

PHẦN 2. ĐO CÁC YẾU TỐ CƠ BẢN

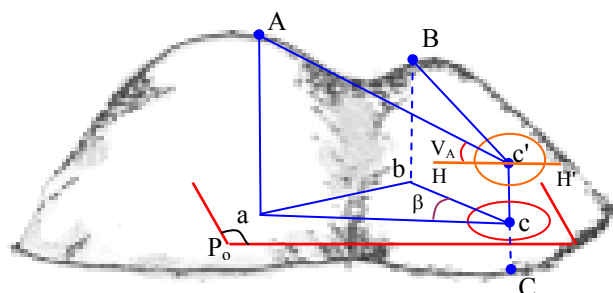
CHƯƠNG 3. ĐO GÓC

Trong trắc địa, góc bằng dùng để tính chuyển góc định hướng và chiều dài cho các cạnh rồi từ đó tính các gia số tọa độ (Δx , Δy) và tọa độ X , Y cho các điểm. Góc đứng dùng để tính chênh cao h giữa các điểm theo phương pháp đo cao lượng giác, từ đó tính độ cao H cho các điểm. Máy chuyên dụng để đo góc bằng và góc đứng là máy kinh vĩ từ (Theodolite).

3.1. Nguyên lý đo góc bằng và góc đứng

Giả sử có ba điểm A , C , B nằm ở những độ cao khác nhau trên mặt đất (hình 3.1). Chiếu ba điểm này lên mặt phẳng ngang P_0 theo phương đường dây dọi, ta được ba điểm tương ứng là a , c , b . Góc nhị hợp bởi mặt phẳng ngắm $[Aac'c]$ và $[BbC'c]$ là góc bằng β cần đo.

Để đo góc bằng, người ta dùng một bàn độ ngang đặt sao cho tâm của nó nằm trên đường dây dọi Cc' , hai mặt phẳng ngắm $[Aac'c]$ và $[BbC'c]$ sẽ cắt bàn độ ở hai giao tuyến có trị số tương ứng là a và c , trị số góc bằng cần đo là $\beta = b - a$.



Hình 3.1

Góc hợp bởi hướng ngắm $c'A$ với đường ngang HH' gọi là góc đứng của hướng CA . Góc đứng nhận giá trị từ 0° đến 90° và có thể dương hoặc âm. Nếu điểm ngắm phía trên đường ngang thì góc đứng sẽ có dấu dương và nằm phía dưới sẽ có dấu âm.

Để đo góc đứng, người ta sử dụng một bàn độ đứng có đường kính nằm ngang mang trị số hai đầu $0^\circ - 0^\circ$ hoặc $0^\circ - 180^\circ$ hoặc $90^\circ - 270^\circ$ và vạch chuẩn hoặc vạch "0" trên thang đọc số bàn độ đứng. Số đọc trên bàn độ đứng khi ống kính nằm ngang và vạch chuẩn hoặc vạch 0 trên thang đọc số cân bằng được gọi là số đọc ban đầu MO . Trị số góc đứng V là hiệu số giữa số đọc MO với trị số của hướng ngắm tới mục tiêu đọc trên bàn độ đứng (hình 3.1).

3.2. Máy kinh vĩ

3.2.1. Tác dụng và phân loại máy kinh vĩ

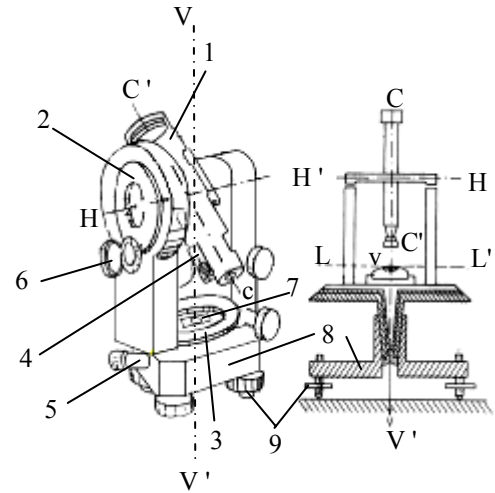
Máy kinh vĩ dùng để đo góc bằng, góc đứng, ngoài ra còn đo được chiều dài và độ chênh cao theo phương pháp đo cao lượng giác.

Nếu phân loại máy kinh vĩ theo đặc điểm cấu tạo bàn độ thì sẽ có máy kinh vĩ kim loại, quang học và điện tử; còn phân loại theo độ chính xác thì sẽ có máy kinh vĩ chính xác, máy có độ chính xác trung bình, và xác thấp.

3.2.2. Nguyên lý cấu tạo máy kinh vĩ

Các bộ phận cơ bản của máy kinh vĩ trình bày ở hình 3.2 gồm:

- (1)-Ống kính ngắm
- (2)-Bàn độ đứng
- (3)-Bàn độ ngang
- (4)-Ống kính hiển vi đọc số
- (5)-Ốc hãm và vi động bàn độ ngang
- (6)- Gương lấy sáng
- (7)-Ống thủy dài bàn độ ngang
- (8)-Đế máy
- (9)-Ốc cân để máy
- CC'- Trục ngắm của ống kính
- HH'-Trục quay của ống kính
- VV'- Trục quay của máy kinh vĩ
- LL'- Trục của ống thủy dài



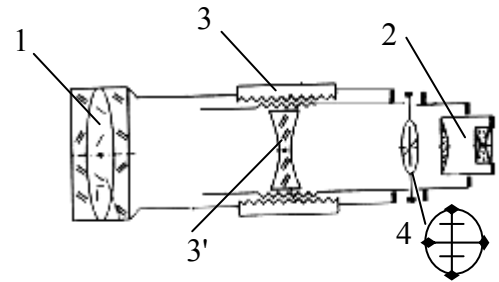
Hình 3.2

3.2.2.1. Ống kính ngắm

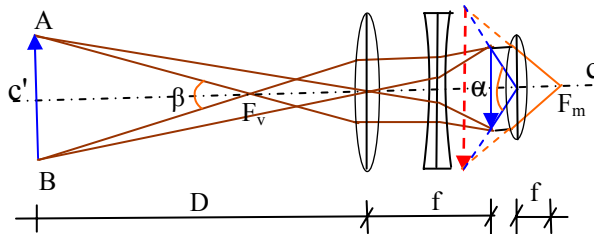
Ống kính ngắm máy kinh vĩ cấu tạo bởi các bộ phận như hình 3.3:

- Kính vật (1) và kính mắt (2) là những thấu kính hội tụ kết hợp với nhau tạo thành hệ kính hiển vi.

- Hệ điều quang gồm ốc điều quang (3) và kính điều quang 3'. Khi vặn ốc điều quang, kính điều quang sẽ di chuyển trong ống kính, nhờ đó làm thay đổi vị trí ảnh thật ab so với kính vật. Khi ảnh ab trùng với mặt phẳng màng dây chữ thập (4) sẽ cho ảnh ảo $a'b'$ ngược chiều với vật nhưng được phóng đại lên nhiều lần. Hình 3.4 là nguyên lý tạo ảnh trong ống kính của máy kinh vĩ.



Hình 3.3



Hình 3.4

- Màng dây chữ thập (4) là một tấm kính mỏng trên có khắc lưới chỉ mảnh dùng làm chuẩn khi đo ngắm. Lưới chỉ chữ thập gồm hai chỉ cơ bản là chỉ đứng và chỉ ngang cắt nhau dạng chữ thập; ngoài ra còn có chỉ trên và dưới dùng để đo khoảng cách.

Ống kính máy kinh vĩ đặc trưng bởi một số chỉ tiêu kỹ thuật sau:

- Độ phóng đại của ống kính :

$$V = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{fv}{fm} \quad (3.1)$$

Trong đó: α - góc nhìn vật qua ống kính; β - góc nhìn vật bằng mắt thường; f_v - tiêu cự kính vật; f_m - tiêu cự kính mắt.

- Trường ngắm ống kính đặc trưng bởi góc kẹp ϵ giữa hai đường thẳng xuất phát từ quang tâm kính vật tới hai đầu đường kính màng dây chữ thập.

$$\varepsilon = \frac{d \cdot \rho''}{f \nu} \quad (3.2)$$

Trong đó: d - đường kính màng dây chữ thập, f - tiêu cự kính vật.

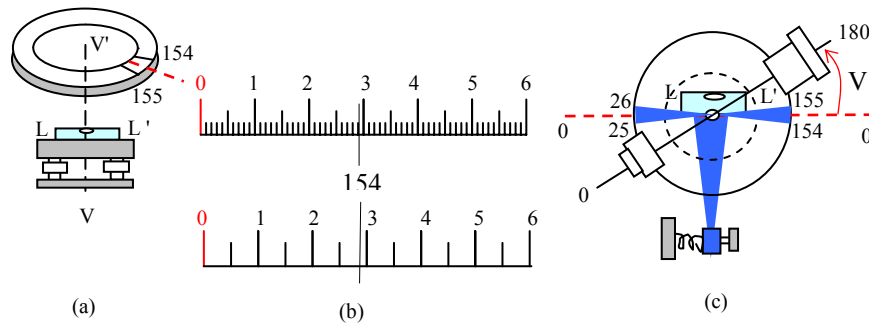
- Độ chính xác ống kính :

$$m_v = \pm \frac{60''}{V} \quad (3.3)$$

3.2.2.2. Bàn độ và bộ phận đọc số

Bàn độ ngang máy kinh vĩ có cấu tạo là một đĩa tròn làm bằng thủy tinh trong suốt có đường kính từ 6cm đến 25cm. Tùy theo là máy quang học hay điện tử và cách chia vạch và đọc số bàn độ có khác nhau.

Đối với máy kinh vĩ quang học, trên mặt bàn độ thường được chia thành 360 khoảng, mỗi khoảng ứng với 1° . Dùng kính hiển vi phóng to khoảng chia 1° rồi đưa và đó một tấm kính mỏng trên khắc vạch chuẩn hoặc thang số đọc. Tùy theo độ chính xác của máy mà thang vạch chuẩn được chia vạch khác nhau (hình 3.5).



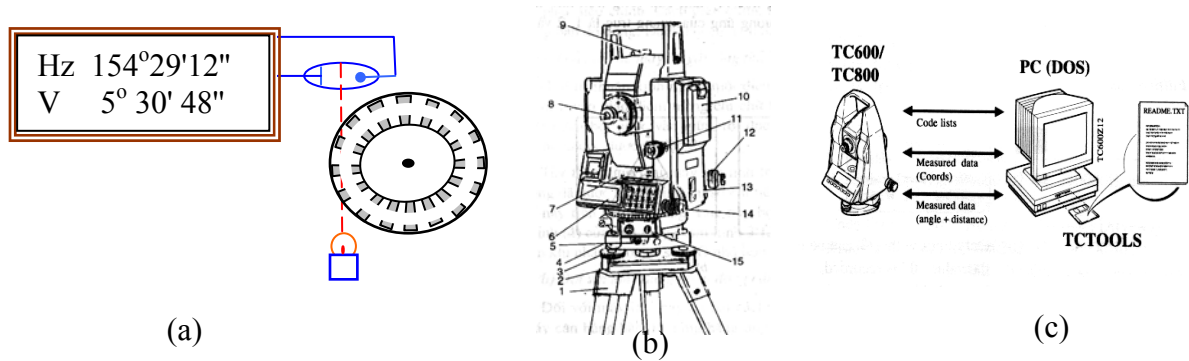
Hình 3.5

Vì chức năng của bàn độ ngang là đo góc bằng, nên nó được liên kết với ống thủy thủy dài có trục LL' vuông góc với trục quay VV' của máy kinh vĩ (hình 3.5.a). Trong một vòng đo vị trí bàn độ ngang phải thực sự cố định.

Khác với bàn độ ngang, bàn độ đứng gắn liền và cùng quay theo ống kính ngắm. Để cân bằng vạch chuẩn đọc số hoặc vạch "0" trên thang đọc số, một số loại máy kinh vĩ dùng ống thủy dài và vít nghiêng (hình 3.5c), còn các loại máy kinh vĩ hiện đại dùng bộ cân bằng tự động bằng hệ con lắc quang học hoặc bộ cân bằng điện tử.

Hai đầu đường kính nằm ngang của bàn độ đứng máy kinh vĩ được khắc vạch tương ứng với trị số $0^\circ - 0^\circ$ hoặc $0^\circ - 180^\circ$ hoặc $90^\circ - 270^\circ$; bởi vậy khi trục ngắm ống kính nằm ngang và thang đọc số được cân bằng thì đường kính trên phải trùng với vạch "0" của thang đọc số. Trị số của hai đầu đường kính trong trường hợp này gọi là số đọc ban đầu MO lý thuyết; nếu điều kiện trên không đảm bảo sẽ dẫn đến sai số số đọc ban đầu và số đọc có sai số đó gọi là MO thực tế.

Các loại máy kinh vĩ điện tử (Digital Theodolite) có bàn độ được mã hóa kết hợp với bộ xử lý CPU cho trị số của hướng đo được hiển thị trên màn hình tinh thể, hoặc lưu trữ trong bộ nhớ của máy hoặc thẻ nhớ (hình 3.6a,b). Ngày nay với sự phát triển của ngành điện tử - tin học, máy kinh vĩ điện tử được ghép nối với máy đo dài điện tử (EDM) có bộ vi xử lý tích hợp nhiều phần mềm tiện ích tạo thành máy toàn đạc điện tử (Total Station). Máy này không những cho phép đo góc mà còn đo dài với độ chính xác cao, tiện lợi và hiệu quả (hình 3.6c).



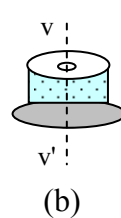
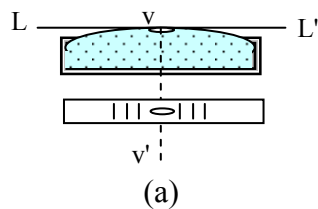
Hình 3.6

3.2.2.3. Bộ phận cân bằng và chiếu điểm

Bộ phận cân bằng gồm ống thủy, các ốc cân để máy, chân máy, vít nghiêng. Bộ phận chiếu điểm gồm dây và quả dọi hoặc bộ phận định tâm quang học.

- Ống thủy dùng để đưa đường thẳng, mặt phẳng về nằm ngang hoặc thẳng đứng. có hai loại ống thủy là: ống thủy dài và ống thủy tròn (hình 3.7).

Ống thủy dài cấu tạo bởi một ống thủy tinh hình trụ nằm ngang, mặt trên là mặt cong có bán kính tương đối lớn. Trong ống thủy tinh đã hút chân không người ta đổ đầy chất lỏng có độ nhớt thấp (ete) và để chứa lại một khoảng không khí nhỏ gọi là bọt thủy. Đối xứng qua điểm cao nhất trên mặt cong, có những vạch khắc cách đều nhau gọi là khoảng chia ống thủy. Độ chính xác ống thủy đặc trưng bởi góc ở tâm τ .



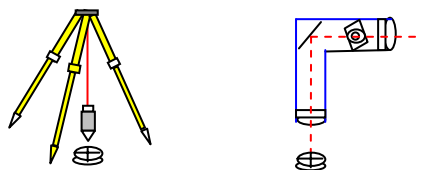
$$\tau = \frac{d}{R} \rho''$$

R - bán kính mặt cong
d - khoảng chia ống thủy

Hình 3.7

Ống thủy tròn cấu tạo bởi ống thủy tinh hình trụ đứng có mặt trên là mặt cầu, sau khi hút chân không người ta cũng đổ đầy ête và chỉ để lại một bọt khí nhỏ gọi là bọt nước ống thủy. Điểm cao nhất trên mặt cầu được đánh dấu bởi hai vòng tròn đồng tâm, đường thẳng đứng qua điểm cao nhất là trục ống thủy. Khi bọt nước ống thủy ở điểm cao nhất thì trục của ống thủy sẽ thẳng đứng. Ống thủy tròn có độ chính xác không cao, dùng để cân bằng sơ bộ máy.

- Bộ phận chiếu điểm: có thể chiếu điểm bằng dọi hoặc bộ phận định tâm quang học như hình 3.8.

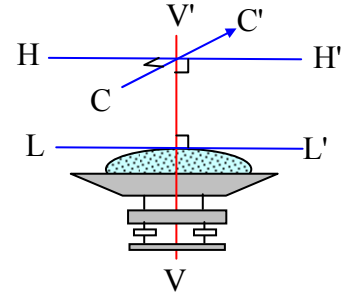


Hình 3.8

3.2.3. Kiểm nghiệm máy kinh vĩ

Để giảm sai số hệ thống do máy kinh vĩ ảnh hưởng tới kết quả đo, trước khi sử dụng máy phải tiến hành công tác kiểm nghiệm. Việc kiểm nghiệm và điều chỉnh máy kinh vĩ nhằm mục đích đảm bảo các điều kiện hình học của các hệ trục (hình 3.9).

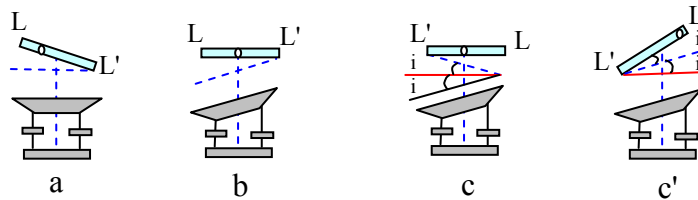
- Trục của ống thủy dài trên bàn độ ngang LL' phải vuông góc trục quay của máy kinh vĩ VV'.
- Chỉ đứng của màng dây chữ thập phải thẳng đứng.
- Trục ngắm CC' của ống kính ngắm máy kinh vĩ phải vuông góc với trục quay HH' của của nó (2C).
- Trục quay HH' của ống kính ngắm phải vuông góc với trục quay VV' của máy kinh vĩ.
- Kiểm nghiệm số đọc ban đầu MO.



Hình 3.9

3.2.3.1. Điều kiện trục của ống thủy dài trên bàn độ ngang

Để kiểm nghiệm điều kiện này, đầu tiên ta quay bộ phận ngắm sao cho trục ống thủy dài bàn độ ngang song song với đường nối hai ốc cân bất kỳ của đế máy, điều chỉnh hai ốc cân này đưa bọt thủy vào giữa ống (hình 3.10b). Tiếp đó quay bộ phận ngắm 180°, nếu bọt thủy vẫn ở giữa, hoặc độ lệch nhỏ hơn một khoảng chia ống thủy thì có thể coi điều kiện này đảm bảo, còn lệch quá một khoảng chia thì phải điều chỉnh lại ống thủy dài (hình 3.10c, c').



Hình 3.10

3.2.3.2. Kiểm nghiệm màng dây chữ thập

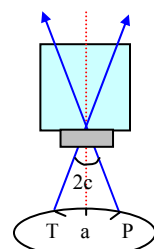
Một trong những cách đơn giản là treo một dây dọi mảnh ở nơi kín gió. Máy kinh vĩ cần kiểm nghiệm đặt cách dây dọi chừng 20m. Sau khi cân bằng máy tiến hành ngắm chuẩn dây dọi, nếu chỉ đứng của màng dây chữ thập trùng với dây dọi thì điều kiện này đạt yêu cầu, nếu không trùng thì phải chỉnh lại màng dây chữ thập.

3.2.3.3. Kiểm nghiệm trục ngắm của ống kính ngắm (2c)

Trục ngắm của ống kính máy kinh vĩ là đường thẳng nối quang tâm kính vật, tâm màng dây chữ thập và quang tâm kính mắt. Nếu trục ngắm có sai số thì khi ngắm cùng một mục tiêu ở hai vị trí bàn độ chúng sẽ lệch nhau một góc ký hiệu là 2c (hình 3.11).

$$a = T - c = P \pm 180 + c \Rightarrow 2c = T - (P \pm 180) \quad (3.4)$$

Để kiểm nghiệm điều kiện trục ngắm ta chọn một mục tiêu A rõ nét, cách xa máy và có góc đứng không quá 5°. Đầu tiên ở vị trí bàn độ trái, sau khi cân bằng máy ta tiến hành ngắm chuẩn mục tiêu A, đọc số bàn độ ngang được số đọc ký hiệu là T. Sau đó thực hiện tương tự đối với vị trí bàn độ phải được số đọc ký hiệu P. Thay giá trị T và P vào công thức (3.4) để tính 2C. Nếu giá trị này nhỏ hơn hai lần độ chính xác của bộ phận đọc số thì coi như điều kiện trục ngắm đảm bảo, nếu không thì phải chỉnh lại màng dây chữ thập.

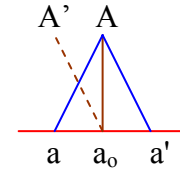


Hình 3.11

3.2.3.4. Kiểm nghiệm trục quay của ống kính ngắm

Nếu hai ổ trục quay của ống kính ngắm không cùng nằm trên một mặt phẳng ngang sẽ làm cho trục quay ống kính không vuông góc với trục quay của máy kinh vĩ.

Để kiểm nghiệm điều kiện này, trên một bức tường cần đánh dấu một điểm A cao hơn mặt phẳng ngang ống kính chừng $30^\circ \sim 50^\circ$. Máy kinh vĩ đặt cách tường 20m. Sau khi cân bằng máy, tiến hành chiếu điểm A xuống mặt phẳng ngang ở vị trí bàn độ trái và phải, đánh dấu được hai điểm tương ứng là a và a'. Nếu thấy đoạn aa' lớn hơn chiều rộng cặp chỉ đứng song song của màn dây chữ thập thì phải điều chỉnh lại trục quay ống kính.

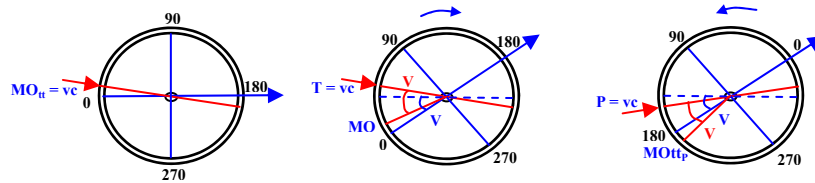


Hình 3.12

3.2.3.5. Kiểm nghiệm số đọc ban đầu MO

Nếu trục ngắm ống kính ngắm nằm ngang và thang đọc số cân bằng mà đường kính nằm ngang của bàn độ đứng không trùng với vạch "0" của thang đọc số thì sẽ gây ra sai số số đọc ban đầu MO (hình 3.13). Từ hình 3.13 ta có công thức tính MO:

$$MO = \frac{T_v + P_v \pm k}{2} \quad (3.5)$$



Hình 3.13

Trong đó k là hệ số tùy thuộc vào cách khắc vạch bàn độ đứng. Ví dụ máy Theo020, Dalhta, Redta, TC800, T100, T30 có $k = 180$; máy 2T30, 2T5, 2T5K có $k = 0$.

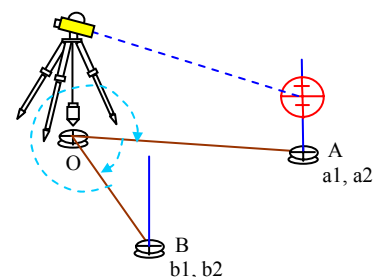
Để kiểm nghiệm MO, chọn một mục tiêu A rõ nét cách xa máy. Ở vị trí bàn độ thuận và ngược, ngắm chuẩn mục tiêu A bằng chỉ giữa nằm ngang của màn dây chữ thập và đọc số trên bàn độ đứng, được hai số đọc tương ứng là T_v và P_v . Thay hai giá trị này vào công thức (3.5) để tính MO. Cần chú ý rằng, trước khi đọc số trên bàn độ đứng thì đều phải cân bằng vạch chỉ tiêu hoặc vạch 0 của thang đọc số bàn độ đứng.

3.3. Phương pháp đo góc bằng

Tùy theo số hướng tại một trạm đo mà ta có thể áp dụng các phương pháp đo góc khác nhau như đo đơn, đo lặp, đo toàn vòng, đo tổ hợp. Giáo trình này chỉ trình bày hai phương pháp đo góc cơ bản là đo đơn và đo toàn vòng.

3.3.1. Đo góc bằng theo phương pháp đo đơn

Phương pháp đo đơn áp dụng cho các trạm đo chỉ có hai hướng và được áp dụng nhiều khi đo góc bằng trong các đường chuyền đa giác. Một vòng đo theo phương pháp đo đơn gồm nửa vòng đo thuận và nửa vòng nghịch. Giả sử đo góc bằng tại đỉnh O hợp bởi hướng ngắm OA và OB (hình 3.14), trình tự đo được thực hiện như sau:



Hình 3.14

3.3.1.1. Đặt máy và dựng tiêu

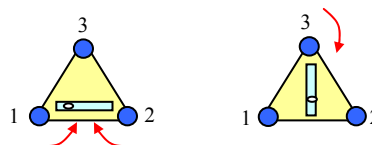
Dựng tiêu ngắm tại điểm A và B; đặt máy kinh vĩ tại đỉnh O và tiến hành định tâm, cân bằng, định hướng.

- Định tâm là thao tác để chiếu đỉnh góc cần đo trên mặt đất theo phương đường dây dọi sao cho trùng với tâm bàn độ ngang của máy kinh vĩ. Việc định tâm được thực hiện bằng dây dọi hoặc bộ phận định tâm quang học. Để định tâm bằng dây dọi, ta phải mắc dây vào đầu trục quay VV' của máy kinh vĩ. Điều chỉnh ba chân máy sao cho đầu quả dọi đi qua đỉnh góc cần đo.

Khi định tâm quang học, trước tiên ta điều chỉnh chân máy hoặc ốc cân để máy sao cho tâm vòng tròn bộ định tâm quang học trùng với đỉnh góc đo. Sau đó cân bằng máy bằng ba ốc cân chân máy, các thao tác này được lặp lại cho đến khi đỉnh góc đo ở trong vòng tròn. Tiếp theo ta cân bằng máy bằng ba ốc cân để máy, nếu sau khi cân bằng mà đỉnh góc lệch khỏi vòng tròn thì mở ốc nổi, xê dịch để máy cho trùng lại và tiến hành cân bằng lại máy là được.

- Cân bằng máy là thao tác để điều chỉnh cho mặt phẳng bàn độ về ngang nằm ngang. Thực hiện cân bằng nhờ ống thủy tròn (sơ bộ), ống thủy dài (chính xác), các ốc cân để máy và chân máy.

Khi cân bằng, đầu tiên quay bộ phận ngắm sao cho trục ống thủy dài bàn độ ngang song song với đường nối hai ốc cân bất kỳ, điều chỉnh hai ốc cân này đưa bọt thủy vào giữa ống. Sau đó quay bộ phận ngắm đi 90° , điều chỉnh ốc cân thứ ba để bọt thủy vào giữa ống. Các thao tác này được lặp lại cho đến khi bọt thủy không lệch khỏi vị trí giữa ống quá một phân khoảng ống thủy là được (hình 3.15).



Hình 3.15

- Định hướng: để nâng cao độ chính xác đo góc và giảm sai số do khắc vạch bàn độ không đều, khi đo góc ta phải đo nhiều vòng và giữa các vòng hướng khởi đầu cần đặt lệch nhau một lượng bằng $180^\circ/n$ (n là số vòng đo). Việc làm này được gọi là định hướng máy kinh vĩ. Việc định hướng thực hiện nhờ ốc điều chỉnh bàn độ ngang.

3.3.1.2. Đo góc

Một vòng đo góc bằng theo phương pháp đo đơn gồm nửa vòng đo thuận và nửa vòng đo ngược.

- Nửa vòng đo thuận kính: Bàn độ đứng đặt bên trái hướng ngắm, ngắm chuẩn tiêu ngắm A, đọc số trên vành độ ngang được số đọc ký hiệu a_1 . Quay bộ phận ngắm thuận chiều kim đồng hồ, ngắm chuẩn tiêu ngắm B, đọc số trên bàn độ ngang được số đọc ký hiệu là b_1 . Như vậy ta đã hoàn thành nửa vòng đo thuận, trị số góc nửa vòng thuận $\beta_t = b_1 - a_1$.

- Nửa vòng đo ngược: kết thúc nửa vòng đo thuận ống kính đang trên hướng OB, thực hiện đảo ống kính và quay máy ngắm lại tiêu ngắm B; đọc số trên bàn độ ngang được số đọc b_2 . Máy quay thuận chiều kim đồng hồ ngắm tiêu ngắm A, đọc số trên bàn độ ngang được số đọc a_2 . Đến đây ta đã hoàn thành nửa vòng đo ngược và cũng hoàn thành một vòng đo theo phương pháp đo đơn. Góc nửa vòng đo nghịch $\beta_p = b_2 - a_2$; nếu độ lệch trị số góc giữ hai nửa vòng đo nằm trong giới hạn cho phép thì trị số góc tại vòng đo này là: $\beta_{1v} = (\beta_t + \beta_p)/2$. Kết quả đo góc bằng theo phương pháp đo đơn được ghi vào sổ đo ở bảng 3.1.

Bảng 3.1.Sổ đo góc theo phương pháp đo đơn

Vòng đo	Trạm đo	Điểm ngắm	Vị trí bàn độ	Số đọc bàn độ ngang	Góc kẹp		
					Nửa vòng đo	Một vòng đo	Trung bình
1	o	A	T	00°00'00''	35°16'24''		
		B	T	35°16'24''		35°16'18''	
		B	P	215°16'30''	35°16'12''		
		A	P	180°00'18''			

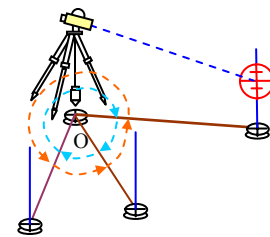
Một số lưu ý khi đo góc bằng theo phương pháp đo đơn:

- Trong một vòng đo không được thay đổi vị trí bàn độ ngang.
- Trong suốt quá trình đo máy luôn quay thuận chiều kim đồng hồ để hạn chế sai số do bàn độ ngang bị kéo theo bộ phận ngắm.

3.3.2. Đo góc bằng theo phương pháp toàn vòng

Phương pháp đo góc toàn vòng áp dụng cho các trạm đo góc bằng có từ 3 hướng trở lên, phương pháp này được ứng dụng nhiều khi đo góc trong lưới giải tích.

Một vòng đo theo phương pháp này cũng gồm nửa vòng đo thuận và nửa vòng đo ngược. Giả sử cần đo góc bằng tại trạm O có ba hướng là OA, OB, OC (hình 3.16). Để đo, trước tiên cần đặt máy kinh vĩ vào trạm O và thực hiện định tâm, cân bằng, định hướng tương tự như phương pháp đo đơn; sau đó tiến hành đo góc theo trình tự:



Hình 3.16

- Nửa vòng đo thuận: bàn độ đứng đặt bên trái hướng ngắm. Trước tiên ngắm chuẩn tiêu ngắm A, rồi lần lượt các tiêu ngắm ở các điểm B, C và A theo chiều kim đồng hồ; mỗi hướng đo đều tiến hành đọc số bàn độ ngang và ghi giá trị vào sổ đo góc.

- Nửa vòng đo ngược: kết thúc nửa vòng đo thuận thì ống kính đang ngắm về hướng OA. Tiến hành đảo ống kính và quay máy ngắm và đọc số lại hướng này; sau đó quay bộ phận ngắm ngược chiều kim đồng hồ lần lượt ngắm các tiêu trên hướng OC, OB và OA. Ở mỗi hướng đều đọc số bàn độ ngang và ghi trị số các hướng đo vào sổ đo góc bằng (bảng 3.1).

Bảng 3.1.Sổ đo góc theo phương pháp toàn vòng**SỔ ĐO GÓC BẰNG THEO PHƯƠNG PHÁP TOÀN VÒNG**

Vòng đo	Trạm đo	Điểm ngắm	VT BĐ	Số đọc bàn độ ngang	2C	Trị số hướng TB	Vi	Trị số hướng Hiệu chỉnh	Góc kẹp	TB
1	O	A	T	00°00'06"		00°00'03"	0	00°00'03"		
			P	180°00'00"	+6"				51°12'19"	
		B	T	51°12'30'		51°12'27"	-5"	51°12'22"		
			P	231°12'24"	+6"				31°14'37"	
		C	T	82°27'12'		82°27'09'	-10"	82°26'59'		
			P	262°27'06"	+6"				277°33'04"	
		A	T	00°00'24"		00°00'18"	-15"	00°00'03"		
			P	180°00'12"	+12"					
						+15"	-5"			

Để tăng độ chính xác đo góc cần phải đo nhiều vòng đo, trị hướng khởi đầu mỗi vòng đo đặt lệch một lượng $180^\circ/n$ (n là số vòng đo). Biên động $2c \leq 2t$; sai số khép vòng $f_v \leq 2t$ với " t " là độ chính của bộ phận đọc số.

3.3.3. Các nguồn sai số chủ yếu trong đo góc bằng

Khi đo góc, mỗi lần ngắm chuẩn mục tiêu ở một hướng sẽ mắc phải sai số ngắm m_v và sai số đọc số m_o hai sai số này được xác định bởi:

$$m_v = \pm \frac{60''}{V}; \quad m_o = 0,15t \quad (3.6)$$

Trong đó: v - độ phóng đại ống kính; t - độ chính xác của bộ phận đọc số máy kinh vĩ. Như vậy sai số trung phương đo trên một hướng với một lần đo sẽ là :

$$m_d = \sqrt{m_v^2 + m_o^2} \quad (3.7)$$

Tổng hợp các nguồn sai số trên một hướng đo gồm: sai số do máy - m_1 , sai số do lệch tâm máy m_2 , sai số do lệch tâm tiêu m_3 , sai số do m_d và sai số do ảnh hưởng của môi trường m_5 . Với sai số do định tâm máy và tiêu ngắm được xác định bởi công thức (3.7).

$$\Delta_\delta = e_m \cdot \rho'' \left(\frac{1}{s_A} + \frac{1}{s_B} \right); \quad \delta = e_t \cdot \rho'' \frac{1}{s} \quad (3.8)$$

Trong đó: e_m và e_t tương ứng là khoảng lệch tâm theo chiều dài của máy và tiêu ngắm; s là khoảng cách từ máy tới mĩa.

3.4. Đo góc đứng

Ta đã biết góc đứng là góc hợp bởi hướng ngắm so với hướng nằm ngang, để tạo hướng ngang trong quá trình đo góc đứng nhất thiết phải cân bằng bàn độ đứng và đo cả hai vị trí bàn độ để hạn chế sai số số đọc ban đầu MO.

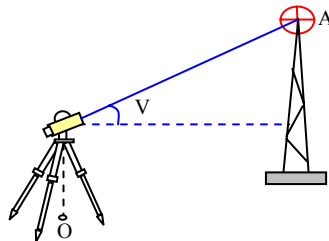
Giả sử cần đo góc đứng V của hướng ngắm OA (hình 3.17). Để đo, trước tiên đặt và cân bằng máy kinh vĩ đặt tại điểm O. Sau đó ngắm chuẩn điểm A ở cả vị trí bàn độ thuận và ngược; đọc số trên bàn độ đứng được hai số đọc tương ứng là: $T_v = 76^\circ 27' 12''$; $P_v = 283^\circ 32' 18''$. Từ hai số đọc này ta tính được góc đứng:

$$MO = \frac{76^\circ 27' 12'' + 283^\circ 32' 18'' - 180^\circ}{2} = 89^\circ 59' 45''$$

$$V = 89^\circ 59' 45'' - 76^\circ 27' 12'' = 13^\circ 32' 33''$$

Hoặc: $V = 283^\circ 32' 18'' - 269^\circ 59' 45'' = 13^\circ 32' 33''$

Ngoài các nguồn sai số do máy kinh vĩ như đã trình bày trong phần đo góc bằng, khi đo góc đứng cần lưu ý thêm sai số MO, sai số bộ phận cân bằng bàn độ đứng, sai số chiết quang đứng...



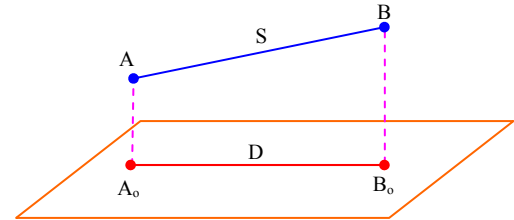
Hình 3.17

CHƯƠNG IV. ĐO DÀI

4.1. Nguyên lý đo dài

Độ dài là một trong ba đại lượng để xác định vị trí không gian của các điểm trên mặt đất, nó là một yếu tố cơ bản trong trắc địa.

Giả sử A và B nằm ở những độ cao khác nhau trên mặt đất. Do mặt đất nghiêng nên khoảng cách AB là khoảng cách nghiêng và ký hiệu là S. Khi chiếu hai điểm này xuống mặt phẳng nằm ngang P_0 theo phương đường dây dọi sẽ được hình chiếu tương ứng của chúng là A_0 và B_0 ; khoảng cách A_0B_0 là khoảng cách ngang và ký hiệu là D (hình 4.1).



Hình 4.1

Độ dài một đoạn thẳng có thể được đo trực tiếp hoặc gián tiếp. Đo dài trực tiếp là phép đo trong đó dụng cụ đo được đặt trực tiếp liên tiếp trên đoạn thẳng cần đo, từ số liệu và dụng cụ đo sẽ xác định được độ dài đoạn thẳng. Trong thực tế thường áp dụng phương pháp đo dài trực tiếp bằng thước thép.

Đo dài gián tiếp là phép đo để xác định một số đại lượng dùng tính độ dài của đoạn thẳng cần xác định. Có nhiều phương pháp đo dài gián tiếp như: đo dài bằng máy quang học, đo dài bằng các loại máy đo dài điện tử, đo bằng công nghệ GPS...

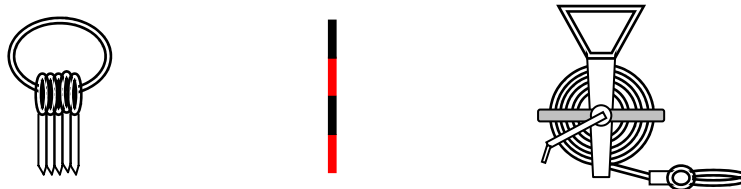
4.2. Đo dài trực tiếp bằng thước thép

4.2.1. Đo dài với độ chính xác thấp hơn 1/2000

4.2.1.1. Dụng cụ đo

- Thước thép thường. Thước thép thường là loại thước có độ dài 20m, 30m hoặc 50m; trên toàn bộ chiều dài thước chỉ khắc vạch đến đơn vị "cm". Thước được bảo vệ trong hộp sắt có tay quay dùng để thu hồi thước sau khi đo. Thước thép thường chỉ cho phép đo độ dài với độ chính xác thấp (khoảng 1/2000) nên không có phương trình riêng.

- Bộ que sắt để đánh dấu đoạn đo, sào tiêu để đóng hướng và thước đo góc nghiêng đơn giản để xác định độ nghiêng mặt đất (hình 4.2).



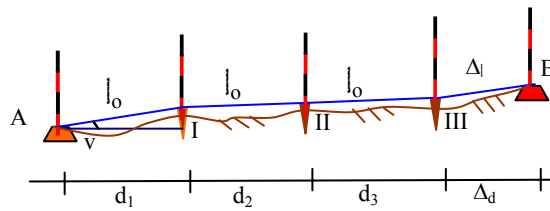
Hình 4.2

4.2.1.2. Trình tự đo

Đóng hướng đường đo: khi đo chiều dài một đoạn thẳng thông thường phải đặt thước nhiều lần trên đường đo, để hai đầu thước luôn nằm trên hướng đo thì phải thực hiện đóng hướng. *Đóng hướng đường đo là việc xác định một số điểm nằm trên hướng đường thẳng nối điểm đầu và điểm cuối của đoạn thẳng cần đo.*

Việc đóng hướng khi đo dài với độ chính xác thấp hơn 1/2000 được thực hiện bằng mắt. Trước tiên cần đặt sào tiêu tại điểm đầu A và điểm cuối B của đoạn thẳng cần đo; một

người đứng cách A vài mét trên hướng BA kéo dài, dùng mắt điều chỉnh cho sào tiêu của người thứ 2 trùng với tim AB tại các vị trí trung gian trên đường tuyến đo (hình 4.3).



Hình 4.3

Để đo chiều dài cạnh AB, một người dùng que sắt giữa chặt đầu “0” của thước trùng với tâm điểm A, người thứ hai kéo căng thước trên tim đường đo theo sự điều chỉnh của người đóng hướng và dùng que sắt cắm vào vạch cuối cùng của thước ta được điểm I. Sau đó nhổ que sắt tại A, hai người cùng tiến về phía B. Khi người cầm đầu “0” của thước tới điểm I thì công việc đo được lặp lại trên như và cứ tiếp tục như vậy cho đến đoạn cuối cùng. Số que sắt người đi sau thu được chính là số lần đặt thước, chiều dài cạnh đo được tính theo công thức:

$$D = \sum_{i=1}^n d_i + \Delta_d \quad (4.1)$$

Trong đó: $d_i = l_0 \cos V_i + \Delta_{l_k}$

Trong đó l_0 - chiều dài thước đo, d_i - chiều dài nằm ngang của thước đo, V - góc nghiêng mặt đất tại các đoạn đo; Δ_{l_k} - số hiệu chỉnh do sai số của thước đo ; Δ_d - đoạn lẻ cuối của cạnh đo.

Tùy theo độ xác mà ta có thể đo một lần nữa từ B về A, trị số cạnh đo là trị trung bình của lần đo đi và về nếu độ chênh của chúng nhỏ hơn sai số cho phép.

4.2.2. Đo dài với độ chính xác thấp hơn 1/20.000

4.2.2.1. Dụng cụ đo

Để đo chiều dài đạt độ chính xác dưới 1/20.000 phải có thước thép chính xác. Thước thép chính xác là loại thước được làm bằng hợp kim có hệ số giãn nở vì nhiệt thấp; chiều dài thước có thể là 20m, 30m, 50m hoặc 100m. Trên toàn bộ chiều dài thước được khắc vạch chính xác đến đơn vị "mm", thước được bảo vệ trong hộp sắt hoặc khung bảo vệ có tay quay. Thước cho phép đọc số chính xác đến 0.1mm, có phương trình riêng, nêu được kiểm nghiệm tổ chức đo tốt thì có thể cho phép đo dài với độ chính xác khoảng 1/20000.

Do sai số chế tạo và sự giãn nở vì nhiệt đã làm cho chiều dài thực tế l_t của thước khác với chiều dài danh nghĩa l_0 ghi trên thước, do vậy đối với các loại thước chính xác cần phải nghiệm trước khi đo. Khi kiểm nghiệm, người ta so sánh thước thép với một thước chuẩn Inva ở nhiệt độ lúc kiểm nghiệm t_0 để tìm ra chiều dài thực tế l_{t_0} và số hiệu chỉnh Δ_{l_k} vào chiều dài danh nghĩa l_0 . Từ đó lập được công thức chiều dài thực tế của thước lúc đo (4.2).

$$l_t = l_0 + \Delta_{l_k} + \Delta_{l_t} \quad (4.2)$$

Trong đó: $\Delta_{l_t} = \alpha \cdot l_{t_0} \cdot (t - t_0)$; α - hệ số giãn nở vì nhiệt của thước, t - nhiệt độ môi trường lúc đo.

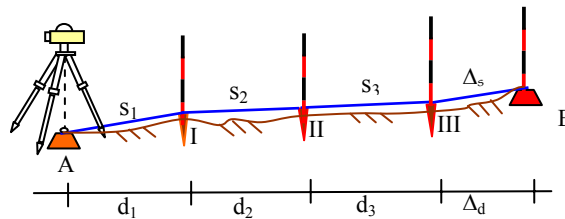
Ngoài thước thép chính xác còn phải có: máy kinh vĩ để dóng hướng; máy thủy chuẩn để đo chênh cao các đầu cọc, lực kế để kéo căng thước; nhiệt kế để đo nhiệt độ.

4.2.2.2. Phương pháp đo

Giả sử phải đo cạnh AB, đầu tiên ta dùng thước vải chia AB thành các đoạn A-I, I-II, II-III, nhỏ hơn chiều dài thước vài “cm” và đoạn lẻ III-B. Dùng các cọc đầu có dấu chữ thập trên đầu để đánh dấu các đoạn. Các đầu cọc cố định các đoạn đo phải được dóng hướng bằng máy kinh vĩ.

Để dóng hướng, máy kinh vĩ sẽ được định tâm và cân bằng tại A, tiến hành ngắm chuẩn tiêu ngắm đặt tại B và hãm ngang; dùng mặt phẳng ngắm chuẩn này để điều chỉnh các đầu cọc I, II, III trùng tìm tuyến AB (hình 4.4).

Biên chế tổ đo cạnh gồm 5 người; trong đó 2 người kéo thước, 2 người đọc số trên thước, một người ghi sổ và điều khiển đo.



Hình 4.4

Khi đo lần lượt đo từng đoạn, mỗi đoạn đo theo hiệu lệnh chung của người ghi sổ, hai người giữ hai đầu thước đồng thời cùng kéo căng thước bằng lực kế với lực kéo lúc kiểm nghiệm thước. Hai người đọc số căn cứ vào vạch chuẩn đầu cọc, đọc số đồng trên thước để người ghi sổ ghi kết quả vào sổ đo. Mỗi đoạn đọc số 3 lần, mỗi lần đo phải xê dịch thước và kéo căng lại lực kế. Lúc đo, mỗi đoạn đo phải tiến hành đo nhiệt độ để tính số hiệu chỉnh do nhiệt độ lúc đo khác lúc kiểm nghiệm; phải đo chênh cao các đầu cọc để đưa các đoạn nghiêng S_i về nằm ngang d_i .

$$D = \sum_{i=1}^n d_i + \Delta_d \text{ với } d_i = S_i + \Delta l_k + \Delta l_t + \Delta l_v, \quad (4.3)$$

Để tăng độ chính xác và có điều kiện kiểm tra, cần đo theo hai chiều đi và về, kết quả cuối cùng là kết quả trung bình của hai lần đo. Đồng thời với công tác đo dài phải đo nhiệt độ, áp suất, chênh cao đầu cọc để tính số hiệu chỉnh cho thước.

4.2.3. Các nguồn sai số chủ yếu khi đo dài trực tiếp bằng thước.

- Sai số do chiều dài danh nghĩa ghi trên thước không đúng với chiều dài thực tế lúc kiểm nghiệm.
- Sai số do định tuyến sai.
- Sai số do đo chênh cao các đầu cọc sai.
- Sai số do đo nhiệt độ sai.
- Ngoài ra còn có sai số thước võng và lực kéo thước không đúng với lực kéo lúc kiểm nghiệm.

4.3. Đo dài bằng máy trắc địa và mia

4.3.1. Đo dài bằng máy trắc địa và mia đứng

Phương pháp được xây dựng trên cơ sở mối quan hệ toán học giữa góc thị sai φ không đổi và cạnh đáy l thay đổi tỷ lệ thuận với độ dài cần đo. Để có thể đo dài bằng phương pháp này thì màng dây chữ thập của máy kinh vĩ (hay máy thủy bình) còn cấu tạo thêm hai chỉ ngang đối xứng qua chỉ ngang cơ bản để tạo góc thị sai (hình 4.5).

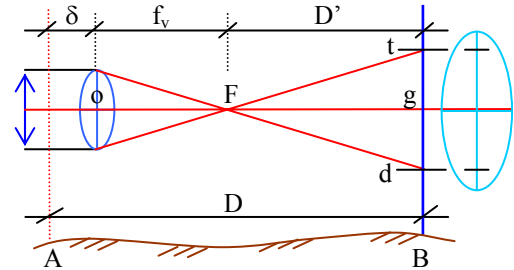
4.3.1.1. Trường hợp ống kính nằm ngang

Từ hình vẽ 4.5 ta có :

$$D = \delta + f_v + D'$$

Trong đó: δ - khoảng cách từ trục quay của máy kinh vĩ tới quang tâm kính vật; f_v - tiêu cự kính vật. Hai thông số này trong chế tạo đã biết và đặt $c = \delta + f_v$ gọi là hằng số cộng của máy. Còn đại lượng D' tính bởi công thức:

$$D' = \frac{1}{2} l \cdot \text{ctg} \frac{\varphi}{2}$$



Hình 4.5

Với: $l = t - d$ là hiệu số đọc chỉ trên và dưới; φ - góc thị sai. Đặt $k = \frac{1}{2} \text{ctg} \frac{\varphi}{2}$ ta có công thức xác định khoảng cách:

$$D = c + k.l \quad (4.4)$$

Khi thay đổi đường kính màng dây chữ thập sao cho $\varphi = 34'22''$ thì $k = 100$. Công thức thực dụng khi đo chiều dài là:

$$D = 100 \times l \quad (4.5)$$

4.3.1.2. Trường hợp ống kính nằm nghiêng

Giả sử trục ngắm ống kính nghiêng so với mặt phẳng ngang một góc V , trong trường hợp này phải có thêm một bước chuyển từ chiều dài nghiêng về nằm ngang. Để chứng minh công thức ta tưởng tượng một mĩa ảo l_0 vuông góc với trục ngắm ống kính 'Og' tại g (hình 4.6). Như trường hợp đầu đối với mĩa ảo ta có :

Og = C + k.l₀ ; với: $l_0 = l \cdot \cos v$; ta có:

$$\text{Og} = C + k \cdot l \cdot \cos v \quad (4.6)$$

Xét tam giác vuông tOB' có:

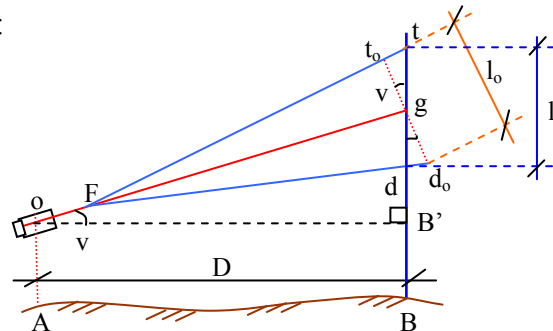
$$\text{OB}' = D = \text{Og} \cdot \cos V$$

thay Og ở công thức (4.8) vào ta có:

$$D = (C + k \cdot l \cdot \cos v) \cdot \cos V$$

Có thể coi:

$$D = (C + k \cdot l) \cdot \cos^2 V \quad (4.7)$$



Hình 4.6

Điều này có nghĩa là đối với trường hợp ống kính nghiêng so với mặt phẳng ngang một góc V , khi đo chiều tiến hành đo như ống kính nằm ngang. Tuy nhiên phải đo thêm góc V và nhân vào chiều dài đo được với $\cos^2 V$. Phương pháp này cho phép đo cạnh với sai số tương đối 1/300.

4.3.2. Đo dài bằng mĩa Bala

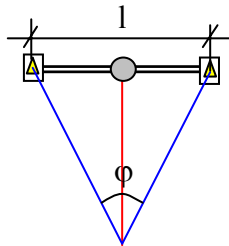
Phương pháp này về nguyên lý giống như đo bằng máy kinh vĩ và mìa đứng, tuy nhiên có mấy điểm khác nhau cơ bản sau :

- Phương pháp đo bằng mìa Bala thì có đường đáy l cố định, góc thị sai φ thay đổi theo khoảng cách đo (hình 4.7).

- Mìa Bala có đường đáy l (dài 1-2m) và hai bảng ngắm hai đầu, độ giữa hai bảng ngắm được chế tạo với độ chính xác rất cao ($1/T = 1/40.000$). Trên mìa có ống thủy để cân bằng mìa nằm ngang và bộ phận lấy hướng.

$$D = \frac{1}{2} l \cdot \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \quad (4.8)$$

Góc thị sai φ được đo nhiều lần và lấy trung bình. Độ chính xác đo dài theo phương pháp này có thể đạt sai số tương đối $1/20.000$.

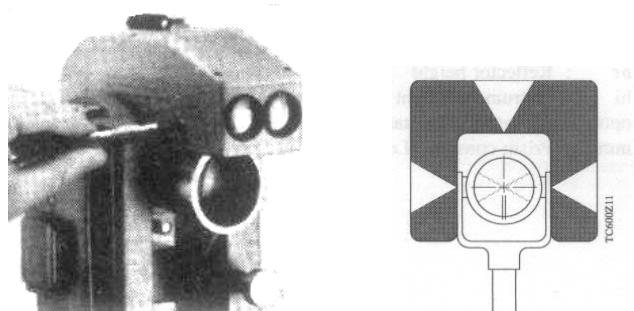


Hình 4.7

4.4.. Khái niệm đo dài bằng máy đo điện tử

Đo dài điện tử phải có máy phát sóng vô tuyến điện hoặc sóng ánh sáng và gương phản xạ. Khi máy phát sóng thì tốc độ lan truyền sóng ' v ' hoặc độ dài bước sóng ' λ ' đã xác định. Sóng phát đi sẽ đập vào gương và phản xạ lại máy; máy đo dài có bộ đếm thời gian (Δt) hoặc số bước sóng (N) chính xác trên quãng đường đi và về của đoạn thẳng cần đo; từ đó tính được độ dài của nó (4.11). Phương pháp này hiện đại, đo nhanh, cạnh đo có thể rất dài và cho độ chính xác cao (hình 4.8).

$$D = \frac{vt}{2} \quad \text{hoặc} \quad D = \frac{n \cdot \lambda}{2} \quad (4.9)$$



Hình 4.8

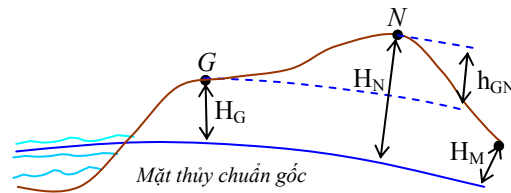
CHƯƠNG 5. ĐO ĐỘ CAO

5.1. Nguyên lý đo cao

Đặt trạm nghiệm triều và tiến hành quan trắc mực nước biển nhiều năm ta sẽ xác định được mặt thủy chuẩn gốc. Từ mặt thủy chuẩn gốc xác định được độ cao trung bình của điểm G là H_G . Tiến hành đo chênh cao h_{GN} của điểm “G” so với các điểm “N” cần xác định độ cao, ta sẽ xác định được độ cao của điểm này (hình 5.1):

$$H_N = H_G + h_{GN} \quad (5.1)$$

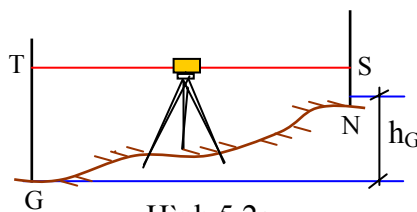
Vậy thực chất đo độ cao là đo chênh cao giữa điểm đã biết độ cao với điểm cần xác định độ cao. Có thể có bốn phương pháp đo cao là: đo cao hình học, đo cao lượng giác, đo cao thủy tĩnh và đo cao áp kế. Trong phạm vi môn học chỉ nghiên cứu đo cao hình học và đo cao lượng giác.



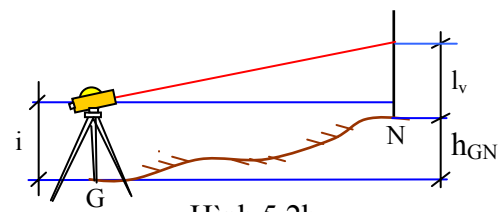
Hình 5.1

- Nguyên lý đo cao hình học: điều kiện để đo cao hình học là phải có máy và mìa thủy chuẩn. Giả sử cần đo chênh cao hình học giữa hai điểm “G” và “N”, mìa thủy chuẩn đặt tại “G” và “N”, máy thủy chuẩn đặt ở giữa G - N. Bộ phận ngắm máy thủy chuẩn tạo mặt phẳng ngắm nằm ngang cắt mìa “G” tại số đọc “S” và mìa “N” tại số đọc “T”, từ hai số đọc này ta tính được chênh cao h_{GN} (hình 5.2a):

$$G_i = S - T \quad (5.2)$$



Hình 5.2a



Hình 5.2b

Đo cao hình học có hai phương pháp: khi đo máy đặt giữa đoạn đo gọi là phương pháp đo cao hình học ở giữa, còn khi đo máy đặt máy thủy chuẩn tại một trong hai đầu thì gọi là phương pháp đo cao hình học phía trước, trường hợp này phải đo chiều cao trực ngắm và đọc số trên một mìn kia.

- Nguyên lý đo cao lượng giác: đo cao lượng giác thường được thực hiện bằng máy kinh vĩ và mìn đứng. Trong quá trình đo người đo phải xác định các đại lượng: góc đứng V, khoảng cách từ máy tới điểm đo D, chiều cao trực ngắm i và chiều cao điểm ngắm l_v . Từ hình vẽ (5.2b) ta có ta có công thức đo cao lượng giác:

$$h_{AB} = D \cdot \text{tg} V + i - l_v \quad (5.3)$$

5.2. Máy và mia thủy chuẩn

5.2.1. Máy thủy chuẩn

5.2.1.1. Tác dụng- phân loại máy thủy chuẩn

Máy thủy chuẩn dùng để đo cao hình học, ngoài ra máy có thể đo được khoảng cách và một số máy còn có thể đo được góc bằng với độ chính xác thấp nếu như có gắn bàn độ ngang.

Máy thủy chuẩn có thể được phân loại theo nguyên lý hoạt động của bộ phận cân bằng ở trong máy; nếu dùng tay cân bằng để đưa trục ngắm về nằm ngang ta có máy thủy chuẩn cơ, nếu máy có bộ phận tự động cân bằng trục ngắm nằm ngang ta có máy thủy chuẩn tự động. Các máy thủy chuẩn hiện đại có bộ cân bằng điện tử hoặc máy thủy chuẩn kỹ thuật số.

Máy thủy chuẩn cũng có thể phân loại theo độ chính xác đo cao mà nó có thể đạt được, phân loại theo cách này ta có: máy thủy chuẩn có độ chính xác cao là những loại máy cho phép đo cấp hạng I và hạng II với sai số trung phương $m_h = \pm 0,5\text{mm}/1\text{km}$; loại máy có độ chính xác trung bình dùng để đo độ cao hạng III, hạng IV với $m_h = \pm 3\text{mm}/1\text{km}$ và máy thủy chuẩn kỹ thuật $m_h = \pm 10\text{mm}/1\text{km}$ dùng để tăng dày độ cao lưới khống chế cấp thấp.

5.2.1.2. Nguyên lý cấu tạo

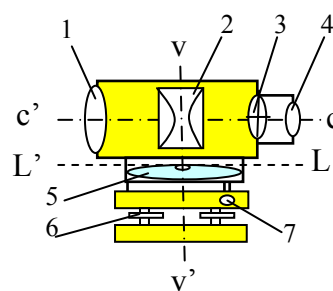
Máy thủy chuẩn cấu tạo bởi ba bộ phận chính: bộ phận ngắm, bộ phận cân bằng và bộ phận cố định.

a. Bộ phận ngắm

Bộ phận ngắm máy thủy chuẩn được cấu tạo bởi nhiều bộ phận, nhưng quan trọng nhất là ống kính (hình 5.3). Nhìn chung ống kính máy thủy chuẩn có cấu tạo tương tự như ống kính máy kinh vĩ, tuy nhiên có ba điểm khác sau:

- + Độ phóng đại ống kính máy thủy chuẩn thường lớn hơn máy kinh vĩ.
- + Ống kính máy thủy chuẩn không có bàn độ đứng.
- + Trục ngắm ống kính máy thủy chuẩn luôn được đưa về phương nằm ngang.

- 1- Kính vật
 - 2- Hệ điều quang
 - 3- Màng dây chữ thập
 - 4- Kính mắt
 - 5- Ống thủy
 - 6- Ốc cân để máy
 - 7- Vít nghiêng
- CC' - trục ngắm ống kính
LL' - trục ống thủy dài
VV' - trục quay của máy thủy chuẩn



Hình 5.3

b- Bộ phận cân bằng

Tùy theo loại máy mà bộ phận cân bằng có thể là cân bằng thủ công nhờ vít nghiêng và ống thủy dài hoặc cân bằng tự động.

- **Bộ phận cân bằng của máy thủy chuẩn cơ:** các máy thủy chuẩn cơ được cân bằng nhờ vít nghiêng và ống thủy dài. Cấu tạo máy thủy chuẩn cân bằng bằng vít nghiêng và ống thủy dài được mô tả ở hình 5.3. Có hai đặc điểm của loại máy này là:

+ Trục ngắm của ống kính CC' không gắn cố định với trục đứng VV', chính vì thế khi điều chỉnh vít nghiêng thì trục ngắm CC' của ống kính có thể quay được những góc nhỏ trong mặt phẳng thẳng đứng chứa trục CC'.

+ Ống thủy dài có trục LL' được gắn cố định và song song với trục ngắm CC' của ống kính.

Khi cân bằng máy thủy chuẩn loại này, trước tiên người ta cân bằng sơ bộ bằng ống thủy tròn, sau đó cân bằng chính xác máy bằng cách điều chỉnh vít nghiêng để đưa bọt nước ống thủy dài vào giữa thì trục ngắm sẽ nằm ngang.

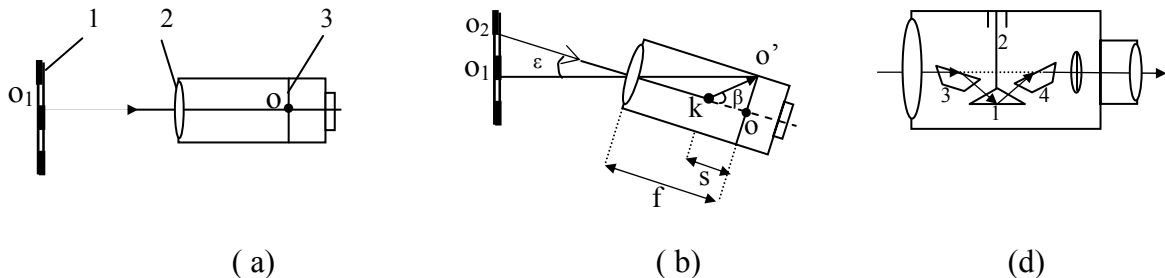
- **Bộ phận cân bằng của máy thủy chuẩn tự động:** nguyên lý chung của hệ cân bằng tự động là tính tự cân bằng của con lắc khi treo khi nó ở trạng thái tự do.

Hình 5.4a là trường hợp ống kính nằm ngang, số đọc o_1 ở trên mìa (1) sẽ qua quang tâm kính vật (2) cho ảnh trùng với tâm màng dây chữ thập O. Ở hình 5.4b là trường hợp ống kính bị nghiêng một góc nhỏ ε , khi đó số đọc o_1 được tạo ảnh tại o' còn tâm O màng dây chữ thập sẽ trùng với số đọc o_2 trên mìa. Điều đó có nghĩa tâm màng dây chữ thập đã dịch chuyển khỏi trục nằm ngang một đoạn oo' . Nhiệm vụ của bộ cân bằng tự động là làm cho O trùng với o' . Từ hình 5.4.b ta có:

$$oo' = f.tg\varepsilon = s.tg\beta \text{ vì } \varepsilon \text{ và } \beta \text{ nhỏ nên } f.\varepsilon = s.\beta \quad (5.4)$$

Như vậy, để o trùng với o' thì tâm màng dây chữ thập phải dịch chuyển một lượng $f.\varepsilon$ và mối quan hệ giữa các đại lượng nên f, ε, s, β phải được xác định bởi hệ số cân bằng k:

$$\frac{\beta}{\varepsilon} = \frac{f}{s} = k \text{ các máy thủy chuẩn tự động có k từ 0,4 đến 6} \quad (5.5)$$



Hình 5.4

Hình 5.4d mô tả bộ cân bằng tự động nhờ con lắc lăng kính tiêu biểu. Hệ này gồm một lăng kính tam giác (1) treo bằng sợi dây kim loại mảnh (2) đóng vai trò con lắc; còn hai lăng kính tứ giác (3), (4) được gắn cố định. Vị trí các lăng kính thỏa mãn mối tương quan (5.5) và có $k = 6$. Các loại máy dùng bộ cân bằng này là: Koni007, Koni004, Ni025, Ni B5...

5.2.1.3. Kiểm nghiệm máy thủy chuẩn

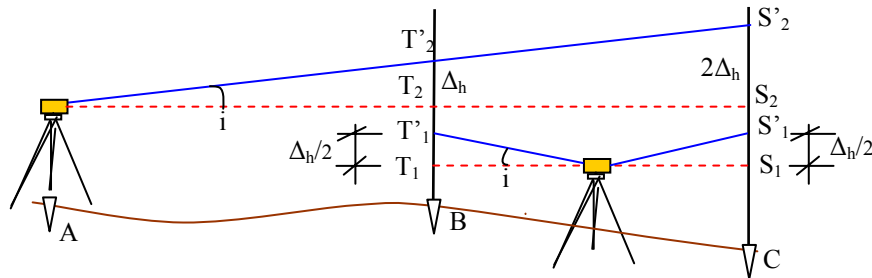
Các điều kiện hình học của máy thủy chuẩn bao gồm:

- (1) Trục ống thủy dài LL' phải vuông góc với trục quay VV' của máy thủy chuẩn;
- (2) chỉ ngang dây chữ thập phải nằm ngang;
- (3) trục ngắm ống kính CC' phải song song với trục ống thủy dài LL';
- (4) trục ngắm ống kính và trục ống thủy dài phải nằm trên hai mặt phẳng thẳng đứng song song với nhau (điều kiện giao chéo);
- (5) độ ổn định của bộ phận cân bằng tự động.

a. Trục ống thủy dài LL' phải vuông góc với trục quay VV' của máy thủy chuẩn.

Điều kiện này chỉ có ở những máy không có bộ phận cân bằng tự động. Phương pháp kiểm nghiệm tương tự như máy kinh vĩ, tuy nhiên cần lưu ý:

- Vít nghiêng đặt ở vị trí trung bình trước khi kiểm nghiệm.
- Khi điều chỉnh trục ống thủy thì nửa khoảng lệch còn lại sẽ được khử nốt bằng điều chỉnh vít nghiêng thay vì phải điều chỉnh bằng hai ốc giá ống thủy.
- Khi điều chỉnh xong trục ống thủy, cần đánh dấu vị trí vít nghiêng và chỉnh bọt thủy tròn cho phù hợp với ống thủy dài.

b. Kiểm nghiệm điều kiện chỉ của màng dây chữ : kiểm nghiệm như máy kinh vĩ.**c. Kiểm nghiệm điều kiện trục ngắm máy thủy chuẩn**

Hình 5.5

Để kiểm nghiệm điều kiện này, trên một khu đất đóng ba cọc A, B, C cách đều nhau 20m (hình 5.5). Đầu tiên đặt máy thủy chuẩn chính giữa đoạn BC, mia đặt tại B và C. Sau khi cân bằng máy tiến hành đọc số trên mia B và C; giả sử trục ngắm nằm ngang ($i = 0$) thì số đọc trên hai mia tương ứng là S_1 và T_1 , nếu trục ngắm sai ($i \neq 0$) thì số đọc trên mia B và C tương ứng là T'_1 và S'_1 . Sau đó chuyển máy về A, thực hiện tương tự như trên ta sẽ có cặp số đọc tương ứng là T_2 , S_2 và T'_2 , S'_2 . Từ đó ta lần lượt tính:

- Trị số chênh cao h_{BC} khi $i = 0$ là:

$$h_{BC} = S_1 - T_1 = S_2 - T_2 \quad (5.6)$$

- Trị số chênh cao h_{BC} khi $i \neq 0$ và máy đặt chính giữa BC là:

$$h_{BC} = (S'_1 - \Delta_h/2) - (T'_1 - \Delta_h/2) = S'_1 - T'_1 \quad (5.7)$$

(5.7) cho thấy, mặc dù máy có sai số trục ngắm ($i \neq 0$) nhưng nếu máy đặt thật chính giữa hai mia thì kết quả chênh cao sẽ loại trừ được sai số góc i .

- Trị số chênh cao h_{BC} khi $i \neq 0$ và máy đặt tại A là:

$$h_{BC} = (S'_2 - \Delta_h) - (T'_2 - 2\Delta_h) = S'_2 - T'_2 + \Delta_h$$

Sai số Δ_h do ảnh hưởng của trục ngắm sai là:

$$\Delta_h = (S'_1 - T'_1) - (S'_2 - T'_2)$$

Sai số trục ngắm là:

$$i = \frac{\Delta_h}{s} \rho'' \quad (5.8)$$

Trong đó $s = AB$

Đối với độ cao từ hạng III trở xuống quy phạm quy định $i > 10''$ thì phải hiệu chỉnh lại góc i .

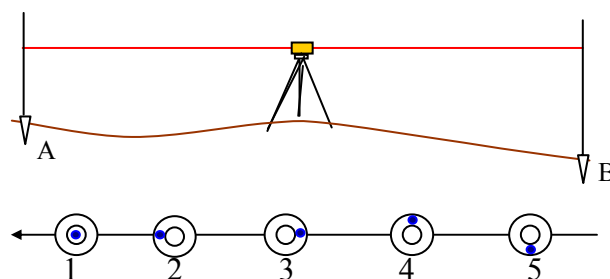
c. Kiểm nghiệm điều kiện giao chéo

Đặt máy thủy chuẩn đặt sao cho đường nối hai ốc cân để máy hướng về mĩa. Cân máy để trực ống thủy dài nằm ngang, đọc số trên mĩa và ghi nhớ số đọc này.

Vặn ốc cân còn lại để nghiêng ống kính qua trái và qua phải, quá trình nghiêng ống kính cần điều chỉnh sao cho số đọc trên mĩa không đổi, đồng thời luôn quan sát bọt nước ống thủy. Nếu vị trí bọt nước không đổi, hoặc chỉ di chuyển về phía một đầu ống thì điều kiện này đạt yêu cầu. Ngược lại, ta phải đem máy vào xưởng để chỉnh lại.

d. Kiểm nghiệm sai số của bộ phận cân bằng tự động

Cố định hai cọc A và B trên mặt đất, đặt máy thủy chuẩn tự động chính giữa AB. Tiến hành xác định chênh cao h_{AB} ở năm vị trí bọt nước của ống thủy tròn trên máy như hình 5.6.



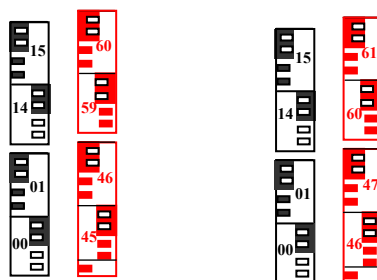
Hình 5.6

Ở vị trí 1 điều chỉnh cho bọt nước vào giữa ống; những vị trí còn bọt nước lệch khỏi điểm giữa ống thủy khoảng 2mm qua trái, qua phải, lên trên, xuống dưới. Kết quả đo chênh cao h_{AB} ở bốn vị trí sau so sánh với vị trí 1. Nếu chênh lệch không vượt quá 1mm thì điều kiện này đảm bảo.

5.2.2. Mĩa thủy chuẩn

5.2.2.1. Cấu tạo mĩa thủy chuẩn

Mĩa thủy chuẩn thực chất là một thước dài làm bằng gỗ hoặc kim loại. Trên mĩa chia vạch cả hai mặt; mặt mĩa ghi số bằng sơn đen gọi là mặt đen và mặt đỏ số ghi bằng sơn đỏ. Thông thường vạch chia nhỏ nhất trên mĩa là 1cm và ghi số ở những vạch dm. Trong những khoảng chia dm có một chữ E liên kết 5cm để thuận tiện cho đọc số (hình 5.7).



Hình 5.7

Trong đo cao hình học quy định phải sử dụng cặp mịa để đo. Mặt đen của một cặp mịa thủy chuẩn đều có trị số để mịa bằng “0” và được chia vạch giống hệt nhau. Mặt đỏ và mặt đen của mỗi mịa có trị số để mịa lệch nhau một lượng, gọi lượng đó là hằng số mịa; hiệu hằng số hai mịa gọi là hằng số cặp mịa, trị số hằng số cặp mịa bằng 100mm.

5.2.2.2. Kiểm nghiệm mịa thủy chuẩn

Nội dung kiểm nghiệm của mịa thủy chuẩn bao gồm: kiểm nghiệm giá trị các vạch khắc trên mịa, kiểm nghiệm hằng số mịa và hằng số cặp mịa.

Kiểm nghiệm vạch khắc trên mịa ta dùng thước thép đo trực tiếp các khoảng dm, m và toàn bộ chiều dài mịa.

Kiểm nghiệm hằng số mịa: trên mặt đất đóng một cọc chắc chắn, dựng mịa cần kiểm nghiệm trên đầu cọc. Máy thủy chuẩn đã kiểm nghiệm đặt cách cọc này chừng 20m, sau khi cân bằng máy ta tiến hành đọc số chỉ giữa trên mịa ở cả mặt đen và mặt đỏ. Hiệu số đọc mặt đen và mặt đỏ chính là hằng số mịa. Hằng số mịa được xác định vài lần rồi lấy trung bình. Lấy hiệu hằng số hai mịa ta được hằng số cặp mịa.

5.3. Đo cao hạng IV và kỹ thuật

5.3.1. Một số tiêu chuẩn kỹ thuật trong đo cao hạng IV và kỹ

Bảng 5.1

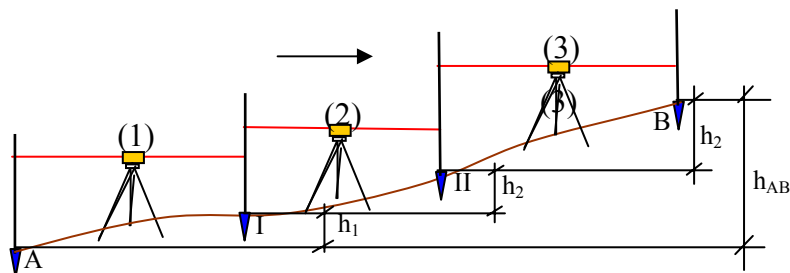
Các tiêu chuẩn kỹ thuật	Hạng IV	Kỹ thuật
1. Chiều cao tia ngắm	0.3m	0.2m
2. Độ lệch khoảng cách từ máy tới hai mịa		
- Ở một trạm	3m	5m
- Trên một tuyến	10m	20m
3. Độ lệch giữa chênh cao mặt đen và đỏ	3mm	5mm
4. Sai số hằng số K	3mm	5mm
5. Sai số khép cho phép	$20.(L_{km})^{1/2} \text{ mm}$	$50.(L_{km})^{1/2} \text{ mm}$
6. khoảng cách từ máy tới mịa	không quá 100m	không quá 120m

5.3.2. Trình tự đo và tính toán

5.3.2.1. Đo cao hạng IV

Nếu đường đo cao dài không quá 200m thì chỉ cần đo ở một trạm máy còn nếu đường đo dài hoặc chênh cao địa hình lớn thì phải chia làm nhiều trạm, đo chênh cao từng trạm (hình 5.8).

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (5.9)$$



Hình 5.8

-Trình tự đo ở một trạm:

+ Giả sử đo cao tại trạm 1, đặt máy thủy chuẩn ở giữa đoạn A-I sao cho độ lệch khoảng cách từ máy tới A(mĩa sau) và I(mĩa trước) không quá $\pm 3m$. Sau khi cân bằng máy cẩn thận ngắm mặt đen mĩa sau, đọc số trên mĩa cả ba chỉ trên, giữa, dưới.

+ Quay máy ngắm mặt đen mĩa trước, đọc số trên mĩa cả ba chỉ: trên, giữa và dưới.

+ Người giữ mĩa trước quay qua mặt đỏ để người đọc máy đọc chỉ giữa mặt đỏ mĩa trước, rồi quay về mĩa sau đọc số chỉ giữa mặt đỏ mĩa sau. Tất cả các số đọc trên đây đều phải ghi vào sổ đo cao (bảng 5.2).

- Tính toán :

+ Tính khoảng cách từ máy tới hai mĩa: hiệu số đọc chỉ trên và dưới mặt đen mĩa sau nhân với 100 cho khoảng cách từ máy tới mĩa sau. Khoảng cách từ máy tới mĩa trước cũng được tính tương tự. Độ lệch khoảng cách mĩa sau và mĩa trước không được vượt quá $\pm 3m$.

+ Tính chênh cao mặt đen và mặt đỏ: hiệu chỉ giữa mặt đen mĩa sau với mĩa trước cho chênh cao mặt đen $h_{\text{đen}}$; Hiệu chỉ giữa mặt đỏ mĩa sau với mĩa trước cho chênh cao mặt đỏ $h_{\text{đỏ}}$. Nếu sai khác giữa $h_{\text{đen}}$ và $h_{\text{đỏ}}$ đã loại trừ hằng số cặp mĩa không vượt qua $\pm 3mm$ thì chênh cao của trạm đo là trị trung bình hai chênh cao đó.

+ Tính sai số hằng số mĩa: hằng số mĩa là hiệu chỉ giữa mặt đỏ và mặt đen, còn hằng số cặp mĩa là hiệu hằng số hai mĩa.

Bảng 5.2

TT	Trạm đo	K/c từ máy tới mĩa			Mặt mĩa	Số đọc chỉ giữa		Chênh cao	Chênh cao TB
		sau	trước	S-T		mĩa sau	mĩa trước		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		1527	1971	-1.6	đen	1327	1763	-436	
2	1	1127	1555		đỏ	5800	6138	-338	-437
3		40.0m	41.6m	-1.6	k	4473	4375	-98	
4		2185	1312	2	đen	1935	1072	863	
5	2	1685	832		đỏ	6310	5549	761	862
6		50.0m	48.0m	0.4	k	4375	4477	102	
						$K_1=4475$	$K_2=4375$	$K_3=100$	

5.3.2.2. Đo cao kỹ thuật

-Trình tự đo ở một trạm: đầu tiên ngắm mặt đen mĩa sau đọc số ba chỉ: Trên, Giữa, dưới sau đó đọc ngay chỉ giữa mặt đỏ mĩa sau. Quay máy về mĩa trước, đọc số mặt đen mĩa trước ứng với ba chỉ: trên, giữa, dưới và sau đó đọc luôn chỉ giữa mĩa trước mặt đỏ.

-Tính toán: tính tương tự như đo cao hạng IV. Trong đo cao kỹ thuật sai số đo cho phép lớn hơn so với đo cao hạng IV.

5.3.2.3. Các nguồn sai số trong đo cao hình học

- Sai số do máy và mia thủy chuẩn. Để giảm ảnh hưởng nguồn sai số này thì trước khi đo máy và mia cần phải được kiểm nghiệm và hiệu chỉnh.

- Sai số do cân bằng ống thủy: $m_{cb} = \pm 0.2 d$ (d là giá trị phân khoảng ống thủy).

- Sai số đọc số trên mia: $m_o = 0.04t + \frac{0.156}{V^x} D$ (5.10)

Trong đó: t - giá trị vạch chia nhỏ nhất trên mia, D - khoảng cách từ máy tới mia.

- Sai số do mia nghiêng :

$$\Delta = l' - l = l' - l' \cos v = l'(1 - \cos v) = 2l' \sin^2 \frac{v}{2} \approx l' \frac{v^2}{2} \quad (5.11)$$

Trong đó: V - góc nghiêng của mia; l - số đọc trên mia nghiêng .

- Sai số do máy và mia lún: khi đo cao trên đường đo có nền đất không vững cộng với trọng lượng của người và thiết bị đo có thể làm cho máy và mia bị lún. Để hạn chế sai số do máy và mia bị lún, quá trình đo cần thao tác nhanh, đọc số trên cả hai mia; đo đi và về trên cùng đường đo; đo theo quy trình đã học.

- Sai số do độ cong trái đất và chiết quang khí quyển

$$f = (1 - k) \frac{D^2}{2R} = 0.43 \frac{D^2}{R} \quad (5.12)$$

Trong đó $k = \frac{R}{R_1} = 0.14$ là hệ số chiết quang;

5.4. Đo cao lượng giác

Khi khoảng cách $AB = D \leq 400m$ thì chênh cao giữa hai điểm A, B tính theo công thức:

$$h_{AB} = D \cdot \operatorname{tg} V + i - l_v \quad (5.13)$$

Trong đó: D - khoảng cách ngang từ máy tới mia; V - góc nghiêng của trục ngắm ứng với độ cao điểm ngắm l_v , i - chiều cao máy.

Khi khoảng cách $AB = D > 400m$ thì chênh cao giữa hai điểm A, B tính theo công thức hiệu chỉnh độ cong trái đất và chiết quang:

$$h_{AB} = D \cdot \operatorname{tg} V + i - l_v + 0.43 \frac{D^2}{R} \quad (5.14)$$

Độ chính xác đo cao lượng giác xác định bởi (5.12), nếu không có biện pháp nâng cao độ chính xác đo đạc thì phương pháp này có sai số $\pm 1cm/100m$.

$$m_h = \pm D \sqrt{\operatorname{tg}^2 V \left(\frac{m_D}{D}\right)^2 + \frac{1}{\cos^4 V} \left(\frac{m_V}{\rho}\right)^2} \quad (5.15)$$