

大地測量

中 冊

Б.П. 叶尔莫洛夫 П.С. 查卡托夫

М.Н. 庫圖佐夫 М.М. 穆拉文

Д.В. 薩因科 В.В. 特罗伊茨基

等 著

測繪出版社

大地測量

中 冊

Б. П. 叶尔莫洛夫 П. С. 查卡托夫
М. Н. 庫圖佐夫 М. М. 穆拉文等著
Д. В. 薩因科 Б. В. 特罗伊茨基

技术科学博士 П. С. 查卡托夫教授总編
地 質 部 教 育 司 譯
胡 明 城 校

苏联內务部測繪总局教育处审定作为
地形測量中等技术学校大地測量專業教学用書

測繪出版社

1956 · 北京

Б. П. Ермолов, П. С. Закатов, М. Н. Кутузов,
М. М. Муравин, Д. В. Саенко, Б. В. Троицкий

ГЕОДЕЗИЯ

под общей редакцией профессора доктора

технических наук П. С. Закатова

Часть I

Отделом учебных заведений ГУГК МДВ СССР Утверждено в качестве
Учебного пособия для геодезической специальности
топографических техникумов

ГЕОДЕЗИЗДАТ

МОСКВА 1954

本書系根据苏联測繪書籍出版社 1954 年于莫斯科出版的 В. П. 叶尔莫洛夫等所著“大地測量”上卷下半本譯出。原書經苏联內务部測繪总局教育处审定作为地形測量中等技术学校大地測量專業教学用書。本書可供設有大地測量課程的其他学校之师生以及地形大地測量作業人員使用。

本書內容包括：几何水准測量，三角測量总論，基綫和基綫網，三角点的勘选，測角仪器及其檢查和檢驗，水平角（方向）和天頂距的測量。

本書由地質部教育司譯出，第十一和十三章由張宝山同志翻譯，第十二章由張宝山、朱長盛同志翻譯，第十四章由韓会林同志翻譯，第十五章由朱長盛、張宝山、韓会林同志翻譯，第十六章由李樹棠同志翻譯，全書由胡明城同志审校。

大地測量 中冊

著 者 В. П. 叶 尔 莫 洛 夫 等
П. С. 查 卡 托 夫

譯 者 地 質 部 教 育 司
出 版 者 測 繪 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号
北京市書刊出版業登記證出字第081号

發 行 者 新 華 書 店
印 刷 者 天 津 人 民 印 刷 厂

編譯：朱長盛 技術編輯：李璧如 校對：白叔鈞

印數(京)1--15,20册 1956年9月北京第1版

開本31''×43 1/2 1956年10月第1次印刷

字數275,000字 印張13 1/2 插頁2

定價(10)2.20元

目 录

第十一章	几何水准测量	6
§ 96.	几何水准测量的实质	6
§ 97.	地球曲率与折光差改正	9
§ 98.	水准仪	11
§ 99.	水准仪的检查	15
§ 100.	斯托多尔克維奇式水准仪	20
§ 101.	用标尺测定水准器的分划值	24
§ 102.	水准仪望远镜的放大率和水准器的灵敏度	26
§ 103.	“仪器位於兩标尺中央的水准测量”的优越性	28
§ 104.	水准标尺	28
§ 105.	标尺的檢驗	30
§ 106.	点上的标尺設置	31
§ 107.	水准点的表示	32
§ 108.	国家水准網	33
§ 109.	四等水准測量	34
§ 110.	三等水准测量的特点	36
§ 111.	水准路綫連測至水准标石和标志以及間歇时的連測	44
§ 112.	通过障碍的水准測量	45
§ 113.	水准測量成果的整理	46
§ 114.	單一水准路綫的平差	48
§ 115.	具有一个和若干个交叉点的水准路綫的平差	49
第十二章	三角測量总論。方案和分等。誤差傳播	55
§ 116.	三角測量的任务和实质	55
§ 117.	三角測量的方案和分等	59
§ 118.	建立三角系的工作內容与程序	68
§ 119.	三角測量對於确定地球形狀和大小的作用。弧度測量	69

§ 120.	三角鎖与三角網的边長誤差。縱向位移与橫向位移	74
§ 121.	边長对数的权倒数	89
§ 122.	三角形最有利的形狀	93
第十三章	基綫和基綫網	100
§ 123.	基綫網的用途和种类。基綫網精度的确定	100
§ 124.	折綫形基綫	104
§ 125.	标准尺与作業尺	105
§ 126.	基綫測量儀器	109
§ 127.	使用綫狀基綫尺的原則	112
§ 128.	檢定器的構造	118
§ 129.	基綫尺的檢定	120
§ 130.	基綫的准备工作。定綫	122
§ 131.	軸桿头水准測量	125
§ 132.	基綫測量	128
§ 133.	折綫形基綫的測量。冰上与不坚实土地上的基綫測量	131
§ 134.	基綫測量資料的整理。基綫長度計算	134
§ 135.	基綫測量誤差。精度估計	138
第十四章	三角点的勘选	143
§ 136.	三角測量概略(室內)計劃的制訂。大地測量踏勘	143
§ 137.	选点方法	147
§ 138.	开闊地区和半蔭蔽地区中的选点	151
§ 139.	开闊的平原地区中选点的特点	157
§ 140.	山区和复杂山区中的选点	158
§ 141.	森林地区中的选点	159
§ 142.	觇标高度的計算	161
§ 143.	基綫網的勘选	167
§ 144.	航空測量資料的应用。选点工作文件的編写	168
第十五章	測角儀器及其檢查和檢驗	170
§ 145.	儀器的种类。儀器的說明	170
§ 146.	2'' 三角測量經緯儀	178

§ 147. 水准器的檢驗	198
§ 148. 光学經緯仪	203
§ 149. 仪器誤差及其对观测方向值的影响	209
§ 150. 帶有显微測微器的三角測量經緯仪的檢查	224
§ 151. 光学經緯仪的檢查	233

三角測量經緯仪的檢驗

§ 152. 显微測微器螺旋作用正确性的檢驗	234
§ 153. 光学測微器作用正确性的檢驗	237
§ 154. 显微測微器行差的測定	237
§ 155. 刻划显微鏡和光学測微器行差的測定	249
§ 156. 主望遠鏡目鏡測微器週值的測定	251
§ 157. 偏扭望遠鏡目鏡測微器週值的測定	253
§ 158. 照准部偏心差的檢驗	255
§ 159. 度盤偏心差的檢驗	262

第十六章 水平角(方向)和天頂距的測量

§ 160. 大气光学总論。視程	264
§ 161. 折光差	268
§ 162. 按全周方向观测法观测方向	271
§ 163. 全組合測角法	285
§ 164. 全周方向观测法和全組合測角法的比較評定。观测方向 向和角度的限差	296
§ 165. 三角点上的观测程序和綱要	298
§ 166. 照准目标	302
§ 167. 观测方向值的归心計算	304
§ 168. 天頂距測量	311
§ 169. 三角高程測量的高差計算。三角高程測量的精度	315
§ 170. 觇标高度的測定	322
§ 171. 三角点略圖的編制	324

第十一章 几何水准测量

§ 96. 几何水准测量的实质

在研究本教材第八、九兩章測圖工作种类的过程中，我們已經熟悉了测定各点高差的方法和步驟，这些点是把地貌描繪在地形平面圖和地形圖上所不可缺少的。

进行視距測圖和平板仪測圖时，高差是用測繪地物的仪器於測繪地物时順便确定的；而进行綜合測圖时，地貌的描繪基本上与平板仪測圖时一样。除以上兩章所敘述的测定高差的方法外，尚有一种專供测定高差的測量工作，这就是水准測量。在下面就会看到，水准測量就是几何水准測量，它是建立高程控制網的基本方法(§ 108)。

从緒論的 § V 知道，各点的絕對高程是从起始水准面計算，苏联的起始水准面是芬蘭灣內的波罗的海海面。在这里的克朗什塔德港口上設有一个驗潮站，全国各地的高程都从驗潮站的零点起算。如將測得的高差值注意其符号依次加到水准面的零点上，就得到地表各点的絕對高程(圖 224)。

几何水准測量的实质如下。假設我們有一台水准仪和兩根标尺，水准仪望遠鏡的視軸可以整置成水平位置，标尺的全長刻成若干个相



圖 224. 高差和絕對高程

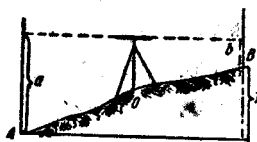


圖 225. 仪器位於兩标尺中央的水准測量

等的部分。为了测定 B 点对于 A 点的高差(圖 225), 我們在这兩点上設置标尺, 把仪器放在兩标尺間的 O 点上。將望遠鏡的視軸整置水平, 並用它照准 A 点的标尺, 按望遠鏡交合系的水平絲讀取从标尺底部至該絲的标尺分划数。假定这一讀数是 a 。此后, 把望遠鏡照准 B 点的标尺, 讀取讀数 b 。由讀数 a 減去讀数 b , 就得 B 点对于 A 点的高差 h , 即:

$$h = a - b. \quad (120)$$

如果水准测量是沿着从 A 至 B 的方向进行, 則标尺 A 將是“后标尺”, 而标尺 B 是“前标尺”。按标尺讀数常常称为“視”。

这样, 公式 (120) 說明, 高差等於后視減去前視。

从圖 226 可以看出, B 点对于 A 点的高差也可用其他方法求得。

我們把仪器設在 A 点, 使望遠鏡的目鏡能投影到 A 点的木樁上, 而标尺設在 B 点。將仪器的視軸整置水平, 並量出仪器的高 i , 然后以望遠鏡照准标尺, 並讀取讀数 b 。显然, 这时

$$h = i - b, \quad (121)$$

即高差等於仪器高度減去标尺讀数。

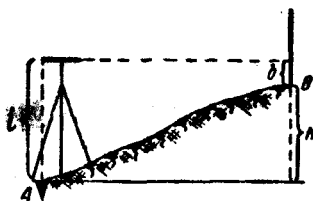


圖 226. “前进水准測量”

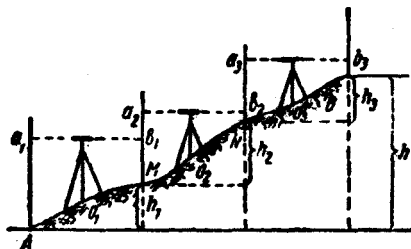


圖 227. 复合水准測量

这种方法称为“前进水准測量”, 以区别於上述的“仪器位於兩标尺中央的水准測量”。

以上所述的水准測量是利用水平視綫測定高差为基础的(因而称为几何水准測量), 除了这样的水准測量之外, 在測量工作中还採用物理水准測量。这种水准測量方法是利用水銀气压計的特性, 水銀气压計中水銀柱的高度取決於大气

压力。而大气压力则取決於測站点的高程：測站点愈高，大气压力就愈小，水銀柱的高度就愈低。如果知道了气压計的讀数变化一分划时点的高程变化的数值，就可以确定一点對於另一点的高差。

在物理水准測量（气压計高程測量）中，並不利用不適於野外条件的水銀气压計，而是利用輕便空盒气压計。其接受空气压力的裝置是一个金屬的薄壁真空盒，盒的四壁对大气压力的变化有灵敏的反应。压力是借沿着刻划圈移动的指針讀出的。

根据水准点間的距离，几何水准測量可以分作簡單的与复合的。簡單水准測量是假定一点對於另一点的高差可以設置仪器一次來測定。而这样的情况是很少遇到的，水准測量通常不得不在彼此相距遙远的兩点間进行，为了得出終点对於起点的高差，要把仪器設置多次，分段进行兩端点間路綫的水准測量。这样的水准測量称为复合水准測量。

設需要測定終点 B 對於起点 A 的高差（圖 227）。採用复合水准測量时，將标尺垂直地設置在 A 与 M 兩点上，而仪器則設在兩点間的 O_1 点上。把望遠鏡的視軸整置水平，按兩标尺讀数，並依下式求出 M 点對於 A 点的高差：

$$h_1 = a_1 - b_1.$$

將 M 点的标尺留下，帶着仪器到 O_2 点，而將 A 点的标尺移至 N 点。然后將望遠鏡照准 M 点的标尺，繼而照准 N 点的标尺，讀取讀数 a_2 和 b_2 ，按下式得出新的高差：

$$h_2 = a_2 - b_2.$$

按上述步驟將水准測量进行到終点，並將所有中間的高差加起来，得：

$$h = h_1 + h_2 + \cdots + h_n = (a_1 + a_2 + \cdots + a_n) - (b_1 + b_2 + \cdots + b_n). \quad (122)$$

上式的左方是終点对於起点的高差，而右方則是后标尺的讀数和与
前标尺的讀数和之差。因而，高差等於后視之和減去前視之和。由

於各个高差可能是正的，也可能是負的，所以將各高差相加时应注意它們的符号。

§ 97. 地球曲率与折光差改正

前节研究几何水准测量的程序时，是假定各水准点間的距离不大，因而垂直設置的标尺可以認為是平行的。其实，由於地球曲率的緣故，在 A, B 兩点上垂直設置的标尺（圖 228）是沿着水准面半徑的方向。我們通过这两点和測站点 O 作三个水准面。 O 点的水准面与标尺 A 相交於 m 点，与标尺 B 相交於 n 点，这时 Am 与 Bn 的差数就是 B 点對於 A 点的实际高差值，即：

$$h = Am - Bn, \quad (a)$$

而当仪器望远镜的水平視綫照准这两标尺时，我們在 m_1 与 n_1 兩点上取得兩讀数，这两讀数包含有起因於地球曲率的誤差 mm_1 与 nn_1 。考虑到这些誤差，公式(a)应是：

$$h = (Am_1 - mm_1) - (Bn_1 - nn_1).$$

在另一方面，視綫的方向会因折光差的影响而發生变化，由以下的理由可以看出。

自标尺的某一点 m_0 發出的視綫通过不同密度的大气層时，就会發生折射（圖 229）。因为各大气層的密度是随着接近地面的程度而逐

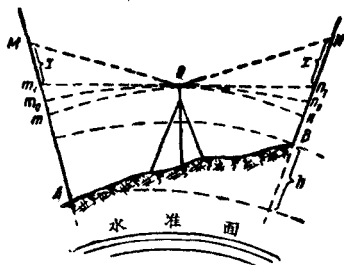


圖 228. 地球曲率与折光差的影响

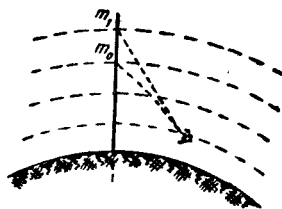


圖 229. 折光現象

漸增加，折射曲綫的凸部將向上，因而觀測員就覺得看到了曲綫的切綫方向上的一點，即 m_1 點。這種現象稱為折光差。

再看一下圖 228，我們會發現， $m_0 m_1$ 與 $n_0 n_1$ 是因折光差而產生的讀數誤差。所以，考慮到地球曲率及折光差的合併影響，高差應以下列公式表示：

$$h = \{Am_1 - (mm_1 - m_0 m_1)\} - \{Bn_1 - (nn_1 - n_0 n_1)\}.$$

將標尺 A 的合併影響表示為：

$$mm_1 - m_0 m_1 = f_1,$$

而標尺 B 的合併影響表示為：

$$nn_1 - n_0 n_1 = f_2,$$

我們就得出：

$$h = (Am_1 - f_1) - (Bn_1 - f_2),$$

即：

$$h = Am_1 - Bn_1 + f_2 - f_1.$$

仍然以 a 表示讀數 Am_1 ，以 b 表示讀數 Bn_1 ，得：

$$h = a - b + f_2 - f_1. \quad (123)$$

為了求得地球曲率誤差的數值，我們看圖 230（該圖的記號與圖 228 右部的記號類似）。我們要注意，由於水準儀與標尺間的距離比地球半徑小得多，所以視綫長度 d 可以近似地當作 O 和 B 兩點間的水平距離，從直角三角形 $CO_1 n_1$ 得：

$$(Cn_1)^2 = d^2 + (CO_1)^2.$$

但 $Cn_1 = CO_1 + nn_1$ ；因此

得：

$$(CO_1 + nn_1)^2 = d^2 + (CO_1)^2,$$

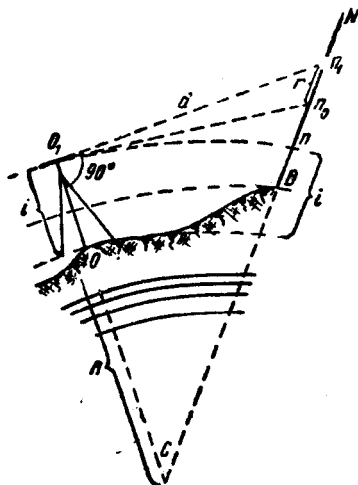


圖 230. 推求地球曲率影響的數值

解去括号:

$$(CO_1)^2 + 2CO_1 nn_1 + (nn_1)^2 = d^2 + (CO_1)^2.$$

消去等式左右兩方的 $(CO_1)^2$, 把 nn_1 提到括弧外面, 並令 $CO_1 = R + i$, 得:

$$nn_1(2CO_1 + nn_1) = d^2,$$

由此:

$$nn_1 = \frac{d^2}{2CO_1 + nn_1} = \frac{d^2}{2(R+i) + nn_1}.$$

因为仪器的高度 i 及地球曲率誤差的数值 nn_1 与地球半径 R 比較起来, 是可以略去的微小, 故可写作:

$$nn_1 = k = \frac{d^2}{2R}, \quad (124)$$

即地球曲率对标尺讀数的影响与水准仪至标尺的距离的平方成正比。

至於折光誤差 r , 它是由各种原因所决定的: 温度条件和測站点的高度等等, 一般採取等於 $0.16k$ 。所以, 这些原因的合併影响 f 为:

$$f = \frac{d^2}{2R} - 0.16 \frac{d^2}{2R} = 0.84 \frac{d^2}{2R} = 0.42 \frac{d^2}{R}. \quad (125)$$

根据公式(125), 可得出:

当 $d = 50$ 公尺..... $f = 0.0002$ 公尺;

当 $d = 75$ 公尺..... $f = 0.0003$ 公尺;

当 $d = 100$ 公尺..... $f = 0.001$ 公尺。

§ 98. 水准仪

从§ 96中所解釋的几何水准測量的实質, 我們可以知道, 供水准測量用的仪器, 即所謂水准仪, 其構造应当保証望远鏡的視軸能充分精确地导至水平位置。这是借精密水准器来达成的。

水准器愈是灵敏, 也就是說, 水准器的分划值愈小, 視軸就愈能

精确地导至水平位置。所以，望远镜和水准器是水准仪的主要部分。

根据这两个主要部分或者是彼此牢固地结合在一起，或者是相反，两者彼此分开，水准仪分为两种类型。而根据这两个主要部分与仪器基座的结合的方式不同，每一类型的水准仪又分为若干种。

圖 231 表示所謂定鏡水准仪。帶有脚螺旋的基座借中心螺旋 O' 固定在三脚架上，水准仪軸在基座的套筒中旋轉。水准器框 U 与望远镜連成一个整体。在水准器上方裝有一面反光鏡，借該鏡可以不离开望远镜的目鏡而观察水准器； M ——望远镜的微动螺旋。

在这种構造中，彼此紧密結合的望远镜和水准器也与仪器基座牢固地結合在一起。

凡望远镜和水准器不与仪器基座紧密結合的水准仪，統称为活鏡水准仪。根据水准器固定的位置，活鏡水准仪分为以下几种：

- (1) 水准器固定在望远镜的下面 (圖 232)；
- (2) 水准器固定在望远镜上；

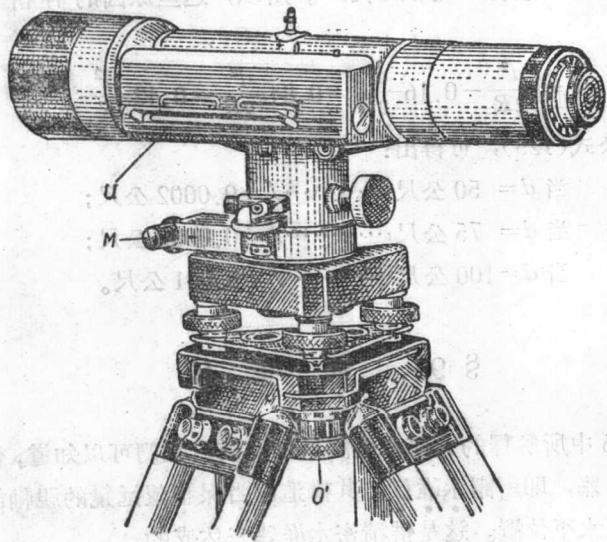


圖 231. 定鏡水准仪

(3) 水准器固定在支架的直樑上 (圖 233)。

从这几个圖可以看出，水准仪的基座很像經緯儀的基座。为了制止水准仪望远镜圍繞軸粗略轉动，以及使它作均匀緩慢的轉动，裝有制动螺旋和微动螺旋。水准器和交合系备有校正螺旋，其功用类似經緯儀上的同名螺旋。

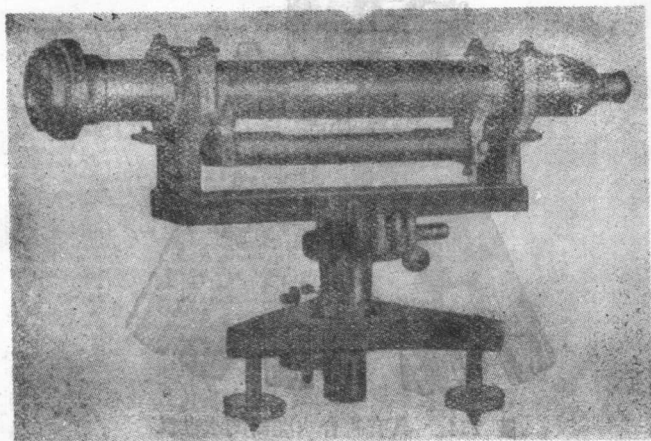


圖 232. 水准器裝在望遠鏡下面的水准儀

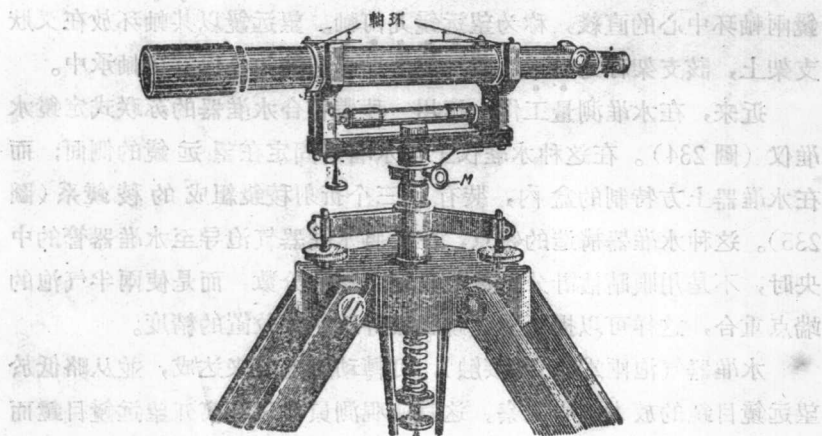


圖 233. 水准器附在支架上的水准儀

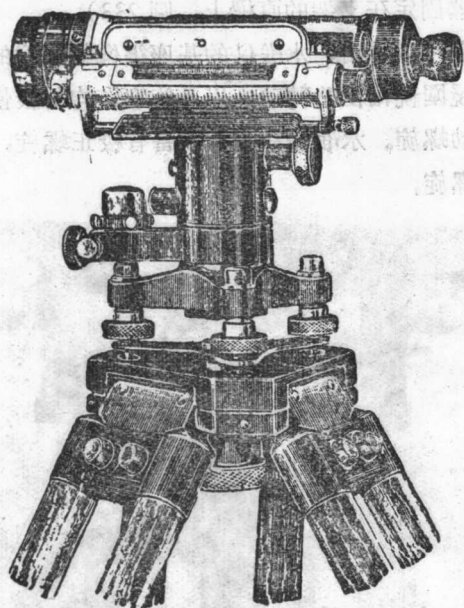


圖 234. 具有符合水准器的水准仪

在活鏡水准仪中，望遠鏡上裝有兩個筒狀環，即軸環。通過望遠鏡兩軸環中心的直線，稱為望遠鏡幾何軸。望遠鏡以其軸環放在叉狀支架上，該支架稱為軸承。望遠鏡借助專門的扣栓保持在軸承中。

近來，在水准測量工作中運用一種帶符合水准器的蘇聯式定鏡水准儀（圖 234）。在這種水准儀上，水准器固定在望遠鏡的側面；而在水准器上方特制的盒內，裝有由三個折射稜鏡組成的稜鏡系（圖 235）。這種水准器構造的特點，在於將水准器氣泡導至水准器管的中央時，不是用眼睛估計分划數或分划間隔的分数，而是使兩半氣泡的端點重合，這樣可以提高望遠鏡視軸導至水平位置的精度。

水准器氣泡兩端重合（接觸），可轉動腳螺旋來達成，並從略低於望遠鏡目鏡的放大鏡中觀察。這就使觀測員可以不離開望遠鏡目鏡而看到水准器氣泡的位置。圖 235 表示在水准器上方的稜鏡內折射的氣

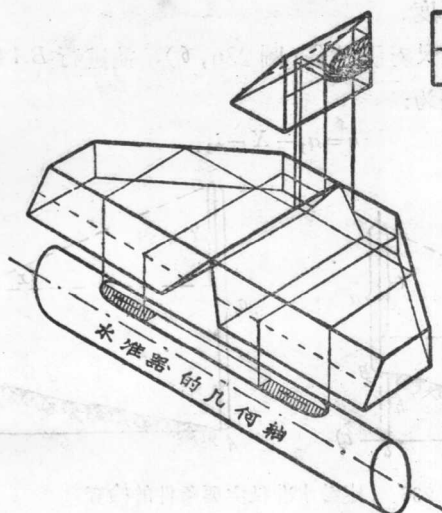


圖 235. 折射稜鏡

泡兩端的光路。當望遠鏡的視軸傾斜時，氣泡兩端就分開。

§ 99. 水准儀的檢查

對於各類水准儀，不管其構造如何，都有若干共同的要求。其中主要的是：望遠鏡視軸應當平行於水准器軸。

我們來研究一下定鏡水准儀中檢查這一條件的方法。

在坡度不大的路綫上設置一台水准儀，使望遠鏡的目鏡能夠投影到 A 點的木樁上（木樁與地面齊平）；在 B 點設一標尺（圖 236, a ）。轉動腳螺旋，把氣泡移至水准器管的中央。假設這時望遠鏡視軸對水准器軸的傾斜為 i 角。將望遠鏡照准標尺後，讀取讀數 a ，該讀數與相應於視軸處於水平位置的正确讀數相差一個數值 X 。這時，如圖 236 所示， B 點對於 A 點的高差 h 以下列公式表示：

$$h = i + X - a, \quad (a)$$

式中: i ——仪器高度。

如果水准仪与标尺对调位置(圖 236, 6), 並进行 BA 綫的水准測量, 那末得出該高差为:

$$h = a_1 - X - i_1. \quad (6)$$

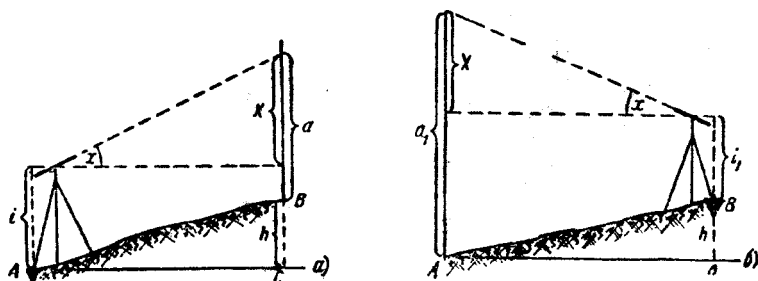


圖 236. 定鏡水准仪主要条件的檢查

令公式(a)与(6)的右方相等, 得:

$$i + X - a = a_1 - X - i_1,$$

即:

$$2X = (a_1 + a) - (i_1 + i),$$

由此:

$$X = \frac{a_1 + a}{2} - \frac{i_1 + i}{2}. \quad (126)$$

如果望远镜的視軸平行于水准器軸, 那末 $X=0$, 因此:

$$\frac{a_1 + a}{2} = \frac{i_1 + i}{2},$$

即所得到的标尺讀数之和, 应当等於 A, B 兩点上的仪器高度之和。

当有誤差 X 时, 它的数值是可以按公式(126)算出来的。

所發現的望远镜視軸不平行于水准器軸之差依下述方法改正。假定 $X = +m$; 从最后所作的讀数沿标尺往下截取 m (当 m 的值为負时, 則沿标尺往上), 在标尺上指出改正的讀数(即相应於水平視綫的讀数), 然后轉动交合系的校正螺旋, 將中央水平絲对准改正的讀