

全國測繪科學技術經驗交流會議

資料選編

平面控制導線測量

建築工程出版社

出版說明

1959年2月在武汉召开的全国測繪科学技术經驗交流會議，广泛地交流了測繪科学技术各方面的先进經驗和技术革新成就。今由大会秘書处組成編輯委员会将有关資料按專業編选汇集，予以出版，以供全国測繪工作者学习参考。

为加快出版時間，本資料选編由測繪、建筑工程、水利电力、煤炭工业等四个出版社協作出版。

本冊为第四卷（地形測量）第一章（平面控制）第四节，共分为二部分：第一部分介紹了对数視距光楔的精度研究及作业方法、旁折光对城市导綫水平角观测精度的影响，1:5000与1:2000地形測图加密控制采用普通經緯仪視距导綫的报告和試用等。第二部分介紹导綫測量工具的改进，包括視差导綫标志形状的改进、地形測量图解表、經緯仪座标增量卡尺等。

目 录

第一部分 經驗与方法

- 一、对数視距光楔的精度研究及作业方法的探討
..... 中国人民解放军測繪学院 (1)
- 二、旁折光对城市导綫水平角观测精度的影响
..... 中国人民解放军測繪学院 (10)
- 三、1:5000与1:2000地形測图加密控制采用普通經緯仪視
距导綫的报告和試用
..... 安徽省地質局測繪大队、水利电力部北京勘测設計院 (29)
- 四、夹角导綫的应用和木制橫尺 (綜合編写) (37)
- 五、視差导綫的应用經驗簡介
..... 广西壮族自治区水电勘测設計院勘测处 (40)
- 六、快速施測橫尺导綫点的經驗
..... 水利电力部西北勘测設計院 (42)
- 七、以普通鋼尺丈量导綫作为大面积主要控制的經驗
..... 宁夏回族自治区水利电力局 (44)

第二部分 工 具 改 进

- 八、視差导綫标志形状試驗 中国人民解放军測繪学院 (47)
- 九、地形測量图解表 江苏省地質局測量队 (56)
- 十、座标增量卡尺 铁道部第三設計院 (64)
- 十一、三公尺折式夹角尺的制造 長江流域规划办公室 (65)
- 十二、測量計算盘的介紹 煤炭工业部北京煤矿設計院 (74)

第一部分 經驗与 方法

一、对数視距光楔的精度研究及 作业方法的探討

中国人民解放军測繪学院

提 要

本文推导出利用对数光楔进行作业的精度及限差，并提出将作业方法改为手扶加撐竿的豎置尺，速度快，省人力。試驗結果表明此种作业方法精度良好，导綫总長可放寬至图上長120公分，优于經緯仪导綫。

对数視距光楔（简称罗特卡）是德意志民主共和国蔡司厂新制成的一种視距仪，它装在030經緯仪的望远鏡上进行測量，該方法主要是应用一种特別的对数标尺；尺上繪有不等間隔的分划，每相邻分划点对零点距离的对数差为一常数，在此情形下标尺截段末端間隔对視差角頂点（仪器中心）的夹角为一定值。另外为一光楔，它能使标尺产生双象，并轉动測微鼓讀出标尺不够整分划的部分（詳細情况請參閱“測繪通报”創刊号）。該仪器精度很高，目前在我国尚未广泛采用，仅总參測繪局地形三队进行了試用，因仪器初来，规范中沒有适合于此仪器的适当限差及規定，本文仅对该仪器的精度和作业方法进行一点探討。

对数光楔的精度估计

(一) 横置标尺

横置标尺作业时的计算公式为:

$$s = kl \cos \alpha \quad (1)$$

$$h = kl \sin \alpha \quad (2)$$

上式中: s 为距离; h 为高差; α 为垂直角; k 为一系数, 其值为200; l 为标尺的截段。在作业时读出的数值为斜距 kl 的对数, 即 $\log kl$, 为方便起见以符号 Q 表 kl 。

由公式(1)、(2)可看出: 距离 s 和高差 h 精度取决于读数精度和经纬仪度盘刻划之精度, 除此之外尚受外界影响, 如折光、天候等等, 为讨论方便起见, 今只考虑前两种误差影响, 为此以 α 及 Q (即 kl) 为变量对上述二式进行微分, 则有:

$$ds = -Q \sin \alpha d\alpha + \frac{1}{\log e} Q \cos \alpha d \log Q; \quad (3)$$

$$dh = Q \cos \alpha d\alpha + \frac{1}{\log e} Q \sin \alpha d \log Q. \quad (4)$$

按中误差公式则上式变为:

$$m_s^2 = (Q \sin \alpha)^2 \left(\frac{m''_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{1}{\log e} Q \cos \alpha \right)^2 m^2 \log Q; \quad (5)$$

$$m_h^2 = (Q \cos \alpha)^2 \left(\frac{m''_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{1}{\log e} Q \sin \alpha \right)^2 m^2 \log Q. \quad (6)$$

我们知道030经纬仪垂直度盘的精度可达 $12''$; 又由实验确定出: 正常人眼的第二类单眼视力为 $20''$ — 两根线重合的精度 [见中国人民解放军测绘学院编航空摄影测量学 (本科讲义) 下册第35页]。这样, 当望远镜放大倍率为 $25\times$ 时, 经纬仪的鉴别力为: $\frac{20''}{25} = 0''.8$ 。在仪器构造中标尺截段末端间隔对倾差角顶

$\alpha \backslash Q(\text{公尺})$	0	1	2	3	4	5	6
100	—	0.001	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008
200	—	0.003	0.006	0.008	0.011	0.014	0.017
300	—	0.004	0.008	0.013	0.017	0.021	0.025
400	—	0.006	0.011	0.017	0.022	0.028	0.034
500	—	0.007	0.014	0.021	0.028	0.035	0.042
600	—	0.008	0.017	0.025	0.034	0.042	0.050

以上各表是以讀數中誤差為0.00035計算的。在作業時為提高精度和消除偶然誤差對觀測結果的影響，往往採用多次觀測，如果採用讀四次數取中數作為最後結果時，則該中數的中誤差將縮小 $\sqrt{4}$ 倍。因而對距離的影響也將縮小 $\sqrt{4}$ 倍，對於高差精度講，第二項也提高 $\sqrt{4}$ 倍。

例：當 $\alpha = 0^\circ$ ， $Q = 600$ 公尺（這是對數標尺最大的視距高），測讀四次數之 $m_s = \pm 0.24m$ ； $m_h = \pm 0.04m$ 。

由上可知其精度是很高的，特別是高程精度。不過應該指出的是：沒有考慮到折光的影響，而折光差的影響是由於折光系數估計不準確所致。我們知道折光系數不是一個固定值，不僅一晝夜有變化，而且同一時間隨着地區的不同點上也有不同的折光系數，如果是双向觀測，雖然能消除一部分影響，但也因觀測的時間和地點的不同而包含有一定誤差；折光系數每一晝夜由0.10變到0.20，經驗證明只有中午附近，它的變化才比較小，若以 m_k 表示折光系數的中誤差，則由它所引起對高差的影響為：

$$m_{h_k} = \left(\frac{s^2}{2R} \right) m_k^*$$

設折光系數中誤差 $m_k = \pm 0.03$ ， $R = 6370$ 公里代入上式，

* 陳永齡：大地控制網建立原理。

則得表 4。

表 4

s	m_{hk}
100	—
200	0.0001
300	0.0002
400	0.0004
500	0.0006
600	0.0009

由上表可知：推算边長不大时，由折光系数不正确对高程产生的影响是非常小的。由于应用对数光楔作业时，每次的视距距离最大为600公尺，故可不予以考虑。

(二) 豎置标尺的精度估計

豎置标尺的計算公式为：

$$s = kl \left(\cos^2 \alpha + \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{k} \right); \quad (7)$$

$$h = kl \left(\sin \alpha \cos \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{k} \right) \quad (8)$$

按照上节同样的推导，則得下两式：

$$m_s^2 = \left(\frac{1}{k} \cos 2\alpha - \sin 2\alpha \right)^2 Q^2 \left(\frac{m''_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left(\cos^2 \alpha + \sin 2\alpha \frac{1}{2k} \right)^2 \left(\frac{1}{\log e} \right)^2 Q^2 m^2 \log Q; \quad (9)$$

$$m_h^2 = \left(\frac{1}{k} \sin 2\alpha + \cos 2\alpha \right)^2 Q^2 \left(\frac{m''_\alpha}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \sin 2\alpha + \frac{1}{k} \sin^2 \alpha \right)^2 Q^2 \left(\frac{1}{\log e} \right)^2 m^2 \log Q \quad (10)$$

按照同样的数值代入上式可制出新的表，其值和前面的表是

相同的，由此可知：無論採用橫豎標尺作業，對於儀器本身的精度來講是一致的，但實則不然。一般來講橫尺的精度高於豎尺，這也是由於折光的緣故。我們知道大氣層的密度是不同的，光線通過不同的密度而發生的不同的折射，豎置標尺的上下照准點不在同一高度，因此，產生誤差，另一方面豎標尺的下照准點離地面太近，因而受濛氣的影響也很大，但是經驗證明：對於讀數的影響也不太大，特別是陰天和溫度不高的時候，在有風的情況下，豎置尺反較橫尺穩固而提高精度。

(三) 利用對數光楔進行導線測量精度的研究

在附合導線的情況下，由導線一端推到另一端的中誤差為：

$$M^2 = \frac{L}{600} m_3^2 + \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \left(\frac{m''}{\rho''} d \right)^2 \quad (11)$$

上式中：\$L\$ 為導線全長，\$n\$ 為邊數，\$m_3\$ 為 030 經緯儀測水平角的精度，若作業時採用三復一測回時，\$m_3 = \pm 4''\$，如此可按導線閉合差 \$f \leq 2m\$ 而算出其限制，今將不同邊長和不同導線全長的閉合差允許值列於表 5：

表 5

L(公里)	d(公尺)		L(公里)	d(公尺)	
	600	2000		600	2000
6	1.58	1.58	20	3.70	3.08
10	2.00	2.00	26	4.92	3.82
16	3.00	2.70	30	5.80	4.32

由表 5 看出：邊數少的情况下，中誤差受邊長的影响是不大的，亦即公式 (11) 中的第一項為主項，當邊數多時，則第二項逐漸增大，甚至超過第一項，所以證明：邊數少為佳，因此作業時可採用分段視距的方法增大邊長，以減少邊數提高精度，由上

表也可看出，当 $L=10$ 公里时相对误差 $1/5000$ ，这精度是比较高的。

在不考虑坚强点本身误差的情况下，闭合差按平差配赋后，则中点的误差为最大，且较原来提高精度 $\sqrt{2}$ 倍，其中误差为：

$$M_{\text{中}}^2 = \frac{L}{2400} m_s^2 + \frac{\frac{n}{2} \left(\frac{n}{2} + 1 \right) (n+1)}{12} \left(\frac{m_s''}{\rho''} d \right)^2 \quad (12)$$

若允许导线中点经平差后平面移位不能大于 $\frac{0.1M}{1000}$ 时 (M 为比例

尺分母) 亦即 $\frac{0.1M}{1000} \geq 2M_{\text{中}}$ ，则可规定出导线总长的容许范围，

例如：1:25000 中当导线平均边长为 600 公尺时， $L=37$ 公里，当平均边长增大时，则总长的容许值更大，根据经验证明，1:25000 比例尺测图中，边长总长放至 30 公里是毫无问题的，也就是可规定为图上长 120 公分。这个数值表明：利用对数光楔作业时，边长限制可不用考虑。

对于高程精度讲，当以 M_h 表示导线一端推至另一端点的高程中误差时，则有：

$$M_h = \pm \sqrt{n} m_k \quad (13)$$

对于高程闭合差，在不考虑起闭点误差的情况下为

$$f_k \leq 2\sqrt{n} m_k \quad (14)$$

按 (14) 式可得表 6。

经平差后，导线中点的中误差为：

$$M_{\text{中}} = \frac{\sqrt{n}}{2} m_k, \quad (15)$$

这是最大误差的点。

规范规定高程闭合差不能大于基本等高距的 $1/5$ ，亦即 $0.2h$

表 8

d (公尺) L (公里)	200	400	600
5	0.208	0.290	0.352
10	0.294	0.410	0.496
15	0.360	0.502	0.610
20	0.416	0.580	0.704
25	0.462	0.648	0.786
30	0.510	0.720	0.862

(h 为基本等高距)，那么对中誤差講为 $0.1h$ ，利用 (14) 式可得高程測量的導綫总長，例：1:25000 比例尺測图中，若導綫的平均边長以 600 公尺和 $\alpha = \pm 6^\circ$ 算，总長可容許 40 公里，为原规范規定的二倍半。茲參測繪局曾做过試驗，其結果与前述討論完全相符（請閱“測繪通報”第四卷第五期，刘汉樞；对数視距光楔的試驗总结）。

作业方法的研究

我們知道：目前罗特卡所用的对数标尺，橫豎标尺作业，均装置在脚架上，这就增加了作业困难，同时亦受地形限制，每組需要五名或四名測工，为了扩大罗特卡的使用范围和减少作业人员，我們曾采用手扶标尺加撐竿的作业方法进行过試驗，除能保证精度外，反优于标尺装置在脚架上的作业方法，此次試驗在怀柔进行，共測四条，一条为丘陵区，一条为平地，一条为平地与丘陵，另一条未測轉折角而直接进行視距，測得的边長与大地点反算出的边長仅差 7 公分，这再次証明其精度是高的。现将各条

成果列于表 7。

表 7

条	各項	閉合差 (公尺)	總邊長 (公尺)	相對誤差	與檢査点大地成果之座標差
I		0.13	3,593.5	$\frac{1}{27,642}$	$\Delta x = 0.2$ $\Delta y = 0.1$
II		0.07	1,303.9	$\frac{1}{18,694}$	—
III		1.36	5,811.6	$\frac{1}{4,273}$	$\Delta x = 0.4$ $\Delta y = 0.4$
IV		1.34	7,115.5	$\frac{1}{5,310}$	$\Delta x = 0.1$ $\Delta y = 0$

通过实验，我們感到采用手扶标尺加撐竿的作业方法最宜于比高为 100 公尺的丘陵区作业，而且人員可減少 2 名，这种仪器和作业方法优于經緯仪导綫，甚至在微分法地区和平地可与解析法相比，又由于导綫点可做埋石点，故較图解法在一定程度上也有利。

另外关于定綫誤差可至差 1^m，对于視距也沒影响，当然最好精确一些（另外关于标尺的傾斜也試驗了一下，此略）。

最后值得指出的是：在施測前要进行仪器鑑定，測出不同边長的改正数，最后計算时进行改正，这样得到的成果才是可靠的，上面的实验曾預先在基綫場进行过改正数測定，結果証明，四条导綫加上改正数后精度都提高，因此可得結論：地形三队所做的导綫其相对誤差所以大，恐怕就是这个原因。

二、旁折光对城市导线水平角

观测精度的影响

中国人民解放军测绘学院

前 言

在城市导线测量中，角度观测是在街区建筑物附近进行的。由于太阳的照射（最主要的原因），使墙壁很快变热，而与街道中空气的温度不相一致，因而构成一个稳定的水平折光场。街区折光场可以算是小型的和比较规则的“地方性折光场”，在这折光场的影响下，使旁折光对测角的影响比在三角测量中大许多倍。

按照光线在不均匀介质中折射的规律，当光线接近于热的墙壁通过时，经折射后的光线路径将为一曲线，其凸部伸向墙壁（图1）。苏联A.C. 尤津在1954—1955年间曾对街区折光场作过专门的研究^①，证实视线离墙1.5公尺以内通过时将因旁折光

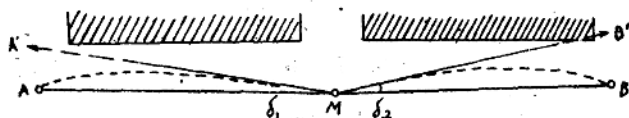


图 1

① Канл. техн. наук. А. С. Зюзин Боковая рефракция при измерении углов на пунктах городской полигонометрии, Геодезия и картография, 6, 1956,

的影响而偏折，視線長175公尺，測站离牆0.75公尺的情况下，在街道向阳一边（东西走向建筑物的南侧）进行观测，則一方向在中午左右有最大的弯曲（約达 $10''$ ）。在其实驗中，还分別研究了視線离牆0.40公尺、0.90公尺、1.40公尺三个距离上旁折光对一个近于 180° 角影响的絕對值（即旁折光对两个方向影响的总和）。在有微风的阴天（一般說来在这样的天气里不会受折光的影响），用四个測回測得这些角的最或是值为：

$$\omega_0^I = 180^\circ 05' 29.''3; \omega_0^{II} = 180^\circ 16' 35.''2; \omega_0^{III} = 180^\circ 32' 26.''7$$

在晴天里（在四天过程中11—13点，即在折光影响最大的時間段内）重复观测相同的角度，組成角度中数为：

$$\omega^I = 180^\circ 05' 52.''3; \omega^{II} = 180^\circ 16' 46.''4; \omega^{III} = 180^\circ 32' 33.''5。$$

組成差数即代表旁折光影响的絕對值：

$$\begin{aligned} \omega^I - \omega_0^I &= +23.''0; \omega^{II} - \omega_0^{II} = +11.''2; \omega^{III} - \omega_0^{III} \\ &= +6.''8。 \end{aligned}$$

其中注标 I、II、III 分別代表离牆0.4公尺；0.9公尺；1.4公尺三个測站。

澳大利亞測量学者索柯巴認為，热墙壁的搅动重气层的影响不会傳播到0.5公尺以外。但从上列数据看来，这一結論是值得探討的。

我国的城市导綫測量工作与苏联有所不同，即导綫标志不是墙上标志，而是埋設在馬路中央，因此进行角度測量时受旁折光的影响一般說来沒有那样严重，但是当导綫通过狭窄之街道或靠近障碍物旁边通过时，折光的系統影响就可能存在。本文主要是为了进一步研究在中緯度地理条件下，进行城市导綫測量时一般建筑物近旁小型“地方性折光場”的性質，以便查明旁折光时水平角观测精度影响的大小和特性究竟怎样？并采取那些相应的措施，以避免和减弱旁折光誤差的有害影响。

实验方法及所用仪器

一切实验都在墙边进行，所用仪器为光学经纬仪Theo-010，仪器事先经过检验，合乎要求。此种仪器可用于精密导线测量，方向一次测定中误差达 $\pm 1.5''$ 。

水平角观测在三角架上进行，并打脚桩。晴天时用大伞遮住脚架及仪器，免受太阳直接照射。整个观测过程中，基本上保持气泡稳定不变。每一角度在某一瞬时不变换度盘以二或三测回完成之，按方向观测法进行观测，二方向不归零，三方向以上则归零。在观测中，每一角度的归零情况是良好的。

观测标志是用视差导线的标志，牢靠地固定在地上，不会有任何移动。

当在离墙壁不同距离上的两个测站（I、II）上观测时，为了使所测得角值能更恰当地显示同时时间的折光变形情况，以便合理地进行比较，采取的观测程序为：I $\rightarrow$ II $\rightarrow$ II $\rightarrow$ I。这样，I及II站的观测值中数，就基本上能同时显示为中央瞬时T的角值。

在一天过程中，2C的变化有时相当大，但在同一时间段内，测回间2C的变化是很小的。同时，每一角值都取纵转前后的中数，这样，因温度变化而引起的视轴变化时测角的影响基本上被消除。观测过程中，同一时间段内，同名角各测回间角值之差相当小，因为在短时间内，角度的折光变形是不会很大的。

由此，我们可以断定，所有观测数据是基本上能反映出因旁折光影响而引起的角度变形情况。

观测水平角时，用普通温度计测量视线齐高处仪器周围的温度。并按蒲福氏风级表估计风向风速。云层的鉴定分为：（1）晴；（2）有云，主要是指多云的情况；（3）阴，即全云天；（4）小雨。对影响质量的记载分为：0—不动影像；1—开始晃动的影像；2—略微晃动；3—中等晃动；4—强烈晃动。

实验结果及其分析

一、不同气象条件下建筑物附近的折光场

(1) 晴天

在东西走向建筑物的南侧，由于太阳的辐射使墙壁变热，与周围空气温度不一致，使垂直于墙壁方向存在一温度水平梯度，所以在建筑物向阳一边构成一个较稳定的水平折光场。在折射厚度为50公尺，视线长为160公尺，离墙为0.5公尺，折射面离测站为2公尺的情况下，视线偏折在一天过程中有系统性变化（图3.a、b），在中午12~13点内，一方

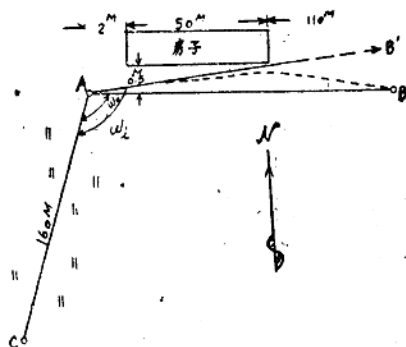


图 2

向之偏折最大达到7"左右。测站设置如图2。观测数据载于表1(a)、(b)，角度CAB中，AC边通过开阔地，不受折光影响，这在以后加以证明。AB边靠近墙边，受折光场影响凸向热的墙壁，这样， $\angle CAB$ 在日间有由小→大→小的系统性变化。

在图2中所示之墙壁是在8:30开始被阳光直接照射，17点后即背阳，因此可以假定18~19点时视线AB已不受折光场的作用，因这时墙壁温度和周围空气温度已基本上趋于一致，所以取 $\omega_{18 \sim 19h}$ 作为不受折光影响的角度起始值 ω_0 是合理的，当然取 $\omega_{7 \sim 8h}$ 作为起始角值亦无不可。

在这两天中都有强风，但由于风是往北面吹来，受墙所挡，

因此墙壁附近因太阳辐射而形成的水平折光场几乎未被破坏。

1958.4.30.

表 1(a)

观测时间	$(m_t - m_{18:45})''$	云 层	风	影 象	温 度
10:45	+3".9	晴	4 N	3	+21.0°C
11:45	+4.9	"	4 N	3	21.5
12:40	+6.7	"	5 N	2	23.0
13:45	+2.1	"	5 N	2	24.3
14:45	+1.5	"	5 N	2	25.5
15:45	+1.5	"	4 N	2	23.0
16:45	+0.7	"	3 N	1	22.5
17:45	-0.1	有云	2 N	0	22.6
18:45	0.0	"	0	0	21.8

1958.5.1.

表 1(b)

观测时间	$(m_t - m_{18:45})''$	云 层	风	影 象	温 度
9	+1".2	晴	4 N	0	+18.5°C
10	+4.3	"	4 N	2	23.1
11	+4.0	"	4 N	2	24.5
12	+5.5	"	3 N	3	24.5
13	+7.1	"	5 N	3	23.5
14	+4.9	"	5 N	2	23.0
15	+4.1	"	5 N	2	23.6
16	+2.9	"	5 N	1	21.9
17	-0.7	"	4 N	1	21.2
18	0.0	"	3 N	0	19.6
19	+0.3	"	2 N	0	18.0

(2) 密云天

在同图 2 完全类似的条件下,而在密云天进行观测,则视线受折光场的影响显著地减弱,观测数据如表 2(a)、(b),角度变化曲线基本上是平直的。但在 5 月 2 日 12:30 时,太阳突然照射强烈,此时角度值亦随之激增。