

全国测绘科学技术经验交流会

技 术 资 料

第十五册

雷达航空摄影测量简介
光速测距实验报告摘要
气压计测高

测绘出版社

41716

全國測繪科學技術經驗交流會

技 術 資 料

第 十 五 冊

雷達航空攝影測量簡介

光速測距實驗報告摘要

氣壓計測高

測 繪 出 版 社

雷达航空摄影测量简介

国家测绘总局雷达测量队

雷达航空摄影测量是近年来测量界上一門新兴的尖端科学，它是无线电技术在测量事业上应用的结果，可以代替部分繁重的野外劳动，加速成图时间，节约大量的人力和物资，以加快测绘事业的开展。值此全民大跃进的浪潮中，国家测绘总局提出了“在总路线的光辉照耀下，多快好省地发展测绘事业……大闹技术革命，力争高速度，五年赶上国际测绘科学技术水平，十年完成全国第一期基本测图……”的行动口号，而雷达测量对于实现这一个伟大的号召，有着重大的意义。同时也给我们今后发展测绘事业开辟了新的道路。

我们雷达测量队是在总局的直接领导和苏联专家的帮助下进行工作的，采用了边学习边试验边生产的方针，将于59年开展较大规模的比例尺十万分之一和二万五千分之一之试验工作和生产任务。

（一）雷达航空摄影测量的用途及其优越性

（1）雷达测量可以解决在大地控制不足地区编制地形图的矛盾，特别是高山、沙漠和重沼泽地带，在那里人烟稀少，交通不便，供应困难的情况下，建立大地控制网是很困难的，甚至无法进行，而雷达测量在这方面显示出了它的优越性。用两个地面电台可以控制将近10万平方公里的面积，剩下的只有极少数的电台速测工作，这样可以减少十分之八、九的大地测量工作及全部象片平面速测工作，给国家节约了大量投资。

（2）由于航空摄影和平面控制测量工作同时进行，大大地加速了成图的时间。例如一架飞机在一年内的生产率可以摄影约近12万平方公里（按航摄比例尺 1:60 000 工作6个月，每月平均7个摄影日计算），与此同时也解决了这块面积的平面控制测量工作。

此外，雷达测量工作可以在建立大地控制以前进行，我们采用地面电台的坐标（与方位角在小比例尺地图上量得）是假定坐标系，

属于这种系统的雷达测量仪器有笛卡系统和PTCU系统等。

按精度来讲，脉冲系统稍逊于相位系统。我队现在应用的是PTCU型的无线电台，所以本文所介绍的是这种类型电台的工作原理及作业程序。

(三) 雷达测量的目的及其工作原理

雷达测量的目的是在于航空摄影的同时，利用雷达测距定位的技术测定象片投影中心（象底点）的平面坐标。

利用PTCU型无线电台进行雷达航空摄影测量以采用无线电测程法（Радиолаг）最为简单。这种方法一共有三部电台。一部电台（主台）安装在航摄飞机上，另外两部电台（地面电台）放置在地面的两个已知点上。

主台装置：发射机1、接收机3、相位计数器1

自动记录仪1、示波器2

每个地面电台装置：发射机1、接收机1、示波器1（见图1）。

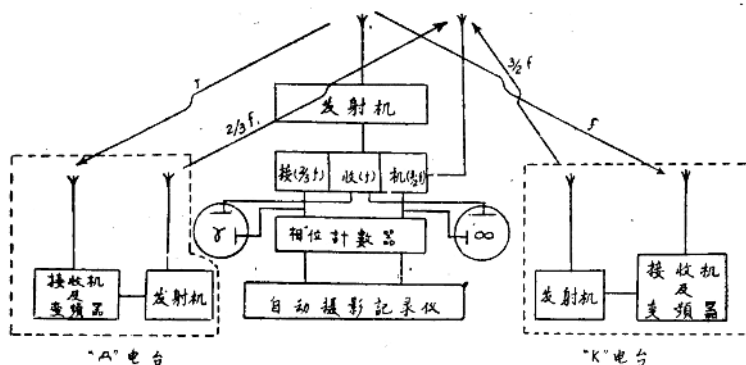


图 1

当主台发出一定频率 f 的电磁波，由主台及两个地面电台的接收机分别加以接受，其中一个地面电台将频率 f 经过变频器变为 $\frac{1}{2}f$ （简称长波电台或“L”电台）另外一个电台变为 $\frac{2}{3}f$ （简称短波电台或

“K”电台) 分别反射回到主台接收机, 经过相位计数器, 由 $\frac{1}{3}f$ 与 f 组成一个相位差, $\frac{2}{3}f$ 与 f 组成另一个相位差, 这些相位差的变化是通过自动摄影记录仪分别记录在胶卷上。

示波器是检查电台的工作是否正常。

胶卷上记录的相位差, 称为相位周期, 经过下列公式换算后

$$\Delta R = \frac{v}{2\omega} \Sigma \Delta \varphi,$$

其中

$$K (\text{线状系数}) = \frac{v}{2\omega}$$

即可求得距离的增量。已知每个摄影站至地面电台的距离及基线长度, 那末用解析法就可得到摄影站的坐标。

(四) 利用无线电测程法建立测图控制的作业程序

(1) 雷达航空摄影

在进行比例尺十万分之一测图时, 雷达测量只需在构架航线上进行, 而比例尺二万五千分之一的除了构架航线外, 还需在测图航线上进行。上述二种比例尺均需敷设一条垂直于构架航线的航线, 叫做辅助构架航线 (图 2), 它的作用是与构架航线组成若干闭合环供雷达测量网平差使用。辅助构架航线必须通过地面电台或大地点 (起始点)。

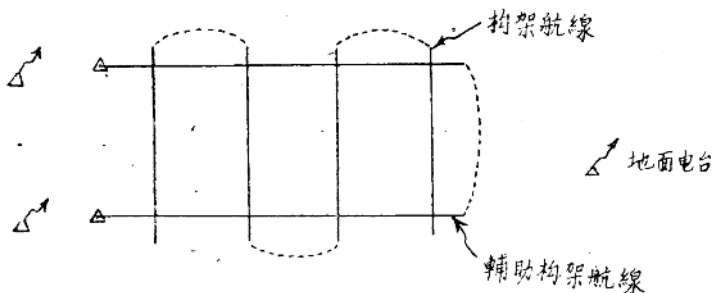


图 2

(2) 雷达测量成果资料的整理及检查

这项工作应在野外进行。包括雷达测量胶卷的编号、整理、检查记录质量及闭合环的闭合情况等，以便确定是否需要返工和制订日后象片连测工作计划。

(3) 大地连测工作

包括电台和起始点的象片连测工作，使雷达航空测量的成果与二个地面电台或起始点联系起来，以便求得起始象片象底点的坐标。我們應該連測二个包含电台或起始点的象对，每个象对至少連測 4 个平面兼高程控制点（如图 3）。

(4) 雷达测量记录胶卷的读数。

为了求得距离增量，必須讀取膠卷上的週期数。

(5) 确定構架航綫与輔助構架航綫之間的联系

是將二种不同比例尺的象片归化至某一比例尺的象片，同时把象片上量得的距离换算成週期数，这样才有可能建立起雷达测量闭合环。

(6) 起始斜距 R_{HO} 的计算

設 R_{HO} 为根据已知大地点及地面电台（也是已知点）的座标反算得的距离，由以下公式求得

$$R_{HO} = R_{HO} - \delta_v - \delta - \Delta H - \Delta \pi$$

式中 δ_v, δ ——电磁波傳播速度改正数及其軌道曲率改正数的总和；

ΔH ——地球椭圆柱体化算至斜距的改正数；

$\Delta \pi$ ——高斯投影改正数。

$\Delta H, \Delta \pi$ 值可在預先制好的諾謨图上查得。

(7) 綫狀系数 K 的计算

綫狀系数 K 可按下列公式計算得

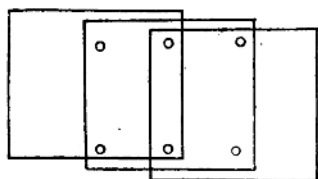


图 3

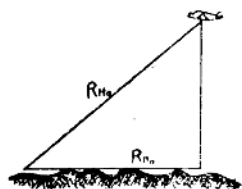


图 4

$$K = -\frac{v}{2\omega} \text{ 或 } K = \frac{R}{\Sigma \Delta\varphi},$$

式中。應該根据气象資料加以改正。

繞狀系数K也可以根据在已知点間实测的結果反算求得。

(8) 閉合环中閉合差的計算及平差

每个閉合环中的相位週期的总和应等于零，否則予以配賦。

(9) 航綫上象片投影中心至地面电台距离的計算

根据公式

$$R_H = R_{H_0} + K \Sigma \Delta\varphi$$

可以从起始斜距 R_{H_0} 計算出地面电台至新点的斜距 R_H ，然后再化算为高斯平面上距离 R_{H_0} 。

(10) 象片投影中心坐标的計算

已知三角形的三条边，从图(5)求得象片投影中心的坐标

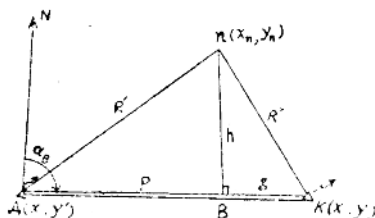


图 5

$$X_n - X' = P \cos \alpha_B - h \sin \alpha_B;$$

$$Y_n - Y' = P \sin \alpha_B - h \cos \alpha_B.$$

$$\text{式中 } h = \pm \sqrt{R'^2 - P^2} = \pm \sqrt{R''^2 - q^2};$$

$$P = \frac{1}{2} \left(\frac{R'^2 - R''^2 + B^2}{B} \right);$$

$$q = \frac{1}{2} \left(\frac{R'^2 + R''^2 - B^2}{B} \right);$$

α_B ——基綫 B 的方位角。

(11) 構架航綫上的平面控制加密。

(12) 測圖航綫上的平面控制加密。

此外，為測區內沒有大地控制情況下，還需專門在兩個地面電台間作不同路綫的數次飛行（圖 6），取其平均值即為基綫的長度。

（五）結束語

雷達測量是一門新的技術，PFCU 系統的电台還是一種沒有成型的儀器，同時還沒有一套成熟的作業方法。這種儀器的缺點是記錄必須連續不能中斷，否則成果將無法計算，更重要的還須增加儀器的作用距離，減輕儀器的重量和改良相位週期的記錄，以便發揮儀器更大的作用，這是我們今後努力的方向。

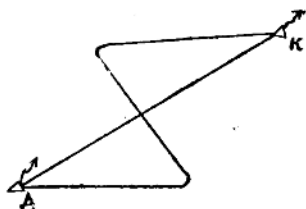


圖 6

此外，我們通過 59 年的試驗工作，要求得雷達測量的各種誤差對成圖精度的影響，確定這些誤差是否加以改正或者不予考慮。同時須要評定雷達航空測量成圖的精度。從而得出一種合乎多快好省的雷達測量成圖方案。

光速測距實驗報告摘要

國家測繪總局雷達測量隊

在黨的英明領導下，祖國的測繪事業也象其他事業一樣有了飛躍的發展，並取得了偉大的成就。但為了更多更快更好更省地發展祖國測繪事業，以滿足祖國建設的需要，黨又為我們开辟了最新的測繪科學技術——光速測距。這是一項代替人工測距的物理測距方法之一。它的原理是當光通過某一未知距離時，只要測出光綫通過距離的時間，我們又知道光速是用各種方法精密測定的已知值，這樣未知距離就可根據速度和時間而算出。當然時間的測定是間接通過光和電的關係來實現的。

光速測距的方法是在待測距離的一端安置儀器，由儀器光源發出的光，使它的光強受振盪着的石英晶體依一定頻率而變化；在待測距離的另一端點處放置反射鏡，這面鏡子把光源發出的光反射到一個與光源相鄰的光電管上。上面所說的那個石英晶體片同時控制光電管的靈敏度，這樣光電管的靈敏度就與光電管的變化頻率相同，因此，光電管的電流強度隨距離而變，其變化要看反射光進光電管的光脈沖與光電管靈敏度循環二者的合拍程度過頭或是不到而定，所以電流強度隨距離的改變而作周期性的變化。當確定晶體的某一頻率時，每移動反射鏡一個相當距離（這台儀器為15公尺），同樣強度的電流將重復出現一次；這個隨距離的周期變化被採取為測量距離時的標度。這個標度在光速已知，頻率穩定時一直可以應用。一種特殊裝置（平衡指示器）使電流在距離每改變7.5公尺時改換方向一次。距離每這樣改變一次，電流就通過零點一次，並有最大變化率，這些零點就代表距離標度的分劃綫。從以上可以清楚的看出這個儀器所測量出的只是不足一個標度的倍數。這工作要依靠待測距離精確在一定範圍（這台儀器為±1.5公里是由二種頻率差決定的）內，通過計算得出。

光速測距的應用，在大地控制方面有特別重大的意義。在局首長的直接領導下，於四月初便開始了光速測距的試驗，目前試驗工作已告一段落。

這次試驗由總局主辦，其他單位參加的有：科學院電子研究所、武漢測繪學院、科學院測量制圖研究室、軍事測繪局、軍事測繪學院、清華大學等。具體工作由四月初成立的光電測距組擔任。這次試驗的目的主要是為了了解NASM-2A型光速測距儀的量程及精度；同時通過此項實驗，也可培養一支技術隊伍，為將來開展此業務打下基礎；並對光速測距儀提出改進的意見，以作我國試制時參考。

此項實驗共進行了七個月，測了十一條邊，測距組中有測量技術員四名、測量工人五名。實驗共分三個階段進行。

第一階段主要做了實驗的籌備，並組織人員進行了學習。為了更好地掌握儀器、熟悉操作，在總參測繪局的六百公尺比較基綫場上進行了實地練習。

第二阶段的試驗是在北京基綫网上进行的。測了三条边，一条为六公里的基綫，另兩条为10公里及18公里的基綫网側边。与此同时，对第三阶段的欲測边（北京—开灤三角鎖边）作了踏勘。

第二阶段共測了8条边，其中有郑州基綫一条（9公里）、开灤基綫一条（7公里）及20—30公里的三角鎖边六条。

根据測得的成果我們进行了如下初步的分析：

（一）在基綫上光速測距值与基綫丈量結果相差甚小，其精度是这样的：北京和郑州基綫的相对誤差达1/40万以上，而开灤基綫竟达1/80万以上；因基綫丈量精度极高，故認為这种誤差甚接近于眞差。如以这样的精度来測量一等三角鎖的起始边或精密導綫边是完全足够了。当然这些結論只是根据現測得的三条基綫得出的。另一方面，从基綫的光速測距的結果中，也看不出有明显的系統誤差；这也說明我們所采用的光速数据和仪器常数是恰当的。

（二）在三角鎖边上，除庆里山到順义（20公里）边光速測距值和三角測量算得值只差2.7公分外，其余三角边上，光速測距值都比三角測量算得值大30公分左右。由于時間关系，对原三角測量数据及光速測距值結果，还未作詳尽的分析和仔細的研究；故发生这样大的誤差的真正原因暂时还不能得出結論。

在实验过程中，虽也遇到了一些困难和問題，但由于党的领导和鼓舞，由于大家的巧干、实干，这些問題都获得了解决。

例如：当原观测台（自己做的）不稳时，我們就用仪器箱代替了它。对較复杂的仪器校准工作，也系統地做过了一次。对仪器站和司光站的联系我們也摸索出一套較完整的程序。对說明書上所講的測量前仪器对光程序我們也作了改进，而使对光時間大为縮短。在說明書中認為球面反光鏡最佳，通过此次实践后，我們覺得稜鏡反光系不仅操作簡便，整置容易，且反光效果也不亞于球面鏡。故得出稜鏡比球面鏡更好的經驗。在原說明書中对奇偶数的判定写得籠統，通过实验也推求出了一套較系統的規律，更主要的通过实验我們已做出一套較完整的从观测到計算的工作程序，記錄及計算格式等，由于多次操作，我們对仪器、反光系等各方面都提出了改进意見，并已轉交到有

关的試制部門。对量距方面开始工作时我們对測量十几公里的边也是信心不大，但現在只要有好的气象条件即使量測30余公里的边也不成問題。

应特別指出，所以能取得这些成績是与党的领导分不开的。当我們在野外实验时党委書記白敏同志曾多次在夜晚来到我們工地作了指示，对大家鼓舞很大，所以一切成績应归功于偉大的党。

总之通过此次实验虽尚未得出非常完滿的結論，但对光速測距的量程、精度，我們已初步地摸到了一个底。前一阶段所得的經驗，对今后的工作进行必将帶來很大的帮助和方便。由于这种仪器容易操作，計算方法簡便，工作時間短，对地形条件要求低，在人員、經費、時間上比基綫丈量均有減少。可以預言，光速測距可代替繁笨的基綫丈量和免除基綫网的全套工作去直接測量起算边。采用光速測距技术將引起三角測量方法的变革；这里不是測角而是測边，或是边角同測。采用这种新技术还将給三角測量开辟了一个新的途徑——解决了精密导綫測量中的測距困难及用导綫形式跨过長的空间。光速測距对解决我国西藏地区測量方法提供了新的可能，并对提高測量精度增加了强而有力的条件。

气压計划高

国家測繪总局重力測量队

前言：为适应重力測量中点高程的求得，人們采用了各种各样的方法，气压測高则为其中的一种，但由于这种方法受外界影响很大，在以往的实验中，很少能满足精度的要求，因此未被采用。

根据明年作业任务的要求，需要采用一种新的快速的方法来求得点位的高程，以利于明年业务的順利完成。我队苏联專家建議，根据他們的野外經驗，可以用气压計測高法来决定兩点間的高差，精度完全能满足要求。因此，在这次北京重力加密圈的試驗过程中，同时进行了气压計測高法的試驗。下面我們就將此次試驗的过程和精度叙述于下，并提出我們的看法。

§1. 气压計測高公式

大家知道，由兩点間之气压差換算为高差的公式如下：

$$H_2 - H_1 = -K \lg \frac{B_2}{B_1} (1 + at) \quad (1)$$

式中 H_2 , H_1 和 B_2 , B_1 分別为兩点之高程和气压；

$a = 1/273$ ； t 为兩点間之平均溫度（外界）；

$K =$ 常数 18470（在苏联是采用气压 740mm 緯度 55° 高程 250m 而求得）。

$$\text{設 } B_1 = B, B_2 = B + \Delta B,$$

$$\text{則 } \lg \frac{B_2}{B_1} = \lg \left(1 + \frac{\Delta B}{B} \right).$$

$$\text{按級数展开 } H_2 - H_1 = -\frac{KM}{B} (1 + at) \Delta B + \frac{KM}{2B^2} (1 + at) \Delta B^2 + \dots \quad (2)$$

此处 M 为对数模 (0.43429)，

$$\text{故可写成 } h = -\alpha \Delta B + \beta \quad (3)$$

$$\text{其中 } \alpha = \frac{KM}{B} (1 + at) \text{ 注}_1,$$

$$\beta = \frac{KM}{2B^2} (1 + at) \Delta B^2 \text{ 注}_2$$

一般气压差（即高差）甚小，此值亦小，在山区点要用。
还必须指出，式中之 ΔB 应为同一时刻兩点的气压差。

§2. 气压計測高之实施

一、仪器設備（野外小組）

注 1 見附录一。注 2 見附录二。

- ①水銀气压計一支；
- ②空盒气压計或气压高程表 3 — 5 个；
- ③溫度計一根；
- ④放大鏡一个；
- ⑤觀測記簿、气象常用表第二、三号各一本；
- ⑥汽車一輛（如在重力測定之同时进行，則共用之）。

二、檢定工作

①水銀气压計之檢定。

- 1. 求得水銀气压計与标准水銀气压計之差值。
- 11. 附属溫度計上的溫度改正值。

以上均由气象局專門求得之。

②空盒气压計之檢定。

1. 溫度訂正值（溫度升高一度时对气压讀数之影响。此溫度为
空盒气压計上的附溫，如无附溫可用外界溫度代之，但不好。）

- 11. 刻度訂正值。

以上均由气象局进行之。

三、野外工作

在起始点上用一水銀气压計或空盒气压計数台，按等時間間隔讀取气压值、附溫及室外溫度，可根据具体情况一小时或半小时讀一次，供化为同一时刻之气压改正而用。格式参考附录三。

出发前在同一时刻讀取水銀气压計和空盒气压計之讀数二次或三次。

用汽車或在联測重力的同时在每点进行空盒气压計之讀数。讀数前要停若干分鐘，使之与外界溫度充分适应。讀数时敲一下上面的玻璃。震动一下指針。

每点上可讀数兩次（間隔約五分鐘），有机会返回时，可再进行一次讀数，次数愈多愈精确。

閉合于起始点时，仍在同一时刻讀定水銀气压計和空盒气压計的

讀數及附溫、室外溫度等。

觀測記錄可按下表之形式：

1958年 月 日 表 1

点名(号)和時間	儀器號碼	气压讀數	附屬溫度	溫度改正	刻度改正	補充改正	改正后 气压讀數	外 溫
1	2	3	4	5	6	7	8	9
(起始站)	P.(水銀)	765.1	11.0					13.0
气	5984 A	766.4	11.3	+0.9	-0.4	-3.4	763.5	
象	4706	766.9	11.1	-0.2	+0.4	-3.7	763.4	
台	055	764.2		+0.3	+0.2	-0.8	763.9	
10:40	016	764.8		0	0	-1.3	763.5	
	025	764.6		+2.5	0	-3.4	763.7	
						中 数	763.6	
(測 点)	5984 A	764.2	19.0	+1.5	-0.2	-3.4	762.1	16.0
№73	4706	765.9	17.5	-0.3	+0.3	-3.7	762.2	
水准点	055	762.6		+0.5	+0.1	-0.8	762.4	
12:15	016	763.5		0	0	-1.3	762.2	
	025	762.1		+3.7	0	-3.4	762.4	

說明：①第1、2、3、4、9各欄為觀測記錄；

中数 7623

②第5、6、7、8為計算欄。

四、計算工作

①水銀气压計之讀數計算，需要加三項改正（參看附录三）：

1. 溫度改正：由于溫度的影响，气压計之水銀柱与表尺会产生伸縮現象，此差必須更正。可由气象常数用表第二号第一表按气压和溫度（此溫度要經過改正后的）之讀數查得。

11. 重力訂正：有二：一是由于緯度不同；一是由于高度不同 对水柱之讀數均有影响，可由气象常用表第三号第一表和第二表按气压緯度和气压高度为引数查得。

111. 刻划訂正：亦可称与标准水銀气压計之比較差改正，可由檢定書中求得。

②空盒气压計讀数之計算，亦需加三項改正（參看表一）

(1) 溫度改正 } 可由檢定書中查得。
(11) 刻度改正 }

(111) 补充改正，求法如下：

表2

間	水銀气压計 №标准					空盒气压計 №5984A					
	附溫 C°	重力 訂正	讀 数	溫度 訂正	訂正后 mm	附溫 C°	讀 数	刻度 訂正	溫度 訂正	訂正后	差 值
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9:50	11.0	-0.4	765.5	-1.4	763.7	10.3	766.5	-0.3	+0.9	767.2	-3.5
10:10	11.0	-0.4	765.4	-1.4	763.6	11.0	766.5	-0.3	+0.9	767.1	-3.5
16:30	11.3	-0.4	761.3	-1.4	759.5	19.8	761.4	-0.1	+1.6	762.9	-3.4
17:05	11.3	-0.4	761.2	-1.4	759.4	16.0	761.3	-0.1	+1.3	762.5	-3.1

中数-3.4

每一天早晚各測二次的 平均值為同一天的各測站統一补充改正值，它是变化的，必須每天都要比較和測定。

(IV) 气压計算參看表一。

③高程計算

試舉一例以說明之。

(起始点高程46.8)

气压计测高程之计算

日期 1958年11月19日

表 3

顺序	点名或点号	时间	起 始 点		测 点		t _{cp}	B _{cp}	ΔB (起—米)	°	h=a·B 起高+h	H已知	备 考	
			B	t	B	t								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	六 鋪 炕	8.72 8.77	772.2 772.2	2.5 2.6	772.2 772.2	4.8 4.4	3.6 3.5	772.2 772.2	0 0	10.50 10.50	0 0	46.8↓	47.0↓	(1/万图上量 高)
2	北京航校	9.17 9.22	772.1 772.1	3.6 3.7	771.9 772.3	4.5 5.0	4.0 4.4	772.0 772.2	+0.2 -0.2	10.52 10.53	+2.1 -2.1	46.8	46.2	(1/万图上量 高)
3	六王坟	9.78 9.80	771.9 771.9	4.4 4.4	772.3 772.2	5.7 6.5	5.0 5.4	772.1 772.0	-0.4 -0.3	10.54 10.54	-4.2 -3.2	43.1	42.5	(水准点上)
4	白 庙	10.47	771.8	5.3	772.6	7.0	6.2	772.2	-0.8	10.60	-8.5	38.3	38.7	(水准点上)
5	沙 峪 口	13.55 13.67	769.1 769.0	8.2 8.1	766.3 766.6	9.5 9.5	8.8 8.8	767.7 767.8	+2.8 +2.4	10.77 10.77	+30.2 +35.8	74.8	—	

说明: 1. 第四栏为在起始点水银气压计在第三栏的相应时刻并经过三项改正之读数。

2. 第六栏亦为在第三栏的相应时刻测点之气压读数(空盒气压计)也是经过三项改正后的。

3. 第五、七栏为起始点和测点上的室外温度。

4. t_{cp}和B_{cp}相应为第五、七栏的七和第四、六两栏之中数。查α用之。

5. ΔB为第四栏B减第六栏B而得。

6. 第十三栏为起始点高程+h(十二栏)中数而得。第十四栏为该点已知值,若无则不写。