

# GPS 技术在高层建筑物轴线监测中的应用\*

刘 星, 姚 刚, 王吉明

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**为了满足现代施工需求,本文结合 GPS 技术对重庆大学教学主楼轴线(垂直度)进行监测的工程实例,对这项技术的应用情况进行阐述。结果表明,在高层建筑施工中,应用 GPS 进行轴线监测是一种行之有效的方法。

**关键词:**高层建筑物; GPS 技术; 垂直度; 轴线监测

**中图分类号:**P228.4; TU198 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)04-0129-04

## Application of GPS Technology in High-rise Building Axis Monitoring

LIU - Xing, YAO - Gang, WANG Ji - ming

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** In order to meet the modern construction demand, in this paper, with the project where the GPS technology used to monitor the axis of main teaching building of Chongqing University (verticality), the application of this technology is expounded. The result indicates, in high-rise construction, it is a kind of effective method to use GPS to control the axis.

**Keywords:** High-rise building; GPS technology; Vertical degree; axis monitoring

在高层建筑施工中,轴线和垂直度控制是施工质量控制的重点之一<sup>[1~6]</sup>。目前,高层建筑施工平面基准传递的常用方法有:吊锤法、经纬仪交会法、激光铅直仪投点法和精密天顶基准法等。重庆大学教学主楼工程为高层建筑,吊锤法基准传递受风力和建筑物自振等因素的干扰,其精确度受到影响;经纬仪交会法因自下而上逐层进行,存在误差积累问题;激光铅直仪投点法随建筑物高度的增加,光斑和光斑轨迹所形成的近似圆也逐步增大,确认其垂心可靠性变差;精密天顶基准法对施工环境的光线、通视等的要求高。要保证其测量放样的精确度或施工环境的要求,采用上述方法,需要采用一些附加措施,这无疑会对整个工程的施工进度、质量、成本等造成影响。

GPS 技术作为一种全新的定位手段,在工程控制测量中已逐步得到使用,其技术的先进性、优越性已为众多的工程技术人员所认同<sup>[1~3,6]</sup>。GPS 定位技术精度高、速度快,全天候,无需通视,点位不受限制,并且误差不积累,可同时提供平面和高程的三维位置信息。因此,用 GPS 技术对建筑物轴线进行控制,将能更好地满足高层及超高层建筑工程的施工需要。

### 1 工程概况

重庆大学主教学楼位于重庆大学 A 区校园中部,建筑面积 70 032 m<sup>2</sup>,占地面积 12 000 m<sup>2</sup>,其中主楼平面为 38.20 m × 41.10 m = 1 570 m<sup>2</sup>,主楼高 +121.30 m;裙楼一 +20.30 m;裙楼二 +23.50 m,地上共 29 层(图 1)。该教学楼属于永久性高层建筑物。根据本工程技术特点,为对建筑物轴线进行监测,首先在施工区域外选择多个控制点,以构成 GPS 基准控制网,作为重庆大学教学主楼的轴线控制基准,

\* 收稿日期:2005-04-22

作者简介:刘 星(1963-),男,重庆人,讲师,主要从事工程测量研究。

称这些 GPS 基准控制点为外控点。在转换层建立轴线控制坐标系,对标准层开始楼层、标准层中间楼层、标准层结束楼层进行了三次轴线检测。

## 2 轴线控制坐标系的建立

### 2.1 外控点的建立

外控点作为建筑物的轴线控制的基准,对于平面控制而言,必要起算数据为 4 个,所以至少需要 2 个基准点。为了使每次检测施工放样轴线时有检核条件,所以应保证 3 个基准控制点。为了不影响施工进度,考虑夜间进行校核工作,而有些基准控制点夜间无法使用,基准点宜布设 4 个以上。

根据施工现场附近良好的地质条件,认为施工现场的围墙外是稳定的。GPS 基准控制网应该布设在围墙外,但也不必太远,以便于施测,同时,较小的网可能有更高的精度。外控点应该大致形成一个以主教学楼为中心的圆圈,不能偏于一侧,以保证良好的图形结构。同时,为了不受施工车辆的干扰,外控点均远离现场 100 m 以上。校园内绿化覆盖率达 80%,现场附近有不少高楼,外控点应远离大树和建筑物以避免较强的多路径效应。经过踏勘分析论证,我们布设了位于教学主楼附近的图书馆(GPS01)、外语学院大楼(GPS02)、印刷厂大楼(GPS03)、教师住宅(GPS04)、钟楼(GPS05)五个基准控制点(下称外控点),该五个外控点构成了图形条件好、可靠性高的 GPS 基准控制网(图 2)。图 2 中,5 个外控点中,除 GPS05 号位于喷水池边较为开阔的地面上外,GPS01、GPS02、GPS03、GPS04 四个点均位于楼顶上,楼房均是钢筋混凝土结构,比较坚固,非常稳定。其中 GPS05 号点距离施工区域最远,约 300 m。标石采用混凝土现场浇制,标石面 20 cm × 20 cm,露出地面或者楼顶 5 cm。标志采用 5~6 cm 长的刻有十字丝的钢筋头。所有点均可长期使用。

### 2.2 轴线控制坐标系的建立

在主楼转换层,施工单位提供了 A、B、C、D 四个内控点(图 3)。该四个内控点是用激光准直仪投影到转换层上,并做好墨线标志,用钓鱼线将内控点沿墨线标志交出内控点中心。以四个内控点坐标值的相对关系作为基准起算数据,建立轴线控制坐标系。并将五个外控点的坐标换算到该轴线控制坐标系中,从而统一了测量的基准。

$$\begin{pmatrix} A_p \\ B_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_0 \\ B_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \end{pmatrix}$$

式中: $A_p, B_p$  为 P 点在施工坐标系下的坐标; $A_0, B_0$  为测量坐标系的原点在施工坐标系下的坐标; $x_p, y_p$  为 P 点在测量坐标系下的坐标; $\alpha$  为施工坐标系和测量坐标系的旋转角。

### 2.3 首期 GPS 施测

2003 年 12 月 23 日进行了外控点与主楼轴线内控点的联测。此次观测,采用了 3 台 Trimble 4600 ls GPS 接收机与 4 台 Astech Promark2 接收机相结合,对施工方所提供的 4 个内控点与 4 个外围控制点进行了同步观测 140 min 的连续测量(图 4)。

在数据处理时,采用 Trimble 公司的随机解算软件 TGO1.62 对采样数据进行了处理。首先对外围控制点所形成的控制网进行数据处理,然后对外围控制点与主楼轴线内控点所形成联测网进行计算,求取外部基准网与内部控制点的坐标换算参数,从而建立了重庆大学主教学楼轴线控制坐标系(图 5)。

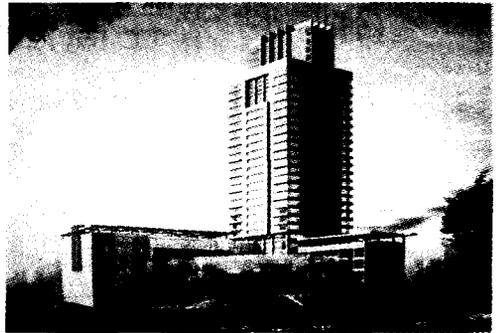


图 1 重庆大学主教学楼效果图

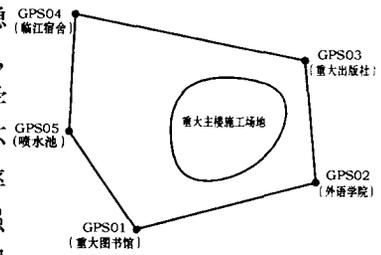


图 2 重庆大学教学主楼 GPS 外控点分布略图

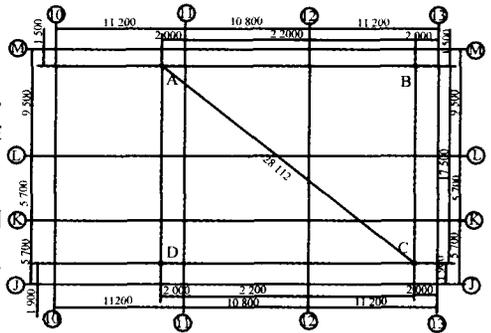


图 3 重庆大学教学主楼 GPS 检测内控点图

### 3 主楼轴线 GPS 检测报告

#### 3.1 施测情况

2003年12月至2004年6月,在建筑施工主体工程上升到标准层开始楼层(39.60 m)、标准层中间楼层(72.50 m)和标准层结束楼层(99.05 m)时共实施了3次主楼轴线GPS监控工作。施工单位用激光垂准仪把内控点A、B、C、D投影到本层楼面上,并作好墨线标志。观测时,用钓鱼线将内控点沿墨线标志交出内控点中心,并用专用的玻璃板(板上有十字丝分划线)确定其投影中心。为了更好地分析比较内控点成果的精度,我们采用3台Trimble4600型GPS接收机和4台Ashtech Promark2型GPS接收机,对内控点和外控点组成的网进行观测(静态定位模式)。同步2个时段的观测,各观测时段的时间长度为45~60 min不等,数据采样间隔为10 s,卫星高度角限值为15°,卫星分布几何精度因子PDOP不大于6,各点平均重复设站数大于2次。全网设计独立基线10条,构成独立异步环6个(图2)。观测过程中,严格按照规范执行要求进行仪器的置平、对中和丈量天线高。

观测数据采用随机软件GPSurvey进行基线解算,外业工作结束后及时下载数据,进行基线解算,对构成的同步环进行检验。在基线解算过程中,对少量数据进行了人工干预:涉及残差较大和周跳较多的观测数据,对其卫星进行删除或截取有效时段,以保证基线解算的正确性和可靠性。

#### 3.2 数据对比分析

在施工的不同阶段分别进行了第一、二、三期观测,并将各期观测结果转换到统一的施工坐标系下,与设计值比较(表1)。

表1 轴线坐标计算分析表

观测次数	点号	北坐标(X)		东坐标(Y)		高程(H)
		观测值	与设计值之差	观测值	与设计值之差	
一期	GPS01	832.596		919.091		269.635
	GPS02	888.134		1 061.844		264.151
	GPS03	980.345		1 104.477		271.922
	GPS04	1 100.679		894.227		270.6
	A	1 017.501	0.001	1 000.004	0.004	288.233
	B	1 017.5	0	1 021.998	-0.002	288.239
	C	1 000.001	0.001	1 022.001	0.001	288.234
	D	999.997	-0.003	999.997	-0.003	288.232
二期	GPS01	832.594		919.098		269.635
	GPS02	888.136		1 061.843		264.151
	GPS03	980.338		1 104.473		271.922
	GPS04	1 100.677		894.225		270.6
	A	1 017.489	-0.011	1 000	0	323.247
	B	1 017.49	-0.01	1 021.994	-0.006	323.244
	C	999.991	-0.009	1 021.994	-0.006	323.251
	D	999.997	-0.003	999.995	-0.005	323.254
三期	GPS02	888.109		1 061.865		264.151
	B	1 017.504	0.004	1 022.003	0.003	353.075
	C	999.998	-0.002	1 022	0	353.078
	D	999.998	-0.002	999.997	-0.003	353.078

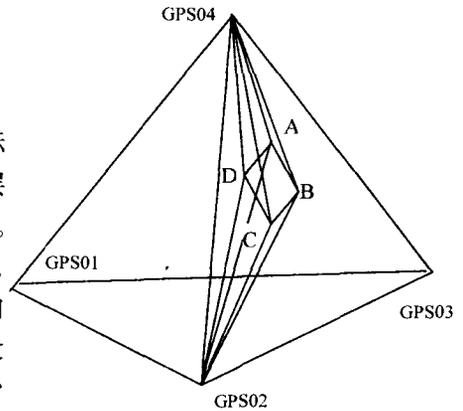


图4 外控点与内控点联系测量示意图

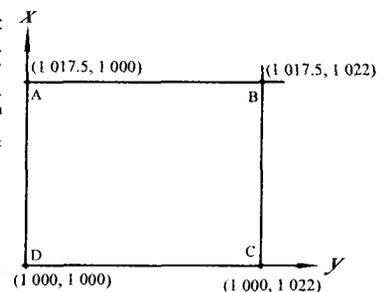


图5 重大主楼轴线控制坐标系

按重力矩法,可计算一、二、三期建筑物实际形心与设计形心的坐标差:

$$\Delta x = \sum \Delta x_i' / 4 \text{ (南北方向)}$$

$$\Delta y = \sum \Delta y_i' / 4 \text{ (东西方向)}$$

则总体偏差为:

$$s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

计算垂直度:

$$K = s/h$$

按照上述公式,计算垂直度得表2。

表2 垂直度计算分析表

检测次数	总体偏差/mm	施工标高/m	垂直度
一期	2.80	39.60	1/14 000
二期	9.28	72.50	1/7 800
三期	3.40	99.05	1/29 000

#### 4 结束语

1) 根据目前对高(超高)层建筑物垂直度控制的一般规定<sup>[4]</sup>:垂直度  $K \leq H/1\ 000 \sim H/3\ 000$ ,总偏差  $s \leq 50\ \text{mm}$ 。表2数值小于这个限差要求。因此,应用GPS静态相对定位技术,能进行高层建筑物轴线监控,并能够达到传统激光准直法轴线放样精度,进行建筑物垂直度的检测。

2) 通过本次实践表明,应用GPS技术实施高层建筑的轴线控制具有常规方法无法比拟的优越性,并可避免分阶段进行轴线传递而引起的误差积累。基于GPS技术的外控法对建筑物的轴线进行检测,受施工干扰影响小的特点,同时GPS定位的高精度、快速度、工作方式灵活等特性会越来越明显,是一种值得推广应用的新方法。

#### 参考文献:

- [1] 徐绍铨. GPS测量原理及应用[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1998.
- [2] 姚刚,刘星,张希黔. 高层建筑施工GPS测量的技术设计与应用[J]. 四川建筑科学研究,2004,(1):105-107.
- [3] 王惠南. GPS导航原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [4] 张希黔,黄声享,姚刚. GPS在建筑施工中的应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [5] 张宏胜. GPS在超高层建筑施工中应用探讨[J]. 重庆建筑大学学报,2000,22(3):122-124.
- [6] 姚刚. GPS在土木工程施工领域的应用现状与展望[J]. 施工技术,2002,31(2):48-50.
- [7] 姚刚. 高层建筑施工GPS测量的误差分析[J]. 建筑技术开发,2002,29(10):96-98.