

JSCORS 在古城墙保护性监测中的应用与分析

朱明晨¹, 张兵², 胡伍生¹

(¹ 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; ² 江苏沿江高速公路有限公司, 江苏 常熟 215500)

摘要 本文讨论了 JSCORS 应用于古城墙保护性观测的基本情况, 简要说明了 JSCORS 的一些使用方法、技巧, 并讨论了在类似于古城墙的线状工程中对 JSCORS 所测得的数据的内业处理方法。同时, 还列举了 JSCORS 运用于工程测量中的一些优缺点, 并介绍了笔者的一些心得体会。

关键词 JSCORS 保护性监测 投影 坐标反算

中图分类号: P228.4

文献标识码: B

文章编号: 1672-4097(2011)01-0034-03

1 引言

南京市明城墙有着 600 多年的历史, 长约 31 km, 分布在南京市主城区的周围。因为时代久远、历经战乱, 该城墙的有些部分存在安全隐患, 需要进行保护性的监测。由于城墙本身的建筑性质和文物保护单位对保护测量的要求, 导致传统测量方法很难准确、快速、方便地反映其稳定性, 那么采用何种方法能够高效、全面、保质保量地对其进行保护性监测成为了一个核心的问题。

2 JSCORS 相关精度实验

JSCORS 采用 Leica 的主辅站技术 MAC。MAC 技术使用的是单差散射和非散射相位改正数形成压缩的差分信息。从连续运行参考站传输数据到辅助参考站, 系统首先估计参考站的双差模糊度, 计算主参考站和辅参考站间的单差空间相关误差。流动站按自定义控件相关误差区域模型计算本站与各个参考站的空间相关误差, 然后系统改正流动站的相位观测值并将高精度的差分信号发送给流动站, 以此得到高精度的定位坐标。

JSCORS 的实时水平定位精度可以达到厘米级, 事后精密定位可以达到毫米级。那么, 在观测环境良好, 卫星信号稳定的观测条件下, JSCORS 的水平定位精度能否达到对城墙的保护性观测的精度要求呢? 为此笔者做了以下试验:

在交通学院楼顶上布设了两个控制点 A、B, 并用小钢尺精确量取两点间的距离 d_0 为 4.146 m (因为距离很短, 可以近似认为钢尺量距为真值)。然后分别用三脚架和基座在两个控制点上架设仪器, 测量两控制点的坐标, 每个点测量 5 分钟, 各记录观测数据 10 次, 具体数据如表 1:

表 1 试验数据(单位: m)

X		Y	
X	Y	X	Y
3548240.411	495393.203	3548241.427	495389.173
3548240.424	495393.195	3548241.431	495389.172
3548240.416	495393.197	3548241.427	495389.171
3548240.417	495393.200	3548241.423	495389.170
3548240.415	495393.199	3548241.424	495389.171
3548240.417	495393.198	3548241.428	495389.173
3548240.413	495393.199	3548241.425	495389.174
3548240.415	495393.197	3548241.428	495389.172
3548240.414	495393.199	3548241.429	495389.173
3548240.417	495393.201	3548241.427	495389.172

从表 1 数据可以看出, 在良好的观测环境下, JSCORS 观测结果稳定。将以上两组数据分别取平均值得: 控制点 A₁ 平面坐标为: (3548240.4159, 495393.1988); 控制点 B₁ 的平面坐标为(3548241.4268, 495389.1733)。然后利用距离公式:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

求得两控制点的测量距离 d 为: 4.1505 m, 那么距离测量误差 $\Delta = d_0 - d = 4.5 \text{ mm}$ 。

由以上数据分析可知, 在观测条件良好的情况下, JSCORS 的基本可以满足古城墙的保护性观测的要求。

3 工程实例

为进一步讨论 JSCORS 系统在古城墙保护性观测中的可行性, 我们在实地选取一段古城墙做进一步测试。该段古城墙, 长约 2 km, 高约 20 m; 在城墙顶部布设有 6 个观测点, 且城墙中间封闭, 只能从两端登上。由于基准点只能布设在城墙下面, 从而导致了传统的全站仪的测量方法施测起来相当

困难;而使用 JSCORS 系统不需布设基准点,只需一台 GPS 接收差分信息就能得到较高精度的平面位置坐标。

3.1 工程实例测试结果

为进行该测试,笔者从 2010 年 4 月开始对该城墙使用 JSCORS 进行保护性观测,每次观测分上午和下午两个时段对该 6 个观测点进行数据采集,每个点采集 15 min,每个月观测一次,由各期的观测数据来分析该古城墙的稳定性,截至目前已进行了 5 次观测,时间跨度为 4 个月。所布设 A、B、C、D、E、F 六个观测点分布如图 1 所示。

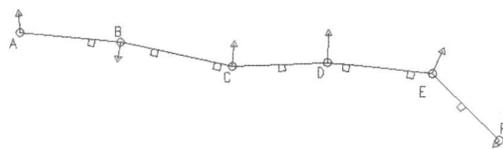


图 1 城墙顶部水平位移点分布图

外业采集数据之后,将两个时段的数据综合考虑,使用 2 倍中误差法则剔除误差较大的观测值后取加权平均值,即可得到以上六个点各期的平面坐标,具体数据如表 2:

表 2 各期观测平面坐标(单位:m)

点号 观测次别		A	B	C	D	E	F
1	x	3549024.7691	3549001.7976	3548943.6781	3548953.0271	3548926.6768	3548765.3476
	y	496108.5802	496359.5188	496638.3881	496874.3670	497132.7407	497297.9265
2	x	3549024.7773	3549001.7989	3548943.6841	3548953.0267	3548926.6885	3548765.3386
	y	496108.5797	496359.5157	496638.3805	496874.3734	497132.7367	497297.9264
3	x	3549024.7760	3549001.7973	3548943.6777	3548953.0266	3548926.6760	3548765.3391
	y	496108.5820	496359.5133	496638.3871	496874.3709	497132.7381	497297.9220
4	x	3549024.7740	3549001.7931	3548943.6830	3548953.0315	3548926.6783	3548765.3440
	y	496108.5820	496359.5193	496638.3860	496874.3729	497132.7288	497297.9260
5	x	3549024.7738	3549001.7936	3548943.6836	3548953.0340	3548926.6840	3548765.3517
	y	496108.5831	496359.5215	496638.3848	496874.3740	497132.7398	497297.9208

从表 2 数据可以看出,观测时间跨度有 4 个月,各点的坐标值变化不大。对于各点的水平位移值,需要进行数据处理,水平位移结果的详细分析见下节“数据处理方法”。

3.2 JSCORS 观测经验

通过几个月的观测,我们积累了一些 JSCORS 的观测经验:

(1) JSCORS 受电离层湿分量影响较大。在多云及下雨的天气使用 JSCORS 时往往误差较大,甚至不能得到固定解,而且在此之中可能存在一个阈值,当大气中水汽含量大于该阈值时,观测结果往往较差,当小于该阈值时,很快就能得到高精度的结果。

(2) 观测时段对于 JSCORS 也有很大影响,下午 2 点到下午 4 点这两个小时,在该古城墙所在地区,GPS 卫星的图形强度较差,由此对 JSCORS 的观测数据也有一定的影响,所以笔者建议在使用 JSCORS 进行观测时尽量避开该时段。

(3) JSCORS 受观测环境影响也比较明显,在有遮挡或者卫星高度角较高的地方,往往不能得到精确的数据,即使能够锁定足够数量的卫星,也很难收敛得到固定解。

(4) 由于施工有难度以及对保护古城墙原貌的考虑,有关部门未在城墙上建造观测墩,而是使用三脚架和基座来精确对中;所以在观测的过程中,注意留意三脚架摆放位置和光学对点器的位置,保证每期观测都以同一位置来整平对中,这样两期观测数据相减就能消除很多(诸如对点器的)误差,从而可以通过两期数据的差值来反映城墙的稳定性。

此次使用 JSCORS 系统对该古城墙进行稳定性观测,也是测试该系统在变形分析中的可行性。在采集数据的过程中,应尽量注意以上提到的细节以提高数据的质量,从而方便内业的数据处理。

4 数据处理方法

每期观测所得到的坐标值与首次观测所得的坐标值做比较可以得到一个位移向量,但城墙保护部门所关心的位移方向并非完全是该位移向量的方向:当城墙呈直线走向时,其所关心的位移方向是垂直于城墙的方向;在城墙的拐弯处,其所关心的方向是城墙转角平分线方向的位移方向(见图 1)。因此,在计算得到位移向量以后,要将该向量投影到城墙保护部门所关心的方向上去。

现以 E 号点为例给出具体投影转换公式。点 D、E、F 的首次观测值坐标分别为: (x^D, y^D) , (x^E, y^E) , (x^F, y^F) ; 则可按以下步骤运用坐标反算, 求出投影的方向, 进而求出投影转换后的位移量。

首先求出 ED 段的方位角:

$$\alpha_{ED} = \arctan \frac{y^E - y^D}{x^E - x^D};$$

其次求出 EF 段的方位角:

$$\alpha_{EF} = \arctan \frac{y^E - y^F}{x^E - x^F};$$

那么, $\angle DEF = \alpha_{ED} - \alpha_{EF}$;

由此可以求出 $\angle DEF$ 角平分线的方位角 α 为:

$$\alpha_{EF} + \frac{\angle DEF}{2} \text{ 或 } \alpha_{ED} + \frac{\angle DEF}{2} - 180^\circ;$$

设本期点 E 观测坐标为 (x, y) , 则位移向量的坐标方位角为:

$$\alpha_E = \arctan \frac{y^E - y}{x^E - x};$$

那么, 可以得出位移向量在城墙转角平分线方向上的投影长度 d 的绝对值为:

$$d = \left| \sqrt{(x - x^E)^2 + (y - y^E)^2} \sin(\alpha_E - \alpha) \right|;$$

规定: 当位移向量方向城墙外侧时, d 取正; 当向城墙内侧时, d 取负。

这样便提取出位移向量在城墙保护部门的投影长度, 通过多期的对比, 便能分析出城墙的稳定性。图 1 箭头所示向量即是第 5 次观测数据经投影处理后的城墙顶部相对于首次观测的水平位移量。

表 3 为 5 期试验的水平位移结果。

表 3 各次位移向量投影到关注方向后的位移值(单位: mm)

点号 观测次别	A	B	C	D	E	F
1	0	0	0	0	0	0
2	7.4	0.5	5.4	0.2	8.3	- 6.5
3	6.4	- 1.4	- 0.4	0.1	- 2.2	- 9.7

续表

点号 观测次别	A	B	C	D	E	F
4	5.3	- 4.8	4.5	4.2	4.1	- 3.1
5	4.6	- 3.9	5.3	7.0	5.9	- 1.3

根据以上数据可以发现, 大部分数据能够反映出城墙顶部水平位移的变化趋势。所以可知使用 JSCORS 技术基本上可以反映出古城墙的稳定性, 如果需要进一步的定量分析, 该方法的精度有待进一步的提高。因第三次观测时天气阴雨, 所以导致 C、E、F 三点的测误差较大, 所以此方法受天气影响也很大。

5 结论

(1) JSCORS 作为一种新技术, 在建筑物保护性监测中有着广泛的应用前景。在天气好, 环境开阔, 保证测量时间的情况下, 所得测量成果可以满足对建筑物的定性分析的精度要求, 但若要对建筑物进行定量的变形分析, 其精度有待提高;

(2) 在对类似于城墙的现状建筑物进行稳定性分析时, 可以利用坐标反算求出所关心位移方向的方位角, 进而向该方向投影从而求的所关心的位移量。

参考文献

- 1 张正禄, 等. 工程测量学[M]. 武汉大学出版社, 2005
- 2 柏柳, 肖鸾, 胡支健. CORS 的精度及其稳定性研究[J]. 河海理工大学学报, 2005, 24
- 3 刘经南, 刘晖. 连续运行卫星定位服务系统—城市空间数据的基础设施[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003 (3): 9-14
- 4 丁文利, 王怀念, 黄良. 动态 GPS(RTK) 测量的精度分析[J]. 地矿测绘, 2004(2): 18-19
- 5 陈俊勇, 刘经南. 广域差分 GPS 定位理论与应用论文集[C]. 北京: 测绘出版社, 1998
- 6 黄丁法, 熊永良, 袁林果. 全球定位系统(GPS)—理论与实践[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2006

Analysis and Application of JSCORS in the Ancient City Wall Protective Monitoring

ZHU Ming-cheng¹, ZHANG Bing², HU Wu-sheng¹

(¹ School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China;

² Jiangsu Yanjiang Express way Co. LTD, Changshu Jiangsu 215500, China)

Abstract This paper discussed the application of JSCORS in the ancient city wall protection, described some methods and techniques about JSCORS briefly. It also discussed the processing method of measured data such as linear projects of ancient city wall by JSCORS. At last, some advantages and disadvantages about the application of JSCORS in engineering as well as the author's feeling and experience were put forward.

Key words JSCORS; protective monitor; projection; inverse coordinate