# 全站仪三角高程测量方法及精度分析

张智韬1,黄兆铭2,杨江涛1

(1西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西杨凌712100; 2佛山市顺水工程建设监理有限公司,广东佛山528400)

[摘 要]【目的】研究全站仪高程测量各方法代替水准测量的精度、优缺点、适应条件及适应范围等,为实际工作中选择最佳测量方案提供理论依据。【方法】依据全站仪单向、对向及中点法三角高程测量的方法,根据测量原理得出各自的计算公式,对各公式进行误差来源分析,应用误差传播定律得出各自的误差方程式,并进行精度分析比较。【结果】在一定范围内合理利用全站仪三角高程测量,可达三、四等水准测量的要求,其中对向观测的误差最低,精度最好,中点法观测次之,单向观测精度最差。【结论】用全站仪三角高程测量代替水准测量,方法简单易行,测量速度较传统方法快得多。

[关键词] 全站仪;三角高程测量;测量误差;精度分析 [中图分类号] P224 [文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2008)09-0229-06

# Accuracy analysis and approaches of total station triangle elevation surveying

ZHANG Zhi-tao<sup>1</sup>, HUANG Zhao-ming<sup>2</sup>, YANG Jiang-tao<sup>1</sup>

(1 College of Water Resource and Architectural Engineer, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
 2 Foshan Shunshui Engineering Construction Supervision CO., LTD, Foshan, Guangdong 528400, China)

Abstract: [Objective] The research on the advantages and disadvantages, applying conditions and ranges of each total station triangle elevation surveying approach to replace water leveling survey provides a theoretical basis for choosing the most appropriate survey method in the practical work. [Method] From the three approaches of Triangle Elevation Surveying by using total station: single-direction observation, double-direction observation and midway method, three calculation formulas were deducted based on some surveying principles. Then after error analysis, the error transmission principle was applied to figure out the error formulas respectively and then a contrastive analysis was made for each elevation surveying by using total station surveying by using total station surveying by using total station was applied within certain reasonable ranges, the observation result could reach the water leveling survey measurements of grade three or grade four specifications, among which double-direction observation the poorest. [Conclusion] To conclude, this Triangle Elevation Surveying is a rather simple and quick method that it can provide a new access to build up a height controlling network.

Key words: total station; triangle elevation survey; surveying error; accuracy analysis

<sup>\* [</sup>收稿日期] 2007-09-24

<sup>[</sup>基金项目] 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目"现代节水农业技术及新产品专项"(2002AA2Z4041);国家"十一五"科技支 撑计划项目"大型灌区节水改造工程关键支撑技术研究"(2006BAD11B05)

<sup>[</sup>作者简介] 张智韬(1976-),男,陕西周至人,讲师,在职博士,主要从事测量工程和 3S 技术在节水农业及水资源中的应用研究。 E-mail;zhitaozhang@126.com

随着测量技术的快速提高,全站仪已普遍用于 控制测量、地形测量及工程测量中,并以其简捷的测 量手段、高速的电脑计算和精确的边长测量,深受广 大测绘人员的欢迎[1-4]。近年来,人们对全站仪已有 了更深入地认识,对全站仪在高程测量方面的应用 已有了大量研究,其方法有全站仪单向和对向三角 高程测量。这两种方法都是将全站仪安置在已知高 程的测点上,在待测点上安置棱镜,量取仪器高和棱 镜高,采用单项或对向观测法测定两点间的距离和 竖直角,按三角原理计算高差。尽管全站仪测距和 测角精度很高,但仪器高和棱镜高都采用钢尺按斜 量法或平量法获取,其精度约为±2~3 mm,故其误 差是不容忽视的,而且他们是固定值,距离越短,对 高程测量影响越大[5-8]。因此,有研究者提出全站仪 中点法高程测量,此方法将全站像水准仪一样任意 置站,而不是将其置在已知高程点上,在不量取仪器 高的情况下,利用三角高程测量原理测出待测点的 高程[9-11]。然而,此方法误差随着观测距离和竖直 角的增大而增加。虽然以上3种方法各有其优缺 点,但并未见对3种方法作全面综合误差评定分析 的研究,特别是在相同观测条件下研究各自测量精 度,以及其适用范围等[12]。本文从三角高程测量原 理出发,根据误差传播定律,综合考虑各测量方法的 误差来源及其影响,并对测量精度进行评定分析,得 出各方法代替水准测量的优缺点、适应条件及适应 范围等,使测量工作者可根据实际工作选择最佳测 量方案。

1 全站仪高程测量方法及计算公式

#### 1.1 全站仪单向三角高程测量的原理

全站仪单向三角高程测量如图 1 所示,其中 A 为已知高程点,B 为待测高程点,将全站议安置于 A 点,量得仪器高为 *i*;将反光棱镜置于 B 点,量得棱 镜高为 *v*。由图 1 可得 A、B 两点间的高差计算公式 为<sup>[13]</sup>:

$$h_{AB} = S \cdot \sin \alpha + c - r + i - v_{\circ} \tag{1}$$

式中:*h<sub>AB</sub>*为*A*、*B*两点的高差,*S*为斜距,α为竖直角,*c*为地球曲率改正数,*r*为大气折光系数改正数, 其中*c*、*r*的计算公式<sup>[12-13]</sup>为:

$$c = \frac{D^2}{2R} = \frac{S^2}{2R} \cos^2 \alpha, \qquad (2)$$

$$r = \frac{KD^2}{2R} = \frac{KS^2}{2R} \cos^2 \alpha \,. \tag{3}$$

式中:R为地球半径,K为大气折光系数,S、D分别

为仪器到棱镜的斜距和平距;其他符号意义同前。



 图 1 全站仪三角高程测量的原理
 Fig. 1 Principle of triangle elevation surveying by total station
 因此,全站仪单向三角高程测量的计算公式为 h<sub>AB</sub>=S・sina+1-K/2RS<sup>2</sup>・cos<sup>2</sup>a+i-v。 (4)

式中符号意义同前。

#### 1.2 全站仪对向三角高程测量的原理

对向观测又称为往返观测,其观测原理与单向 观测相同。将全站仪置于 A 点,棱镜置于 B 点,测 得 A、B 两点间的高差 h<sub>AB</sub>,h<sub>AB</sub>称为往测高差;再将 全站仪置于 B 点,棱镜置于 A 点,测得 B、A 两点间 的高差 h<sub>BA</sub>,h<sub>BA</sub>称为返测高差。往返两次观测高差 的平均值即可作为最终的测量结果。

往测计算公式:

$$h_{AB} = S_{\pounds} \cdot \sin \alpha_{\pounds} + \frac{1 - K_{\pounds}}{2R} \cdot S_{\pounds}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{\pounds} + i_{\pounds} - v_{\pounds};$$
(5)

返测计算公式:  

$$h_{BA} = S_{\mathfrak{s}} \cdot \sin \alpha_{\mathfrak{s}} + \frac{1 - K_{\mathfrak{s}}}{2R} \cdot S_{\mathfrak{s}}^{2} \cdot \cos^{2} \alpha_{\mathfrak{s}} + i_{\mathfrak{s}} - v_{\mathfrak{s}}$$
(6)

式中: $S_{\text{ft}}$ 、 $S_{\text{gs}}$ 、 $\alpha_{\text{ft}}$ 和  $\alpha_{\text{gs}}$ 分别为往返观测的斜距和 竖直角, $i_{\text{ft}}$ 、 $i_{\text{gs}}$ 、 $v_{\text{ft}}$ 和  $v_{\text{gs}}$ 分别为往返观测的仪器高 和棱镜高, $K_{\text{ft}}$ 和  $K_{\text{gs}}$ 分别为往返观测时的大气折 光系数。在全站仪进行往返测量时,如果观测是在 相同气象条件下进行的,特别是在同一时间进行,则 可假定大气折光系数对于反向观测基本相同,因此  $K_{\text{ft}} \approx K_{\text{gs}}$ 。又 $S_{\text{ft}}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{\text{ft}}$ 和 $S_{\text{gs}}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{\text{gs}}$ 同是A、 B两点间的平距,也可认为近似相等,即有:

$$\frac{1-K_{\text{ft}}}{2R} \cdot S_{\text{ft}}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{\text{ft}} \approx \frac{1-K_{\text{ig}}}{2R} \cdot S_{\text{ig}}^2 \cdot \cos^2 \alpha_{\text{ig}} \,.$$
(7)

从式(5)、(6)可得对向观测计算高差的基本公式为:

$$\bar{h}_{AB} = \frac{1}{2} [S_{\pounds} \cdot \sin \alpha_{\pounds} - S_{\flat} \cdot \sin \alpha_{\flat} + i_{\pounds} - v_{\pounds} - i_{\flat} + v_{\flat}].$$

$$(8)$$

式中符号意义同前。

因此,在气象条件稳定时,全站仪对向三角高程 测量可以不考虑地球曲率及大气折光系数的影响, 与单向观测相比有明显优势。

#### 1.3 全站仪中点法高程测量的原理

如图 2 所示,在已知高程点 A 和待测高程点 B 上分别安置反光棱镜,在 A、B 的大致中间位置选择 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 两点的高差 h<sub>1</sub> 为:

$$h_1 = S_1 \cdot \sin_{\alpha_1} + c_1 - r_1 + i - v_1$$
 (9)

式中: $S_1$ 、 $\alpha_1$ 分别为O至A点的斜距和竖直角, $c_1$ 、  $r_1$ 分别为O至A点的地球曲率改正数和大气折光 系数改正数,i为仪器高, $v_1$ 为A点的棱镜高。因 此,代入地球曲率改正数、大气折光系数改正数计算 公式,并设 $K_1$ 为O至A点的大气折光系数,R为地 球半径,则式(9)可表达为:

$$h_{1} = S_{1} \cdot \sin \alpha_{1} + c_{1} - r_{1} + i - v_{1} =$$

$$S_{1} \cdot \sin \alpha_{1} + \frac{1 - K_{1}}{2R} \cdot S_{1}^{2} \cdot \cos^{2} \alpha_{1} + i - v_{1} \cdot (10)$$

同理可得 O、B 两点的高差  $h_2$  为:

$$h_2 = S_2 \cdot \sin \alpha_2 + c_2 - r_2 + i - v_2 =$$

$$S_2 \cdot \sin \alpha_2 + \frac{1 - K_2}{2R} \cdot S_2^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + i - v_2 \cdot (11)$$

式中: $S_2$ 、 $\alpha_2$ 分别为O至B点的斜距和竖直角, $c_2$ 、 $r_2$ 分别为O至B点的地球曲率改正数和大气折光系 数改正数, $K_2$ 为O至B点的大气折光系数,i为仪 器高, $v_2$ 为B点的棱镜高,R为地球半径。根据高 程测量原理<sup>[10-11]</sup>,A、B两点间的高差h为:

$$h = h_2 - h_1 = S_2 \cdot \sin \alpha_2 - S_1 \cdot \sin \alpha_1 + \frac{1 - K_2}{2R} \cdot S_2^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 - \frac{1 - K_1}{2R} \cdot S_1^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 + v_1 - v_2 .$$
(12)

式中符号意义同前。



## 图 2 全站仪中点法高程测量的原理图

Fig. 2 Principles of elevation survey by total

station using midway-method

由式(12)可知,采用中点法测量的高差主要与 测量斜距  $S_1$ 和  $S_2$ 、竖直角  $\alpha_1$ 和  $\alpha_2$ 、棱镜高  $v_1$ 和  $v_2$ 及大气折光系数  $K_1$ 和  $K_2$ 有关,与仪器高无关,从 而克服了仪器高量取精度的影响,有利于提高测量 精度。当 A、B两点采用同一对中杆且不变换高度, 即  $v_1 = v_2$ 时,式(12)变为

$$h = h_2 - h_1 = S_2 \cdot \sin \alpha_2 - S_1 \cdot \sin \alpha_1 + \frac{1 - K_2}{2R} \cdot S_2^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 - \frac{1 - K_1}{2R} \cdot S_1^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 .$$
(13)

式中符号意义同前。

由式(13)可知,采用适当的方法,全站仪中点法 高程测量与仪器高、棱镜高完全无关,只与斜距、竖 直角及大气折光系数有关。

#### 2 全站仪高程测量计算公式的中误差

#### 2.1 全站仪单向三角高程测量的中误差

根据误差传播定律<sup>[14]</sup>,对式(4)进行微分,并转 变为中误差关系式,则式(4)可变为:

$$m_{h}^{2} = (\sin_{\alpha} \cdot m_{s})^{2} + (\frac{S \cdot \cos_{\alpha} \cdot m_{a}}{\rho})^{2} + (\frac{S^{2} \cdot \cos^{2}_{\alpha} \cdot m_{K}}{2R}) + m_{i}^{2} + m_{v}^{2} + (\frac{1-K}{2R} \cdot S^{2} \cdot \sin^{2}_{\alpha} \cdot \frac{m_{a}}{\rho})^{2} + (\frac{1-K}{2R} \cdot S \cdot \cos^{2}_{\alpha} \cdot m_{s})^{2} \,. \tag{14}$$

式中:m<sub>h</sub>、m<sub>s</sub>、m<sub>a</sub>分别为A、B两点间高差中误差、

斜距中误差、竖直角中误差,m<sub>K</sub>为大气折光系数测量中误差,m<sub>i</sub>为仪器高量取中误差,m<sub>o</sub>为棱镜高量 取中误差,<sup>m<sub>a</sub></sup>为将角值化成弧度值,其他符号意义 同前。

考虑到当 S<1 000 m 时,并且 K 值在我国约

$$m_{h} = \sqrt{(\sin\alpha \cdot m_{S})^{2} + (\frac{S \cdot \cos\alpha \cdot m_{a}}{\rho})^{2} + (\frac{S^{2} \cdot \cos^{2}\alpha \cdot m_{K}}{2R})^{2} + m_{i}^{2} + m_{v}^{2}}$$
(15)

#### 2.2 全站仪对向三角高程测量的中误差

根据误差传播定律[14],对式(8)进行微分,并转

$$m_{h}^{2} = \frac{1}{4} \left[ (S_{f\pm} \cdot \cos \alpha_{f\pm})^{2} \cdot (\frac{m_{af\pm}}{\rho})^{2} + (S_{i\pm} \cdot \cos \alpha_{i\pm})^{2} \cdot (\frac{m_{ai\pm}}{\rho})^{2} \right] + \frac{1}{4} (\sin^{2} \alpha_{f\pm} \cdot m_{Sf\pm}^{2} + m_{si\pm}^{2} + m_{ij\pm}^{2} + m_{vj\pm}^{2} + m_{vj\pm}^{2}) \right]$$
(16)

式中: $m_{\tilde{h}}$ 为往返观测平均高差中误差, $m_{S\hat{t}}$ 、 $m_{S\tilde{u}}$ 、  $m_{a\hat{t}}$ 和 $m_{a\tilde{u}}$ 分别为往返斜距和坚直角中误差, $m_{i\hat{t}}$ 、  $m_{i\tilde{u}}$ 、 $m_{v\hat{t}}$ 和 $m_{v\tilde{u}}$ 分别为往返仪器高和棱镜高量取中 误差,其他符号意义同前。由于仪器和观测条件相 同,可取 $m_{a\hat{t}} = m_{a\tilde{u}} = m_{a}, m_{S\hat{t}} = m_{S\tilde{u}} = m_{S}, S_{\hat{t}} = S_{\tilde{u}}$  $S, m_{i\hat{t}} = m_{i\tilde{u}} = m_{v\hat{t}} = m_{v\tilde{u}} = m, \alpha_{\hat{t}} = \alpha_{\tilde{u}} = \alpha$ 。于是式 (16)可简化为:

$$m_h^2 = \frac{1}{2} (S \cdot \cos_\alpha)^2 \cdot (\frac{m_\alpha}{\rho})^2 + \frac{1}{2} \sin^2_\alpha \cdot m_S^2 + m^2_\circ$$
(17)

对式(17)进行开平方,则:

$$m_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{1}{2} (S \cdot \cos_{\alpha})^2 \cdot (\frac{m_a}{\rho})^2 + \frac{1}{2} \sin^2_{\alpha} \cdot m_S^2 + m^2} \,. \tag{18}$$

#### 2.3 全站仪中点法高程测量的中误差

根据误差传播定律<sup>[14]</sup>,对式(13)进行微分,并 转变为中误差关系式,则式(13)可变化为:

$$m_{h}^{2} = (\sin\alpha_{1} + \frac{1-K_{1}}{R} \cdot S_{1} \cdot \cos^{2}\alpha_{1})^{2} m_{S_{1}}^{2} + (\sin\alpha_{2} + \frac{1-K_{2}}{R} \cdot S_{2} \cdot \cos^{2}\alpha_{2})^{2} m_{S_{2}}^{2} + (S_{1} \cdot \sin\alpha_{1} - \frac{1-K_{1}}{R} \cdot S_{1}^{2} \cdot \cos\alpha_{1} \cdot \sin\alpha_{1})^{2} \cdot (\frac{m_{a_{1}}}{\rho})^{2} + (S_{2} \cdot \sin\alpha_{2} - \frac{1-K_{2}}{R} \cdot S_{2}^{2} \cdot \sin\alpha_{2} \cdot \cos\alpha_{2})^{2} \cdot (\frac{m_{a_{2}}}{\rho})^{2} + (\frac{1}{2R} \cdot S_{2}^{2} \cdot \cos^{2}\alpha_{2})^{2} \cdot m_{K_{2}}^{2} + (\frac{1}{2R} \cdot S_{1}^{2} \cdot \cos^{2}\alpha_{1}) \cdot m_{K_{1}}^{2} + m_{v_{1}}^{2} + m_{v_{2}}^{2} \cdot (19) - (1$$

为 0. 08 ~ 0. 14<sup>[13,15]</sup>, 故  $\frac{1-K}{2R} \cdot S^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{m_a}{\rho}$  和  $\frac{1-K}{2R} \cdot S \cdot \cos^2 \alpha \cdot m_s$  的值约为 10<sup>-2</sup> mm,可以忽 略不计,则式(14)可简化为:

变为中误差关系式,则式(8)可变为:

式中: $m_h$ 为A、B两点间高差中误差, $m_{S_1}$ 和 $m_{a_1}$ 分别 为O至A点的斜距和竖直角中误差, $m_{K_1}$ 和 $m_{v_1}$ 分 别为O至A点的大气折光系数和棱镜量取中误差;  $m_{S_2}$ 和 $m_{a_2}$ 分别为O至B点的斜距和竖直角中误差, $m_{K_2}$ 和 $m_{v_2}$ 分别为O至B点的大气折光系数和棱镜 量取中误差,其他符号意义同前。

考虑到当  $S_1 < 1\ 000\ \mathrm{m}$ , $S_2 < 1\ 000\ \mathrm{m}$ 时,并且 K 值在我国约为 0.08~0.14<sup>[15]</sup>,式中 $\frac{1-K_1}{R}$ ・ $S_1$ ・

 $\cos^{2} \alpha_{1}, \frac{1-K_{2}}{R} \cdot S_{2} \cdot \cos^{2} \alpha_{2}, \frac{1-K_{1}}{R} \cdot S_{1}^{2} \cdot \cos \alpha_{1} \cdot \sin \alpha_{1}, \frac{1-K_{2}}{R} \cdot S_{2}^{2} \cdot \sin \alpha_{2} \cdot \cos \alpha_{2}$ 的值约为 10<sup>-2</sup>到 10<sup>-3</sup>, 可以忽略不计。设  $D_{1} = S_{1}\cos \alpha_{1}, D_{2} = S_{2}\cos \alpha_{2}, D_{1}, D_{2}$ 分别为  $O \cong A, B$ 的水平距离,则式 (19)可写成:

$$m_{h}^{2} = \sin^{2} \alpha_{1} \cdot m_{S_{1}}^{2} + \sin^{2} \alpha_{2} \cdot m_{S_{2}}^{2} + \frac{1}{\rho^{2}} \cdot D_{1}^{2} \cdot m_{\alpha_{1}}^{2} + \frac{1}{\rho^{2}} \cdot D_{2}^{2} \cdot m_{\alpha_{2}}^{2} + \frac{1}{4R^{2}} \cdot D_{2}^{4} \cdot m_{K_{2}}^{2} + \frac{1}{4R^{2}} \cdot D_{1}^{4} \cdot m_{K_{1}}^{2} + \frac{m_{\nu_{1}}^{2} + m_{\nu_{2}}^{2}}{m_{\nu_{1}}^{2} + m_{\nu_{2}}^{2}}$$
(20)

在同一地点进行测量,短时间内 K 值的变化很 小<sup>[16]</sup>。又因全站仪中点法测量几乎是在相同观测 条件下进行的,故可近似地假定  $K_1 \approx K_2$ ,并设  $m_{K_1}$  $\approx m_{K_2} = m_K$ 。考虑全站仪的特点,设边长的测量精 度  $m_s$ 、坚直角的测量精度  $m_a$  及棱镜高的量取精度  $m_v$  相等,则式(20)可写成:

$$m_{h} = \pm \sqrt{(\sin^{2}\alpha_{1} + \sin^{2}\alpha_{2}) \cdot m_{S}^{2} + \frac{D_{1}^{2} + D_{2}^{2}}{\rho^{2}} \cdot m_{\alpha}^{2} + \frac{D_{2}^{4} + D_{1}^{4}}{4R^{2}} \cdot m_{K}^{2} + 2m_{v}^{2}} \,. \tag{21}$$
  
令站仪由古法高程测量的由误差, m\_{s} \_\_\_\_\_\_m\_分别为令站仪纠距\_坚直角测量的由误差, m\_{v} 为

式中:m<sub>h</sub>为全站仪中点法高程测量的中误差,m<sub>s</sub>、

*m<sub>a</sub>*分别为全站仪斜距、坚直角测量的中误差,*m<sub>K</sub>* グ

大气折光系数测定的中误差,m。为棱镜高量取中误差。由式(21)可知,全站仪中点法高程测量误差与 仪器精度(m<sub>s</sub>、m<sub>a</sub>)、大气折光系数误差 m<sub>κ</sub> 及棱镜 高量取误差m<sub>v</sub>等有关。

### 3 全站仪高程测量的精度分析

为了对全站仪高程测量的 3 种方法进行验证, 分析各种方法的精度,本研究选取  $m_a = \pm 2''$ 精度的 全站仪为例,其测距精度为  $m_s = \pm (2 + 2 \times 10^{-6} D)$  mm,取 $m_s = \pm 4$  mm;按全站仪到测点的测距1 km 计算;有试验证明,大气折光系数的误差为±0.03~ 0.05 mm<sup>[15-17]</sup>,文中取 $m_{\kappa} = \pm 0.04$  mm,仪器高和 棱镜高的量取误差取 $m_i = m_v = \pm 2$  mm。同时取2 倍的中误差为极限误差,与三、四等水准测量的限差 进行比较分析,其计算数据如表1所示。其中,在计 算全站仪中点法高程测量极限误差时,取前后视距 近视相等,往返观测竖直角相等。

#### 表 1 全站仪高程测量的极限误差与三等、四等水准限差的比较

 

 Table 1
 Comparison among limit errors of elevation surveying by total station and third-grade-leveling and fourth-grade-leveling errors

测量距离/m Surveying distance	方法 Methode	极限误差/mm Limit error							三等水准限差/mm	四等水准限差/mn fourth-
		1°	2°	5°	$10^{\circ}$	$15^{\circ}$	20°	30°	error	gradeleveling error
100	单向 Single	5.98	5.99	6.02	6.13	6.31	6.54	7.13		
	对向 Double	4.23	4.23	4.26	4.33	4.46	4.63	5.04	3.79	6.32
	中点 Midway	5.82	5.83	5.90	6.14	6.52	6.99	8.12		
200	单向 Single	6.86	6.87	6.89	6.97	7.10	7.27	7.70		
	对向 Double	4.85	4.85	4.87	4.93	5.02	5.14	5.44	5.37	8.94
	中点 Midway	6.29	6.30	6.36	6.59	6.94	7.38	8.46		
300	单向 Single	8.13	8.14	8.15	8.19	8.25	8.34	8.58		
	对向 Double	5.74	5.74	5.75	5.78	5.83	5.89	6.06	6.57	10.95
	中点 Midway	7.00	7.01	7.07	7.27	7.59	8.00	9.00		
500	单向 Single	11.33	11.33	11.32	11.29	11.23	11.15	10.95		
	对向 Double	7.94	7.94	7.93	7.91	7.87	7.83	7.70	8.49	14.14
	中点 Midway	8.91	8.91	8.96	9.12	9.38	9.71	10.55		
600	单向 Single	13.13	13.13	13.11	13.04	12.92	12.77	12.35		
	对向 Double	9.15	9.15	9.13	9.09	9.02	8.92	8.65	9.30	15.49
	中点 Midway	10.02	10.02	10.06	10.21	10.44	10.74	11.50		
800	单向 Single	16.99	16.99	16.95	16.81	16.58	16.27	15.41		
	对向 Double	11.68	11.67	11.65	11.56	11.42	11.23	10.69	10.73	17.89
	中点 Midway	12.43	12.43	12.46	12.58	12.76	13.01	13.65		
1 000	单向 Single	21.15	21.14	21.08	20.87	20.53	20.06	18.77		
	对向 Double	14.28	14.28	14.24	14.12	13.91	13.63	12.85	12.00	20.00
	中点 Midway	15.00	15.00	15.03	15.13	15.28	15.49	16.03		
1 200	单向 Single	25.59	25.58	25.50	25.22	24.75	24.11	22.36		
	对向 Double	16.93	16.93	16.88	16.72	16.46	16.09	15.07	13.15	21.91
	中点 Midway	17.69	17.70	17.72	17.80	17.93	18.11	18.57		

由表1可知,3种测量方法中对向观测的误差 最低,精度最好,中点法测量次之,单向高程测量精 度最差。但在全站仪中点法测量中,若前后棱镜高 用强制对中杆取相同,减少棱镜量取误差,则有进一 步提高精度的空间。

3 种高程测量方法中,对向观测和中点法观测 方法在距离小于1 200 m 及测角小于 30°时,其测量 精度可满足四等水准精度要求,而单向观测距离小 于 800 m 时才满足四等水准精度要求。当距离小于 600 m,大于 200 m,竖直观测角小于 30°时,对向观 测可满足三等水准测量精度要求。

#### 4 结 论

1)用全站仪三角高程测量方法代替水准测量, 方法简单易行,测量速度较传统方法快的多,为今后 快速、准确建立高程控制网提供了又一新的途径。

2)采用全站仪中点法测量高程,相邻两点间可 以不通视,可灵活选取测站点位置,测站不需对中, 不量仪器高,可节约时间,降低劳动强度,较对向观 测更具明显优势。若要进一步提高精度,尽量使前 后视距相等。

3)全站仪单向高程测量时,尽量进行近距离观测,同时竖直角不能太大,并进行盘左盘右观测,可 消除一些系统误差的影响,并在一定范围内可代替 四等水准测量。

4)全站仪3种高程测量的误差,都随观测距离 和竖直角的增大而增加,并与测边精度和测角精度 有关。因此,为提高测量精度,可适当增加测回数, 以提高距离和竖直角的观测精度。

#### [参考文献]

[1] 陶海生.全站仪应用于高程测量之精度探讨[J].中南公路工程,2003,28(3):59-61.

Tao H S. Discussion on accuracy of altitude measurement using total station [J]. Central South Highway Engineering, 2003, 28 (3):59-61. (in Chinese)

- [2] 周小华,刘洪奇.大高差单向光电三角高程测量中最佳测站位置的确定[J].华东地质学院学报,2002,25(1):44-46.
   Zhou X H, Liu H Q. The determination of optimal station in one-way photoelectric triangulated height survey with high differential height [J]. Journal of East China Geological Institute, 2002,25(1):44-46. (in Chinese)
- [3] 圣少兵.全站仪 EDM 三角高程测量及其精度分析 [J]. 辽宁科 技学院学报,2007,7(3):15-16.

Sheng S B. Triangular elevation surveying by whole station EDM and its accuracy [J]. Journal of Liaoning Institute of Science and Technology, 2007, 7(3):15-16. (in Chinese)

[4] 张 勇.全站仪在水准测量中的应用[J].山西建筑,2003,29 (11):128-129.

Zhang Y. The application of total station in leveling [J]. Shanxi Architecture, 2003, 29(11): 128-129. (in Chinese)

 [5] 陶元洲,王凤艳,庞贺民,等.全站仪垂距测量代替二、三、四等 水准测量的研究[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34
 (2):314-317.

Tao Y Z, Wang F Y, Pang H M, et al. Study on replacing the second, third and fourth order leveling by vertical distance measurement with total station instrument [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2004, 34(2); 314-317. (in Chinese)

- [6] 刘丽霞,乔万亮,佟艳丽.利用全站仪进行三角高程测量的中误差计算[J].黑龙江水专学报,2005,32(2):59-60.
  Liu L X,Qiao W L,Tong Y L. Mid-error calculation of triangles high journey survey with whole station instruments [J].
  Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2005, 32(2):59-60. (in Chinese)
- [7] 鹿利军,杜子涛.全站仪在高程测量中的应用研究 [J]. 测绘与 空间地理信息,2005,28(6):39-40.

Lu L J, Du Z T. Study of total station instrument's application in height measurement [J]. Geometrics and Spatial in Formation Technology,2005,28(6):39-40. (in Chinese)

[8] 薛迎春,赵 立.用全站仪测量高程的精度分析[J].三晋测绘, 2004,11(1):37-38.

Xue Y C, Zhao L. The analysis of the accuracy of measuring height with the instrument of total station[J]. Surveying and Mapping in Shanxi,2004,11(1):37-38. (in Chinese)

- [9] 何习平.全站仪中间法与水准测量的精度比较 [J].水电自动 化与大坝监测,2004,28(4):37-39.
  He X P. Comparison of precision of leveling and trigonometric leveling by total stations with balancing the distances to fore point and to back point [J]. Hydropower Automation and Dam Monitoring,2004,28(4):37-39. (in Chinese)
- [10] 刘惠明,张 波,陈俊林.全站仪中点法高程测量及其精度探讨[J].华南农业大学学报,2004,10(4):102-106.
  Liu H M,Zhang B,Chen J L. Investigation into the accuracy of total station elevation surveying using the midway method
  [J]. Journal of South China Agricultural University,2004,10
  (4):102-106. (in Chinese)
- [11] 王有贤,程新春.中点全站仪法高程控制测量[J].公路与汽运,2003,6(3):40-42.

Wang Y X, Cheng X C. Elevation control surveying of total station using the midway method [J]. Highways & Automotive Applications, 2003, 6(3), 40-42. (in Chinese)

- [12] 王 永.光电测距三角高程测量问题的探讨 [J]. 企业技术开发,2004,23(8):15-17.
   Wang Y. The discussion of questions about triangle height measurement of electro-optical distance measurement [J]. Technological Determent of Enterprise,2004,23(8):15-17. (in Chinese)
- [13] 孔祥元,梅是义.控制测量[M].武汉:武汉大学出版社, 2002:270-279.

Kong X Y, Mei S Y. Control survey [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002: 270-279. (in Chinese)

- [14] 武汉测绘科技大学测量平差教研室、测量平差基础[M].北京:测绘出版社,1996.
  WHTUSM Survey Adjustment Office. Survey adjustment
  [M].Beijing:Survey Press,1996. (in Chinese)
- [15] 冯显堂. 大气折光系数的取值 [J]. 鞍钢技术,1996(2):48-50.
   Feng X T. Value of air reflective coefficient [J]. Anshan Steel Technique,1996(2):48-50. (in Chinese)
- [16] 蒋利龙. 近地层大气折光系数变化特征分析[J]. 东北测绘, 1999,22(1):3-5,12.
   Jiang L L. Analysis for the variation characteristics of the at-

mospheric refraction coefficient in lowest troposphere [J]. Northeast Surveying and Mapping, 1999, 22(1): 3-5, 12. (in Chinese)

[17] 王凤艳,陶元洲.测区垂直大气折光系数的变化及因地选择大 气折光系数的意义 [J].测绘通报,2005(4):14-17.
Wang F Y, Tao Y Z. Change of atmosphere refraction coefficient in measure area and significance of choosing it according to local condition [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2005(4):14-17. (in Chinese)