民乐盆地短水准测量精度 分析与改进措施

邹明吾 潘颖凌 杨宝平 张家骝

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 根据误差理论及在民乐盆地等测量场地的观测试验结果,对影响短水准测量精度的各种因素进行了分析研究。结果表明,短水准测量精度主要受4种干扰因素影响:(1)温度变化引起水准标尺尺长误差;(2)仪器单面受热的影响;(3)尺桩升降的影响;(4)地面折光的影响。特别是第4种因素的影响尤为显著。针对上述4种干扰,本文提出了一些相应的改进措施。作者将这些措施应用到实际观测中,收到了较明显的效果。

关键词: 甘肃 短水准测量 观测精度

1 仪器误差分析

本文主要分析由于测量仪器的误差对观测结果的影响。在仪器误差中主要包括水准轴和视准轴在水平面上的投影不平行形成的交叉误差 φ 和视准轴和水准管轴间的夹角 i 的误差。根据气泡居中时视准轴的倾角 β 和交叉角 φ 及纵轴倾角 α 之间的几何关系,可推出下式:

$$\beta'' = \frac{\alpha'' \cdot \varphi'}{\rho'}$$

式中 $\rho' = 3438'$ 。

设 $\alpha = 1'$, $\varphi = 1^\circ$, 则 $\beta = 1.05''$ 。在视距为30 m时, $1.05''$ 的倾角所带来的标尺读数误差 δ_1 为:

$$\delta_1 = \frac{\beta'' \cdot D}{\rho''} = 0.15(\text{mm})$$

式中 $\rho'' = 206265''$ 。

对每个测站而言, α 是固定的, δ 对于前后尺的影响符号相反,因而高差 h 中含有 $2\delta_1$ 。这种误差具有系统积累性,在上述假定条件下,对一条600 m长的测段, δ_1 可积累到1.5 mm,因此作业前要严格检校仪器,使 α 与 φ 尽可能小,作业中奇偶站对称安置仪器脚架,使 α 的倾向交错转换,这样奇偶站的 δ_1 的误差符号相反,互相抵消。

仪器 i 角误差可通过前后视等距的方法消除。《跨断层形变测量规范》规定对Ni 002水准仪, $i \leq 4''$, $\Delta s \leq 1.5 \text{ m}$, $\Sigma \Delta s \leq 3 \text{ m}$, 因此,每测站 i 角的最大影响 δ_2 为:

$$\delta_2 = i'' \cdot \Delta s \cdot \frac{1}{\rho''} = 0.03 \text{ mm}$$

对Ni 007水准仪, $i \leq 15''$, $\Delta s \leq 0.5 \text{ m}$, $\Sigma \Delta s \leq 1.5 \text{ m}$, δ_2 为0.04 mm,在正常情况下,这种误差呈偶然性,对观测结果不产生系统性影响。

2 外界环境影响

根据对现场观测试验结果的分析,短水准测量主要受以下4种因素干扰:

2.1 温度变化引起水准尺尺长误差

水准尺米间隔和分米间隔误差 f 可通过改正高差值而削弱。在此主要研究水准尺检定与作业时温度不同而产生的误差 δ_3 的影响,其表现形式为:

$$\delta_3 = A \cdot h \cdot (t_j - t_m)$$

式中 A 为标尺中铟钢带的线膨胀系数, h 为测段单程高差, t_j 为标尺检定时温度, t_m 为作业时测段平均温度。

δ_3 对往返测高差中数 H 的影响 δ_A 为:

$$\delta_A = A \cdot H \cdot (t_j - t)$$

式中 t 为往返测的平均温度。

δ_3 对往返测不符值 Δ 的影响 δ_B 为:

$$\delta_B = -A \cdot H \cdot (t_{往} - t_{返})$$

表1统计了民乐盆地窑坡测量场地510—511测段历年的观测结果。由表1可见,对于同一期的观测结果,由于受 δ_A 的影响温度低时比温度高时测出的 H 值偏大, δ_A 的最大值可达1.04 mm, δ_B 与闭合差 Δ 正相关,最大值达-0.63 mm。这种误差的影响对于监测地震而实施的精密水准测量而言是不容忽视的。因此,在观测作业时往返测量应尽量在大致相同的气温下进行。

表1 温度变化引起水准尺尺长误差试验结果

场地	往		返		中数 (mm)	闭合差 Δ (mm)	δ_A (mm)	δ_B (mm)
	t ($^{\circ}$ C)	h (mm)	t ($^{\circ}$ C)	h (mm)				
窑坡 510 511 $t_j = 20^{\circ}$ C	10	73.48	12	-72.95	73.22	+0.53	+0.47	+0.10
	18	73.95	15	-74.28	74.12	-0.33	+0.21	-0.16
	13	70.68	8	-71.12	70.90	-0.44	+0.52	-0.26
	2	73.00	6	-72.98	72.99	+0.02	+0.83	+0.21
	19	72.62	28	-71.60	72.11	+1.02	-0.21	+0.47
	-3	73.62	3	-77.70	73.16	+0.92	+1.04	+0.31
	1	74.70	1	-74.62	74.66	+0.08	+0.99	0
	17	73.48	27	-72.80	73.14	+0.68	-0.14	+0.52
	8	73.18	3	-73.70	73.44	-0.52	+0.73	-0.26
	28	69.25	16	-70.58	69.92	-1.33	-0.14	-0.63

2.2 仪器单面受热的影响

仪器单面受热主要由于太阳照射方向的不同引起,仪器朝阳一面的温度高于背阳一面的温度。根据实验,太阳照射物镜和目镜两端时影响最大;照射两侧时影响较小,射向目镜端时,读数增大,其它方向时读数减小。对于东西向的测线影响尤为突出。

设 ΔH 为后尺读数误差, ΔQ 为前尺读数误差,测线为东西向,分光段观测,则得

$$h_{往} = h + \Sigma(\Delta H + \Delta Q)$$

$$h_{返} = -h + \Sigma(\Delta H + \Delta Q)$$

$$H_{中} = h$$

$$\Delta = 2\Sigma(\Delta H + \Delta Q)$$

可见仪器单面受热的影响对单程高差具有系统积累性,对往返不符值 Δ 影响最大,高差中数 H 中影响抵消,若同光段观测,则

$$h_{往} = h + \Sigma(\Delta H + \Delta Q)$$

$$h_{返} = -h - \Sigma(\Delta H + \Delta Q)$$

$$H_{中} = h + \Sigma(\Delta H + \Delta Q)$$

$$\Delta = 0$$

此时这种误差对 Δ 无影响,在 $H_{中}$ 影响明显。但是在地震测量中主要研究两期成果的变化量 $\Delta H_{中}$,相邻两期观测中,若 $H_{中}$ 第二项大致相同,则

$$\Delta H_{中} = H_2 - H_1 \approx h_2 - h_1$$

这种影响在 $\Delta H_{中}$ 中并不反应,就形变测量而言,可采用同光段测量削弱仪器单面受热的影响。

表 2 列出了山丹清水沟 505 至 506 测段观测试验结果,分光段与同光段各观测 4 次,计算往返测量闭合差 Δ 。其中分光段观测成果的 Δ 显然偏大,且都呈正号,这与理论分析结果一致;同光段观测成果的 Δ 较小,有正有负,呈偶然性,说明可能受其它因素的影响。

表 2 分光段与同光段对比观测结果

山丹清水沟 505—506 测段					
上午往、下午返(或上午返、下午往)			往返测都在下午		
$h_{往}(\text{mm})$	$h_{返}(\text{mm})$	$\Delta(\text{mm})$	$h_{往}(\text{mm})$	$h_{返}(\text{mm})$	$\Delta(\text{mm})$
+34618.05	-34617.80	+0.25	+34617.60	-34617.50	+0.10
+34618.38	-34616.82	+1.56	+34618.08	-34618.08	0
+34617.90	-34616.72	+1.18	+34618.08	-34618.30	-0.22
+34618.20	-34617.15	+1.05	+34617.52	-34616.90	+0.62

为削弱此项误差的影响,除采取同光段观测的方法外,作业中打测伞、戴仪器遮光罩、装仪器套等都是行之有效的措施。

2.3 尺桩升降的影响

尺桩打入土中后,受土壤的反作用会缓慢回升,置标尺后又开始下沉,其沉降速率与土质有关。

设 ΔQ 为前尺基辅分划读数期间尺桩位移量, ΔH 为后尺读数期间尺桩位移量, Δp 为迁站期间尺桩位移量, n 为测站数,该项影响则为:

$$h_{往} = h + \frac{1}{2} \left[\sum_1^{n-1} (\Delta Q + \Delta H) + \sum_2^n \Delta p \right]$$

$$h_{返} = -h + \frac{1}{2} \left[\sum_1^{n-1} (\Delta Q + \Delta H) + \sum_2^n \Delta p \right]$$

$$H_{中} = h$$

$$\Delta = \sum_1^{n-1} (\Delta Q + \Delta H) + \sum_2^n \Delta P$$

可见对往返高差中数不产生影响,但对闭合差 Δ 的影响却呈系统性积累,作业中有时出现连续几个测段的 Δ 呈同号,可能与此项影响有关。

表3为在麻家寺场地对尺桩升降的影响的对比观测结果。由表3可以看出,尺桩入地后立即观测,连续4个测段 Δ 都为负值,且数值较大;尺桩入地3分钟后观测, Δ 符号仍为负,但数值较小,可见尺桩升降影响与其入地时间呈负相关。尺桩入地6分钟后观测的 Δ 有正有负,呈偶然性,因此时尺桩已趋于稳定。目前,有些单位把短水准测量的转点都埋上了水泥桩,这是消除尺桩沉降影响的最好的办法。

表3 尺桩升降的影响对比观测试验结果

场地	测段	尺桩入地立即观测			尺桩入地3分钟观测			尺桩入地6分钟观测		
		$h_{往}(mm)$	$h_{返}(mm)$	$\Delta(mm)$	$h_{往}(mm)$	$h_{返}(mm)$	$\Delta(mm)$	$h_{往}(mm)$	$h_{返}(mm)$	$\Delta(mm)$
榆中麻家寺	101—102	+4.15	-4.22	-0.07	+4.28	-4.78	-0.50	+4.38	-4.65	-0.27
	102—103	-6.30	+6.12	-0.18	-5.95	+5.75	-0.20	-5.12	+4.72	-0.40
	103—104	-2.50	+1.38	-1.12	-1.78	+1.55	-0.23	-1.72	+2.05	+0.33
	104—101	+1.58	-2.12	-0.54	+2.35	-2.65	-0.30	+2.20	-2.02	+0.18

2.4 地面折光影响

地面折光和气温梯度有关,水准线路通过斜坡,当温度梯度 $\frac{dt}{dh} > 0$ 时,水准视线凸向上方, $\frac{dt}{dh} < 0$ 时凹向上,从而使观测高差产生系统性误差。下面就民乐盆地作业中常遇到的两种情况分析折光差的影响。

(1)往返时 $\frac{dt}{dh}$ 皆小于零,往测上坡,返测下坡,设折光差为 ϵ ,则:

$$h_{往} = h - \epsilon$$

$$h_{返} = -h + \epsilon$$

$$H_{中} = h - \epsilon$$

$$\Delta = 0$$

可见折光差在 Δ 中不反映,只在 $H_{中}$ 系统积累。有时尽管每个测段的 Δ 都很小,但水准环线闭合差 w 却较大或超限,就源于此。

(2)往测上坡, $\frac{dt}{dh} > 0$,折光差为 ϵ' ,返测下坡,折光差为 ϵ , $\frac{dt}{dh} < 0$,则得

$$h_{往} = h + \epsilon'$$

$$h_{返} = -h + \epsilon$$

$$H_{中} = h - (\epsilon' - \epsilon)$$

$$\Delta = \epsilon' - \epsilon$$

当 $\frac{dt}{dh} > 0$ 时,空气密度越靠近地面越大,空气层保持相对稳定平衡状态,视线受折光影响很大,容易出现可级品或超限结果。

表4为民乐盆地和扁都口地区短水准测量的部分观测结果。由表4可以看出,9点30分以前的观测结果的高差绝对值偏大,显然该地早上折光影响比较严重。扁都口地区1985年6

表 4 大气折光对民乐盆地短水准测量影响结果

场地	时间	$h_{往}$ (mm)	时间	$h_{返}$ (mm)	Δ (mm)	Δ 限 (mm)
清水沟	8 月 18 日	+34617.60	8 月 18 日	-34616.00	+1.60	± 1.72
505—506	08 h 30 min		17 h 30 min			
黄羊河	3 月 14 日	+40527.65	3 月 15 日	-40530.45	-2.80	± 2.81
501—504	14 h 10 min		08 h 50 min			
502—504	5 月 23 日	+32231.05	5 月 24 日	-32233.15	-2.10	± 2.32
	17 h 40 min		08 h 40 min			
窑坡	6 月 7 日	+16055.88	6 月 7 日	-16055.15	+0.73	± 0.85
509—510	07 h 10 min		18 h 10 min			
大野口	8 月 22 日	+14001.88	8 月 22 日	-14000.25	+1.63	± 1.33
519—520	08 h 30 min		17 h 40 min			
扁都口	3 月 19 日	+12496.85	3 月 18 日	-12494.55	+2.30	± 1.64
513—514	08 h 50 min		17 h 50 min			
517—518	8 月 20 日	+8459.25	8 月 20 日	-8460.45	-1.20	± 1.12
	18 h 00 min		08 h 20 min			
517—518	8 月 25 日	+8462.20	8 月 24 日	-8459.85	+2.35	± 1.43
	09 h 15 min		17 h 40 min			
扁都口	6 月 9 日	+7187.62	6 月 8 日	-7185.30	+2.32	± 1.67
514—515	06 h 30 min		17 h 50 min			
515—516	07 h 40 min	+5513.20	17 h 20 min	-5512.72	+0.48	± 0.66
516—517	08 h 00 min	+2982.95	16 h 10 min	-2980.90	+2.05	± 1.85
517—518	09 h 20 min	+8460.20	15 h 30 min	-8459.80	+0.40	± 1.12
515—516	10 h 20 min	+5512.78			+0.06	± 0.66
516—517	11 h 30 min	+2980.98			+0.08	± 1.85

月 9 日的观测结果中,在 6 点 30 分至 9 点 20 分之间的 4 个测段观测值都偏大, $w > 0$ 且超限。10 点 20 分以后的上述测段的观测值接近正常值,比较两次观测结果,该地折光误差影响约为 2 mm,民乐盆地短水准观测场地都是依山而设,山上积雪几乎长年不化,气候条件也很复杂。该地区正气温梯度时段长,负气温梯度时段短,温度梯度由正变负的时间也不固定,有时在冬天或雨雪天气还出现逆温。因此,在民乐盆地作业时要随时掌握 $\frac{dt}{dh}$ 的变化情况,确保往返观测都在 $\frac{dt}{dh} < 0$ 时进行。针对该地特点,上午最早在 9 时后开测,下午在 18 时前收测,尽量缩短往返观测的时间间隔,以便使观测条件接近,从而减少观测误差。

3 结语

本文根据作者多年来进行短水准测量的观测结果,对影响短水准观测精度的各种因素进行了分析,提出了相应的改进措施。作者在民乐盆地进行水准测量时实施了这些改进措施,收到了明显的效果,观测精度由 ± 0.40 mm/km 提高到 ± 0.26 mm/km,说明本文提出的改进措施是有较大的实用意义的。

(本文 1994 年 6 月 30 日收到)

参考文献

- 1 须田教明. 探讨精密水准测量中的折光影响. 大地形变测量, 1985, (4): 23—29.
- 2 武汉测绘学院. 大地形变测量学. 北京: 测绘出版社, 1977.

**THE ANALYSIS OF SHORT-RANGE LEVELING
ACCURACY IN THE MINLE BASIN AND ADVANCED MEASURES**

Zou Mingwu, Pan Yingling, Yang Baoping and Zhang Jialiu
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

Based on the theory of error, analysis on several factors which affected the short-range leveling accuracy in the Minle Basin and in-site test were done. The result shows that the accuracy of short-range leveling was mainly affected by four interference factors as follow; (1) error of leveling rod length which was caused by change of temperature; (2) the instrument warmed only on one side; (3) sinking of rod stake; (4) photo-refraction error on ground. It is emphasized that the fourth factor was more disadvantageous than the others. Therefore, some advanced measures against the disadvantageous factors were adopted and obvious effect was obtained, the observed precision was raised from ± 0.40 mm/km to ± 0.26 mm/km.

Key words: Gansu, Short-range leveling, Observation accuracy

(上接第 70 页)

**EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE AMBIENT NOISE INTERFERENCE
AT XI'AN GEOELECTRIC STATION**

Wang Xiusheng and Zhang Xiuxiang
(*Seismological Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710068*)

Abstract

The results of comparative observation experiment at Xi'an geoelectric station show that the decay of ambient noise is very quick. If the distance of geoelectric measurement zone from the interference sources is 200 m, the noise level will be reduced by one order of magnitude. It means that a better geoelectric station can be selected nearby a big city and there is the problem of selecting optimum polar distance for any given geoelectric station.

Key words: Environmental disturbance, Ground resistivity, Signal noise ratio, Stochastic process, Xi'an