

文章编号:1672—7940(2006)05—0405—05

# 利用三角高程测量代替一等跨河水准测量的可行性研究

贺春梅, 明祖涛

(中国地质大学工程学院, 武汉 430074)

**摘要:**从三角高程测量的计算公式出发,提出了保证测量精度的一些有效措施,从理论上论证了在一定条件下,用三角高程测量可以达到一等水准测量的精度要求。然后在工程实践中分别用两种测量方法进行施测,并进行平差改正与精度分析,结果表明:只要采取一定的措施,用三角高程代替一等跨河水准测量,不仅能保证测量精度,而且可以提高工作效率。

**关键词:**三角高程测量;一等跨河水准测量;中误差;精度分析

**中图分类号:**P258

**文献标识码:**A

**收稿日期:**2006—08—04

## ANALYZING THE FEASIBILITY OF REPLACING THE FIRST CLASS RIVER—CROSSING LEVELING WITH TRIGONOMETRIC LEVELING

HE Chun-mei, MING Zu-tao

(Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** According to the calculation formula of trigonometric leveling, this paper puts forward some effective measures. Based on precision analysis, it draws a conclusion in theory that trigonometric leveling can replace the first class river-crossing leveling in the engineering in certain conditions. Trigonometric leveling and the first class river-crossing leveling are respectively used in the same engineering practice. The actual data achieved can fulfill the precision requirement after error adjustment. As a result, this paper proves that only if a measure is taken, using trigonometric leveling instead of the first class river-crossing leveling, can not only ensure the precision, but also improve work efficiency.

**Key words:** trigonometric leveling; the first class river-crossing leveling; medium error; precision analysis

### 1 引言

水准测量工序复杂,工作量大,且经常受地形

条件限制,而三角高程测量快速、简便,受地形条件的限制较少。若能保证一定的精度,那么用三角高程测量代替水准测量,将大大减少测量人员的劳动强度,加快工程速度,具有明显的经济效益

和社会效益。为此,笔者进行了可行性研究。

## 2 理论分析

如图1是跨河水准示意图,图中  $C_1$ 、 $C_2$  是右岸两点,  $D_1$ 、 $D_2$  是左岸两点,  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $D_1$ 、 $D_2$  近似为一矩形,  $C_1C_2$  边约为 10m,  $C_1D_1$  约为 530m, 所以可以认为  $C_1D_1$ 、 $C_1D_2$ 、 $C_2D_1$ 、 $C_2D_2$  之间的高差观测值的权相等。

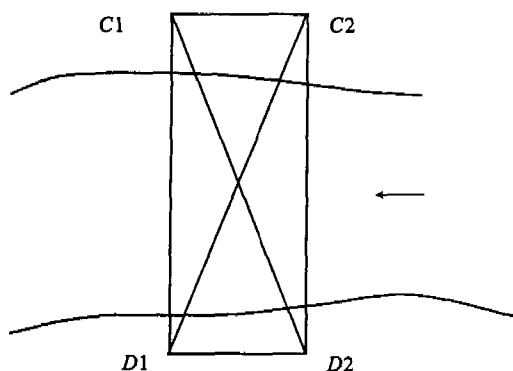


图1 跨河水准示意图

Fig.1 The sketch map of the river-crossing leveling

跨河水准的施测方法:

在  $D_1$  架 TCA2003, 分别照准  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $D_2$ , 得到一测回观测高差:  $S \times \sin\delta$  ( $S$  为斜距,  $\delta$  为竖角), 两点之间的高差为  $S \times \sin\delta + i - l$  ( $i$  为仪器高,  $l$  为目标高),  $C_1$  点的高程为

$$H_{C_1} = H_{D_1} + S \times \sin\delta + i - l$$

同理可得  $C_2$ 、 $D_2$  的高程。此三点的高程中  $H_{D_1}$ ,  $i$  均一样, 相互抵消, 利用以上三点的高程求  $C_1D_2$ 、 $C_2D_1$  之间的高差。若目标高相等则高差等于  $S \times \sin\delta$  的差值。为了使目标高也相互抵消, 采取了一系列的措施, 首先使用同一型号的棱镜及觇标直接放入观测墩上的特制棱镜杆上, 这样目标高可基本看成一致, 但世上没有完全相同的两个物体, 为消除不同的目标高对观测高差的影响, 把棱镜及觇标分成 A、B 两组, A 组总与仪器在一起, B 组总是在仪器的对岸, 不同的目标高对观测高差的影响为  $\Delta l = l_A - l_B$ , 而测时对高差影响为  $\Delta l = l_B - l_A$ , 这样影响相互抵消。即可不考虑棱镜高的量取误差对高差测量误差的影响, 从而提高高差测量的精度。

这样, 能否满足水准精度要求关键在于  $S \times \sin\delta$  的精度, 下面就此作如下分析:

设  $F = S \times \sin\delta$ , 则  $\partial F = \sin\delta \times dS + S \times \cos\delta$

$$\times d\delta \times \frac{1}{\rho}$$

此次用的 TCA2003 的标称精度: 测距 1+1ppm, 测角 0.5", 检测表明: 实际误差远小于标称误差。测距 1+1ppm, 测角 0.37"。

过河联测点之间的高差不应太大, 否则造成垂直角  $\delta$  过大, 使测角误差增大, 从而影响高差测量精度, 所以可预先用全站仪选择四点使其高程大致相等。这样由于  $\delta$  较小 ( $\leq 5^\circ$ ),  $\sin 5^\circ \approx 0.087$ , 所以前面一项可不考虑, 后面一项中  $S \times \cos\delta \times \frac{1}{\rho} \approx 2.56\text{mm}$ , 为减小测角中误差  $m_\delta$  的大小, 可适当增加测回数。实际中我们观测了 8 测回, 保证了测角中误差小于 0.5" (实际为 0.18"), 这样函数的误差就小于 1.28mm (实际为 0.46mm), 而一等水准要求为  $1.8 \sqrt{0.53} = 1.31\text{mm}$ , 因此从理论上说, 此方法是可行的。

## 3 三角高程测量结果及精度分析<sup>[4,5]</sup>

利用 TCA2003 实测高差结果如表 1:

表1 三角高程测量高差观测成果  
Table 1 The result of the trigonometric leveling

测段	往测高差 /mm	返测高差 /mm	平均高差 /mm
$D_1C_1(h_1)$	-0.20058	0.21715	-0.208865
$D_1C_2(h_2)$	-0.33017	0.31244	-0.321305
$D_2C_1(h_3)$	-0.10539	0.08636	-0.095875
$D_2C_2(h_4)$	-0.21763	0.19919	-0.20841

由于  $C_1C_2$ 、 $D_1D_2$  距离较近, 利用 DNA03 电子水准仪多次观测求平均值得  $h_{C_1C_2} = 0.1132\text{m}$ ,  $h_{D_1D_2} = 0.1118\text{m}$  所以平差时将这两数值当作已知值。

平差过程及结果如下:

条件方程式为:

$$V_1 - V_2 - 0.760 = 0$$

$$V_3 - V_4 - 0.665 = 0$$

$$V_1 - V_3 - 1.190 = 0$$

法方程为:

$$N = AQA^T = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & -1 \\ 1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$V = -QA^T N^{-1}W$$

平差结果为:

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.95125 \\ 0.19125 \\ -0.23875 \\ -0.90375 \end{pmatrix} \text{mm}$$

$$h_1 = -0.208865 + 0.00095125$$

$$\approx -0.2079\text{m}$$

$$\text{其中误差为: } m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{r}} = \pm 0.78\text{mm}$$

小于 1.31mm 满足一等水准的精度要求。

#### 4 一等水准测量结果及精度分析

一等水准测量环线共有 2 个基点组、2 个工作基点组和 7 个水准点组成,其中,每个基点组又有 3 个基点组成,依此作相互校核。一等水准采用 DNA03 电子水准仪进行观测,观测前对该仪器按规范要求作了常规检查,各项性能达到规范的要求。

一等水准测量各测段的高差、距离、允许差列于表 2 中。

表中往、返允许差以  $\pm 1.8 \sqrt{D}\text{mm}$  计算,各测段的往、返差都小于规范规定的允许差。以各测段往返差计算的每公里水准测量偶然中误差为:

$$M_{\Delta} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta/R]}{4n}} = \pm \sqrt{\frac{3.76269}{48}}$$

$$= \pm 0.28\text{mm} < \pm 0.45\text{mm}$$

式中: $\Delta$  为测段往返测高差不符值(mm), $R$  为测段长度(km), $N$  为测段数。

一等水准测量高差改正值  $m_{\text{adi}} = \pm M_{\Delta} \sqrt{11.1} = \pm 0.28 \times \sqrt{11.1} = \pm 0.933\text{mm}$ 。一等水准测量高差经平差改正后值 0.20798m。

每公里水准测量偶然中误差  $M_{\Delta} = \pm 0.28\text{mm}$ ,小于规范规定的  $\pm 0.45\text{mm}$  的要求。闭合线路闭合差为  $-0.85\text{mm}$ ,其允许闭合差为  $6.00\text{mm}$ ,符合规范的要求。从上可看出,该外业成果已达到国家一等水准测量的精度要求。

#### 5 结 论

从以上两种测量方法测得的结果分析来看,两者成果均已达到国家一等水准测量的精度要求,且同一测段  $C_1 D_1$  两点的高差经平差改正后,其差值仅为  $0.07\text{mm}$ 。但从表 1、表 2 可知,水准测量转点多,费时,工作量大,工程进度减慢,而采用三角高程测量则可大大提高施工测量的工作效率。三角高程测量由于作业环境等因素的影响,使得测量结果不可避免地存在误差,因此为了保证测量精度,采取了以下措施:

1)适当增加测角和测边的测回数来提高测量精度;

表 2 一等水准测量外业成果检核

Table 2 The measuring result of the first class leveling

起 点	终 点	往测高差/m	返测高差/m	距 离/km	往返差/mm	允许差/mm	高差中数/m
C1	RB1	11.1176	-11.1174	0.440	0.2	1.19	+11.1175
RB1	R0	+12.4533	-12.4528	1.32	+0.5	2.07	+12.45305
R0	R1	-11.5696	+11.5701	0.905	+0.5	1.71	-11.56985
R1	R2	+4.8034	-4.8048	0.985	-1.4	1.79	+4.8041
R2	R3	-3.7755	+3.7756	0.719	+0.1	1.53	-3.77555
R3	RS1	+10.5950	-10.5946	0.826	0.4	1.64	+10.5948
RS1	LS1	-6.8564	+6.8565	1.519	0.1	2.22	-6.85645
LS1	L3	+2.3023	-2.3027	0.991	-0.4	1.79	+2.3025
L3	L2	-4.7090	+4.7097	0.733	+0.7	1.54	-4.70935
L2	L1	-7.7615	+7.7617	0.801	0.2	1.61	-7.7616
L1	LB2	+5.1719	-5.1722	0.967	0.3	1.77	+5.17205
LB2	D1	-11.5641	+11.5642	0.343	+0.10	1.05	-11.56415

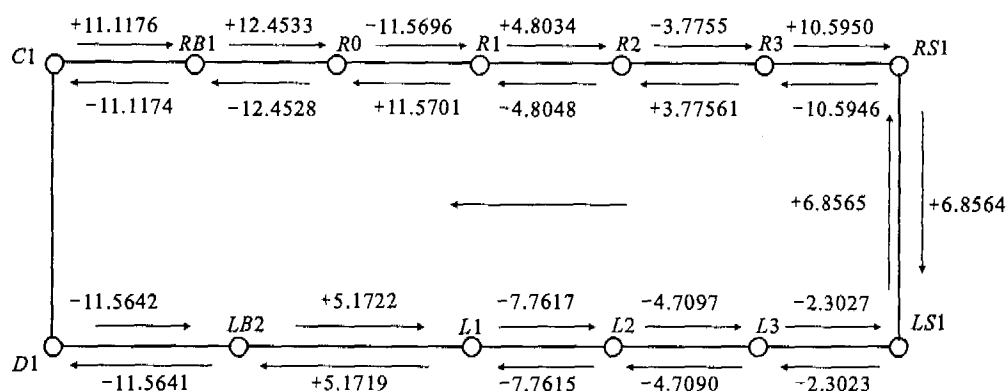


图2 三角高程测量高差观测图

Fig. 2 The sketch map of the trigonometric leveling

2)用全站仪所选择的跨河联测点之间的高差应相差很小。这样不仅可以避免由于垂直角过大,而使测角误差增加。同时由于垂直角很小( $\leq 5^\circ$ ),在考虑三角高程精度时,可以忽略测边误差的影响。

3)保证目标高一致,则可不考虑棱镜高的量取误差对高差测量的影响。

综上所述,本文理论联系实际,充分证明:只要采取一定的措施,用三角高程代替一等跨河水准测量其精度是完全满足要求的,可广泛应用于工程实践中。

### 参考文献:

- [1]孔祥元,梅是义. 控制测量学[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.
- [2]武汉测绘科技大学《测量学》编写组. 测量学[M]. 北京:测绘出版社,1996.
- [3]郑汉球. 电磁波测距三角高程测量[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [4]江华,肖春桥,林丹,等. 用条件平差法求附和导线任一边的方位角中误差[J]. 工程地球物理学报,2006,3(2):156—159.
- [5]王晓华,胡友健. GPS-RTK点校正方法的精度分析[J]. 工程地球物理学报,2005,2(1):64—68.

## 《工程地球物理学报》投稿须知

本刊以学术性、实践性、规范化、国际化为特色,为提高本刊编排质量,加强国内外学术交流,根据 GB7713—1987《科学技术报告、学位论文、学术论文的编写格式》,特向广大作者介绍有关撰写学术论文的规范及要求,供您在写作时参考执行。

### 1 论文的一般格式

(1)题名(篇名);(2)著者;(3)摘要;(4)关键词;(5)章、节编号;(6)引言;(7)正文;(8)结论;(9)致谢;(10)参考文献。

### 2 摘要

2.1 科技论文一般均应有摘要,为了加强国际交流,本刊要求有英文摘要。

2.2 摘要应反映论文的核心内容,具有独立性和自含性,尽量写成报道性文摘,即不阅读论文的全文,就能获得主要信息。摘要包含目的、方

法、结果、结论等内容,便于读者阅读全文,也便于有关系统检索。

2.3 摘要应可供二次文摘采用。本刊要求中文摘要写成300字左右;英文摘要600单词左右。

### 3 关键词

3.1 关键词是为了文献标引、检索工作采用,应从报告、论文中选取,是用来表示全文的主题内容、信息的单词或术语。

3.2 每篇报告、论文选取3~8个词作为关键词,尽量用《汉语主题词表》提供的规范词。

3.3 为了国际交流,本刊要求有与中文对应的英文关键词。

### 4 章、节排列编号及作者简介

4.1 章、节的标题前,本刊采用阿拉伯数字作为编号,按4 4.1 4.1.1 1) ①级、序排列。