

地形測高儀工作指南

Ю.С. 多伯羅霍托夫 著
Б.В. 特羅伊茨基

測繪出版社

K.2

地形測高儀工作指南

Ю. С. 多伯羅霍托夫 著
Б. Б. 特羅伊茨基
楊 罕、王 湘 譯
達 音 校

測繪出版社

1957·北京

Ю. С. ДОБРОХОТОВ И Б. В. ТРОИЦКИЙ

РУКОВОДСТВО

ПО РАБОТЕ С ТОПОГРАФИЧЕСКИМ

ВЫСОТОМЕРОМ

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“地形測高仪工作指南”一書譯出，原書作者是 Ю. С. 多伯罗霍托夫和 Б. В. 特罗伊茨基。

本書詳細地敘述了測高仪的構造、运用原理，以及測量誤差，本書对測高仪在实际运用中的操作方法以及計算方法講得比較詳細，在附錄內有各种改正係数的表，本書适用于使用气压測高仪器的工作人員，也可作为地質、航測、水利、林業方面勘察工作者的參考用書。

地形測高仪工作指南

著 者 Ю. С. 多伯罗霍托夫

Б. В. 特罗伊茨基

譯 者 楊 罕、王 湘

出版者 測 繪 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可証出字第081号

發行者 新 華 書 店

印刷者 地 質 印 刷 厂

北京廣安門內教子胡同甲32号

編輯：夏文豹 技術編輯：湯 健 校對：白叔鈞

印數(京)1—3,050册 1957年5月北京第1版

開本31"×43¹¹/₃₂ 1957年5月第1次印刷

字數65,000字 印張2¹³/₁₆ 插頁1

定價(10)0.42元

目 錄

原序

第一章	進行气压計高程測量和运用測高儀的一般任务···	5
第二章	測高儀运用原理·····	6
第三章	中央測繪科學研究院測高儀介紹·····	13
第四章	气压計高程測量誤差·····	19
第五章	測高儀的檢修和使用規則·····	33
第六章	气压差的計算·····	42
第七章	進行外業的方法·····	51
附錄	·····	81

原 序

气压計高程測量在地形測量中应用很广。除空盒气压計外，还采用中央測繪科学研究院制造所制造的 Д. И. 門德雷耶夫測高仪，在結構上与原來的門德雷耶夫仪器稍有区别。1940年，測繪書籍出版社出版之測高仪使用細則^①，这是为了满足当时主比例尺1:100 000測量的需要而編寫的。

現在，气压計高程測量在比例尺 1:50 000和 1:25 000 的測量中也得到了推广。控制点布置很密，从而使控制点之間的距离大大縮短，这样在進行測量时，就可以把方法上的誤差减少到最低限度。气压計高程精度主要是取决于所使用的仪器的誤差，因此在这种情况下采用仪器誤差較小的測高仪最为合适。于是在著者面前提出了一个任务：將原來的細則進行改編，使其在大比例尺地形測量中能作为气压計高程測量手册。

这本手册就是改編的結果。前五章为Ю. С. 多伯罗霍托夫所寫，后二章为Б. Б. 特罗伊茨基所寫。

① Ю. С. 多伯罗霍托夫和Б. Б. 特罗伊茨基，“地形測高仪使用細則”
(測高仪由中央測繪科学研究院 根据門德雷耶夫原理制成)莫斯科測繪書籍出版社，1940年。

第一章 進行气压計高程測量和運用測高儀的一般任務

§ 1. 借測量大氣壓來確定高差的方法，即气压計高程測量法，比普通大地測量法具有某些重要的組織上的優點。

最主要的優點之一就是可以求出不能互相通視的各點之間的高程差。這種情況以及儀器本身的輕便玲巧，使我們能夠在極端複雜的自然地理條件下採用這種方法。其次一個比較重要的優點就是測量員只需要一個助手，有時甚至不要助手也可以完成任務。因此，採用气压計高程測量，不僅可以提高工作效率，還能降低高程控制的造價。

然而，气压計高程測量的精度通常低於大地測量的精度，這是因為气压計高程測量的精度不僅決定於直接測量的誤差，更重要的是決定於大氣狀態。如果工作組織得妥善，並採用誤差較小的儀器，就能使上述誤差減小到這種程度，以致可以在採用大地測量困難的地方順利地採用气压計高程測量。

§ 2. 在不久以前，气压計高程測量大都是用於測高精度要求不高的測量工作，譬如，在人煙稀少的地區進行各種勘測，編制小比例尺一覽圖，確定山系個別頂峯的標高以及進行初步工程勘測和踏勘。這些工作通常都是在面積很大的地區內進行，气压計高程導綫很長，因此，大多數用空盒气压計測量的誤差主要是取決於氣象條件。儀器誤差在上述工作

中只起次要的作用。

气压計高程測量儀器的不斷改善，尤其是在蘇聯測量作業中測高儀（按Д.И.門德雷耶夫測高儀圖樣制成）的出現，擴大了气压計高程測量法的应用範圍。在這裡有必要指出，這種儀器在航空測量中用來記錄航行攝影的高度變化，也是很有效果的。

測高儀具有很大的靈敏度和很小的儀器誤差，因此頗适用于短路線的水准測量。但測高儀和空盒气压計一樣，也能用于在本節前面所述及的工作。在很難到達的隱蔽地區加密控制網的時候特別适宜采用測高儀。气压計高程導綫必須連接于沿河流和道路等的大地水准測量點或幾何水准測量點。這樣可以減少氣象條件對測量成果的影響。

運用測高儀的經驗證明，在平原地區和地形切割較少的地區，當中等氣象條件和一個气压站的地區面積不超過 25×25 公里時，實測高程中的平均誤差可達到 ± 1.0 — ± 1.5 公尺。當導綫長度在5—6公里以內和良好測量條件時，平均誤差一般不超過 ± 1 公尺。當高差增大時，誤差也稍有增大，在高差達500公尺以上的地區，誤差可能達到 ± 3 公尺。

上述資料可作為計劃和安排工作的原始資料。

第二章 測高儀運用原理

§ 3. 气压計測量高差法是基于大氣壓的值得與海拔高度之間的关系的。假設A點低於B點，則A點上的大氣壓一定大於B點上的大氣壓，因為在A點上還有一個補充壓力，形如空氣柱，其高度等於A點與B點的差（圖1）。補充壓力的值決定於該柱內空氣的重量，因而也決定於它的密度。而空氣的

密度又决定于气温、气压、空气湿度及其他一系列因素。所以同样大小的压力差在不同条件下，其相应的高程差是各种各样的。

有許多彼此很少差異的所謂測高公式，利用这些公式，就可以根据实测压力差和空气密度算出高差。

为了簡化計算，根据其中某些公式編寫了一些專用表和圖解。

最簡單因而也最常用的公式是巴賓公式：

$$h = k \frac{\Delta B}{(B_A + B_B)} \left(1 + 0.004 \frac{t_A^\circ + t_B^\circ}{2} \right) \left(1 + 0.377 \frac{e_A + e_B}{B_A + B_B} \right). \quad (1)$$

式中： k 为進行高程測量的中等条件的係数，它决定于測区緯度、高程点的平均海拔标高、空气平均湿度等等。 k 值很少变化，因此对大地区來講可視為常数，通常采用16,000（近似）；

B_A 和 B_B 为A点和B点上之大气压值，二者是在同一時間測出的；

t_A 和 t_B ， e_A 和 e_B 为上述兩点上相应的空气温度和湿度；

$\Delta B = B_B - B_A$ 为大气压差；

B 和 ΔB 用公厘水銀柱表示^①。

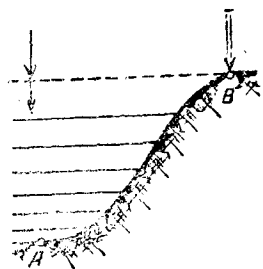


圖 1

①在現代气象学中大气压一般用CGS制（巴）計算。著者仍采用旧的單位制，僅僅是因为在气压計高程測量中所采用的仪器（包括測高仪在內）的分划盤是按公厘水銀柱分度的；我們的表和圖解也几乎都是按这个單位制編制的。兩個單位制有一个簡單的比例（1公厘水銀柱 = 0.00133319巴，或1.33319毫巴），并且由一个系統換算为另一个系統，没有任何困难。

由公式(1)可以看出,为了算出高差 h ,有时需要测出其中一点上的大气压(譬如 B_A)和兩点上的压力差、气温、空气湿度。 B_B 值只要把 B_A 加上 ΔB 就可求得。

从这个公式还可看出,压力差 ΔB 测得愈精确,高差 h 的计算誤差就越小。同时,大气压 B_A 的实测值誤差对计算成果并不發生很大影响,因此, B_A 的测量精度可能比較低。

按这里所叙述的借测量压力、温度和湿度來确定空气密度的方法,在气压計高程测量中应用最广,因此在以后的叙述中将着重談到这个方法。

现在,又拟定了测高公式的新的运用法,根据这个方法,在野外只要测量大气压就行了。其詳細介紹參看 §23、58—60。

§ 4. 上述测高仪是用來測量压力差 ΔB 的。其構造原理为偉大的俄國科学家Д. И. 門德雷耶夫在十九世紀七十年代中首先提出。仪器也是他制造的,他把它叫做测高仪^①,在Д. И. 門德雷耶夫親自監督下制造出來的测高仪曾于1875年由軍事地形測繪团的軍官們作了野外試驗,其效果良好。同年,該仪器又在巴黎举行的地理展覽会上展覽了,Д. И. 門德雷耶夫因此被授与獎章。

但是Д. И. 門德雷耶夫测高仪在当时並沒有受到应有的重視,甚至被遺忘了,只是到1937年,当气压計高程測量已在測量作業中獲得了巩固地位的时候,才重新引起了对它的兴趣。1937年中根据測繪总局的指示,在中央測繪科学研究院按照Д. И. 門德雷耶夫原來的儀器圖样制造了一个测高仪的

①Д. И. Менделеев, О барометрическом нивелировании и о применении высотомера, Соч., т. VII, изд. АН СССР, 1946.

試驗模型，結果由于使用現代絕熱劑的緣故，在結構上稍有出入。

儀器的構造原理很簡單（圖 2）。盛有空氣的氣瓶 1 用管子 4 和垂直氣壓計 2 相連接，而通過活門 3 與外部空氣相通。氣壓計的左端（看圖）是打開的。如果活門 3 也打開的話，則氣壓計兩管內的液體將在同一水平上，因為它們所受的气压是一样的。如果將活門 3 關閉，則只有當氣瓶 1 內的气压等于大氣压的時候，液體才能保持平衡的狀態。只要其中任何一個压力發生了变化，氣壓計內的液體就會移動。

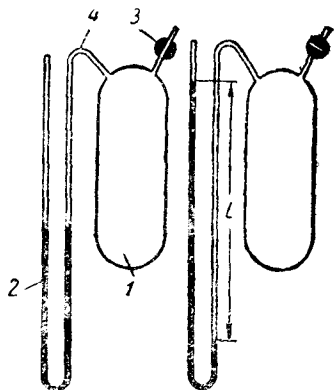


圖 2

當液柱（兩個水平之間的垂直距離 l ）使產生的压力差達到平衡的時候，液體才能重新恢復平衡狀態。知道了液體密度，就可按液柱 l 之值算出压力差。液體愈輕，液柱就越高，而儀器也越靈敏。液柱之值用分划盤測量，測量時將氣壓計管子連在分划盤上。

由上所述可以看出，測高儀只能測量大氣压的变化，但不是大氣压的絕對值。由此，微分氣壓計這個名詞的概念也就很清楚了。

§ 5. 地面上兩點之間的大氣压力差用下述方法測量。先在一點譬如 A 點上將儀器的活門關閉，然後把儀器移到第二點 B 。如果在由 A 點移到 B 點這段時間內大氣压和氣瓶內的气压保持不變的話，則由 A 點移到 B 點這個儀器的氣壓計

內的液柱的值就相當於所求壓力差。實際上，大氣壓是在不斷變化着的，但對於相距不遠的各個點來講，這種變化實際上可視為相同的。為了從測高儀讀數中求出壓力差（僅決定於點的高程差），須在其中一點上的整個測量過程中安上第二個測高儀，並按它的讀數求出在由 A 點移到 B 點這段時間內大氣壓力的變化。這種儀器通常叫固定儀器，其安放位置叫氣壓站。

假定 ΔB_1 是按移動測高儀測出的壓力差， ΔB_2 是按固定測高儀測出的壓力差，則按公式（1）計算高差所必需的壓力差 ΔB 等於：

$$\Delta B = \Delta B_1 - \Delta B_2. \quad (2)$$

氣瓶 1 內的氣壓也不是保持不變的（參看圖 2）。由於氣壓計內液體移動的結果，氣瓶內的空氣容積改變了，於是根據波義耳-馬略特定律，空氣壓力也一定改變，根據蓋·呂薩克定律，當氣溫改變時，氣壓也隨着改變。

液體的移動把一部分空氣從氣壓計擠到氣瓶里去，如果液體在右邊的彎管內升高；或者從氣瓶跑到氣壓計去，如果液體在彎管內下降。假使氣瓶內的氣溫與管 4 及氣壓計 2 內的氣溫不同，則當空氣移動時，氣溫也要改變。於是氣瓶內空氣各受熱不同部分之間的平衡狀態被破壞了，因此氣壓也要改變。

外管，即氣壓計 2 和連接氣壓計與活門的管 4 內的氣溫改變時，平衡狀態也會破壞。顯然，氣瓶 1 的容積愈大以及氣壓計和連接管內的空氣體積愈小，則氣壓計內液體的移動對儀器讀數的影響愈小。但是氣壓計管子的直徑又不能過于小，因為管內產生的毛細管力會妨礙液體的自由移動，因而

使儀器讀數發生偏差。經實際試驗確定，氣壓計管子內徑不能小於 1.7 公厘。

§ 6. 上面已經說明，從氣壓計內液柱的值可以看出氣瓶內氣壓與外部氣壓的差異。因此，為了求出從活門關閉起到進行觀測止這一段時間內的大氣壓變化，就必須求出在同一時間內氣瓶內氣壓之變化。假定起始時間的大氣壓為 B_0 ，觀測時間的大氣壓為 B_1 ，則其變化值：

$$\Delta B_1 = B_1 - B_0 = l + \delta B, \quad (3)$$

式中： l 為液柱值，用 B 之同一單位表示； δB 為儀器內的壓力變化值，按下列公式求出：①

$$\delta B = B_0 K_t (t_{h_i} - t_{h_1}) + (B_0 + \delta B) n w + (B_0 + \delta B) n w \frac{t_{h_i} - t_{m_1}}{T} + B_0 w [(t_{m_i} - t_{m_1}) - (t_{h_i} - t_{h_1})], \quad (4)$$

式中： $K_t = \frac{\alpha - 3\beta}{1 + \alpha t_{h_i}}$ ——溫度係數（ $\alpha = 0.003670$ ，為空氣膨脹係數； β 為製造氣瓶的材料的綫長膨脹係數。）

t_{h_i} 和 t_{h_1} ——氣瓶內的氣溫。

t_{m_i} 和 t_{m_1} ——氣壓計溫度。

符號 l ——活門關閉的時間。

符號 i ——觀測時間。

T ——絕對零度的溫度，即觀測條件的平均溫度。

n ——分划盤上的刻划數，標出氣壓計支管（與氣瓶相連的那一根）內液體移動的水平；

①公式引自 Ю. С. 多布羅霍托夫的文章，登在“重力測量研究”彙集上，中央測繪科學研究院 1939 年第三期。

w 和 ω ——仪器常数。

假定 V 为气瓶容积， v 为气压計和連接管（活門打开时）內的空气体積， c 为气压計內管部分（其高度等于分划盤上两个刻划之間的距离）的体積，則：

$$\left. \begin{aligned} w &= \frac{c}{V+v} \\ \omega &= \frac{v}{VT} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

与按公式（1）計算时一样，按公式（4）計算时，也只要知道大气压 B_0 之近似值就行了。

δB 值比 B 小，因此在大多数場合下，公式（4）第二項的係数（ $B_0 + \delta B$ ）可視為等于 B_0 。如果 δB 值大，則該係数可用逐漸趋近法很容易地求出來。关于这一点在§38將詳細介紹。 w 值以及公式（4）中的第三項和第四項的求得是假定气压計內管直徑到处都是一样的。因此气压計必須用專門为此目的而选择的管子制造。

§7. 仪器必須很好地隔热。气瓶內气温的很大的变化往往会引起气压的極大变化，从而降低 δB 的計算精度。使气瓶內气温到处完全一样，也是很重要的。否則， δB 的計算會產生很大的誤差。为了使气温一样，可將气瓶放在有水的容器內，但水必須攪动。

經驗証明，当用溶解冰代替水的时候，由于溶解而形成的、未能很好攪动的底層水的温度和上層水的温度可能相差 $3-4^\circ$ 。这种差異可以引起 δB 的誤差达3公厘水銀柱。因此，虽然采用冰可將公式（4）的第一項變为零，从而使 δB 的計算簡化了，但是必須仔細攪动溶解水或者不断地將它排除。

在公式(4)中是假定仪器内的空气是干燥的，并不含饱和汽。如果气瓶内产生饱和汽，就会使测量成果发生偏差，因为蒸汽压和波义耳-马略特定律及盖·吕萨克定律无关。所以仪器上有一个专门的空气干燥设备，空气在进入气瓶之前必须进行干燥。根据这些情况，注入气压计的液体必须具有最小的蒸汽压，使其不容易蒸发。为此，最好采用苯二甲酸丁酯($C_{16}H_{22}O_4$)，这是一种无色的油类液体，在 $+20^{\circ}$ 时其密度为1.047，蒸发量小于水银。在以后的叙述中我们把这种液体叫做油。

第三章 中央测绘科学研究院测高仪介绍

§ 8. 1938—1939年出产的测高仪(圖3)形如木箱，仪器的各部分就连接在木箱上。在箱子里前壁上安置有：装满油的气压计1，用来确定油位的分划盘2，装满氯化钙的干燥器3和测量气压计温度的小温度计4。在前壁凸出部分后面的专门陶瓦托上安有玻璃开关5。借助橡皮管，把玻璃开关与干燥器3、气压计1的右端及玻璃瓶10连接起来。当玻璃开关把手上的黑色标志向下时，玻璃瓶10通过干燥器与外面的空气联通。如果标志朝上，则玻璃瓶关闭。干燥器右端和气压计左端是打开的。气压计左端套上橡皮管，在搬运仪器时用专门的夹具夹紧，以免在仪器倾斜时油从气压计中流出来。

在箱子里面的橡皮隔板上安装有一般热水瓶内采用的公升杜瓦(Дьюар)真空瓶8。在瓶里注上水。瓶口用没有孔隙的软橡皮塞9塞住，并在塞子里插进一根玻璃管，再通过玻璃管将繁有沉重的橡膠攪拌杆11的綫放進去。攪拌杆綫的过扭在开关把手上的滚柱，通过塞子放进垂在杜瓦瓶8内通

玻璃瓶10的管子及測量水温的大溫度計6。此溫度計的上部擰在支持器7上。

因為公升瓶內水温變化的速度很少超過 $\pm 0^{\circ}.3/$ 小時，瓶內空氣就可能達到周圍水的溫度。所以瓶內水温與氣溫的變化可以認為是一樣的。

在儀器上附有二個帶 $0^{\circ}.1$ 分刻度的溫度計，其中1個的溫度範圍為 $+5^{\circ}-+15^{\circ}$ ，另一個的溫度範圍為 $+15^{\circ}-+25^{\circ}$ ，在南方地區進行工作時要製造分刻為 $25-35^{\circ}$ 的第三種溫度計。溫度計的分刻刻度約等於1公厘，所以按溫度計估讀百分之一度的精度為 $0^{\circ}.01$ 。

在箱的右壁上安置儀器說明書，在說明書上寫出儀器常數以及屬於測高儀的溫度計改正數。

§ 9. 為了防止損壞和更好地隔熱，在內箱上套上一個雙壁木罩，兩壁間鋪一層棉花。木罩上留有兩個用有機玻璃或賽璐珞復蓋的空口13和14，用來讀取氣壓計和兩個溫度計的讀數（圖4）。在木罩的後壁上也留有一個空口，用來照亮大溫度計。在木罩的側壁上穿有一個圓孔12，孔上塞膠皮塞，通過這個圓孔能轉動開關和攪動水。

在儀器箱里裝有：大溫度計；螺絲刀；用于置換公升瓶內水的管子、漏斗和梨形橡皮罩；綫斷了時用來取出攪拌杆的鐵絲鉤；備用綫；用來讀取溫度計讀數的三倍放大鏡以及裝有氣壓計備用油和開關塗油的小玻璃瓶。

整個儀器用帆布套套上，布套上有拉繩，以便于將儀器捆在背上；此外，帆布套上還留有缺門，通過缺門可以不用取下帆布套而進行讀數。儀器尺寸為 $13.5 \times 15 \times 45$ 公分，重量為4.2公斤。

1940年製造了一種新型的儀器，其結構用圖解表示在圖

50。在新型仪器中与空气瓶連接的开关、气压計、干燥器和小溫度計都是固定在單獨的活動板上，因此易于从安裝好的儀器上取下來。在測高儀里使用口型溫度計，其分划盤刻度為 $0^{\circ}.1$ ，溫度範圍由 0 至 30° ，數字順序自上而下。儀器讀數通過開在其中一个箱壁上并蓋有有机玻璃的寬大空口進行。在活動板上有放怀表和測高儀說明書的地方15。开关垂直配置，并通过箱頂上蓋有塞子12的孔轉動。攪拌杆綫11也是通过这个塞子拉出來。儀器尺寸為 $12 \times 14.5 \times 33$ 公分，重量為2.7公斤。

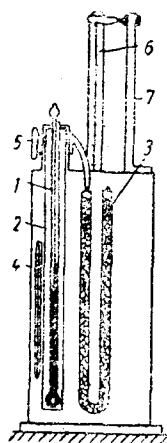


圖 3

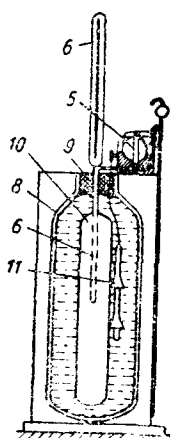


圖 4

§ 10. 气压計分划盤上的讀數直接以公厘水銀柱（即編制气压計高程表所采用的單位）來表示。如果注入气压計內的油的密度在觀測溫度下等于 δ_t ，而水銀密度在 0° 下等于13.596，則一公厘水銀柱將相當于油柱的 $\frac{13.596}{\delta_t}$ 公厘，在

●圖3,4和5中的符號都是一樣的。

+20°时，这个数值约等于13。

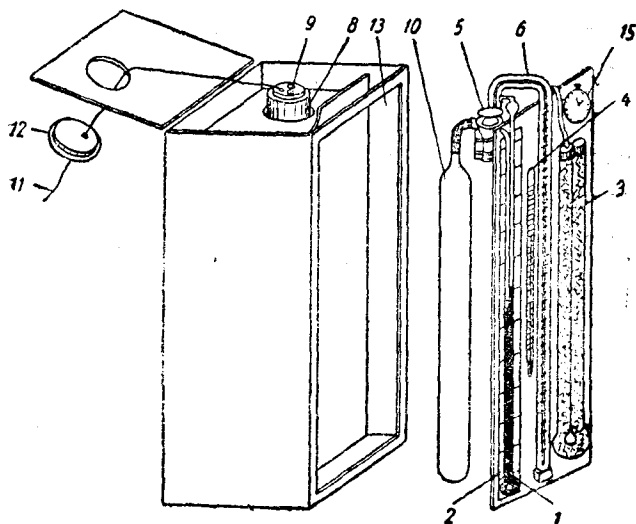


圖 5

分划盤是为外業期間的某种平均溫度（如+15°）而制造的。如果在分划盤上划公厘水銀柱和在計算溫度下進行觀測，則儀器的讀數將自動求出，以公厘水銀柱表示。如果觀測時的溫度與計算溫度有差別時，則儀器的讀數必須改正。其改正數按下列公式計算：

$$\Delta l = 0.0008 / (t_{\text{мк}} - t_{\text{мг}}), \quad (6)$$

式中： $t_{\text{мг}}$ ——油溫，用溫度計4觀測（圖3）；

0.0008——油的膨脹係數①；

①在+10—+40°的溫度範圍內，苯二甲酸丁酯的膨脹係數等於 802×10^{-7} 。