

地球科学

全站仪在水准法测量中的应用

袁辉明

(华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640)

摘要 随着光电测距技术的发展,全站仪精度的提高,全站仪越来越多的应用于水准测量。通过推导全站仪水准法三角高程测量公式,对其精度进行了分析,论证了用全站仪水准法三角高程测量代替三四等水准测量的理论依据,并采用全站仪任一置站的方法,测量时不必量取仪器高、棱镜高,既减少了三角高程的误差又加快了施测速度。结合徕卡 TC(A)2003 型全站仪在开平大桥水准测量上的应用,指出全站仪水准法代替三四等水准测量是可行的。

关键词 全站仪 水准测量 精度 分析 应用

中图法分类号 P224.2; **文献标志码** A

在各种工程的施工过程中,常常涉及到高程测量。传统的测量方法是几何水准测量和三角高程测量^[1]。两种方法虽然各有特色,但都存在着不足。水准测量是一种直接测高法,测定高差的精度是较高的,但水准测量受地形起伏的限制,外业工作量大,施测速度较慢。三角高程测量是一种间接测高法,不受地形起伏的限制,且施测速度较快,在大比例地形图测绘、线型工程、管网工程等工程测量中被广泛应用,但精度较低,且每次测量都需量取仪器高、棱镜高,繁琐且增加了误差来源。因此,必须对传统三角高程测量方法进行改进,才能提高高差精度。

近几年随着光电测距技术的发展,以及各种高精度全站仪的普遍应用,经过实践,全站仪水准法在工程施工中被广泛的采用^[2]。所谓全站仪水准法就是在待测两点(保持棱镜高度一致)中间安置全站仪。此方法既有传统三角高程测量的优点,同时在施测的过程中又不需要量测仪器高和棱镜高从而减少了高差测量的误差来源,使这种三角高程

的精度得到了提高。本文通过推导全站仪水准法三角高程测量原理,分析了其测量精度,得出全站仪水准法高程测量可代替三四等水准测量的结论^[3]。

1 全站仪水准法三角高程测量原理

如果能将全站仪象水准仪一样任意置点,而不是将它置在已知高程点上,同时又在量取仪器高和棱镜高的情况下,利用三角高程测量原理测出待测点的高程。那么施测的速度将更快^[4]。全站仪水准法三角高程测量原理见图1。

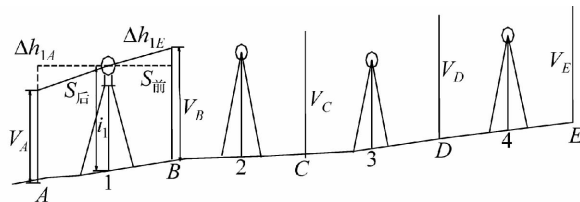


图1 全站仪水准法高程测量示意图

图1中A是高程已知的水准点,E是待测点,B、C、D是高程路线的转点,1、2、3、4为全站仪的设站位置,因为用全站仪可以直接读取全站仪中心到棱镜中心的高差 Δh ,因此有:

2009年7月27日收到

作者简介:袁辉明(1985—),男,江西瑞全人,华南理工大学土木与交通学院道路与铁道工程专业研究生。E-mail: 258022014@qq.com。

$$h_{AB}=h_{A1}+h_{1B}=-\left(\Delta h_{1A}+i_1-v_A\right)+\left(\Delta h_{1B}+i_1-v_B\right)=-\Delta h_{1A}+\Delta h_{1B}+v_A-v_B=\Delta h_1+v_A-v_B \quad (1)$$

同理可得：

$$h_{BC}=\Delta h_2+v_B-v_C \quad (2)$$
$$h_{CD}=\Delta h_3+v_C-v_D \quad (3)$$
$$h_{DE}=\Delta h_4+v_D-v_E \quad (4)$$

式中, h 为两点之间的高差, Δh 为全站仪中心和棱镜照准标志之间的高差, i 为仪器高, v 为棱镜高。显然, 两点的高差中已经把仪器高抵消掉了。

$$h_{AE}=h_{AB}+h_{BC}+h_{CD}+h_{DE}=\Delta h_1+\Delta h_2+\Delta h_3+\Delta h_4+v_A-v_E=\Sigma \Delta h+v_A-v_E \quad (5)$$

式(5)中所有中间转点的棱镜高也被抵消掉了, 公式中除了观测高差外, 只有起点 A 的棱镜高和终点 E 的棱镜高了。如果在观测过程中, 使起点和终点的棱镜保持不变, 那么, 式(5)变为

$$h_{AE}=\Sigma \Delta h \quad (6)$$

综上所述, 用全站仪代替水准仪进行高程测量应满足以下条件^[5]:

- (1) 全站仪的设站次数为偶数, 否则不能把转点棱镜高抵消掉;
- (2) 起始点和终点的棱镜高应保持相等;
- (3) 转点上的棱镜高在仪器迁站过程中保持不变;
- (4) 仪器在观测过程中高度保持不变。

2 全站仪水准法三角高程测量精度分析

2.1 天顶距和水平距离观测误差对观测高差的影响^[6]

由高差公式：

$$\Delta h=\Delta h_{前}-\Delta h_{后}=S_{前} \tan \alpha_{前}-S_{后} \tan \alpha_{后} \quad (7)$$

得： $m_{\Delta h}^2=m_{S_{前}}^2 \tan ^2 \alpha_{前}+S_{前}^2\left(1 / \cos ^4 \alpha_{前}\right)\left(m_{\alpha_{前}} / \rho\right)^2+$

$$m_{S_{后}}^2 \tan ^2 \alpha_{后}+S_{后}^2\left(1 / \cos ^4 \alpha_{后}\right)\left(m_{\alpha_{后}} / \rho\right)^2 \quad (8)$$

式(8)中, $S_{前}$ 、 $S_{后}$ 分别为前视棱镜和后视棱镜的水平距离, $\alpha_{前}$ 、 $\alpha_{后}$ 分别为前视棱镜和后视棱镜的垂直角; m 为其下标相应的中误差; $\rho=206\ 265$ 。

为了在高差中抵消球气差的影响, 一般要使

$S_{前}=S_{后}$, 因此 $m_{S_{前}}=m_{S_{后}}$ 。因为 $m_{S_{前}}=m_{S_{后}}$, 所以：

$$m_{\Delta h}^2=m_S^2\left(\tan ^2 \alpha_{前}+\tan ^2 \alpha_{后}\right)+S^2\left(1 / \cos ^4 \alpha_{前}+1 / \cos ^4 \alpha_{后}\right)\left(m_S / \rho\right)^2 \quad (9)$$

因为 α 越大, $\tan \alpha$ 越大, $(1 / \cos ^4 \alpha)$ 越大, 因此精度计算时, 取 $\alpha_{前}$ 和 $\alpha_{后}$ 中最大者为 α , 于是式(9)变为：

$$m_{\Delta h}^2=2 m_S^2 \tan ^2 \alpha+\left(2 S^2 / \cos ^4 \alpha\right)\left(m_S / \rho\right)^2 \quad (10)$$

为了进行检核, 在测站上都要变换仪器高进行两次观测, 此时 S 和 α 都不会有太大的变化, 因此有：

$$m_{\Delta h_{中}}^2=2 m_S^2 \tan ^2 \alpha+\left(2 S^2 / \cos ^4 \alpha\right)\left(m_S / \rho\right)^2 \quad (11)$$

取 $m_{\alpha}=2.0^{\prime \prime}$, $m_S=(3+2 \times 10^{-6} S)$ mm, 对不同的边长 S 和不同的天顶距 α , 可以计算出每千米的测站数 n 以及每千米观测高差的中误差, 如表 1。

表 1 每千米观测高差的中误差/mm					
s	n	0°	2°	2°	14°
50	10	1.52	1.55	2.09	2.91
100	5	1.94	1.96	2.18	2.60
200	2.5	3.06	3.07	3.23	3.53
300	1.67	3.76	3.76	3.89	4.16
400	1.25	4.34	4.38	4.47	4.73
500	1	4.85	4.85	4.97	5.25

根据测量学知识可知, 四等、三等、二等、一等水准测量往返测高差中数的偶然中误差分别为 ± 5.0 mm、 ± 3.0 mm、 ± 1.0 mm、 ± 0.5 mm^[7], 由表 1 数据可知用如此精度的全站仪达到一等和二等水准测量的精度是不可能的, 但是当视距小于 300 m 时可以达到三等水准测量的精度, 当视距为 500 m 时便能够达到四等水准测量的精度。距离的观测误差在观测高差的误差中所占的比重随垂直角的增大而增大, 而垂直角的观测误差在观测高差的误差中所占的比重随垂直角的增大而减少。但是, 在坡度小于 20° 时, 垂直角的误差是主要的。因此, 要想提高观测精度, 必须设法提高垂直角的精度。

2.2 地球曲率和大气折光的影响

水准测量要求前后视距相等主要是为了抵消视准轴与水准管轴不平行的误差, 即 i 角误差, 同时也为了削弱地球曲率和大气折光的影响, 用全站仪

代替水准仪测量时,同样存在球气差,即:

$$C = \frac{1-k}{2R} S^2 \quad (12)$$

式(12)中 C 为球气差, k 为大气折光系数, R 为地球的平均曲率半径,后视球气差为 $\frac{1-k}{2R} S_{\text{后}}^2$,前视球气差为 $\frac{1-k}{2R} S_{\text{前}}^2$,两者的综合影响为 $\frac{1-k}{2R} \times (S_{\text{后}}^2 - S_{\text{前}}^2) S^2$ 。假设在观测的过程中,大气折光系数 k 保持不变,并且使 $S_{\text{前}} = S_{\text{后}}$,则球气差为 0,但实际上并不能保证前后视严格相等。若 $S_{\text{前}} \approx S_{\text{后}} = 200 \text{ m}$,且 $S_{\text{前}} - S_{\text{后}} = 10 \text{ m}$,取 $k = 0.107$,可以计算球气差为 0.28 mm ,因此前后视不严格相等对球气差的影响甚微。若观测过程中, k 发生变化,设变化量为 0.1 ,在 $S_{\text{前}} \approx S_{\text{后}} = 200 \text{ m}$ 和 $S_{\text{前}} - S_{\text{后}} = 10 \text{ m}$ 的情况下,球气差为 0.03 mm ,因此大气折光系数的变化对球气差的影响也很小。如果把视距控制在 200 m 左右,前后视距差控制在 3 m 之内,球气差的影响就可以忽略不计。

2.3 仪器沉降和棱镜倾斜的影响

与水准仪测量类似,用全站仪代替水准仪进行高程测量时同样存在仪器沉降的影响,观测时必须采取一定的措施来减弱或消除。仪器沉降主要发生在一个测回的观测过程中,在一个测站上要变换仪器高观测两个测回,第 2 测回和第 1 测回采用相反的观测次序即“后-前-前-后”或“前-后-后-前”,可以有效的减弱仪器沉降的影响。棱镜倾斜的影响与水准测量时水准尺的倾斜相似,只要仔细检验对中杆上面的圆水准气泡,在立杆时保证气泡居中就可以消除此影响。具体操作时可以用两根长度适中的竹竿顶住对中杆,或采用三条腿的对中杆。

2.4 竖直度盘指标差的影响

水准测量时存在由于视准轴与水准管轴不平行所产生的 i 角误差,为了消除 i 角误差对水准测量的影响一般要求前后视距相等。用全站仪观测时,类似的误差是竖直度盘指标差,如果只用正镜或倒镜观测,那么这个影响是不容忽视的,但是只要采用正倒镜观测,就可以抵消指标差的影响。

2.5 竖轴倾斜误差的影响

全站仪能够进行竖轴倾斜的自动补偿,并且补

偿后的精度能达到 $0.1''$,影响甚微,即使有一点倾斜,用盘左、盘右取中值的方法也可以抵消。因此,竖轴倾斜误差的影响可以忽略不计。

2.6 垂线偏差的影响

在山区和丘陵地区用全站仪代替水准仪进行高程测量有显著的优点,但是在这样的地区测量时,由于垂线偏差的变化较大,使得测点之间所观测得到的高差不等于这两点之间的正常高差,即

$$H_{\text{正}}^B - H_{\text{正}}^A = h_{\text{仪},B} - h_{\text{仪},A} + (u_{mA} - u_{mB}) S \quad (13)$$

式(13)中, $h_{\text{仪},B}$ 和 $h_{\text{仪},A}$ 分别是不顾及垂线偏差对观测,垂直角的影响时直接计算所得的测站到前视 B 和后视 A 的高差,为了将它们归算为正常高差,必须加一个改正数 $(u_{mA} - u_{mB}) S$,其中 u_{mA} 和 u_{mB} 分别是沿着后视方向各点的平均垂线偏差和沿着前视方向各点的平均垂线偏差。在平原地区,前视和后视的平均垂线偏差基本相等,故垂线偏差的影响等于零。在丘陵地区,垂线偏差的最大值为 $2''$,在几百米左右的范围内它的变化量不会很大,取最大值的十分之一,设 $u_{mA} - u_{mB} = 0.2''$, $S = 300 \text{ m}$,则影响为 0.29 mm 。在山区,垂线偏差的最大值为 $10''$,在几百米左右的范围内它的变化量也取最大值的十分之一,设 $u_{mA} - u_{mB} = 1.0''$, $S = 300 \text{ m}$,则影响为 1.45 mm 。在大山区,垂线偏差的最大值为 $20''$,在几百米左右的范围内它的变化量也取最大值的十分之一,设 $u_{mA} - u_{mB} = 2''$, $S = 300 \text{ m}$,则影响为 2.91 mm 。综上所述,垂线偏差对高程的影响在山区和大山区是很大的。因此,在这些地区测量时,应该适当的减小视线的长度。

3 全站仪水准法三角高程测量在工程中的应用

3.1 工程概况

开平大桥位于广东省开平市内中山大道路段,建成于 1992 年 12 月,横跨潭江。大桥全长 992.6 m ,其中引道长 255 m ;主桥宽 19 m 。主跨为三孔单片系杆拱结构,其它跨为预应力砼空心板结构,桥跨组合为: $16.75 \text{ m} + 14 \times 17.5 \text{ m} + 40 \text{ m} +$

60 m + 40 m + 15 × 17.5 m + 10 m + 17.5 m + 10 m + 17.5 m + 16.75。

3.2 测量过程

如图 2 所示,在河边选取 A、B、C、D 四点,距离河水约(5~10) m,构成大地四边形,跨河的视线长度为 600 m 左右,同岸点间的距离约为 10 m。图形中有 6 条边组成 3 个独立的闭合环,边长要往返测,每次测 4 个测回。

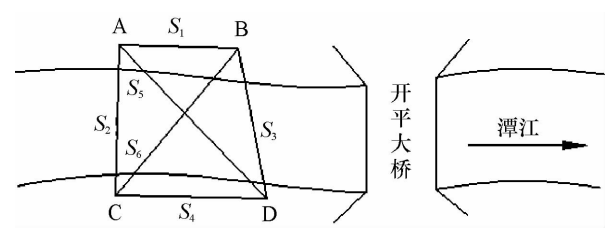


图 2 跨河水准示意图

TC(A)2003 全站仪是目前测量精度最高的全站仪之一,其标称精度为:角度测量精度为 0.5",距离测量精度为 1 mm + 10⁻⁶ mm。全站仪实施跨河水准观测的具体过程如下:

- (1) 开始观测前,应详细记录时间、天气、气压、温度、湿度和成像效果等因素;
- (2) A、D 两点设全站仪,B、C 两点设标尺,分别对近标尺和远标尺进行同时观测;观测完成后,将 D 点的仪器移到 C 点,重复上述观测过程;然后再将 A 点的仪器移到 B 点,重复观测过程;再将 C 点的仪器移回 D 点,仍重复上述观测过程。以上工作最好在上午完成。
- (3) 将两岸的人员和仪器对调,B、C 设仪器,A、D 设标尺,重复 1 的过程;
- (4) 在对称的时间内重复 1、2 的过程,但仪器交换次序也应对调;
- (5) 观测前后应测量 AC、AD、BC、BD 的边长,往返测各测 5 测回取平均值。以上过程根据测量精度要求,可以进行多个时段测量。在全站仪实施跨河水准测量的过程中,依据本岸仪器同的情况,照准标尺上某一整数分划(之所以取整数,完全是为了计算、读数和照准的方便),若情况许可应在垂直角为 90°的附近寻找,并且垂直角最好小于 1°。

3.3 测量结果分析

采用全站仪水准法三角高程测量进行距河水水准测量的主要误差源是测角误差和球气差,因此从选点到观测作业的实施,都是围绕着提高测角精度和减弱球气误差进行的。观测结果见表 2。按照国家三等水准测量的有关规定进行检核,极限差为 10√L。对表 2 中数据进行对比,可以得出观测结果合乎国家三等水准测量要求的结论。

表 2 全站仪水准法跨河观察结果

环线	环线长/km	闭合差/mm	三等水准极限差/mm
A-B-C-A	1.2	6.5	±11.0
B-C-D-B	1.2	-6.9	±11.0
A-C-D-A	1.3	7.6	±11.4
A-B-C-D-A	1.3	8.7	±11.4

4 结束语

由于全站仪提供了高精度的角度和距离测量,因而全站仪的三角高程测量可以代替传统的水准测量进行高程控制测量或施工测量^[8]。用全站仪水准法三角高程测量代替三、四等水准测量的新方法,其优点是仪器任意置站,方便灵活;不量仪器高、棱镜高,减少误差来源,提高工作效率;测站选在中部,可以减弱大气折光的影响;由于精度提高,施测距离可达 600 m。在实际工作中,棱镜高度发生变化时,只要记录下相对于初值增大或减小的数值,计算时一并考虑即可计算出待测点的实际高程。根据理论研究和大量外业实验统计表明^[9],测距三角高程能够代替三、四等水准测量,已逐步用于生产作业中,获得较高的效益。

参 考 文 献

1 杜文举,刘莹,樊正林.全站仪三角高程测量的精度分析及其应用.铁道勘察,2008;(2):31—33
2 张勇,王波.全站仪三角高程新方法 & 精度估算.测绘工程,2007;16(6):46—48
3 张前勇,常胜.全站仪水准法三角高程测量的探讨.湖北民族学院学报(自然科学版),2007;25(1):42—45