, do Cơ quan quốc tế về các hệ thống quy chiếu và chuyển động quay của Trái đất [IERS ???](#) thực hiện.

Trong định vị vệ tinh, hệ tọa độ Trái đất cùng hệ thời gian được sử dụng để mô tả chuyển động của vệ tinh nhân tạo trên quỹ đạo, là cơ sở để lập lịch vệ tinh, thí dụ như hệ WGS-84 sử dụng với hệ GPS của Mỹ và hệ PZ-90 sử dụng với hệ GLONASS của Nga vv...

Trên một ellipsoid đã định vị chúng ta sẽ xây dựng được một số hệ tọa độ khác nhau gắn với ellipsoid đó, thí dụ như hệ tọa độ trắc địa B,L,H, hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z, các hệ tọa độ địa diện vv... Các hệ tọa độ này hình thành trong cùng một hệ quy chiếu. Tùy thuộc vào mục đích sử dụng, người ta có thể sử dụng hệ tọa độ này hay hệ tọa độ khác. Giữa các hệ tọa độ này có mối liên hệ toán học thuần túy và liên quan trực tiếp đến các tham số của ellipsoid; Việc chuyển đổi tọa độ qua lại giữa các hệ này được gọi là tính đổi tọa độ.

Các mạng lưới trắc địa quốc gia được tính toán bình sai trong hệ tọa độ Trái đất thực dụng. Tuy nhiên, trong thực tế, người ta còn sử dụng các hệ tọa độ phẳng (2D) để biểu thị vị trí mặt bằng của các điểm trên mặt đất trong những phạm vi giới hạn nhất định, thí dụ như hệ tọa độ phẳng theo phép chiếu hình trụ ngang đồng góc UTM, phép chiếu hình nón vv...

Sau đây là một số hệ tọa độ gắn với ellipsoid Trái đất thường sử dụng trong trắc địa:

3.3.1. Hệ tọa độ trắc địa

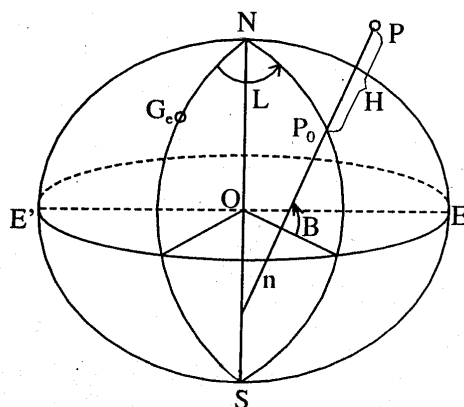
Hệ tọa độ trắc địa được biểu thị trên ellipsoid Trái đất (hình 3.6), do đó còn được gọi là tọa độ ellipsoid. Tọa độ trắc địa được biểu thị bởi độ vĩ trắc địa B, độ kinh trắc địa L và độ cao trắc địa H.

Các tọa độ trắc địa B,L,H của một điểm (P) được định nghĩa như sau:

Độ vĩ trắc địa B là góc hợp bởi pháp tuyến qua điểm xét và mặt phẳng xích đạo. Các điểm nằm phía Bắc bán cầu có độ vĩ trắc địa trong khoảng từ 0^0 đến 90^0 vĩ Bắc (N), các điểm nằm phía Nam bán cầu có độ vĩ trắc địa trong khoảng từ 0^0 đến 90^0 vĩ Nam (S).

Độ kinh trắc địa L là góc nhị diện giữa mặt phẳng kinh tuyến trắc địa gốc và mặt phẳng kinh tuyến trắc địa qua điểm xét P. Trên toàn bộ mặt ellipsoid Trái đất, độ kinh trắc địa được tính từ kinh tuyến gốc ($L=0^0$) về hai phía Đông và Tây. Các

điểm nằm ở Đông bán cầu có giá trị trong khoảng từ 0° đến 180° kinh Đông (E), còn các điểm nằm ở Tây bán cầu có giá trị từ 0° đến 180° kinh Tây(W).



Hình 3.6. Hệ tọa độ trắc địa

Độ cao trắc địa H là khoảng cách tính theo phương pháp tuyến từ điểm xét P đến mặt ellipsoid. Điểm nằm phía trên mặt ellipsoid có giá trị độ cao trắc địa mang dấu dương ($H > 0$), còn điểm nằm phía dưới mặt ellipsoid có độ cao trắc địa mang dấu âm ($H < 0$).

Thí dụ: Điểm A (Tháp Rùa) nằm ở trung tâm Hà Nội, có tọa độ trắc địa trong hệ WGS-84 được thể hiện như sau:

$$B_A = 21^{\circ}01'40''.58N$$

$$L_A = 105^{\circ}51'08''.63E$$

$$H_A = -21.230m$$

Trong thực tế người ta sử dụng các hệ thống độ cao gắn liền với nhu cầu thực tiễn hơn, đó là hệ thống độ cao chuẩn hoặc hệ thống độ cao chính. Nếu ký hiệu ζ là dị thường độ cao và N là độ cao Geoid tại điểm xét, thì mối quan hệ giữa độ cao chuẩn h_{γ} và độ cao chính h_g với độ cao trắc địa H của điểm xét sẽ được thể hiện qua các biểu thức sau:

$$H = h_{\gamma} + \zeta ; \tag{3.25}$$

$$H = h_g + N .$$

$$\underline{\text{SỬA LẠI KÝ HIỆU h !!!}} \tag{3.26}$$

Khi nói đến độ cao geoid N hay dị thường độ cao ζ , cần phải phải chỉ rõ mối liên quan đến ellipsoid tương ứng. Thí dụ, độ cao geoid N xác định từ mô hình Geoid toàn cầu là đại lượng liên quan đến ellipsoid WGS-84.

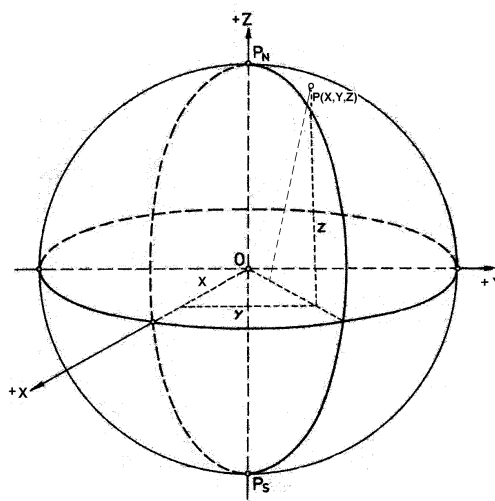
Điểm A (ở Hà Nội) trong thí dụ nêu trên có giá trị độ cao Geoid được xác định từ mô hình Geoid bằng $N=-28,224m$; Như vậy độ cao chính của điểm đó sẽ là:

$$h_g = H - N = -21.230 - (-28.224) = 6.994m$$

3.3.2. Hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm

Như chúng ta đã biết, hệ tọa độ vuông góc không gian (hệ ĐỀ Các) thường được sử dụng để biểu thị vị trí điểm trong không gian (3D). Để thiết lập một hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm gắn với ellipsoid trái đất, người ta định nghĩa gốc tọa độ và các trục tọa độ của hệ ĐỀ Các như sau:

Gốc (O) của hệ trùng với tâm của ellipsoid Trái đất, trục OZ trùng với bán trục nhỏ b (trục quay) trục OX trùng với phẳng kinh tuyến tuyến qua phẳng xích đạo, vuông góc với trục thành một tam



của ellipsoid Trái đất, giao tuyến của mặt trắc địa gốc (kinh Greenwich) với mặt trục còn lại là trục OY OX và trục OZ tạo diện thuận (hình 3.7).

SỬA !!!!

Hình 3.7. Hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm

Vị trí điểm P được xác định trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm bởi 3 giá trị tọa độ X,Y,Z. Mọi điểm trên bề mặt trái đất và trong không gian đều có thể biểu thị trong hệ tọa độ này.

Nước ta nằm ở Bắc bán cầu, thuộc Bán cầu Đông và có độ kinh lớn hơn 90^0 , do đó các điểm trên lãnh thổ Việt Nam có tọa độ $Z > 0$, tọa độ $Y > 0$ và tọa độ $X < 0$.
Thí dụ: Điểm A (Tháp Rùa) nằm ở trung tâm thủ đô Hà Nội có tọa độ vuông góc không gian địa tâm trong hệ WGS-84 là:

$$X_A = -1626924.018; Y_A = 5729423.469; Z_A = 2274274.990.$$

Nếu cho trước tọa độ trắc địa B, L, H chúng ta có thể tính được tọa độ không gian địa tâm X, Y, Z theo các công thức sau:

$$\begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L \\ Z &= \left(\frac{b^2}{a^2} N + H \right) \sin B \end{aligned} \quad (3.27)$$

trong đó N là bán kính vòng thẳng đứng thứ nhất tại điểm xét, được tính theo công thức:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \quad (3.28)$$

Trong trường hợp đã có tọa độ vuông góc không gian địa tâm X, Y, Z cần tính tọa độ trắc địa B, L, H, chúng ta có thể sử dụng các công thức sau:

$$\operatorname{tg} B_{(k)} = \frac{Z}{D - e^2 a [1 + (1 - e^2) \operatorname{tg}^2 B_{(k-1)}]^{-\frac{1}{2}}} \quad \text{nếu } D > Z \quad (3.29)$$

hoặc

$$\operatorname{ctg} B_{(k)} = \frac{D - e^2 a \operatorname{ctg} B_{(k-1)} (1 - e^2 + \operatorname{ctg}^2 B_{(k-1)})^{-\frac{1}{2}}}{Z} \quad \text{nếu } D \leq Z \quad (3.30)$$

trong đó k là chỉ số lần tính lặp, và D được tính theo công thức:

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Vị trí của nước ta có độ vĩ B nhỏ hơn 24^0 , nên $D > Z$, do đó sẽ sử dụng công thức (3.29) để tính B.

Khi tính lặp độ vĩ B theo các công thức (3.29) và (3.30) cần tính giá trị gần đúng đầu tiên B_0 theo công thức :

$$\operatorname{ctg} B_0 = \frac{D(1 - e^2)}{Z} \quad (3.31)$$

Độ kinh L được tính theo công thức :

$$\operatorname{tg}L = \frac{Y}{X} \quad (3.32)$$

Độ cao trắc địa H được tính theo công thức :

$$H = D \sec B - N = Z \operatorname{cosec} B - (1 - e^2) N \quad (3.33)$$

Còn một số công thức khác có sử dụng để tính đổi từ X,Y,Z sang B,L,H như công thức của Z. Altamimi theo trình tự sau:

1. Tính các giá trị : $f = 1 - \sqrt{1 - e^2}$ (3.34)

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (3.35)$$

2. Kinh độ trắc địa L được tính:

$$L = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (3.36)$$

3. Độ vĩ trắc địa B được tính theo 2 bước:

$$\mu = \operatorname{arctg}\left[\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left((1-f) + \frac{e^2 a}{R} \right)\right] \quad (3.37)$$

$$B = \operatorname{arctg}\left[\frac{Z(1-f) + e^2 a \sin^3 \mu}{(1-f) \sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos^3 \mu}\right] \quad (3.38)$$

4. Độ cao trắc địa H được tính:

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2} \cos B + Z \sin B - a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} \quad (3.39)$$

Trong các công thức trên:

a là bán trục lớn của ellipsoid

e là tâm sai thứ nhất của hình ellip

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (3.40)$$

Có thể tính đổi tọa độ X,Y,Z sang B,L,H theo công thức Bowring như sau:

$$B = \operatorname{Arc} \tan\left(\frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{p - e^2 a \cos^3 \theta}\right) \quad (3.41)$$

$$L = \operatorname{Arc} \tan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (3.42)$$

$$H = \frac{p}{\cos B} - N \quad (3.43)$$

trong đó: e^2 là tâm sai thứ hai của ellip, được tính: $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$

$$\text{và} \quad \theta = \text{Arc tan} \frac{Z.a}{p.b}$$

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

Để biểu thị vị trí mặt bằng chính xác đến 1 mm, thì giá trị tọa độ B,L phải tính đến 0,00003", tức là phải có tới 5 chữ số lẻ có nghĩa sau đơn vị giây.

3.3.3. Các hệ tọa độ địa diện

Trong trắc địa vệ tinh và thiên văn trắc địa, các trạm quan trắc chủ yếu được đặt trên mặt đất, do đó trong nhiều trường hợp người ta phải sử dụng hệ tọa độ địa diện (có gốc tại điểm quan trắc trên mặt đất) để tính toán cũng như xác định điều kiện quan trắc đối với vệ tinh và thiên thể. Các hệ tọa độ địa diện thường dùng gồm:

-Hệ tọa độ địa diện xích đạo

-Hệ tọa độ địa diện chân trời

1. Hệ tọa độ địa diện xích đạo

Hệ tọa độ địa diện xích đạo là hệ tọa độ vuông góc không gian (3D) có gốc tọa độ trùng với điểm T_0 trên mặt đất (hình 3.8).

Các trục tọa độ là $O, \bar{X}, \bar{OY}, \bar{OZ}$, **SỬA !!!** t

trục \bar{OZ} song song với trục OZ của hệ tọa

độ địa tâm. Mặt phẳng \bar{XOY} song song với

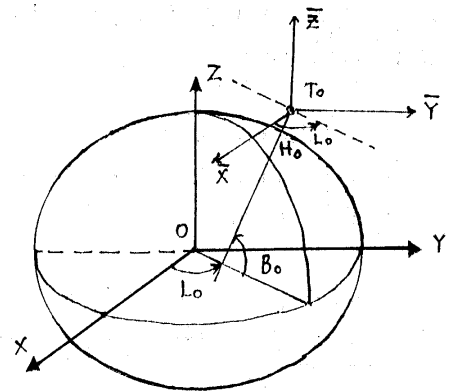
mặt phẳng xích đạo XOY , và các trục tọa

độ \bar{OX}, \bar{OY} tương ứng song song với các trục OX và OY . Vì các trục của hai hệ

này song song nhau, cho nên tọa độ của một điểm nào đó trong hai hệ sẽ có quan hệ như sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

trong đó B_0, L_0, H_0 là tọa độ trắc địa của gốc hệ tọa độ địa diện T_0 trong hệ địa tâm. N_0 là bán kính vòng thẳng đứng thứ nhất xác định tại T_0 .



Hình 3.8. Hệ tọa độ địa diện xích đạo

Tọa độ địa diện xích đạo thường được sử dụng như một hệ tọa độ trung gian phục vụ cho tính toán.

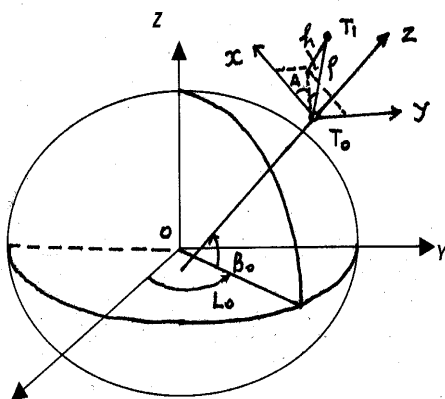
2. Hệ tọa độ địa diện chân trời

Tương tự như hệ tọa độ địa diện xích đạo, hệ tọa độ địa diện chân trời có gốc tọa độ cũng là điểm xác định trên mặt đất, nhưng lấy mặt phẳng chân trời làm mặt phẳng cơ sở. Mặt phẳng chân trời trong trường hợp này là mặt phẳng đi qua điểm quan sát (điểm gốc) và vuông góc với phương pháp tuyến tại điểm đó.

Hệ tọa độ địa diện chân trời có 2 dạng là hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời và hệ tọa độ cực địa diện chân trời.

a. Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời

Hệ tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời có gốc tọa độ trùng với điểm T_0 trên mặt đất (thường là điểm quan sát) và có ba trục tọa độ là Ox, Oy, Oz . Trục Oz trùng với phương pháp tuyến tại điểm T_0 và hướng lên trên, trục Ox là giao tuyến giữa mặt phẳng kinh tuyến qua T_0 và mặt phẳng chân trời, chiều dương hướng về cực bắc trái đất. Trục Oy vuông góc với trục Ox, Oz và hướng về phía Đông. Trong một số tài liệu người ta còn gọi x, y và z tương ứng là N (*North*), E (*East*) và U (*Up*), (hình 3.9).



Trong hệ tọa độ x, y, z (hoặc N, E, U).

a một điểm bởi 3 giá

Mối liên hệ giữa tọa độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z và tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời x,y,z thể hiện qua các công thức sau:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \\ \bar{Z} \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} X - (N_0 + H_0) \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ Y - (N_0 + H_0) \cos B_0 \cdot \sin L_0 \\ Z - [N_0(1 - e^2) + H_0] \cdot \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

và

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \cdot \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \cdot \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

trong đó R là ma trận xoay:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cdot \cos L_0 & -\sin L_0 & \cos B_0 \cdot \cos L_0 \\ -\sin B_0 \cdot \sin L_0 & \cos L_0 & \cos B_0 \cdot \sin L_0 \\ \cos B_0 & 0 & \sin B_0 \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

b. Hệ tọa độ cực địa diện chân trời

Tọa độ cực địa diện chân trời được biểu thị bởi 3 giá trị: bán kính vectơ ρ , phương vị A và góc cao E (*Elevation*) (hình 3.9). Mối liên hệ giữa tọa độ vuông góc không gian địa diện chân trời x,y,z và tọa độ cực địa diện chân trời ρ, A, E được thể hiện qua các biểu thức sau:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho \cdot \cos E \cdot \cos A \\ \rho \cdot \cos E \cdot \sin A \\ \rho \cdot \sin E \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ A &= \arctan \frac{y}{x} \\ E &= \arctan \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{aligned} \quad (3.49)$$

3.4. Các bài toán chuyển từ ellipsoid trục i

Sau khi chuyển các trục từ gốc tới gốc trục i ellipsoid, mối liên hệ giữa các trục của ellipsoid, mối liên hệ giữa các trục của ellipsoid, mối liên hệ giữa các trục của ellipsoid với nhau bằng những công thức cũng với các yếu tố hình học. Các tính chất chuyển đổi (góc, chiều, phương vị, ...).

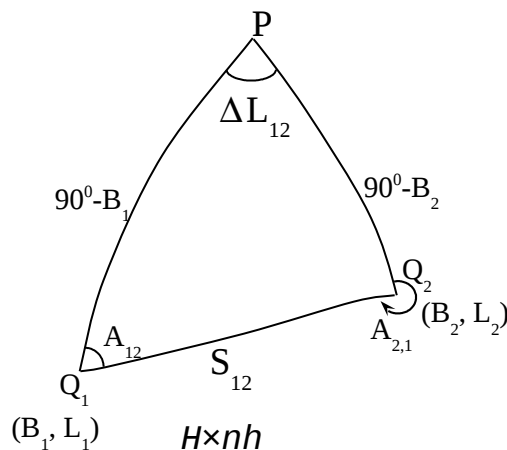
Trong hệ tọa độ địa phương trên hình cầu của các trục địa phương - địa phương $h \times nh$, người ta lấy chiều tiếp xúc của yếu tố của mặt lồi lên hỗ trợ để phân biệt (bằng các phép chiếu sẽ được giới thiệu sau), rằng mỗi điểm hình ảnh của các trục địa phương trên mặt phẳng chiếu. Tuy vậy, trong nhiều trường hợp người ta vẫn cần phải giới thiệu quy ước các trục tiếp xúc ngay trên mặt ellipsoid.

Việc xác định các yếu tố đặc trưng cho việc chuyển hệ giữa các điểm trên mặt ellipsoid (nh: trục địa phương là điểm, chiều dài và phương vị tương đương địa phương nên giữa các điểm) được giải quyết việc giới thiệu các trục địa phương của các trục.

Hai điểm Q_1, Q_2 trên mặt ellipsoid Tr, i Đất cả:

B_1, L_1 là trục địa phương của điểm Q_1 ;

B_2, L_2 là trục địa phương của điểm Q_2 ;



S_{12} là chiều dài tương đương địa phương giữa Q_1Q_2 ;

A_{12} là phương vị tương đương địa phương thuận của S_{12} tại Q_1 ;

A_{21} là phương vị tương đương địa phương nghịch của S_{12} tại Q_2 ;

Các yếu tố trên các trục địa phương cũng có thể được suy ra thông qua tam giác cong PQ_1Q_2 với một điểm P là cực của ellipsoid. Dựa trên các yếu tố góc và cạnh tam giác, ta cũng có thể hình thành trục địa phương của các điểm hoặc xác định chiều dài và phương vị của tương đương địa phương giữa hai điểm xét.

Bụi to, n tr¼c ®pa c- bñn ®íc chia th¼nh hai lo¹i d¹a theo d¹ng d÷ li¼u ®Çu vµo (c, c ®¹i l¼ng ®. cũ) vµ d¹ng d÷ li¼u ®Çu ra (c, c ®¹i l¼ng cÇn x, c ®pnh). Cã thó tãm t¼t néi dung cũa hai lo¹i bụi to, n tr¼n nh sau:

Bụi to, n tr¼c ®pa thuËn: Biót $Q_1(B_1, L_1); A_{12}; S_{12}; T \times m$
 $Q_2(B_2, L_2); A_{21};$

Bụi to, n tr¼c ®pa ngh¼ch: Biót $Q_1(B_1, L_1); Q_2(B_2, L_2); T \times m$
 $S_{12}; A_{12}; A_{21}.$

Các c«ng thøc c- bñn ®ó gi¶i bụi to, n tr¼c ®pa tr¼n mÆt ellipsoid đưóc xây dựng dựa trên mèi quan hõ vi ph©n gi÷a to¹ ®é, chi¼u dµi vµ ph-ng vÞ cũa ®êng tr¼c ®pa nh sau:

$$\left. \begin{aligned} dB &= \frac{\cos A}{M} . ds \\ dL &= \frac{\sin A}{N \cdot \cos B} . ds \\ dA &= \frac{\sin A}{N} . \operatorname{tg} B . ds \end{aligned} \right\} \quad (3.50)$$

Víi to¹ ®é, chi¼u dµi vµ ph-ng vÞ gi÷a hai ®ióm Q_1, Q_2 ta cũ:

$$\left. \begin{aligned} B_2 - B_1 &= \int_0^s \frac{\cos A}{M} . ds \\ L_2 - L_1 &= \int_0^s \frac{\sin A}{N \cdot \cos B} . ds \end{aligned} \right\} \quad (3.51)$$

$$A_2 - A_1 \pm 180 = \int_0^s \frac{\sin A}{N} . \operatorname{tg} B . ds$$

Vióc gi¶i c, c bụi to, n tr¼c ®pa thuËn và ngh¼ch th¼c chÊt lµ gi¶i hõ (3.51) trong ®ã cũ c, c tÝch ph©n elliptic. Số gi¶i hõ tr¼n, theo cách làm truyền thống ngêi ta th¼ng d¼ng ®õn ph¼p tÝnh tÝch ph©n trên cơ sở khai trión ch¼i theo kho¶ng c, ch S vµ t×m c, c th¼t to, n hi¼u qu¶ nhÊt ®ó tÝnh

c, c chuợi nựy. Tuỳ thuộc vào @é chÝnh x, c đặt ra đối với búi to, n , sè lÍng c, c sè h¹ng bỄc cao @íc gi÷ l¹i trong chuỗi sĨ thay đổi theo độ lớn của kho¶ng c, ch , kho¶ng c, ch cụng dũi th× cụng cÇn ph¶i gi÷ l¹i nhiòu sè h¹ng bỄc cao. Møc @é phøc t¹p cña búi to, n tr¼c @pa @íc ph©n chia theo kho¶ng c, ch :

- Búi to, n tr¼c @pa tr¹n kho¶ng c, ch ng¼n: $S < 400\text{km}$.

- Búi to, n tr¼c @pa tr¹n kho¶ng c, ch trung b×nh: $400 < S < 1000\text{km}$.

- Búi to, n tr¼c @pa tr¹n kho¶ng c, ch dũi: $S > 1000\text{km}$.

VÍi mçi lo¹i kho¶ng c, ch l¹i cã c, c ph-ng ph,p gi¶i phĩ híp @Ó @¹t @íc y¹u cÇu vò @é chÝnh x, c vµ thuËn tiÕn trong viÖc tÝnh to, n .

C«ng t, c gi¶i búi to, n tr¼c @pa tr¹n mÆt Ellipsoid ph¶i @¶m b¶o sai sè tÝnh to, n t-ng øng víi:

$$m_B'' = m_L'' = \pm 0''0001 (\approx 3\text{mm})$$

S©y lµ @é chÝnh x, c cÇn thiÕt khi x, c @pnh tãa @é. Cßn @é chÝnh x, c vò ph-ng vP khi tÝnh to, n cÇn @¹t @íc lµ $\pm 0''001$.

Cã nhiòu c, ch gi¶i c, c búi to, n tr¼c @pa c- b¶n tr¹n ellipsoid, mçi c, ch gi¶i l¹i cã c, c @Æc @ióm kh, c nhau. V× vỄy trong gi, o tr×nh nựy chØ tr×nh bуй mét sè ph-ng ph,p @ión h×nh, øng dõng thÝch híp nhÊt cho viÖc gi¶i c, c búi to, n tr¼c @pa c- b¶n.

3.4.1 Gi¶i búi to, n tr¼c @pa thuËn

1. Gi¶i búi to, n tr¼c @pa thuËn theo ph-ng ph,p Legendre

N¹m 1806 nhµ to, n hãc Ph, p Legendre @Ò xuÊt c, ch gi¶i búi to, n tr¼c @pa thuËn kho¶ng c, ch ng¼n víi ý tÈng coi tãa @é tr¼c @pa, ph-ng vP tr¼c @pa vµ chiòu dũi @êng tr¼c @pa nèi 2 @ióm Q_1, Q_2 lµ hµm cña chiòu dũi @êng tr¼c @pa. Trong

hỗ tãa ®é cùc, ®êng tr¼c ®pa cũ thó đưc bióu diôn b»ng ph-
ng tr×nh tham sè theo chiòu dãi ®êng tr¼c ®pa nh sau:

$$\left. \begin{aligned} B &= B(s); \\ L &= L(s); \\ A &= A(s); \\ S &= S. \end{aligned} \right\} \quad (3.52)$$

Ph-ng tr×nh tham sè (3.52) cũ ®iò hũm li^n tíc, n^n cũ thó trión khai theo chuçi Makloran t¹i ®ióm Q_1 nh sau:

$$\left. \begin{aligned} \Delta B_{1.2} &= B_2 - B_1 = \left(\frac{dB}{ds} \right)_1 \frac{S}{1!} + \left(\frac{d^2 B}{ds^2} \right)_1 \frac{S^2}{2!} + \left(\frac{d^3 B}{ds^3} \right)_1 \frac{S^3}{3!} + \dots \\ \Delta L_{1.2} &= L_2 - L_1 = \left(\frac{dL}{ds} \right)_1 \frac{S}{1!} + \left(\frac{d^2 L}{ds^2} \right)_1 \frac{S^2}{2!} + \left(\frac{d^3 L}{ds^3} \right)_1 \frac{S^3}{3!} + \dots \\ \Delta A_{1.2} &= A_{2.1} \pm 180^\circ - A_{1.2} = \left(\frac{dA}{ds} \right)_1 \frac{S}{1!} + \left(\frac{d^2 A}{ds^2} \right)_1 \frac{S^2}{2!} + \left(\frac{d^3 A}{ds^3} \right)_1 \frac{S^3}{3!} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (3.53)$$

Dùa vµo ph-ng tr×nh vi ph©n cũa ®êng tr¼c ®pa, tÝnh c, c

®iò hũm ri^ng t¹i ®ióm Q_1 lµ $\left(\frac{d^n B}{ds^n} \right)_1$, $\left(\frac{d^n L}{ds^n} \right)_1$ vµ $\left(\frac{d^n A}{ds^n} \right)_1$

thay vµo (3.53) vµ đĩng ký hiõu:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \frac{\rho''}{N} S \cos A = \rho'' \frac{V}{C} S \cos A \\ v_1 &= \frac{\rho''}{N} S \sin A = \rho'' \frac{V}{C} S \sin A \end{aligned} \right\} \quad (3.54)$$

rãi x¼p xõp l¹i c, c sè h¹ng theo chiòu t''ng cũa u_1^n, v_1^n ,
®íc c«ng thøc tÝnh cũ thó lµ:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(B_2 - B_1)''}{V_1^2} = & u_1 - \frac{1}{2\rho''} t_1 v_1^2 - \frac{3}{2\rho''} t_1 \eta_1^2 u_1^2 - \frac{1}{2\rho''^2} \eta_1^2 (1 - t_1^2) u_1^3 - \\ & - \frac{1}{6\rho''^2} (1 + 3t_1^2 + \eta_1^2 - 9\eta_1^2 t_1^2) u_1 v_1^2 + \frac{1}{2\rho''^3} t_1 \eta_1^2 u_1^4 + \\ & + \frac{t_1}{24\rho''^3} (1 + 3t_1^2 + \eta_1^2 - 9\eta_1^2 t_1^2) v_1^4 - \frac{t_1}{12\rho''^3} (4 + 6t_1^2 - 13\eta_1^2 - 9t_1^2 \eta_1^2) u_1^2 v_1^2 + \\ & + \frac{1}{120\rho''^4} (1 + 30t_1^2 + 45t_1^4) u_1 v_1^4 - \frac{1}{30\rho''^4} (2 + 15t_1^2 + 45t_1^4) u_1^3 v_1^2 + \dots \end{aligned} \right\}$$

(3.55)

$$\left. \begin{aligned} (L_2 - L_1)'' \cos B = & v_1 + \frac{t_1}{\rho''} v_1 u_1 - \frac{t_1^2}{3\rho''^2} v_1^3 + \frac{1}{3\rho''^2} (1 + 3t_1^2 + \eta_1^2) v_1 u_1^2 + \\ & - \frac{t_1}{3\rho''^3} (1 + 3t_1^2 + \eta_1^2) v_1^3 u_1 + \frac{t_1}{3\rho''^3} (2 + 3t_1^2 + \eta_1^2) v_1 u_1^3 + \frac{t_1^2}{15\rho''^4} (1 + 3t_1^2) v_1^5 + \\ & + \frac{1}{15\rho''^4} (2 + 15t_1^2 + 15t_1^4) v_1 u_1^4 - \frac{1}{15\rho''^4} (1 + 20t_1^2 + 30t_1^4) u_1^2 v_1^3 + \dots \end{aligned} \right\}$$

(3.56)

$$\left. \begin{aligned} A_{2,1} \pm 180^\circ - A_{1,2} = & t_1 v_1 + \frac{1}{2\rho''} (1 + 2t_1^2 + \eta_1^2) v_1 u_1 - \frac{t_1}{6\rho''^2} (1 + 2t_1^2 + \eta_1^2) v_1^3 + \\ & + \frac{t_1}{6\rho''^3} (5 + 6t_1^2 + \eta_1^2 - 4\eta_1^2) v_1 u_1^2 - \frac{1}{24\rho''^3} (1 + 20t_1^2 + 24t_1^4 + 2\eta_1^2 + 8\eta_1^2 t_1^2) v_1^3 u_1 \\ & + \frac{1}{24\rho''^3} (5 + 28t_1^2 + 24t_1^4 + 6\eta_1^2 + 8\eta_1^2 t_1^2) v_1 u_1^3 \end{aligned} \right\}$$

(3.57)

C, c tham sè trong nh÷ng c«ng thøc trªn ®. ®íc gi¶i thiõu ë c, c phçn tríc, chỉ số "1" chø c, c tham sè ®íc tÝnh theo tãa ®é cña ®im Q₁. Dìng c, c c«ng thøc trªn, cã th tÝnh ΔB, ΔL, ΔA vµ tõ ®ã gi¶i bµi to, n thuËn:

$$B_2 = B_1 + \Delta B ; \quad L_2 = L_1 + \Delta L ; \quad A_{2,1} =$$

$$A_{1,2} \pm 180^\circ + \Delta A.$$

C, c h sè uⁿ, vⁿ ®íc lËp thnh b¶ng tra theo ®é v trc ®pa vµ tham sè h×nh hc cña ellipsoid qui chiõu, ®ã lµ lo¹i c«ng thøc cña c, c nh trc ®pa Boltz (§c) hoÆc Hristow (Bungari). Cßn Schreiber (§c) vµ Izotov (Nga) ® xuËt c, ch tÝnh qua 1 ®im ph Q₀ (cung ph, p tuyn Q₂Q₀ vu«ng gãc víi kinh tuyến ®i qua Q₁), vµ chia việc gi¶i t Q₁ ®n Q₂ thnh

tổ \$Q_1\$ ở gần điểm phôi \$Q_0\$ sau đã giã thì tổ \$Q_0\$ ở gần \$Q_2\$, nên các bác tính nhanh và nên giãn hơn.

2. Giải bài toán tra cứu Pa thuận theo công thức về vũ trụ trung bình của Gauss

Ta biết, nếu cả hàm \$f(x)\$ với biến \$x\$ tùy ý cả thảy lấy ở hàm bậc \$n\$ theo biến \$x\$ và tại \$x_0\$ lấy trung bình của \$x\$, ta cả \$x=x_0+\Delta x\$ và khai triển \$f(x)\$ theo chuỗi Taylor:

$$f(x) = f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + \frac{df}{dx} \cdot \frac{\Delta x}{1!} + \frac{d^2x}{dx^2} \cdot \frac{\Delta x^2}{2!} + \frac{d^3f}{dx^3} \cdot \frac{\Delta x^3}{3!} + \dots \quad \text{????}$$

(3.58)

Chuỗi (3.58) thêm hai từ thêm, nên ta tăng mức hai từ của nó bằng cách thay thế trung bình của \$x\$

\$= x_0 + \frac{\Delta x}{2}\$, kết quả cả:

$$f(x) = f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + \left(\frac{df}{dx}\right)_m \Delta x + \left(\frac{d^3x}{dx^3}\right)_m \cdot \frac{\Delta x^3}{24} + \left(\frac{d^5f}{dx^5}\right)_m \cdot \frac{\Delta x^5}{1920} + \dots$$

(3.59)

Chuỗi (3.59) so với chuỗi (3.58) thì biết là các số hạng của nó sẽ nhỏ hơn, các số hạng của nó sẽ nhỏ hơn cả số hạng thì nhiều lần nên hai từ nhanh hơn.

Nguyên tắc này của Gauss vẫn đúng và giải bài toán tra cứu Pa với hai số lấy \$B_m = (B_1+B_2)/2\$; \$L_m = (L_1+L_2)/2\$ và \$A_m = (A_1+(A_2-180^\circ))/2\$ ứng với điểm \$Q_M\$ trong hình vẽ ?????.

Chọn điểm \$Q_c\$ nằm trên trục Pa \$S_{12}\$ thỏa mãn điều kiện \$Q_c Q_1 = Q_c Q_2\$.

Với các giá trị \$B, L\$ không phải lấy mét hàm tuyến tính theo \$S\$, nên \$Q_M\$ chỉ

$$Q_1 Q_M \approx S/2 \quad \text{và}$$

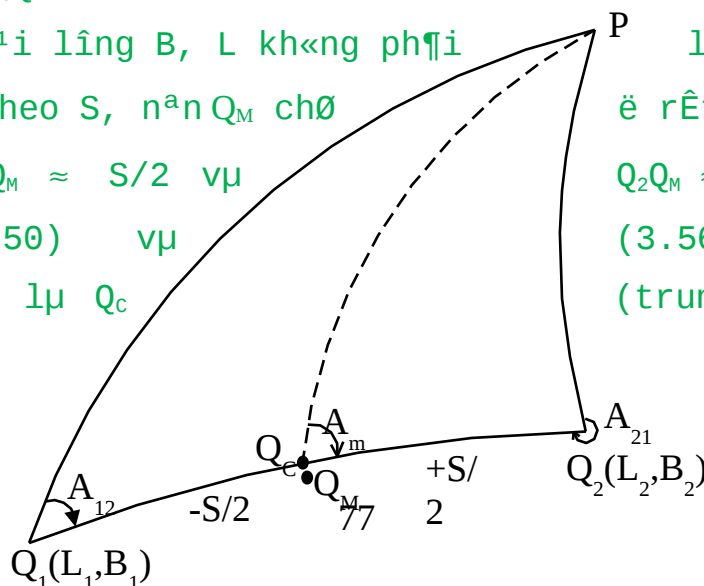
$$\text{Tổ (3.50) và}$$

lấy ở hàm lấy \$Q_c\$ (trung điểm của \$S\$) ta sẽ cả:

lấy mét hàm rất gần \$Q_c\$:

$$Q_2 Q_M \approx S/2$$

(3.56) với điểm (trung điểm của \$S\$)



H ????.....

$$\begin{aligned}
 B_2 - B_1 &= \left(\frac{dB}{ds}\right)_C s + \frac{1}{24} \left(\frac{d^3B}{ds^3}\right)_C s^3 + \frac{1}{1920} \left(\frac{d^5B}{ds^5}\right)_C s^5 + \dots \\
 L_2 - L_1 &= \left(\frac{dL}{ds}\right)_C s + \frac{1}{24} \left(\frac{d^3L}{ds^3}\right)_C s^3 + \frac{1}{1920} \left(\frac{d^5L}{ds^5}\right)_C s^5 + \dots \\
 (3.60) \\
 A_2 - A_1 \pm 180^\circ &= \left(\frac{dA}{ds}\right)_C s + \frac{1}{24} \left(\frac{d^3A}{ds^3}\right)_C s^3 + \frac{1}{1920} \left(\frac{d^5A}{ds^5}\right)_C s^5 + \dots
 \end{aligned}$$

Tính chuyển c, c theo hàm riêng $\left(\frac{d^n B}{ds^n}\right)_C$, $\left(\frac{d^n L}{ds^n}\right)_C$, $\left(\frac{d^n A}{ds^n}\right)_C$ tại
 điểm Q_C theo điểm Q_M rải rớt gần l1i trục c, c cũng theo
 sau:

$$\begin{aligned}
 B_2 - B_1 = b'' &= \frac{\rho''}{M_m} S \cos A_m \left[1 + \frac{\ell'^2}{12\rho''^2} + \frac{\ell'^2 \sin B_m}{24\rho''^2} \right] \\
 L_2 - L_1 = \ell' &= \frac{\rho''}{N_m} S \sin A_m \sec B_m \left[1 - \frac{b''^2}{24\rho''^2} + \frac{\ell'^2 \sin^2 B_m}{24\rho''^2} \right] \\
 (3.61)
 \end{aligned}$$

$$(A_2 - A_1) \pm 180^\circ = t = \ell' \sin B_m \left[1 + \frac{b'^2}{8\rho'^2} + \frac{\ell'^2}{12\rho'^2} - \frac{\ell'^2 \sin^2 B_m}{12\rho'^2} \right]$$

$$\left. \begin{aligned} B_2 &= B_1 + b \\ L_2 &= L_1 + \ell \end{aligned} \right\} \quad (3.62)$$

$$A_2 = A_1 + \Delta A \pm 180^\circ$$

Nhằm c, c c«ng thóc tở (3.61) ®Ön (3.62) ®íc gãi lµ c, c c«ng thóc theo ®èi sè lµ ®é vÛ trung b×nh cña Gauss. Chóng ®íc sô dông chung ®Ó gi¶i c¶ bµi to, n thuËn vµ bµi to, n nghpçh.

Khi sô dông c, c nhằm c«ng thóc ®Ó gi¶i bµi to, n thuËn, ngay tở ®Çu ®. cÇn biÕt B_2, A_2 , do vÿy ph¶i tÝnh nhÝch dçn: ®Çu tiªn cho $A_m \approx A_1, B_m \approx B_1$ lçn lît tÝnh vµ , p dông qu, tr×nh lÆp.

$$\left. \begin{aligned} B^{(i+1)} &= B^{(i)} + \frac{b^{(i)}}{2} \\ A^{(i+1)} &= A^{(i)} + \frac{\Delta A^{(i)}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3.63)$$

cho ti khi

$$\left. \begin{aligned} b^{(i+1)} - b^{(i)} &< 0''.00001 \\ l^{(i+1)} - l^{(i)} &< 0''.00001 \end{aligned} \right\} \quad (3.64)$$

$$\Delta A^{(i+1)} - \Delta A^{(i)} < 0''.001$$

3. Gi¶i bµi to, n thuËn theo ph-ng ph, p sô dông ph-ng tr×nh vi ph©n cña ®êng tr¼c ®Pa:

Nhc ®im cña c, c ph-ng ph, p khai trin chuçi lµ ph¶i sô dông nhiu c«ng thóc lÆp s½n rÊt phc tp, tÝnh nhiu h sè trung gian, qu, tr×nh tÝnh to, n qua nhiu bc, kh«ng linh hoạt khi cÇn lµm chñ ®é chÝnh x, c cña kt qu¶, khã khăn cho c«ng t, c tù ®éng ha.

Ph- η ng ph, η p s \acute{o} d \acute{o} ng tr \acute{u} c ti \acute{o} p c, \acute{c} ph- η ng tr \times nh vi ph \acute{o} n c \acute{n} a \mathbb{R}^n tr \acute{u} c \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n gi η i c, \acute{c} b \acute{u} i to, η n tr \acute{u} c \mathbb{R}^n c \rightarrow b η n tr \acute{a} n m \acute{a} t ellipsoid \mathbb{R}^n . \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n xu \acute{e} t c \acute{i} ng v \acute{i} i s \acute{u} ph \acute{a} e c \acute{e} p nguy \acute{e} n c \acute{u} ng r \acute{e} ng r \cdot i c \acute{n} a m, \acute{y} t \acute{y} nh \mathbb{R}^n t \acute{o} . Th \acute{u} c ch \acute{e} t \mathbb{R}^n ch \acute{y} nh l \acute{u} ph- η ng ph, η p t \acute{y} ch ph \acute{o} n s \grave{e} . Ph- η ng ph, η p nguy \acute{e} n \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n d \acute{o} ng \mathbb{R}^n gi η i c η b \acute{u} i to, η n thu \acute{e} n v \acute{u} b \acute{u} i to, η n ngh \acute{e} pch.

T \acute{i} i Vi \acute{o} t Nam, GS.TSKH Ph \acute{a} m Ho \acute{a} ng L \acute{a} n \mathbb{R}^n gi η i quy \acute{e} t v \acute{e} n \mathbb{R}^n nguy \acute{e} n v \acute{u} c \acute{u} ng b \acute{e} trong c, \acute{c} c \acute{u} ng tr \times nh nghi \acute{e} n c \acute{o} u c \acute{n} a m \times nh (TLTK).

C \rightarrow s \acute{e} c \acute{n} a ph- η ng ph, η p nh sau:

$$\text{X \acute{e} t t \acute{y} ch ph \acute{o} n x, \acute{c} \mathbb{R}^n nh: } I = \int_a^b f(x)dx$$

N \acute{o} u $f(x)$ li \acute{e} n t \acute{o} c tr \acute{a} n $[a, b]$ v \acute{u} c \acute{a} nguy \acute{e} n h \acute{u} m l \acute{u} $F(x)$, theo c \acute{u} ng th \acute{o} c Niut- η -L \acute{e} pni \acute{t} : S \acute{U} A THEO TEN G \acute{O} C !!!

$$I = \int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a)$$

Nh \acute{u} ng n \acute{o} u kh \acute{e} ng t \times m \mathbb{R}^n nguy \acute{e} n h \acute{u} m c \acute{n} a $f(x)$ ho \acute{c} nguy \acute{e} n h \acute{u} m \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n qu, \acute{e} ph \acute{o} c t \acute{p} th \times t \acute{y} ch ph \acute{o} n I c \acute{a} th \acute{o} \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n x, \acute{c} \mathbb{R}^n nh b \gg ng ph- η ng ph, η p t \acute{y} ch ph \acute{o} n s \grave{e} .

VI \acute{E} T L \acute{A} I !!!!!

B η n ch \acute{e} t c \acute{n} a ph- η ng ph, η p t \acute{y} ch ph \acute{o} n s \grave{e} \mathbb{R}^n bi \acute{o} u di \acute{o} n b \gg ng c \acute{u} ng th \acute{o} c c \rightarrow b η n :

$$I = \int_a^b f(x).dx \approx f(a).dx + f(a+dx).dx + \dots + f(a+i.dx).dx + \dots + f[a+(n-1).dx].dx$$

(3.65)

V \acute{i} i $dx = (b - a)/n$

dx \mathbb{R}^n \mathbb{R}^n g \acute{a} i l \acute{u} kho η ng chia c \acute{n} a bi \acute{o} n s \grave{e} ; n l \acute{u} s \acute{e} c, \acute{c} kho η ng chia dx t \acute{o} a t \acute{i} i b . Bi \acute{o} u th \acute{o} c (3.65) s \acute{i} tr \acute{e} th \acute{u} nh \mathbb{R}^n ng th \acute{o} c n \acute{o} u $n \rightarrow \infty$.

T \acute{o} c \acute{u} ng th \acute{o} c (3.51) ta c \acute{a} :

$$B_2 = B_1 + \sum_{i=1}^{n_k} \frac{\cos A_i}{M_i} \cdot \delta s$$

$$L_2 = L_1 + \sum_{i=1}^{n_k} \frac{\sin A_i}{N_i \cdot \cos B_i} \cdot \delta s$$

(3.66)

$$A_2 \pm 180^\circ = A_1 + \sum_{i=1}^{n_k} \frac{\sin A_i}{N_i} \cdot \text{tg} B_i \cdot \delta s$$

Trong @ã: ???????

$$(B_2)_{i+1} = (B_2)_i + \frac{\cos A_i}{M_i} \cdot \delta s$$

$$(L_2)_{i+1} = (L_2)_i + \frac{\sin A_i}{N_i \cdot \cos B_i} \cdot \delta s$$

(3.67)

$$A_{i+1} = A_i + \frac{\sin A_i}{N_i} \cdot \text{tg} B_i \cdot \delta s$$

$$\delta s = S_{12} / n_k$$

TÝnh hõ (3.66) theo ph-ng ph, p tÞnh tiÕn ??????. Thùc hiÕn qu, tr×nh trªn theo bíc lÆp víi n_k t'ng dÇn. KÕt qu¶ @íc x,c @Þnh khi so s, nh gi, trÞ chªnh lõch $\delta(B_2, L_2, A_{21})$ gi÷a lÇn tÝnh thø k vµ lÇn tÝnh thø k+1 tháa m·n (3.64). Ph-ng ph, p nuy sã dõng c,c c«ng thøc kh«ng phøc t¹p, chu tr×nh lÆp @-n gi¶n, rÊt thuËn lÊi khi lÆp tr×nh, cã thó , p dõng cho nhiõu lo¹i kho¶ng c, ch vµ cho nhiõu lo¹i ellipsoid kh,c nhau. MÆc dõ khèi lÊng c,c phÐp tÝnh rÊt lín, nhng @iõu nuy kh«ng @, ng quan ng¹i khi m,y tÝnh @iõn tã @íc sã dõng rng r·i.

3.4.2 Gi¶i bµi to,n tr¼c @Þa ngíc

1. Gi¶i bµi to,n tr¼c @Þa ngíc theo c«ng thøc @é vÛ trung b×nh cª Gauss

Sõ gi¶i bµi to,n ngíc, tã 2 ph-ng tr×nh @Çu cª (3.61) ta viÕt @íc:

$$\left. \begin{aligned} S \cos A_m &= \frac{b''}{\rho''} \cdot M_m \left[1 - \frac{2\ell^2 + (\ell' \sin B_m)^2}{24\rho''^2} \right] = Q \\ S \sin A_m &= \frac{\ell'}{\rho''} \cdot N_m \cos B_m \left[1 + \frac{b''^2 - (\ell' \sin B_m)^2}{24\rho''^2} \right] = P \end{aligned} \right\}$$

(3.68)

rãi tÝnh ®íc:

$$t = \ell' \cdot \sin B_m \left[1 + \frac{3b''^2 + 2\ell'^2 - 2(\ell' \sin B_m)^2}{24\rho''^2} \right] \quad (3.69)$$

TiÕp tíc:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} A_m &= \frac{P}{Q} \\ S &= \frac{P}{\sin A_m} = \frac{Q}{\cos A_m} \\ A_1 &= A_m - \frac{t}{2} \\ A_2 &= A_m \pm 180^\circ + \frac{t}{2} \end{aligned} \right\}$$

(3.70)

Nh vÿy gi¶i b¶i to,n ngíc theo c«ng thøc ®é vÿ trung b×nh cña Gauss rÊt ng¾n g¶n vµ kh«ng ph¶i tÝnh nhÝch dÇn.

Cã thó lÿp tr×nh tÝnh b¶i to,n thuËn vµ ngíc theo ph-ng ph,p cña Gauss, kh«ng nh÷ng gi¶i nhanh ®íc c¶ b¶i to,n thuËn vµ ngíc mµ cßn më rng kho¶ng c, ch ®Õn tÇm 1000km.

2. Gi¶i b¶i to,n nghÞch b»ng tÝch ph©n sè:

Só gi¶i b¶i to,n nghÞch, ta sã dõng thuËt to,n cña b¶i to,n thuËn theo ph-ng ph,p lÿp nhÝch dÇn :

1. Tõ B_1, L_1 vµ B_2, L_2 ta tÝnh S_{12}^1, A_{12}^1 gÇn ®óng;

2. Tõ B_1, L_1 vµ S_{12}^1, A_{12}^1 tÝnh B_2^1, L_2^1 (theo thuËt to,n cña b¶i to,n thuËn)

3. TÝnh $\delta B_2 = B_2 - B_2^{(1)}$; $\delta L_2 = L_2 - L_2^{(1)}$

4. Tõ $\delta B_2, \delta L_2$ tÝnh $\delta S_{12}, \delta A_{12}$ theo c«ng thøc vi ph©n

5. TÝnh lÆp tã bíc 2 víi $S_{12}^{(2)} = S_{12}^{(1)} + \delta S_{12}$ vµ $A_{12}^{(2)} = A_{12}^{(1)} +$

δA_{12}

Cô thố nh sau:

LÇn 1:

LÊy:

$$A_{12}^{(1)} = \arctg \frac{(L_2 - L_1) \cdot N_m \cdot \cos B_m}{(B_2 - B_1) \cdot M_m}$$

$$S_{12}^{(1)} = \left[(B_2 - B_1)^2 \cdot M_m^2 + (L_2 - L_1)^2 \cdot N_m^2 \cdot \cos^2 B_m \right]^{1/2}$$

Víi: $B_m = \frac{B_1 + B_2}{2}$

TÝnh $(B_2^{(1)}, L_2^{(1)})$ lÇn 1 theo bµi to,n thuËn.

Sõ dõng c«ng thøc vi ph©n ®Ó t×m:

$$\left. \begin{aligned} \delta S_1 &= M_2 \cdot \cos A_2 \cdot \delta B_2 + N_2 \cos B_2 \cdot \sin A_2 \cdot \delta L_2 \\ \delta A_1 &= -\frac{M_2}{g} \cdot \sin A_2 \cdot \delta B_2 + \frac{N_2 \cos B_2}{g} \cdot \cos A_2 \cdot \delta L_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.71)$$

Víi: $\delta B_2 = B_2 - B_2^{(1)}$

$\delta L_2 = L_2 - L_2^{(1)}$

$g = R \cdot \sin \left\{ \frac{S_{12}^{(1)}}{R} \right\}$

LÇn 2:

LÊy:

$S_{12}^{(2)} = S_{12}^{(1)} + \delta S_1$

$A_{12}^{(2)} = A_{12}^{(1)} + \delta A_1$

TÝnh $B_2^{(1)}$ vµ $L_2^{(1)}$ theo bµi to,n thuËn vµ t×m δS_2 vµ δA_2 theo (3.71).

Cø thõ lÆp l¹i c,c lÇn sau nh lÇn thø 2 cho tíi khi $\delta B_2 < \varepsilon_B$ vµ $\delta L_2 < \varepsilon_L$.

SỐ ®¹t ®é chÝnh x,c cÇn thiõt, c¶ bµi to,n thuËn vµ nghÞch, ta chän:

$\varepsilon_B = \varepsilon_L = 0.0001''$, $\varepsilon_A = 0''001$.

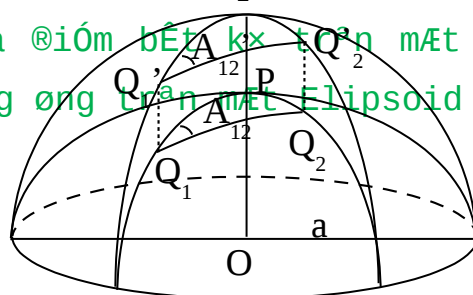
Ph-nhng ph, p tÝch ph©n sè ®Ó gi¶i c, c bµi to, n tr¼c ®Pa c- b¶n trªn mÆt Ellipsoid lµ mét ph-nhng ph, p rÊt tiÕn lÊi khi sè dõng m, y tÝnh ®iÕn tð c, nh©n. ViÖc lÊp tr×nh vµ tÝnh to, n rÊt ®-n gi¶n, kÕt qu¶ c¶ ®é chÝnh x, c cao, qui tr×nh tÝnh to, n theng nhÊt víi m¸i kho¶ng c, ch cho c¶ hai lo¹i bµi to, n tr¼c ®Pa thuËn, nghÞch vµ rÊt linh ho¹t khi thay ®æi c, c th«ng sè cña Ellipsoid qui chiÕu

3.4.3. Gi¶i bµi to, n tr¼c ®Pa kho¶ng c, ch dµi theo c«ng thøc Bessel

SÓ gi¶i bµi to, n tr¼c ®Pa trªn kho¶ng c, ch dµi, ta b¶t ®Çu tð c«ng thøc Bessel. Chñ ®Ò chÝnh cña ph-nhng ph, p Bessel lµ chiÕu mÆt Elipsoid lªn mÆt cÇu phõ trÊ theo c, c ®iÒu kiÕn cña Bessel. Gi¶i bµi to, n tr¼c ®Pa trªn mÆt cÇu, sau ®ã tÝnh chuyón ngíc kÕt qu¶ gi¶i ®íc tð mÆt cÇu Bessel vÒ mÆt Ellipsoid. Nh vÿy mÊu chèt cña ph-nhng ph, p lµ t×m ra quan hõ t-nh õng cña c, c yõu tè trªn mÆt Ellipsoid vµ c, c yõu tè trªn mÆt cÇu. Ph-nhng ph, p nµy kh«ng phõ thóc vµo kho¶ng c, ch gi¶i mµ l¹i cho ®é chÝnh x, c cao.

MÆt cÇu phõ trÊ c¶ t©m trng víi t©m cña Ellipsoid, c¸ b, n kÝnh b»ng b, n tróc lín (theo h×nh vÿ). SÓ x, c lÊp quan hõ gi÷a c, c yõu tè trªn mÆt Ellipsoid vµ mÆt cÇu, Bessel ®Æt ra c, c ®iÒu kiÕn:

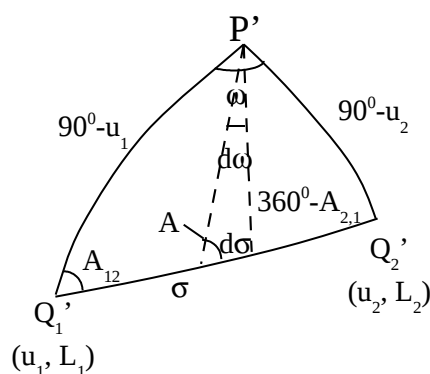
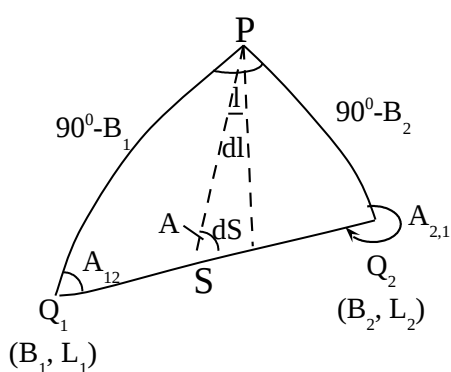
1. Sêng tr¼c ®Pa trªn mÆt Ellipsoid chiÕu lªn mÆt cÇu lµ cung vßng trßn lín.
2. Ph-nhng vP cña ®ióm xuÊt ph, t trªn mÆt Ellipsoid vµ trªn mÆt cÇu t-nh õng b»ng nhau ($A_{12}=A'_{12}$).
3. Sè vÿ cña ®ióm bÊt k× t¸n mÆt cÇu b»ng ®é vÿ qui h¸a cña ®ióm t-nh õng trªn mÆt Ellipsoid ($u=B$).



????

Tổ ã, dõ dụng thây r»ng gãc ph-ng vP A của ãng tr¼c ãa tr^n mÆt Ellipxoid t¹i mãi ãiõm ãõu b»ng gãc ph-ng vP A' t¹i c,c ãiõm t-ng øng của vßng trßn lín tr^n mÆt cÇu phõ trî.

XÐt hai tam gi,c: PQ₁Q₂ tr^n mÆt Ellipxoid vµ P'Q'₁'Q'₂' tr^n mÆt cÇu phõ trî.



HINH

????

HINH

?????

Tr^n mÆt Ellipxoid

S, dS t-ng øng

l, dl t-ng øng

90° - B₁ t-ng øng

90° - B₂ t-ng øng

A_{1,2} =

360° - A_{2,1} =

Tr^n mÆt cÇu

σ, dσ

ω, dω

90° - u₁

90° - u₂

A'_{1,2}

360° - A'_{2,1}

Mãi li^n hõ gi÷a B₁, B₂ vµ u₁, u₂ ãíc thõ hiõn qua c«ng

thøc: $\text{tgu} = \sqrt{1-e^2} \cdot \text{tgB}$

Như vậy ta chọn các trục tham mại quan hệ giữa S và σ , giữa ω và l . Vậy, để thay cho việc giải các bài toán trắc địa trên mặt Ellipsoid, người ta sẽ giải các bài toán tương ứng ở trên mặt cầu với các số liệu đã cho. Việc chuyển đổi mặt Ellipsoid sang mặt cầu và ngược lại.

Với các công thức giải bài toán thuận và ngược theo phương pháp Bessel các trục thấy trong [TLTK].

VÝ DỤ: (Theo phương pháp tích phân sẽ)

1. Bài toán trắc địa thuận

Với $B_1=21^\circ00'00.0000''$, $L_1=105^\circ00'00.0000''$ ta tính tìm B_2 , Q_2 với khoảng cách 50km, 500km và 2000km ở cùng các phương và khi đó các nhau trên Ellipsoid Kraxovski.

Bảng 1 ????

S_{12} (km)	A_{12}	$45^\circ00'00.000''$	$92^\circ00'00.000''$	$200^\circ00'00.000''$	$300^\circ00'00.000''$
50	B_2	$21^\circ19'08.31732$ "	$20^\circ59'00.82136$ "	$20^\circ34'31.98534$ "	$21^\circ13'31.01515$ "
	L_2	$105^\circ20'26.7864$ 0"	$105^\circ28'49.9913$ 6"	$104^\circ50'09.5419$ 1"	$104^\circ34'58.4459$ 3"
	A_{21}	$225^\circ07'22.830''$	$272^\circ10'19.745''$	$19^\circ56'30.440''$	$119^\circ50'59.133''$
500	B_2	$24^\circ09'22.47236$ "	$20^\circ46'29.42993$ "	$16^\circ44'53.39521$ "	$23^\circ12'15.09626$ "
	L_2	$108^\circ28'38.5896$ 8"	$109^\circ47'58.5325$ 3"	$103^\circ23'51.5489$ 2"	$100^\circ46'14.1212$ 0"
	A_{21}	$226^\circ20'9.518''$	$273^\circ42'43.542''$	$19^\circ28'52.567''$	$118^\circ24'27.827''$
2000	B_2	$33^\circ02'48.66252$ "	$19^\circ18'40.51699$ "	$3^\circ55'33.31451''$ "	$29^\circ02'36.96607$ "
	L_2	$120^\circ03'59.4159$ 7"	$124^\circ03'29.3003$ 4"	$98^\circ55'49.92978$ "	$87^\circ13'23.44444$ "
	A_{21}	$231^\circ54'55.363''$	$278^\circ37'18.399''$	$18^\circ40'27.238''$	$112^\circ24'43.952''$

2. Bài toán trắc địa nghịch

Cho B_1 , L_1 và các số liệu B_2 , L_2 tính tìm các trục trong bảng 1 và sẽ tìm các trục để tính tìm bài toán trắc địa nghịch.

Bảng 2

B ₂	21°19'08.31732 "	20°59'00.82136 "	20°34'31.98534 "	21°13'31.01515 "
L ₂	105°20'26.7864 0"	105°28'49.9913 6"	104°50'09.5419 1"	104°34'58.4459 3"
S ₁₂ (m)	50000.0002	50000.0000	50000.0000	50000.0000
A ₁₂	45°00'00.000"	91°59'59.999"	200°00'00.001"	300°00'00.000"
A ₂₁	225°07'22.830"	272°10'19.744"	19°56'30.441"	119°50'59.133"
B ₂	24°09'22.47236 "	20°46'29.42993 "	16°44'53.39521 "	23°12'15.09626 "
L ₂	108°28'38.5896 8"	109°47'58.5325 3"	103°23'51.5489 2"	100°46'14.1212 0"
S ₁₂ (m)	500000.0001	499999.9999	500000.0001	499999.9999
A ₁₂	45°00'00.000"	92°00'00.000"	200°00'00.000"	300°00'00.000"
A ₂₁	226°20'9.518"	273°42'43.542"	19°28'52.567"	118°24'27.827"
B ₂	33°02'48.66252 "	19°18'40.51699 "	3°55'33.31451" "	29°02'36.96607 "
L ₂	120°03'59.4159 7"	124°03'29.3003 4"	98°55'49.92978 "	87°13'23.44444 "
S ₁₂ (m)	2000000.0002	1999999.9999	2000000.0001	1999999.9999
A ₁₂	45°00'00.000"	92°00'00.000"	200°00'00.000"	300°00'00.000"
A ₂₁	231°54'55.363"	278°37'18.399"	18°40'27.238"	112°24'43.952"

3.5. Khi niệm về phép chiếu mặt ellipsoid lên mặt phẳng

ĐỀ MỤC, NỘI DUNG CỦA MỤC NÀY SAI KHÁC SO VỚI ĐỀ CƯƠNG !!!

3.5.1. Các khi niệm cơ bản

1. ý nghĩa của phép chiếu mặt Ellipsoid lên mặt phẳng

Ta biết mặt Ellipsoid Trục Êt lụ mặt quy chiếu phải híp nhất với hình dng Quĩ Êt. Sau khi mng líi tr¼c ®pa c- sẽ ®íc chiếu lên mặt Ellipsoid th¼ vi¼c x, c ®pnh to¹ ®é c, c ®i¼m của mng líi ®ã h¼n t¼n cả th¼ th¼c hi¼n mét c, ch ch¼t chỉ v¼ ch¼nh x, c.

Mặt Ellipsoid vụ c, c hồ to¹ @é g³n v¹i n¹a r¹Êt thu¹Ên l¹i cho c, c c¹ng t, c nghi¹a n c¹u khoa h¹ác c¹ña tr¹¼c @pa cao c¹Êp, cho vi¹Öc gi¹¶i c, c b¹ui to, n tr¹¼c @pa tr¹a n ph¹m vi l¹ín.

Tuy nghi¹a n @ã l¹u mét m¹Æt cong, kh¹ng thu¹Ên ti¹Ön cho c, c c¹ng t, c tr¹¼c @pa khi th¹unh l¹Êp c, c lo¹i b¹¶n @ã vụ c, c c¹ng t, c tr¹¼c @pa c¹ng tr¹xnh kinh t¹Ö vụ qu¹èc ph¹ßng. Tríc h¹Öt @ã l¹u do to¹ @é tr¹¼c @pa c, c @i¹Öm tr¹a n m¹Æt Ellipsoid @íc x, c @pnh b¹ng c, c @-n v¹p g¹ác, chi¹Öu d¹ui c, c cung tr¹a n m¹Æt Ellipsoid t¹-ng øng v¹i c, c @-n v¹p @ã l¹i thay @æi theo v¹Ö @é. C, c kinh tuy¹Ön d¹ing @Ó x, c @pnh g¹ác ph¹-ng v¹p tr¹¼c @pa l¹i kh¹ng song song v¹i nhau, cho n¹a n ph¹¶i t¹Ýnh th¹am ¶nh h- ãng @ã khi s¹ö d¹ong t¹ui li¹Öu tr¹¼c @pa. Ngo¹mi ra, c, c c¹ng th¹öc @Ó gi¹¶i c, c b¹ui to, n tr¹¼c @pa, d¹i l¹u tr¹a n kho¹¶ng c, ch ng¹¼n c¹ng r¹Êt ph¹öc t¹p.

Nh v¹ÿy, vi¹Öc chi¹Öu m¹Æt Ellipsoid l¹a n m¹Æt ph¹¼ng c¹ã c, c ý ngh¹Ûa sau:

- Ph¹Ðp chi¹Öu m¹Æt Ellipsoid l¹a n m¹Æt ph¹¼ng l¹u c¹- s¹ẽ cho vi¹Öc th¹unh l¹Êp b¹¶n @ã

- H¹Ö th¹eng to¹ @é vu¹ng g¹ác ph¹¼ng c¹ã ý ngh¹Ûa th¹öc ti¹Ön cao cho c, c c¹ng t, c k¹u thu¹Êt kh, c

- Vi¹Öc t¹Ýnh to, n trong h¹Ö to¹ @é vu¹ng g¹ác ph¹¼ng s¹i @íc ti¹Ön h¹unh nhanh ch¹ng d¹õ d¹ung v¹i c, c c¹ng th¹öc h¹xnh h¹ác vụ l¹ing gi, c ph¹¼ng.

L¹i chi¹Öu t¹aa @é ph¹¼ng l¹u mét néi dung quan tr¹äng c¹ña h¹Ö Quy chi¹Öu Qu¹èc gia @íc s¹ö d¹ong vụo m¹öc @Ých chuy¹Ön @æi h¹Ö th¹eng t¹aa @é tr¹a n m¹Æt Ellipsoid Tr, i S¹Êt v¹Ö m¹Æt ph¹¼ng, ph¹öc v¹Ö réng r. i cho c¹ng t, c tr¹¼c @pa vụ b¹¶n @ã.

2. S¹Æc @i¹Öm c¹ña ph¹Ðp chi¹Öu m¹Æt Ellipsoid l¹a n m¹Æt ph¹¼ng

V¹Ên @Ò @, ng lu t¹Öm nh¹Êt l¹u s¹ü bi¹Ön d¹ing khi chi¹Öu m¹Æt Ellipsoid hay mét ph¹çn c¹ña n¹a l¹a n m¹Æt ph¹¼ng. S¹é bi¹Ön d¹ing @ã cung l¹ín vụ t¹Ýnh to, n cung ph¹öc t¹p khi ph¹m vi chi¹Öu cung réng l¹ín. V¹x v¹ÿy, @Ó cho @é bi¹Ön d¹ing n¹»m trong ph¹m vi cho ph¹Ðp vụ d¹õ d¹ung t¹Ýnh to, n c, c s¹ẽ hi¹Öu ch¹Önh t¹-ng

ong, ngêi ta h¹n chõ khu vùc chiõu b»ng c, c chia nhá bõ mÆt Tr, i SÊt thính c, c vïng.

Quy luÛt to, n hãc ®Ó chiõu mÆt Ellipsoid l^an mÆt ph¼ng ã d¹ng tæng qu, t ®íc biõu diôn theo hai ph-ng tr×nh sau:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(B, L) , \\ y &= f_2(B, L) \end{aligned} \right\} \quad (3.72)$$

Trong ã: x, y lµ c, c to¹ ®é vu«ng gãc ph¼ng cña c, c ®iõm chiõu

B, L lµ c, c to¹ ®é tr¼c ®pa t-ng øng cña chóng.

C«ng thøc (3.72) cho thÊy r»ng cõ mçi mét ®iõm tr^an mÆt Ellipsoid hõm toµn x, c ®pnh ®íc mét ®iõm t-ng øng tr^an mÆt ph¼ng. Sã lµ tÝnh ®-n trÞ cña phÐp chiõu.

D¹ng cña c, c hµm f₁ vµ f₂ x, c ®pnh quy luÛt chiõu vµ tÝnh chÊt biõn d¹ng cña c, c yõu tè h×nh hãc tr^an mÆt Ellipsoid khi chuyón l^an mÆt ph¼ng.

Nãi chung, c, c phÐp chiõu ph¼ng ph¶i tho¶ m·n nh÷ng nguy^an t¼c c- b¶n sau:

- Sã biõn d¹ng cña c, c yõu tè h×nh hãc khi chuyón tõ Ellipsoid l^an mÆt ph¼ng ph¶i nhá nhÊt, cã thó bá qua so vói c, c tũ lö b¶n ®ã c- b¶n.

- C«ng viõc tÝnh to, n ph¶i ®-n gi¶n vµ thuËn tiõn.

- Sè lïng phõn vïng cho c, c hõ tãa ®é ph¼ng cña mçi quèc gia lµ Ýt nhÊt. B¶o ®¶m sù thèng nhÊt khi sõ dõng c, c c«ng thøc thùc dõng vµ dô dõng khi tÝnh to, n li^an kõt tãa ®é gi÷a c, c vïng vói nhau.

C, c y^au cÿu ã thó hiõn u ®iõm cña phÐp chiõu ®íc chãn.

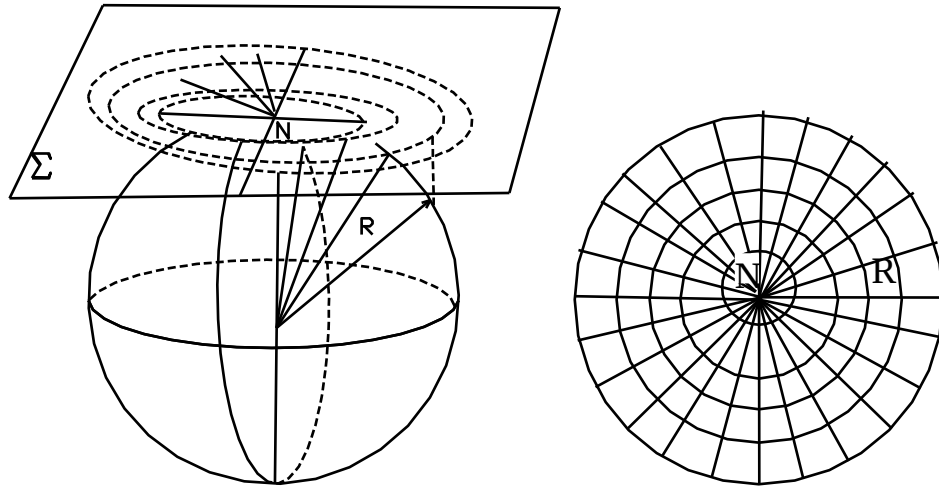
3. Phõn lo¹i phÐp chiõu

Theo nh tr^an ta thÊy cã thó cã nhiõu phÐp chiõu kh, c nhau. Dùa vµo trùc quan cña mÆt chiõu hoÆc tÝnh chÊt biõn d¹ng mµ ta phõn lo¹i c, c phÐp chiõu nh sau:

*. Phõn lo¹i theo mÆt chiõu:

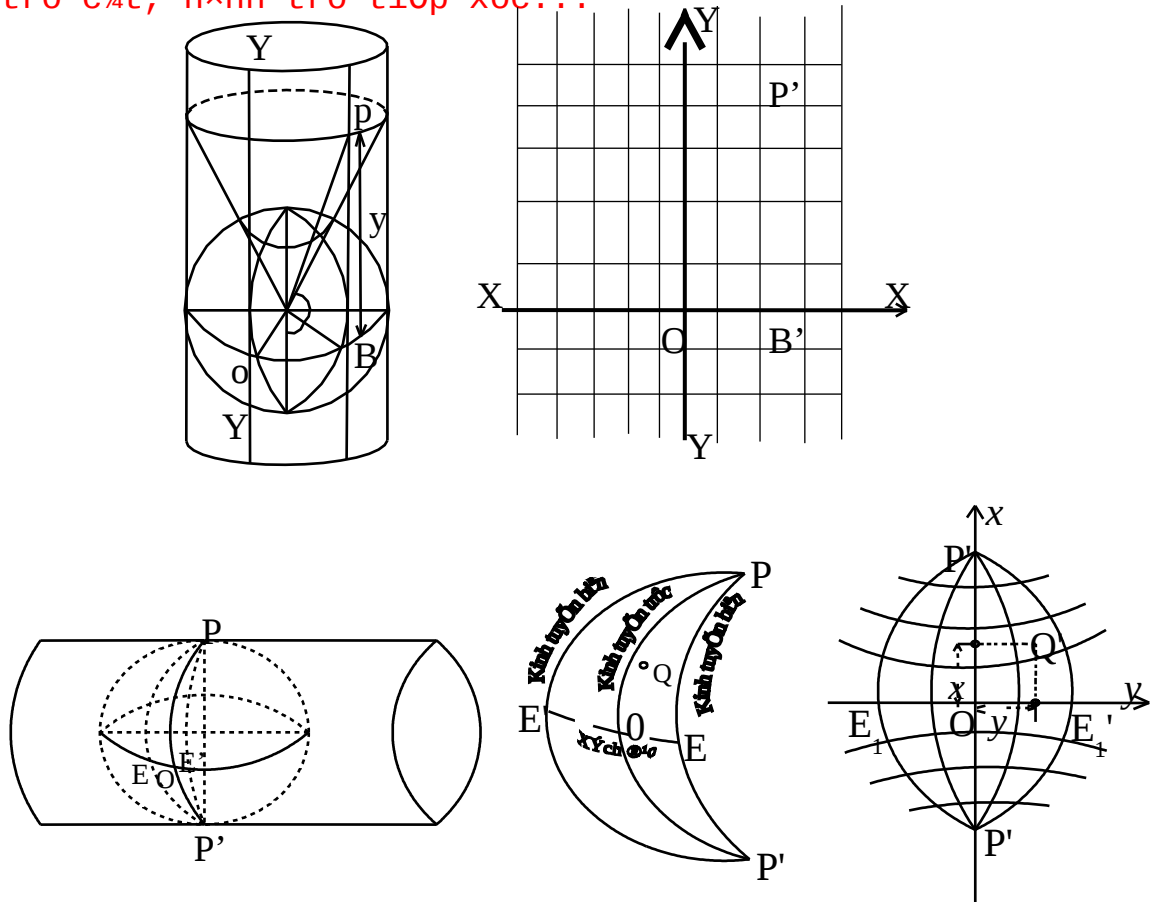
Theo h×nh d×ng trùc quan, cã thó coi mÆt chiõu lư ph¼ng hoÆc c, c bờ mÆt cã thó trión khai thụng mÆt ph¼ng ®íc (h×nh nãn, h×nh trô...). Cã mét sè phÐp chiõu dùa trªn c, c mÆt sau:

- PhÐp chiõu ph¼ng vÞ



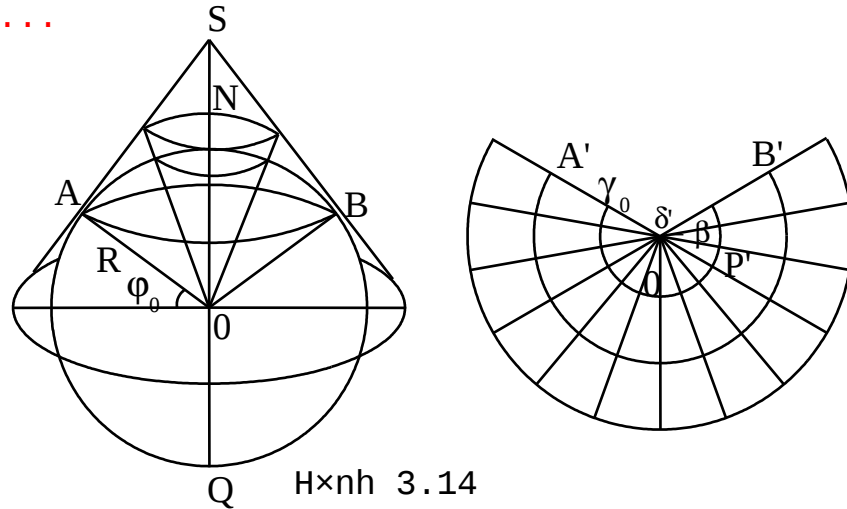
H×nh 3.12 ?????

- PhÐp chiõu h×nh trô: H×nh trô ®øng, h×nh trô ngang, h×nh trô c¾t, h×nh trô tiõp xóc...



H×nh 3.13

- PhĐp chiĐu h×nh nănh: H×nh nănh c%t, h×nh nănh tiĐp xóc, h×nh nănh giĐ...



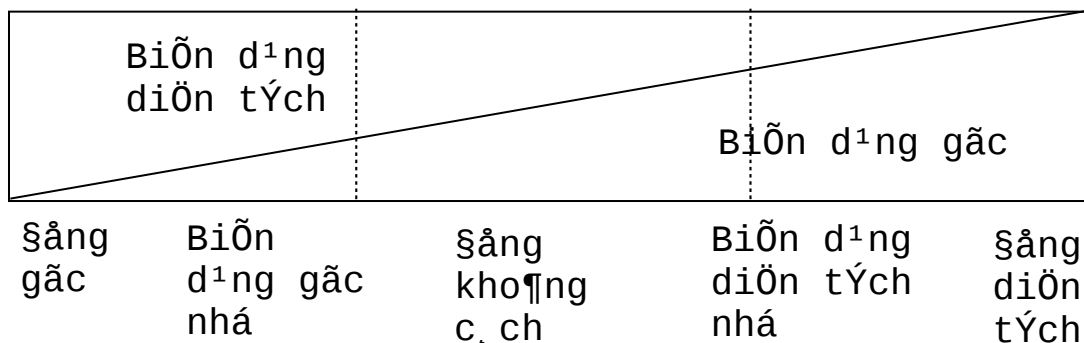
H×nh 3.14

***. PhĐn lo^i theo tÝnh chÊt biĐnh d^ng**

Tuú theo y^u cĐu cĐ thĐ mĐ ngêi ta cho biĐnh d^ng nhiĐu hoÆc Ýt (thÊm chÝ kh«ng biĐnh d^ng) tĐng lo^i yĐu tĐ h×nh hăc (găc, c^nh, diĐnh tÝch,...). V× vĐy cã thĐ phĐn lo^i phĐp chiĐu theo tÝnh chÊt biĐnh d^ng cĐa tĐng lo^i yĐu tĐ nh sau:

- PhĐp chiĐu Đăng găc: găc gi÷a c, c híng t^i mét Đióm kh«ng bĐ thay Đæi sau khi chiĐu.
- PhĐp chiĐu Đăng khoĐng c, ch: khoĐng c, ch Đêng tr%c ĐĐa nĐi gi÷a c, c Đióm kh«ng bĐ thay Đæi sau khi chiĐu.
- PhĐp chiĐu Đăng diĐnh tÝch: DiĐnh tÝch cĐa mét h×nh khĐp kÝn kh«ng bĐ thay Đæi sau khi chiĐu.

Sù t^ng giĐm vĐ biĐnh d^ng cĐa c, c phĐp chiĐu Đíc minh hăa nh h×nh sau:



Phương chiếu ảnh gắc cả mét u ióm nãi bết lư é biõn d'ng chiõu d'p t'i mét ióm kh«ng phõ thuc vµo ph-ng h'ng cña c'nh, mµ chõ phõ thuc vµo tãa é ióm chiõu mµ th«i. §iõu ã cho phõp ãn gi'n ho, r'êt nhiõu trong viõc t'nh biõn d'ng chiõu d'p so víi c,c phõp chiõu kh,c.

Trong gi, o tr'nh to,n b'n ã ã. gi'i thiõu c,c phõp chiõu tr'an. Trong tr'c ãpa cao c'p, viõc chiõu m'et Ellipsoid l'an m'et ph'ng lư c- s' ó x@y dùng líi kh'ng chõ tãa é m'et b'ng. Phõp chiõu th'ng d'ng trong Tr'c ãpa cao c'p lư phõp chiõu h'nh trõ ngang ãng gắc (phõp chiõu Gauss-Kruger vµ phõp chiõu U.T.M) s'i ãic nghi'an cõu kù trong t'p liõu n'p.

3.5.2. Tãa é v'ng gắc ph'ng

1. §ãc ióm vµ nãi dung c- b'n cña phõp chiõu h'nh trõ ngang ãng gắc

Phõp chiõu n'p do Gauss ã xu'et vµ , p d'ng vµo xõ lý s' liõu líi tam gi,c cña §oc trong nh'ng n'm 1820 ~ 1830 nh'ng cha ãic c'ng bè. N'm 1886 Schreiber chõnh lý vµ ãõn n'm 1912, Kruger chõnh lý ho'n thiõn c'ng bè trong t,c ph'êm "Phõp chiõu h'nh gi÷ gắc Elipsoid tr,i ã'et l'an m'et ph'ng".

Phõp chiõu h'nh trõ ngang ãng gắc cả ãc ióm quan tr'ng lư gắc gi÷a c,c ã'ng tr'c ãpa tr'an m'et Ellipsoid b'ng víi gắc gi÷a c,c h'nh chiõu t-ng õng cña chõng tr'an m'et ph'ng. §ó ã'p m b'õ ãiõu kiõn n'p, hõ (3.69) ph'i thãa m.n ãiõu kiõn:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial B} &= \frac{M}{N \cos B} \cdot \frac{\partial y}{\partial L} \\ \frac{\partial y}{\partial B} &= -\frac{M}{N \cos B} \cdot \frac{\partial x}{\partial L} \end{aligned} \right\} \text{(3.73)}$$

Vµ:

$$\frac{\partial B}{\partial x} = \frac{N \cdot \cos B}{M} \cdot \frac{\partial L}{\partial y}$$

$$\frac{\partial B}{\partial y} = -\frac{N \cdot \cos B}{M} \cdot \frac{\partial L}{\partial x}$$

Sã gãi lụ @iĐu kiĐn C«si - Rieman.

Sau khi chiĐu, kinh tuyĐn trĐc trĐ thụnh trĐc x cũ tĐ lĐ chiĐu b»ng m_0 , xÝch @¹o trĐ thụnh trĐc y; trĐ kinh tuyĐn trĐc vự xÝch @¹o lụ @êng th¼ng, c, c kinh vĐ tuyĐn kh, c sau khi chiĐu @Đu lụ @êng cong.

SĐ h¹n chĐ biĐn d¹ng, Ellipsoid @íc chia thụnh c, c mĐi giềng nhau, ch¹y dắc theo kinh tuyĐn. HiĐu gi÷a hai kinh tuyĐn bi^an gãi lụ @é rếng cũa mĐi. Lo¹i mĐi cũ @é rếng 6° @íc sĐ dĐng @Đ tÝnh tãa @é c, c @iĐm tr¼c @Đa nhự níc vự tãa @é nự dĐng @Đ lĚp líi khềng chĐ @o vĩ bŋn @ã tĐ lĐ nhá vự trung b×nh. SĐ thụnh lĚp bŋn @ã @Đa h×nh tĐ lĐ lín ngêi ta dĐng mĐi 3° hoÆc 1°30', trong tr¼c @Đa c«ng tr×nh cĐn dĐng kinh tuyĐn @i qua gi÷a khu vùc lĚp líi lụm kinh tuyĐn trĐc. Sau khi xĐy dĐng xong c, c c«ng thĐc cũa phĐp chiĐu th× c«ng thĐc cũ thĐ , p dĐng cho tĚt cŋ c, c mĐi v× cũ qui luĚt hĐn tĐn giềng nhau.

NĐu gãi N lụ sĐ hiĐu mĐi cũa tĐ bŋn @ã @Đa h×nh tĐ lĐ 1/10° theo danh ph, p quèc tĐ, n lụ sĐ hiĐu mĐi chiĐu 6° trong phĐp chiĐu Gauss-Kruger, c«ng thĐc sau @íc dĐng @Đ tÝnh kinh tuyĐn trĐc cũa mĐi chiĐu thĐ n:

$$\left. \begin{aligned} L_{0..n} &= 6^{\circ}n - 3^{\circ} \\ n &= N - 30 \end{aligned} \right\} \quad (3.74)$$

SĐ tr, nh tãa @é cũ dĚu (+, -), ngêi ta cếng vự tãa @é x mét h»ng sĐ lụ 10000km vự tãa @é y lụ 500km. V× ViĐt Nam n»m hĐn tĐn ě B¼c B, n cĐu, n^an @Đ @-n giŋn h-n, chĐ cếng vự tãa @é y lụ 500km mự kh«ng cếng th^am h»ng sĐ vự tãa @é x. SĐ biĐt @iĐm xĐt thĐc mĐi chiĐu nự, phÝa tríc tãa @é y viĐt th^am sĐ hiĐu cũa mĐi chiĐu. VÝ dĐ tãa @é cũa 1 @iĐm P thĐc mĐi chiĐu 18 (vĐng Hụ néi) theo lý thuyĐt lụ:

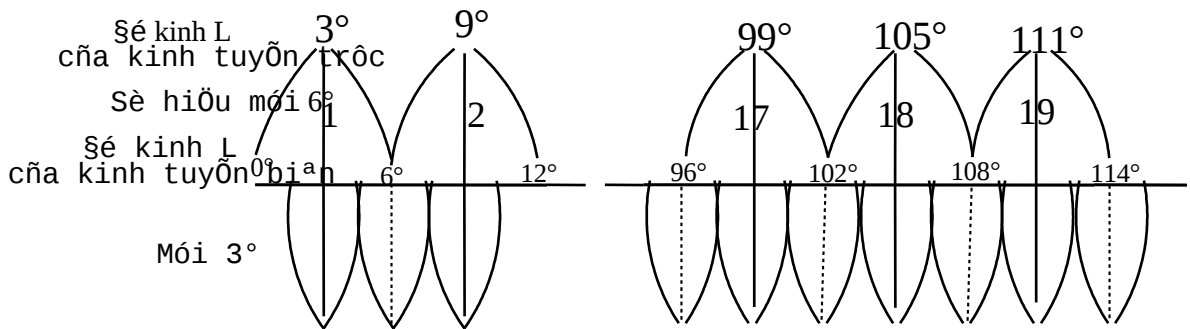
$$\left\{ \begin{array}{l} x: 23376020.627m \end{array} \right.$$

P y: -65.224m

Theo qui @pnh của phĐp chiĐu viĐt lư:

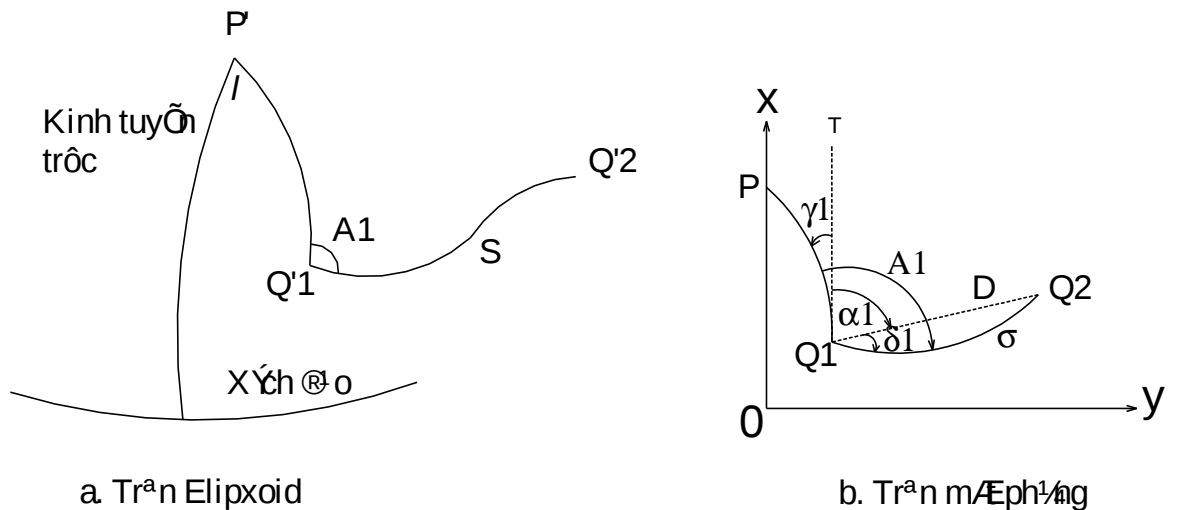
$$\left. \begin{array}{l} x: 23376020.627m \\ y: 18499934.776m \end{array} \right\} P$$

C, ch chia mĐi 6° vư 3° m« tđ tr^n h×nh 3.15. Khi chia mĐi 3°, kinh tuyĐn trĐc vư kinh tuyĐn bi^n của mĐi 6° trĐ thưng c, c kinh tuyĐn trĐc của mĐi 3°.



H×nh 3.15

Giđ sĐ cũ hai ĐĐm Q'1 vư Q'2 tr^n mĐt Elipxoid nh sau:



H×nh 3.16

Tọa độ trục tọa độ của chúng tương ứng là B_1, L_1 và B_2, L_2 .
 Hiệu kính sẽ so với kính tuyến trục của mỗi chiếu tương ứng
 là:

$$l_1 = L_1 - L_0$$

$$l_2 = L_2 - L_0$$

Chiều dài và góc phản xạ của tầng trục tọa độ nội địa
 hai điểm đã tương ứng là S và A_1 .

Sau khi chiếu lên mặt phẳng của mỗi chiếu ta sẽ có hai
 điểm tương ứng Q_1 và Q_2 . Tầng trục tọa độ S chiếu thành tầng
 cong phẳng cả chiều dài là σ , tầng cong này cả bề mặt quay
 về phía trục x .

Do tính chất chiếu ảnh các mặt phản xạ A_1 trên
 mặt Elipsoid khi chiếu lên mặt phẳng của mỗi chiếu vẫn giữ
 nguyên giá trị, trục tọa độ các góc giữa hình chiếu của kính
 tuyến Q_1P và hình chiếu của tầng trục tọa độ σ .

Nếu hai tầng trục tọa độ $Q'_1Q'_2 = S$ là một tam giác trong
 mặt phẳng tam giác d . Hình chiếu về Elipsoid thì sẽ với c, c
 tam giác c, c bên dưới sau khi chiếu lên mặt phẳng ta có
 hình c, c kết quả tương tự.

Như vậy, sau khi chiếu lên mặt phẳng ta sẽ có một tam giác
 gồm c, c tam giác c, c cả hai tầng, điều này rất khó khăn
 cho công việc tính toán. Vì vậy, ta phải tìm cách chuyển về
 c, c tam giác c, c cả hai tầng. Số lượng hình chiếu này, nên ta nên
 c, c điểm hình chiếu bằng c, c dọc cùng.

Do vậy, sẽ với một hình học phải là tham vào một số hiệu
 chênh lệch giá trị là hiệu chênh lệch ngang δ . Số lượng hiệu
 chênh lệch do sẽ cong của hình chiếu tầng trục tọa độ dọc ra.

Chiều dài dọc cùng $Q_1Q_2 = D$, độ dài chiếu dài của tam
 giác c, c cả hai tầng. Sẽ chênh lệch giữa chiều dài σ và D sẽ
 biểu thức theo công thức:

$$\sigma - D = \frac{y_1^2}{24R_1^4} \sigma^3 \cos^2 \alpha \quad (3.75)$$

Trong @ã:

y_1 lµ t¸a @ y t¹i @im Q;

R_1 lµ b, n kÝnh trung b×nh c¸a Elipxoid t¹i @im Q_1 ;

α lµ g¸c @nh hÝng c¸a c¹nh Q_1Q_2 .

Nu cho gi, trÞ lÝn nhÊt c¸a y @i víi mi chiu UTM 6^o lµ $y_1 \approx 334$ km (t¹i xÝch @¹o); $\alpha = 0^\circ$; $\sigma = 60$ km vµ $R_1 = 6371$ km, th× $\sigma - D = 0,61$ mm

Nh vậy, víi chiu dµi c¹nh tam gi,c khng qu, 60km ta c¸ th b¸ qua sù ch¸nh lch chiu dµi gi÷a σ vµ D. Khi @ã ta ch c¸n tÝnh th¸m s hiu chnh chiu dµi ΔS @ c¸: $D = S + \Delta S$ (ΔS c¸ th mang du d-ng hay m tu thuc vµo tÝnh cht c¸a php chiu).

S tÝnh @c t¸a @ ph¼ng ta ph¶i c¸ th¸m c, c yu t g¸c ph¼ng. Tr¸n h×nh v nếu ta vạch @ng song song víi trc x @i qua Q_1 . Khi @ã ta c¸:

- G¸c γ_1 g¸i lµ g¸c hi t kinh tuyến ph¼ng, @ã lµ g¸c kp gi÷a h×nh chiu kinh tuyến @i qua @im Q_1 vµ hÝng c¸a trc x.

- G¸c α_1 g¸i lµ g¸c @nh hÝng c¸a c¹nh Q_1Q_2 t¹i @im Q_1 .

G¸c @nh hÝng tÝnh theo chiều kim @¸ng h¸, c¸ gi, trÞ t $0^\circ \div 360^\circ$ k t @ng song song víi trc x @i qua @im xét. Ta c¸:

$$A_1 = \gamma_1 + \alpha_1 + \delta_1$$

Trong cng thc tr¸n khi tÝnh to, n c th ph¶i xt @n du c¸a γ_1 vµ δ_1 .

T¸m l¹i, khi nghi¸n cu v php chiu @¸ng g¸c ta ph¶i gi¶i quyết c, c vn @ sau:

• T×m cng thc tÝnh t¸a @ vuông g¸c ph¼ng (x, y) theo t¸a @ tr¼c @a (B, L) vµ ngc l¹i.

• T×m c«ng thøc tÝnh tũ lŏ chiĐu m vµ tÝnh sè hiĐu chĐnh chiĐu dµi δS, tũ Òã tÝnh Òic chiĐu dµi c¹nh D trªn mÆt ph¼ng.

• T×m c«ng thøc tÝnh sè hiĐu chĐnh hÝng ngang δ vµ gãc hÉi tũ kinh tuyĐn ph¼ng γ, tũ Òã cũ c¹ sè ÒÓ x, c Òpnh gãc Òpnh hÝng α cho c, c c¹nh trªn mÆt ph¼ng.

• TÝnh Òæi tãa Òé vu«ng gãc ph¼ng gi÷a 2 mŏi chiĐu.

LỘN XỘN !!!!!

2. C, c c«ng thøc thùc dŏng:

* TÝnh (x, y) theo (B, L):

$$x = m_0 \cdot X + a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 + a_8 l^8 + \dots$$

(3.76)

$$y = b_1 l + b_3 l^3 + b_5 l^5 + b_7 l^7 + \dots$$

Trong Òã

X lµ chiĐu dµi cung kinh tuyĐn tÝnh tũ xÝch Òo tÝi vŭ Òé B

$$a_2 = \frac{1}{2} m_0 \cdot N \cdot \sin B \cdot \cos B$$

$$a_4 = \frac{1}{24} m_0 \cdot N \cdot \sin B \cdot \cos^3 B \cdot (5 - \operatorname{tg}^2 B + 9\eta^2 + 4\eta^4)$$

$$a_6 = \frac{1}{720} m_0 \cdot N \cdot \sin B \cdot \cos^5 B \cdot (61 - 58\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B + 270\eta^2 - 330\eta^2 \cdot \operatorname{tg}^2 B)$$

$$a_8 = \frac{1}{40320} m_0 \cdot N \cdot \sin B \cdot \cos^7 B \cdot (1385 - 3111\operatorname{tg}^2 B + 543\operatorname{tg}^4 B - \operatorname{tg}^6 B)$$

$$b_1 = m_0 \cdot N \cdot \cos B$$

$$b_3 = \frac{1}{6} m_0 \cdot N \cdot \cos^3 B \cdot (1 - \operatorname{tg}^2 B + \eta^2)$$

$$b_5 = \frac{1}{120} m_0 \cdot N \cdot \cos^5 B \cdot (5 - 18\operatorname{tg}^2 B + \operatorname{tg}^4 B + 14\eta^2 - 58\eta^2 \cdot \operatorname{tg}^2 B)$$

$$b_7 = \frac{1}{5040} m_0 \cdot N \cdot \cos^7 B \cdot (61 - 479 \operatorname{tg}^2 B + 179 \operatorname{tg}^4 B - \operatorname{tg}^6 B)$$

vii: $\eta^2 = (e' \cdot \cos B)^2$ vµ e'^2 lµ ®é t@m sai thø 2 cña Ellipsoid.

* TÝnh (B, L) theo (x, y):

$$B = A_0 + A_2 y^2 + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + \dots \quad (3.77)$$

$$l = B_1 y + B_3 y^3 + B_5 y^5 + B_7 y^7 + \dots$$

$$L = L_0 + l$$

Trong ®ã:

A_0 lµ ®é vµ cña ®ióm n»m trªn kinh tuyõn tríc cã tung ®é b»ng x ($A_0 = B_x$)

$$A_2 = -\frac{1}{m_0^2} \cdot \frac{V_x^2 \operatorname{tg} B_x}{2N_x^2}$$

$$A_4 = -\frac{1}{m_0^2} \cdot \frac{A_2}{12N_x^2} \cdot (5 + 3 \operatorname{tg}^2 B_x + \eta_x^2 - 9\eta_x^2 \cdot \operatorname{tg}^2 B_x - 4\eta_x^4)$$

$$A_6 = \frac{1}{m_0^4} \cdot \frac{A_2}{360N_x^4} \cdot (61 + 90 \operatorname{tg}^2 B_x + 45 \operatorname{tg}^4 B_x + 46\eta_x^2 - 252\eta_x^2 \cdot \operatorname{tg}^2 B_x - 90\eta_x^2 \cdot \operatorname{tg}^4 B_x)$$

$$A_8 = -\frac{1}{m_0^6} \cdot \frac{A_2}{20160N_x^6} \cdot (1385 + 3633 \operatorname{tg}^2 B_x + 4095 \operatorname{tg}^4 B_x + 1575 \operatorname{tg}^6 B_x)$$

$$B_1 = \frac{1}{m_0} \cdot \frac{1}{N_x \cos B_x}$$

$$B_3 = -\frac{1}{m_0^2} \cdot \frac{B_1}{6N_x^2} \cdot (1 + 2 \operatorname{tg}^2 B_x + \eta_x^2)$$

$$B_5 = \frac{1}{m_0^4} \cdot \frac{B_1}{120N_x^4} \cdot (5 + 28 \operatorname{tg}^2 B_x + 24 \operatorname{tg}^4 B_x + 6\eta_x^2 + 8\eta_x^2 \cdot \operatorname{tg}^2 B_x)$$

$$B_7 = -\frac{1}{m_0^6} \cdot \frac{B_1}{5040N_x^6} \cdot (61 + 662 \operatorname{tg}^2 B_x + 1320 \operatorname{tg}^4 B_x + 720 \operatorname{tg}^6 B_x)$$

$$V_x^2 = 1 + \eta_x^2$$

* TÝnh tû lã chiõu vµ sè hiõu chønh chiõu dµi:

$$m = m_0 \cdot \left(1 + \frac{y^2}{2R^2} + \frac{y^4}{24R^4}\right) \quad (3.78)$$

$$D = m_0 \cdot S \cdot \left(1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} + \frac{y_m^4}{24R_m^4}\right) \quad (3.79)$$

$$\delta D = D - S \cong S \cdot \left((m_0 - 1) + \frac{y_m^2}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} + \frac{y_m^4}{24R_m^4}\right) \quad (3.80)$$

* TÝnh sè hiÖu chØnh vµ hÝng ngang:

Cuèi cÝng ®íc c«ng thøc tÝnh sè hiÖu chØnh hÝng ®¹t ®é chÝnh x, c 0".001 lµ :

$$\left. \begin{aligned} \delta_{1.2} &= -\frac{\rho''}{6R_m^2} \Delta x \left(2y_1 + y_2 - \frac{y_m^3}{R_m^2}\right) - \frac{\rho'' \eta^2 t}{R_m^3} \Delta y \cdot y_m^2 \\ \delta_{2.1} &= -\delta_{1.2} \end{aligned} \right\} \quad (3.81)$$

Khi chØ cÇn tÝnh δ'' ®Õn 0".01 cũ thó dÝng c«ng thøc:

$$\delta_{1.2} = -\frac{\rho''}{6R_m^2} \Delta x (2y_1 + y_2) \quad (3.82)$$

Khi chØ cÇn tÝnh $\delta_{1.2}$ víi ®é chÝnh x, c 0".1 dÝng c«ng thøc:

$$\delta_{1.2} = -\frac{\rho''}{2R_m^2} y_m \Delta x \approx -0.00253 y_m \Delta x \quad (3.83)$$

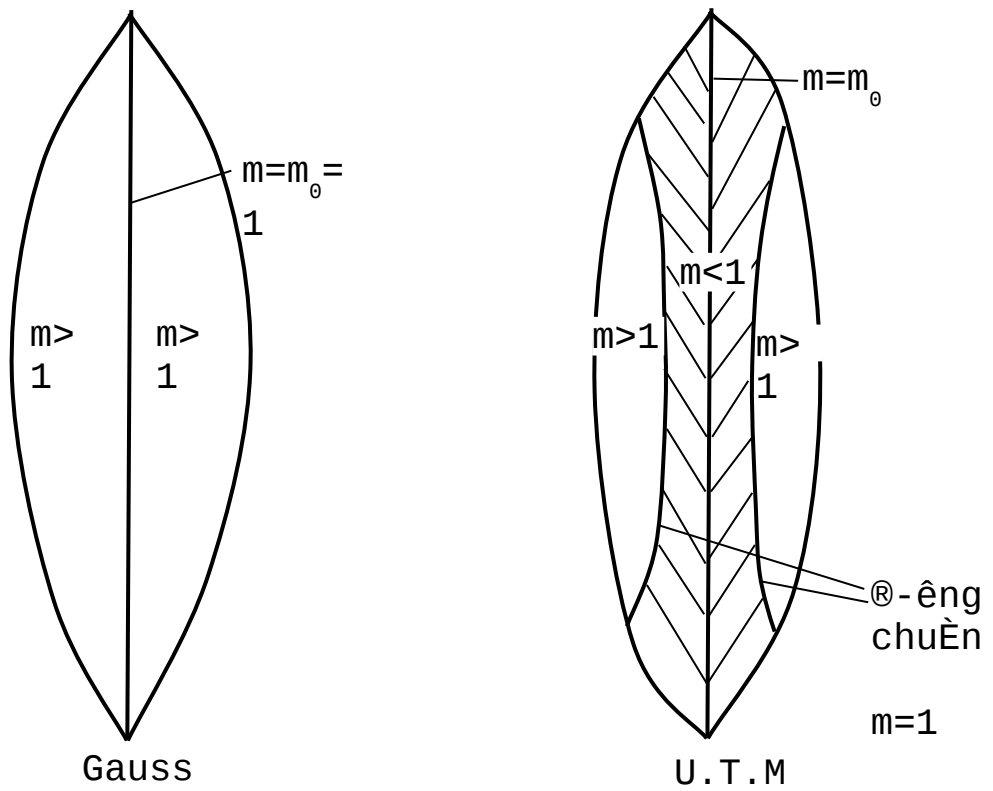
Trong (3.80) y_m vµ Δx cũ ®-n vÞ lµ km.

* TÝnh gãc héi tØ kinh tuyÕn ph¼ng:

$$\gamma = \frac{y \cdot \text{tg} B_x}{N_x} \left[1 - \frac{y^2}{3N_x^2} (1 + \text{tg}^2 B_x - \eta_x^2)\right] \quad (3.84)$$

T¹i ViÖt Nam, tríc n¹m 2000 dÝng hÖ HN-72 víi líi chiÖu Gauss-Kruger trªn Ellipsoid Kraxovski, sau n¹m 2000 dÝng hÖ VN-2000 víi líi chiÖu UTM (múi 6° cũ $m_0=0,9996$, múi 3° cũ $m_0=0,9999$) trªn Ellipsoid WGS-84. Víi c¶ hai lo¹i líi chiÖu, tØ lö chiÖu tÝng dÇn tØ kinh tuyÕn trØc ($m_{\min}=m_0$) tÝ kinh tuyÕn biªn, tØ lö thuÈn víi b×nh ph-ng cũa kho¶ng c, ch so víi kinh tuyÕn trØc, lín nhÊt ë giao cũa kinh tuyÕn biªn vµ xÝch ®¹o.

VỀ LẠI HÌNH !!!



H×nh 3.17: Ph©n bè t¼ l chiu trong mi chiu Gauss vµ U.T.M

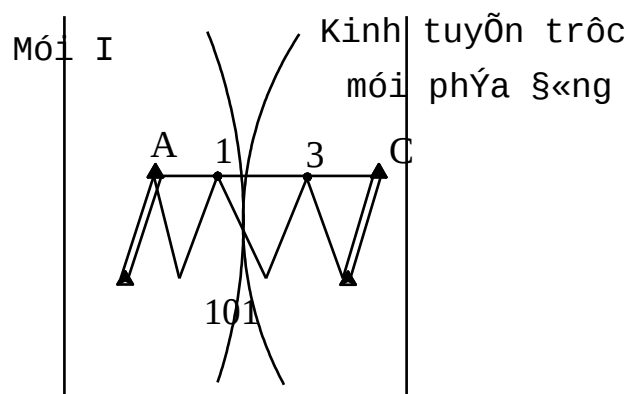
Tõ h×nh (3.17) ta thÊy, ẽ vÿng ®é vÛ cao, phÐp chiÕu UTM kh«ng cã u ®iÓm nh ẽ vÿng cã vÛ ®é thÊp v× vÿy ngêi ta nghÜ ®Õn mét phÐp chiÕu ®ãng gãc tæng qu,t, biÕn d¹ng cña phÐp chiÕu lµ hµm cña ®é vÛ cã $k_0 = 1 - q \cos^2 KB$ trong ®ã q vµ K lµ c,c hõ sè chän theo ®é vÛ cña khu vùc. Khi $q = 0$, $k_0 = 1$ lµ phÐp chiÕu Gauss-Kriuger; khi $q = 0.0004$, $K = 0$ ta cã phÐp chiÕu UTM .

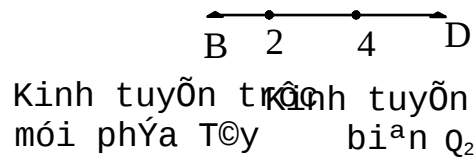
3. TÝnh ®æi tãa ®é gi÷a c,c mõi chiÕu

Chia mõi ®Ó h¹n chÕ biÕn d¹ng, nhng trong thùc tÕ sã dông, ẽ vÿng bi¹n gi÷a c,c mõi chiÕu, lu«n xÿy ra viÖc tÝnh ®æi tãa ®é tõ mõi nÿy sang mõi kia; cã thó qui n¹p vµo 3 trêng hÿp sau:

- Theo qui ®Þnh chung, ẽ vÿng bi¹n vÿi ®é chÿp 45': Mõi phÝa T©y phñ sang mõi phÝa §«ng 30', mõi phÝa §«ng phñ sang mõi phÝa T©y 15'. Trong vÿng chÿp 45' nÿy, c,c ®iÓm tãa ®é nhµ níc cã tãa ®é ẽ c¶ 2 mõi chiÕu. ChÝnh v× vÿy tãa ®é cña mõi nÿy ph¶i tÝnh ®æi sang mõi kia vµ ngíc l¹i.

- Khi x©y dùng líi khèng chÕ ®o vĩ mÿ khu ®o vÿt qu, vÿng chÿp qui ®Þnh, còng cÇn ®Õn bµi to,n tÝnh ®æi tãa ®é qua mõi. Nh h×nh (3.18), A-B lµ ®iÓm gèc, 1-2 lµ ®iÓm cÇn x©y dùng mÿi thuéc mõi phÝa T©y, C-D lµ ®iÓm gèc, 3 - 4 lµ ®iÓm mÿi cÇn x©y dùng thuéc mõi phÝa §«ng. Sau khi ®o ng¼m, tãa ®é gèc cña ®iÓm C.D vµ c,c kÕt qña ®o li¹n quan ®Õn c,c ®iÓm C . D . 3 . 4 cÇn tÝnh ®æi vÒ mõi phÝa T©y ®Ó b×nh sai thèng nhÊt. C«ng viÖc còng cã thó thùc hiÖn ngíc l¹i: ®æi sè liÖu tõ mõi phÝa T©y sang mõi phÝa §«ng. Thêng phÇn tÝnh ®æi lµ Ýt h-n phÇn gi÷ nguy¹n.





H×nh 3.18

- Số h¹n chỗ biÕn d¹ng, ngoµi múi 6^o cßn cã múi 3^o, 1^o30' vµ múi tù do chän kinh tuyÕn trôc kh«ng theo qui ®pnh trªn. Lóc nµy xuÊt hiÕn vËn ®Ò tÝnh ®æi tãa ®é qua múi do chän l¹i kinh tuyÕn trôc.

Tríc ®©y do c«ng cô tÝnh to¸n cha ph¸t triÓn, viÖc tÝnh ®æi tãa ®é ph¶i chän ®iÓm phô cã tãa ®é ẽ c¶ 2 múi vµ dïng b¶ng lËp s½n ®Ó thùc hiÕn. HiÕn nay m, y vi tÝnh ®íc sô dông r·i, viÖc tÝnh ®æi tãa ®é qua múi thùc hiÕn dõ dïng qua tãa ®é tr¸c ®pa lµm trung gian.

Gi¶ sô cçn tÝnh ®æi tãa ®é ®iÓm A (h×nh 3.18) cã tãa ®é $A(x,y)_I$ thµnh tãa ®é thuéc múi II: $A(x,y)_{II}$. Muèn vËy ta thùc hiÕn nh sau: ®Çu tiªn ta dïng c«ng thøc tÝnh ngíc ®æi $A(x,y)_I$ thµnh $A(B, l_I)$ tõ ®ã tÝnh ®íc $L^A = L^I_0 + l_I$. Dïng ®é kinh cña ®iÓm A tÝnh hiÕu ®é kinh so víi kinh tuyÕn trôc cña múi II: $l_{II} = L^A - L^{II}_0$. C¸n cø vµo (B, l_{II}) dïng c«ng thøc tÝnh thuËn ®Ó tÝnh tãa ®é ®iÓm A thuéc múi II: $A(x,y)_{II}$.

CHƯƠNG 4

XÂY DỰNG HỆ TOẠ ĐỘ QUỐC GIA

4.1. Lựa chọn và định vị ellipsoid thực dụng

4.1.1. Lựa chọn ellipsoid thực dụng

Với vai trò, chức năng của bề mặt toán học tham khảo phù hợp nhất đối với khu vực cần nghiên cứu, ellipsoid thực dụng phải có được hai thông số đặc trưng tương ứng. Đó thường là bán trục lớn a và bán trục nhỏ b hoặc bán trục lớn a và độ dẹt f . Lựa chọn ellipsoid thực dụng về thực chất là chấp nhận trị số thích hợp cho hai thông số đó. Vào thời kì mà trước đó chưa có được số liệu tin cậy về bán trục lớn và độ dẹt của ellipsoid Trái đất người ta đã tiến hành xác định chúng dựa vào công tác đo cung độ, như đã trình bày trong mục 2.3.1. Nhờ các công trình đo cung độ nổi tiếng ở Châu Âu vào thế kỉ 18 nhiều ellipsoid với các thông số kích thước ngày càng chính xác hơn đã được xác lập, chẳng hạn, ellipsoid Everest (1830) có $a = 6.377.276m$, $f = 1/300,83$; Ellipsoid Bessel (1841) có $a = 6.377.397m$, $f = 1/299,15$; Ellipsoid Clark (1880) có $a = 6.378.249m$, $f = 1/293,47$. Đến năm 1940 với lí thuyết đo cung độ hoàn chỉnh hơn, lại dựa trên cơ sở sử dụng kết quả đo đạc với qui mô rộng lớn của Liên Xô gồm các chuỗi đo tam giác trải dài xấp xỉ 40.000km, 449 điểm thiên văn Laplace, cộng thêm số liệu đo cung độ ở Tây Âu và ở Mỹ, một ellipsoid vào loại hoàn chỉnh nhất trong số các ellipsoid xác định theo số liệu đo đạc trên mặt đất là ellipsoid mang tên Krasovski đã được công bố, theo đó $a = 6.378.245m$, $f = 1/298,3$; Độ dẹt của ellipsoid này có trị số hầu như trùng với kết quả xác định hiện đại trong đó có sử dụng các số liệu đo đạc mới nhất.

Bên cạnh phương pháp đo cung độ truyền thống, các phương pháp sử dụng số liệu đo trọng lực, quan trắc vệ tinh cũng đã được sử dụng theo phương án riêng biệt cũng như kết hợp. Có thể nói là cho đến nay đã có được số liệu rất đáng tin cậy về kích thước của ellipsoid Trái đất.

Dễ hiểu là ellipsoid thực dụng chỉ phù hợp tốt nhất đối với phần bề mặt Trái đất mà nó đặc trưng, bởi vì nó được xây dựng trên cơ sở số liệu đo đạc của chính khu vực đó, chính quốc gia đó. Song, nếu độ rộng của khu vực xét bị hạn chế ở nước quá nhỏ thì độ tin cậy của các thông số ellipsoid thực dụng tương ứng sẽ rất thấp, và khi đó ellipsoid thực dụng nhận được không thể phát huy được vai trò, tác dụng mong đợi của nó. Mặt khác, đối với các lãnh thổ không lớn (vốn là phổ biến

cho phần lớn các quốc gia trên thế giới) ảnh hưởng của kích thước ellipsoid thực dụng tới mức độ phù hợp tốt nhất của nó thường cũng không đáng kể so với các yếu tố định vị. Chính với các lí do nêu trên người ta đã không tập trung cố gắng vào việc xác lập các giá trị thích ứng cho ellipsoid thực dụng ở khu vực này hay khu vực khác trên bề mặt Trái đất, mà chấp nhận trong số các ellipsoid đã được công bố một ellipsoid cụ thể nào đó có thể được xem là phù hợp hơn cả cho đối tượng cho trước.

Trên thực tế, gắn với một ellipsoid thực dụng cụ thể và được chấp nhận từ trước là một khối lượng rất lớn dữ liệu đo đạc, tính toán có liên quan. Cho nên, người ta cũng không thường xuyên thay đổi nó, để tránh những tốn kém, phiền phức không nhỏ, nhưng lại không mang tính chất nguyên tắc.

4.1.2. Định vị ellipsoid thực dụng

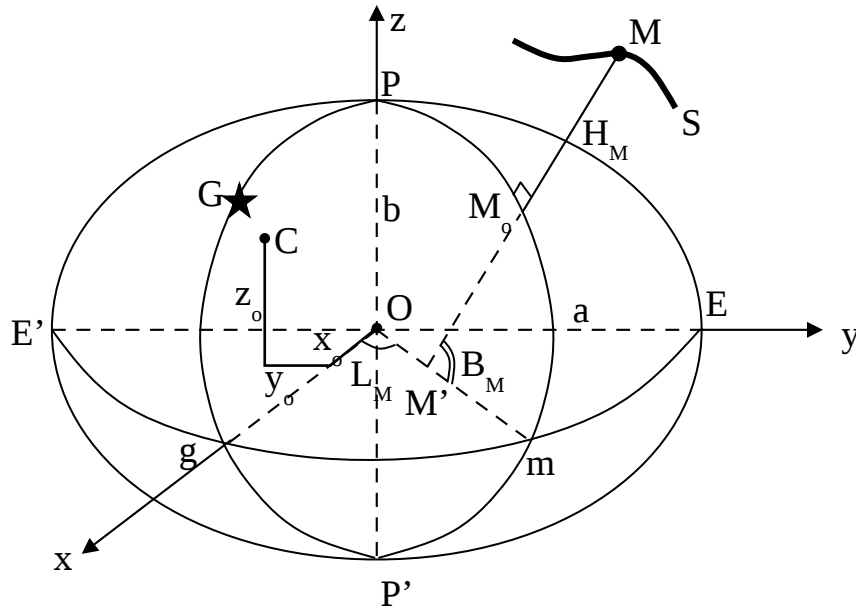
Để có thể đóng vai trò bề mặt tham khảo, ellipsoid thực dụng không chỉ cần có các thông số kích thước, mà phải có vị trí xác định, tức là phải được định vị trong lòng Trái đất. Cùng với kích thước thích ứng, các yếu tố định vị cần có của ellipsoid thực dụng sẽ bảo đảm cho nó đạt được sự phù hợp tốt nhất so với mặt geoid trên phạm vi vùng xét cho trước của bề mặt Trái đất.

1. Các yếu tố định vị

Có hai loại yếu tố định vị, đó là: *các yếu tố định vị ngoài* và *các yếu tố định vị trong*.

a. Các yếu tố định vị ngoài

Giả sử M là điểm xét trên bề mặt thực S của Trái đất, và ta có ellipsoid thực dụng với tâm O , trục quay PP' , vòng xích đạo $EmGE'$. G là vị trí của đài thiên văn Greenwich (hình 4.1)



Hình 4.1. Các thành phần tọa độ trắc địa

Pháp tuyến với mặt ellipsoid hạ từ M cắt mặt ellipsoid tại M_0 và cắt mặt phẳng xích đạo tại M' . Mặt phẳng kinh tuyến trắc địa ứng với điểm xét M cắt mặt ellipsoid tạo thành vòng kinh tuyến trắc địa PM_0mP' , còn mặt phẳng kinh tuyến trắc địa ứng với Greenwich cắt mặt ellipsoid tạo thành vòng kinh tuyến trắc địa $MGgP'$.

Khi đó, góc nhị diện hợp bởi các mặt phẳng kinh tuyến trắc địa của M và G (góc gOm) được gọi là độ kinh trắc địa của điểm xét và được kí hiệu là L_M ; Góc hợp bởi pháp tuyến với mặt ellipsoid hạ từ M và mặt phẳng xích đạo (góc $MM'm$) được gọi là độ vĩ trắc địa của điểm xét và được kí hiệu là B_M ; Đoạn pháp tuyến $\overline{MM_0}$ là độ cao trắc địa của điểm xét và được kí hiệu là H_M . B_M, L_M, H_M được gọi là ba thành phần tọa độ trắc địa của điểm xét. Chúng hoàn toàn xác định vị trí của điểm M dựa trên bề mặt tham khảo là ellipsoid. Nếu thay cho điểm M ta có điểm I với vai trò là điểm xuất phát của mạng lưới tọa độ, khi đó tọa độ trắc địa của điểm A là B_A, L_A, H_A sẽ được xem là các yếu tố định vị ngoài của ellipsoid. Với các trị số xác định của ba đại lượng này thì ellipsoid thực dụng tâm O , bán trục lớn a và bán trục nhỏ b đã có được vị trí cố định so với điểm A trên mặt đất; Nói cách khác, ellipsoid đó đã được định vị trong lòng Trái đất.

b. Các yếu tố định vị trong

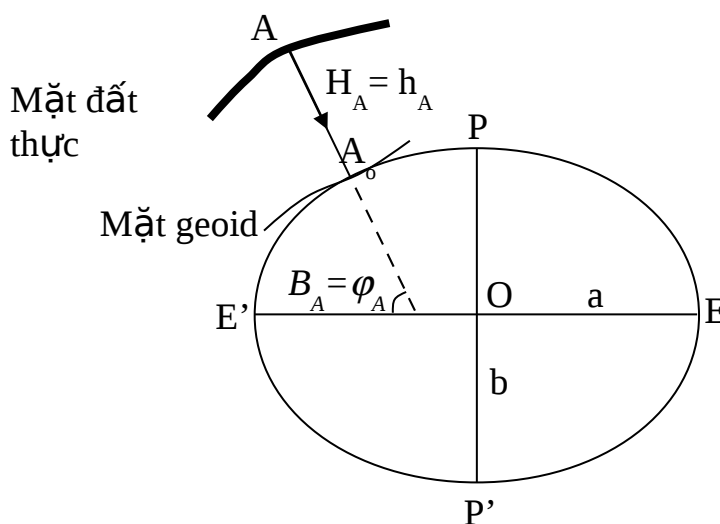
Bây giờ ta hãy giả sử C là tâm quán tính của Trái đất (hình 4.1). Ta chọn hệ tọa độ vuông góc với gốc đặt tại O , trục Z hướng về phía trên theo trục quay của ellipsoid, trục X hướng ra giao điểm giữa vòng kinh tuyến Greenwich và vòng xích đạo, trục Y hướng vuông góc với hai trục kia. Khi đó, vị trí tương hỗ giữa tâm O của ellipsoid và tâm quán tính C của Trái đất sẽ được biểu diễn bằng các yếu tố x_o, y_o, z_o là các thành phần dịch tâm của ellipsoid thực dụng so với tâm quán tính của Trái đất. Chúng được gọi là các yếu tố định vị trong của ellipsoid thực dụng. Rõ ràng là với các yếu tố này đã xác định, ellipsoid thực dụng hoàn toàn cố định trong lòng Trái đất.

Hai loại yếu tố định vị nêu trên của ellipsoid thực dụng có vai trò hoàn toàn tương đương là xác định cho nó một vị trí cụ thể trong lòng Trái đất. Tùy thuộc hoàn cảnh cụ thể mà người ta đề cập đến các yếu tố định vị ngoài hay các yếu tố định vị trong.

Một ellipsoid thực dụng chỉ được gọi là xác định, nếu đã biết cả hai yếu tố kích thước và ba yếu tố định vị (ngoài hoặc trong) của nó.

2. Một số phương pháp định vị ellipsoid thực dụng

a. Sử dụng một điểm thiên văn



Hình 4.2. Định vị ellipsoid thực dụng

Giả sử ta có A là điểm xuất phát (điểm gốc) của mạng lưới trắc địa quốc gia trải rộng trên vùng xét tại đó có giá trị độ vĩ thiên văn φ_A và độ kinh thiên văn λ_A được xác định từ kết quả đo thiên văn, độ cao h_A so với mặt biển được xác định từ

kết quả đo thủy chuẩn. Khi đó, độ vĩ, độ kinh trắc địa của điểm A tính theo ellipsoid thực dụng với các thông số (a, α) hay (a, b) được gán bằng độ vĩ, độ kinh thiên văn, còn độ cao trắc địa được gán bằng độ cao thủy chuẩn tương ứng, tức là cho:

$$\left. \begin{aligned} B_A &= \varphi_A; \\ L_A &= \lambda_A; \\ H_A &= h_A. \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Về thực chất, đường dây dọi đi qua A được chấp nhận làm pháp tuyến với ellipsoid thực dụng tại chính điểm này và cho rằng mặt biển trung bình (geoid) và mặt ellipsoid thực dụng tiếp xúc với nhau tại A_0 (hình 4.2). Đây là cách định vị đơn giản và gọn nhẹ nhất. Song, nếu điểm A chọn vào vùng có trường trọng lực bị nhiễu mạnh thì mặt ellipsoid thực dụng được định vị như thế sẽ lệch đáng kể so với mặt geoid tại các điểm khác của vùng xét.

b. Sử dụng nhiều điểm thiên văn

Để khắc phục tình trạng trên, người ta sử dụng nhiều điểm thiên văn rải đều trong mạng lưới trắc địa phủ kín vùng xét cho trước. Ta hãy biểu diễn tọa độ trắc địa của điểm i bất kì qua tọa độ thiên văn tương ứng của nó theo (2.66), độ cao trắc địa qua độ cao chuẩn và dị thường độ cao theo (2.73)

tức là:

$$\left. \begin{aligned} B_i &= \varphi_i - \xi_i; \\ L_i &= \lambda_i - \eta_i \sec \varphi_i; \\ H_i &= h_i + \zeta_i. \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Cho rằng trong phạm vi vùng xét có n điểm thiên văn tại đó đã biết các giá trị φ_i , λ_i , h_i ; Khi đó ta sẽ lập được một hệ gồm $3n$ phương trình dạng (4.2). Bằng cách giải hệ phương trình đó theo nguyên lí bình phương nhỏ nhất với các điều kiện:

$$\sum_{i=1}^n (\xi_i^2 + \eta_i^2) = \min, \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=1}^n \zeta_i^2 = \min, \quad (4.4)$$

ta sẽ tìm được các giá trị ξ_i , η_i , ζ_i và từ đó nhận được tọa độ trắc địa của điểm xét bất kì tính theo ellipsoid thực dụng đã được định vị, trong đó có điểm gốc A của mạng lưới trắc địa:

$$\left. \begin{aligned} B_A &= \varphi_A - \xi_A; \\ L_A &= \lambda_A - \eta_A \sec \varphi_A; \\ H_A &= h_A + \zeta_A. \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Đây chính là các yếu tố định vị (ngoài) cần xác định của ellipsoid thực dụng phù hợp nhất với vùng xét cho trước.

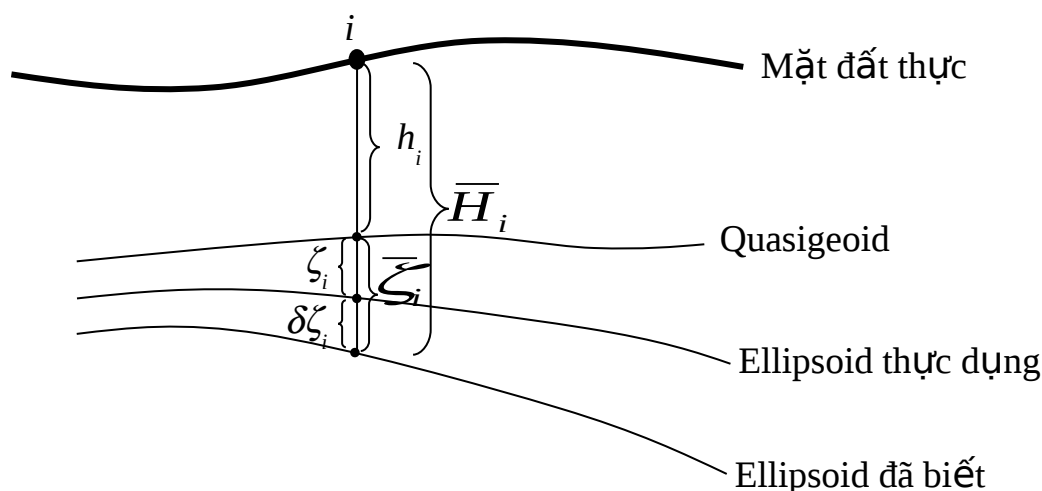
Trên đây chỉ là các nguyên tắc chính của việc định vị ellipsoid thực dụng trong đó sử dụng các số liệu thiên văn và trắc địa là chủ yếu. Trong thực tế, từ cách đây vài thế kỉ, việc định vị ellipsoid thực dụng đã được tiến hành đồng thời với việc xác định các thông số hình học của nó thông qua công tác đo cung độ. Về sau người ta có sử dụng thêm số liệu bổ trợ là các giá trị dị thường trọng lực và từ khi xuất hiện vệ tinh nhân tạo của Trái đất, còn sử dụng các số liệu quan trắc vệ tinh theo phương án độc lập cũng như kết hợp với các loại số liệu đo đạc truyền thống trên mặt đất. Sau khi có nhiều ellipsoid với kích thước cụ thể đã được công bố, vấn đề sử dụng ellipsoid thực dụng được tập trung vào việc định vị là chủ yếu, và bài toán này thường được tách riêng khỏi bài toán lựa chọn kích thước của ellipsoid thực dụng.

c. Việc lựa chọn ellipsoid thực dụng ở Việt nam

Ở nước ta vào các giai đoạn khác nhau trước đây đã sử dụng một số ellipsoid thực dụng có kích thước, định vị lấy theo nước ngoài cùng các hệ tọa độ gắn với chúng. Từ năm 2000 đã công bố Hệ quy chiếu và Hệ tọa độ quốc gia lần đầu tiên được thiết lập phù hợp nhất cho lãnh thổ Việt nam với ký hiệu là VN-2000. Ellipsoid thực dụng tương ứng có kích thước lấy theo Hệ thống trắc địa quốc tế WGS-84, cụ thể là: $a = 6.378.137 \text{ m}$, $\alpha = 1/298,2572\dots$. Việc định vị được thực hiện theo phương pháp do GS. Phạm Hoàng Lân đề xuất trong đó cần sử dụng một ellipsoid nào đó có vị trí đã biết và tuân thủ điều kiện:

$$\sum_{i=1}^n \zeta_i^2 = \sum_{i=1}^n (\bar{\zeta}_i - \delta\zeta_i)^2 = \min . \quad (4.6)$$

Các đại lượng có liên quan trong (4.6) được biểu diễn trên hình 4.3.



Hình 4.3. Định vị ellipsoid thực dụng theo ellipsoid đã biết

i là kí hiệu của các điểm xét phân bố khá đều trên lãnh thổ tại đó cần biết giá trị độ cao trắc địa \bar{H}_i (nhận được từ kết quả định vị vệ tinh) và giá trị độ cao h_i gần đúng so với geoid (nhận được từ kết quả đo thủy chuẩn truyền thống); $\bar{\zeta}_i$ là giá trị dị thường độ cao (hay độ cao geoid) so với ellipsoid đã biết, chẳng hạn, ellipsoid WGS-84: $\bar{\zeta}_i = \bar{H}_i - h_i$;

$\delta\zeta_i$ là hàm của hiệu giữa các tham số kích thước ứng với ellipsoid cần được định vị và ellipsoid đã biết, của các thành phần lệch tâm x_0, y_0, z_0 giữa hai ellipsoid, của các góc lệch $\delta\xi_A, \delta\eta_A$ giữa các pháp tuyến với hai ellipsoid đó và khoảng chênh $\delta\alpha_A$ giữa chúng tại điểm khởi tính (hay điểm xuất phát) A tùy chọn của mạng lưới tọa độ quốc gia. Trên cơ sở giải hệ phương trình số hiệu chỉnh tương ứng theo điều kiện (4.6) ta sẽ xác định được các giá trị tọa độ của điểm khởi tính, tức là có được các yếu tố định vị ngoài:

$$\left. \begin{aligned} B_A &= \bar{B}_A - \delta\xi_A; \\ L_A &= \bar{L}_A - \delta\eta_A; \\ H_A &= \bar{H}_A - \delta\zeta_A. \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

và các yếu tố định vị trong x_0, y_0, z_0 của ellipsoid thực dụng.

Phương pháp định vị ellipsoid nêu trên cho phép ta không phải sử dụng các cách giải quyết truyền thống vốn công kênh, phức tạp thông qua công tác đo cung độ cùng số liệu đo thiên văn đã từng được triển khai ở nhiều nước trên thế giới trước đây. Không những thế, việc định vị hoàn toàn không phụ thuộc vào quá trình xây

dựng mạng lưới tọa độ trắc địa quốc gia, thậm chí kể cả khi mạng lưới đó chưa được thiết lập trên thực địa.

Với nguyên lý và các phương án định vị đã trình bày ở trên, về nguyên tắc các ellipsoid thực dụng đều có các trục tọa độ song song với các trục tương ứng của ellipsoid chung của Trái đất và song song với nhau. Góc lệch giữa các trục tọa độ tương ứng được gọi là *các góc xoay Euler*. Chúng có thể tồn tại do các số liệu được sử dụng trong bài toán định vị có chứa sai số. Song, các góc xoay Euler của các ellipsoid thực dụng hiện đại thường rất nhỏ, có trị số không vượt quá vài ba phần trăm giây (") và do đó có thể bỏ qua trong phần lớn các bài toán thực tiễn.

4.2. Chuyển đổi giữa các hệ tọa độ

4.2.1. Khái niệm về tính đối và tính chuyển tọa độ

Trong thực tế có thể gặp những vấn đề liên quan đến tính đối tọa độ hoặc tính chuyển tọa độ. Như đã trình bày ở 3.3, trong một hệ quy chiếu có thể sử dụng một số hệ tọa độ khác nhau như hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm X,Y,Z, hệ tọa độ trắc địa B,L,H vv... Tính đối tọa độ là nội dung tính toán liên quan đến các hệ tọa độ được thiết lập trong một hệ quy chiếu, còn tính chuyển tọa độ là khái niệm tính toán liên quan đến hai hệ quy chiếu, thí dụ: tính chuyển tọa độ X,Y,Z của một điểm từ hệ WGS-84 về hệ VN2000 hoặc ngược lại.

Qua cách phân biệt trên, có thể thấy rằng tính đối tọa độ chỉ thuần túy là tính toán dựa vào các công thức toán học biểu thị mối liên hệ giữa các hệ tọa độ được thiết lập dựa trên một ellipsoid Trái đất cụ thể đã được định vị. Tính chuyển tọa độ không thể chỉ dựa vào công thức mà còn phải có các tham số tính chuyển tọa độ và mô hình toán tính chuyển tương ứng với các tham số đó.

Về tính đối tọa độ, trong phần 3.3 đã giới thiệu khá đầy đủ các công thức thể hiện mối liên hệ giữa các hệ tọa độ trong một hệ quy chiếu. Nhờ các công thức đó chúng ta dễ dàng thực hiện tất cả các bài toán tính đối tọa độ theo cả hai chiều (trong phần này không trình bày lại).

Trong phần 3.5 đã trình bày về phép chiếu mặt ellipsoid lên mặt phẳng, bản chất là chuyển đổi tọa độ điểm trên mặt ellipsoid về tọa độ phẳng theo phép chiếu bản đồ. Đây là một nội dung quan trọng của môn học "Toán bản đồ". Do phép chiếu

được xét trong một hệ quy chiếu, do đó có thể gọi phép chuyển đổi tọa độ điểm từ mặt ellipsoid về tọa độ trên mặt phẳng chiếu cũng là tính đổi tọa độ. Phép tính đổi này có thể trình bày tóm tắt như sau:

Mỗi điểm có tọa độ trắc địa trên mặt ellipsoid là B, L , theo phép chiếu bản đồ chúng ta có tọa độ vuông góc phẳng x, y tương ứng theo hàm ánh xạ có dạng tổng quát:

$$\begin{aligned} x &= f_x(B, L) \\ y &= f_y(B, L) \end{aligned} \quad (4.8)$$

trong đó f_x, f_y là hàm toán học (phép ánh xạ) thỏa mãn một số điều kiện nào đó của phép chiếu.

Các điều kiện của phép chiếu có thể là điều kiện đồng góc (giữ góc), điều kiện đồng diện tích vv... Trong công tác trắc địa, người ta chọn phép ánh xạ với điều kiện đồng góc, đó là phép chiếu hình trụ ngang đồng góc hiện đang được sử dụng rộng rãi.

Trong thành lập hải đồ, người ta lại sử dụng phép chiếu hình trụ đứng Mercator vì đó là phép chiếu đồng phương vị thuận tiện cho việc xác định phương hướng để chạy tàu trên biển.

Vấn đề tính chuyển tọa độ giữa hai hệ quy chiếu có thể áp dụng các mô hình toán khác nhau, bao gồm 2 nhóm: nhóm công thức tính chuyển tọa độ không gian (3D) và nhóm công thức tính chuyển tọa độ phẳng (2D). Các công thức tính chuyển 3D thường áp dụng trong trắc địa cao cấp, còn các công thức tính chuyển 2D thường áp dụng trong phạm vi hẹp của công tác đo đạc địa hình và địa chính.

Phép tính chuyển Aphin thường được sử dụng để chuyển tọa độ từ hệ này sang hệ khác: Phương trình cơ bản của chuyển Aphin là:

$$x_2 = A.x_1 + b \quad (4.9)$$

trong đó x_1 là véc tơ tọa độ biểu thị vị trí của điểm xét trong hệ tọa độ thứ nhất

x_2 là véc tơ tọa độ biểu thị vị trí của điểm xét trong hệ tọa độ thứ hai

A là ma trận tính chuyển

b là véc tơ

Các công thức tính chuyển Aphin không gian (3D), véc tơ x_1, x_2 có dạng:

$$x_1 = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1; \quad x_2 = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2 \quad (4.10)$$

trong trường hợp này ma trận A và véc tơ b có dạng:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & a_{2,3} \\ a_{3,1} & a_{3,2} & a_{3,3} \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Các công thức tính chuyển Affin 2D được áp dụng để tính chuyển tọa độ vuông góc phẳng, trong trường hợp này véc tơ x_1, x_2 , ma trận A và véc tơ b có dạng:

$$x_1 = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_1; \quad x_2 = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_2; \quad A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} \\ a_{2,1} & a_{2,2} \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Nhóm công thức tính chuyển tọa độ không gian liên quan đến các tham số tính chuyển như độ lệch gốc tọa độ, các góc xoay trục tọa độ và tỷ lệ chiều dài giữa hai hệ. Công thức Bursa-Wolf với 7 tham số tính chuyển là mô hình toán được áp dụng rộng rãi để tính chuyển tọa độ giữa hai hệ tọa độ trắc địa xác lập bởi 2 hệ quy chiếu khác nhau.

Nhóm công thức 2D thường chỉ áp dụng để tính chuyển cho các điểm nằm trên một khu vực không lớn và không xét đến yếu tố độ cao của điểm tính chuyển.

4.2.2. Các bài toán tính chuyển tọa độ

1. Tính chuyển tọa độ vuông góc không gian theo công thức Bursa-Wolf

Mô hình toán Bursa-Wolf hay công thức Bursa-Wolf được coi là phép tính chuyển tọa độ giữa hai hệ tọa độ trắc địa bảo đảm tính đồng dạng. Công thức Bursa-Wolf còn có tên gọi là công thức tính chuyển 7 tham số hoặc là công thức Helmert. Điều kiện áp dụng công thức này là góc giữa các trục tọa độ của 2 hệ (góc Euler) nhỏ. Công thức Bursa-Wolf có dạng như sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + m.R(e_x, e_y, e_z) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 \quad (4.13)$$

trong đó: $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1$ và $\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2$ là tọa độ của điểm tính chuyển trong hệ 1 và hệ 2.

$\begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix}$ là véc tơ chuyển dịch gốc (tọa độ gốc của hệ 1 trong hệ 2)

m là hệ số tỷ lệ chiều dài giữa hai hệ

$$R(e_x, e_y, e_z) = \begin{bmatrix} 1 & e_z & -e_y \\ -e_z & 1 & e_x \\ e_y & -e_x & 1 \end{bmatrix} \text{ là ma trận xoay Euler}$$

Nếu thay $m=1+dm$, ta có công thức thực dụng sau:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 + \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dm & e_z & -e_y \\ -e_z & dm & e_x \\ e_y & -e_x & dm \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 \quad (4.14)$$

Công thức Bursa-Wolf coi tỷ lệ chiều dài theo các trục là như nhau và cùng bằng m . Ngoài ra còn có thể sử dụng công thức 9 tham số, trong đó có tới 3 hệ số tỷ lệ chiều dài theo 3 trục khác nhau là m_x, m_y, m_z .

Nếu trong công thức (4.13) hay (4.14), thay cho tọa độ X, Y, Z trong hệ 1 là tọa độ trọng tâm, xác định theo công thức:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_1 = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 - \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

với X_c, Y_c, Z_c **SỬA LẠI CHỈ SỐ C !!!** là trọng tâm của tập hợp (n) các điểm tính chuyển:

$$X_c = \frac{[X]}{n}; Y_c = \frac{[Y]}{n}; Z_c = \frac{[Z]}{n} \quad (4.16)$$

khi đó mô hình toán tính chuyển được gọi là mô hình Molodensky-Badekas.

Công thức Bursa-Wolf cũng thuộc nhóm công thức Aphin 3D. Ngoài công thức Bursa-Wolf, còn có thể áp dụng một số công thức khác, như công thức 12 tham số, thể hiện ở các công thức (4.9), (4.10), (4.11).

Trong trường hợp tọa độ các điểm tính chuyển cho ở dạng tọa độ trắc địa B, L, H , chúng ta sẽ phải tính đổi tọa độ B, L, H về tọa độ vuông góc không gian địa tâm rồi mới áp dụng công thức Bursa-Wolf để tính chuyển. Sau khi tính được tọa độ vuông góc không gian X, Y, Z trong hệ 2 sẽ tính đổi về tọa độ trắc địa trong hệ 2 theo các công thức đã biết trong 3.3.

2. Tính chuyển tọa độ vuông góc phẳng

Trong công tác trắc địa, địa chính, người ta thường sử dụng các hệ tọa độ vuông góc phẳng để biểu thị vị trí mặt bằng của các điểm trên bề mặt trái đất trên một phạm vi giới hạn. Do đó vấn đề chuyển đổi tọa độ giữa các hệ tọa độ vuông góc phẳng là nhiệm vụ thường gặp. Như đã nêu trong 4.2.1, công thức Aphin 2D thường được sử dụng để tính chuyển tọa độ giữa hai hệ tọa độ phẳng. Trong nhóm công thức này, thường sử dụng là công thức Helmert và công thức song tuyến.

a. Tính chuyển theo công thức Helmert

Công thức Helmert có dạng như sau:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_2 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_1 \quad (4.17)$$

hoặc viết ở dạng:

$$\begin{aligned} x_2 &= x_0 + m.x_1 \cos \varphi - m.y_1 \cdot \sin \varphi \\ y_2 &= y_0 + m.y_1 \cos \varphi + m.x_1 \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (4.18)$$

trong đó:

$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_1$ là tọa độ của điểm xét trong hệ tọa độ 1

$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_2$ là tọa độ của điểm đó trong hệ tọa độ 2

$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$ là các giá trị dịch chuyển gốc tọa độ, chính là tọa độ gốc của hệ 1

trong hệ 2.

φ là góc xoay hệ trục

m là hệ số tỷ lệ chiều dài giữa hai hệ

Như vậy công thức Helmert đòi hỏi phải biết 4 tham số tính chuyển là: x_0, y_0, m và φ .

Trong trường hợp này thường tính chuyển thông qua tọa độ trọng tâm có các thành phần tọa độ được xác định như sau:

$$\begin{aligned} x'_i &= x_i - x_c \\ y'_i &= y_i - y_c \end{aligned} \quad (4.19)$$

trong đó x_c, y_c là trọng tâm, được tính theo công thức:

$$x_c = \frac{[x]}{n} ; \quad y_c = \frac{[y]}{n} \quad (4.20)$$

trong đó n là số lượng điểm tham gia tính.

Như vậy các biểu thức (4.18) sẽ có dạng:

$$\begin{aligned} x_2 &= x_0 + m.x'_1 \cdot \cos \varphi - m.y'_1 \cdot \sin \varphi \\ y_2 &= y_0 + m.y'_1 \cdot \cos \varphi + m.x'_1 \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (4.21)$$

b. Tính chuyển theo công thức song tuyến

Công thức song tuyến hay công thức Aphin bậc nhất có dạng:

$$\begin{aligned} x_2 &= a_0 + a_1.x_1 + a_2.y_1 \\ y_2 &= b_0 + b_1.x_1 + b_2.y_1 \end{aligned} \quad (4.22)$$

trong đó: $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ là 6 tham số chuyển đổi tọa độ, có thể biết trước hoặc cần phải xác định chúng dựa vào một số điểm song trùng. Để xác định được 6 tham số, cần ít nhất 3 điểm song trùng.

4.3. Các hệ tọa độ đã sử dụng ở Việt Nam

Do điều kiện lịch sử, đất nước Việt Nam đã phải trải qua nhiều năm tháng có chiến tranh triền miên. Chiến tranh đã làm cho quá trình xây dựng và phát triển đất nước bị ảnh hưởng và gián đoạn. Đối với ngành trắc địa cũng vậy, khi xây dựng các hệ tọa độ ở Việt Nam đã gặp không ít khó khăn và cũng bị ảnh hưởng bởi hoàn cảnh lịch sử cụ thể. Chính vì vậy, các hệ tọa độ sử dụng ở Việt Nam sẽ được đề cập theo từng giai đoạn lịch sử.

4.3.1. Hệ tọa độ trước năm 1954

Từ năm 1858 đến năm 1954 là giai đoạn thực dân Pháp xâm lược và đô hộ Việt Nam. Người Pháp đã thiết kế lưới tam giác Đông Dương tương đối hoàn chỉnh. Tuy nhiên, khi thi công, chỉ tập trung vào các khu vực thành phố hoặc các khu công nghiệp để nhằm mục đích khai thác tài nguyên, khoáng sản của Việt Nam. Ngoài ra, quá trình thi công xây dựng lưới bị ngừng trệ do chịu ảnh hưởng của Chiến tranh thế giới thứ hai.

Khối ellipsoid được chọn là ellipsoid Clarke 1880. Người Pháp tổ chức đo thiên văn lấy kinh tuyến Paris làm kinh tuyến gốc. Từ tọa độ trắc địa đã tính sang tọa độ tọa độ vuông góc phẳng theo phép chiếu hình nón giả đồng diện tích Bonne. Khi đó

không có lưới tọa độ thống nhất cả cho nước, chỉ có các tọa độ phẳng cho từng khu riêng biệt tại các địa phương

Thời gian hoàn thành của các mạng lưới độc lập cho từng khu vực như sau: Sài Gòn năm 1873, Hải Phòng năm 1874, Vinh năm 1877, Đà Nẵng năm 1907, Nha Trang năm 1913, Côn Sơn năm 1923, Bạc Liêu năm 1933, Cam Ranh năm 1949.

4.3.2. Hệ tọa độ sau năm 1954

Trong giai đoạn này, Việt Nam tạm thời bị chia cắt thành hai miền Nam và Bắc. Việc sử dụng các hệ tọa độ cũng có sự khác biệt giữa hai miền.

1. Hệ tọa độ được sử dụng ở miền Nam Việt Nam

Khối ellipsoid thực dụng được chọn là ellipsoid Everest 1830, định vị tại điểm gốc ở Ấn Độ. Khi đó, người ta sử dụng hệ tọa độ Indian (Nam Á). Tọa độ vuông góc phẳng là tọa độ UTM. Hệ tọa độ này xây dựng chung cho Campuchia và Nam Việt Nam, có 2 điểm gốc ở Campuchia được đo nối với lưới của Thái Lan bằng kỹ thuật vệ tinh SECOR.

2. Hệ tọa độ được sử dụng ở miền Bắc Việt Nam

Khối ellipsoid thực dụng được chọn là ellipsoid Krasovski 1940, định vị tại điểm gốc tọa độ Pulkovo thuộc Liên Xô.

Từ Pulkovo tọa độ được dẫn qua điểm Ngũ Lĩnh của Trung Quốc, sau đó chuyển về mạng lưới tam giác hạng I thuộc khu đông bắc của miền Bắc Việt Nam. Khi đó, mạng lưới khu đông bắc được bình sai độc lập.

Người ta lấy kết quả bình sai lưới khu đông bắc làm số liệu gốc để bình sai mạng lưới tam giác hạng I khu tây bắc và khu bắc Trung bộ.

Tọa độ vuông góc phẳng là tọa độ Gauss – Kriuger.

Sau khi Việt Nam được thống nhất vào năm 1975, mạng lưới Bình-Trị-Thiên được đo nối với mạng lưới bắc Trung bộ với 3 điểm khởi tính là: Lèn Mụ, Thu Lu và Phú Thiết Đông. Tiếp đó, tọa độ lại đo nối với mạng lưới tam giác hạng II nam Trung bộ.

Mạng lưới tọa độ của lưới đông Nam bộ có điểm gốc ở nhà thờ Hạnh Thông tây được tính chuyển sang tọa độ HN-72. Lưới tọa độ miền tây Nam bộ có điểm gốc ở An giang cũng được chuyển sang tọa độ HN-72.

Như vậy, sau năm 1975 trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam đã dùng hệ tọa độ HN-72, nhưng bao gồm các lưới khu vực riêng rẽ với các điểm gốc khác nhau. Tọa

độ HN-72 chưa được hiệu chỉnh ảnh hưởng của độ lệch dây dọi và độ cao geoid. Điểm khởi tính tọa độ được đặt ở Láng, nhưng ellipsoid Krasovski chưa được định vị tại Việt Nam, nên dị thường độ cao trên phạm vi lãnh thổ nước ta có trị số khá lớn.

4.3.3. Hệ tọa độ VN-2000

Do lưới tọa độ HN-72 của Việt Nam còn có một số nhược điểm, nên nó không đáp ứng được các yêu cầu của thực tế phát triển của đất nước.

Xuất phát từ thực tế này, từ năm 1992 đến 1994 Cục Đo đạc và Bản đồ nhà nước đã thu thập toàn bộ số liệu về mạng lưới tam giác hạng I, II của cả nước, sử dụng thêm số liệu Dopler vệ tinh để tiến hành định vị ellipsoid thực dụng và bình sai lại lưới tọa độ nhà nước với điểm tọa độ gốc là điểm tam giác số 10405 ở Láng. Trên cơ sở công việc đã hoàn tất, một hệ tọa độ mới của Việt Nam với ký hiệu VN - 1994 đã được dự kiến trình Chính phủ để ban hành. Tuy nhiên, do có sự thay đổi về tổ chức của ngành Đo đạc và Bản đồ, nên công trình xây dựng hệ tọa độ mới đã được phát triển để bổ sung và hoàn thiện thêm vào giai đoạn tiếp theo.

Để hiện đại hóa mạng lưới tọa độ quốc gia nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển của đất nước trong xu thế hòa nhập vào quá trình chung của thế giới, năm 1996 Tổng cục Địa chính đã đo lưới GPS hạng “0” phủ trùm cả nước, liên kết tất cả các mạng lưới tọa độ riêng rẽ đã có, chuẩn bị cho việc xây dựng hệ tọa độ mới của Việt Nam.

Từ năm 1998 đến 1999 với sự tham gia của các nhà khoa học và quản lý chủ chốt của ngành đã triển khai công trình “Xây dựng hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia”. Trên cơ sở đó ngày 12/07/2000 Thủ tướng chính phủ đã ra quyết định cho phép công bố và áp dụng hệ tọa độ mới của Việt nam với tên gọi là VN-2000 thay thế cho hệ tọa độ HN-72.

Hệ tọa độ VN-2000 lấy ellipsoid thực dụng là ellipsoid WGS-84. Điểm gốc là điểm N00 trong khuôn viên của Viện Địa chính (nay là Viện khoa học đo đạc và bản đồ thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường), tọa độ vuông góc phẳng là hệ tọa độ UTM.

Công trình khoa học nói trên đã được Nhà nước trao tặng Giải thưởng Hồ Chí Minh.

CHƯƠNG 5

XÂY DỰNG CÁC MẠNG LƯỚI TRẮC ĐỊA CƠ BẢN

5.1. Mạng lưới tọa độ quốc gia

Mạng lưới tọa độ quốc gia được xây dựng nhằm đáp ứng các nhiệm vụ khoa học và kỹ thuật sau:

- Xác định kích thước và định vị ellipsoid thực dụng;
- Nghiên cứu dịch chuyển cục bộ vỏ Trái đất và các biến đổi bề mặt Trái đất;
- Phục vụ công tác đo đạc hàng trên mặt đất, trên biển và trong không gian quanh Trái đất.
- Cung cấp tọa độ gốc làm cơ sở đo vẽ bản đồ địa hình, bản đồ địa chính, bản đồ chuyên đề và góp phần bảo vệ tài nguyên môi trường.
- Cùng với mạng lưới độ cao và mạng lưới trọng lực, mạng lưới tọa độ phục vụ cho việc nghiên cứu trường trọng lực của Trái đất và sự thay đổi của nó theo thời gian.

5.1.1. Nguyên tắc và sơ đồ xây dựng mạng lưới tọa độ quốc gia

Mạng lưới tọa độ quốc gia được xây dựng theo nguyên tắc chung là từ toàn diện đến cục bộ, từ độ chính xác cao đến độ chính xác thấp. Nguyên tắc cụ thể:

- Lưới phải bao phủ khắp cả nước;
- Lưới có đủ mật độ điểm cần thiết;
- Đủ độ chính xác;
- Thỏa mãn các điều kiện kinh tế.

Để xác định ellipsoid thực dụng và định vị nó, cần có điểm cơ sở định vị với mật độ phù hợp.

Để làm khống chế cho đo vẽ bản đồ địa hình tỉ lệ cơ bản nhà nước 1:2000, các điểm tọa độ cần có độ chính xác cỡ $\pm 0.07\text{m}$ và có mật độ 2km - 5km.

Như vậy để thỏa mãn cả nhiệm vụ khoa học và nhiệm vụ kỹ thuật, mạng lưới tọa độ nhà nước cần bố trí theo nguyên tắc chung đã nêu trên và có nhiều cấp hạng.

Để khi xử lý số liệu, sai số của mạng lưới cấp trên không ảnh hưởng đến mạng lưới cấp dưới, người ta quy định mạng lưới cấp trên cần có độ chính xác cao gấp k lần mạng lưới cấp ngay dưới nó. Hệ số k này ở các nước lựa chọn là 2; 2,5 hoặc 3.

Mạng lưới tọa độ quốc gia Việt Nam trước đây bố trí theo 4 hạng là I, II, III và IV với các chỉ tiêu kỹ thuật chủ yếu thống kê trong bảng 5.1.

Hiện nay, chưa có quy định kỹ thuật mới chính thức ban hành, nhưng đã thừa nhận tồn tại 4 hạng là các mạng lưới hạng “0”, hạng I, II và mạng lưới địa chính cơ sở; Mạng lưới địa chính cơ sở được coi là lưới hạng III, được xây dựng bằng công nghệ GPS, có độ chính xác tương đương hạng III cũ và có mật độ tương đương hạng IV cũ.

Các chỉ tiêu kỹ thuật của mạng lưới tọa độ nhà nước Việt Nam

Bảng 5.1

ấp hạng g lưới	Chiều dài cạnh (km)			Sai số trung phương đo góc (‘‘)	Sai số trung phương tương đối cạnh mở đầu	Sai số trung phương tương đối cạnh yếu
	m	M	T			
	in	ax	rung bình			
I	2 0	3 0	2 5	± 0.7	1: 400.000	1:300.000
II	8	2	1	± 1.0	1: 300.000	1: 200.000
I	0	3	3	± 1.8	1: 200.000	1:120.000
II	5	8	7	± 1.8	1: 200.000	1:120.000
I	2	5	3	± 2.5	1: 120.000	1: 70.000
V						

Ở Liên Bang Nga, từ tháng 6 năm 2000 đã sử dụng hệ tọa độ CK - 95 với các dạng lưới được xây dựng theo phương pháp truyền thống rồi được hiện đại hóa qua các thời kỳ:

- Mạng lưới thiên văn – trắc địa – vệ tinh;
- Mạng lưới Doppler vệ tinh;

- Mạng lưới thiên văn – trắc địa hạng I, II;
- Mạng lưới tầng dày hạng III, IV.

Khi xây dựng mạng lưới tọa độ theo công nghệ mới, Liên Bang Nga đã chọn phương pháp quan sát vệ tinh của các hệ thống GPS và GLONASS là chủ yếu và chia thành 3 cấp:

- Mạng lưới thiên văn – trắc địa cơ bản: bao gồm các điểm thu tín hiệu vệ tinh liên tục và thu lặp theo định kỳ. Mạng lưới này có khoảng cách giữa các điểm từ 650 đến 1000km, với sai số trung phương vị trí điểm trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm tuyệt đối từ $10 \div 15$ cm và sai số vị trí điểm tương hỗ $2 \div 3$ cm.

- Mạng lưới trắc địa độ chính xác cao: được phát triển dựa vào mạng lưới thiên văn – trắc địa cơ bản, có khoảng cách giữa các điểm từ 250 đến 300 km, sai số trung phương vị trí điểm kề nhau về mặt bằng không quá $3 \text{ mm} + 5 \cdot 10^{-8} D$, với D là khoảng cách giữa 2 điểm tính bằng km.

- Mạng lưới trắc địa vệ tinh hạng I tầng dày: là mạng lưới tầng dày và nâng cao độ chính xác của các điểm tọa độ nhà nước đã xây dựng cũ. Khoảng cách giữa các điểm liền kề $20 \div 35$ km với sai số trung phương vị trí mặt bằng là $3 \text{ mm} + 10^{-03} D$.

5.1.2. Các phương pháp xây dựng mạng lưới tọa độ quốc gia

Việc xây dựng mạng lưới tọa độ quốc gia có thể được thực hiện theo các phương pháp sau:

- Phương pháp tam giác đo góc;
- Phương pháp tam giác đo cạnh ;
- Phương pháp tam giác đo cả góc và cạnh ;
- Phương pháp đa giác;
- Phương pháp vệ tinh.

1. Phương pháp tam giác đo góc

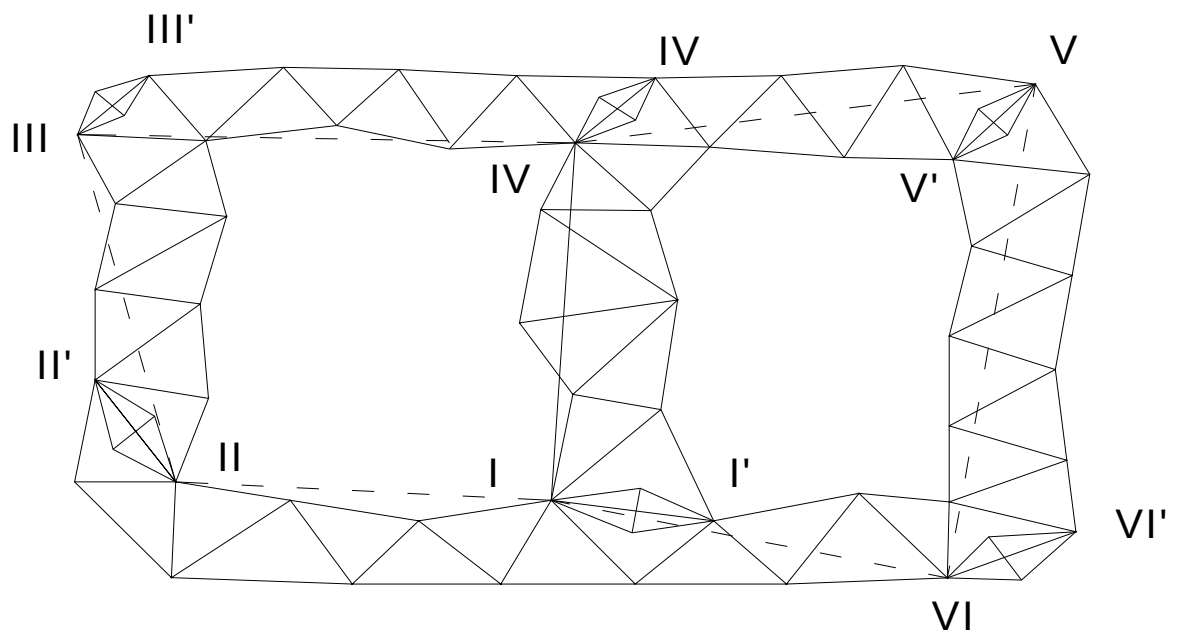
Phương pháp tam giác đo góc được xây dựng đầu tiên trên thế giới ở Hà Lan vào nửa đầu thế kỷ 17, sau đó được áp dụng rộng rãi ở tất cả các nước trên thế giới. Đồ hình cơ bản của phương pháp này là các hình tam giác, tứ giác trắc địa và đa giác trung tâm.

Từ các hình cơ bản người ta xây dựng mạng lưới cấp cao nhất là mạng lưới tam giác dày đặc hoặc khóa tam giác chạy dài theo hướng kinh, vĩ tuyến có kích thước khóa cỡ 200 km x 200 km như trên hình 5.1.

Đối với các nước có diện tích lãnh thổ lớn, người ta thường chọn phương án xây dựng mạng lưới hạng I có dạng khóa tam giác. Khi đó, tại các góc của khóa người ta xây dựng lưới đường đáy hình thoi để tính ra chiều dài cạnh khởi đầu của chuỗi tam giác trong khóa từ cạnh đáy được đo trực tiếp.

Ở hai đầu của cạnh khởi đầu, người ta đo độ kinh thiên văn φ , độ vĩ thiên văn λ và phương vị thiên văn a của cạnh đó.

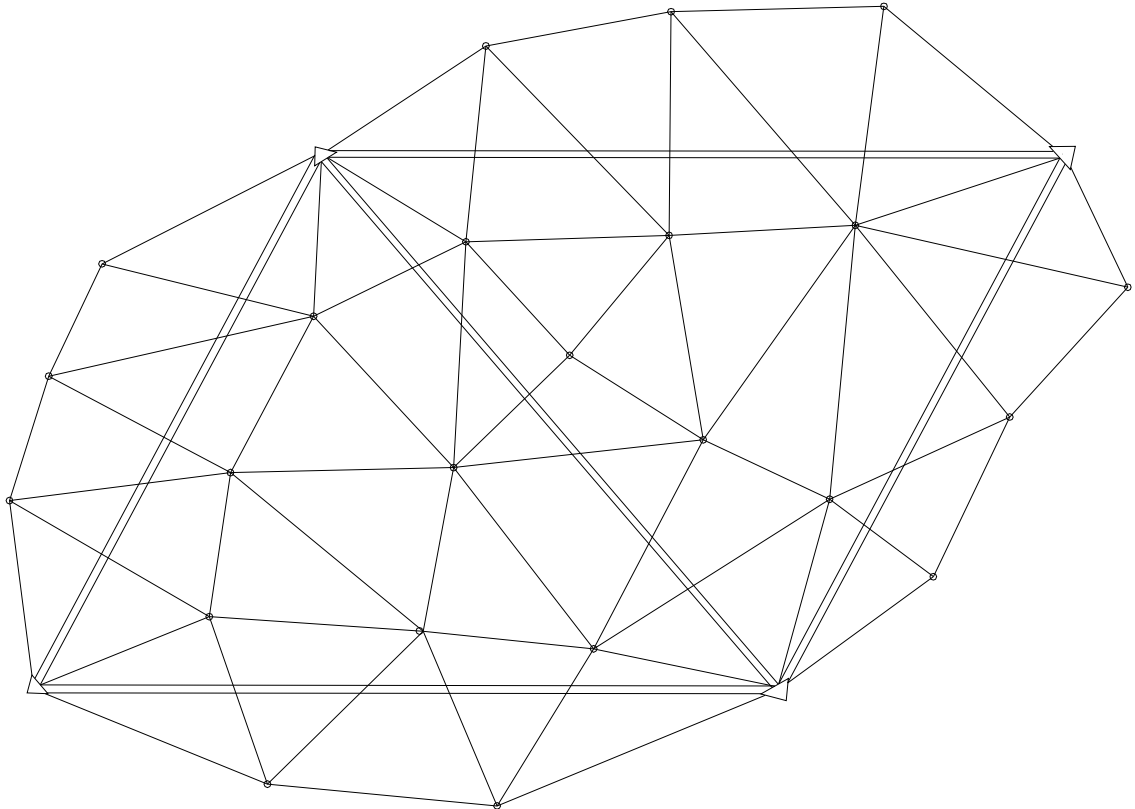
Đối với các nước có diện tích lãnh thổ không lớn như Việt Nam, người ta xây dựng mạng lưới tam giác hạng I thường ở dạng lưới tam giác dày đặc, nhưng vẫn có các lưới đường đáy và các điểm thiên văn bố trí giống như sơ đồ trên.



Hình 5.1. Mạng lưới tam giác hạng I dạng khoá

Sau khi xây dựng xong mạng lưới tam giác hạng I, người ta tiến hành xây dựng các bậc lưới tiếp theo từ hạng II đến hạng IV. Mạng lưới hạng II sẽ được xây dựng dưới dạng chêm điểm vào giữa các tam giác hạng I, tiếp đến mạng lưới hạng III sẽ được xây dựng dưới dạng chêm điểm vào giữa các tam giác hạng II vv...cho đến mạng lưới hạng IV cũng thực hiện tương tự.

Đặc điểm của phương pháp tam đo góc là đo tất cả các góc có trong mạng lưới, còn các cạnh chỉ đo hoặc tính số lượng cạnh gốc tối thiểu. Như vậy, mạng lưới có nhiều trị đo thừa, kết cấu đồ hình chặt chẽ, nên độ chính xác của các yếu tố trong mạng lưới khá cao và đồng đều. Hạn chế của phương pháp tam giác đo góc là độ chính xác các yếu tố của lưới phụ thuộc rất lớn vào đồ hình lưới; Do phải ngắm tới nhiều điểm, nên việc chọn điểm sẽ rất khó khăn và việc xây dựng tiêu mốc sẽ rất tốn kém.



Hình 5.2. Mạng lưới tam giác dày đặc

2. Phương pháp tam giác đo cạnh

Từ những năm sau chiến tranh thế giới lần thứ II, trên thế giới đã sản xuất được máy đo khoảng cách điện tử (EDM).

Cùng với sự ra đời của các máy đo khoảng cách điện tử đã xuất hiện phương pháp xây dựng mạng lưới tọa độ theo phương pháp tam giác đo cạnh. Trong mạng lưới này, người ta đo tất cả các cạnh, còn đối với các góc, chỉ đo góc nối đến điểm có tọa độ gốc hoặc phương vị gốc, đủ để định vị và kiểm tra lưới.

Mạng lưới tam giác đo cạnh ít phụ thuộc vào đồ hình lưới. Ngoài ra, do nó có ít trị đo thừa, nên phương pháp này chỉ được áp dụng thay cho mạng lưới tam giác từ

hạng II trở xuống và chỉ áp dụng ở những nơi phương pháp tam giác đo góc khó thực hiện.

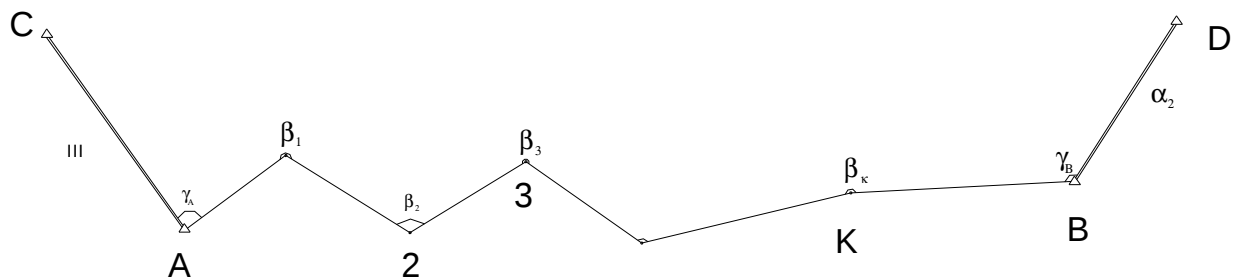
3. Phương pháp đa giác

Tiếp sau sự ra đời của máy đo dài điện tử, khoảng năm 1956 trên thế giới ra đời máy đo khoảng cách bằng sóng ánh sáng.

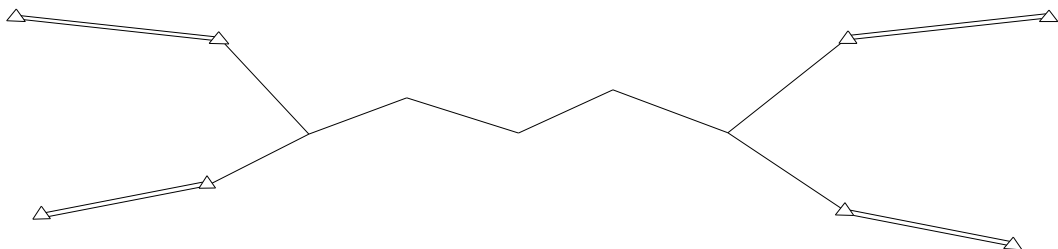
Công nghệ đo dài ra đời đã làm thay đổi phương pháp xây dựng lưới theo phương pháp truyền thống (phương pháp tam giác), thay vào đó là phương pháp đa giác hay đường chuyền.

Đồ hình lưới đa giác có số lượng hướng đo ít, nên việc chọn điểm linh hoạt. Tuy nhiên, do số lượng hướng đo ít, nên kết cấu đồ hình không tốt bằng phương pháp tam giác. Để khắc phục điểm yếu này, người ta đưa ra các giải pháp là nâng cao độ chính xác đo góc và cạnh và thay đổi đồ hình từ đường đa giác đơn (hình 5.3) sang đồ hình có nhiều điểm nút và nhiều vòng khép như trên các hình vẽ 5.4 và 5.5.

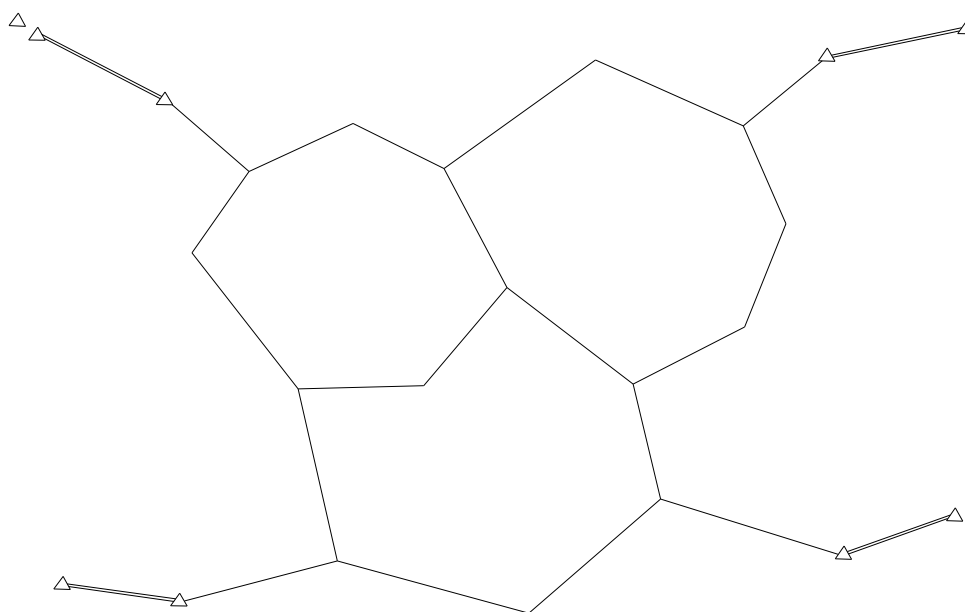
Với các giải pháp như trên, hiện nay, phương pháp đa giác đã được sử dụng chủ yếu để xây dựng mạng lưới tọa độ nhà nước.



Hình 5.3. Tuyến đường chuyền phù hợp



Hình 5.4 Mạng lưới đường chuyền có nhiều điểm nút



Hình 5.5. Mạng lưới đường chuyên có nhiều vòng khép

4. Phương pháp vệ tinh

Các phương pháp đã nêu ở trên có tên gọi chung là nhóm phương pháp mặt đất xây dựng lưới. Nhược điểm chung của nhóm này là phải thông hướng giữa các điểm liền kề, do đó gây rất nhiều khó khăn cho quá trình xây dựng lưới.

Phương pháp tam giác đo cạnh sử dụng công nghệ đo cạnh Shoran, Hiran cho phép đo từ trên cao cạnh nối hai điểm trên mặt đất nằm cách nhau tới vài trăm kilômét, nhưng độ chính xác lại thấp, nên chỉ dùng để đo nối cho các lưới riêng biệt ở xa mạng lưới chung, chứ không có khả năng đo toàn cạnh của mạng lưới.

Trên cơ sở những phân tích trên đây, người ta đã tính đến việc phải quan sát lên bầu trời để thay thế cho việc đo ngắm trên mặt đất thường đòi hỏi tầm thông hướng khó đáp ứng trong điều kiện thực tế. Khi đó, người ta đã nghĩ đến phương pháp chụp ảnh vệ tinh trên nền sao hoặc thu tín hiệu vô tuyến từ vệ tinh phát đi để phục vụ cho việc định vị điểm trên mặt đất. Việc chụp ảnh vệ tinh đồng thời từ hai trạm trên mặt đất ở cách xa nhau vài ngàn kilômét đảm bảo độ chính xác định vị điểm cỡ $\pm 10\text{m}$ đã cho phép thành lập mạng lưới trắc địa vệ tinh toàn cầu đầu tiên. Tuy nhiên, công nghệ này chịu ảnh hưởng nhiều của khí tượng, mặt khác máy móc, thiết bị lại quá cồng kềnh, nên không thích ứng cho mục đích xây dựng mạng lưới tọa độ nhà nước.

Việc phóng vệ tinh nhân tạo lên quỹ đạo chuyển động xung quanh Trái đất đã mở ra một kỉ nguyên mới cho sự phát triển của khoa học chinh phục vũ trụ và Trái đất, đồng thời cũng là bước ngoặt quan trọng cho sự phát triển của trắc địa cao cấp nói chung và công nghệ xây dựng lưới nói riêng.

Tháng 10 năm 1957, lần đầu tiên trên thế giới Liên Xô đã phóng thành công vệ tinh nhân tạo của Trái đất. Tiếp theo, năm 1960 Mỹ cũng đã phóng vệ tinh lên quỹ đạo. Người Mỹ đã xây dựng hệ thống vệ tinh hàng hải quân mang tên là hệ thống TRANSIT với 6 vệ tinh bay trên quỹ đạo kinh tuyến cách mặt đất 1.100km. Việc định vị được thực hiện theo nguyên tắc đo Doppler vệ tinh, độ chính xác đạt được cỡ $\pm 1\text{m}$. Phương pháp này có tên là phương pháp Doppler vệ tinh. Do có khả năng đảm bảo độ chính xác cần thiết vào thời điểm bấy giờ, nên nó được áp dụng khá phổ biến vào việc xây dựng mạng lưới tọa độ hạng cao nhất của các quốc gia trên thế giới.

Tuy vậy, TRANSIT vẫn có nhược điểm là do số vệ tinh ít, nên không tức thời xác định được tọa độ của điểm cần định vị với độ chính xác cao như đã nêu ở trên, mà phải đợi ít nhất sau 3-4 lần quan trắc vệ tinh với dẫn cách giữa các lần dao động trong khoảng từ nửa tiếng đến hơn một tiếng, tùy thuộc vào vị trí địa lý của điểm quan trắc. Ngoài ra, độ chính xác của phương pháp cũng chưa thật cao, nên ngay từ khi đang còn hoạt động, hệ thống đã được chuẩn bị để thay thế bằng một hệ thống khác hoàn thiện hơn. Hệ thống TRANSIT đã ngừng hoạt động từ năm 1996.

Năm 1978 Mỹ đã đưa vào sử dụng hệ thống vệ tinh mới có tên là hệ thống vệ tinh hàng đo thời gian và khoảng cách (NAVSTAR) hay hệ thống định vị toàn cầu (GPS). Tiếp đó, năm 1982 Liên bang Nga cũng triển khai hệ thống vệ tinh định vị mang tên GLONASS. Từ tháng 3 năm 2003 Liên minh châu Âu cũng bắt đầu đưa lên quỹ đạo quanh Trái đất hệ thống vệ tinh có tên là GALILEO và dự tính sẽ hoàn tất để khai thác đầy đủ từ năm 2015.

Hệ thống GPS ra đời đã làm thay đổi cơ bản công nghệ xây dựng lưới tọa độ. Đây là bước đột phá trong việc giải quyết nhiệm vụ xây dựng mạng lưới tọa độ, các bài toán định vị và đo nối tọa độ trên quy mô khu vực và toàn cầu. Ngoài ra, với sự ra đời của công nghệ GPS, đã có thể kiểm soát tốt hơn những hoạt động của tự nhiên, những biến đổi của bề mặt Trái đất cũng như những hoạt động về đời sống xã hội của chính con người.

5.1.3. Máy móc thiết bị và nguyên tắc đo

Máy móc thiết bị dùng cho công tác đo đạc mạng lưới tọa độ bao gồm các máy đo góc, máy đo cạnh, máy đo góc và đo cạnh có độ chính xác cao. Cho đến nay có hai dòng máy chính là : dòng quang cơ và dòng điện tử.

1. Máy đo góc chính xác

Máy đo góc hay còn gọi là máy kinh vĩ (Theodolite) dùng để đo góc nằm ngang và góc đứng (thiên đỉnh).

Theo độ chính xác, máy kinh vĩ chia thành 3 loại. *Máy chính xác cao* với sai số trung phương đo góc trong điều kiện tiêu chuẩn $m_{\beta} < 1''$, *máy chính xác* với m_{β} nằm trong khoảng $2'' \div 10''$ và *máy kỹ thuật* có $m_{\beta} > 10''$. Trong công tác đo đạc của trắc địa cao cấp chủ yếu đề cập đến các máy loại 1 và loại 2.

Máy kinh vĩ quang cơ có đặc điểm là bàn độ được chế tạo từ thủy tinh pha lê. Người ta khắc vạch trực tiếp trên đó và khi đo, người đo sẽ đọc trực tiếp số đọc trên bộ đo cực nhỏ để nhận giá trị của hướng.

Máy kinh vĩ điện tử ra đời từ năm 1960. Các máy kinh vĩ điện tử có mặt trên thị trường thế giới chủ yếu thuộc về các hãng: Leica của Thụy Sĩ, Trimble của Mỹ, Sokkia, Topcon, Nikon của Nhật và South của Trung Quốc vv.... Một số loại máy có độ chính xác đo góc từ 2'' trở lên được thống kê trong bảng **5.3**.

Một số thông số của máy kinh vĩ điện tử

Bảng 5.3 **5.2**

Tên máy	Hãng, nước sản xuất	Độ phóng đại (x)	Đường kính kính vật (mm)	Sai số đo góc (")
T1610	Leica Thụy Sĩ	30	42	1.5
T2000	Leica Thụy Sĩ	32	42	0.5
T3000	Leica Thụy Sĩ	43	52	0.5
DT2E	Sokkia Nhật Bản	30		2
ET/DT-02	South Trung Quốc	30	45	2

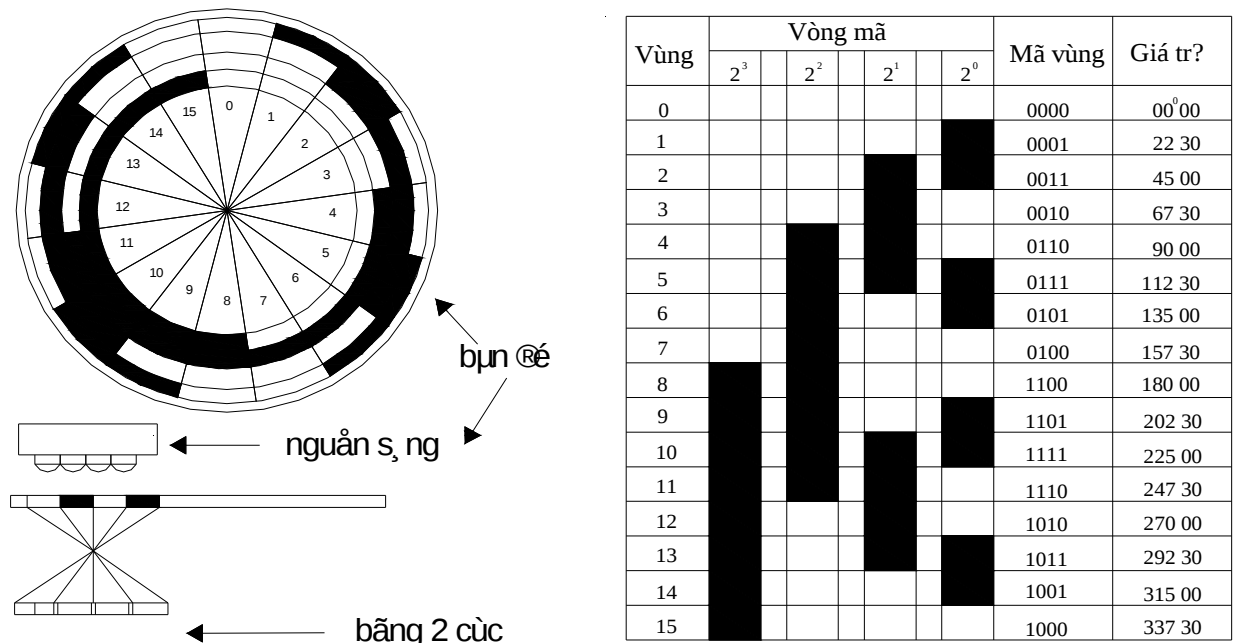
Bàn độ điện tử hiện nay có 3 loại: Loại mã hóa đo ra giá trị tuyệt đối của góc; Loại đo lường gia tăng hay đo ra góc dịch chuyển của bàn độ, nên gọi là đo góc tương đối; Loại bàn độ điện tử động.

Bàn độ điện tử mã hóa đã cải tiến của **Grây mô ta** ??? được giới thiệu trên hình (5.6). Trên bàn độ pha lê , người ta tạo ra n vòng tròn đồng tâm chia bàn độ thành n đai hình vành khăn; Các hình vành khăn lại được chia thành các ô hình thang. Ô trắng cho ánh sáng đi qua và ô đen chặn ánh sáng. Trên hình 5.6 ta có $n = 4$ đã tạo ra $2^n = 16$ vùng mã đánh số từ 0 đến 15. Phía trên bàn độ người ta đặt nguồn sáng chiếu dọc theo khe đường kính bàn độ, phía dưới đặt các bóng điện tử hai cực ở vùng mã tương ứng. Hướng ngắm biểu thị bằng mặt phẳng theo khe đường kính bàn độ gắn với luồng sáng; Phía dưới bóng đèn điện tử hai cực nhận được ánh sáng sẽ cho dòng điện mạnh, ứng với số 1, chỗ không nhận được sẽ cho dòng điện yếu, ứng với số 0 và như vậy bàn độ đã được chia theo các vùng mã, với mã nhị phân của các vùng cho ra các giá trị hướng tương ứng như trên hình 5.6. Các kết quả đo sau khi được giải mã sẽ chuyển lên màn hình, khi đó người đọc chỉ việc đọc số bình thường, mà không phải đoán đọc như máy quang cơ.

Máy kinh vĩ điện tử có thể kết hợp với thiết bị đo khoảng cách điện tử để thành máy toàn đạc điện tử.

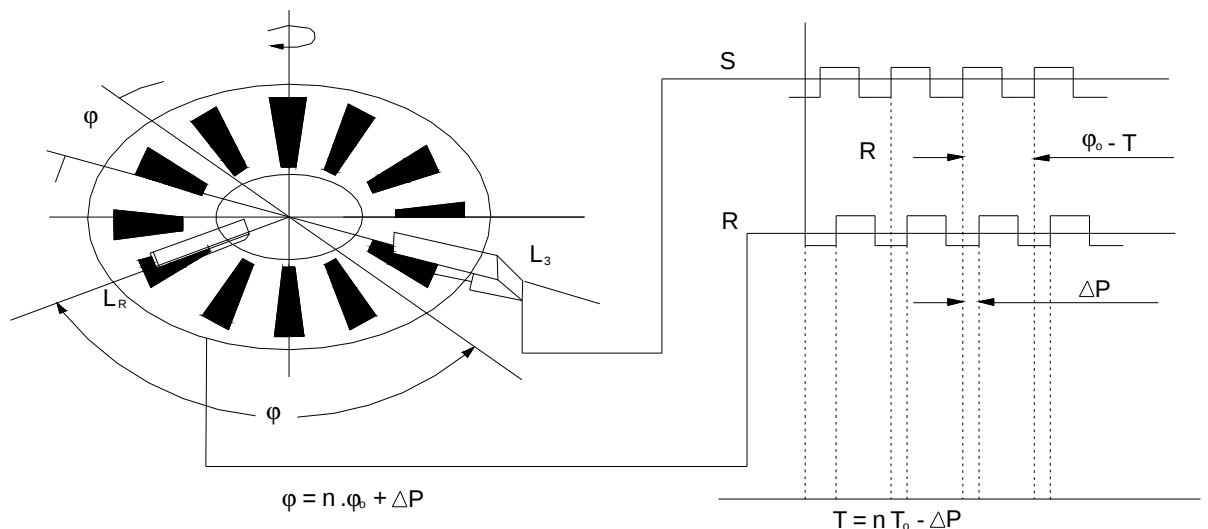
2. Đo góc ngang và góc đứng

Giả sử cần đo góc ngang ABC trên mặt đất. Trước hết, người ta đặt máy tại điểm B, cân máy chính xác, ngắm hướng khởi đầu là A, sau đó đặt số trên bàn độ theo vị trí bàn độ thuộc chương trình đo có trước. Tiếp theo, ngắm chính xác điểm A rồi làm thủ tục chấp vạch đọc số (với máy quang cơ) hoặc đọc số (với máy điện tử). Tiếp đến, quay ống kính theo chiều kim đồng hồ về bất chính xác mục tiêu C, rồi làm thủ tục đọc số. Các mục tiêu khác cũng thực hiện tương tự cho đến mục tiêu cuối cùng. Trình tự như trên là toàn bộ các bước của một nửa vòng đo. Sang nửa vòng đo sau cũng làm tương tự, nhưng với thứ tự ngược lại. Tùy theo phương pháp đo và cấp hạng đo mà quy trình đo góc ngang có thể có sự khác biệt.



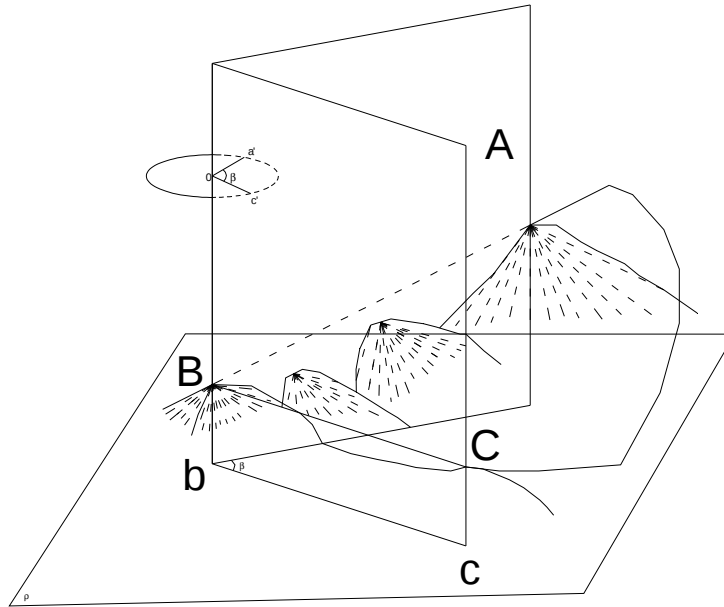
Hình 5.6

Thông thường, trong mạng lưới tam giác đo góc hạng I, hạng II thì góc ngang được đo theo phương pháp tổ hợp Schreiber, còn đối với các cấp hạng thấp hơn như hạng III, IV thì thực hiện đo theo phương pháp toàn vòng.



Hình 5.7. Bàn độ điện tử động

Ngoài việc đo các góc trong mạng lưới, còn phải đo các góc nối nhằm mục đích chuyển phương vị vào mạng lưới, làm cơ sở để giải cạnh và để rồi tính ra tọa độ cho các điểm của mạng lưới.



Hình 5.8. Nguyên lý đo góc ngang

Cùng với việc đo góc ngang, tại các điểm của mạng lưới tọa độ người ta còn đo góc đứng. Góc đứng được dùng để tính số hiệu chỉnh cho trị đo và dùng để tính ra chênh cao lượng giác.

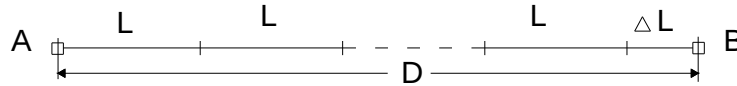
Tại các trạm máy của mạng lưới tọa độ, ngoài việc đo góc ngang, góc đứng, còn phải đo chiều cao máy, chiều cao gương, các yếu tố quy tâm. Không những thế, người ta còn đo các yếu tố khí tượng như: nhiệt độ, áp suất, độ ẩm của không khí vv... để tính các số hiệu chỉnh tương ứng cho trị đo và phục vụ các mục đích nghiên cứu khoa học có liên quan.

3. Máy đo khoảng cách

Thời kỳ đầu, việc đo khoảng cách được thực hiện bằng thước thép có phương trình. Từ năm 1897 thước thép thông thường được thay bằng thước thép có hệ số giãn nở cực nhỏ được gọi là thước dây invar. Đo khoảng cách bằng thước dây Invar thỏa mãn được độ chính xác đo cạnh đáy hoặc cạnh khởi đầu của mạng lưới tam giác. Tuy nhiên, công việc đo đạc rất vất vả, không đo được khoảng cách quá dài. Chính vì vậy, người ta phải bố trí các lưới đường đáy hình thoi đơn hoặc hình thoi kép để có thể đo trực tiếp các cạnh đáy ngắn rồi thông qua các góc trong lưới đường đáy để tính ra cạnh khởi đầu. Đo khoảng cách bằng thước dây Invar có thể mô tả khái quát như hình 5.9. Khi đó, người ta định hướng và chia sơ bộ đoạn cần đo D

thành các đoạn chẵn L mét và còn lẻ lại ΔL . Khi đo, người ta đo các đoạn chẵn L mét trước, sau đó đo đoạn lẻ ΔL và chiều dài đo được sẽ là:

$$D = NL + \Delta L . \quad (5.1)$$



Hình 5.9

Năm 1945 đã xuất hiện phương pháp đo khoảng cách điện tử (EDM). Nguyên tắc đo như sau: giả sử cần đo khoảng cách giữa 2 điểm A và B, khi đó máy phát đặt tại A, máy thu hoặc gương phản xạ đặt tại B. Tín hiệu đo được phát đi từ máy phát ở đầu A đến đầu B rồi phản xạ trở lại (trường hợp máy đo sử dụng sóng ánh sáng). Từ việc xác định hiệu pha của tín hiệu phát đi so với tín hiệu trở về sẽ tính ra được khoảng thời gian t_{2D} mà tín hiệu đi qua 2 lần khoảng cách cần đo. Căn cứ vào tốc độ truyền sóng v , ta tính được khoảng cách cần đo như sau:

$$D = \frac{1}{2} v t_{2D} . \quad (5.2)$$

Tốc độ truyền sóng điện từ v được tính theo tốc độ truyền sóng điện từ trong chân không C và chiết suất môi trường n theo công thức:

$$v = \frac{C}{n} . \quad (5.3)$$

Máy đo dài điện tử sử dụng sóng vô tuyến (sóng radio) có ưu điểm là đo được khoảng cách khá xa (tới 60 km), tuy nhiên lại có nhược điểm là độ chính xác thấp (cỡ cm), nên gần ít được sử dụng.

Máy đo dài sử dụng sóng ánh sáng được chia thành 2 loại: đo pha và đo xung.

Đối với loại đo pha, khoảng thời gian tín hiệu lan truyền giữa 2 lần khoảng cách cần đo được xác định như sau:

$$t_{20} = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\varphi}{2\pi f} = \frac{2N\pi + \Delta\varphi}{2\pi f} . \quad (5.4)$$

Trong công thức 5. 4: φ là hiệu pha của tín hiệu đi và về; ω là tốc độ góc; f là tần số của tín hiệu; N là số nguyên lần chu kỳ và $\Delta\varphi/2\pi f$ là phần lẻ chu kỳ dao động của tín hiệu.

Từ đó ta có thể thiết lập được công thức tính khoảng cách cần đo như sau:

$$D = \frac{1}{2}vt_{2D} = \frac{v}{2f} \left(N + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \right) = \frac{\lambda}{2} (N + \Delta N) \quad (5.5)$$

Từ (5.5) ta thấy rằng, đo khoảng cách bằng máy đo dài điện tử về thực chất là đo khoảng cách bằng thước mẫu có chiều dài $u = \frac{1}{2}\lambda$ trong đó cần biết số nguyên lần N và phần lẻ của thước mẫu chứa trong khoảng cách cần đo. Để xác định giá trị N (số nguyên đa trị), người ta cần biết trước khoảng cách cần đo một cách gần đúng hoặc sử dụng từ 2 tần số đo trở lên. (Hiện nay các máy đo dài điện tử đều được chế tạo để đo ở 2 tần số). Việc xác định phần lẻ thực hiện được ngay trên máy đo, độ chính xác có thể đạt 1% chu kỳ.

Hiện nay máy đo dài ánh sáng hoạt động theo phương pháp xung được sử dụng khá phổ biến, vì nó cho phép trực tiếp xác định được t_{2D} với độ chính xác cần thiết mà không cần phải đo ở 2 tần số.

Nguyên tắc đo khoảng cách của loại máy này như sau: Tín hiệu đo có dạng dao động hình sin nhận được trong bộ phận tạo sóng sẽ được dẫn đến bộ tạo xung để từ đó sẽ tách theo 2 đường: một đường dẫn vào bộ đếm số xung và một đường dẫn đến bộ điều biến rồi chuyển sang bộ phận phát ra ngoài để lan truyền tới gương phản xạ rồi quay trở lại máy vào bộ phận thu. Tiếp đến, tín hiệu thu sẽ được dẫn đến đồng hồ đếm xung; Khi đó, bộ đếm xung sẽ lập tức ngừng đếm và bộ xử lý sẽ giải ngay ra khoảng cách cần đo. Nếu ký hiệu T là chu kỳ của xung, n là số xung đếm được thì ta có:

$$t_{2D} = nT. \quad (5.6)$$

Thay (5.6) vào công thức tổng quát (5.5), ta nhận được:

$$D = \frac{v}{2}nt \quad \text{.} \quad \text{SỬA t thành T}$$

Nếu đặt $\frac{v}{2}t = d$ là chiều dài mà một xung đi được thì:

$$D = nd. \quad (5.7)$$

Xuất phát từ (5 – 8) người ta chọn trước d với giá trị xác định để dễ dàng có được khoảng cách cần đo với độ chính xác cao. ĐIỂN ĐẠT LẠI !!!!

Loại xung laser có đặc điểm là tập trung năng lượng, đi thẳng, nên hiện nay người ta đã chế tạo được dòng máy đo dài sử dụng tia Laser đo không cần gương.

Bảng 5.5 giới thiệu một số loại máy đo dài ánh sáng đo bằng gương.

BẢNG 5.3, 5.4 Ở Đâu???

Bảng 5.5

Ký hiệu máy	Hãng, nước sản xuất	Khoảng cách đo 1 gương (mm)	Độ chính xác a+b ppm	Ghi chú
DI 1001	Leica Thụy Sĩ	3.5	1+ 1	
DI 1001	Leica Thụy Sĩ	13.0	3+ 1	
ND 1000	South Trung Quốc	2.0	2 + 2	
ND 1000	South Trung Quốc	5.0	2 + 2	

Hiện nay, người ta đã chế tạo các máy đo cả khoảng cách và góc; Chúng có tên là toàn đạc điện tử. Các máy toàn đạc điện tử có kí hiệu chung là TC, đo bằng ánh sáng hồng ngoại hoặc cả bằng hồng ngoại và laser.

Bảng 5. 6 dưới đây thống kê một số loại máy toàn đạc điện tử khá phổ biến trên thực tế.

Độ chính xác đo khoảng cách bằng máy toàn đạc điện tử thể hiện qua công thức:

$$m_D^2 = \pm (a^2 + b^2 D^2) \quad (5.8)$$

Khi khoảng cách ngắn, người ta có thể dùng công thức sau:

$$m_D = \pm (a + b.D) \quad (5.9)$$

Trong các công thức (5.8) và (5.9) a là thành phần sai số cố định, b là thành phần sai số tỉ lệ với chiều dài đo, tính theo đơn vị là mm; D là chiều dài đo tính theo đơn vị là km.

Bảng 5.6

Ký hiệu máy	Hãng, nước sản xuất	Đo khoảng cách có gương		Đo khoảng cách không gương		Độ chính xác đo góc
		K	a	K	a	

		hoảng cách	+b	hoảng cách	+b	
GPT- 7501	Topcon Nhật Bản	3 km	2 + 2	25 0 m	5 + 10	1''
TCR -802	Leica Thụy Sỹ	3 km	2 + 2	50 0 m	3 + 2	2''
TCS- 1201	Leica Thụy Sỹ	3 km	2 + 2	50 0 m	5 + 2	1''
TCS- 1202	Leica Thụy Sỹ	3 km	2 + 2	50 0 m	5 + 2	2''
SET 1010	Sokkia Nhật Bản	3. 5 km	2 + 2			1''
NTS- 302R	South Trung Quốc	3 km	2 + 2	20 0 m		2''
NTS- 662R	South Trung Quốc	4 km	2 + 2	20 0 m		2''

Hiện nay, công nghệ đo dài đã có bước phát triển mới. Người ta đã chế tạo ra loại máy tự động tìm điểm PS (Point Guider System); loại có ánh sáng laser dẫn đường EGL (Electronic Guider Light) và một số loại có các chức năng chuyên dùng khác.

5.1.4. Mạng lưới tọa độ quốc gia của Việt Nam

Mạng lưới tọa độ quốc gia của nước ta được xây dựng và hoàn thiện qua nhiều giai đoạn với kết cấu và độ chính xác bao gồm nhiều loại.

1. Mạng lưới tam giác đo góc hạng I, hạng II miền Bắc

Sau khi hòa bình được lập lại ở miền Bắc năm 1954, ngày 14 tháng 12 năm 1959 Thủ tướng Chính phủ đã kí nghị định thành lập **Cục đo đạc và Bản đồ nhà nước ???**.

Trên phạm vi miền Bắc từ năm 1959 đến năm 1966 Cục đo đạc và Bản đồ nhà nước đã xây dựng mạng lưới thiên văn – trắc địa ở dạng mạng lưới tam giác đo góc dày đặc hạng I, hạng II. Mạng lưới tam giác hạng I có 339 điểm, chiều dài cạnh trung bình 25 km, cạnh ngắn nhất 9 km, cạnh dài nhất 42 km, có 13 cạnh gốc bố trí cách nhau khoảng 130 km. Trong số 13 cạnh gốc có 6 cạnh đo theo lưới đường

đáy bằng thước dây invar, 7 cạnh đo trực tiếp bằng máy đo dài điện quang NASM-2A. Có 28 điểm thiên văn và 13 phương vị Laplace được bố trí ở đầu cạnh gốc (cạnh khởi đầu).

Mạng lưới tam giác đo góc hạng II có 1.696 điểm được bố trí theo hình thức chêm điểm vào mạng lưới hạng I. Chiều dài cạnh trung bình là 14 km, ngắn nhất 5 km, dài nhất 27 km. Mạng lưới tam giác đo góc hạng III, hạng IV cũng đã được xây dựng ở dạng chêm điểm giữa các điểm hạng cao hơn. Mạng lưới hạng I,II miền Bắc được chia thành 3 khu: khu Đông bắc, khu Tây bắc và khu bắc Trung bộ và được bình sai xong năm 1966. Trên cơ sở này, Việt nam đã công bố hệ tọa độ quốc gia mang tên Hà nội - 72 (HN-72).

2. Mạng lưới tọa độ ở miền Trung và miền Nam

Năm 1975 ngay sau khi đất nước thống nhất, Cục Đo đạc và Bản đồ nhà nước đã phát triển tiếp mạng lưới tọa độ nhà nước xuống phía Nam.

Từ năm 1977 đến năm 1983, tiến hành xây dựng mạng lưới tam giác đo góc hạng I khu vực Bình-Trị-Thiên. Mạng lưới có 25 điểm, được bố trí thành khóa tam giác nằm giữa 2 cạnh gốc với chiều dài cạnh tam giác từ 20km đến 25km, có đo cả tọa độ thiên văn và phương vị thiên văn tại 2 đầu cạnh gốc.

Từ năm 1983 đến 1992 đã xây dựng mạng lưới tam giác đo góc hạng II ở khu vực Đồng nai-Vũng tàu (Đông Nam Bộ). Mạng lưới gồm 351 điểm, chiều dài cạnh từ 10 đến 15 km, có 16 cạnh gốc được đo bằng máy AGA-600, 26 điểm thiên văn và 13 phương vị Laplace.

Ở khu vực Tây Nam Bộ, do điều kiện địa hình sông nước rất khó khăn cho việc xây dựng mạng lưới tam giác, nên Cục Đo đạc và Bản đồ đã xây dựng mạng lưới dạng đường chuyển đa giác hạng II. Các góc được đo bằng máy kinh vĩ quang học chính xác, các cạnh được đo bằng máy đo dài quang điện loại AGA- 600 và DI 20. Mạng lưới này bao gồm phần Tây Nam bộ với 124 điểm và phần Đông Nam bộ với 50 điểm. Toàn bộ mạng lưới có 8 phương vị thiên văn được bố trí cách nhau khoảng từ 10 đến 15 cạnh.

Từ năm 1991 đến 1993 Cục Đo đạc và Bản đồ nhà nước đã sử dụng công nghệ GPS cạnh ngắn để xây dựng mạng lưới tọa độ tương đương hạng II ở các khu vực còn trống hoặc thiếu như: Minh Hải (Đông Trường Sơn), Sông Bé, Tây Nguyên.

Mạng lưới Minh hải có 15 điểm, chiều dài cạnh trung bình 25 km, ngắn nhất 10km, dài nhất 40 km. Mạng lưới Sông Bé có 34 điểm, chiều dài cạnh trung bình 27 km, ngắn nhất 13 km, dài nhất 42 km. Mạng lưới Tây nguyên có 65 điểm, chiều dài cạnh trung bình 30 km, ngắn nhất 10km, dài nhất 45 km.

Mạng lưới tọa độ nhà nước hạng I, II của Việt Nam có sơ đồ như trên hình **5.10 . ở đâu ??????**

3. Mạng lưới Dopler vệ tinh

Từ những năm 70 của thế kỷ 20 với sự ra đời của hệ thống TRANSIT trên thế giới đã hình thành kỹ thuật Dopler vệ tinh để xây dựng lưới tọa độ.

Ở Việt Nam vào các năm 1987 - 1988 cũng đã áp dụng kỹ thuật này để đo nối các điểm tọa độ trên đất liền với nhau cũng như giữa đất liền và hải đảo. Mạng lưới Dopler vệ tinh của Việt Nam có 14 điểm trên đất liền và 4 điểm trên các đảo lớn.

Dựa vào mạng lưới Dopler vệ tinh, Cục Đo đạc và Bản đồ nhà nước đã tiến hành định vị lại ellipsoid Krasovski, bình sai lại lưới tọa độ hạng I, II nhà nước. hoàn thiện và thống nhất mạng lưới tọa độ nhà nước trong hệ Hà Nội- 72.

4. Hoàn thiện mạng lưới tọa độ nhà nước cấp “0”, hạng I, II, III và xây dựng hệ tọa độ VN-2000.

Hệ HN-72 còn có những nhược điểm như: ellipsoid Krasovski không được định vị tại Việt Nam, số liệu đo đạc chưa được xử lý chặt chẽ trên cơ sở tính đến ảnh hưởng của trường trọng lực, phép chiếu Gauss chưa thật thích hợp với lãnh thổ nằm ở gần xích đạo như nước ta. Chính vì vậy, việc xây dựng một hệ tọa độ quốc gia mới dựa trên các kết quả đo đạc và xử lý hoàn thiện là nhu cầu cấp thiết đối với Việt Nam. Với mục đích này Tổng cục Địa chính đã tiến hành các công việc như sau:

- Năm 1992 đã tiến hành đo nối từ lưới GPS gồm 9 điểm của lưới tam giác và lưới đường chuyền dọc bờ biển với 27 điểm trên các đảo lớn và các đảo trên quần đảo Trường Sa. Lưới này gọi là lưới Trắc địa biển.

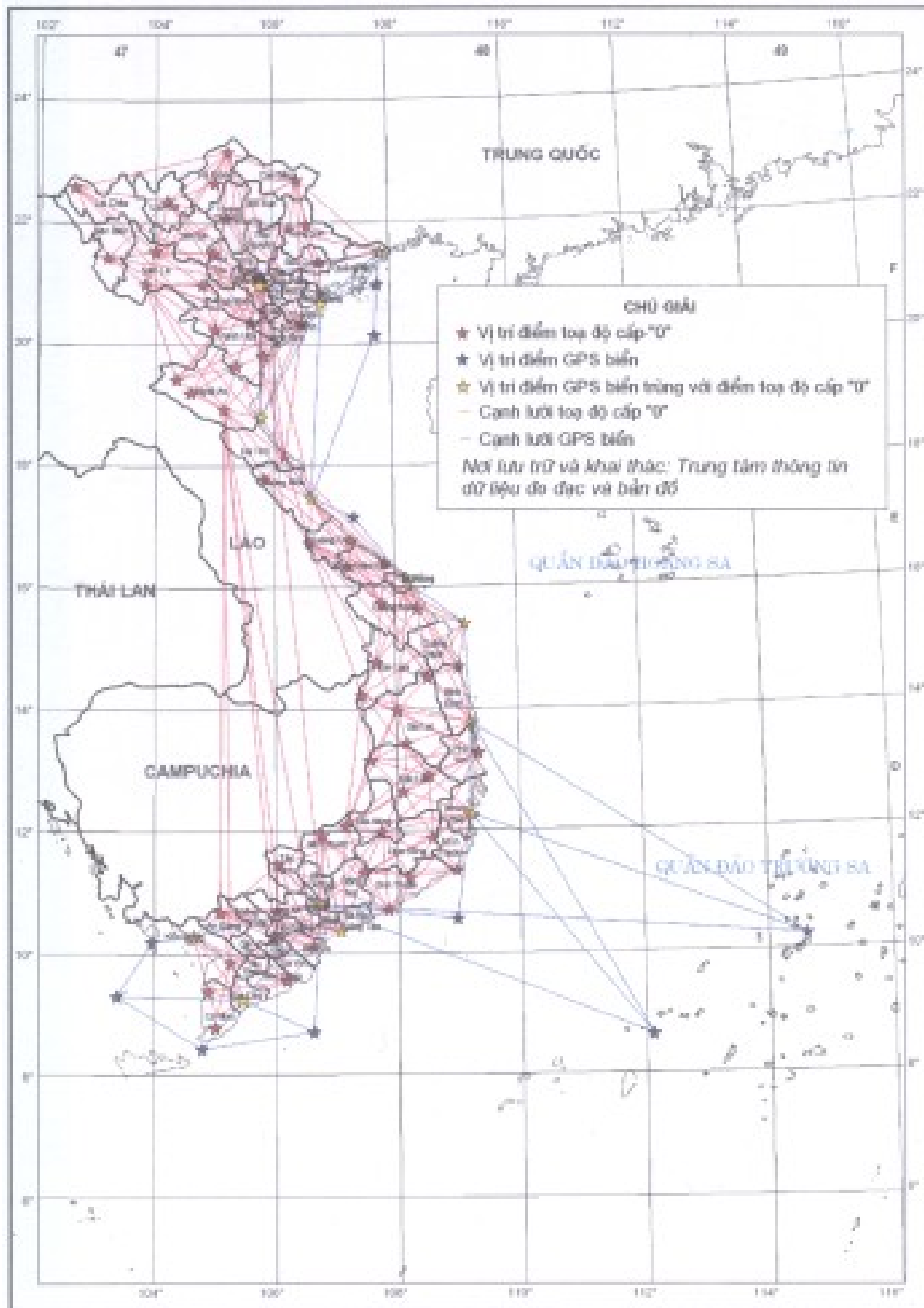
- Năm 1993 lại đo có lưới GPS cạnh dài trên đất liền gồm 10 điểm. Lưới này hòa nhập với lưới trắc địa biển tạo thành lưới GPS cạnh dài từ 160 km đến 1200km phủ trùm cả trên đất liền và trên biển.

- Năm 1995 xây dựng mạng lưới tọa độ cấp “0” bằng công nghệ GPS gồm 69 điểm phân bố đều và phủ trùm lãnh thổ cả nước. Trong số đó, có 13 điểm mới và 56 điểm trùng với các điểm tọa độ hạng I, hạng II cũ.

- Năm 1997 tiến hành đo GPS tuyệt đối ở 8 điểm cấp “0” phân bố đều trên toàn lãnh thổ để kiểm tra chất lượng lưới cấp “0” và là cơ sở để đo nối tọa độ của Việt Nam với quốc tế.

- Năm 1998 đo bổ xung 40 điểm cho mạng lưới cấp “0” và đo nối độ cao thủy chuẩn hạng I, hạng II cho tất cả các điểm của mạng lưới nhằm phục vụ cho việc định vị ellipsoid thực dụng và xây dựng mô hình geoid của Việt Nam.

- Xây dựng điểm gốc tọa độ quốc gia mới là điểm N_{00} trong khuôn viên của Viện khoa học đo đạc và bản đồ.



Hình 5.10. Sơ đồ mạng lưới GPS cấp "0" và mạng lưới trắc địa biển.

- Cuối năm 1998 Tổng cục Địa chính tiến hành hội thảo khoa học về xây dựng Hệ quy chiếu và Hệ tọa độ quốc gia và đã hoàn thành báo cáo khoa học vào cuối năm 1999 làm cơ sở cho việc quyết định lấy ellipsoid WGS-84 được định vị phù hợp với Việt Nam theo điểm gốc mới N_{00} và 25 điểm GPS phân bố đều trên lãnh thổ, sử dụng hệ tọa độ vuông góc phẳng UTM thay cho tọa độ Gauss-Kruger.

Từ năm 1994 đến năm 2003 để phục vụ cho công tác đo vẽ thành lập bản đồ địa chính, các tỉnh và các thành phố đã thành lập mạng lưới địa chính cơ sở bằng công nghệ GPS. Mạng Lưới có 12.631 điểm phủ 64 tỉnh thành phố, cạnh dài từ 3 đến 5 km. Các điểm được chọn mới theo yêu cầu chọn điểm GPS, nhưng cũng tận dụng các mốc của mạng lưới tọa độ hạng III, IV cũ, đặc biệt có sử dụng một số mốc độ cao quốc gia hạng III hoặc đo nối độ cao thủy chuẩn hạng III đến một số điểm để cùng với mô hình geoid EGM-96 xác định độ cao thủy chuẩn cho tất cả các điểm GPS khi bình sai mạng lưới địa chính cơ sở của một số tỉnh gần nhau. Mạng lưới này được Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam gọi là mạng lưới tọa độ hạng III thay thế toàn bộ mạng lưới tọa độ hạng III và hạng IV cũ.

5.2. Mạng lưới độ cao quốc gia

5.2.1. Nguyên tắc và sơ đồ xây dựng mạng lưới độ cao quốc gia

1. Vai trò của lưới độ cao quốc gia

Mạng lưới cao quốc gia hiện nay được xây dựng theo phương pháp đo thủy chuẩn chính xác, nên cũng có tài liệu gọi là mạng lưới thủy chuẩn nhà nước.

Mạng lưới độ cao quốc gia có vai trò sau:

- Cung cấp dữ liệu nghiên cứu chuyển động thẳng đứng của vỏ Trái đất.
- Xác định mối liên hệ giữa mực nước biển của các đại dương.
- Nghiên cứu độ cao của bề mặt Trái đất tự nhiên so với mặt geoid và mặt ellipsoid thực dụng.
- Cùng với số liệu đo trọng lực, nghiên cứu sự thay đổi của các mặt thủy chuẩn và trường trọng lực của Trái đất.
- Cung cấp độ cao gốc làm cơ sở để đo vẽ bản đồ địa hình và thi công các công trình kinh tế và quốc phòng.

Để thực hiện được vai trò nhiệm vụ nêu trên, người ta phải nghiên cứu lý thuyết xác định hệ thống độ cao, lựa chọn mặt thủy chuẩn gốc, điểm gốc độ cao quốc gia, nghiên cứu chế tạo máy móc, thiết bị, phương pháp đo, phương pháp xử lý toán học kết quả đo.

2. Sơ đồ xây dựng mạng lưới độ cao quốc gia

Sau khi lựa chọn được hệ độ cao như đã giới thiệu ở **mục 2.4 ở đâu???**, người ta sẽ xác định điểm gốc độ cao quốc gia. Điểm này gắn liền với việc xây

dựng trạm nghiệm triều, để tính ra mực nước biển trung bình và từ đó xác định độ cao của điểm gốc độ cao quốc gia.

Một nước có thể có nhiều trạm nghiệm triều, nhưng người ta chỉ chọn một trạm có điều kiện tốt nhất để xác định mực nước biển trung bình. Xung quanh điểm gốc độ cao người ta xây dựng lưới độ cao gốc để định kỳ đo kiểm tra độ ổn định của điểm gốc này.

Hiện nay, do việc nghiên cứu geoid đã có những thành tựu mới, nhiều nước đã đặt vấn đề xây dựng mặt khởi tính độ cao nhà nước thay cho việc xác định một điểm gốc độ cao.

Việc xác định chuẩn “0” độ cao cho mạng lưới độ cao quốc gia gọi là xác định chuẩn “0” lục địa để phân biệt với việc xác định chuẩn “0” độ sâu khi thành lập hải đồ và đo vẽ địa hình đáy biển .

Mạng lưới độ cao quốc gia cũng được bố trí theo nguyên tắc từ toàn diện đến cục bộ, từ độ chính xác cao đến độ chính xác thấp.

Đa số các quốc gia đều xây dựng mạng lưới độ cao quốc gia theo 4 cấp hạng.

Mạng lưới độ cao hạng I là mạng lưới độ cao xương sống trong cả nước, bố trí tạo thành các vòng khép kín, đôi khi có thể là các đường đơn treo bố trí đều khắp trên lãnh thổ cả nước. Các đường thủy chuẩn hạng I được đo bằng hai hàng mia theo cả chiều đi và chiều về.

Mạng lưới độ cao hạng II phát triển trên cơ sở mạng lưới hạng I. Các tuyến hạng II tự nó hoặc kết hợp với các điểm hạng I tạo thành các vòng khép kín dựa trên các điểm hạng I.

Mạng lưới độ cao quốc gia hạng I, hạng II có vai trò phục vụ cho mục đích nghiên cứu khoa học và làm cơ sở để tăng dày mạng lưới độ cao hạng III, hạng IV.

Tuyến thủy chuẩn hạng II được đo bằng một hàng mia theo cả hai chiều đi và về.

Mạng lưới độ cao hạng III được bố trí thành những đường đơn hoặc những vòng khép kín dựa vào các điểm độ cao hạng I, II. Tuyến độ cao hạng III được đo bằng một hàng mia theo cả chiều đi và chiều về.

Mạng lưới độ cao hạng IV được tăng dày trên cơ sở các mạng lưới cấp cao hơn để phục vụ trực tiếp cho đo vẽ bản đồ địa hình và đo đạc công trình. Mật độ

điểm độ cao hạng IV phụ thuộc vào phương pháp đo vẽ, tỷ lệ đo vẽ và khoảng cao đều cơ bản của bản đồ cần đo vẽ.

Các mạng lưới độ cao phục vụ các công trình đặc biệt được xây dựng theo phương án riêng, nhưng phải đo nối với mạng lưới độ cao nhà nước.

Thông thường cứ khoảng 25 năm các nước lại đo lập mạng lưới thủy chuẩn hạng I, II nhà nước để hiện đại hóa lưới cũ và lấy số liệu phục vụ nghiên cứu khoa học.

Các điểm độ cao nhà nước được đánh dấu bằng các mốc độ cao. Mốc độ cao có thân mốc được đúc bằng bê tông hoặc vật liệu thay thế tương đương và đánh dấu bằng dấu mốc. Dấu mốc làm bằng sứ hoặc kim loại, có dạng chỏm cầu để dựng mia lên đỉnh chỏm cầu và là điểm tính độ cao của mốc.

Mốc thủy chuẩn chia ra hai loại: mốc cơ bản và mốc thường. Mốc cơ bản là loại mốc quan trọng, chôn cách nhau 50 ÷ 60 km trên các tuyến g thủy chuẩn hạng I, II, tại các điểm nút hoặc gần các trạm nghiệm triều và các trạm thủy văn.

Mốc thường được chôn trên tất cả các tuyến thủy chuẩn, cách nhau 3 - 5 km ở đồng bằng và 4 - 6 km ở miền núi.

Các mốc độ cao được đánh số riêng theo cấp hạng và theo tuyến đo.



Hình 5.11. Sơ đồ lưới độ cao quốc gia hạng I và hạng II của Việt Nam

5.2.2. Máy móc thiết bị và nguyên tắc đo

1. Nguyên tắc đo

Đo thủy chuẩn là đo chênh cao giữa hai mặt thủy chuẩn đi qua hai điểm dựng mia bằng tia ngắm nằm ngang của máy thủy chuẩn được đặt ở giữa hai mia. Muốn

xác định chênh cao giữa mốc độ cao ở điểm A so với mốc ở điểm B trên mặt đất (hình 5.12), người ta bố trí nhiều trạm đo liên tiếp, xác định chênh cao tại trạm thứ i là Δh_i theo công thức:

$$\Delta h_i = a_i - b_i, \quad (5.10)$$

trong đó: a_i – số đọc của tia ngắm nằm ngang trên mia sau

b_i – số đọc của tia ngắm nằm ngang trên mia trước

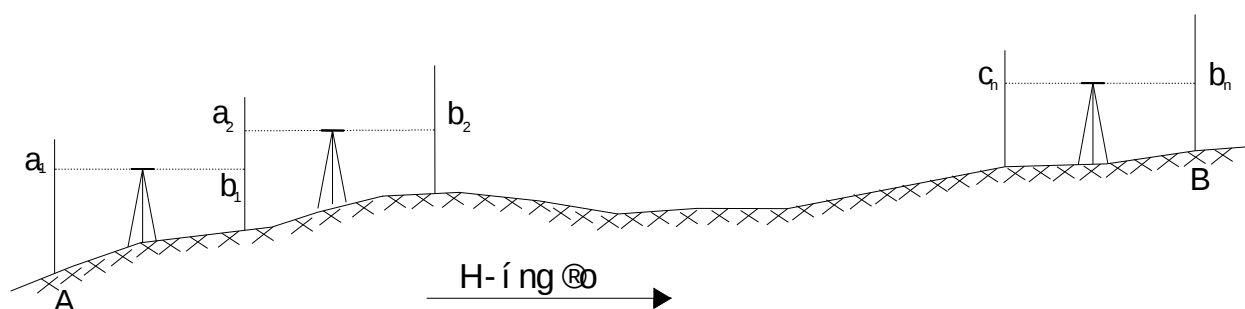
Chênh cao của B so với A gồm n trạm đo sẽ là:

$$\Delta h_{AB} = \sum_{i=1}^n (a_i - b_i) \quad (5.11)$$

Nếu biết được độ cao của mốc A so với điểm gốc độ cao là H_A , ta tính được độ cao của điểm B là: $H_B = H_A + \Delta h_{AB}$ (5.12)

2. Máy thủy chuẩn chính xác

Máy thủy chuẩn là loại máy trắc địa tạo ra tia ngắm nằm ngang giúp ta đo chênh cao.



Hình 5.12

Máy thủy chuẩn được phân loại thành *máy thủy chuẩn chính xác* để đo chênh cao hạng I, hạng II và *máy thủy chuẩn kỹ thuật* để đo chênh cao hạng thấp hơn. Các máy có cấu tạo về cơ bản giống nhau; Máy chính xác có thiết bị tạo ra tia ngắm nằm ngang chính xác hơn và phối hợp với mia cho phép đọc được số trên mia chính xác hơn.

Theo cấu tạo và nguyên tắc tạo ra tia ngắm nằm ngang, có thể chia máy thủy chuẩn thành 4 loại:

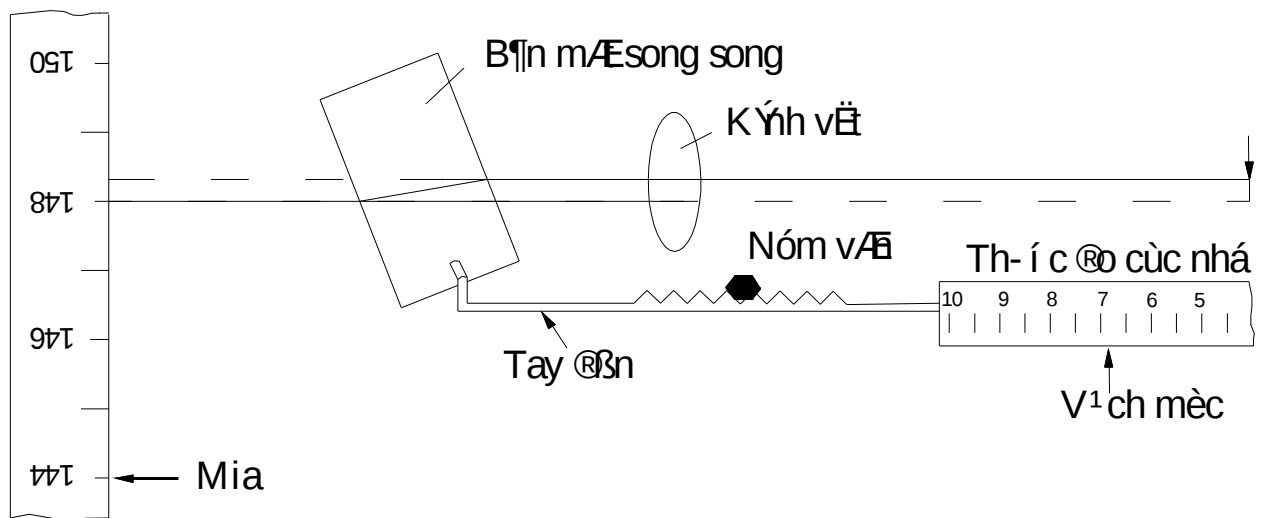
- Máy quang cơ có ống thủy dài.
- Máy quang cơ tự động cân bằng.
- Máy thủy chuẩn điện tử.

- Máy thủy chuẩn laser.

a. Máy thủy chuẩn quang cơ có ống thủy dài

Máy thủy chuẩn có ống thủy dài là loại máy có ống thủy hình trụ chính xác. Khi lắp ráp, người ta bảo đảm yêu cầu: trục quang học của ống kính song song với trục ống thủy, để khi bọt thủy cân bằng thì cũng là lúc ống kính nằm ngang.

Các máy thủy chuẩn chính xác có ống thủy dài và tự cân bằng đều dùng bản mặt song song đặt trước kính vật với bộ đo cực nhỏ có núm xoay làm dịch chuyển ảnh của chỉ giữa của ống kính về vạch chuẩn (vạch *cm*) trên mia; Khoảng dịch chuyển chính là phần lẻ của số đọc theo tia ngắm trên mia. Phần lẻ này sẽ được đọc nhờ bộ đo cực nhỏ như mô tả trên hình 5.13.



Hình 5.13

Đặc điểm kỹ thuật của 3 loại máy có ống thủy dài được thống kê trong bảng dưới đây:

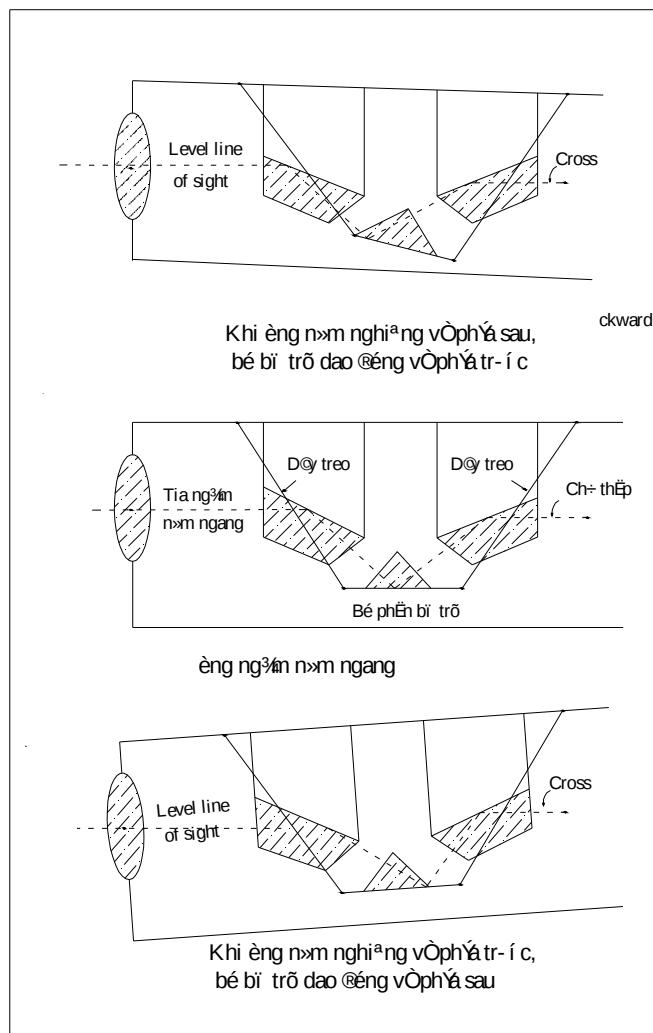
Bảng

5.7

Đặc điểm kỹ thuật	Máy	Ni 004	N 3	PL 1
Sai số đo đi – đo về trên 1 km thủy chuẩn (mm)		0.4	0.2	0.2
Độ phóng đại (x)		42	42	42
Đường kính kính vật (mm)		56	52	
Khoảng cách ngắm gần nhất (m)		3.0	2.0	1.8
Giá trị vạch khắc của ống thủy dài ("/2mm)		10	10	

b. Máy thủy chuẩn tự cân bằng

Máy thủy chuẩn quang cơ với ống kính dài cho phép đưa tia ngắm về vị trí nằm ngang đạt độ chính xác cao, nhưng đòi hỏi thao tác lâu, kéo dài thời gian đo tại trạm đo và do vậy làm tăng ảnh hưởng bất lợi của các yếu tố ngoại cảnh đến độ chính xác của kết quả đo. Để khắc phục nhược điểm này, người ta chế tạo ra máy thủy chuẩn tự cân bằng (automatic level). Với loại máy này, sau khi cân máy bằng ống thủy sơ bộ, nếu tia ngắm còn bị nghiêng trong phạm vi nhỏ hơn 12" thì bộ phận bù trừ trong máy sẽ làm cho số đọc của chỉ giữa trên mia bằng đúng như khi tia ngắm nằm ngang với sai số nhỏ hơn 0,5. Một trong các nguyên lý bù trừ là dùng con lắc gương như mô tả trên hình 5.14.



Hình 5.14

Cùng độ chính xác với các loại máy trên, hãng PENTAX của Nhật Bản sản xuất máy thủy chuẩn tự điều quang AFL – 320 (Auto Focus Level).

Bảng 5-8

Máy	NA/NA	BI/BI	ATG1/	NL 32
Đặc điểm kỹ thuật	K2	C	G2	South
	Leica	Sokkia	Topcon	

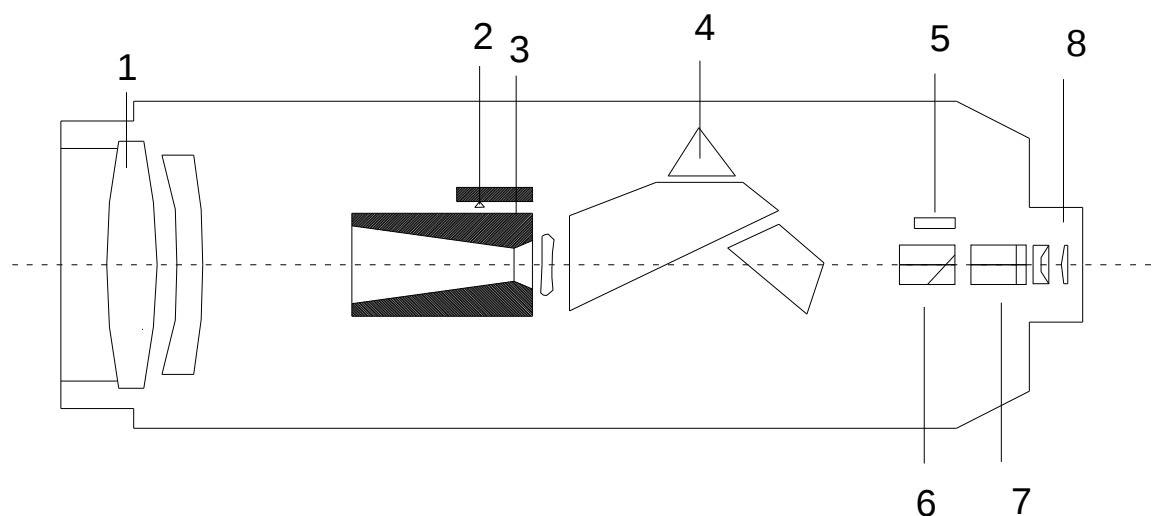
Sai số đo đi – đo về trên 1 km thủy chuẩn (mm)	0.7	0.5	0.4	1.0
Độ phóng đại (x)	32	32	32	32
Đường kính kính vật (mm)	45	36	45	38
Độ chính xác của tia ngắm bù trừ (")	0.3	0.3	0.3	0.6

c. Máy thủy chuẩn điện tử

Năm 1989 hãng Leica của Thụy Sĩ cho ra đời chiếc máy thủy chuẩn điện tử đầu tiên trên thế giới. Nguyên tắc hoạt động của máy thủy chuẩn điện tử có thể giải thích qua hình 5.12.

Trong hình 5.12 ta có:

- 1 – Kính vật
- 2 – Núm điều quang
- 3 – Kính điều quang
- 4 – Bộ phận bù trừ tia ngắm nghiêng
- 5 – Bộ phận đo
- 6 – Bộ phận phân chia ánh sáng
- 7 – Hệ chỉ
- 8 – Kính mắt



Hình 5.15. Máy thủy chuẩn điện tử

Máy thủy chuẩn điện tử cũng có bộ phận bù trừ tia ngắm nghiêng 4 như máy tự cân bằng, nhưng khác máy tự cân bằng ở chỗ có thêm bộ phận đo 5 và bộ phận chia ánh sáng 6. Khi đo, sau khi bắt mục tiêu là mia mã vạch, ảnh của mia qua các bộ phận 1, 3, 4 đến bộ phận 6. Tại bộ phận 6, phần ánh sáng thường giữ nguyên qua hệ chỉ 7 đến kính mắt 8, phần ánh sáng hồng ngoại đưa ảnh mia cùng hệ chỉ chuyển đến bộ phận đo 5; Tại đây ảnh của mia mã vạch được chuyển thành ảnh số để so sánh với ảnh số của mia lưu giữ trong máy, từ đó đổi ra số đọc của tia ngắm trên mia. Đặc tính kỹ thuật của một số máy thủy chuẩn điện tử được thống kê trong bảng 5.9

Bảng 5- 9

Máy	NA 3003 Leica	DI 101 Topcon	SDL - 30 Sokkia	DINI 12 Trimble
Sai số đo đi – đo về trên 1 km thủy chuẩn (mm)	0.4	0.4	0.6	0.3
Độ phóng đại (x)	28	32	32	32
Đường kính kính vật (mm)	36	45	45	40
Sai số bù trừ tia ngắm nghiêng (")	0.4	0.3	0.3	0.2

d. Máy thủy chuẩn laser

Với ba loại máy thủy chuẩn giới thiệu ở trên, khi đo ở cấp hạng càng cao, khoảng ngắm từ máy đến mia càng phải rút ngắn. Với việc đo cao thủy chuẩn **hạng I, II khoảng ngắm dài nhất không quá 70 m. ????????** Kỹ thuật laser đã được áp dụng vào máy toàn đạc điện tử. Hiện nay, v.v người ta tạo ra tia laser hạng 1, hạng 2, v.v ... và cũng đã sử dụng vào máy thủy chuẩn để kéo dài khoảng ngắm đến 1.000 m và quét thành một mặt phẳng nằm ngang vuông góc với trục đứng của máy.

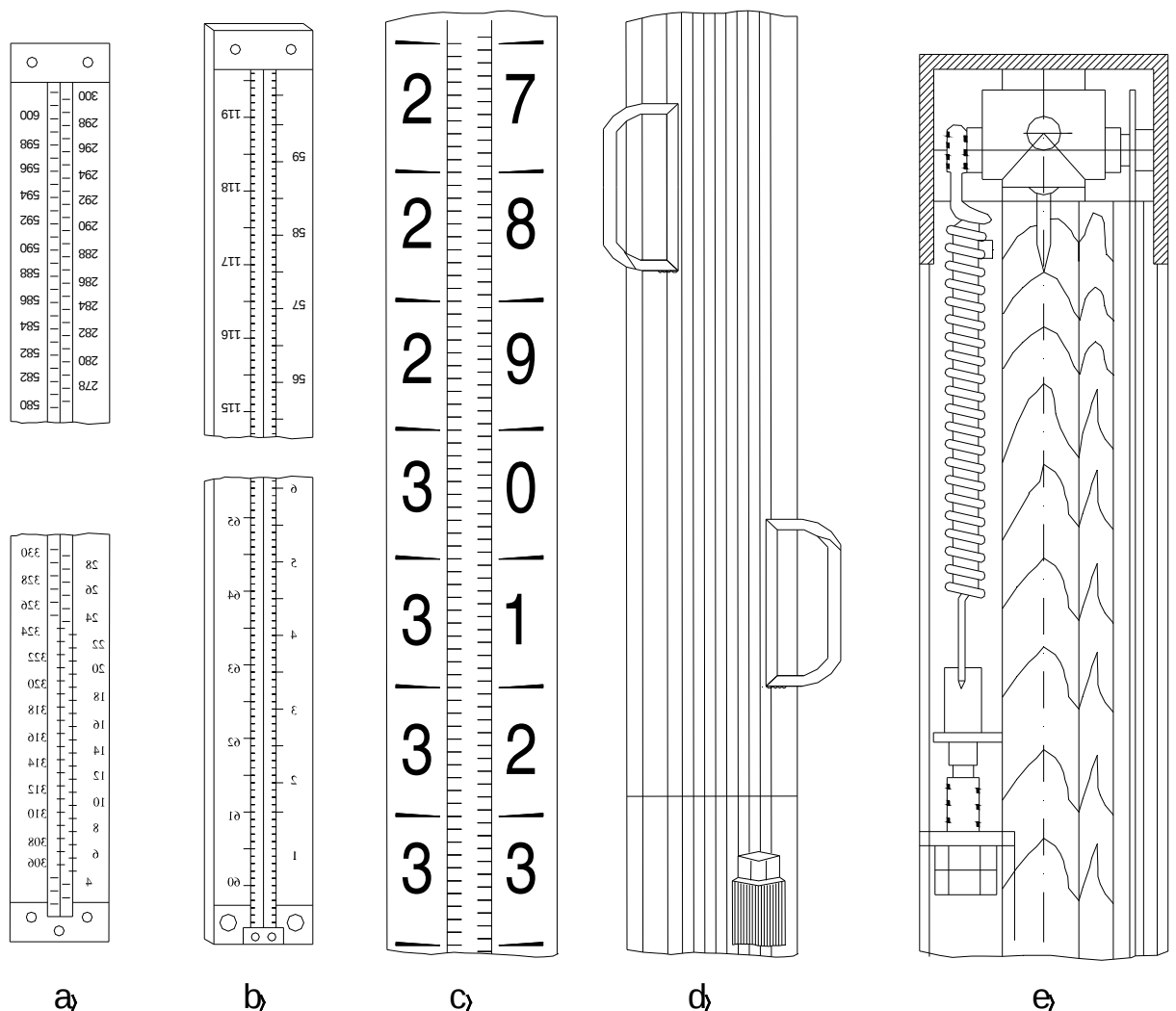
Lúc đầu người ta đưa tia laser màu đỏ vào máy Ni 007 của Đức. Gần đây người ta đưa tia laser màu xanh vào máy thủy chuẩn điện tử và nhờ vậy đã tăng khoảng cách đo gấp 2 lần so với laser đỏ.

Một máy thủy chuẩn laser có cấu tạo như một máy thủy chuẩn điện tử, có tia laser trùng với trục quang học của ống kính. Loại máy này còn có khả năng tự điều quang, tự bắt mục tiêu và chụp ảnh số.

Máy thủy chuẩn laser được sử dụng nhiều trong tác trắc địa công trình như: xây dựng sân bay, quảng trường, v.v..... với sai số xác định mặt phẳng nằm ngang cỡ 1 - 1,5mm/km.

3. Mía thủy chuẩn và các phụ kiện khác

Mía dùng trong đo thủy chuẩn hạng I, hạng II là mía khắc vạch trên băng invar hoặc mía làm bằng sợi thủy tinh.



Hình 5.16. Mía thủy chuẩn

Mía dùng cho máy quang cơ có ống kính dài và máy tự cân bằng là mía invar. Mía có thân bằng gỗ, chiều dài được đánh số trên thân gỗ, băng invar chỉ khắc vạch cách nhau 1cm hoặc 0,5 cm; Phần lớn mía có hai thang số là thang chính và thang phụ; Thang chính khắc vạch từ 0 đến 3m, thang phụ có hàng số so với thang chính

(hình 5.16). Mia dùng cho máy Ni 004 của Đức chỉ có một thang số, khắc vạch cách nhau 0,5 cm theo hàng chẵn và hàng lẻ.

Mia dùng cho máy thủy chuẩn điện tử và máy thủy chuẩn laser là mia mã vạch. Mia làm bằng sợi thủy tinh, dài từ 1m đến 4m, có hệ số nở nhiệt cỡ **10x10⁻⁶.??????** Mặt trước mia là mã vạch để đo chính xác, mặt sau khắc vạch cách nhau 1 cm như mia thông thường dùng để đo thủy chuẩn cấp thấp.

Một dụng cụ không thể thiếu được khi đo thủy chuẩn là *cóc mia* và *cọc mia* . Cóc mia dùng để dựng mia lên khi đo trên nền đường có **cát mềm hoặc cứng????**, còn cọc mia dài cỡ 30 cm được đóng xuống nền đường đất yếu để dựng mia.

Khi đo bằng máy điện tử, chương trình ghi và xử lý số liệu đã cài trong máy, nên cần nhập hạn sai, chọn chế độ đo, thao tác đúng như chế độ đo lựa chọn, mọi kết quả đo được máy ghi và xử lý rồi thông báo lên màn hình.

5.2.3. Mạng lưới độ cao quốc gia của Việt Nam

Quy phạm xây dựng độ cao quốc gia hạng I, hạng II, hạng III và hạng IV của Việt Nam xác định hệ độ cao quốc gia của Việt Nam được tính theo hệ độ cao chuẩn. Mạng lưới độ cao xây dựng theo 4 cấp hạng; Hạng I, hạng II là cơ sở để phát triển và khống chế cho hạng III, hạng IV và phục vụ cho mục đích nghiên cứu khoa học; Mạng lưới độ cao hạng III, hạng IV trực tiếp phục vụ cho công tác đo vẽ bản đồ địa hình mọi tỷ lệ và khảo sát các công trình.

Điểm gốc độ cao quốc gia lấy mực nước biển trung bình tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu (Đồ Sơn – Hải Phòng) làm mực chuẩn “0”.

Dọc bờ biển Việt Nam, từ Bắc đến Nam có 14 trạm nghiệm triều, nhưng trạm Hòn Dấu được lựa chọn làm trạm chuẩn “0”, vì nó có điều kiện địa hình, địa chất tốt nhất, được xây dựng từ năm 1929 và do vậy có chuỗi số liệu quan trắc dài ngày nhất, liên tục từ 1930 tới nay.

Các quy định kỹ thuật chủ yếu liên quan đến lưới độ cao quốc gia của Việt Nam được thống kê trong bảng 5.10. Trong bảng này, L là chiều dài tuyến thủy chuẩn có đơn vị là km, các hạn sai để trong dấu ngoặc đơn áp dụng trong trường hợp đo thủy chuẩn ở miền núi hoặc vùng đi lại khó khăn có số trạm máy trên 1km thủy chuẩn lớn hơn 15.

Mạng lưới độ cao quốc gia của Việt Nam cũng được xây dựng qua nhiều giai đoạn.

Mạng lưới hạng I, hạng II ở miền Bắc được xây dựng từ năm 1959 đến 1964. Mạng lưới hạng I lúc đầu gồm 4 tuyến là: Hà Nội – Hải Phòng, Hà Nội – Đồng Đăng, Hà Nội – Lào Cai và Hà Nội – Vinh, tổng chiều dài là 1.175km, được đo bằng máy Ni004 và mia invar.

Mạng lưới hạng II gồm 12 tuyến với tổng chiều dài 2.420 km. Các tuyến độ cao hạng II tạo thành các vòng khép tựa vào điểm độ cao hạng I, được đo bằng máy Ni 004, Wild N3 và mia invar.

Từ năm 1962 đến năm 1974 ở miền Bắc đã xây dựng mạng lưới độ cao hạng III với tổng chiều dài 2.792km và mạng lưới độ cao hạng IV với tổng chiều dài 7.524 km.

Bảng 5-10

Cấp hạng	I	II	III	IV
Các hạn sai				
Hiệu số đọc thang chính- thang phụ (mm)	±0.3	±0.5	±1.0	±3.0
Hiệu chênh cao thang chính – thang phụ (mm)	±0.5	±0.7	±1.5	±5.0
Hiệu chênh cao hàng trái – hàng phải (mm)	$\pm 2\sqrt{L}(3)$			
Hiệu chênh cao đo đi – đo về (mm)	$\pm 2\sqrt{L}(3)$	$\pm 4\sqrt{L}(5)$	$\pm 10\sqrt{L}(12)$	$\pm 20\sqrt{L}(20)$
Chiều dài khoảng ngắm phải nhỏ hơn (m)	50	50	60	100
Số chênh khoảng ngắm phải nhỏ hơn (m)	±0.5	±1.0	±2.0	±5.0
Tổng số chênh khoảng ngắm trên tuyến phải nhỏ hơn (m)	1	2	5	10
Chiều cao thấp nhất của tia ngắm phải lớn hơn (m)	0.8	0.5	0.3	0.2
Sai số khép về hạng cao (mm)			$\pm 10\sqrt{L}(1)$	$\pm 20\sqrt{L}(2)$

Sai số trung phương ngẫu nhiên η của chênh cao đo đi – đo về trên 1km (mm)	± 0.5	± 1.0		
Sai số trung phương hệ thống σ của chênh cao đo đi – đo về trên 1km (mm)	± 0.05	± 0.15		

Ở miền Nam, trước ngày Việt Nam thống nhất cũng có lưới độ cao hạng I, II. Độ cao tính theo Hệ độ cao Mũi Nai – Hà Tiên; Hệ này có giá trị chênh khác so với Hệ độ cao Hòn Dấu là +0.167m.

Từ năm 1976 đến năm 1987 Việt Nam đã tiến hành dẫn độ cao từ Vĩnh Linh vào Hà Tiên.

Từ năm 1981 đến năm 1991 đã hoàn thành việc xây dựng mạng lưới độ cao hạng I, hạng II ở miền Nam và đo lập các tuyến độ cao hạng I, II miền Bắc. Hiện nay mạng lưới độ cao nhà nước hạng I có 11 tuyến với tổng chiều dài 5.096 km, mạng lưới độ cao hạng II có 43 tuyến với tổng chiều dài 4.515km .

5.3. Đo thiên văn

Thiên văn là khoa học nghiên cứu vũ trụ. Vũ trụ là không gian vô tận trong đó có số lượng rất lớn các thiên thể. Thiên thể là vật thể vũ trụ có sự tồn tại và chuyển động theo quy luật. Các thiên thể được phân loại bao gồm : các sao, các hành tinh, các vệ tinh và các sao chổi. Thiên thể có khả năng tự phát sáng được gọi là sao. Thiên thể chuyển động xung quanh sao được gọi là hành tinh. Thiên thể chuyển động xung quanh hành tinh được gọi là vệ tinh. Còn sao chổi là thiên thể có quỹ đạo chuyển động rất phức tạp. Như vậy Mặt trời là một sao, Trái đất là một hành tinh trong các hành tinh của Hệ Mặt trời, Mặt trăng là vệ tinh của Trái đất. Các nhà thiên văn đã phát hiện nhiều sao chổi. Hiện nay Trái đất có rất nhiều vệ tinh nhân tạo được sử dụng vào nhiều mục đích khác nhau.

Thiên văn có nhiều ngành. Đo thiên văn (định vị thiên văn) là một ngành thiên văn ứng dụng. Đo thiên văn là quan sát các thiên thể để xác định tọa độ địa lý của điểm quan sát và góc phương vị thiên văn của mục tiêu.

Từ cuối thế kỷ 19 cho đến những năm 70 của thế kỷ 20, trước khi có công nghệ định vị vệ tinh (công nghệ GNSS), lưới thiên văn - trắc địa được hầu hết các quốc gia trên thế giới, trong đó có cả Việt Nam, xây dựng để thành lập mạng lưới tọa độ quốc gia. Trong công tác xây dựng lưới thiên văn- trắc địa, đo thiên văn có vai trò xác định tọa độ địa lý, góc phương vị thiên văn tại điểm gốc tọa độ quốc gia (φ_0, λ_0 và a_0), các điểm Laplace và các điểm thiên văn khác. Đây là những số liệu gốc cơ bản phục vụ cho định vị elipsoid thực dụng của Hệ quy chiếu quốc gia. Trong việc xây dựng lưới độ cao quốc gia, đo thiên văn có vai trò xác định độ vĩ địa lý tại các điểm mốc độ cao có đo trọng lực để xử lý kết quả đo cao chính xác của lưới độ cao hạng I,II trong Hệ độ cao chuẩn.

Để hiểu rõ công tác đo thiên văn, cần nghiên cứu các vấn đề cơ bản về không gian, thời gian cùng các nguyên lý chung của việc quan sát thiên thể..

5.3.1 Thiên cầu và tọa độ thiên thể

1.Thiên cầu

a.Định nghĩa và phân loại thiên cầu

Thiên cầu là một mặt cầu có bán kính tùy ý, có tâm được đặt tại một điểm chọn trước. Nó được dùng để biểu diễn vị trí thiên thể trong bài toán cần giải quyết của thiên văn. Thường gặp ba loại thiên cầu sau đây :

-Thiên cầu địa diện được dùng phổ biến nhất. Tâm của thiên cầu địa diện được đặt tại điểm quan sát trên mặt đất.

-Thiên cầu địa tâm được dùng trong những nghiên cứu có liên hệ với trọng tâm của Trái đất. Tâm của thiên cầu địa tâm được đặt tại ngay trọng tâm của Trái đất.

-Thiên cầu nhật tâm được dùng trong những nghiên cứu có liên hệ với tâm của Mặt trời. Tâm của thiên cầu nhật tâm được đặt tại ngay tâm của Mặt trời.

b. Các yếu tố cơ bản của thiên cầu địa diện

Khi sử dụng thiên cầu, cần nắm được các yếu tố cơ bản của nó. Do thiên cầu địa diện thường xuyên được sử dụng, nên ta sẽ đề cập đến các yếu tố cơ bản của

thiên cầu này.

Tâm thiên cầu địa diện là điểm xét trên mặt đất. Đây là điểm quan sát thiên văn hay điểm định vị thiên văn. Phương chuẩn cho việc tiến hành quan sát thiên văn là đường dây dọi tại điểm quan sát. Mỗi điểm này liên tục tham gia chuyển động ngày đêm và chuyển động hàng năm của Trái đất. Cho nên, có thể phân chia các yếu tố cơ bản của thiên cầu địa diện theo mối liên hệ của chúng với đường dây dọi của điểm quan sát, với chuyển động ngày đêm và với chuyển động hàng năm của Trái đất.

- Các yếu tố cơ bản của thiên cầu địa diện có liên quan với đường dây dọi của điểm quan sát

Trên hình 5.17 biểu diễn thiên cầu địa diện có tâm là O. Đường ZZ_1 trùng với đường dây dọi của điểm quan sát. Liên quan với nó, có các yếu tố cơ bản như sau :

+ *Thiên đỉnh* của thiên cầu là điểm Z;

+ *Thiên đế* của thiên cầu là điểm Z_1 .

+ *Mặt phẳng chân trời* của thiên cầu là mặt phẳng qua tâm O, vuông góc với ZZ_1 .

+ *Vòng chân trời* của thiên cầu là vòng tròn NS, đó chính là giao tuyến của mặt phẳng chân trời với thiên cầu .

+ *Mặt phẳng thẳng đứng* của thiên cầu là mặt phẳng chứa ZZ_1 .

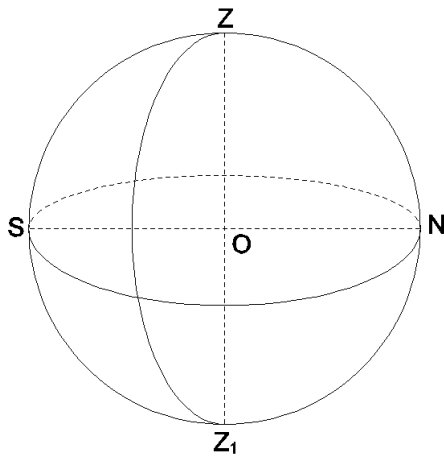
+ *Vòng thẳng đứng* ZZ_1 là giao tuyến của mặt phẳng thẳng đứng với thiên cầu.

Mặt phẳng chân trời phân chia thiên cầu thành hai phần cơ bản là:

+ *Phần nhìn thấy* của thiên cầu, là phần từ mặt phẳng chân trời tới thiên đỉnh Z

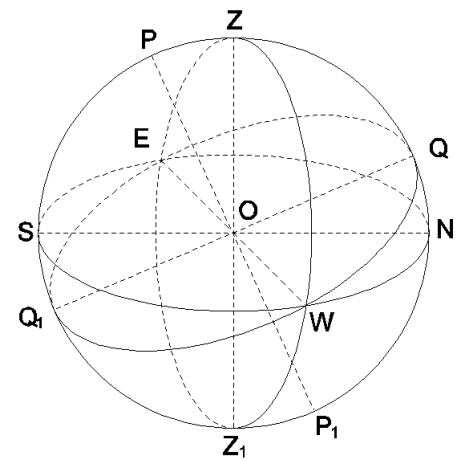
+ *Phần không nhìn thấy* của thiên cầu, là phần từ mặt phẳng chân trời tới thiên đế Z_1 .

Điểm mọc, điểm lặn của thiên thể được xác định dựa trên vòng chân trời của thiên cầu.



Hình 5.17

Các yếu tố của thiên cầu liên hệ
đường dây dọi của điểm quan sát



Hình 5.18

Các yếu tố của thiên cầu liên hệ
chuyển động ngày đêm của Trái đất

- Các yếu tố cơ bản của thiên cầu địa diện có liên quan với chuyển động ngày đêm của Trái đất.

Trên hình 5.18 biểu diễn thiên cầu địa diện có tâm là O, có thiên đỉnh Z, thiên đế Z₁. Đường PP₁ được xác lập trên thiên cầu theo hướng song song với trục quay của Trái đất. Nó cho phép xác định các yếu tố cơ bản của thiên cầu địa diện có liên quan với chuyển động ngày đêm của Trái đất như sau:

- + Trục thiên cầu PP₁;
- + Cực bắc thiên cầu P;
- + Cực nam thiên cầu P₁;
- + Mặt phẳng xích đạo của thiên cầu là mặt phẳng qua tâm O và vuông góc với trục thiên cầu.
- + Vòng xích đạo QWQ₁E của thiên cầu là giao tuyến của mặt phẳng xích đạo với thiên cầu.
- + Mặt phẳng kinh tuyến của thiên cầu là mặt phẳng chứa ZZ₁ và PP₁.
- + Vòng kinh tuyến PZP₁Z₁ là giao tuyến của mặt phẳng kinh tuyến với thiên cầu.

+ Mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất của thiên cầu là một mặt phẳng thẳng đứng vuông góc với mặt phẳng kinh tuyến.

+ Vòng thẳng đứng thứ nhất ZWZ_1E là giao tuyến của mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất với thiên cầu.

Hai phần cơ bản của thiên cầu được phân chia bởi mặt phẳng xích đạo là:

- + Phần bắc thiên cầu, là phần từ mặt phẳng xích đạo tới cực bắc P;
- + Phần nam thiên cầu, là phần còn lại.

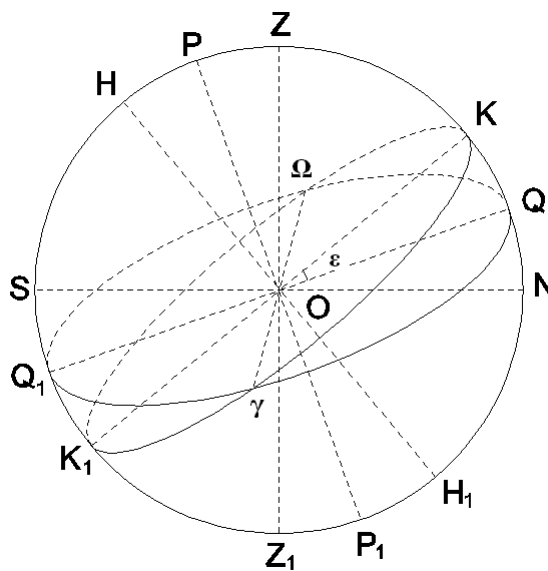
Bốn điểm cơ bản nằm trên vòng chân trời của thiên cầu là :

- + Điểm đông thiên cầu là E;
- + Điểm tây thiên cầu là W;
- + Điểm nam thiên cầu là S ;
- + Điểm bắc thiên cầu là N.

Bốn điểm cơ bản nằm trên vòng xích đạo của thiên cầu là :

- + Điểm xích đạo trên là Q;
- + Điểm xích đạo dưới là Q_1 ;
- + Điểm tây thiên cầu W;
- + Điểm Đông thiên cầu E.

- Các yếu tố cơ bản của thiên cầu có liên hệ với chuyển động hàng năm của Trái đất được biểu diễn trên hình 5.19.



Hình 5.19

Các yếu tố của thiên cầu liên quan với chuyển động hàng năm của Trái đất

Đường KK_1 là vòng chuyển động hàng năm của Trái đất, nghiêng so với QQ_1 một góc $\varepsilon = 23^\circ 27'$. Đường HH_1 đi qua tâm O, vuông góc với KK_1 .

Các yếu tố cơ bản liên quan với chuyển động hàng năm của Trái đất được xác định như sau:

- + Mặt phẳng hoàng đạo của thiên cầu là mặt phẳng đi qua KK_1 , vuông góc với HH_1 ;
- + Vòng hoàng đạo là giao tuyến của mặt phẳng hoàng đạo với thiên cầu;
- + Trục hoàng đạo là HH_1 ;
- + Cực bắc hoàng đạo H và cực nam hoàng đạo H_1 .

Hai giao điểm của vòng hoàng đạo và vòng xích đạo trên thiên cầu là điểm Xuân phân γ và điểm Thu phân Ω . Còn hai điểm nữa trên vòng hoàng đạo cũng thường được sử dụng là điểm Hạ chí K và điểm Đông chí K_1 nằm trên kinh tuyến của thiên cầu. Hàng năm dương lịch, lần lượt vào các ngày Xuân phân (21 tháng Ba), ngày Hạ chí (22 tháng Sáu), ngày Thu phân (23 tháng Chín) và ngày Đông chí (22 tháng Chạp), vị trí của mặt trời nhìn thấy trên thiên cầu cũng tuần tự ở tại điểm Xuân phân, điểm Hạ chí, điểm Thu phân và điểm Đông chí. Cho nên vòng hoàng đạo là đường chuyển động nhìn thấy hàng năm của Mặt trời trên thiên cầu.

2. Tọa độ thiên thể

a. Các hệ tọa độ cầu trên thiên cầu được dùng biểu diễn và xác định vị trí thiên thể

- Hệ tọa độ chân trời

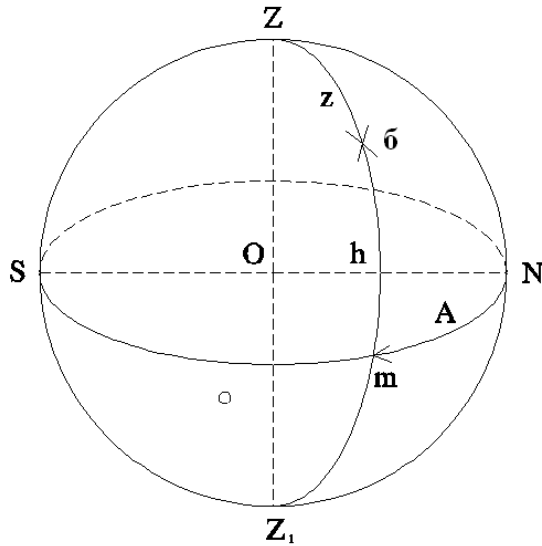
Trên hình 3.20, vị trí của thiên thể σ trên thiên cầu được xác định bởi hai thành phần tọa độ chân trời:

+ Thành phần thứ nhất : Độ cao của thiên thể được ký hiệu là h và xác định bằng cung $m\sigma$; Khoảng thiên đỉnh của thiên thể được ký hiệu là Z và xác định bằng cung $Z\sigma$. Hai đại lượng này liên hệ với nhau thông qua biểu thức:

$$h = (90^\circ - z)$$

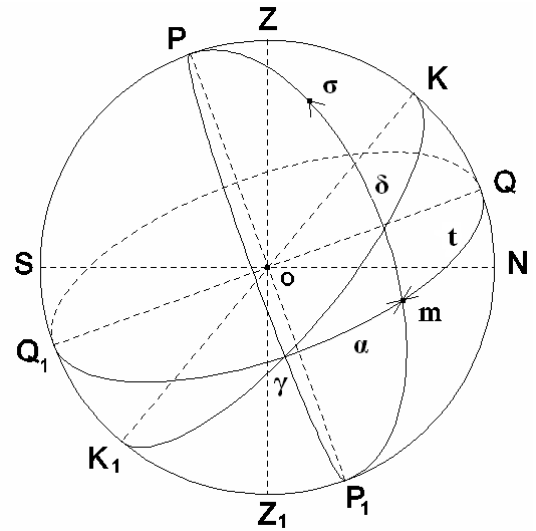
+ Thành phần thứ hai : Góc phương vị thiên văn A của thiên thể được xác định là góc nhị diện giữa mặt phẳng kinh tuyến và mặt phẳng thẳng đứng của thiên thể (ZZ_1, σ) .

Trong hệ tọa độ chân trời , tọa độ thiên thể σ được viết là $\sigma(h,A)$ hoặc $\sigma(z,A)$.



Hình 3. ????????

Hình 5.20



Hình 5.21

Hệ tọa độ chân trời

Hệ tọa độ xích đạo thứ nhất và thứ hai

- Hệ tọa độ xích đạo thứ nhất

Trên hình 5.21, vị trí thiên thể σ trên thiên cầu được xác định bởi hai thành phần tọa độ xích đạo thứ nhất như sau:

+ Thành phần thứ nhất : *Độ vĩ xích đạo δ* của thiên thể, được xác định bằng cung $m\sigma$;

+ Thành phần thứ hai: *Góc giờ t* của thiên thể, được xác định bằng góc nhị diện giữa mặt phẳng kinh tuyến với mặt phẳng đi qua trục thiên cầu và thiên thể (PP_1, σ).

Trong hệ tọa độ xích đạo thứ nhất, tọa độ thiên thể σ được viết là $\sigma(\delta, t)$.

- Hệ tọa độ xích đạo thứ hai

Cũng trên hình 5.21 vị trí của thiên thể σ trên thiên cầu còn được xác định bằng hai thành phần tọa độ xích đạo thứ hai như sau:

+ Thành phần thứ nhất : Cũng là *độ vĩ xích đạo δ* , được xác định như trong hệ tọa độ xích đạo thứ nhất.

+ Thành phần thứ hai : *Độ kinh xích đạo* α , được xác định bằng góc nhị diện giữa mặt phẳng xác định góc giờ của điểm Xuân phân γ và mặt phẳng xác định góc giờ của thiên thể δ .

Trong hệ tọa độ xích đạo thứ hai, tọa độ thiên thể δ được viết là $\delta(\alpha, \delta)$

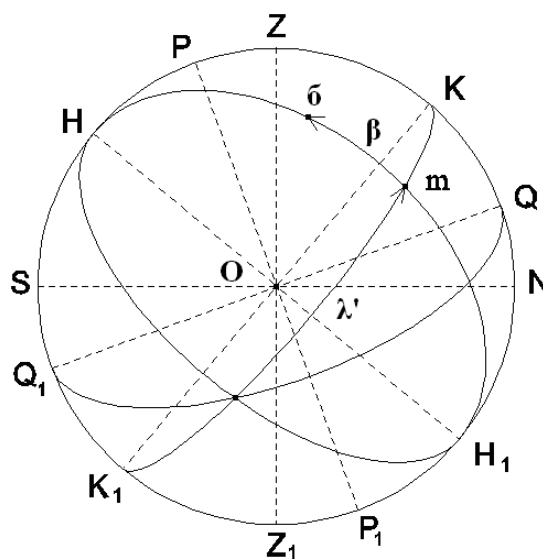
- Hệ tọa độ hoàng đạo

Trên hình 5.22 vị trí thiên thể δ trên thiên cầu được xác định bởi hai thành phần tọa độ hoàng đạo như sau:

+ Thành phần thứ nhất : *Độ vĩ hoàng đạo* β , được xác định bằng cung m

+ Thành phần thứ hai: *Độ kinh hoàng đạo* λ' , được xác định bằng góc nhị diện giữa mặt phẳng đi qua trục hoàng đạo, điểm Xuân phân và mặt phẳng xác định độ vĩ hoàng đạo β của thiên thể.

Trong hệ tọa độ hoàng đạo, tọa độ thiên thể δ được viết là $\delta(\beta, \lambda')$.



Hình 5.22 Hệ tọa độ hoàng đạo

Như vậy có 4 hệ tọa độ cầu biểu diễn và xác định vị trí thiên thể δ trên thiên cầu.

b. Các hiện tượng làm xô dịch vị trí và thay đổi tọa độ của thiên thể

Khi xử lý các trị đo nhận được từ kết quả quan sát thiên thể, cần xác định các số hiệu chỉnh cho khoảng thiên đỉnh của thiên thể do các hiện tượng: khúc xạ và thị sai thiên văn.

Khúc xạ thiên văn là ảnh hưởng của các tầng khí quyển bao quanh Trái đất làm cho vị trí nhìn thấy của thiên thể bị nâng về phía thiên đỉnh so với vị trí thực. Công thức tính hiệu chỉnh ảnh hưởng của khúc xạ thiên văn cho khoảng thiên đỉnh đo được z_1 của thiên thể là:

$$z = z_1 + \rho \quad (5.13)$$

Số hiệu chỉnh ρ do khúc xạ thiên văn có giá trị phụ thuộc vào nhiệt độ, áp suất và độ ẩm của không khí tại điểm quan sát thiên văn.

Thị sai thiên văn là hiện tượng vị trí nhìn thấy của thiên thể bị xô dịch so với vị trí thực do điểm quan sát có vị trí bị thay đổi. Trong trường hợp điểm quan sát có vị trí thay đổi do tham gia chuyển động ngày đêm của Trái đất hoặc khi xét các điểm quan sát khác nhau về vị trí địa lý thì hiện tượng nói trên được gọi là *thị sai ngày đêm*. Khi xét trường hợp điểm quan sát có vị trí khác nhau do tham gia chuyển động hàng năm của Trái đất thì hiện tượng tương ứng được gọi là *thị sai hàng năm*. Khoảng thiên đỉnh đo được z_1 của thiên thể cần được hiệu chỉnh ảnh hưởng của thị sai thiên văn (ký hiệu là p) **ngày đêm (ký hiệu là p). TẠI SAO CHỈ NGÀY ĐÊM ???**

Khoảng thiên đỉnh của thiên thể sau khi được hiệu chỉnh ảnh hưởng tổng hợp của khúc xạ và thị sai thiên văn sẽ là:

$$z = z_1 + \rho - p \quad (5.14)$$

Quang sai thiên văn là hiện tượng do chuyển động của điểm quan sát mà vị trí nhìn thấy của thiên thể bị xô dịch so với vị trí thực của nó. Khi xem xét điểm quan sát có tốc độ chuyển động ngày đêm của Trái đất thì hiện tượng được gọi là *quang sai ngày đêm*. Tương tự, khi xem xét điểm quan sát có tốc độ chuyển động hàng năm của Trái đất thì hiện tượng được gọi là *quang sai hàng năm*.

Trên thực tế tọa độ xích đạo (δ, α) của thiên thể luôn thay đổi do ảnh hưởng của các hiện tượng: tuế sai, chương động và tự hành của thiên thể.

Tuế sai là hiện tượng trục thiên cầu quay đảo trong không gian xung quanh trục hoàng đạo và tương ứng cực thiên cầu dịch chuyển trên thiên cầu theo vòng tròn có bán kính bằng $23^\circ 27'$ với chu kỳ 26.000 năm. Trong trường hợp chỉ xét tới tuế sai ta sẽ có trục thiên cầu trung bình, theo đó sẽ có cực thiên cầu trung bình, xích đạo trung

bình, điểm xuân phân trung bình của thiên cầu, tọa độ xích đạo trung bình (δ_0, α_0) của thiên thể và giờ sao trung bình.

Chương động là hiện tượng trục thiên cầu còn quay đảo xung quanh vị trí trung bình của nó theo mặt nón hình ellip và tương ứng cực thiên cầu còn dịch chuyển trên thiên cầu theo vòng ellip có bán trục lớn và bán trục nhỏ tương ứng bằng 9" và 7" với chu kỳ 18.6 năm.

Tổng hợp hai chuyển động thành phần nói trên, tức là nếu tính đến ảnh hưởng đồng thời của tuế sai và chương động, ta sẽ có vị trí thực của cực thiên cầu. Tương ứng sẽ có cực thiên cầu thực, xích đạo thiên cầu thực, điểm xuân phân thực, tọa độ xích đạo thực (δ, α) của thiên thể và giờ sao thực.

Tự hành là hiện tượng thay đổi vị trí của thiên thể trên thiên cầu do chuyển động của bản thân nó trong không gian. Trong lịch thiên văn có cho giá trị tự hành hàng năm của mỗi thiên thể. Tốc độ chuyển động riêng của thiên thể có thể đạt tới vài chục km/s. Do ảnh hưởng của tự hành, tọa độ xích đạo của thiên thể liên tục bị thay đổi, tuy rất chậm.

c. Các hệ thống thời gian được dùng trong thiên văn

Thời điểm quan sát thiên văn cần được ghi nhận tức thời, vì vị trí thực của thiên thể liên tục thay đổi theo thời gian. Các hệ thống thời gian sau đây đã được sử dụng trong thiên văn: giờ sao, giờ mặt trời, giờ lịch, giờ nguyên tử.

Giờ sao là hệ thống thời gian được xác định đơn giản và sử dụng rất thuận lợi trong thiên văn. Giờ sao địa phương có giá trị bằng góc giờ của điểm xuân phân, thường được ký hiệu là s . Giờ sao s được xác định trên cơ sở quan sát thiên thể và tính theo công thức: $s = \alpha + t$, trong đó α là độ kinh xích đạo và t là góc giờ của thiên thể vào thời điểm quan sát.

Giờ mặt trời là hệ thống thời gian được xác định theo Mặt trời và sử dụng có hiệu quả trong tất cả các hoạt động của xã hội. *Giờ mặt trời thực* (ký hiệu là V) được xác định theo góc giờ của Mặt trời thực. Tâm hình tròn của Mặt trời nhìn thấy được coi là vị trí Mặt trời thực. Giờ mặt trời thực thay đổi không đều do ảnh hưởng của góc nghiêng ε giữa mặt phẳng hoàng đạo và mặt phẳng xích đạo và do sự thay tốc độ dịch chuyển của Mặt trời thực trên vòng hoàng đạo. Để khắc phục tình trạng này, người ta đưa ra khái niệm Mặt trời trung bình. Đó là một Mặt trời giả định, chuyển

động đều trên vòng xích đạo thiên cầu với cùng chu kỳ như Mặt trời thực và gặp Mặt trời thực tại hai điểm Xuân phân và Thu phân. Tương ứng có *Giờ mặt trời trung bình* hay gọi tắt là *Giờ trung bình*, được ký hiệu là m . Giá trị của m được xác định bằng góc giờ của Mặt trời trung bình. Giờ trung bình rất thuận tiện và do vậy được sử dụng rộng rãi trong các hoạt động thường nhật của con người, trong khi giờ sao được dùng chủ yếu cho các mục đích quan sát thiên văn.

Đơn vị thời gian cơ bản của giờ sao cũng như giờ mặt trời là chu kỳ quay ngày đêm của Trái đất. Chu kỳ này được gọi là một ngày đêm; Tương ứng ta có một ngày đêm sao, một ngày đêm mặt trời trung bình (ngày đêm trung bình). Thời điểm bắt đầu tính một ngày đêm không như nhau tại các điểm xét khác nhau trên Trái đất. Do vậy, ta có khái niệm giờ địa phương. Giờ địa phương tại Greenwich (Đài thiên văn ở ngoại ô thủ đô London của nước Anh) được chấp nhận là giờ chung cho toàn Trái đất và gọi là *giờ Greenwich*. Giờ Greenwich tính theo hệ thống giờ sao được gọi là giờ sao Greenwich và ký hiệu là S . Giờ Greenwich tính theo hệ thống giờ mặt trời trung bình được gọi là *giờ thế giới* (GMT, UT) và ký hiệu là M .

Mối liên hệ giữa giờ địa phương và giờ Greenwich được biểu diễn bằng công thức sau:

$$(s - S) = (m - M) = \pm \lambda, \quad (5.15)$$

trong đó λ là độ kinh địa lý của điểm xét; Dấu (+) được dùng khi điểm xét ở phía đông kinh tuyến gốc (Greenwich), còn dấu (-) được dùng khi điểm xét ở phía tây kinh tuyến gốc.

Giờ múi là hệ thống giờ mặt trời trung bình quy ước được dùng phổ biến trong mọi hoạt động xã hội trên Trái đất. Trái đất được chia thành 24 múi giờ theo kinh tuyến với các chỉ số múi giờ là 0, 1, 2, 3..., 21, 22 và 23. Mỗi múi giờ nằm giữa hai kinh tuyến biên có chênh lệch độ kinh bằng 15° (tương đương 1 giờ) và lấy kinh tuyến giữa làm kinh tuyến trung ương. Múi giờ 0 nhận kinh tuyến Greenwich là kinh tuyến trung ương. Giờ múi lấy giá trị giờ trung bình m trên kinh tuyến trung ương và được ký hiệu là T_n với n là chỉ số của múi giờ. Như vậy, Việt Nam thuộc múi giờ số 7 ($n = 7$) với kinh tuyến trung ương có độ kinh bằng 105° (7^h), còn nước Anh thuộc múi giờ số 0 với kinh tuyến trung ương có độ kinh bằng 0° (0^h) – kinh tuyến gốc. Ta có thể viết: $T_0 = M = GMT = UT$.

Quan hệ thời gian giữa hai múi giờ được biểu diễn như sau:

$$T_n = T_0 + n^{(h)} \quad (5.16)$$

$$T_m - T_n = (m - n)^h \quad (5.17)$$

Như vậy, số chỉ đồng hồ ở các múi giờ khác nhau sẽ chỉ chênh khác về số chuẩn giờ (h), còn hoàn toàn như nhau về số đọc phút và giây. Điều này thuận tiện cho việc sử dụng hệ thống thời gian chung trên toàn thế giới.

Giờ pháp lệnh là hệ thống giờ được Hiến pháp của mỗi quốc gia quy định sử dụng trong phạm vi quốc gia đó. Giờ pháp lệnh được ký hiệu là D_n và lấy giờ múi của Thủ đô làm giờ chung cho cả nước. Quan hệ giữa giờ pháp lệnh và giờ múi được xác định như sau :

$$D_n = T_n + \Delta^h . \quad (5.18)$$

Giá trị Δ^h là một số nguyên giờ (h) được quy định cho thay đổi giữa hai hệ thống giờ. Việt Nam có quy định $\Delta^h = 0^h$, tức là $D_7 = T_7$, do Thủ đô Hà Nội nằm gần kinh tuyến trung ương của múi giờ số 7. Ở nước Anh và một số nước Đông Âu đã sử dụng giờ pháp lệnh trong đó giờ mùa đông chênh khác so với giờ mùa hè để hoạt động xã hội tiết kiệm được năng lượng và có hiệu quả hơn do giờ làm việc phù hợp với khoảng thời gian chiếu sáng thực tế của Mặt trời.

Giờ lịch là hệ thống giờ trong đó thời gian trôi đều đặn, dựa trên chu kỳ chuyển động của Trái đất quanh Mặt trời. Nó được dùng để xác lập các lịch đo ghi thời gian chặt chẽ và được ký hiệu là ET . Một giây giờ lịch được xác định bằng $1/31556925,9747$ độ dài Năm xuân phân vào thời đại 1900, ngày 0 tháng giêng, 12^h ET với Năm xuân phân là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp Mặt trời đi qua điểm Xuân phân. Giờ lịch liên hệ với giờ thế giới như sau :

$$ET = UT + \Delta T, \quad (5.19)$$

trong đó giá trị ΔT là số hiệu chỉnh được Cơ quan giờ quốc tế xác định và thông báo trong lịch thiên văn hàng năm.

Giờ nguyên tử là thang thời gian được tạo ra và duy trì trong phòng thí nghiệm, dựa trên cơ sở sử dụng các dao động có tính chu kỳ ổn định rất cao trong thế giới vi mô. Giờ nguyên tử đang được sử dụng phổ biến trong các hoạt động khoa học kỹ thuật hiện đại. Giờ nguyên tử được ký hiệu là AT .

Giờ phối hợp quốc tế là hệ thống thời gian được Cơ quan giờ quốc tế sử dụng để phát tín hiệu thông báo thời gian cho toàn thế giới. Giờ phối hợp quốc tế được ký hiệu là UTC và liên hệ chặt chẽ với giờ thế giới theo biểu thức : $(UTC - UT) < 0,7^s$.

5.3.2. Hệ tọa độ địa lý

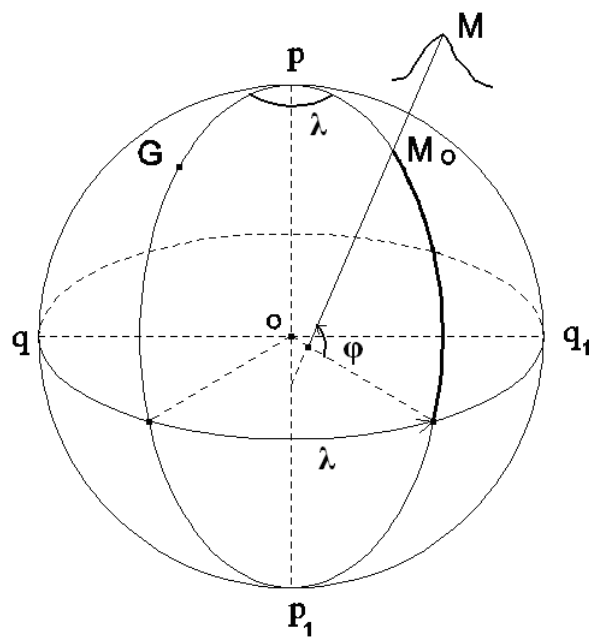
Hệ tọa độ địa lý được dùng để thể hiện vị trí các điểm trên mặt đất. Với lý do này có thể gọi tên đầy đủ cho hệ tọa độ trắc địa là: hệ tọa độ địa lý trắc địa, vì nó gắn liền với ellipsoid Trái đất. Cần phân biệt tọa độ địa lý trắc địa với tọa độ địa lý tự nhiên gắn liền với Trái đất thực và thường được xác định bằng phép đo thiên văn. Trong một số tài liệu loại tọa độ địa lý này được gọi đầy đủ là tọa độ địa lý thiên văn hay còn gọi tắt là tọa độ thiên văn.

Hệ tọa độ địa lý cũng là một hệ tọa độ cầu, được xác lập trên cơ sở coi Trái đất có dạng hình cầu. Trên hình 5.23 biểu diễn hệ tọa độ địa lý với điểm M trên mặt đất có hai thành phần tọa độ địa lý được xác định dựa theo đường dây dọi MM_0 như sau :

- Thành phần thứ nhất là độ vĩ địa lý φ ; Đó là góc hợp bởi đường dây dọi tại M và mặt phẳng xích đạo Trái đất.

- Thành phần thứ hai là độ kinh địa lý λ ;. Đó là góc nhị diện giữa mặt phẳng kinh tuyến gốc và mặt phẳng kinh tuyến thiên văn của điểm M.

Trong hệ tọa độ địa lý, điểm M có tọa độ địa lý được viết là $M(\varphi, \lambda)$.

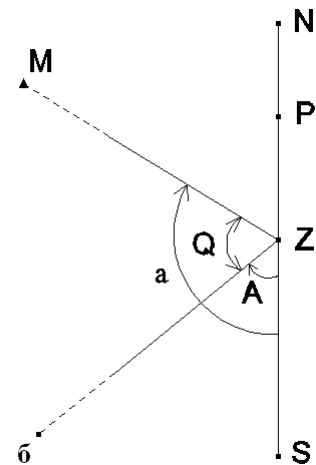
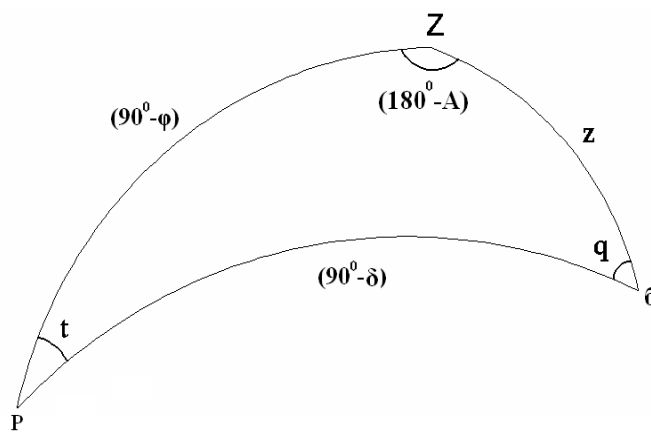


Hình 5.23 Hệ tọa độ địa lý và các thành phần tọa độ địa lý (φ, λ)

Hiện tượng chuyển dịch cực của Trái đất làm thay đổi tọa độ địa lý của các điểm trên mặt đất. Khi xét theo cực trung bình của Trái đất, ta có tọa độ địa lý trung bình của điểm xét; Còn ứng với cực tức thời ta sẽ có tọa độ địa lý tức thời của điểm xét. Việc xác định vị trí cực Trái đất được tiến hành liên tục do Cơ quan độ vĩ quốc tế thực hiện.

5.3.3. Khái niệm về đo độ vĩ, độ kinh và góc phương vị thiên văn

1. Hình tam giác định vị thiên thể



THIẾU KÝ HIỆU P !!!

Hình 5.24. Hình tam giác định vị Hình 5.25. Sơ đồ nguyên lý xác định a

Tam giác cầu PZδ trên thiên cầu được gọi là hình tam giác định vị thiên thể.

Có thể nói hình tam giác định vị thiên thể là cơ sở xác lập và giải các bài toán trong thiên văn trắc địa. Trên hình 5.24 biểu diễn hình tam giác định vị thiên thể khi thiên thể σ đang ở phía tây thiên cầu, góc q được gọi là góc định vị thiên thể.

Hai công thức cơ bản tương ứng với hình tam giác định vị thiên thể thường được sử dụng là:

$$\cos z = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos t \quad (5.20)$$

$$\cotg A = \sin\varphi\cotgt - \cos\varphi\delta\csc t \quad (5.21)$$

2. Các nguyên tắc chung xác định tọa độ thiên văn của điểm quan sát và góc phương vị thiên văn của mục tiêu

a. Xác định độ vĩ thiên văn φ của điểm quan sát trên mặt đất về thực chất là xác định vị trí thiên đỉnh Z của điểm quan sát trên thiên cầu địa diện. Dựa trên cơ sở giải hình tam giác định vị thiên thể theo hai công thức cơ bản nêu trên sẽ xác định được giá trị φ . Thật vậy, giả sử thiên thể σ có các tọa độ (δ, α) đã biết. Khi đó cạnh $P\sigma = (90^\circ - \delta)$ đã xác định.

Nếu ta đo được khoảng thiên đỉnh z của σ vào thời điểm có giờ sao $s = (T + u)$, trong đó u là số hiệu chỉnh vào số chỉ thời gian T trên đồng hồ thiên văn vào thời điểm đo, ta sẽ xác định được góc giờ t trong hình tam giác định vị thiên thể theo biểu thức $t = (s - \alpha)$. Khi đó, từ (5.20) ta sẽ tính được đại lượng cần tìm là φ . Cũng theo cách diễn giải tương tự, nếu đo được góc phương vị thiên văn A của σ vào thời điểm s thay cho đo khoảng thiên đỉnh z , ta cũng sẽ xác định được cạnh PZ và từ đó tìm được φ .

b. Nguyên tắc xác định độ kinh địa lý λ của điểm trên mặt đất dựa theo công thức cơ sở (5.15) biểu diễn mối liên hệ giữa giờ trên kinh tuyến gốc và giờ trên kinh tuyến của điểm xét. Như vậy, trước hết ta cần quan sát thiên văn để dựa vào các đại lượng đo được là z hoặc A của thiên thể để tính ra góc giờ t của nó theo các biểu thức tương ứng là (5.20) hoặc (5.21) và từ đó xác định giờ sao địa phương theo biểu thức $s = (\alpha + t)$. Mặt khác, cần biết giờ sao Greenwich S tương ứng với s . Để phục vụ cho mục đích này, người ta tiến hành phát tín hiệu thời gian (hay tín hiệu giờ) chính xác trên sóng vô tuyến từ một số Đài thiên văn thuộc Cơ quan giờ quốc tế phân bố tương đối đều khắp trên Trái đất để bất kỳ điểm đo thiên văn nào cũng có thể tiếp nhận được cho thời điểm quan sát tương ứng. Bằng cách đó ta

có được giờ sao Greenwich và giờ sao địa phương tương ứng với cùng một thời điểm và nhờ vậy sẽ xác định được độ kinh địa lý hay độ kinh thiên văn λ của điểm quan sát.

c. Nguyên tắc xác định góc phương vị thiên văn a của phương hướng tới mục tiêu được minh họa trên hình 5.25 và dựa trên biểu thức :

$$a = A + Q, \quad (5.22)$$

trong đó A là góc phương vị thiên văn của thiên thể σ , được xác định theo công thức (5.21) dựa vào đại lượng t được xác định từ kết quả quan trắc thiên văn; Q là góc ngang đo được giữa phương hướng tới mục tiêu M và phương hướng tới thiên thể được quan sát.

5.4. Mạng lưới trọng lực

5.4.1. Vai trò của số liệu trọng lực trong trắc địa

Trong chương 1 và chương 2 đã đề cập đến mối liên hệ và tác dụng của số liệu trọng lực đối với trắc địa. Sau đây ta sẽ tìm hiểu chi tiết hơn về vai trò của loại số liệu này.

Trước hết, *nhiệm vụ khoa học chủ yếu của Trắc địa cao cấp* đã xem trường trọng lực là một trong hai đối tượng nghiên cứu chính và sẽ *không thể được giải quyết một cách đầy đủ, trọn vẹn, nếu không sử dụng số liệu đo đạc gắn chặt với các đặc trưng của trường vật lý cơ bản đó của Trái đất*. Thế trọng trường và hình dạng Trái đất với bề mặt đặc trưng là geoid có thể được xác định theo lý thuyết kinh điển của Stokes thông qua số liệu đo trọng lực nhận được ngay trên bề mặt này. Với bề mặt đặc trưng là bề mặt thực của Trái đất, hình dạng và thế trọng trường của nó được xác định theo lý thuyết hiện đại của Molodenski thông qua số liệu đo trọng lực được tiến hành ngay trên bề mặt đó. Trong cả hai lý thuyết bề mặt toán học đơn giản, nhưng phù hợp nhất với Trái đất cả về thông số hình học (bán trục lớn và độ dẹt) cũng như về thông số vật lý (khối lượng và tốc độ góc) đã được chấp nhận làm bề mặt khởi tính cho cả hình dạng và thế trọng trường của Trái đất trên phạm vi toàn cầu. Bề mặt đó, như đã biết, được gọi là mặt ellipsoid chuẩn. Trong phạm vi quốc gia hay lục địa bài toán nghiên cứu xác định hình dạng và thế trọng trường của Trái đất thường được giải quyết trên quy mô cục bộ. Khi đó, người ta sử dụng các ellipsoid thực dụng. Việc xác định kích thước và định vị ellipsoid thực dụng không

thể được thực hiện với kết quả tốt nhất, nếu không có sự tham gia của số liệu trọng lực. Vấn đề ở chỗ là cho đến khi xuất hiện kỹ thuật và công nghệ vũ trụ thì số liệu sử dụng trong trắc địa chỉ có thể là số liệu đo thiên văn, đo trắc địa thực hiện ngay trên bề mặt Trái đất trong đó phương định hướng cơ bản là đường dây dọi, tức phương của trọng lực. Nhưng, phương của trọng lực lại phụ thuộc chủ yếu vào trạng thái phân bố vật chất vốn không đồng nhất ở trong lòng Trái đất. Chính vì thế, *rất cần có số liệu trọng lực để tính đến các ảnh hưởng “dị thường” của trường trọng lực thực tế khi lựa chọn ellipsoid thực dụng hay cũng chính là thiết lập số liệu gốc cho hệ tọa độ trắc địa quốc gia.*

Trong thực tế, khi chưa kết nối được với mạng lưới trắc địa quốc gia, người ta phải xây dựng hệ tọa độ độc lập. Nhưng, hệ tọa độ độc lập này phải được định hướng theo phương cơ bản là đường dây dọi dựa trên các phép đo thiên văn. *Để đảm bảo cho hệ tọa độ độc lập như thế không quá xô lệch so với vị trí tự nhiên cần có của nó do ảnh hưởng “dị thường” của trường trọng lực cục bộ, cần tính để số hiệu chỉnh độ lệch dây dọi cho tọa độ thiên văn thông qua các giá trị dị thường trọng lực.*

Mạng lưới trắc địa được xây dựng trên bề mặt Trái đất gồm các điểm được liên kết với nhau tạo thành các hình tam giác, tứ giác hay đa giác vừa là cấu trúc đo đạc cần thiết cho việc giải quyết nhiệm vụ khoa học của trắc địa, đồng thời là cơ sở khống chế tọa độ mặt bằng và độ cao phục vụ cho các bài toán thực tiễn khác nhau. *Để có thể xử lý toán học chặt chẽ các kết quả đo đạc được triển khai trên bề mặt tự nhiên vốn uốn nếp phức tạp của Trái đất, cần phải qui chuyển chúng về bề mặt tham khảo có dạng ellipsoid tròn xoay và sau đó, nếu cần, còn qui chuyển tiếp về mặt phẳng. Để thực hiện được công đoạn thứ nhất, cần biết góc lệch giữa đường dây dọi được lấy làm phương định hướng cơ bản trong các phép đo góc (hoặc hướng) và đường pháp tuyến với mặt ellipsoid, tức là phải biết độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa tại điểm đặt thiết bị đo, đồng thời phải biết khoảng chênh giữa điểm này và mặt ellipsoid, tức là phải biết cả độ cao trắc địa tại điểm xét. Độ cao trắc địa được hợp thành từ độ cao chuẩn được xác định theo kết quả đo cao thủy chuẩn (kết hợp với số liệu trọng lực) và dị thường độ cao thiên văn - trắc địa được xác định theo kết quả đo cao thiên văn hay đo cao thiên văn - trọng lực. Độ lệch dây dọi thiên văn - trắc địa và dị thường độ cao thiên văn - trắc địa cần được xác định tại tất cả các điểm trong mạng lưới trắc địa (trước hết là mạng lưới có độ chính xác cao, như*

mạng lưới quốc gia), nhưng cách xác định trực tiếp đảm bảo được độ chính xác cần thiết thường công kênh, tốn kém, nên chỉ áp dụng cho một số điểm hạn chế, còn đối với hàng loạt điểm khác sẽ thực hiện cách xác định gián tiếp *trên cơ sở nội suy trong đó số liệu bổ sung quan trọng cũng lại là số liệu trọng lực*.

Độ cao tự nhiên của điểm xét ở ngay trên bề mặt Trái đất hay bên ngoài nó thường được tính theo phương của vectơ trọng lực, tức đường dây dọi, từ một bề mặt khởi tính là mặt đẳng thế trọng trường. Trong trắc địa độ cao được xác định một cách chính xác nhất theo nguyên lí đo cao thủy chuẩn dựa vào phương định hướng cơ bản là phương nằm ngang. Chênh cao nhận được giữa hai điểm đặt mia thủy chuẩn ứng với một trạm máy thủy bình được xem là khoảng cách tính theo phương thẳng đứng (phương dây dọi) giữa hai mặt đẳng thế trọng trường đi qua chân hai mia. Khi đó độ cao của một điểm tính từ điểm gốc độ cao quốc gia được lấy theo mực nước biển trung bình nhiều năm ở một vùng biển qui định nào đó sẽ chính là tổng chênh cao đo được giữa điểm gốc và điểm xét. Độ cao đó được gọi là độ cao đo được của điểm xét. Độ cao đo được như thế của một điểm xét cho trước sẽ có các giá trị khác nhau, tùy thuộc vào tuyến đo cụ thể. Để khắc phục tình trạng này, cần tính đến sự không song song giữa các mặt đẳng thế trọng trường trên cơ sở sử dụng số liệu đo trọng lực dọc theo tuyến đo cao.

Cùng với sự xuất hiện công nghệ định vị vệ tinh toàn cầu nguyên lí đo cao thủy chuẩn truyền thống đang dần dần bị cạnh tranh bởi nguyên lí đo cao GPS có nhiều ưu thế và triển vọng. Tương ứng, vai trò, tác dụng của số liệu trọng lực cũng tăng lên. *Dị thường trọng lực trở thành nguồn dữ liệu cho phép xác định dị thường độ cao trọng lực là thành phần thiết yếu cùng với độ cao trắc địa nhận được từ công nghệ định vị vệ tinh để tính ra độ cao chuẩn vốn rất cần, chẳng những cho trắc địa, mà còn cho nhiều mục đích thực tiễn khác. Với cơ sở dữ liệu trọng lực cần thiết về qui mô, mật độ và độ chính xác, nguyên lí đo cao GPS sẽ cho phép giải quyết vấn đề xác định độ cao một cách hiệu quả không những về thời gian, chi phí mà quan trọng hơn là về khoảng cách vươn xa, điều kiện địa hình, kể cả biển và đại dương.*

5.4.2. Mạng lưới trọng lực và nguyên tắc đo trọng lực

1. Nguyên tắc đo trọng lực

Về nguyên tắc, để xác định giá trị trọng lực, có thể sử dụng bất kì hiện tượng vật lí nào phụ thuộc vào tác động của trọng lực. Có thể nói, hầu như tất cả các hiện

tượng vật lí diễn ra trên Trái đất đều có thể đáp ứng mục đích này; Song, thực ra chỉ có một số không nhiều trong số đó cho phép đạt tới độ chính xác cần thiết do các bài toán khoa học cũng như thực tiễn đặt ra.

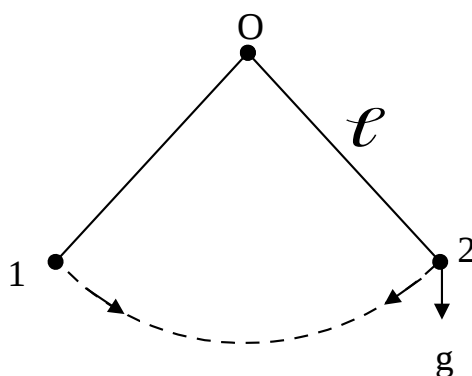
Các phương pháp đo trọng lực đã biết cho đến nay thường được phân loại theo một số tiêu chí sau:

a/ Nếu xét theo cơ sở lí thuyết, sẽ có hai nhóm, đó là: *nhóm động học* và *nhóm tĩnh học*

Trong nhóm phương pháp động học người ta quan sát chuyển động của vật thể dưới tác dụng của trọng lực; Đại lượng đo trực tiếp là khoảng thời gian trong đó vật thể chuyển dịch từ vị trí xác định này sang vị trí xác định khác. Trong nhóm phương pháp tĩnh học người ta lại quan sát vị trí cân bằng của vật nặng dưới tác dụng đồng thời của trọng lực và sức căng của vật thể đàn hồi; Đại lượng đo trong trường hợp này là khoảng dịch chuyển của vật nặng được tính theo đơn vị chiều dài hoặc theo đơn vị góc.

– Điển hình cho nhóm động học có thể kể đến một số phương pháp quan sát chuyển động sau:

+ Dao động tự do của con lắc treo trên một trục cố định



Hình 5.26. Con lắc

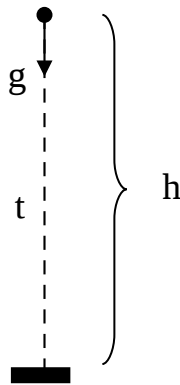
Giả sử ta có con lắc gồm một vật nặng được dao động tự do quanh trục O giữa hai vị trí cân bằng 1 và 2 (hình 5.26). Độ dài của sợi dây treo vật nặng được kí hiệu

là ℓ ; Khoảng thời gian vật nặng dịch chuyển từ vị trí 1 sang vị trí 2 hoặc ngược lại được gọi là chu kì dao động của con lắc và kí hiệu là T . Khi đó ta có biểu thức:

$$T = \pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}, \quad (5.23)$$

trong đó g là giá trị trọng lực tại thời điểm xét. Rõ ràng là với ℓ đã biết, T quan sát được, ta có thể tính ra g .

+ Chuyển động rơi tự do của vật nặng



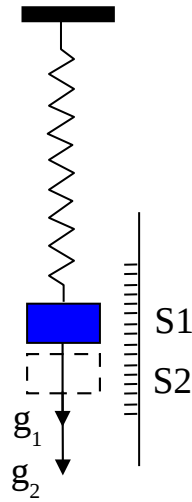
Hình 5.27. Vật rơi tự do

Giả sử vật nặng được thả cho rơi tự do từ độ cao h so với mặt đất (hình 5.27). Nó sẽ chạm mặt đất sau khoảng thời gian t . Ta có mối quan hệ:

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad (5.24)$$

trong đó g là giá trị trọng lực tại nơi quan sát. Dễ dàng nhận thấy là khi biết h và đo được t , ta sẽ có ngay giá trị g cần xác định.

– Đại diện cho nhóm tinh học là phương pháp quan sát vật nặng được treo trên một sợi dây lò xo bên cạnh có gắn một thang chia vạch (hình 5.28).



Hình 5.28

Tại điểm quan sát nào đó với giá trị trọng lực g_1 vật nặng có vị trí tương ứng với số đọc S_1 trên thang chia vạch. Khi đưa hệ thống nói trên sang điểm quan sát khác với giá trị trọng lực g_2 , ta có số đọc S_2 .

Nếu biết giá trị của vạch chia là k (tính bằng đơn vị trọng lực/vạch chia), ta sẽ xác định được độ chênh khác hay hiệu số giữa giá trị trọng lực tại hai điểm quan sát theo biểu thức:

$$g_2 - g_1 = k(S_2 - S_1). \quad (5.25)$$

b/ Nếu xét theo giá trị trọng lực đo được, ta có nguyên tắc *đo trọng lực tuyệt đối* và nguyên tắc *đo trọng lực tương đối*.

Nguyên tắc tuyệt đối cho phép ta nhận được ngay giá trị trọng lực tại điểm đo, không phụ thuộc vào bất kì điểm nào khác. Còn nguyên tắc tương đối lại chỉ cho ta gia số hay độ chênh khác giữa các giá trị trọng lực tại hai điểm đo khác nhau; Để có được chính giá trị trọng lực của một trong hai điều đó, cần biết giá trị trọng lực tại điểm kia rồi cộng với gia số đo được.

Nguyên tắc động học cho phép thực hiện cả đo trọng lực tuyệt đối cũng như đo trọng lực tương đối. Thật vậy, ta hãy xét phương pháp sử dụng con lắc.

Giả sử với cùng một con lắc được quan sát tại hai điểm khác nhau có các giá trị trọng lực là g_1 và g_2 ta nhận được các chu kỳ dao động tương ứng là T_1 và T_2 . Khi đó, từ các biểu thức:

$$T_1 = \pi \sqrt{\frac{\ell}{g_1}} \quad \text{và} \quad T_2 = \pi \sqrt{\frac{\ell}{g_2}}$$

ta có thể rút ra:

$$g_2 - g_1 = g_1 \frac{(T_1^2 - T_2^2)}{T_2^2}. \quad (5.26)$$

Trong khi đó, theo nguyên tắc tĩnh học chỉ có thể tiến hành đo trọng lực tương đối.

Trong lịch sử phát triển của lĩnh vực đo trọng lực, nguyên tắc động học với việc quan sát chuyển động rơi tự do đã được sử dụng rất sớm, thông qua thí nghiệm nổi tiếng của Galilei vào năm 1590 theo đó lần đầu tiên người ta biết được trị số của trọng lực trên Trái đất. Nhưng, sau đó một thời gian rất dài phương pháp này hầu như không được triển khai trong thực tế, nhất là trong điều kiện dã ngoại, do rất khó chế tạo thiết bị đo thích hợp có khả năng đảm bảo độ chính xác cần thiết.

Việc đo trọng lực bằng con lắc đã được hình thành trên cơ sở mối quan hệ toán học giữa chu kỳ dao động của con lắc với độ dài của nó và giá trị trọng lực do Huygens tìm ra năm 1673. Phương pháp con lắc tỏ ra rất thuận tiện cho việc ứng dụng vào đo đạc thực tế, nên đã được triển khai rộng rãi cả vào mục đích đo trọng lực tuyệt đối tại một số điểm hạn chế cũng như vào mục đích đo trọng lực tương đối tại rất nhiều điểm khác nhau ở nhiều nước trên thế giới. Thiết bị đo tương ứng được gọi là *máy trọng lực con lắc*. Việc đo trọng lực tuyệt đối được thực hiện bằng máy trọng lực con lắc hai đầu. Để có thể xác định được giá trị g với sai số 1 mgal, cần phải đo độ dài của con lắc (cỡ 0,25m) với sai số không lớn hơn $0,18\mu$ và chu kỳ dao động của nó (cỡ 0,5s) với sai số không vượt quá $1,8 \cdot 10^{-7}$ s. Hiện nay máy con lắc cho phép nhận được kết quả đo trọng lực tuyệt đối với độ chính xác tới 0,4 mgal, còn đo trọng lực tương đối – tới 0,05 - 0,10 mgal.

Các máy đo trọng lực dựa trên nguyên tắc tĩnh học được sử dụng rộng rãi từ khoảng những năm 30 của thế kỷ trước. Hệ thống đàn hồi gồm các khung và lò xo được chế tạo bằng thạch anh hoặc bằng kim loại; Tương ứng, ta có *máy trọng lực tĩnh học thạch anh* hoặc *máy trọng lực tĩnh học kim loại*. Với thiết bị gọn nhẹ, thao tác đo đạc đơn giản lại có năng suất và độ chính xác ngày càng cao (chẳng hạn, xác định gia số trọng lực có độ lớn 5 - 10 mgal với sai số cỡ 0,005 mgal), các máy trọng lực tĩnh học nhanh chóng trở thành phương tiện chủ yếu và được sử dụng rất có hiệu quả trên qui mô rộng khắp trong công tác đo trọng lực cả ở trên đất liền, trên biển và trên không.

Tỉ trọng của các điểm trọng lực được đo bằng máy con lắc nhanh chóng giảm đi đáng kể. Chúng chỉ còn đóng vai trò chủ yếu trong việc khống chế trên qui mô lớn cho các mạng lưới trọng lực và xây dựng cơ sở cho việc kiểm định các máy trọng lực tĩnh học.

Cùng với sự phát triển vượt bậc của khoa học kỹ thuật, vào những năm 70 của thế kỉ trước đã xuất hiện các máy đo trọng lực dựa trên quan sát chuyển động rơi tự do có cấu tạo khá gọn nhẹ, nhưng đảm bảo độ chính xác rất cao; Chúng được gọi là các *máy trọng lực đạn đạo*. Theo nguyên tắc này, để có thể đạt độ chính xác tới 1 μgal cho giá trị trọng lực tuyệt đối cần đo, quãng đường (độ cao rơi tự do) phải được đo với sai số không lớn hơn 0,5 nanômét (nm), còn khoảng thời gian - với sai số nhỏ hơn 0,2 nanôgiây (ns). Trên thực tế, hiện nay đã có các máy trọng lực đạn đạo có thể sử dụng thuận tiện trong điều kiện dã ngoại với sai số không vượt quá 5 μgal . Các máy trọng lực đạn đạo được xem là phương tiện chủ đạo và có nhiều triển vọng nhất trong lĩnh vực đo trọng lực trong thời gian tới.

2. Các loại mạng lưới trọng lực

a/ Cấu trúc chung của mạng lưới trọng lực

Mạng lưới trọng lực là một tập hợp kết quả đo đặc trưng trọng trường Trái đất tại các điểm và xác định tọa độ của điểm đo. Các điểm đo đó được gọi là các *điểm trọng lực*. Trên thực tế, ngoài giá trị trọng lực, người ta còn đo giá trị gradient trọng lực hay các đạo hàm bậc hai của thế trọng trường bằng máy variômét hay máy đo gradient. Tương ứng ta có các điểm variômét và mạng lưới variômét.

Cũng như mạng lưới trắc địa, mạng lưới trọng lực được xây dựng theo nguyên tắc *từ tổng quát đến chi tiết*, phát triển tuần tự *từ hạng cao xuống hạng thấp*: trên hết là mạng lưới khống chế quốc tế; Sau đó là mạng lưới khống chế quốc gia, rồi đến mạng lưới khống chế địa phương.

Trên qui mô toàn bộ Trái đất, người ta đã xác định hệ thống tham khảo trọng lực toàn cầu. Hiện nay có “Mạng lưới tiêu chuẩn trọng lực quốc tế 1971” (The International gravity standertization net 1971 – IGSN-71). Mạng lưới này được thiết lập trên cơ sở 8 điểm đo trọng lực tuyệt đối bằng phương pháp đạn đạo với độ chính xác 0,01 - 0,1 mgal và 1.200 kết quả đo trọng lực tương đối bằng máy tĩnh học với độ chính xác 0,02 - 0,2 mgal; Cả thảy mạng lưới bao gồm 500 điểm chính với sai

số nhỏ hơn 0,1 mgal. Khoảng cách giữa các điểm kề nhau dao động từ vài trăm đến vài ngàn kilômét.

Mạng lưới khống chế trọng lực quốc gia thường được phát triển từ điểm trọng lực gốc quốc gia có đo nối với độ chính xác cao vào điểm trọng lực gốc quốc tế thuộc hệ Potsdam (CHLB Đức) hoặc vào điểm thuộc hệ IGSN-71. Nguyên tắc đo thường được sử dụng là nguyên tắc đo tương đối với số lượng hạn chế các máy trọng lực con lắc và phổ biến là các máy trọng lực tĩnh học loại tốt. Mạng lưới quốc gia thường được phân chia thành vài ba hạng theo trình tự thấp dần, trong đó các điểm thuộc hạng trên được lấy làm “điểm cứng” (“điểm tựa”) cho các điểm của hạng dưới. Ưu điểm của cấu trúc theo thứ hạng như thế chính là ở chỗ nó cho phép sử dụng số liệu trọng lực ngay trước khi hoàn tất toàn bộ hệ thống các mạng lưới cho tới lưới tầng dày gồm các “điểm thường”.

Khoảng cách giữa các điểm của mạng lưới quốc gia phụ thuộc chủ yếu vào độ rộng cụ thể của lãnh thổ. Trung bình thì khoảng cách thuộc hạng trên cùng (thường có tên là lưới cơ sở) nằm trong khoảng 100 - 300 km, thuộc hạng tiếp theo (lưới hạng một) là vài ba chục kilômét, dưới đó (lưới hạng hai) là cỡ 10 km và dưới nữa (lưới hạng ba) là vài ba kilômét. Các mạng lưới từ hạng một trở lên thường được đo bằng cả máy con lắc và máy tĩnh học, còn mạng lưới từ hạng hai trở xuống - chỉ bằng máy tĩnh học. Các điểm của mạng lưới hạng ba thường đóng vai trò điểm khống chế cho các mạng lưới địa phương hay mạng lưới tầng dày được phát triển nhằm mục đích trắc địa, địa vật lí, thăm dò địa chất và tìm kiếm tài nguyên, khoáng sản.

Xét theo đặc điểm phân bố điểm đo trên thực địa, người ta chia các mạng lưới trọng lực thành mạng lưới *trải rộng theo bề mặt* và mạng lưới *trải dài theo tuyến*. Trong trường hợp đầu thì các điểm đo hay tuyến đo được phân bố tương đối đồng đều trên vùng xét cho trước; Khoảng cách giữa các điểm trên tuyến đo cũng như giữa các tuyến đo là gần bằng nhau. Nếu khoảng cách giữa các tuyến đo lớn hơn, ta sẽ có mạng lưới trải theo tuyến. Các mạng lưới trọng lực quốc gia thường được xây dựng ở dạng trải rộng đồng đều theo bề mặt. Việc đo trọng lực theo tuyến thường gặp trong một số trường hợp khảo sát, tìm kiếm trên đất liền và chủ yếu là trên biển.

b/ Công tác đo trọng lực ở Việt nam

Ở Việt nam dữ liệu về trọng trường Trái đất ở dạng các giá trị trọng lực đã được thu thập từ những năm 30 của thế kỷ trước, ngay trong thời gian người Pháp thiết lập chế độ thực dân trên bán đảo Đông dương. Dưới sự chủ trì và tham gia trực tiếp của nhà địa vật lý Lejay người ta đã sử dụng máy con lắc loại cổ điển để đo trọng lực theo nguyên tắc tương đối tại hơn 200 điểm thuộc khu vực phía nam Trung quốc và một số nước Đông Nam Á, trong đó trên lãnh thổ Việt nam có 9 điểm tựa (điểm khống chế) với sai số 1,0 mgal và 30 điểm thường với sai số 2,5 mgal. Do độ chính xác đo đạc không cao và mật độ điểm đo lại quá thưa, nên các điểm trọng lực nói trên chủ yếu mang ý nghĩa lịch sử, chứ không có giá trị thực tiễn đáng kể.

Vào các năm 1960 – 1967 trên lãnh thổ miền nam Việt nam người Mỹ đã tiến hành đo trọng lực tương đối bằng máy tinh học kim loại của Mỹ loại LRG (La Coste and Romberg) dùng cho các điểm tựa và máy tinh học thạch anh loại Worden dùng cho các điểm thường. Cả thấy đo được hơn 10 điểm tựa với sai số 0,03 - 0,10 mgal và trên 200 điểm thường với sai số 0,10 mgal. Các điểm đo được bố trí dọc theo một số tuyến quốc lộ chính. Điểm gốc được lấy tại sân bay Tân sơn nhất, có đo nối với mạng lưới trọng lực quốc tế.

Ở miền Bắc nước ta, xuất phát từ điểm gốc lấy tại sân bay Gia lâm có đo nối quốc tế, từ năm 1957 đến năm 1967 bằng các máy trọng lực tinh học thạch anh, chuyên gia Liên xô đã đo được gần 400 điểm tựa với độ chính xác 0,18 - 0,40 mgal và trên 5.300 điểm thường với độ chính xác 0,30 mgal.

Tiếp đó vào giai đoạn 1974 – 1980 với sự hỗ trợ của Liên xô, Cục đo đạc và bản đồ nhà nước đã xây dựng được mạng lưới trọng lực quốc gia trên toàn bộ lãnh thổ xuất phát từ điểm gốc đặt tại Láng (Hà nội) được đo nối vào Hệ thống trọng lực quốc tế Potsdam thông qua điểm gốc Matxcơva của Liên xô bằng máy trọng lực con lắc OVM với độ chính xác 0,04 mgal. Mạng lưới đã đo gồm 25 điểm hạng I với sai số 0,03 mgal và 148 điểm hạng II với sai số 0,04 mgal. Không những thế, còn xây dựng được hai đường đáy kiểm định là: Vĩnh yên - Tam đảo và Vũng tàu - TP Hồ Chí Minh. Thiết bị được sử dụng là máy trọng lực tinh học thạch anh loại GAG-2, đo theo nguyên tắc tương đối. Công tác đo trọng lực trên lãnh thổ nước ta còn được nhiều cơ quan và đơn vị khác thực hiện, như: Tổng cục địa chất (1975-1980), Tổng cục dầu mỏ và khí đốt (1976 – 1979), Viện khoa học Việt nam (1978 – 1980), Cục địa chất và khoáng sản Việt nam (1985 – 2001), Liên đoàn vật lý địa chất (1997 –

2006). Kết quả là trên phần đất liền đã đo được trên 2.000 điểm tựa với độ chính xác 0,04 - 0,10 mgal và trên 73.000 điểm thường với độ chính xác 0,10 - 0,20 mgal. Thiết bị đo chủ yếu là các máy trọng lực tĩnh học thạch anh do Liên xô (LB Nga) chế tạo, như: GNUK-B, GNUK-C, GR-K2; Về sau có thêm máy của Mỹ, như: Z - 400.

Gần đây, với mục đích hiện đại hoá mạng lưới trọng lực của đất nước nhằm đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của nhiều ngành khoa học-kỹ thuật, kinh tế và an ninh-quốc phòng, Viện khoa học đo đạc và bản đồ thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường với sự hợp tác của LB Nga đã xây dựng được mạng lưới gồm 11 điểm trọng lực tuyệt đối đo bằng phương pháp đạn đạo hiện đại với máy GBL có độ chính xác cao nhất có thể đạt tới hiện nay là 0,005 mgal.

Trên phạm vi lãnh hải nước ta, để phục vụ cho mục đích thăm dò và khai thác dầu khí, các dạng công tác địa vật lý khác nhau trong đó có đo trọng lực biển cũng đã được tiến hành trong khuôn khổ các hợp đồng với một số công ty nước ngoài. Kết quả là trên các vùng biển khác nhau cũng đã có các điểm trọng lực được bố trí ở dạng tuyến với mật độ khá cao trên tuyến và khoảng cách vừa phải giữa các tuyến.

Cùng với giá trị trọng lực nhận được theo kết quả đo ngoài thực địa, người ta còn tính giá trị trọng lực chuẩn và một số số hiệu chỉnh để từ đó tính ra giá trị dị thường trọng lực cho mỗi điểm trọng lực. Các điểm trọng lực với giá trị tọa độ tương ứng được đưa lên bản đồ theo tỉ lệ chọn trước. Từ các điểm đó giá trị dị thường trọng lực được nội suy cho các điểm nằm xen kẽ giữa chúng, và các điểm có giá trị dị thường bằng nhau được nối lại bằng đường cong uốn lượn tương tự như đường đồng mức hay đường bình độ trên bản đồ địa hình. Các đường cong đó được gọi là *đường đẳng dị*. Có hai loại dị thường trọng lực thường được sử dụng, đó là dị thường trọng lực chân không và dị thường trọng lực Bouguer. Tương ứng, ta có *bản đồ dị thường trọng lực chân không* và *bản đồ dị thường trọng lực Bouguer*. Dựa vào mật độ điểm trọng lực và độ chính xác của giá trị dị thường, người ta thành lập bản đồ dị thường trọng lực (gọi tắt là bản đồ trọng lực) với các tỉ lệ khác nhau. Ở nước ta, trên phạm vi toàn quốc đã có bản đồ trọng lực chân không và bản đồ trọng lực Bouguer tỉ lệ 1/500.000, ở vùng đồng bằng Bắc bộ và đồng bằng Nam bộ – có tỉ lệ 1/200.000, còn ở nhiều khu vực nhỏ lẻ khác nhau – có đến tỉ lệ 1/50.000 và lớn hơn.

5.5. Mạng lưới quan trắc vệ tinh

5.5.1. Lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh

Trong phương pháp đo góc-cạnh truyền thống, để thực hiện đo ngắm giữa các điểm trên mặt đất, cần phải bảo đảm điều kiện thông hướng. Hạn chế chủ yếu của phương pháp đo góc-cạnh trên mặt đất là chỉ có thể thực hiện đo ngắm trong một khoảng cách nhất định không quá vài chục km, công tác đo ngắm phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện khí tượng, vì thế không thể xây dựng được các mạng lưới cạnh dài. Tích lũy sai số trong các mạng lưới cạnh ngắn khi chuyển tọa độ đi xa sẽ làm giảm đáng kể độ chính xác của lưới.

Ngay từ cuối thế kỷ 18 đầu thế kỷ 19, các nhà khoa học như L. Euler (1707-1783) và P.S. Laplace đã đưa ra phương pháp quan sát vệ tinh tự nhiên của trái đất là Mặt Trăng phục vụ đo đạc trên khoảng cách dài. Năm 1884, bằng quan sát Mặt Trăng, F.R.Helmert đã tính ra được độ dẹt của Trái đất là $f=1:297,8$. Tuy vậy, do Mặt Trăng ở quá xa Trái đất và mục tiêu đo ngắm là Mặt Trăng lại khá to do đó độ chính xác của các phép đo không cao.

Từ những năm 1950, người ta đã tìm kiếm giải pháp để thực hiện được các phép đo mặt đất trên khoảng cách xa hơn như phương pháp tam giác động, phương pháp đo khoảng cách Radio giữa hai điểm bằng máy bay trong kỹ thuật Shoran, Hiran vv... Các phương pháp này cũng còn nhiều nhược điểm, khiến ứng dụng thực tế của chúng bị hạn chế.

Tháng 10 năm 1957, vệ tinh đầu tiên của Liên Xô mang tên “Sputnik-1” được phóng lên quỹ đạo của trái đất. Từ đó đã mở ra thời kỳ ứng dụng vệ tinh nhân tạo vào các lĩnh vực khác nhau, trong đó có ứng dụng vệ tinh trong định vị và dẫn đường. Cũng từ thời kỳ này, phương pháp trắc địa vệ tinh đã phát triển mạnh mẽ về phương diện lý thuyết và thực tiễn. Trắc địa vệ tinh trở thành một bộ phận quan trọng của trắc địa cao cấp.

Có thể điểm qua một số sự kiện quan trọng liên đánh dấu bước phát triển ban đầu của trắc địa vệ tinh như sau:

Bảng 5.1. Các sự kiện liên quan đến lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh

Năm	Sự kiện
1957	Phóng vệ tinh nhân tạo đầu tiên SPUTNIK-1

1958	Xác định độ dẹt cực trái đất bằng số liệu vệ tinh ($f=1/298,3$)
1958	Phóng vệ tinh nhân tạo EXPLORER-1
1959	Hàm điều hòa đối bậc 3 (Xác định trái đất có hình dạng quả lê)
1959	Lý thuyết chuyển động của vệ tinh nhân tạo
1960	Phóng vệ tinh nhân tạo TRANSIT-1B
1960	Phóng vệ tinh nhân tạo ECHO-1
1960	Lý thuyết quỹ đạo vệ tinh (Kaula)
1962	Phóng vệ tinh nhân tạo ANNA-1B
1962	Kết nối trục địa giữa Pháp và Algeri

Các giai đoạn phát triển của trắc địa vệ tinh được phân chia như sau:

1. Từ 1958 đến khoảng 1970

Phát triển các phương pháp cơ bản trong quan trắc vệ tinh, tính toán và phân tích quỹ đạo vệ tinh. Trong thời kỳ này, phương pháp quang học và chụp ảnh là phương pháp được áp dụng chủ yếu để đo hướng đến vệ tinh. Kết quả quan sát vệ tinh đã xác định được các hệ số của hàm điều hòa thế trọng trường trái đất, nhờ đó đã công bố được mô hình trái đất đầu tiên.

2. Từ 1970 đến khoảng 1980

Đây là giai đoạn thực hiện các dự án khoa học. Người ta đã đưa ra các kỹ thuật mới để quan sát vệ tinh nhân tạo, trong đó có phương pháp đo khoảng cách bằng laser đến vệ tinh và đến Mặt Trăng, phương pháp đo cao từ vệ tinh (*Altimetry*). Trong thời kỳ này, Mỹ đã xây dựng hệ thống định vị toàn cầu TRANSIT dựa trên nguyên lý định vị Doppler, còn Liên xô có hệ thống tương tự mang tên TSIKADA. Đã công bố một số mô hình trọng trường trái đất nâng cao như GEM 10, GRIM. Độ chính xác quan sát vệ tinh được nâng cao nhờ có xét đến các hiện tượng địa động như chuyển động quay của trái đất, chuyển dịch cực trái đất, biến dạng vỏ trái đất. Trong thời kỳ này kỹ thuật quan sát Doppler được áp dụng rộng rãi trong trắc địa.

3. Từ 1980 đến khoảng 1990

Đây là giai đoạn ứng dụng mạnh mẽ kỹ thuật vệ tinh trong trắc địa cao cấp, trong địa động học, trong đo đạc. Trong thời gian này, sự phát triển của trắc địa vệ tinh đi theo 2 hướng chủ yếu sau:

- Hướng thứ nhất mở rộng các ứng dụng của quan trắc vệ tinh. Các phương pháp đo đạc bằng vệ tinh được ứng dụng rộng rãi để thay thế các phương pháp đo đạc truyền thống. Cụ thể là các ứng dụng của công nghệ GPS trong thời gian này đã giải quyết có hiệu quả nhiều nhiệm vụ khác nhau của công tác trắc địa-bản đồ.

- Hướng thứ hai là đi vào nghiên cứu nâng cao độ chính xác định vị vệ tinh. Nhờ đó phương pháp trắc địa vệ tinh đã thay thế phương pháp thiên văn truyền thống trong giám sát chuyển dịch cực trái đất và chuyển động quay của trái đất. Bằng quan trắc vệ tinh, người ta đã đo đạc xác định được biến dạng vỏ trái đất trên quy mô toàn cầu.

4. Từ 1990 đến khoảng 2000

Đây là thời kỳ phát triển các dịch vụ trạm thường xuyên quốc gia và quốc tế. Trong thời gian này, các hoạt động của IERS và IGS dựa trên mạng lưới các trạm quan trắc thường trực bằng các kỹ thuật đo đạc không gian chính xác như VLBI, LLR, SLR, GPS, DORIS đã cung cấp các thông số định hướng trái đất với độ chính xác cao, nhờ đó đã xây dựng được khung quy chiếu sao quốc tế (ICRF) và khung quy chiếu trái đất quốc tế (ITRF) với độ chính xác cao. Trong thời gian này, số trạm IGS thường trực trên toàn cầu đã lên tới 300.

Cũng trong thời gian này, nhiều quốc gia đã xây dựng hệ thống trạm quan sát liên tục CORS như hệ thống trạm CORS của Mỹ, CACS của Canada và SAPOS của CHLB Đức vv...

5. Từ năm 2000 trở lại đây

Sau hơn 40 năm phát triển của trắc địa vệ tinh, từ năm 2000 kỹ thuật này tiếp tục được phát triển. Độ chính xác của các lời giải không gian, thời gian được nâng cao hơn. Trắc địa vệ tinh đã mở rộng ứng dụng khoa học và thực tiễn sang các lĩnh vực mới. Trong thời gian này phải kể đến một số thành tựu sau:

- Đưa các vệ tinh CHAMP, GRACE và GOCE lên quỹ đạo phục vụ quan sát trường trọng lực trái đất với độ phân giải cao.
- Tiếp tục nâng cấp hệ thống vệ tinh đạo hàng toàn cầu GNSS với các vệ tinh GPS thế hệ mới thuộc khối IIR, IIF, các vệ tinh GLONASS-M, GLONASS-K và các vệ tinh thử nghiệm của hệ thống GALILEO.
- Nâng cao độ chính xác quan sát trái đất nhờ công nghệ rada vệ tinh độ phân giải cao SAR.
- Xây dựng các hệ thống giám sát thường trực về tai biến tự nhiên và quan trắc môi trường
- Phát triển tích hợp các công nghệ trắc địa không gian di chuyển được (TIGO) để xây dựng các hệ thống giám sát địa động lực.

Lịch sử phát triển của trắc địa vệ tinh đã trải qua 2 thời kỳ công nghệ, đó là thời kỳ sử dụng các vệ tinh thụ động để giải quyết bài toán định vị theo *phương pháp hình học* và thời kỳ sử dụng các vệ tinh chủ động để giải quyết bài toán định vị theo *phương pháp động học*.

Ưu điểm cơ bản của trắc địa vệ tinh so với phương pháp đo góc cạnh truyền thống là:

- Bằng quan sát vệ tinh, có thể liên kết các điểm cách xa nhau hàng ngàn kilômét để tạo thành mạng lưới trắc địa mà không cần thông hướng giữa các điểm đó.

- Trong nguyên lý động học, đã giải quyết được vấn đề định vị tuyệt đối tức thời, nhờ đó định vị vệ tinh đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Trong nguyên lý này, nhờ hệ thống GPS người ta đã xây dựng phương pháp quỹ đạo, trong đó sử dụng vệ tinh như bộ cảm (*sensor*) để nghiên cứu trọng trường và không gian xung quanh trái đất.

5.5.2. Các hệ thống định vị vệ tinh

1. Hệ thống TRANSIT

Từ năm 1959, Hải quân Mỹ đã bắt tay vào thiết kế và hình thành hệ thống đạo hàng vệ tinh TRANSIT, chính vì thế hệ thống này còn được gọi là Hệ thống vệ tinh dẫn đường hải quân. Hệ thống TRANSIT gồm từ 4 đến 6 vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo cách mặt đất khoảng 1000km. Chu kỳ chuyển động của vệ tinh khoảng 105 phút. Góc nghiêng (i) của mặt phẳng quỹ đạo xấp xỉ 90° , như vậy các vệ tinh chuyển động gần như theo hướng đường kinh tuyến (hình 5.29). Hệ thống đạo hàng vệ tinh TRANSIT là hệ thống hoạt động dựa trên nguyên lý đo hiệu khoảng cách theo hiệu ứng Doppler. Vệ tinh TRANSIT chuyển động ở quỹ đạo thấp do đó hiệu khoảng cách xác định dựa vào phương trình quan trắc Doppler sẽ chính xác hơn, song ảnh hưởng nhiều của trọng trường trái đất đến quỹ đạo vệ tinh lại phức tạp hơn. Độ chính xác đo biến đổi khoảng cách bằng hệ thống Doppler có thể đạt cỡ 0,03 m/s. Trong thời gian này Liên xô cũng xây dựng hệ thống định vị vệ tinh TSICADA có nguyên lý hoạt động tương tự như TRANSIT.

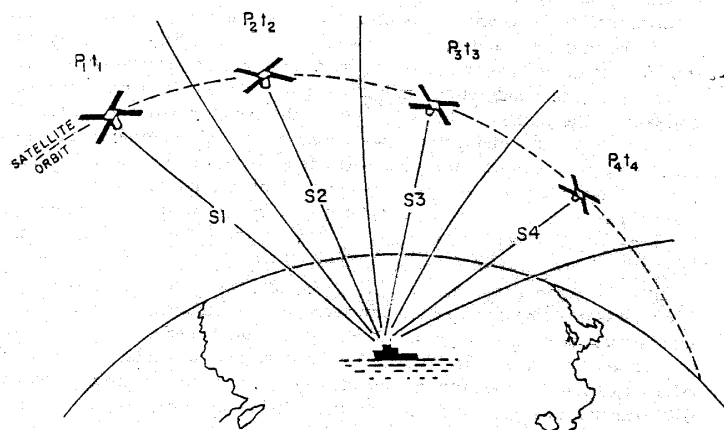


Hình 5.29. Các vệ tinh TRANSIT trên quỹ đạo

Hệ thống TRANSIT và TSICADA được coi là những hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu đầu tiên, là bước đi ban đầu để có được các hệ thống định vị vệ tinh hoàn hảo hơn là GPS và GLONASS như hiện nay.

Do vệ tinh TRANSIT chuyển động trên quỹ đạo thấp, chu kỳ xấp xỉ 105 phút, do đó thời gian quan sát liên tục một vệ tinh TRANSIT kéo dài trong khoảng 15 đến 20 phút. TRANSIT sử dụng 2 tần số sóng tải Ổn định là 150MHz và 400MHz.

Dựa trên kết quả quan sát một vệ tinh trên quỹ đạo tại các thời điểm khác nhau $t_1, t_2, t_3 \dots$, sẽ xác định được hiệu khoảng cách từ vệ tinh đến điểm quan sát, từ đó xác định được vị trí của điểm quan sát. Nguyên lý định vị của hệ thống TRANSIT thể hiện trên hình 5.30.



Hình 5.30. Nguyên lý định vị của hệ thống TRANSIT

Các vệ tinh TRANSIT phát đi lịch vệ tinh quảng bá phục vụ cho định vị tức thời. Ngoài ra TRANSIT còn có thể sử dụng lịch vệ tinh chính xác. Lịch vệ tinh được

thành lập dựa trên 4 trạm quan sát của hệ thống đặt tại Maine, Minnesota, California và Hawaii. Để xác định được quỹ đạo vệ tinh chính xác, đòi hỏi phải có dữ liệu về trường trọng lực toàn cầu. Vào những năm 1960, độ chính xác quỹ đạo vệ tinh TRANSIT đạt khoảng 100m đến 1000m, nhưng vào những năm 1980, độ chính xác đã được nâng lên trong khoảng từ 1m đến 10m.

Phương pháp quan sát vệ tinh bằng hiệu ứng Doppler đã được sử dụng khá rộng rãi do thiết bị quan sát đơn giản, gọn nhẹ, đồng thời vẫn bảo đảm độ chính xác yêu cầu trong công tác dẫn đường trên biển. Một ưu điểm của định vị theo nguyên lý Doppler là không cần yêu cầu quá cao về độ chính xác về thời gian. Với mục đích dẫn đường, độ chính xác định vị bằng hệ thống này ở chế độ tức thời đạt cỡ ± 200 m.

Với mục đích trắc địa, hệ thống TRANSIT có thể cho phép định vị với độ chính xác cỡ 0,5 m - 1m, nếu quan sát trong vài ngày và sử dụng lịch vệ tinh chính xác. Bằng kỹ thuật Doppler, trong các năm 1987-1988 ở Việt Nam đã xây dựng mạng lưới Doppler vệ tinh gồm 14 điểm phân bố trên cả nước.

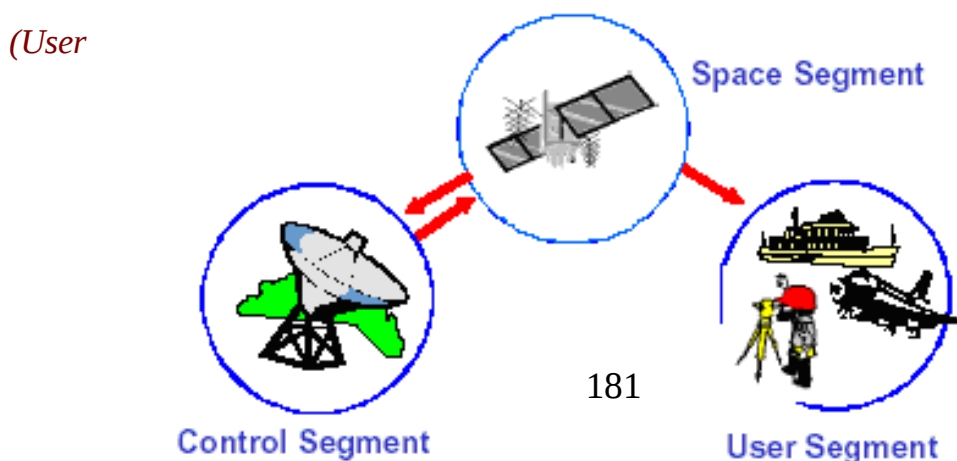
Hệ thống TRANSIT đã ngừng hoạt động từ 31 tháng 12 năm 1996, nhưng kỹ thuật Doppler vẫn đang được sử dụng trong hệ thống DORIS của Pháp. Ngay trong hệ thống GPS người ta vẫn sử dụng cả trị đo Doppler làm một nguồn số liệu đầu vào cho bài toán định vị.

2. Hệ thống định vị toàn cầu GPS

Trong quá trình vận hành hệ thống TRANSIT, một số nhược điểm của hệ thống này đã sớm được chỉ ra. Ngay từ năm 1970 Bộ quốc phòng Mỹ đã đưa ra đề án xây dựng một hệ thống định vị toàn cầu khác có những ưu điểm vượt trội so với hệ thống TRANSIT, đó là hệ thống định vị toàn cầu NAVSTAR GPS.

Hệ thống định vị toàn cầu GPS bao gồm 3 bộ phận cấu thành (hình 5.31), đó là:

đoạn (phần) không gian (*Space Segment*), đoạn điều khiển (*Control segment*) và đoạn sử dụng (*User segment*)



Hình 5.31. Cấu trúc Hệ thống định vị toàn cầu GPS

a. Đoạn không gian: bao gồm các vệ tinh chuyển động trên 6 mặt phẳng quỹ đạo, ở độ cao khoảng 20200km. Mặt phẳng quỹ đạo nghiêng với mặt phẳng xích đạo trái đất một góc 55 độ. Vệ tinh GPS chuyển động trên quỹ đạo gần như tròn với chu kỳ là 718 phút. Theo thiết kế, hệ thống gồm có 24 vệ tinh, mỗi quỹ đạo có 4 vệ tinh. Với sự phân bố vệ tinh trên quỹ đạo như vậy, trong bất kỳ thời gian nào và ở bất kỳ vị trí quan trắc nào trên Trái đất cũng có thể quan trắc được ít nhất 4 vệ tinh GPS.

Các vệ tinh GPS thế hệ đầu có trọng lượng khoảng 1600kg khi phóng và khoảng 800kg trên quỹ đạo. Theo thiết kế tuổi thọ của các vệ tinh khoảng 7,5 năm. Năng lượng cung cấp cho hoạt động của các thiết bị trên vệ tinh là năng lượng điện cấp từ pin mặt trời .

Tất cả các vệ tinh GPS đều có thiết bị tạo dao động với tần số chuẩn cơ sở là $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$. Tần số này là tần số chuẩn của đồng hồ nguyên tử với độ chính xác cỡ 10^{-12} . Từ tần số cơ sở f_0 thiết bị sẽ tạo ra hai sóng tải L1 và L2 với tần số tương ứng:

$$f_1 = 154f_0 = 1575.42 \text{ MHz} , \text{ có bước sóng } \lambda_1 = 19,032 \text{ cm}.$$

$$f_2 = 120f_0 = 1227.60 \text{ MHz. có bước sóng } \lambda_2 = 24,42 \text{ cm}$$

Với các sóng tải trên, các vệ tinh GPS sử dụng các mã (code) sau:

-C/A code : Là code thông dụng (code thô) điều biến sóng tải L1, từ năm 2005 các vệ tinh II-RM cho phép điều biến sóng tải L2 (gọi là L2C).

-P-code : là code chính xác, điều biến sóng tải L1 và L2.

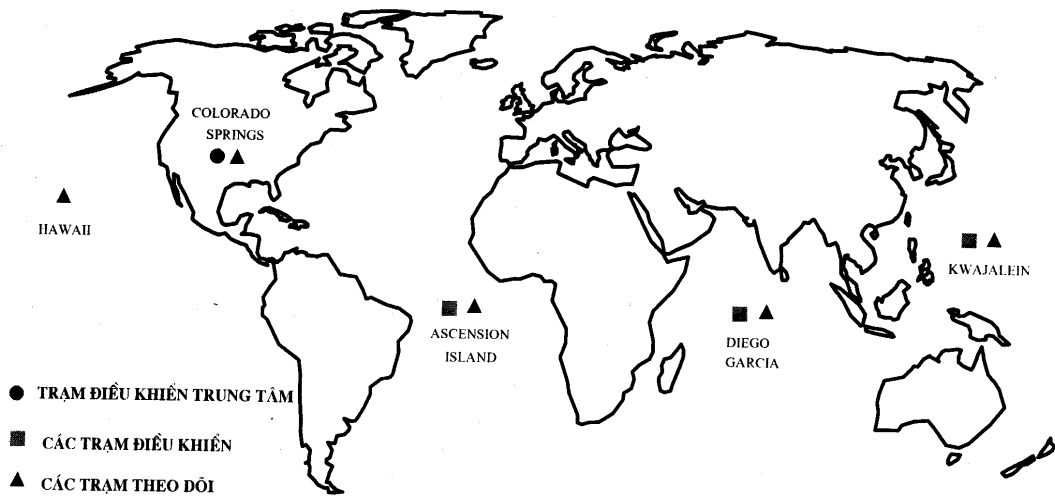
-Y code : Là code bí mật, được sử dụng để che dấu P-code, chỉ cho phép sử dụng P-code trong quân đội Mỹ.

Ngày 22 tháng 02 năm 1978 vệ tinh đầu tiên của hệ thống định vị toàn cầu GPS đã được đưa lên quỹ đạo. Chương trình đưa các vệ tinh GPS lên quỹ đạo đã được chia làm 3 khối (BLOCK). Khối I, II, II-A, II-R, II-F.

Từ năm 2008, các vệ tinh khối II-F có khả năng phát thêm sóng tải L5 với tần số $f_5=115f_0 = 1176,45 \text{ MHz}$. có bước sóng $\lambda_5=25,5\text{cm}$.

Trước năm 2000, Mỹ thực thi chính sách gây nhiễu cố ý SA để làm giảm độ chính xác định vị cho các máy thu dân sự, nhưng từ tháng 5/2000, Mỹ đã chính thức bỏ nhiễu cố ý SA.

b. Đoạn điều khiển: được thiết lập để duy trì hoạt động của toàn bộ hệ thống định vị này. Trạm điều khiển trung tâm được đặt tại căn cứ không quân của Mỹ gần Colorado springs. Trạm điều khiển trung tâm này có nhiệm vụ chủ yếu trong đoạn điều khiển, cập nhật thông tin đạo hàng truyền đi từ vệ tinh. Cùng phối hợp hoạt động với trạm điều khiển trung tâm là hệ thống hoạt động kiểm tra bao gồm các trạm theo dõi phân bố quanh Trái đất (hình 5.32), đó là các trạm Colorado Springs, Hawaii, Assension Islands, Diego Garcia, Kwajalein. Các trạm này theo dõi liên tục tất cả các vệ tinh có thể quan sát được. Các số liệu quan sát ở các trạm này được chuyển về trạm điều khiển trung tâm, tại đây việc tính toán số liệu chung được thực hiện và cuối cùng các thông tin đạo hàng cập nhật được chuyển lên các vệ tinh, để sau đó từ vệ tinh chuyển đến các máy thu của người sử dụng .



Hình 5.32 Các trạm điều khiển của hệ thống GPS

Như vậy vai trò của đoạn điều khiển rất quan trọng vì nó không chỉ theo dõi các vệ tinh mà còn liên tục cập nhật để chính xác hoá các thông tin đạo hàng, bảo đảm độ chính xác cần thiết cho công tác định vị bằng hệ thống GPS.

Hiện nay mạng lưới theo dõi vệ tinh GPS đã được phát triển thêm tại một số nước khác như Argentina, Australia, New Zealand, Brazil, Ecuador, Anh, Cộng hòa Nam Phi, Trung Quốc v.v.

c. Đoạn sử dụng : bao gồm các máy thu GPS, máy hoạt động để thu tín hiệu vệ tinh GPS phục vụ cho các mục đích khác nhau. Trong việc khai thác sử dụng công nghệ GPS, người ta có thể kết nối các thiết bị thu tín hiệu GPS với một số thiết bị thu phát khác để thực hiện các kỹ thuật đo động thời gian thực hoặc đo GPS vi phân.

Trước năm 1980 hệ thống GPS chỉ được dùng cho mục đích quân sự, từ năm 1980 chính phủ Mỹ cho phép sử dụng trong dân sự. Ngoài chức năng định vị dẫn đường cho các phương tiện trên không, trên biển, trên đất liền, GPS còn cung cấp khả năng đo đạc chính xác phục vụ công tác trắc địa.

Hiện nay công nghệ GPS đã trở thành công nghệ đo đạc chủ yếu trong xây dựng lưới tọa độ quốc gia, kể cả các mạng lưới chêm dầy. Bằng công nghệ GPS phối hợp với các kỹ thuật đo đạc không gian hiện đại như VLBI, SLR, LLR... tổ chức IGS đã phát triển mạng lưới quan trắc thường trực có trên 500 trạm phân bố trên toàn cầu phục vụ nghiên cứu địa động.

Từ năm 2000 trở lại đây, nhiều nước trên thế giới đã thiết lập hệ thống trạm làm việc liên tục CORS, hình thành dạng lưới chủ động, phục vụ cho nhiều mục đích khác nhau như trắc địa-bản đồ, nghiên cứu địa động, nghiên cứu khí quyển v.v...

3. Hệ thống định vị toàn cầu GLONASS

Từ năm 1976, Bộ quốc phòng Liên Xô đã nghiên cứu thiết kế xây dựng hệ thống định vị toàn cầu GLONASS. Ngày 12 tháng 10 năm 1982 vệ tinh đầu tiên của GLONASS được phóng lên quỹ đạo. Hiện nay hệ thống GLONASS tiếp tục được duy trì và phát triển dưới sự quản lý, bảo trì của Bộ quốc phòng Nga. Tương tự như hệ thống GPS, GLONASS là một hệ thống định vị toàn cầu quân sự.

Hệ thống GLONASS cũng được cấu thành bởi 3 đoạn là đoạn không gian, đoạn điều khiển và đoạn sử dụng. GLONASS sử dụng hệ thống tọa độ PZ-90 và hệ thống giờ UTC(SU).

a. Đoạn không gian: theo thiết kế gồm 24 vệ tinh hoạt động trên 3 quỹ đạo gần tròn. Trên mỗi quỹ đạo có 8 vệ tinh. Góc nghiêng (i) của các mặt phẳng quỹ đạo với mặt phẳng xích đạo là $64^{\circ},8$. Các mặt phẳng quỹ đạo được phân bố đều cách nhau 120° trên Xích đạo. Độ cao của các vệ tinh là 19100 km, do đó chu kỳ của vệ tinh là 11h 15 phút. Trọng lượng vệ tinh xấp xỉ 1400kg, 2 cánh vệ tinh là pin mặt trời, có diện tích trên $23m^2$. Thời kỳ đầu, tuổi thọ của các vệ tinh được thiết kế khoảng 3 năm. Hiện nay tuổi thọ của các vệ tinh GLONASS thế hệ mới đã kéo dài khoảng 7-10 năm. Trên hình 5.33 là vệ tinh GLONASS-K. Dựa trên tần số chuẩn của đồng hồ nguyên tử, các vệ tinh GLONASS phát tín hiệu L1 và L2 có tần số khác nhau được xác định theo công thức:

$$f_{L1}^k = 1602MHz + k.0,5625MHz$$

$$f_{L2}^k = 1246MHz + k.0,4375MHz$$

trong đó k là số hiệu vệ tinh ($k=1,2...24$).



Hình 5.33. Vệ tinh GLONASS-K

Tín hiệu GLONASS cũng được điều biến theo code tựa ngẫu nhiên để làm cơ sở cho đo khoảng cách giả. Hệ thống GLONASS cũng sử dụng C/A code có tần số 0,511 MHz, và sử dụng P-code có tần số 5,11 MHz làm code cơ sở trong đo khoảng cách giả, do đó được gọi là code khoảng cách.

Hệ thống GLONASS sử dụng kỹ thuật phân chia đa tần số để thiết bị thu tiếp nhận tín hiệu, kỹ thuật là FDMA, trong khi đó hệ thống GPS sử dụng kỹ thuật phân chia đa code để thiết bị thu tiếp nhận tín hiệu - CDMA. Các sóng tải được điều biến bởi các code và nhờ đó thông tin được chuyển tới máy thu.

Từ năm 2009, các vệ tinh GLONASS-K có khả năng phát thêm tín hiệu L3. Theo chương trình hiện đại hoá hệ thống GLONASS, các vệ tinh thế hệ mới có thể sử dụng cả kỹ thuật phân chia đa code CDMA tương tự như hệ thống GPS.

Tính đến tháng 9/2007, có 11 vệ tinh GLONASS hoạt động trên quỹ đạo, trong đó có 7 vệ tinh GLONASS-M và 4 vệ tinh GLONASS (cũ). Theo kế hoạch, đến năm 2010 sẽ đủ 24 vệ tinh của hệ thống GLONASS, trong đó có các vệ tinh GLONASS-K.

b. Đoạn điều khiển: gồm 5 trạm quan sát đặt trên lãnh thổ Nga, được liên kết chung với trạm điều khiển trung tâm. Từ năm 1999, Nga đã phối hợp với một số nước khác để tăng cường thêm trạm quan sát vệ tinh GLONASS đặt ở ngoài nước Nga.

Vai trò của đoạn điều khiển mặt đất có các nhiệm vụ sau:

- giám sát hoạt động của các vệ tinh trên quỹ đạo
- hiệu chỉnh liên tục các tham số quỹ đạo vệ tinh
- tạo ra và chuyển lên vệ tinh các chương trình được gán nhãn thời gian, các lệnh điều khiển và các thông tin chuyên dụng.

c. Đoạn sử dụng: gồm các máy thu tín hiệu vệ tinh GLONASS. Nhóm máy phục vụ công tác đạo hàng sử dụng L1, C/A code và pha sóng tải. Nhóm máy phục vụ công tác trắc địa sử dụng L1: C/A code, P-code, pha sóng tải và L2: P code và pha sóng tải. Một số hãng chế tạo thiết bị định vị đã chế tạo máy thu GPS kết hợp GLONASS như Ashtech Z-18 (Mỹ), GB-1000 của hãng Topcon (Nhật Bản), máy thu OEMV-1G, OEMV-2, OEMV-3 là loại máy thu tích hợp công nghệ GPS và GLONASS.

Định vị bằng vệ tinh GLONASS được thực hiện trong hệ PZ-90 và trong hệ thống thời gian UTC(SU), và sử dụng giờ Matxcơva (MT=UTC+3 h từ 0h ngày 1 tháng 1 năm 1983).

Hệ thống tọa độ PZ-90 có các tham số sau:

- Ellipsoid có kích thước: $a=6378136\text{m}$ và độ dẹt cực: $f=1/298,257$
- Hằng số trọng trường tổng hợp: $GM = 398600,44 \cdot 10^9 \text{m}^3/\text{s}^2$
- Tốc độ quay của Trái đất: $\omega = 7292115 \cdot 10^{-6} \text{rad/s}$
- Hệ số hàm điều hòa bậc 2, $j_2 = -1082,63 \cdot 10^{-6}$

Hệ quy chiếu PZ-90-02 được xác định chính xác. Sai lệch gốc tọa độ giữa PZ-90-02 với ITRF-2000 khoảng vài chục cm.

4. Hệ thống định vị toàn cầu GALILEO

Từ năm 2003, các quốc gia trong Cộng đồng Châu Âu (EU) đã đưa ra dự án thiết lập riêng một hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu có tên là GALILEO. Hệ thống này được xây dựng dựa trên kinh nghiệm xây dựng các hệ thống GPS và GLONASS. Tương tự như các hệ thống GPS và GLONASS, hệ thống GALILEO cũng bao gồm 3 thành phần cấu thành đó là đoạn không gian, đoạn mặt đất và đoạn sử dụng:

a. Đoạn không gian: theo thiết kế, gồm 30 vệ tinh phân bố trên 3 mặt phẳng quỹ đạo, trong đó có 27 vệ tinh hoạt động và 3 vệ tinh dự phòng. Như vậy trên mỗi quỹ đạo sẽ có 1 vệ tinh dự phòng và 9 vệ tinh hoạt động phân bố cách đều nhau trên quỹ đạo (cách 40°). Các mặt phẳng quỹ đạo được phân bố cách đều nhau 120° . Các mặt phẳng quỹ đạo có góc nghiêng là 56° so với mặt phẳng xích đạo. Với góc nghiêng như vậy, hệ thống sẽ phục vụ tốt cho vùng có độ vĩ cao (đến 75°).

Tất cả các quỹ đạo vệ tinh có dạng gần như hình tròn. Vệ tinh chuyển động ở độ cao 23616 km so với bề mặt Trái đất (tức là bán kính lớn hơn 29994 km) và chu kỳ chuyển động 1 vòng quỹ đạo hết 14h 21 phút. Các vệ tinh GALILEO có trọng lượng khoảng khoảng 650 kg và có hệ thống pin mặt trời tạo năng lượng 1,5 KW (hình 5.34). Mỗi vệ tinh có 2 đồng hồ nguyên tử rubin và 2 đồng hồ nguyên tử hydro để tạo ra thời gian và tần số chuẩn tín hiệu cùng với gương phản chiếu laser phục vụ đo khoảng cách bằng máy laser. Các vệ tinh GALILEO sử dụng tín hiệu ở các băng tần như sau:

E5a (L5) có tần số là 1176,45MHz

E5b có tần số 1207,14 MHz

E6 có tần số 1278,75MHz

E2 (L1) có tần số 1575,42MHz.



Hình 5.34. Vệ tinh GALILEO

Có thể nhận thấy rằng hệ thống GALILEO và hệ thống GPS sử dụng chung một số tần số sóng tải. Hiện nay đã có một vài vệ tinh GALILEO được đưa lên quỹ đạo triển khai giai đoạn thí nghiệm là GIOVE-A (2005) và GIOVE-B (2006).

b. Đoạn mặt đất: bao gồm một số trạm mặt đất nằm trên lãnh thổ Châu Âu và cả các trạm ngoài Châu Âu, có chức năng truyền thông tin và kiểm tra. Đây là thành phần cần thiết để gửi và nhận thông tin từ các vệ tinh GALILEO, phục vụ kiểm tra và điều khiển. Bằng cách này có thể tạo ra các thông tin dịch vụ như số liệu tích hợp (nâng cao độ chính xác xác định tọa độ), dịch vụ cứu hộ cũng như các thông tin thương mại khác. Các trạm kiểm tra vệ tinh bổ sung sẽ đóng vai trò như các trạm giám sát và kiểm tra đối với mỗi vệ tinh. Đoạn mặt đất có các nhiệm vụ sau:

- Điều khiển và kiểm tra các tham số đạo hàng cơ bản, xác định chính xác quỹ đạo vệ tinh và sự đồng bộ của các đồng hồ .

- Xác định và truyền phát thông qua các vệ tinh các số liệu liên quan đến việc cảnh báo (báo động) sự cố của hệ thống.

- Phát đi các thông tin đến những đơn vị thành viên và các trung tâm dịch vụ làm nhiệm vụ thương mại cũng như đến các hệ thống địa phương liên quan như COSPAS-SARSAT, làm nhiệm vụ cứu hộ và tìm kiếm.

Hệ tọa độ sử dụng trong hệ thống GALILEO sẽ là khung quy chiếu trái đất quốc tế ITRF mới nhất được công bố.

c. Đoạn sử dụng: bao gồm nhiều nhóm sử dụng với nhiều chủng loại máy thu, mà mỗi loại đòi hỏi các thông tin khác nhau. Để đáp ứng các yêu cầu sử dụng, GALILEO sẽ thoả mãn các loại dịch vụ khác nhau ở 2 mức tiêu chuẩn sau:

- Mức cơ bản miễn phí: phục vụ các công việc phổ biến tương tự như GPS trong dịch vụ SPS

- Mức đòi hỏi cơ chế: đối với các ứng dụng thương mại và chuyên nghiệp, phục vụ với độ chính xác cao và cần có thêm các dịch vụ cung cấp thông tin bổ sung.

Hệ thống GALILEO không chỉ cung cấp các dịch vụ định vị mà còn cho phép xác định thời gian chính xác.

Khi thiết kế xây dựng hệ GALILEO, người ta đã quan tâm đến vấn đề phối hợp hoạt động giữa hai hệ thống GPS-GALILEO, liên quan đến các dịch vụ sử dụng tần số sóng tải.

Tùy thuộc vào mục đích phục vụ, GALILEO cho phép định vị điểm với độ chính xác khác nhau. Độ chính xác còn phụ thuộc vào tính năng loại máy thu của người sử dụng. Độ chính xác (xác suất 95%) định vị bằng GALILEO có thể tham khảo số liệu trong bảng 5.3:

Bảng 5.3. Độ chính xác định vị của các dịch vụ của GALILEO

Dịch vụ	Độ chính xác mặt bằng		Độ chính xác độ cao		Độ chính xác thời gian
	1	2	1	2	
	tần L1	tần E5a và L1	tần L1	tần E5a và L1	
Dịch vụ mở OS	± 15 m	± 4 m	± 35 m	± 8 m	± 30 ns
Dịch vụ PRS		± 6, 5 m		± 1 2 m	± 100 ns
Dịch vụ SoL (mức độ chính xác cao)	± 4 m		± 8 m		

Để bảo đảm an toàn số liệu cho người sử dụng, hệ thống GALILEO còn có chức năng cảnh báo khi sai số định vị tuyệt đối vượt quá giới hạn nhất định. Theo chương trình đã công bố, hệ thống GALILEO sẽ hoàn tất để đưa vào hoạt động chính thức từ năm 2015.

5.5.3. Nguyên lý định vị bằng quan sát vệ tinh

Để giải quyết nhiệm vụ xác định vị trí điểm trên bề mặt Trái đất dựa vào quan sát vệ tinh, người ta đã đưa ra hai phương pháp cơ bản đó là *phương pháp hình học* và *phương pháp động học* (còn được gọi là bài toán hình học và bài toán động học). Trong phương pháp động học, bằng quan trắc vệ tinh, người ta có thể thực hiện định vị theo *nguyên tắc định vị tuyệt đối*, *nguyên tắc định vị tương đối* và *giải pháp định vị vi phân*.

1. Phương pháp hình học

Trong những năm 1960-1975, người ta đưa lên quỹ đạo một số vệ tinh nhân tạo đóng vai trò như những mục tiêu di động (trên quỹ đạo) phát sáng hoặc được chiếu sáng, nhờ đó các trạm quan sát trên mặt đất có thể ghi nhận được vị trí vệ tinh bằng chụp ảnh vệ tinh trên nền sao. Bằng cách này người ta có thể tiến hành xác định được vị trí điểm quan sát trên mặt đất mà không cần biết vị trí chính xác của vệ tinh. Các vệ tinh này được gọi là các vệ tinh thụ động, và bài toán xác định trong trường hợp này được giải quyết theo nguyên tắc hình học còn gọi là *bài toán hình học*. Các vệ tinh thụ động thường có độ cao 1000-4000 km và nói chung không được nhỏ hơn 500 km. Một số vệ tinh thụ động đã được sử dụng trong lịch sử như ECHO-1 (1960-1968), ECHO-2 (1964-1969), PAGEOS (1966-1972), EXPLORER-39 (1968), STARLETTE (1975), LAGEOS (1976). Trong bài toán hình học, dựa vào kết quả quan trắc vệ tinh thụ động, người ta đã xây dựng các mạng lưới tam giác không gian (còn gọi là tam giác vũ trụ) (hình 5.35). Các trị quan trắc có thể là các trị đo h-ướng, đo khoảng cách laser từ điểm quan sát đến vệ tinh. Sau khi bình sai mạng lưới không gian, người ta sẽ tính chuyển tọa độ cho các điểm trong mạng lưới (I,II,III...), đồng thời cũng nhận được vị trí vệ tinh (A,B..) tại thời điểm quan sát.

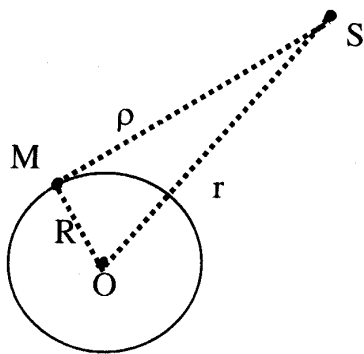
vị điểm trên mặt đất hoặc trong không gian. Có thể quan niệm là trong định vị vệ tinh theo phương pháp động học, tọa độ vệ tinh xác định trên quỹ đạo (tại thời điểm nào đó) là các số liệu gốc để từ đó xác định được vị trí các điểm quan sát trên bề mặt trái đất thông qua các trị đo từ điểm quan sát đến các vệ tinh.

Trong định vị vệ tinh, có 2 nguyên lý định vị là định vị tuyệt đối và định vị tương đối. Phương pháp định vị vi phân được đưa ra để nâng cao độ chính xác của định vị tuyệt đối.

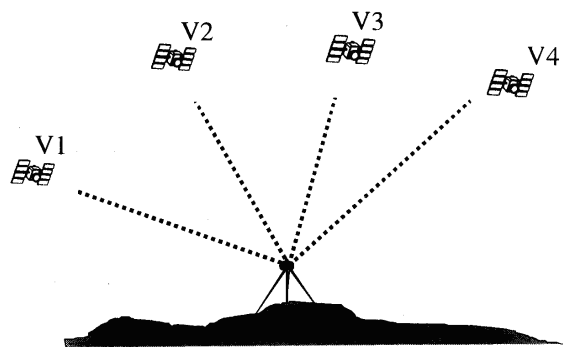
3. Nguyên lý định vị tuyệt đối

Định vị tuyệt đối là xác định vị trí tuyệt đối của điểm quan sát trong hệ tọa độ quy ước, còn định vị tương đối là xác định hiệu tọa độ (vị trí tương đối) của hai hoặc nhiều điểm quan sát trong hệ tọa độ đó.

Trên hình vẽ 5.36a trình bày nguyên tắc cơ bản của bài toán định vị tuyệt đối bằng vệ tinh, trong đó S là vị trí của vệ tinh, nhờ thu tín hiệu từ vệ tinh ta xác định được vectơ từ điểm quan sát đến vệ tinh, ký hiệu là ρ . Nếu vị trí của vệ tinh vào thời điểm quan sát đã biết thì vectơ địa tâm r hoàn toàn xác định.



Hình 5.36a Nguyên lý định vị tuyệt đối



Hình 5.36b. Định vị GPS tuyệt đối

Như vậy vị trí của điểm quan trắc M sẽ được xác định thông qua biểu thức:

$$\bar{R} = \bar{r} - \bar{\rho} \quad (5.27)$$

Từ phương trình (5.29) nếu vị trí quan sát \bar{R} đã biết, tại đó tiến hành quan trắc vệ tinh để nhận được $\bar{\rho}$, như vậy sẽ xác định được vị trí vệ tinh \bar{r} , đây chính là

nhiệm vụ của các trạm quan trắc trong đoạn điều khiển của hệ thống định vị vệ tinh.

Các hệ thống định vị vệ tinh hiện nay như GPS, GLONASS vv... đều sử dụng các vệ tinh chủ động, do đó có khả năng thực hiện định vị tuyệt đối tức thời.

Để định vị tuyệt đối, chỉ cần sử dụng một máy thu tín hiệu (hình 5.36b). Định vị tuyệt đối thường được thực hiện bằng trị đo khoảng cách giả (*Pseudorange*), với phương trình trị đo như sau:

$$\bar{R}_i^j(t) = \sqrt{[X^j(t) - X_i]^2 + [Y^j(t) - Y_i]^2 + [Z^j(t) - Z_i]^2} + c \cdot \delta_i(t) \quad (5.28)$$

trong đó :

$\bar{R}_i^j(t) = R_i^j(t) + c \cdot \delta_i(t)$ là khoảng cách giả đã hiệu chỉnh sai số đồng hồ vệ tinh.

$X^j(t), Y^j(t), Z^j(t)$ là tọa độ của vệ tinh (j) tại thời điểm định vị (t).

X_i, Y_i, Z_i là tọa độ của điểm quan sát (i).

$\delta_i(t)$ là số hiệu chỉnh đồng hồ máy thu tại thời điểm (t).

c là vận tốc truyền sóng điện từ

Cần lưu ý rằng trong phương trình (5.28) chúng ta chưa xét đến một số nguồn sai số do môi trường lan truyền sóng điện từ như ảnh hưởng của tầng điện ly và tầng đối lưu. Trong phương trình này có 4 ẩn số là tọa độ X_i, Y_i, Z_i của điểm quan sát và sai lệch đồng hồ máy thu $\delta_i(t)$. Bốn ẩn số này hoàn toàn có thể giải được nếu như đồng thời quan sát được ít nhất 4 vệ tinh (hình 5.36b). Ngay trong trường hợp máy thu di chuyển chúng ta vẫn có thể giải được bài toán này gần như tức thời nhờ bộ vi xử lý của máy thu. Trong định vị tuyệt đối, cũng có thể sử dụng pha sóng tải hoặc trị đo Doppler, tuy nhiên khi đã sử dụng phương trình trị đo pha, luôn kèm theo vấn đề phải xác định số nguyên đa trị, làm cho bài toán phức tạp hơn so với trường hợp sử dụng trị đo khoảng cách giả.

Hiện nay, không còn nhiều cố ý SA, định vị tuyệt đối có thể đạt độ chính xác cao hơn, với sai số trung phương trong khoảng từ ± 3 đến ± 10 m. Nói chung, định vị tuyệt đối ít được sử dụng cho mục đích trắc địa, chủ yếu được sử dụng trong định vị dẫn đường.

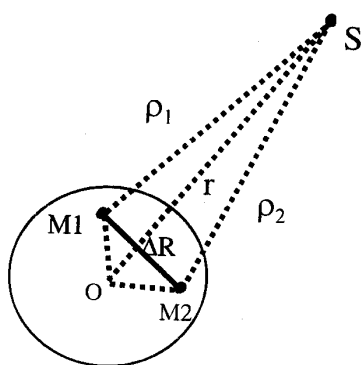
4. Nguyên lý định vị tương đối

Để định vị tương đối giữa hai điểm M_1 và M_2 trên mặt đất (hình 5.37), người ta sử dụng phương pháp đo đồng thời từ hai điểm quan trắc. Từ đó ta lập được hai phương trình tại hai điểm quan trắc như sau:

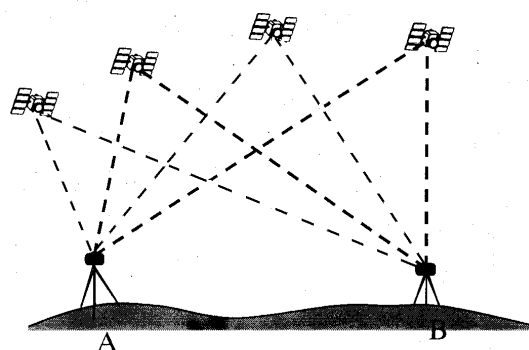
$$\begin{aligned}\bar{R}_1 &= \bar{r} - \bar{\rho}_1 \\ \bar{R}_2 &= \bar{r} - \bar{\rho}_2\end{aligned}\quad (5.29)$$

Từ hai phương trình trên ta xác định được vị trí tương đối giữa hai điểm:

$$\Delta\bar{R} = \bar{R}_1 - \bar{R}_2 = \bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1 \quad (5.30)$$



Hình 5.37. Nguyên lý định vị tương đối



Hình 5.38. Định vị GPS tương đối

???? nhiều nguồn sai số, như sai số đồng hồ, đặc biệt là sai số của vị trí vệ tinh trên quỹ đạo. Định vị tương đối đạt độ chính xác cao do đó được ứng dụng rộng rãi trong trắc địa.

Để định vị tương đối, cần có tối thiểu 2 máy thu tín hiệu đồng thời tại 2 điểm, từ đó sẽ xác định véc tơ cạnh (*baseline*) giữa 2 điểm đó (hình 5.38). Trong định vị tương đối, người ta sử dụng trị đo pha sóng tải. Phương trình trị đo pha sóng tải từ vệ tinh j đến máy thu k tại thời điểm t được thể hiện qua biểu thức:

$$\Phi_k^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_k^j(t) + f^j [\delta_k(t) - \delta^j(t)] + N_k^j \quad (5.31)$$

trong đó $\rho_k^j(t)$ là khoảng cách hình học giữa vệ tinh j và máy thu k tại đúng thời điểm t

λ là bước sóng tải (là λ_1, λ_2 tương ứng với sóng tải L1, L2)

f^j là tần số sóng tải (là f_1, f_2 ứng với sóng tải L1, L2)

$\delta_k(t)$ là sai số đồng hồ máy thu

$\delta^j(t)$ là sai số đồng hồ vệ tinh

N_k^j là số nguyên đa trị ở thời điểm thực hiện trị đo pha đầu tiên.

Trong biểu thức (5.33) (5.31) ??? chưa xét đến các nguồn sai số do tầng điện ly, tầng đối lưu, do đa đường dẫn vv...

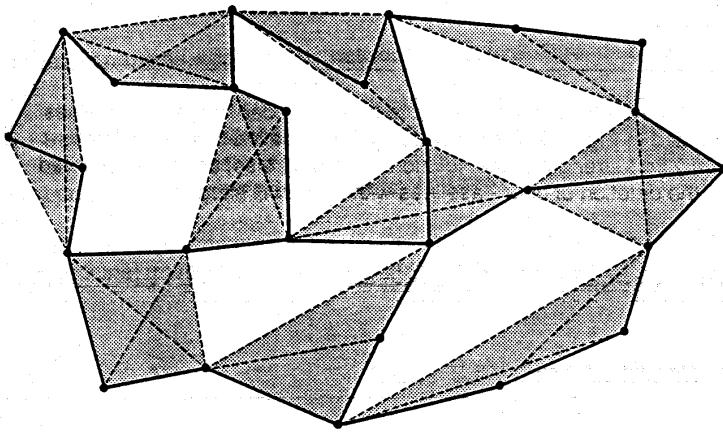
Từ các trị đo pha sóng tải, người ta thành lập các phương trình sai phân (hiệu pha) của pha sóng tải để giải các thành phần véc tơ cạnh và số nguyên đa trị, nhờ đó đã loại bỏ hoặc giảm thiểu được khá nhiều nguồn sai số, làm cho kết quả định vị tương đối rất cao.

Độ chính xác của định vị tương đối được thể hiện qua sai số xác định chiều dài cạnh giữa 2 điểm thu tín hiệu với sai số phổ biến hiện nay là $a=5mm$ và $b=1ppm$ (1 phần triệu của chiều dài đo). Trong trường hợp sử dụng máy thu chất lượng cao, thời gian thu tín hiệu dài, sử dụng lịch vệ tinh chính xác và xử lý bằng phần mềm chuyên dụng thì độ chính xác còn có thể đạt cao hơn nhiều.

Trong nguyên lý định vị tương đối, có 2 phương pháp đo là đo tĩnh và đo động. Trong đó, phương pháp đo tĩnh cho độ chính xác cao thường được áp dụng để xây dựng các mạng lưới trắc địa, phương pháp đo động có độ chính xác thấp hơn, nhưng năng suất đo đạc cao hơn thường được áp dụng trong đo vẽ thành lập bản đồ tỷ lệ lớn, đo địa chính vv...

Thành lập lưới trắc địa bằng công nghệ GPS có một số ưu điểm hơn hẳn so với công nghệ đo góc-cạnh truyền thống là không đòi hỏi thông hướng giữa các điểm đo, chính vì thế bằng công nghệ GPS có thể xây dựng lưới trắc địa với chiều dài cạnh đến hàng trăm thậm chí hàng ngàn kilômét.

Hiện nay công nghệ GPS đã được coi là công nghệ chủ yếu để thành lập các mạng lưới khống chế tọa độ nhà nước. Công nghệ GPS cũng được sử dụng để xây dựng các mạng lưới trắc địa công trình, các mạng lưới chuyên dụng phục vụ quan trắc địa động vv... Trên hình 5.39 là sơ đồ một lưới GPS với các ca đo bằng 4 máy thu.



Hình 5.39. Mạng lưới GPS với các ca đo bằng 4 máy thu

Trong phương pháp đo động, một máy thu cố định được đặt tại điểm khởi tính (biết tọa độ và độ cao) gọi là trạm cố định (trạm BASE), còn máy thứ hai là máy di động, gọi là trạm di động (trạm ROVER). Máy đặt tại trạm cố định liên tục thu tín hiệu vệ tinh, còn trạm di động có thể di chuyển liên tục (trong phương pháp đo liên tục) hay di chuyển theo kiểu bán động (trong phương pháp đo dừng và đi “stop and go”). Trong phương pháp đo động dừng và đi, thời gian dừng đo tại một điểm chỉ cần kéo dài vài giây đến vài phút, tùy thuộc vào tần suất ghi tín hiệu do người đo lựa chọn. Trong kỹ thuật đo động, đòi hỏi phải làm thủ tục khởi đo (*Initialization*) cho trạm rover.

Điều kiện để thực hiện kỹ thuật đo động là trong suốt thời gian đo, yêu cầu cả trạm cố định và trạm di động phải liên tục theo dõi đồng thời ít nhất 4 vệ tinh trở lên. Nếu như điều kiện trên không bảo đảm sẽ bị mất khởi đo, khi đó phải thực hiện lại thủ tục khởi đo.

Trong phương pháp đo động, người ta còn có 2 kỹ thuật đo là đo động xử lý sau PPK và đo động xử lý tức thời RTK. Để áp dụng kỹ thuật RTK đòi hỏi phải có thêm thiết bị truyền dữ liệu Radio Link để chuyển số liệu đo từ trạm BASE đến trạm ROVER và xử lý tính toán tọa độ ngay tại thực địa. Trong kỹ thuật RTK phải thực hiện thủ tục định chuẩn (*Calibration*), thực chất là để xác định các tham số chuyển tọa độ xác định được về hệ tọa độ thực dụng.

5. Định vị GPS vi phân

Trong định vị vệ tinh, ngoài 2 nguyên lý định vị tuyệt đối và định vị tương đối, người ta còn đưa ra giải pháp *định vị vi phân* để nâng cao độ chính xác định vị tuyệt đối. Trong định vị vi phân, người ta sử dụng máy thu tín hiệu vệ tinh tại trạm tham chiếu để xác định số cải chính vi phân và chuyển các số cải chính này đến máy định vị tuyệt đối khác bằng sóng vô tuyến.

Có 2 phương pháp xác định số cải chính vi phân là : định vị vi phân cải chính tọa độ, định vị vi phân cải chính khoảng cách giả

Trong phương pháp cải chính khoảng cách giả có thể sử dụng khoảng cách giả theo trị đo code và cũng có thể sử dụng khoảng cách giả theo trị đo pha.

Định vị GPS vi phân được ứng dụng nhiều trong đo đạc biển và trong quản lý điều hành các sân bay, bến cảng.

Hiện nay, phương pháp định vị vi phân được phát triển theo xu hướng nâng cao độ chính xác và mở rộng phạm vi ứng dụng tức là mở rộng tầm phủ sóng cải chính và cải chính theo trạng thái của hệ thống. Để nâng cao độ chính xác, người ta đã phát triển công nghệ mạng tham chiếu. Để mở rộng phạm vi ứng dụng DGPS, người ta xây dựng các hệ thống định vị vi phân diện rộng WADGPS . Các hệ thống WADGPS sử dụng vệ tinh địa tĩnh như là phương tiện trung gian để truyền số cải chính vi phân trên diện rộng. Trong những năm 1995 trở lại đây, trên thế giới đã có một số hệ thống định vị vi phân diện rộng WADGPS như WAAS của Mỹ, CWAAS của Canada, EGNOS của Châu Âu, MSAS của Nhật Bản, SNAS của Trung Quốc và GAGAN của Ấn Độ vv...

5.6. Xử lý số liệu đo

Đặc điểm của công tác xử lý số liệu trong trắc địa cao cấp là giải quyết những bài toán ở tầm vĩ mô, với các trị đo khác loại, được triển khai đo đạc trên quy mô rộng lớn, bằng công nghệ hoặc bằng máy móc có độ chính xác cao.

Xử lý số liệu trắc địa cao cấp bao gồm một số nội dung chính như sau:

- Xử lý, bình sai lưới tọa độ, lưới độ cao quốc gia
- Xử lý số liệu định vị vệ tinh GNSS và số liệu trắc địa không gian (VLBI, SLR...)
- Xử lý số liệu trọng lực (trên mặt đất, trên biển, từ không gian)
- Tính toán xây dựng hệ quy chiếu và tính chuyển giữa các hệ quy chiếu ...

Như chúng ta đã biết, để xử lý số liệu trắc địa nói chung và số liệu trắc địa cao cấp nói riêng, người ta đều sử dụng công cụ toán, song các trị đo trên mặt đất lại chịu ảnh hưởng của trường vật lý trái đất (thí dụ như trường chiết quang, trọng trường, sự vận động của Trái đất vv..), ảnh hưởng này là đáng kể đối với các số liệu đo trên khoảng cách dài. Chính do trường vật lý trái đất cho nên trong các trị đo, ngoài sai số ngẫu nhiên của phép đo, luôn tồn tại các sai số hệ thống.

Thí dụ như trong các trị đo góc bằng và đo góc đứng luôn chứa sai số hệ thống do chiết quang ngang và chiết quang đứng, trong các giá trị đo chiều dài bằng máy đo xa điện tử, luôn chứa sai số hệ thống của môi trường lan truyền tín hiệu đo, trong các trị đo bằng công nghệ định vị vệ tinh toàn cầu GNSS luôn chứa sai số hệ thống do tầng điện ly và tầng đối lưu, số liệu đo trọng lực biển chịu ảnh hưởng hiệu ứng Eotvos do chuyển động của tàu đo xét cùng chuyển động quay quanh trục của Trái đất, trong kết quả đo thủy chuẩn chính xác cũng chịu ảnh hưởng của trường chiết quang cục bộ và ảnh hưởng của hiện tượng máy lún, mia lún vv...

Trong xử lý số liệu trọng lực, do tính chất riêng của hàm thế là hàm điều hòa, người ta đã áp dụng phương pháp xử lý thống kê, trong đó coi dị thường trọng lực Δg là các đại lượng ngẫu nhiên trên bề mặt Trái đất có tính đẳng hướng theo phương ngang. Phương pháp sử dụng các hàm hiệp phương sai với các tham số xác định dựa vào các giá trị phương sai thực nghiệm là phương pháp rất hiệu quả khi nghiên cứu hình dạng Trái đất theo nguyên tắc của trắc địa vật lý. Các tham số của hàm hiệp phương sai phản ánh mức độ tương quan của các giá trị dị thường trọng lực hoặc dị thường độ cao theo khoảng cách. Các tham số đó cũng là cơ sở để tính

toán nội suy các giá trị đặc trưng của trọng trường Trái đất theo phương pháp collocation.

Trong xử lý các mạng lưới trắc địa quốc gia, mặt ellipsoid trái đất thường được chọn làm mặt quy chiếu để tính toán, trong khi các trị đo lại được triển khai trên mặt đất. Khi tiến hành đo góc ngang hoặc xác định phương vị giữa các điểm trên mặt đất, người đo chỉ có thể thao tác để đưa trục đứng của máy về trùng với phương dây dọi tại điểm đo, trong khi tính toán trên ellipsoid lại phải căn cứ vào phương pháp tuyến để thiết lập các phương trình trị đo. Các chiều dài cạnh được đo trên mặt đất thực, ở một độ cao nào đó, cũng cần phải tính chuyển về mặt ellipsoid mới có thể xử lý chung với các trị đo khác vv... Những vấn đề nêu trên đặt ra nhiệm vụ là phải tính chuyển trị đo trước khi bình sai lưới.

Trong xử lý số liệu trắc địa cao cấp, thường phải giải quyết các tập hợp số liệu với quy mô lớn. Do đặc điểm đó, người ta phải quan tâm tới phương tiện tính toán, khả năng lưu số liệu và cả vấn đề tốc độ tính toán. Ngoài ra, người làm công tác tính toán còn phải chú ý tới sai số tính toán như số lẻ trong tính toán, sai số làm tròn vv...

Trong phạm vi của môn học này, chúng tôi chỉ trình bày tóm lược những vấn đề xử lý bình sai các mạng lưới trắc địa trong hệ tọa trắc địa, là cách đặt vấn đề khởi đầu của lý thuyết *trắc địa ba chiều (3D)*, đã được Hotine trình bày từ năm 1957.

Tuy nhiên, đối với nước có diện tích không lớn như Việt Nam của chúng ta, không nhất thiết phải bình sai lưới trong hệ tọa độ trắc địa mà có thể bình sai trong hệ tọa độ vuông góc phẳng. Phương pháp bình sai lưới trắc địa trong hệ tọa độ phẳng đã được giới thiệu trong các bài giảng lý thuyết sai số và bài giảng bình sai lưới trắc địa.

5.6.1. Tính toán khái lược

Khi xây dựng các mạng lưới tọa độ hay mạng lưới độ cao, đều phải qua các giai đoạn của công tác ngoại nghiệp và công tác nội nghiệp. Tính toán khái lược và bình sai lưới là các nhiệm vụ của công tác nội nghiệp.

Các mạng lưới tọa độ nhà nước được xét đến gồm các mạng lưới tọa độ nhà nước hạng I, II, III, IV (theo phân cấp trước đây). Các trị đo trong các mạng lưới tọa độ nhà nước có thể là các trị đo hướng ngang, các trị đo góc ngang, các trị đo chiều

dài cạnh bằng thước dây invar, các trị đo chiều dài bằng máy đo dài điện tử, các góc phương vị xác định theo phương pháp đo thiên văn, các góc đứng hoặc góc thiên đỉnh. Những mạng lưới tọa độ nhà nước được đo đạc sau năm 1980, thường được đo bằng công nghệ GPS.

Mỗi quốc gia đều sử dụng riêng cho mình một ellipsoid quy chiếu (thực dụng) được định vị phù hợp với lãnh thổ. Mặt ellipsoid đó là bề mặt cơ sở được sử dụng để giải quyết các nhiệm vụ của công tác trắc địa-bản đồ trên cả nước, trước hết đó là bề mặt quy chiếu để chỉnh lý các mạng lưới thiên văn- trắc địa quốc gia.

Các trị đo trong lưới tọa độ sau khi đã được tính chuyển về mặt ellipsoid sẽ được bình sai chặt chẽ theo nguyên lý bình phương nhỏ nhất. Đối với những mạng lưới quy mô nhỏ, có thể bình sai lưới trong hệ tọa độ vuông góc phẳng. Trong trường hợp này, sau khi đã tính chuyển trị đo về mặt ellipsoid thực dụng, cần tiếp tục tính chuyển các trị đo đó về mặt phẳng theo lưới chiếu quy định.

Công tác tính khái lược được thực hiện theo trình tự như sau:

Trước hết tính khái lược sơ bộ theo phương pháp ” *trái rộng*” để xác định tọa độ trắc địa (B, L) của các điểm tam giác, phục vụ tính các thành phần độ lệch dây dọi tại các điểm thiên văn Laplace.

Tại các điểm đo thiên văn, người ta xác định được độ vĩ và độ kinh (φ, λ) theo phương pháp thiên văn, nhờ đó sẽ tính được các thành phần độ lệch dây dọi thiên văn-trắc địa theo các công thức sau:

$$\xi = \varphi - B \quad (5.32)$$

$$\eta = (\lambda - L) \cos \varphi \quad (5.33)$$

Người ta cũng đã chứng minh rằng, trong giai đoạn tính khái lược, độ cao của các điểm chỉ cần xác định với sai số cỡ 3m là đủ để tính chuyển các trị đo về mặt ellipsoid, các thành phần độ lệch dây dọi cũng chỉ cần biết với độ chính xác cỡ 1",5. Vì không phải tại tất cả các điểm tam giác có thể tiến hành đo thiên văn, do đó để có độ lệch dây dọi tại các điểm khác, người ta phải sử dụng phương pháp nội suy dựa trên số liệu đo thiên văn và đo trọng lực.

Sau khi có các kết quả của bước trên, tiến hành tính chuyển các trị đo về mặt ellipsoid theo phương pháp ”chiếu thẳng”. Theo phương pháp này cần phải biết một số thông tin như: độ cao trắc địa của các điểm đo, liên quan đến dị thường độ cao ζ

và các thành phần độ lệch dây dọi ξ, η tại các điểm đo, nhận được trong giai đoạn tính khái lược vừa nêu trên.

1. Tính chuyển trị đo từ mặt đất về mặt ellipsoid

Trong lưới tam giác đo góc-cạnh truyền thống, các trị đo hướng, đo góc, đo chiều dài, đo phương vị vv... đều được tiến hành trên bề mặt đất thực chứ không phải trên bề mặt ellipsoid quy chiếu. Để xử lý tính toán các trị đo đó trên mặt ellipsoid cần phải tính chuyển các trị đo từ mặt đất về mặt ellipsoid theo các công thức chặt chẽ trong phương pháp "chiếu thẳng". Các công thức này được chứng minh trong các giáo trình trắc địa mặt cầu, giáo trình trắc địa lý thuyết.

a. Tính chuyển chiều dài đo

Để tính chuyển chiều dài đo trên mặt đất về chiều dài trên mặt ellipsoid (S_0) ta sử dụng các công thức sau:

- Nếu chiều dài được đo bằng máy đo dài điện tử, sử dụng công thức:

$$S_0 = S \left(1 - \frac{H_m}{R} \right) + \frac{S^3}{24R^2} \quad (5.34)$$

trong đó: H_1, H_2 là độ cao trắc địa của 2 điểm đầu cạnh đo

$$H_m \text{ là độ cao trung bình, được tính: } H_m = \frac{H_1 + H_2}{2}$$

R là bán kính trung bình của Trái đất

S là chiều dài đo đã chuyển về mặt phẳng ngang

Công thức (3) có thể sử dụng cho các chiều dài cạnh không quá 200km và độ cao H_1, H_2 không quá 2km.

- Nếu chiều dài được đo bằng thước dây invar, sử dụng công thức sau:

$$S_0 = L - \frac{H_m}{R} L + \frac{H_m^2}{R^2} L + \frac{U_{1,2} + U_{2,1}}{2\rho''} \sum \Delta h \quad (5.35)$$

trong đó:

$U_{1,2}, U_{2,1}$ là độ lệch dây dọi trên hướng của cạnh đo tại các điểm đầu mút cạnh

$$U_{i,k} = \xi_i \cos A_{i,k} + \eta_i \sin A_{i,k} \quad (5.36)$$

$\sum \Delta h$ là tổng chênh cao của các đoạn thước

L là chiều dài đo đã được chuyển về mặt phẳng ngang

b. Tính chuyển hướng đo

Để tính chuyển hướng đo từ mặt đất về mặt ellipsoid, phải tính chuyển theo các bước sau:

- Số hiệu chỉnh do các thành phần độ lệch dây dọi ξ, η

$$\delta_1 = \delta U_{i,k} = -(\xi_i \sin A_{i,k} - \eta_i \cos A_{i,k}) \cot gZ_{i,k} \quad (5.37)$$

trong đó $A_{i,k}$ là góc phương vị của hướng đo

$Z_{i,k}$ là góc thiên đỉnh của điểm ngắm

Ở vùng đồng bằng, số hiệu chỉnh do độ lệch dây dọi δ_1 chỉ cần tính cho các hướng đo của lưới hạng I,II, còn ở vùng núi thì phải tính cho cả lưới hạng III và hạng IV.

- Số hiệu chỉnh do độ cao điểm ngắm được tính theo công thức:

$$\delta_2 = \rho'' \frac{H_2}{2M_m} e^2 \cos^2 B_2 \sin 2A_{1,2} \quad (5.38)$$

trong đó H_2 là độ cao điểm ngắm

M_m là bán kính trung bình cung kinh tuyến

$$\rho'' = 206265$$

Số hiệu chỉnh do độ cao điểm ngắm δ_2 chỉ tính cho lưới hạng I,II ở vùng núi, còn lưới ở vùng đồng bằng có thể bỏ qua.

- Tính chuyển hướng đo theo cung pháp tuyến về đường trắc địa.

Khi đo tam giác, hướng đo tính theo cung pháp tuyến thuận, nhưng khi tính toán phải xét đối với hướng của đường trắc địa, số hiệu chỉnh trong trường hợp này sẽ là:

$$\delta_3 = -\rho'' \frac{S^2}{12N_m^2} e^2 \cos^2 B_m \sin 2A_{1,2} \quad (5.39)$$

trong đó: N_m là bán kính trung bình vòng thẳng đứng thứ nhất

Số hiệu chỉnh δ_3 khá nhỏ, do đó chỉ cần tính cho hướng đo của lưới hạng I.

c. Tính chuyển phương vị thiên văn về phương vị trắc địa

Tại các điểm thiên văn, sau khi xác định được phương vị thiên văn của hướng i,k , cần phải tính chuyển về phương vị trắc địa theo công thức:

$$A_{i,k} = a_{i,k} - \eta \cdot \text{tg} \varphi_i + \delta U_{i,k} \quad (5.40)$$

trong đó: $a_{i,k}$ là phương vị thiên văn;

φ_i là vĩ độ của điểm đầu i ;

η_i là thành phần độ lệch dây dọi trong mặt phẳng thẳng đứng thứ nhất;

$\delta U_{i,k}$ là số hiệu chỉnh hướng do độ lệch dây dọi, tính theo công thức (5.37)

Các trị đo trên sau khi đã chuyển về mặt ellipsoid, có thể tiến hành bình sai lưới trên mặt ellipsoid.

2. Tính chuyển trị đo từ ellipsoid về mặt phẳng

Để bình sai lưới mặt bằng trong hệ tọa độ phẳng, sau khi tính chuyển các trị đo từ mặt đất về mặt ellipsoid, các trị đo này cần tính chuyển tiếp về mặt phẳng theo các công thức tương ứng với lưới chiếu phẳng được sử dụng (như Gauss-Kruger hay UTM vv...). Đối với chúng ta, hiện đang sử dụng lưới chiếu tọa độ phẳng UTM, do đó ở phần này sẽ trình bày các công thức tính chuyển trị đo theo lưới chiếu UTM. Về bản chất, lưới chiếu UTM và lưới chiếu Gauss-Kruger cũng đều là lưới chiếu hình trụ ngang đồng góc, do đó hệ thống công thức tính toán về cơ bản là như nhau chỉ khác tham số tỷ lệ chiếu trên kinh tuyến trục.

a. Số hiệu chỉnh chiều dài

Để chuyển chiều dài từ mặt ellipsoid (S) lên mặt phẳng (s) theo phép chiếu UTM, ta áp dụng công thức sau:

$$s = S + \delta S \quad (5.41)$$

Nếu chiều dài cạnh nhỏ hơn 10 km, thì giá trị δS tính theo công thức:

$$\delta S = \left(k_0 - 1 + \frac{k_0 \cdot y_m^2}{2R_m^2} \right) S \quad (5.42)$$

Nếu chiều dài cạnh dài hơn 10 km và không quá 30 km, thì áp dụng công thức sau:

$$\delta S = \left[k_0 - 1 + \frac{k_0 \cdot y_m^2}{2R_m^2} + \frac{k_0 (y_2 - y_1)^2}{24R_m^2} \right] S \quad (5.43)$$

trong đó: y_1, y_2 là hoành độ của điểm đầu và điểm cuối cạnh

y_m là hoành độ trung bình của cạnh

R_m là bán kính trung bình của Trái đất

k_0 là tỷ lệ chiếu (chiều dài) trên kinh tuyến trung ương

Có thể nhận thấy rằng, khi $k_0 = 1$ thì các công thức (5.42),(5.43) lại chính là các công thức tính toán theo phép chiếu Gauss-Kruger.

b. Số hiệu chỉnh phương hướng

Số hiệu chỉnh phương hướng là lượng hiệu chỉnh để chuyển hình chiếu đường trắc địa trên mặt phẳng (là đường cong) về đường thẳng nối 2 điểm đó trên mặt phẳng.

Đối với hướng đo trong lưới hạng IV, có thể dùng công thức sau:

$$\delta_{1,2} = -\rho'' \cdot \frac{y_m(x_2 - x_1)}{2R_m^2} \quad (5.44)$$

Theo công thức trên, số hiệu chỉnh của hướng thuận và hướng ngược sẽ có giá trị tuyệt đối như nhau nhưng ngược dấu nhau, tức là $\delta_{1,2} = -\delta_{2,1}$.

Đối với hướng của lưới tam giác hạng II,III ta sử dụng công thức:

$$\delta_{1,2} = -\rho'' \frac{(x_2 - x_1)}{2R_m^2} \left(y_m - \frac{(y_2 - y_1)}{6} \right) \quad (5.45)$$

Đối với hướng đo trong lưới tam giác hạng I, công thức tính số hiệu chỉnh hướng còn đầy đủ hơn.

Số hiệu chỉnh của góc sẽ bằng số hiệu chỉnh hướng phải trừ đi số hiệu chỉnh hướng trái. Khi tính các số hiệu chỉnh cho các hướng của một hình tam giác (A,B,C), cần kiểm tra tính toán các số hiệu chỉnh góc theo biểu thức sau:

$$\delta_A + \delta_B + \delta_C = -\varepsilon \quad (5.46)$$

trong đó ε là số dư mặt cầu

c. Tính chuyển góc phương vị

Phương vị trắc địa A giữa 2 điểm, sau khi tính chuyển về mặt phẳng chiếu được gọi là góc định hướng (hay góc phương vị tọa độ), thường được ký hiệu là α . Công thức tính chuyển như sau:

$$\alpha_{i,k} = A_{i,k} - \gamma_i + \delta_{i,k} \quad (5.47)$$

trong đó $\delta_{i,k}$ là số hiệu chỉnh phương hướng

γ_i là góc hội tụ kinh tuyến phẳng, được tính theo công thức:

$$\gamma_i = l \cdot \sin B_i + \frac{l^3}{3\rho''^2} \sin B_i \cos^2 B_i (1 + 3\eta^2) \quad (5.48)$$

trong đó l là hiệu số độ kinh giữa kinh tuyến qua điểm i và kinh tuyến trung ương của múi chiếu, $\eta = e' \cos B_m$

Công thức (5.47), (5.48) bảo đảm tính chuyển phương vị với độ chính xác cỡ 0,01”.

3. Tính kiểm tra kết quả đo trước bình sai

Nếu bình sai lưới tam giác trong hệ tọa độ trắc địa (B,L,H), sau khi tính chuyển các trị đo từ mặt đất lên mặt ellipsoid, cần tính toán kiểm tra các trị đo để phát hiện sai số thô và loại bỏ chúng trước khi bình sai.

Kiểm tra đơn giản nhất là tính sai số khép hình tam giác cầu theo công thức:

$$w = A + B + C - (180^\circ + \varepsilon) \quad (5.49)$$

trong đó: A,B,C là 3 góc trong tam giác (cầu), ε là số dư mặt cầu, được tính theo công thức:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{A,B,C}}{R_m^2} \rho'' \quad (5.50)$$

trong đó $\Delta_{A,B,C}$ là diện tích hình tam giác

Đối với chuỗi tam giác được bố trí giữa hai phương vị Laplace, có thể tính toán kiểm tra sai số khép phương vị theo công thức:

$$W_A = A_{dau} + \sum_{i=1}^n \pm (\beta_i) \mp 180^\circ - A_{cuoi} \quad (5.51)$$

trong đó: A_{dau}, A_{cuoi} là giá trị của phương vị đầu và phương vị cuối.

β_i là các góc tính chuyển phương vị, có dấu + khi góc bên trái và dấu - khi góc bên phải đường tính chuyển.

n là số góc tính chuyển trong chuỗi tam giác

Nếu chuỗi tam giác cầu có các cạnh khởi tính ở hai đầu, có thể tính toán kiểm tra sai số khép chiều dài cạnh theo phương pháp giải tam giác cầu nhỏ theo đường tính chuyển.

Nếu bình sai mạng lưới trong hệ tọa độ vuông góc phẳng, sau khi tính chuyển các trị đo về mặt phẳng, cần tính toán kiểm tra các sai số khép sau:

- sai số khép hình tam giác phẳng

$$w = A + B + C - 180^\circ \quad (5.52)$$

trong đó A,B,C là các góc đo trong một hình tam giác

- sai số khép vòng

$$W_V = C_1 + C_2 + \dots + C_n - 360^0 \quad (5.53)$$

- sai số khép điều kiện cực

$$W_C = \frac{\sin A_1 \sin A_2 \dots \sin A_n}{\sin B_1 \sin B_2 \dots \sin B_n} - 1 \quad (5.54)$$

- sai số khép góc định hướng

$$W_\alpha = \alpha_{dau} + \sum_{i=1}^n (\pm C_i) - \alpha_{cuoi} \pm k.180^0 \quad (5.55)$$

trong đó: α_{dau} là góc định hướng của cạnh khởi đầu, α_{cuoi} là góc định hướng của cạnh cuối, C_i là các góc ngoặt trên đường tính chuyển

- sai số khép chiều dài cạnh trong chuỗi gồm n hình tam giác

$$W_s = \frac{S_{dau} \cdot \sin A_1 \sin A_2 \dots \sin A_n}{\sin B_1 \sin B_2 \dots \sin B_n} - S_{cuoi} \quad (5.56)$$

trong đó S_{dau} là chiều dài cạnh đầu chuỗi, S_{cuoi} là chiều dài cạnh cuối chuỗi, A_i , B_i là các góc tính chuyển chiều dài trong chuỗi tam giác.

- các sai số khép tọa độ

$$W_X = X_{dau} + \sum_{i=1}^n S_i \cos \alpha_i - X_{cuoi} \quad (5.57a)$$

$$W_Y = Y_{dau} + \sum_{i=1}^n S_i \sin \alpha_i - Y_{cuoi} \quad (5.57b)$$

trong đó X_{dau}, Y_{dau} là tọa độ điểm xuất phát tính sai số khép

X_{cuoi}, Y_{cuoi} là tọa độ điểm kết thúc tính sai số khép

Những giá trị sai số khép trên cần so sánh với sai số khép giới hạn, trong đó sai số khép giới hạn được lấy bằng từ 2 đến 3 lần sai số trung phương của hàm tính sai số khép tương ứng.

5.6.2. Khái niệm chung về xử lý số liệu của trắc địa cao cấp

1. Những khái niệm chung

Trong xử lý số liệu trắc địa, cùng với sự tiến bộ của phương tiện tính toán, các thuật toán ứng dụng cũng không ngừng được hoàn thiện và phát triển. Trong những năm 1970 trở về trước, do máy tính điện tử chưa phát triển và ứng dụng rộng rãi, để tính toán trắc địa người ta đã phải lập ra các loại bảng tra khác nhau, như bảng tra logarit (7 hoặc 8 số lẻ) phục vụ tính toán trong bình sai lối tọa độ, bảng tra phục vụ

tính đổi tọa độ, bảng tra phục vụ giải các bài toán trắc địa trên mặt ellipsoid, bảng tra góc khung bản đồ vv..

Số lượng ẩn số và khối lượng phép tính trong bài toán bình sai lưới lớn trước đây vẫn là một nhiệm vụ khó khăn trong xử lý số liệu trắc địa cao cấp. Trong những năm 1950, việc bình sai chặt chẽ một mạng lưới tọa độ quốc gia vẫn là nhiệm vụ khó khăn, tốn kém công sức và thời gian, ngay đối với một quốc gia có diện tích khá nhỏ.

Từ những năm 1970 trở lại đây, nhờ sự phát triển mạnh mẽ của máy tính điện tử và sau đó là máy tính cá nhân (PC), phương pháp tính toán trắc địa đã thay đổi từ sử dụng bảng tra sang tính toán theo chương trình máy tính. Cũng nhờ tốc độ cao của máy tính, các thuật toán tính lặp trong giải nghiệm của hệ phương trình chuẩn, tính lặp trong tính đổi tọa độ vv.. được áp dụng phổ biến.

Về thuật toán bình sai, mặc dù đã xuất hiện một số lý thuyết mới trong xử lý số liệu như: phép lọc Kalman, phương pháp ước lượng vững, bình sai mở rộng vv.. song cho đến nay, phương pháp bình phương nhỏ nhất vẫn là phương pháp chính thức được sử dụng để bình sai chặt chẽ các mạng lưới trắc địa nhà nước.

Xét về lịch sử, mặc dù phương pháp bình phương nhỏ nhất đã được sử dụng từ thế kỷ XVIII, song do tính chặt chẽ về phương diện toán học của nó cho nên phương pháp này vẫn được sử dụng để bình sai các mạng lưới mặt bằng, lưới độ cao và cả lưới không gian 3D.

Với các trị đo truyền thống, đã từ lâu, các mạng lưới mặt bằng thường được bình sai độc lập với các mạng lưới độ cao. Vấn đề bình sai lưới tam giác trong không gian (3D) tuy đã được Bruns đề xuất từ năm 1878, nhưng cho mãi đến năm 1957 Hotine mới phát triển đầy đủ lý thuyết của phương pháp này và dựa vào đó Brazier cùng với Windsor (1957) đã công bố kết quả bình sai thử một lưới tam giác trong không gian 3D, đồng thời cũng đã so sánh với kết quả bình theo phương pháp tách biệt. Một số vấn đề quan trọng trong bình sai lưới trắc địa trong không gian 3D, như các phương trình vi phân giữa các hệ tọa độ cũng đã được Wolf trình bày từ năm 1963.

Khi bình sai kết hợp các trị đo truyền thống trong không gian 3D, về ảnh hưởng của chiết quang đứng đến các trị đo góc thiên đỉnh cũng đã được Hotine nghiên cứu (1969) và sau đó, năm 1972, Ramsayer đã phát triển hoàn chỉnh những vấn đề liên

quan thành lý thuyết trắc địa 3D. Lý thuyết trắc địa 3D tỏ ra có hiệu quả trong giải quyết bình sai kết hợp các trị đo truyền thống với các trị đo không gian trên khoảng cách dài như giao thoa cạnh đáy dài VLBI, các trị đo khoảng cách bằng laser SLR, LLR và các trị đo liên quan đến vệ tinh nhân tạo của Trái đất.

Theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất, để bình sai chặt chẽ các mạng lưới trắc địa chúng ta có thể áp dụng phương pháp bình sai điều kiện và cũng có thể áp dụng phương pháp bình sai gián tiếp. Với phương tiện tính toán là máy tính điện tử, người ta thường sử dụng phương pháp bình sai gián tiếp vì tính khái quát cao của thuật toán này.

2. Bình sai lưới tọa độ nhà nước trong hệ tọa độ trắc địa

Để bình sai lưới theo phương pháp bình sai gián tiếp, cần phải lập các phương trình trị đo có dạng tổng quát như sau:

$$L_{do} + V = F(X_0) + \left[\frac{\partial F}{\partial X} \right] dX \quad (5.58)$$

trong đó: L_{do} là véc tơ các trị đo

V là véc tơ số hiệu chỉnh

$F(X_0)$ là véc tơ trị gần đúng của trị đo tính theo trị gần đúng của các ẩn số X_0

dX là véc tơ số hiệu chỉnh của ẩn số

$\left[\frac{\partial F}{\partial X} \right]$ là ma trận hệ số phương trình số hiệu chỉnh, có kích thước

(nxt), với n là số lượng trị đo trong lưới và t là số lượng ẩn số trong lưới.

Từ phương trình (5.60) ta có hệ phương trình số hiệu chỉnh sau:

$$V = \left[\frac{\partial F}{\partial X} \right] dX + L \quad (5.59)$$

với L là véc tơ số hạng tự do của hệ phương trình chuẩn, được tính:

$$L = F(X_0) - L_{do} \quad (5.60)$$

Đối với lưới tọa độ mặt bằng nhà nước đo đạc theo công nghệ truyền thống như đo hướng, đo góc, đo chiều dài và phương vị Laplace cần lập các phương trình số hiệu chỉnh của các trị đo đó với các ký hiệu như sau:

B_i, L_i là tọa độ trắc địa của các điểm cần xác định, là các ẩn số trong bài toán bình sai này.

B_i^0, L_i^0 là trị khái lược (gần đúng) của tọa độ điểm i và

dB_i, dL_i là vi phân của tọa độ, cũng là số hiệu chỉnh tọa độ, tính ở đơn vị radian hoặc giây.

Tọa độ gần đúng B_i^0, L_i^0 cần được xác định sao cho sai lệch hướng chỉ khoảng $0''01$, như vậy với chiều dài S của cạnh là 10 km, 50 km và 200 km, sai số tọa độ gần đúng tương ứng sẽ là 3m, 16m và 64m.

Ký hiệu $A_{i,k}$ là phương vị trắc địa giữa điểm i và k , $VA_{i,k}$ là số hiệu chỉnh, như vậy trị bình sai của phương vị sẽ là $A_{i,k} + VA_{i,k}$.

Phương trình vi phân giữa phương vị A , chiều dài đường trắc địa S và tọa độ trắc địa B, L như sau:

$$dA_{i,k} = \frac{M_i}{S_{i,k}} \sin A_{i,k} dB_i + \frac{M_k}{S_{i,k}} \sin A_{k,i} dB_k + \frac{N_k}{S_{i,k}} \cos B_k \cos A_{k,i} (dL_i - dL_k) \quad (5.61)$$

$$dS_{i,k} = -\frac{M_i}{\rho''} \cos A_{i,k} dB_i - \frac{M_k}{\rho''} \cos A_{k,i} dB_k + \frac{N_k}{\rho''} \cos B_k \sin A_{k,i} (dL_i - dL_k) \quad (5.62)$$

trong đó $S_{i,k}$ là chiều dài đường trắc địa, M là bán kính cung kinh tuyến, N là bán kính vòng thẳng đứng thứ nhất

Dựa vào (5.61), (5.63) có thể lập được phương trình số hiệu chỉnh của góc phương vị từ điểm i đến k .

$$VA_{i,k} = \frac{M_i}{S_{i,k}} \sin A_{i,k} dB_i + \frac{M_k}{S_{i,k}} \sin A_{k,i} dB_k + \frac{N_k}{S_{i,k}} \cos B_k \cos A_{k,i} (dL_i - dL_k) + lA_{i,k} \quad (5.63)$$

trong đó $lA_{i,k}$ là số hạng tự do của phương trình số hiệu chỉnh, được tính theo công thức có tính nguyên tắc (5.62).

Để lập phương trình số hiệu chỉnh của hướng đo $L_{i,k}$, ta ký hiệu Z_i là góc phương vị của hướng khởi đầu trạm máy đo hướng tại điểm i . Dựa trên mối quan hệ giữa trị đo hướng $L_{i,k}$, số hiệu chỉnh trị đo hướng $V_{i,k}$ và phương vị hướng ik :

$$A_{i,k} = (L_{i,k} + V_{i,k}) + Z_i \quad (5.64)$$

Ta lập được phương trình số hiệu chỉnh của hướng ik như sau:

$$VA_{i,k} = -dZ_i + \frac{M_i}{S_{i,k}} \sin A_{i,k} dB_i + \frac{M_k}{S_{i,k}} \sin A_{k,i} dB_k + \frac{N_k}{S_{i,k}} \cos B_k \cos A_{k,i} (dL_i - dL_k) + l_{i,k} \quad (5.65)$$

trong đó dZ_i là số hiệu chỉnh cho trị gần đúng của góc phương vị của hướng khởi đầu của trạm máy i , $l_{i,k}$ là số hạng tự do của phương trình.

Từ phương trình vi phân (5.64) ta có phương trình số hiệu chỉnh chiều dài cạnh i,k như sau:

$$VS_{i,k} = -\frac{M_i}{\rho''} \cos A_{i,k} dB_i - \frac{M_k}{\rho''} \cos A_{k,i} dB_k + \frac{N_k}{\rho''} \cos B_k \sin A_{k,i} (dL_i - dL_k) + lS_{i,k} \quad (5.66)$$

trong đó $lS_{i,k}$ là số hạng tự do của phương trình số hiệu chỉnh.

Để đưa góc thiên đỉnh hoặc góc đứng vào bình sai cùng với các trị đo phương vị, trị đo hướng, trị đo chiều dài cần phải áp dụng lý thuyết bình sai trong không gian (3D). Trong trường hợp này, mỗi điểm cần xác định sẽ có 3 ẩn số là B_i, L_i, H_i .

Về lý thuyết bình sai kết hợp các loại trị đo trên trong hệ không gian đã được giới thiệu trong một số tài liệu. Trên thực tế, các góc đứng hay góc thiên đỉnh luôn chịu ảnh hưởng khá lớn của chiết quang đứng, do đó để nâng cao độ chính xác kết quả bình sai cần phải giải quyết khắc phục ảnh hưởng của chiết quang đứng trong các trị đo nói trên.

Khi áp dụng lý thuyết bình sai lưới trong không gian, có thể kết hợp bình sai các trị đo khác loại như trị đo dây cung bằng giao thoa cạnh đáy dài VLBI, trị đo SLR và thậm chí với cả các chênh cao thủy chuẩn hình học cùng số liệu của mô hình Geoid.

Ngoài thuật toán bình sai lưới trong hệ tọa độ trắc địa, còn có thể bình sai lưới trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm. Theo thuật toán này, các ẩn số là tọa độ X, Y, Z của các điểm cần xác định. Đối với các trị đo GPS tương đối, kết quả đo là các véc tơ cạnh gồm các gia số tọa độ không gian địa tâm $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, áp dụng thuật toán trên để bình sai lưới sẽ khá đơn giản về phương pháp tính.

Trong bình sai lưới, vấn đề xác định trọng số trị đo trước bình sai cũng là vấn đề cần lưu ý. Trong một số trường hợp việc ước lượng sai số đo thường chưa chuẩn xác dẫn đến xác định trọng số chưa đúng. Trong trường hợp này cần áp dụng quy trình bình sai lặp với sai số trị đo được xác định lại theo kết quả bình sai ở lần trước đó. Nếu trong bước tính trọng số, đã chọn $C=1$, thì khi kết quả bình sai cho giá trị sai số trung phương đơn vị trọng số μ xấp xỉ 1 là có thể kết thúc quá trình tính lặp, trong đó giá trị μ được tính theo công thức quen thuộc:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{n-t}} \quad (5.67)$$

trong đó V là véc tơ số hiệu chỉnh, n là tổng số trị đo, t là số ẩn số trong lưới, P là ma trận trọng số trị đo.

Sau khi bình sai mạng lưới, cần tiến hành phân tích thống kê kết quả bình sai [2, 16], gồm các nội dung:

- xét quy luật về dấu và độ lớn của véc tơ số hiệu chỉnh trị đo, kiểm tra quy luật phân bố chuẩn của véc tơ số hiệu chỉnh trị đo.

- xác định ma trận phương sai- hiệp phương sai các ẩn số V_x nhận được từ kết quả bình sai, theo công thức:

$$V_x = \mu^2 (A^T P A)^{-1} \quad (5.68)$$

trong đó A là ma trận hệ số phương trình số hiệu chỉnh.

- xác định ma trận phương sai- hiệp phương sai V_L của véc tơ trị đo sau bình sai theo công thức:

$$V_L = \mu^2 A (A^T P A)^{-1} A^T \quad (5.69)$$

- đánh giá độ chính xác của các yếu tố trong mạng lưới theo nguyên tắc đánh giá độ chính xác hàm các ẩn số. Ma trận phương sai- hiệp phương sai V_F của các hàm số được tính:

$$V_F = \mu^2 F (A^T P A)^{-1} F^T \quad (5.70)$$

trong đó F là ma trận hệ số của k hàm trọng số, có kích thước $(k \times t)$.

Tài liệu tham khảo (phần viết của Đặng Nam Chinh)

[1]. Đỗ Ngọc Đường, Đặng Nam Chinh. Trắc địa cao cấp (dùng cho sinh viên ngành bản đồ). Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2000.

[2]. Ngô Phúc Hưng, Đặng Hùng Võ. Lý thuyết bình sai lưới tam giác. Nhà xuất bản Đại học và trung học chuyên nghiệp, Hà Nội, 1978.

[3]. Báo cáo khoa học Xây dựng Hệ quy chiếu và Hệ thống điểm tọa độ Quốc gia. Tổng cục Địa chính, Hà Nội, 2000.

[4]. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về xây dựng lưới tọa độ. QCVN 04:2009/BTNMT. Hà Nội-2009.

[5]. Alfred Leick. GPS Satellite Surveying - Orono-Maine 1995.

[6]. B. Hofmann- Wellenhof.... Global Positioning System. Springer- Verlag , Wien, New York- 1994.

- [7]. Janusz Narkiewicz. Globalny System Pozycyjny – GPS . Wydawnictwa Komunikacji i Łączności –WKL. Warszawa-2003
- [8]. Gunter Seeber. Satellite Geodesy – Walter de Gruyter. Berlin, New York 2003.
- [9]. Heinz Habrich. Geodetic Applications of the Global Navigation Satellite System (GLONASS) and of GLONASS/GPS Combinations.
- [10]. Constantin-Octavian Andrei. 3D affine Coordinate Transformations. Master' Thesis in Geodesy. KTH, Sweden-3-2006.
- [11]. Christopher Jekeli. Geometric Reference Systems in Geodesy. Ohio State University- July 2006.
- [12]. R.E. Deakin, M.N. Hunter. Geometric Geodesy. RMIT University. Melbourne, Australia. January-2010.
- [13]. Bomford. Geodesy . Third edition- Oxford -1971.
- [14]. Richard H. Rapp. Geometric Geodesy Part II. The Ohio State University. March 1993.
- [15]. Bernhard Hofmann-Wellenhof, Helmut Moritz. Physical Geodesy. Springer Wien NewYork, 2005.
- [16]. Włodzimierz Baran. Teoretyczne podstawy opracowania wyników pomiarów geodezyjnych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.
- [17]. Ludvik Hradilek, Vladimir Radouch. Adjustment of three-dimensional Global networks in the Geodetic Coordinate system. Geodezja, Zeszyty naukowe-107, Krakow, 1990.
- [18]. NAVSTAR Global Positioning System Surveying. US Army Corps of Engineers. EM 1110-1003, 1 July 2003.
- [19]. C.C. Tscherning. Geoid determination by 3D least-squares collocation. Niels Bohr Institute University of Copenhagen. Denmark. Draft version 2008-09-10.
- (Ghi chú: Mở đầu quyển sách cần có phần giải thích thuật ngữ tiếng anh viết tắt)