

全站仪中间法三角高程测量的探讨及应用

赖永华

(珠海市测绘院, 广东 珠海 519000)

摘要: 随着科技的发展, 全站仪在测角与测距方面的精度都有了很大的改进和提高, 用全站仪进行三角高程测量代替传统的四等水准测量, 已被生产实践证明是完全可行的测量方法和手段。

关键词: 三角高程; 全站仪; 精度; 水准

中图分类号: P224.2 文献标识码: B 文章编号: 1672-5867(2012)02-0202-03

Research and Application of Total Station Middle Method Trigonometric Leveling

LAI Yong-hua

(Zhuhai Surveying and Mapping Institute, Zhuhai 519000, China)

Abstract: With the development of technology, the accuracy of measuring angle and distance using total station has been greatly improved. Production practices have proved that it is completely feasible to substitute total station trigonometric leveling for the conventional fourth-order leveling.

Key words: trigonometric leveling; total station; accuracy; leveling

0 引言

目前普遍应用的全站仪, 测程远、精度高, 采用全站仪以常规的三角高程测量方法进行四等高程控制测量,

其精度完全可以达到工程测量规范的要求。工程测量技术规范(GB 50026-93)对电磁波测距三角高程代替四等水准测量的主要技术要求作了相关规定(见表 1)。

表 1 电磁波测距三角高程的主要技术要求

Tab. 1 Main technical requirement of electromagnetic trigonometric leveling

等级	仪器	测回数		指标差 较差 /"	竖直角 较差 /"	对向观测高 差较差 /mm	附合或环形 闭合差 /mm
		三丝法	中丝法				
四等	DJ ₂	1	3	≤7	≤7	40√D	20√ΣP
五等	DJ ₂	1	2	≤10	≤10	60√D	30√ΣP

1 全站仪中间法高程测量原理

如图 1 所示, 在已知高程点 A 和待测点 B 上分别安置反光棱镜, 在 A、B 两点之间大致中间位置选择与两点均通视的 O 点安置全站仪, 根据三角高程测量原理, O、A 两点间的高差计算公式为:

$$h_1 = s_1 \sin \alpha_1 + c_1 - r_1 + i - v_1 \quad (1)$$

式中 s_1 , α_1 , c_1 , r_1 分别为 O 至 A 点的倾斜距离、竖直角、

地球曲率改正数、大气折光改正数; i 为仪器高; v_1 为 A 点的目标高。地球曲率与大气折光影响之和 f_1 为:

$$f_1 = c_1 - r_1 = \frac{s_1^2 \cos^2 \alpha_1}{2R} - \frac{K_1 S_1 \cos^2 \alpha_1}{2R}$$

$$= \frac{1 - K_1}{2R} S_1^2 \cos^2 \alpha_1 \quad (2)$$

式中 R 为地球的平均曲率半径 ($R = 6371 \text{ km}$); k_1 为 O 至 A 的大气折光系数。因此, (1) 式可以表示为:

收稿日期: 2011-08-11

作者简介: 赖永华(1964-), 男, 广东饶平人, 工程师, 主要从事工程测量、地籍测量及房产测绘等工作。

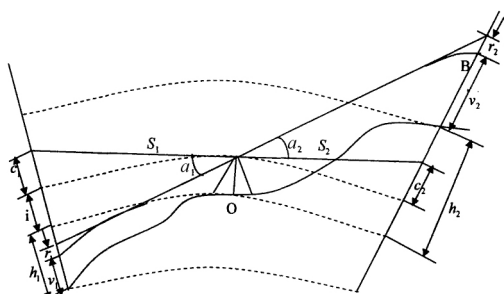


图 1 全站仪中间法高程测量原理

Fig. 1 Principle of total station middle method height measurement

$$\begin{aligned}
 h_1 &= s_1 \sin \alpha_1 + f_1 + i - v_1 \\
 &= s_1 \sin \alpha_1 + \frac{1 - K_1}{2R} S_1^2 \cos^2 \alpha_1 + i - v_1 \quad (3)
 \end{aligned}$$

同理可得 O B 之间的高差为:

$$\begin{aligned}
 h_2 &= s_2 \sin \alpha_2 + f_2 + i - v_2 \\
 &= s_2 \sin \alpha_2 + \frac{1 - K_2}{2R} S_2^2 \cos^2 \alpha_2 + i - v_2 \quad (4)
 \end{aligned}$$

则 A B 两点之间的高差为:

$$\begin{aligned}
 h &= h_2 - h_1 = s_2 \sin \alpha_2 - s_1 \sin \alpha_1 + \frac{1 - K_2}{2R} S_2^2 \cos^2 \alpha_2 \\
 &\quad - \frac{1 - K_1}{2R} S_1^2 \cos^2 \alpha_1 + v_1 - v_2 \quad (5)
 \end{aligned}$$

设 A 点的高程为 H_A B 点为待求点, 高程为 H_B 则 H_B 为:

$$\begin{aligned}
 H_B &= H_A + h = H_A + s_2 \sin \alpha_2 - s_1 \sin \alpha_1 \\
 &\quad + \frac{1 - K_2}{2R} S_2^2 \cos^2 \alpha_2 - \frac{1 - K_1}{2R} S_1^2 \cos^2 \alpha_1 + v_1 - v_2 \quad (6)
 \end{aligned}$$

由(5)式可知, 采用全站仪中间法测量两点间高差的误差主要与测量斜距 S_1 和 S_2 , 竖直角 α_1 和 α_2 , 目标高 v_1 和 v_2 的误差及大气折光系数 K 有关, 而与仪器高量测误差无关, 因而克服了仪器高量取精度低的问题, 有利于提高三角高程测量精度。若在 A B 两点上采用同一对中杆且不变换高度作为瞄准目标, 即 $v_1 = v_2$ 时, 式(6)变为:

$$\begin{aligned}
 H_B &= H_A + h = H_A + s_2 \sin \alpha_2 - s_1 \sin \alpha_1 \\
 &\quad + \frac{1 - K_2}{2R} S_2^2 \cos^2 \alpha_2 - \frac{1 - K_1}{2R} S_1^2 \cos^2 \alpha_1 \quad (7)
 \end{aligned}$$

由此可见, 用上述全站仪中间法作三角高程测量, 可消除仪器高和目标高量测误差对测量高差的影响, 使高差的测量误差只与距离、竖直角测量精度及大气折光系数大小有关。

2 工程实例

2011 年港中旅(珠海)海洋温泉有限公司委托我院对位于珠海市金湾区平沙镇三虎山南珠海海洋温泉旅游度假区一期工程进行规划竣工验收测量, 需测绘 1:500 规划验收竣工图 1.1 km²。该测区地形起伏较大, 植被极为发育, 有大量高层建筑、游乐设施、温泉, 通视条件差, 属于较高难度测绘地区, 且测区濒临海边, 长时间大风天气, 对传统水准测量工作开展极为不利。

2.1 布设测区高程加密控制点及计算分析

本项目的高程控制测量采用全站仪中间法进行三角高程测量。使用徕卡 TCR 802 型全站仪, 棱镜采用带支撑架的对中杆安置, 观测步骤为“后-前-前-后”, 读取水平距离和竖直角, 盘左盘右的平均值作为竖直角。视距控制在 0.5 km 以内, 极限边长不超过 0.7 km, 前后视距差最大不超过 60 m。竖直角要求集中在 4°~6° 之间, 最大不超过 13.5°。

如图 2 所示, 整个观测线路构成一个独立的闭合环, HQ 002, HQ 003, HQ 004, HQ 005 为已知高程点, HQ 006 - HQ 010 为加密待测高程控制点, 作业过程中, 由于通视条件限制, HQ 002 - HQ 007 无法一站完成, 测站数采用偶数站(2 站), 这样既可以不量取仪器高和棱镜高, 还可以抵消转点棱镜高产生的影响。

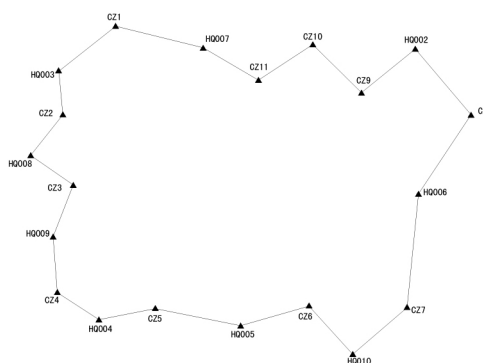


图 2 珠海海洋温泉旅游度假区三角高程线路示意图

Fig. 2 Diagram of trigonometric leveling line of Zhuhai Ocean Warm Spring Tourist Resort

计算得出各个测段之间的高差后, 用水准线路平差方法进行平差计算, 各项指标能达到四等水准测量要求。计算成果见表 2 和表 3。

表 2 计算成果一

Tab. 2 Result 1 of calculation

测站	照准点	水平距离 /m	竖直角 ° ′ ″	棱镜高 /m	各测段高差/m	各测段控制点高差/m
CZ 1	HQ 007	513.458 1	04 50 01.0	1.30	43.560 0	-38.594
	HQ 008	560.363 2	00 30 00.5	1.30	4.966 0	
CZ 2		250.979 8	04 33 00.4	1.30	20.000 1	-8.975

续表 2
Tab. 2 (Continued)

测站	照准点	水平距离 /m	竖直角 ° ′ ″	棱镜高 /m	各测段 高差/m	各测段 控制点高差/m
CZ 3	HQ 009	218.354 6	02 53 00.4	1.30	11.025 1	
		346.624 8	04 40 00.6	1.30	28.354 2	0.881 3
	HQ 010	386.214 8	04 19 00.7	1.30	29.235 5	
CZ 4		415.546 2	04 28 00.1	1.30	32.476 2	-28.591 9
	HQ 004	398.786 1	00 33 00.5	1.30	3.884 3	
CZ 5		483.652 8	04 04 01.0	1.30	34.526 8	-47.649 9
	HQ 005	453.129 8	-1 39 00.5	1.30	-13.123 1	
CZ 6		201.354 5	06 51 00.5	1.30	24.218 6	2.327 2
	HQ 011	196.358 9	07 41 01.0	1.30	26.545 8	
CZ 7		603.452 8	04 02 00.7	1.30	42.681 3	29.801 9
	HQ 006	653.754 9	06 19 00.6	1.30	72.483 2	
CZ 8		149.138 2	06 37 00.4	1.30	17.318 2	13.620 7
	HQ 002	129.348 1	13 37 00.1	1.30	30.938 9	
CZ 9		358.159 4	02 25 00.3	1.30	15.143 8	15.274 9
	CZ 10	362.781 3	04 47 00.6	1.30	30.418 7	
CZ 11		263.953 7	-2 22 00.5	1.30	-10.947 8	61.891 8
	HQ 007	301.542 8	09 35 00.4	1.30	50.944 0	

表 3 计算成果二
Tab. 3 Result 2 of Calculation

测段名称	测段高差/m	累计高差/m	测段距离/m	备注
HQ 007 - HQ 008	-38.594 0	-38.594 0	1 073.821 3	
HQ 008 - HQ 009	-8.975 0	-47.569 0	469.334 4	
HQ 009 - HQ 010	0.881 3	-46.687 7	732.839 6	
HQ 010 - HQ 004	-28.591 9	-75.279 6	814.332 3	高差累计值: -0.0130 m
HQ 004 - HQ 005	-47.649 9	-122.929 5	936.782 6	距离累计值: 7 246.954 8 m
HQ 005 - HQ 011	2.327 2	-120.602 3	397.713 4	水准限差:
HQ 011 - HQ 006	29.801 9	-90.800 4	1 257.207 7	$20 \sqrt{\sum D} \approx 20 \sqrt{7.25} = 53.85 \text{ mm}$
HQ 006 - HQ 002	13.620 7	-77.179 7	278.486 3	
HQ 002 - HQ 007	77.166 7	-0.013 0	1 286.437 2	

2.2 操作过程要求

1) 全站仪在两待测点中间安置,但所选安置仪器的点位要求能和已知高程点通视(此时与仪器高程测定有关的常数,如测站点高程、仪器高、棱镜高均为任一值,施测前不必设定)。

2) 用仪器照准已知高程点上安置的棱镜,测出仪器点至已知高程点之间的精确水平距离和照准已知高程点上棱镜时视线的垂直角值。

3) 将全站仪转至照准待测点,测出仪器点至待测点之间的精确水平距离和照准待测高程点上棱镜时视线的垂直角值。如果实际测量过程中,因通视原因而降低或升高棱镜高,要记录下相对于起始棱镜高 v 所升高或降低的高度。此次操作过程中,棱镜采用强制对中,一律采用 1.30 m。

3 注意事项

根据笔者长期的工作经验,全站仪中间法测量三角

高程需注意事项:

1) 边长越短、竖直角越小则测量精度越高,因此应尽量以短边、小角测量高程,一般应使竖直角在 $\pm 15^\circ$ 之内,单边测距不大于 400 m 时,即使前后视距差较大也可满足四等水准的限差要求。

2) 测距中误差对高差的影响与竖直角 α 的大小有关,由于全站仪的测距精度较高,因此测距中误差对高程测量的影响较小,但随着竖直角的增大,其对高差的影响显著增大,测角误差对高差的影响随着边长的增长而增大,故竖直角的测量误差是全站仪三角高程测量的主要误差,在观测中应采取适当措施以提高竖直角观测精度,如采用规牌代替棱镜作为照准目标,适当增加测回数等。

3) 在一般的高程测量中量取全站仪仪器高是采用小
(下转第 207 页)

表2 F3-F4(数据汇总表)
Tab.2 F3-F4 Summary sheet of data

F3-F4		各测回高差值/mm					
序号	日期	1	2	3	4	5	6
1	4.14	0.146 10	0.138 06	0.141 75	0.143 17	0.144 02	0.134 54
2	4.16	0.139 96	0.138 04	0.148 66	0.143 85	0.144 11	
3	4.18	0.145 98	0.138 06	0.140 74	0.143 49	0.142 53	0.136 94
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

5 误差分析及对应措施

5.1 误差来源

1) 照准误差

经纬仪倾角法通过观测角度计算高差。只有精确照准才能保证测量精度。由于河面较宽, 觇标在望远镜里很小, 标志线就更细了, 如果觇标不够醒目, 寻找觇标都很困难, 更不要说精确照准了。过江水准观测宜在风力微弱, 气温变化较小的阴天进行。

2) 大气折光

当视线在大气层中通过时, 视线会发生偏折, 由于大气密度不断变化, 视线也就会成为一条曲率不断变化的曲线。大气垂直折光对观测垂直角影响很大。目前尚不可能精确确定大气垂直折光系数 K 的数值。通过实验发现 K 植在一天内的变化, 大致在中午前后最小, 也最稳定; 日出、日落时数值最大, 变化也快。也就是说, 每次观测的数据中都包含由大气折光引起的误差, 而且误差值还在不断变化。

5.2 应对措施

1) 选择良好的观测条件、观测时段

我们可以选择风力微弱, 气温变化较小的阴天观测, 最好把观测时间选在 10:00-16:00, 便于观测; 还有就是 K 值相对稳定, 有利于提高精度。

2) 选择稳定而无突变的经纬仪

过江水准测量时间较长, 稳定的仪器不仅可以保证数据的可靠性, 还可以降低工作强度, 保证测量精度。LEICA TCA 2003 测量机器人采用电子双轴补偿, 轴系稳定。望远镜可放大倍数为 30 倍, 成像十分清晰, 测角精度达到 0.5", 外业观测很方便。

6 结束语

过江水准测量可选用多种方法, 原理基本相同。随着精密全站仪在工程中的深入试用, 测角精度大幅提高, 经纬仪倾角法的优越性得到体现: 原理简单, 操作方便。但是任何一种方法都要结合具体的现场条件, 选择合适的观测时间, 以保证测量精度。

参考文献:

- [1] 孔祥元, 梅是义. 控制测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [2] 张正禄, 吴栋才. 精密工程测量[M]. 北京: 测绘出版社, 1993.
- [3] 傅晓明. 一种高精度跨江水准测量方法[J]. 城市勘测, 2008(2): 84-85.

[编辑: 宋丽茹]

(上接第 204 页)

钢尺从测点垂直量至仪器横轴, 在量取过程中始终存在一定偏角, 不能得到精确的垂直高度, 该方法因为采用前后视目标高相等进行高程测量不需量仪器高及棱镜高, 从而提高了测量精度, 消除了目标高量取误差的影响, 提高了高程测量精度。

4) 前后视用同一目标高, 用测角精度为 $\pm 2''$ 的全站仪作三角高程测量, 其高程测量精度: 当仪器至前后视距差 ≤ 100 m 时, 前后视距总和在 1.8 km 范围内可以达到四等水准测量限差要求; 当仪器至前后视距相等, 竖直角 $\alpha \leq \pm 20^\circ$ 时, 前后视距总和在 600 m 以内, 仍可满足三等水准测量的限差要求。

4 结束语

全站仪中间法测量三角高程代替传统的水准测量, 工作效率提高数倍, 方法简单易行, 操作灵活快捷, 其精

度完全能满足一般的工程使用需要。如果仪器精度高, 作业方法得当, 精度甚至能达到三等水准测量的精度。相邻点不需要通视, 便于灵活选择测站位置, 仪器不需要对中, 更不需量取仪器高, 节约了时间, 提高了作业速度, 降低了劳动强度, 值得推广。

参考文献:

- [1] 罗志敏, 蔡锐武. 浅述全站仪中间法传递高程及精度分析[J]. 水利水电, 2007(1): 21-26.
- [2] 张智韬, 黄兆铭, 杨江涛. 全站仪三角高程测量方法及精度分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(9): 221-234.
- [3] 施一民. 三角高程测量的公式论证及应用[J]. 测绘通报, 2003(1): 123.

[编辑: 宋丽茹]