

## 全站仪交汇法在高速公路路面沉降监测中的应用

崔旭升<sup>①②</sup>, 张兵<sup>②</sup>, 潘星<sup>②</sup>, 袁德宝<sup>②</sup>, 张文燕<sup>②</sup>

(①淮海工学院空间信息科学系, 江苏连云港 222001; ②中国矿业大学资源与安全工程学院, 北京 100083)

**【摘要】**文章介绍了全站仪交会法沉降监测, 方便简洁地解决了测量人员不能进入的高速公路等特殊位置的测量问题, 并通过对该方法的精度分析, 论证了其可行性和有效性, 对以后类似的测量工作提供经验和依据。**【关键词】**全站仪交会法; 沉降监测; 精度分析**【中图分类号】**P258**【文献标识码】**A**【文章编号】**1009-2307(2008)02-0185-02

DOI: 10.3771/j.issn.1009-2307.2008.02.064

## 1 引言

沉降监测常用的方法有水准测量和全站仪交汇测量, 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, 测定高差的精度较高, 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。全站仪交汇测量是一种间接测高法, 它不受地形起伏的限制, 且施测速度较快, 但精度较低费用亦较高。由于高速公路车流量很大, 车速快, 按照普通的水准测量方法去观测, 对观测人员人身安全具有一定的威胁, 因此对于下穿高速公路段拟采用全站仪交汇测量的方式进行, 以监测其路面的沉降。

北京市轨道交通机场线下穿首都机场高速路段隧道左线长218.40m, 结构拱顶距离高速路面5.42m~6.14m; 下穿段右线长225.98m, 结构拱顶距离高速路面4.77m~6.01m, 距闸道桥路面约9~13m。暗挖段为单洞单线, 结构净高5.48m, 净宽5.5m。左右线间距10.13m~11.11m, 两隧道结构外皮净距3.48~4.46m。地下区间隧道下穿首都机场高速路段为全封闭式高速公路, 车流量大, 车速快。

## 2 全站仪交会测量原理

现在以两台全站仪构成的系统为例来说明全站仪交会法监测的基本原理。如图1所示, 两台全站仪为A和B, 以全站仪A的中心(坐标系交点)为坐标原点, A、B连线在水平方向的投影为X轴, 过全站仪A的中心的铅垂线方向为Z轴, 以右手法则确定Y轴, 由此构成测量坐标系。

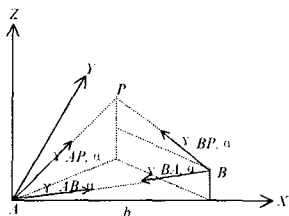


图1 交会法测量原理

A、B互瞄及分别观测目标P的观测值(水平方向值、垂直方向值)分别为:  $\gamma_{AB}, \alpha_{AB}, \gamma_{BA}, \alpha_{BA}, \gamma_{AP}, \alpha_{AP}, \gamma_{BP}, \alpha_{BP}$ 。设水平角A、B为:  $A = \gamma_{AB} - \gamma_{AP}, B = \gamma_{BP} - \gamma_{BA}$ 。则P点的三维坐标为:

$$\begin{aligned} X &= \frac{\sin B \cos A}{\sin(A+B)} b \\ Y &= \frac{\sin B \sin A}{\sin(A+B)} b \\ Z &= \frac{1}{2} \left[ \frac{\sin B \cot \alpha_{AP} + \sin A \cot \alpha_{BP}}{\sin(A+B)} b + h \right] \\ h &= \frac{1}{2} (\cot \alpha_{AB} - \cot \alpha_{BA}) b \end{aligned} \quad (1)$$

式中b为基线长, 即全站仪A和B的水平间距, h为两台全站仪的高差。上式中  $\gamma_{AB}, \alpha_{AB}, \gamma_{BA}, \alpha_{BA}, b$  等五个参数是系统参数, 其中起始方向值  $\gamma_{AB}, \alpha_{AB}, \gamma_{BA}, \alpha_{BA}$  通过互瞄内视标或外视标直接测定, 也可用间接的方法测定。尺度基准b可通过用两台全站仪对瞄测量求得。

## 3 误差分析

由式(1)可以看出, P的三维坐标与角度A、B, 天顶距  $\alpha_{AP}, \alpha_{BP}, \alpha_{AB}, \alpha_{BA}$  及基线b有关, 设角度A的中误差为  $m_A$ , 角度B的中误差为  $m_B$ , 天顶距  $\alpha_{AP}, \alpha_{BP}, \alpha_{AB}, \alpha_{BA}$  的中误差为  $m_a$ , 基线b的中误差为  $m_b$ 。坐标X的中误差为  $m_x$ , 坐标Y的中误差为  $m_y$ , 坐标Z的中误差为  $m_z$ , 点位中误差为  $m_p$ , 由式(1)的X、Y、Z分别对观测量A、B、 $\alpha_{AP}, \alpha_{BP}, \alpha_{AB}, \alpha_{BA}$  及基线b求偏导, 则有:

$$\begin{aligned} m_x^2 &= a_1^2 m_A^2 + a_2^2 m_B^2 + a_3^2 m_a^2 \\ m_y^2 &= b_1^2 m_A^2 + b_2^2 m_B^2 + b_3^2 m_a^2 \\ m_z^2 &= c_1^2 m_A^2 + c_2^2 m_B^2 + (c_3^2 + c_4^2 + c_5^2 + c_6^2) m_a^2 + c_7^2 m_b^2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中:

$$\begin{aligned} a_1 &= -\frac{\sin B \cos B}{\sin^2(A+B)} b, a_2 = \frac{\sin A \cos A}{\sin^2(A+B)} b, a_3 = X/b \\ b_1 &= \frac{\sin^2 B}{\sin^2(A+B)} b, b_2 = \frac{\sin^2 A}{\sin^2(A+B)} b, b_3 = Y/b \\ c_1 &= \frac{b}{2} \frac{\sin B [\cot \alpha_{BP} - \cot \alpha_{AP} \cos(A+B)]}{\sin^2(A+B)} \\ c_2 &= \frac{b}{2} \frac{\sin A [\cot \alpha_{AP} - \cot \alpha_{BP} \cos(A+B)]}{\sin^2(A+B)} \\ c_3 &= -\frac{b}{2} \frac{\sin B}{\sin(A+B) \sin^2 \alpha_{AP}}, c_4 = -\frac{b}{2} \frac{\sin A}{\sin(A+B) \sin^2 \alpha_{BP}} \\ c_5 &= -\frac{b}{4 \sin^2 \alpha_{AB}}, c_6 = \frac{b}{4 \sin^2 \alpha_{BA}}, c_7 = Z/b \end{aligned}$$

根据 Helmert 点位精度估算公式, P点的点位中误差<sup>[1]</sup>为:

$$m_p = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (3)$$

全站仪交会系统的精度主要取决于仪器的测角精度、交会测量图形、仪器的设站和系统定向方法等, 当然外界

作者简介: 崔旭升(1976-), 男, 江苏赣榆人, 硕士研究生, 淮海工学院空间信息科学系讲师, 主要从事变形监测等方面的教学与研究工作。

E-mail: shanrenzy1@sohu.com

收稿日期: 2006-12-12



条件的影响也是必须考虑的,特别是垂直折光差的影响。根据公式(3)可以估计出空间坐标测量的精度,TC1800 全站仪的方向测量精度为  $1.0''$ ,顾及定向测量的精度,在室外条件下测角精度大约为  $1.5''$ ,垂直角的测量精度受垂直折光的影响很大,一般来说,垂直角越小,折光误差越小,测角精度就越高,所以实测时垂直角基本控制在  $25^\circ$  以内。点位精度的估算将室外距离相对精度取为  $10\text{ppm}$ ,由此可以得出点位最大误差  $m_p$  不超过  $\pm 0.6\text{mm}$ 。

## 4 监测方法

### 4.1 控制网的布设

根据实际情况,为了保证精度,拟在公路两旁受施工影响变形范围外埋设控制点,共计 7 个,如图 2 所示。

注:图中  $\longleftrightarrow$  表示进行两点间相互进行角度和距离测量

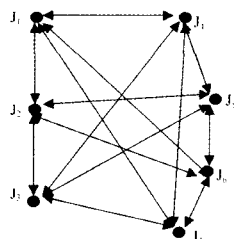


图 2 控制网示意图

拟在沿着高速公路方向每隔  $15\text{m}$  布置一条监测断面,沿着机场线隧道左右线前进方向每隔  $5\text{m}$  布置一个沉降观测点,采用全站仪交汇法进行观测。测点间距最小为  $5\text{m}$ ,布置八条监测断面,共计 112 个全站仪交汇法沉降观测点。

高速路路面照准标志的制作方法如下:将长约  $5\text{cm}$  的照准点钉入高速路路面,露出  $1\text{mm}$  左右作为全站仪的照准目标,然后周围缝隙浇筑锚固剂+高强度混凝土(C35),如图 3。

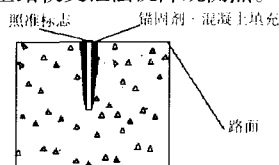


图 3 高速路监测点照准目标埋设示意图

### 4.2 精度分析

对于埋设好的 7 个控制点进行坐标测量,整个过程分为平面控制测量和水准测量两部分完成<sup>[2]</sup>。平面控制时用全站仪以边角网的形式进行施测,边长观测采用对向观测的形式,并实时加入气象改正,角度测量按国家三角网测量一等要求用全组合法观测。根据既有经验和实际情况边长测量精度要优于  $0.3\text{mm}$ ,方向精度优于  $1.0''$ 。整个测量过程要求采取强制对中措施,并自定义坐标系(如果需要和别的坐标系联系,可以采用导线法或 GPS 进行坐标联测),对观测量进行平差求得控制点的平面坐标<sup>[3,4]</sup>。验前估算预计平面控制测量精度优于  $0.6\text{mm}$ ,其中点位对中偏差是影响精度的主要因素,如果需要更高的精度还可以采取一系列特殊措施可使控制点的点位精度优于  $0.3\text{mm}$ ,但这将大大提高控制点的造价。按照规范布设二等水准,测得 7 个控制点的高程,高程精度优于  $0.1\text{mm}$ 。按照下式控制点的点位精度最终将优于:

$$m_k = (0.6^2 + 0.1^2)^{1/2} = 0.61\text{mm}$$

因此,总点位精度优于:

$$m_{\text{总}} = (m_k^2 + m_p^2)^{1/2} = (0.61^2 + 0.6^2)^{1/2} = 0.85\text{mm}$$

根据工程测量规范<sup>[5,6]</sup>和该工程的要求,该误差符合精度要求。

### 4.3 变形测量

拟将  $200\text{m}$  的监测路面沿车道及路边布设监测点,监测点的间隔根据变形影响危险程度而定,采用以下步骤进行点位监测:

1) 在高速路同侧架设两台全站仪,利用专业工业测量系统软件联机对两台全站仪进行精确互瞄,并对基准尺进行观测,以此进行整个系统的相对和绝对定向,从而建立全站仪测量坐标系。

2) 在控制点上安放同种型号的精密棱镜,将两台仪器分别对 7 个控制点进行三维坐标测量,这样就得到了控制点在测量坐标系下的坐标,将这 7 个控制点作为整个监测过程的公共点。

3) 对两台仪器间路段上的监测点进行测量,得到监测点在测量坐标系下的三维坐标。

4) 将两台仪器搬到下一路段重复上述过程,直至到完成所有点的测量。

5) 数据处理时利用公共点转换法,将控制点和监测点在测量坐标系下的坐标转换到统一的控制网坐标系下。

6) 对多周期测量数据进行统计分析,得出监测点的变形报告<sup>[8]</sup>。

## 5 结束语

通过对监测方案的分析,精度达到了工程的要求,该方案的实施能有效地掌握高速公路施工过程中路面及路基的变形情况,将监测结果用于反馈于设计、施工,为改进设计、控制施工进度提供依据,达到信息化施工的目的<sup>[9]</sup>,并为建设方提供及时可靠的数据与信息,评定地下施工对高速公路的影响,对及时判定高速公路运营安全提供依据。

### 参考文献

- [1] 李金海. 误差理论与测量不确定度 [M]. 北京:中国计量出版社, 2003.
- [2] 孔祥元, 梅是义. 控制测量学上册(第二版) [M]. 武汉:武汉大学出版社, 1996.
- [3] 周忠谟, 易杰军. GPS 卫星测量原理及其应用 [M]. 北京:测绘出版社, 1992.
- [4] 刘大杰, 施一民, 过静. 全球定位系统(GPS)的原理与数据处理(第一版) [M]. 上海:同济大学出版社, 1996.
- [5] 北京市城建勘察测绘院. 地下铁道、轻轨交通工程测量规范 GB50308-1999 [S]. 北京:中国计划出版社, 2000.
- [6] 中华人民共和国行业标准. 工程测量规范 GB50026-93 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 1993.
- [7] 余学祥, 等. GPS 变形监测的 SSDM 方法的理论与实践 [J]. 测绘科学, 2006, 31(2).
- [8] 陈永奇, 吴子安, 吴中如. 变形监测分析与预报 [M]. 北京:测绘出版社, 1998.
- [9] 朱建军, 贺跃光, 曾卓乔. 变形监测的理论与方法 [M]. 长沙:中南大学出版社, 2004.

### Application of total station intersection method in highway subsidence monitoring

**Abstract:** Total station intersection method in highway subsidence monitoring, introduced in this paper, has simply solved the special position survey where the surveyor could not enter such as highway and so on. By precision analysis, it is proved that this method has feasibility and validity, and can be used to provide experience for later similar surveying work.

**Key words:** total station intersection method; subsidence monitoring; precision analysis

CUI Xu-sheng<sup>①</sup>, ZHANG Bing<sup>②</sup>, PAN Xing<sup>②</sup>, YUAN De-bao<sup>②</sup>, ZHANG Wen-yan<sup>②</sup> (①Geo-information Technology & Science Department, Huaihai Institute of Technology, Liangyungang 222001, China; ②School of Resources & Safety Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)