

# 全站仪坐标法在深基坑水平位移监测中的精度分析与应用

包民先<sup>1 2</sup>

(1. 江苏省南京工程高等职业学校 江苏 南京 211135; 2. 江苏联合职业技术学院 南京工程分院 江苏 南京 211135)

**摘要:**针对施工场地狭窄,无法运用传统方法进行变形观测的情况下,对深基坑的水平位移监测提出了全站仪坐标法。对全站仪坐标法监测水平位移的精度进行分析,通过分析结果与工程实践,验证了对于不同等级要求的基坑水平位移监测,只要选择适当的全站仪进行作业,即能保证精度符合要求,提高作业效率。

**关键词:**全站仪坐标法;极坐标法;自由设站法;水平位移监测;深基坑

中图分类号:TU198 文献标识码:B 文章编号:1672-5867(2011)06-0255-03

## Accuracy Analysis and Application of Total Station Coordinate Method in Horizontal Displacement Monitoring of Deep Foundation Pit

BAO Min-xian<sup>1 2</sup>

(1. Nanjing Engineering Vocational College of Jiangsu Province, Nanjing 211135, China;

2. Nanjing Engineering Department of Jiangsu Union Technical Institute, Nanjing 211135, China)

**Abstract:** It is proposed that the coordinate method should be used as the solution to the problems caused by narrower construction sites where the traditional methods are not applicable. An analysis is carried out on the accuracy of horizontal displacement monitoring by Total Station coordinate method. By engineering practice and results analysis, it verified the requirements for different levels of horizontal displacement of foundation pit. Only if the appropriate operating Total Station was selected, the method can meet the requirements to ensure accuracy and improve operational efficiency.

**Key words:** Total Station coordinate method; polar coordinate method; free station method; horizontal displacement monitoring; deep foundation pit

### 0 引言

在高层建筑物的深基坑施工中,为了确保支护结构和相邻建筑物的安全,在施工过程中,要对深基坑变形情况进行随时监测,保障施工过程中深基坑支护结构及周围建筑物的稳定和安全。其中,深基坑围护结构墙顶的水平位移监测是非常重要的。可靠、及时、准确的观测数据对于施工过程的决策有着决定性影响。然而,实际施工现场往往场地非常狭窄,围挡外常有既有的道路和建筑物,围挡内有施工车辆等移动设备和临时堆积材料,基坑周边环境往往非常复杂。在施工场地范围及周围无法实施传统的监测方法进行水平位移观测,这一问题在目前深基坑的施工中广泛存在,具有普遍性。当基坑离原

有建筑物或地下管线距离较近时,为保证这些已有建筑物和地下管线的正常使用,就必须对基坑的水平位移进行定期监测,以便发现异常情况能及时采取处理措施,将水平位移限制在允许值之内。

基坑水平位移监测的常用方法主要有经纬仪视准线法、小角度法等,这些方法的特点是使用经纬仪即可进行观测,基于基坑附近有相对稳定的地面基准点为基础,并保证在监测点通视的条件下才能实施。但在观测基坑不同边水平位移时需进行仪器搬站,观测所需时间较长。常规的监测方法已不能适应城市深基坑施工的复杂环境。目前,随着智能型全站仪的普及和应用,采用极坐标法或以极坐标法为基础的自由设站法(统称为全站仪坐标变化法,简称为全站仪坐标法),可直接测定任意方向

收稿日期:2010-11-25

作者简介:包民先(1977-)男,山东海阳人,讲师,河海大学测绘工程专业硕士研究生,主要从事工程测量方面的教学与科研工作。

位移监测点的坐标,通过计算两次坐标的变化量就可确定位移量。用全站仪坐标法进行基坑水平位移监测通常不需要搬站,一次测完所有点,可节约大量观测时间,能有效排除基坑施工干扰及周边土体变形的影响,通过相邻周期坐标计算可以快速、准确地获取监测点的位移量和累计位移量<sup>[1]</sup>。

全站仪坐标法包括传统的极坐标法和以极坐标为基础的自由设站法。

自由设站法是由两个已知坐标的点作为后视点,首先求得测站点的坐标,然后通过测站点坐标测算出前视测站点的坐标。整个过程中,测站点的坐标仅起传递作用,从而每次测量时,测站点的位置可以是随意的(但每次位置应大致相同)这种方式能很好地适应现场条件复杂,得到广泛应用。因为它是以极坐标法为基础对监测点进行测量,所以在这里只分析极坐标法。由于测量坐标的精度受距离测量精度和角度测量精度的共同影响,不太容易估算,给实际应用带来一些问题。下面根据有关测量误差的理论,对全站仪坐标法监测基坑水平位移的精度进行分析并结合工程实例进行验证。

## 1 全站仪坐标法监测基坑水平位移的影响因素

### 1.1 全站仪观测误差

对任何形状的基坑现场,用全站仪来监测只需建立一条基准线 $AB$ (如图1所示),其测量原理如下:对某测点 $P$ ,利用全站仪同时测定水平角 $\beta$ 和水平距离 $D$ ,则可利用观测值( $\beta, D$ )来计算该点的坐标值( $x_P, y_P$ ),即:

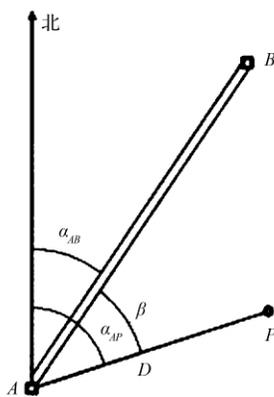


图1 全站仪坐标法测量水平位移

Fig. 1 The horizontal displacement monitoring by Total Station coordinate method

$$x_P = x_A + D \cos(\alpha_{AB} + \beta)$$

$$y_P = y_A + D \sin(\alpha_{AB} + \beta)$$

式中 $x_A, y_A$ 为基准点 $A$ 的坐标值; $\alpha_{AB}$ 为基准线 $AB$ 的方位角。两期结果之差( $\Delta x_i, \Delta y_i$ )即是该期间内 $i$ 点的水平位移,其中 $\Delta x_i$ 为南北轴线方向的位移值, $\Delta y_i$ 为东西轴线方向的位移值。

不计已知点误差,微分上述两式并转换为中误差

差,得:

$$\left. \begin{aligned} m_x^2 &= \cos^2(\alpha_{AB} + \beta) m_D^2 + D^2 \sin^2(\alpha_{AB} + \beta) \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \\ m_y^2 &= \sin^2(\alpha_{AB} + \beta) m_D^2 + D^2 \cos^2(\alpha_{AB} + \beta) \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \end{aligned} \right\}$$

式中 $m_D$ 为全站仪测量距离的中误差; $m_\beta$ 为全站仪测量水平角的中误差。由观测误差引起的点 $P$ 的点位误差为:

$$m_{测} = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \pm \sqrt{m_D^2 + D^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2}$$

距离测量中误差 $m_D$ 可按全站仪的标称精度用公式 $m_D = \pm(A + B \times D)$  mm 计算,式中 $A$ 为全站仪标称精度中的固定误差,以 mm 为单位; $B$ 为全站仪标称精度中的比例误差系数,以 mm/km 为单位; $D$ 为测距边长度,以 km 为单位。

由上式可知,待定点的测点误差与测角和测距的精度以及 $P$ 点距离 $A$ 点的平距有关。上式还可表达成:

$$m_{测}^2 = D^2 \left[ \left(\frac{m_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{m_\beta}{D}\right)^2 \right]$$

为使坐标法获得较高精度,测距和测角的精度应相互匹配。全站仪在精度设计时,一般取 $\frac{m_D}{D} = \frac{m_\beta}{\rho}$ ,对于较短的距离,测角误差将明显地小于测距误差;而对于较长距离,测角精度就不容易达到相应的测距精度。就全站仪而言,测距精度相对容易达到,外界气象条件对测距的误差影响相对小一些,容易实现其标称精度。而测角时的旁折光影响,作用更为显著,不易控制<sup>[2]</sup>。

### 1.2 仪器对中误差和目标点偏心误差

全站仪对中通常采用仪器自带的激光对中器或光学对中器对中,当对中器和照准部水准器进行严格的检验校正后,这两种方法的对中误差均可达到 $\pm 1$  mm。目标点一般采用三脚架和棱镜基座安置棱镜,对中精度与仪器对中精度相等,即 $m_{对中} = m_{偏心} = \pm 1$  mm。

从坐标法观测点位中误差计算公式可见,起算点误差对监测点的精度影响不容忽视。所以当进行高精度观测时,为减小仪器对中误差和照准目标偏心误差,可设置具有强制归心装置的观测墩和具有强制对中装置的棱镜台,此时仪器对中误差和目标偏心误差能达到 $\pm 0.1$  mm 以内,可以忽略不计,即 $m_{对中} = m_{偏心} = 0$  mm。

### 1.3 点位中误差

在使用全站仪测量坐标时,由于仪器对中误差、目标偏心误差和观测误差相互独立,因此根据误差传播定律,可以得到点位中误差的计算公式为:

$$m_P = \pm \sqrt{m_{对中}^2 + m_{偏心}^2 + m_{观测}^2}$$

## 2 全站仪坐标法水平位移测量点位精度分析

《工程测量规范》规定,在进行水平位移监测时,位错点的点位中误差对于一等要求为 $\pm 1.5$  mm,对于二等要

求为  $\pm 3.0 \text{ mm}^{[3]}$ 。下面结合规范的要求和表 1 进行分析。

以目前工程上较常用的  $0.5''$  ( $m_\beta = 0.5''$ ,  $m_D = 1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \text{ mm}$ )  $1''$  ( $m_\beta = 1.0''$ ,  $m_D = 1 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} \text{ mm}$ )

和  $2''$  ( $m_\beta = 2.0''$ ,  $m_D = 2 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} \text{ mm}$ ) 级全站仪为例,对测定不同距离的水平位移的点位中误差进行精度分析见表 1。

表 1 全站仪坐标法水平位移测量点位精度分析表(点位中误差单位:mm)  
Tab. 1 The accuracy analysis of horizontal displacement monitoring by Total Station coordinate method (Unit of RMSE of point location: mm)

全站仪到监测点距离 $D/\text{m}$	点位测定精度/mm					
	光学对中( $m_{\text{对中}} = m_{\text{偏心}} = \pm 1 \text{ mm}$ )			强制对中( $m_{\text{对中}} = m_{\text{偏心}} = 0 \text{ mm}$ )		
	0.5"级 (0.5" 1+1)	1"级 (1" 1+2)	2"级 (2" 2+2)	0.5"级 (0.5" 1+1)	1"级 (1" 1+2)	2"级 (2" 2+2)
25	$\pm 1.75$	$\pm 1.77$	$\pm 2.50$	$\pm 1.03$	$\pm 1.06$	$\pm 2.06$
50	$\pm 1.77$	$\pm 1.81$	$\pm 2.58$	$\pm 1.06$	$\pm 1.13$	$\pm 2.16$
100	$\pm 1.81$	$\pm 1.92$	$\pm 2.79$	$\pm 1.13$	$\pm 1.29$	$\pm 2.40$
150	$\pm 1.86$	$\pm 2.05$	<b><math>\pm 3.07</math></b>	$\pm 1.21$	<b><math>\pm 1.49</math></b>	$\pm 2.72$
200	$\pm 1.92$	$\pm 2.21$	$\pm 3.39$	$\pm 1.29$	$\pm 1.70$	<b><math>\pm 3.09</math></b>
300	$\pm 2.05$	$\pm 2.58$	$\pm 4.15$	<b><math>\pm 1.49</math></b>	$\pm 2.16$	$\pm 3.90$
400	$\pm 2.21$	<b><math>\pm 3.00</math></b>	$\pm 4.99$	$\pm 1.70$	$\pm 2.65$	$\pm 4.78$

(表中加粗斜体数字表示接近一等精度要求  $\pm 1.5 \text{ mm}$ ; 阴影数字表示接近二等精度要求  $\pm 3.0 \text{ mm}$ )

从表 1 中可以看出:

1) 对于一等精度要求,必须采用强制对中且全站仪的等级不低于 1"级,将 1"级全站仪改为 0.5"级全站仪时,距离限值由 150 m 放宽至 300 m;采用光学对中即使采用最高等级的全站仪也难以达到要求。

2) 对于二等精度要求,采用强制对中且等级高于 1"级的全站仪很容易达到要求,若采用 2"级距离限制在 200 m 以内;若采用光学对中,则 0.5"级的全站仪很容易达到要求,1"级全站仪限制在 400 m 以内,2"级全站仪限制在 150 m 以内。

3) 需要说明的是,全站仪的标称精度中,测距精度相对容易达到,外界气象条件对测距的误差作用相对小些,容易实现其标称精度。而测角精度,以 2"级全站仪的代表 TC 802 为例,2"只是表明仪器内部精度,它是在室内试验场地获得的数值,不代表实际作业中的精度,实际测角时的旁折光影响,作用更为显著,不易被人们掌握。但是,以上精度估算可以作为一种定性的分析,实际作业时根据外业成果和同类仪器的使用情况,采用多个测回来实现。

### 3 工程应用实例

#### 3.1 工程概况

某基坑工程为一层地下全埋式车库,框架剪力墙结构,基础为柱下独立基础。基坑面积约  $10\ 849.6 \text{ m}^2$ ,周长约为  $478.9 \text{ m}$ , $\pm 0.00 \text{ m}$  相当于绝对标高  $12.50 \text{ m}$ ,本基坑采用相对标高,地下车库底板板面标高为  $-7.60 \text{ m}$ ,坑底标高  $-8.30 \text{ m}$ 。

该项目基坑安全等级为二级。根据基坑支护设计要求,并结合工程实践经验,对该工程监测项目提出以下警戒值:基坑支护桩顶部水平位移报警值为  $50 \text{ mm}$ ,每天发展不超过  $3 \text{ mm}$ 。

#### 3.2 观测方案

水平位移观测采用徕卡 TC 802 全站仪,其测角精度为 2",测距精度为  $2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ,按全站仪坐标法对埋设于支护结构上的水平位移标志进行观测,每次观测所得的各个监测点坐标与基坑开挖前进行的初始观测相比较,所得的坐标差即为该监测点在本观测周期内的累计位移值。监测点及控制点均采用特制的观测标志,观测标志上设强制对中标志,保证每次观测均在同一点位上。按规范要求,本工程应采用的二等变形测量等级可以满足监测需要。根据表 1 的分析,采用强制对时时,当全站仪精度为  $(2'' 2+2)$  时,距离限制在 200 m 以内,该工程符合这一条件。

#### 3.3 观测结果分析

在 58 期观测过程中,基坑的 37 个位移监测点的累计水平位移量在  $2.8 \sim 16.2 \text{ mm}$  之间,均未超过报警值 ( $50 \text{ mm}$ );水平位移变化速率在  $0.0 \sim 0.6 \text{ mm/d}$  之间,均未达到报警值 ( $3.0 \text{ mm/d}$ )。37 个位移监测点位移变化最大为 W5 号监测点,其累计水平位移量为  $16.2 \text{ mm}$ ;最大变化速率为 SW 3 和 SW 17 号监测点,变化速率为  $0.6 \text{ mm/d}$ ,均未达到报警值。

通过以上分析可知,采用全站仪坐标法,直接测定基坑围护墙顶水平位移,根据精度分析而采用适当的全站仪,可以满足该项目二级基坑的监测精度要求。

(下转第 260 页)

至所有交点都被遍历过一次,可得到另一个交点,为  $I_5, I_6$ , 如图 2 所示。  
 $I_7, I_8, I_5$  顺次连接构成的闭合多边形。得交集(阴影部分)

表 3 A 表  
 Tab.3 Tabulation A

点的位置	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	...
多边形顶点及交点	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_1$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$	$I_{10}$	0	...	0
front	-1	5	9	13	0	4	1	6	7	8	2	10	11	12	-1	...	-1
next	4	6	10	-1	5	1	7	8	9	2	11	12	13	3	-1	...	-1

表 4 B 表  
 Tab.4 Tabulation B

点的位置	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...
多边形顶点及交点	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_9$	$I_8$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_{10}$	$I_1$	0
front	-1	7	9	11	13	15	0	6	1	8	2	10	3	12	4	14	-1
next	6	8	10	12	14	-1	7	1	9	2	11	3	13	4	15	5	-1

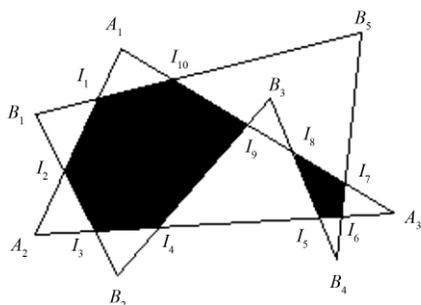


图 2 两个简单多边形的交集  
 Fig.2 Intersection of two simple polygons

#### 4 结束语

本算法采用双向链表结构,容易实现对多边形的顶点及交点快速存储及对交集多边形顶点的快速搜索,从而得到交集多边形。本算法中,对求交的两个多边形的要求是:两多边形的顶点不相互重合;一多边形的顶点不

在另一多边形的边上。考虑到在实际应用中,两多边形的顶点相互重合和一多边形的顶点在另一多边形的边上这两种情况不多,但这两种情况的类型较多,应用本算法暂时还不能解决此两种情况,需要在进一步研究中实现。

#### 参考文献:

- [1] 于雷易,边馥苓,万丰.一种多边形交、并、差运算的有效算法[J].武汉大学学报(信息科学版),2003,25(5):615-618.
- [2] 吴立新,史文中.地理信息系统原理与算法[M].北京:科学出版社,2003.
- [3] 周培德.计算几何(第二版)[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [4] 李海姣,张维锦.用 VC++ 实现的任意多边形剪裁算法[J].计算机应用,2005,25(12):421-423.
- [5] 杜爽,陈成永.以节点操作实现多边形求交的算法[J].测绘通报,2007(10):21-24.

[编辑:宋丽茹]

(上接第 257 页)

#### 4 结束语

本文推导了全站仪坐标法监测基坑水平位移的精度计算公式,并进行了计算与分析。通过分析结果与工程实践,验证了对于不同等级要求的基坑水平位移监测,只要选择适当的全站仪进行作业,即能保证精度符合要求,提高作业效率。随着测量技术的发展和仪器的不断更新,全站仪在基坑水平位移监测中必将得到越来越广泛的应用。

#### 参考文献:

- [1] 金建平,赵仲荣.自由设站法在深基坑水平位移监测中的应用与分析[J].勘察科学技术,2008(5):55-58.
- [2] 华锡生,黄腾.精密工程测量技术及应用[M].南京:海大学出版社,2002.
- [3] 中国有色金属工业协会.GB 50026-2007 工程测量规范[S].北京:中国计划出版社,2007.

[责任编辑:王丽欣]