

前方交会在建筑倾斜和水平位移监测中的应用探讨

凌 锋¹, 薛世新²

(¹ 南京市房屋安全鉴定处, 江苏 南京 210029; ² 扬州市邗江测量服务所, 江苏 扬州 225009)

摘 要 本文简单叙述了如何使用三种前方交会法测定房屋倾斜和水平位移时的成果计算和精度分析, 并对前方交会测点时的最佳交会图形进行了案例分析, 得出了一些实践结论。
关键词 前方交会 倾斜监测 精度分析 最佳交会图形
中图分类号: TU196 文献标识码: B 文章编号: 1672- 4097(2011) 02- 0038- 04

1 引 言

测定建筑物倾斜的方法有很多, 常用的传统方法主要有以下两类, 一是间接推定法, 主要是通过测量建筑物基础相对沉降的方法来确定建筑物的倾斜; 二是直接测定法, 主要有吊垂线法、经纬仪投点法。但以上传统的建筑倾斜监测方法存在一定的缺陷, 它们不能准确确定建筑结构的真实倾斜状态, 也无法为土木工程科研活动提供精确的分析数据。鉴于上述状况, 笔者提出了另外一种倾斜监测方法——前方交会法。该方法不仅可以精确测定建筑物主体结构的倾斜量及倾斜方向, 还可准确测定建筑物主体结构的平面位移, 为南京市相邻房安全性鉴定提供了精确的数据依据。

任何一种建筑倾斜和水平位移监测方法, 有其优点和缺点, 有其适用性和局限性。为此, 笔者将在本文探讨前方交会在建筑倾斜和水平位移监测中的应用, 研究几种前方交会的适用范围, 并以南京市姜家圩 68 号住宅楼为应用实例, 详细叙述前方交会在建筑倾斜和水平位移监测中的优化方法。

2 前方交会测定建筑物倾斜和水平位移的原理

在进行工程建设时, 基坑的开挖往往会给周围建筑物带来影响, 按照《南京市城市房屋安全管理条例》规定, 必须对受影响的房屋(相邻房)进行主体安全性鉴定, 我们可以利用测量手段确定相邻房主体特征部位的上部及下部的平面坐标, 利用其坐标差计算其倾斜方向及倾斜量, 然后在后续的各次倾斜监测过程中采用同样测量手段确定各监测点的坐标变化, 进而确定出各特征部位的倾斜变化方

向和倾斜变化量以及相邻房主体结构的位移量和位移方向。

3 前方交会方法和精度评定

在房屋安全监测中, 房屋倾斜监测通常采用角度前方交会法, 除此之外, 还有边长交会和边角交会, 但必须在有高精度测距仪或高精度全站仪的情况下才能进行。在精度要求较高的变形监测利用前方交会法进行房屋倾斜监测和水平位移监测时, 必须对交会图形进行优化设计, 选择最佳交会图形的测量基准点, 这样可提高变形监测的精度。

3.1 角度前方交会的原理

角度前方交会法是用全站仪或经纬仪在已知点 A、B 上测出 α 和 β 角, 计算待定点 P 的坐标, 如图 1。

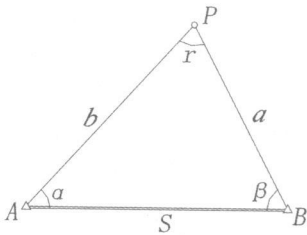


图 1 前方交会示意图

根据文献 1, 推导其点位坐标计算公式为:

$$x_P = \frac{x_A \operatorname{ctg} \beta + x_B \operatorname{ctg} \alpha - y_A + y_B}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta},$$
$$y_P = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta + y_B \operatorname{ctg} \alpha + x_A - x_B}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}$$

其点位坐标精度计算公式为:

$$m_P = \frac{S \cdot m \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}}{\sin^2 (\alpha + \beta)} = \frac{m \sqrt{a^2 + b^2}}{\sin r},$$

其中, m 为测角中误差。

根据点位坐标精度计算公式, 前方交会点的位置最宜于选在与已知点构成等腰三角形, 且交会角 $r > 90^\circ$ 的位置上, 最佳位置为 $r = 109^\circ 28' 16''$; 而当交会角小于 90° 时则以靠近已知点的位置为好, 而不宜选在与已知点构成等腰三角形的地方。

3.2 边长前方交会的原理

边长前方交会法是用全站仪或测距仪在已知点 $A、B$ 上测出 a 和 b 边, 计算待定点 P 的坐标, 如图 1。

根据文献 1, 推导其点位坐标计算公式为:

$$x_P = x_A + L(x_B - x_A) + H(y_B - y_A),$$
$$y_P = y_A + L(y_B - y_A) + H(x_A - x_B)$$

式中: $L = \frac{\sqrt{b^2 - f^2}}{2S}, H = \frac{b^2 + S^2 - a^2}{2S^2}, G = \frac{a^2 + S^2 - b^2}{2S^2}$

推导其点位精度计算公式为: $m_P = \frac{\sqrt{2}}{\sin r} m, m$ 为测边中误差。

从上式可以看出, 在两边交会中, 当测边精度相同时, 交会角 $r = 90^\circ$ 时, 待定点 P 的点位精度最高。即当待定点 P 位于已知边 AB 为直径的圆周上时, 待定点 P 的点位精度最高。

3.3 边角前方交会

边角前方交会其交会点的坐标计算及点位中误差根据测角和测边的不同而有相应的计算公式, 在有多余条件的情况下可根据“最小二乘法”原理进行平差计算和点位精度评定。

4 应用案例

4.1 监测目的

南京市姜家圩 68 号居民楼为六层砖混结构住宅楼建于上世纪七十年代末, 建筑面积近 3000 m^2 。基础为整板筏基, 埋深 1.0 m, 其下设 1.0 m 厚 1: 1 砂石垫层。

南京某房地产开发公司在姜家园 68 号住宅楼南侧进行基坑开挖, 基坑支护结构内边线距该住宅楼仅 5 m 左右, 区段开挖深度 6.4 m。施工对住宅楼的基础和主体结构有影响, 故在施工期间需对姜家园 68 号住宅楼进行定期的倾斜监测和水平位移监测。

4.2 监测方案

在被监测的姜家园 68 号住宅楼附近埋设好 6 个控制点和在 68 号住宅楼外墙上布设 6 对倾斜监测点(使用反射片) 定期进行坐标测量。根据坐标差计算其倾斜偏移量和倾斜率。

平面控制网用导线法对观测量进行平差求得控制点的平面坐标, 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《建筑变形测量规范》二级要求用方向法观测。在此基础上, 根据实际情况采用前方交会或极坐标法对各倾斜监测点进行观测和平差计算。

4.3 监测方法

(1) 使用陀螺仪确定北方向, 在现场建立全站仪自由测量坐标系。

(2) 使用高测量精度的 3D 全站仪拓普康 MS05, 测角精度 0.5 t , 高精度单棱镜测距精度 $(0.8 + 1\text{ppm} \times D)\text{mm}$, 高精度反射片(RS50N-R) 测距精度 $(0.5 + 1\text{ppm} \times D)\text{mm}$ 。

(3) 由于现场限制, 在姜家园 68 号住宅楼南侧墙上布设两对监测点使用前方交会法进行监测, 其他监测点使用极坐标法进行监测。

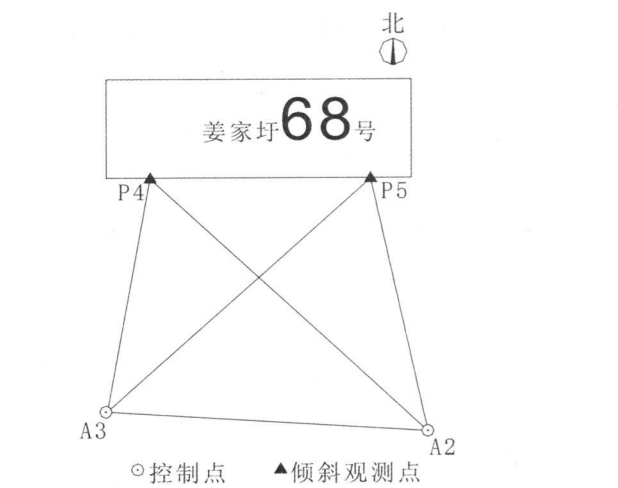


图2 姜家圩 68 号墙体倾斜监测点位示意图

(4) 为确保测量精度, 在整个测量过程中使用配套的全站仪、棱镜和反射片, 对每个测站采取强制对中措施。

(5) 每测站水平角观测 4 测回, 两次照准目标读数差不大于 $2''$, 半测回内归零差不大于 $3''$, 一测回内 2C 互差不大于 $5''$, 同一方向值各测回互差不大于 $3''$; 电磁波测距往返每边各测 4 测回取平均值, 一测回读数间较差不大于 1 mm, 单程测回间较差不大于 1.4 mm, 往返或时间段较差不大于 $(a + b \cdot D \cdot 10^{-6})\text{mm}$, $a、b$ 为仪器加常数和乘常数, D 为平均边长(单位为 km)。测站观测误差超限, 在本站发现后立即重测。

(6) 平面控制网平均边长不大于 300 m, 最弱边边长相对中误差不大于 1: 100 000; 导线测量最弱点点位中误差不大于 $\pm 4.2\text{mm}$, 平均边长不大于 200 m, 测角中误差不大于 $\pm 2''$, 导线全长相对闭合差不大于 1: 45 000。在初次平差时发现各误差超限, 发现后查明原因采取措施部分重测或全部重测。

4.4 前方交会图形优化

由于篇幅有限,本文仅对前方交会的图形优化进行阐述。如图所示,A2、A3 为控制点,P4、P5 为墙上倾斜监测点。以下将使用武汉测绘科技大学研制的科傻(COSA)平差软件对野外采集的数据进行平差计算和精度评估,对图形和处理方法进行

优化。

4.4.1 角度前方交会的平差成果和精度评估

我们测量角度 $\angle A_2$ 、 $\angle A_3$ 和边长 $A_2 A_3$,加上已知 A_2 和 A_3 的点位坐标,形成一组测角前方交会的数 据,经软件平差得出 P_4 和 P_5 的上下点位坐标和点位的精度评估如下表:

表 1 坐标和点位精度成果

点名	点号	坐标(米)		点位误差(厘米)		
		X	Y	M _x	M _y	M _p
P4S	P4 上点	1072. 8842	932. 8124	0. 05	0. 03	0. 06
P4X	P4 下点	1072. 8924	932. 8019	0. 05	0. 03	0. 06
P5S	P5 上点	1071. 9092	973. 0766	0. 05	0. 02	0. 06
P5X	P5 下点	1071. 9201	973. 0760	0. 05	0. 02	0. 06

最弱边边长为 A_3-P_4 ,相对中误差 $M_s / S=1/ 139\,000$ 。

4.4.2 边长前方交会的平差成果和精度评估

我们测量边长 $A_2 A_3$ 、 $A_2 P_4$ 、 $A_3 P_4$ 、 A_2

P_5 、 $A_3 P_5$,加上已知 A_2 和 A_3 的点位坐标,形成一组测边前方交会的数 据,经软件平差得出 P_4 和 P_5 的上下点位坐标和点位的精度评估如下表:

表 2 坐标和点位精度成果

点名	点号	坐标(米)		点位误差(厘米)		
		X	Y	M _x	M _y	M _p
P4S	P4 上点	1072. 8850	932. 8129	0. 02	0. 06	0. 06
P4X	P4 下点	1072. 8930	932. 8025	0. 02	0. 06	0. 06
P5S	P5 上点	1071. 9087	973. 0773	0. 02	0. 06	0. 06
P5X	P5 下点	1071. 9195	973. 0767	0. 02	0. 06	0. 06

最弱边边长为 A_3-P_4 ,相对中误差 $M_s / S=1/ 276\,000$ 。

4.4.3 边角前方交会的平差成果和精度评估

我们把以上测量角度和边长组合起来,加上已

知 A_2 和 A_3 的点位坐标,形成一组边角前方交会的数 据,经软件平差得出 P_4 和 P_5 的上下点位坐标和点位的精度评估如下表:

表 3 坐标和点位精度成果

点名	点号	坐标(米)		点位误差(厘米)		
		X	Y	M _x	M _y	M _p
P4S	P4 上点	1072. 8848	932. 8127	0. 02	0. 02	0. 02
P4X	P4 下点	1072. 8926	932. 8020	0. 02	0. 02	0. 02
P5S	P5 上点	1071. 9090	973. 0770	0. 02	0. 02	0. 02
P5X	P5 下点	1071. 9197	973. 0763	0. 02	0. 02	0. 02

最弱边边长为 A_3-P_4 ,相对中误差 $M_s / S=1/ 415\,000$ 。

4.4.4 综合评估和选择

从以上三种前方交会的平差结果我们不难看出,最弱边边长相对中误差均小于 $1: 100\,000$,符合《变形测量规范》要求的二级平面控制网精度要求。

在本次前方交会角度小于 60° 的情况下,南北

方向的坐标分量误差最大为测角前方交会,其值为 $0. 05\text{ cm}$;东西方向的坐标分量误差最大为测边前方交会,其值为 $0. 06\text{ cm}$;而边角前方交会能克服其他两种方法的缺点,南北和东西方向的点位中误差精度均有所提高,点位误差分别为最小 $0. 02\text{ cm}$ 和 $0. 02\text{ cm}$,矢量坐标误差也为最小 $0. 02\text{ cm}$ 。

通过以上比较,我们可以认为用边角前方交会

能在本次倾斜观测和水平点位位移监测中取得更好的精度成果。

5 结束语

通过以上分析及对倾斜和水平位移监测点的具体交会情况, 可得出如下几点看法:

- (1) 用角度前方交会法对倾斜监测和水平位移监测点进行监测时, 对交会图形进行优化设计时, 宜选择交会角在 109° 附近且观测角度差别不大的基准点, 能得到较高的交会点点位精度。
- (2) 用边长前方交会法对倾斜监测和水平位移监测点进行监测时, 宜选择交会角在 90° 附近的基

准点, 能得到较高的交会点点位精度。
(3) 在由于现场条件有限导致交会图形不佳, 在有高精度全站仪时, 利用边角交会来进行变形点监测, 测点的观测不仅速度快而且精度高, 且受交会图形影响较小。

参考文献

- 1 武汉测绘科技大学《测量学》编写组. 测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 1993
- 2 中华人民共和国建设部. JGJ 8-2007 建筑变形测量规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007

Discussion on The Application of Forward Intersection Method in Building Inclination Measurement and Horizontal Displacement Measurement

LING Feng¹, XUE Shi-xing²

(¹ Nanjing Building safety appraisal Department, Nanjing Jiangsu 210029, China;
² Hanjiang Surveying Office, Yangzhou Jiangsu 225009, China)

Abstract The paper briefly introduces the calculation on data and the accuracy evaluation about how to use three different kinds of the forward intersection method to survey building inclination and horizontal displacement, and uses an example to discuss the optimum intersection figure of deformation observation points by forward intersection method. In the end, the paper obtains some practical conclusions.
Key words forward intersection method; inclination measurement; accuracy evaluation; the optimum intersection figure

(上接第 37 页)

3 结 论

从各项测试结果表明, MS05 针对反射片测量精度完全能达到标称的 0.5 mm+ 1 ppm 精度指标。MS05 两次设站对点交会测量精度测试结果表明其交会测量精度可到 1/100 000, 与其标称的 0.5" 测角精度吻合。在工业测量、设备安装、变形监测等要求达到亚毫米测量精度的测量工程中 具有

很强的实际应用价值。

参考文献

- 1 黄桂平, 李广云, 赵其印等. 经纬仪工业测量系统定向及单点解算[J]. 测绘学院学报, 2001(2): 17- 19
- 2 黄桂平. 多台电子经纬仪 / 全站仪构成混合测量系统的研究与开发[D]. 解放军信息工程大学测绘学院, 1999

Characteristic Explanation and Accuracy Test for Total Station of Topcon MS05 Series

JIN Xu-yang

(Nanjing Dongtuo Surveying and Mapping Ltd. Nanjing Jiangsu 210009, China)

Abstract Topcon's brand new range of MS05 Measuring Stations are the high precision robotic total stations that you need for critical job site applications such as high precision positioning or construction and 3D industrial measurement. The MS05 offers a incredible 0.5" angular accuracy. In addition, the sensor is able to measure reflective tape targets with a precision of 0.5mm (+ 1ppm), to standard prisms with a precision of 0.8mm (+ 1ppm), and to non prism target with a precision of 0.5mm (+ 1ppm). The accuracy indicators of MS05 are quite different from general total station. In particular, the equipment on the reflective tape and non- prism measurement accuracy is much higher than other same level of devices. In view of this, it presents the basic characteristics of the MS05 total station, and a large number of tests carried out on its nominal accuracy of the test.
Key words total station; 3D industrial measurement; coordinate transformation; RMS error