

倾斜超高层建筑室内平面坐标传递精度研究

莫南明¹, 过静珺²

(1. 昆明大学 艺术设计与建筑工程系, 云南 昆明 650118; 2. 清华大学 土木水利学院, 北京 100084)

摘要:超高层建筑在施工放样工作中分析轴线控制点平面坐标的精度。对于倾斜超高层建筑高精度的控制点坐标传递,采用全站仪与激光准直仪相结合,在楼层上多次分段转折投测,逐段接力将控制点坐标传递到顶层控制点。在各楼层控制点上用全站仪测量出控制点到轴线控制点之间的边长,计算轴线控制点的坐标,并对其坐标精度进行分析。获得超高层建筑施工放样从控制点到轴线控制点多次分段传递平面坐标的集成方法和采用先进测量设备提高轴线控制点坐标的精度集成方法。为选择不同精度的全站仪和激光准直仪快速、准确分析控制点的误差,为优化施工放样方案、指导超高层建筑或倾斜超高层建筑在楼层上施工放样和变形监测工作提供了一种全面、系统方法。

关键词:施工放样; 点位误差; 全站仪; 激光准直仪

中图分类号: TU196+.1 文献标志码: A 文章编号: 1006-7329(2008)04-0091-05

A Transfer Precision Study of Interior Horizontal Coordinates of Oblique Super High-Rise Buildings

MO Nan-ming, GUO Jing-jun

(1. Artistic Design and Construction Engineering Department of Kunming University, Kunming 650118, China; 2. School of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084, China)

Abstract: When staking out super high-rise building construction, it is important to analyze the horizontal coordinate precision of the control point of the axis. For coordinate transfer of control points of oblique super high-rise buildings with high accuracy and precision, methods combining the electronic tachometer with laser aligner were adopted. The measurement sections were transited by sections many times on the floors. The coordinates of control points of lower floors gradually were transferred to the top floor by relays. We then could use the electronic tachometer to measure the linear distance between the control points of each floor and the control point of the axis, calculate the coordinates of the axis control point, and analyze the precision of the coordinates. Thus, integrated methods of transferring horizontal coordinates of super high-rise buildings setting out of axis repeatedly can be taken from the control points to the monitoring points section by section. The precision integrated methods improve the coordinates of the control point of the axis by adopting advanced measurement equipment. We recommend choosing an electronic tachometer with different precision and a laser aligner to analyze the control point error quickly and accurately, provide a complete and systematic method for optimizing the staking-out scheme in construction, and guide the staking-out work and deformation monitoring work of super high-rise buildings or oblique super high-rise building construction.

Key words: construction staking-out; position error; electronic tachometer; laser aligner

随着国家经济建设的高速发展,超高层建筑越来越多。在超高层建筑建设中,为保证建筑物(构筑物)的结构安全、平面几何尺寸的精确定位、施工安全顺利,其建筑物轴线(垂直度)传递的监控技术非常重要。目前,在超高层建筑轴线传递(垂直度)的常规方法

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。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、要求通视等。

绝大多数超高层建筑垂直耸立,然而也有倾斜耸立的超高层建筑,如中央电视台新台址主楼建筑工程,其占地总面积 19.7 万 m^2 ,层数 54 层,高度 234 m,建筑面积 49.49 万 m^2 。主楼的两座塔楼双向内倾斜 6° ,在 163 m 以上由 L 形悬臂结构连为一体。大悬臂分别从两座塔楼在 37 层以上逐步悬伸出 70 多 m,在高空合龙,形成一个三维的环,大悬臂重量超过 1.4 万 t。两座斜塔的悬臂延伸过程中,前方没有着力点,斜塔钢梁承受的压力最大,风险也最大。央视新址建筑外表面的玻璃幕墙,由斜网状不规则钢结构的几何图案组成,具有独特的立面效果(图 1)。该工程造型独特,结构新颖,高新技术含量大,在国内外均属高、难、精、尖的特大建设项目。这给结构设计和施工人员带来巨大的挑战,如在施工方面倾斜高层钢结构的施工,最大的难题是随着施工步的推进已安装结构在不断地变形,对新装构件的安装位形有较大的影响。必须对结构构件的安装位形进行预测和预调,找到各阶段构件的安装位形,确定构件合理正确的加工尺寸和安装坐标,从而使得安装完成后结构的位形满足目标位形。其中钢结构施工的变形预调值包括构件的加工预调值和安装预调值。构件的加工预调值等于构件的加工长度与设计长度的差值,用来补偿施工过程中构件的轴向压缩或拉伸所产生的变形,其大小取决于竣工时构件的轴向应力水平。构件的安装预调值等于构件节点的安装坐标与设计坐标的差值,用来补偿施工过程中构件节点所产生的位移,其大小取决于竣工时节点相对安装位置的位移^[2]。

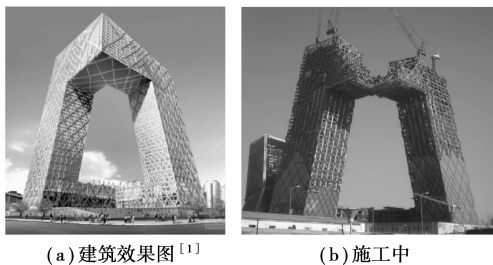


图 1 中央电视台新址主楼

中央电视台新台址主楼建筑工程结构复杂、倾斜、超高,在自重、风荷载、日照和温度等天气的影响下,钢结构构件在三维方向上不断变化,为保证结构定位形状满足设计要求,有必要寻求新的、有效的、便捷的建筑定位技术,以满足超高层建筑施工的需要,以保证整个工程的施工进度、质量。迫使我们必须打破常规方法,采用创新的施工测量技术,才能完成新结构形式的施工放样测量。为此必须研究和解决倾斜超高层建筑室内平面控制点和分析其点位的精度问题。

1 倾斜超高层建筑引测轴线控制点存在的问题

倾斜超高层建筑虽然具有独特的建筑艺术设计,但

给建筑物轴线控制点的坐标测量工作带来诸多困难:

(1)建筑物轴线控制点利用电梯井或楼梯井在竖直方向通视好的条件进行测量工作。由于超高层建筑因连续施工、高度高,为了施工安全和减少工作互相干扰,不能将电梯井或楼梯井用于测量,因而常在楼面上布置测量控制点和轴线控制点。然而建筑内各楼层柱梁交错,加之建筑倾斜,在若干层后垂直方向通视困难;

(2)超高层建筑高度很高,加之倾斜,激光准直仪一次投射难以到达顶层,要分段^[3]多次转移控制点;

(3)激光投射斑点的半径随距离的增加而增大^[3],在竖直方向高度较高,造成测量点位的误差增大;

(4)结构受力复杂,建筑的受力变形亦复杂,对于不同形式的结构,其变形预调值的设置方案不同。即使对于同一结构,由于施工方案和顺序的不同,其变形预调值的设置方案也不同,即变形预调值的设置与结构的形式及其施工方案存在着密切的相关性。施工中将顾及变形预调值的结构众多轴线控制点之坐标值高效、高精度放样,施工单位也存在较大困难;

(5)要提高工作效率,体现建筑物变形的同一性,但因控制点多,时间紧(一般 2 h 左右完成测量工作),特别是到施工后期,测量施工人员多,测量施工组织工作困难;

(6)利用现代常用高技术 GPS 全球定位系统在建筑物内测量轴线控制点的平面坐标从技术层面上测还没有解决^[3]。

对激光准直仪在超高层建筑的施工测量问题文献²虽早有研究,但结论却没有实例应用,没有公式推导,工程应用内容不全面。本文在分析激光准直仪误差因素的基础上,推导出严密的投测点位精度公式用于精度分析。且还在分析 GPS 技术、全站仪测量边长的各自技术优势、技术缺点和产生误差因素的基础上,推导投测控制点和轴线控制点点位精度公式,并且精度高,能满足轴线控制点的精度要求。

2 问题解决的途径

采取解决上述困难的办法是:在室外首级控制网采用 GPS 静态连续观测 48 h,得室外基准控制网点的坐标(图 2,GP1~GP6)和相应点位的精度后,从室外基准控制网上的控制点用高精度全站仪将坐标引测到室内首层控制点(图 3,TI-01~T1-06),再用激光准直仪分段在转移层(图 4(a)中第 10 层、第 37 层和第 49 层)向上投影,在每个转移层上用高精度全站仪测量各层转移控制点的边长,计算各点的坐标(图 4(b))及其相应点位精度,又在各转移层的控制点上分段向上投影,直至传递到顶层控制点^[4]。即用首层地面控制点 T1-01 和 T1-02 采用激光准直仪向上投测到第 10 层楼面控制点 T1-01 和 T1-02,再用全站仪测量 T1-01 至 T1-10-02、T1-02 至 T1-10-02 的

距离,即确定了转移控制点 T1-10-02 的坐标,且分析其点位精度。同样方法测量 T1-10-01 点和其他转移控制点的坐标,并分析其点位精度。其它投测楼层图此处从略。这样,一者投影激光斑点半径不大,传递的点位精度高;再者解决通视困难,满足超高层建筑,特别是倾斜建筑不能一次传递点位坐标到顶层的问题,三者测量施工人员在有限的时间(设计要求:2 h 左右完成测量工作)便于工作展开,各自完成小组的测量任务,使控制点测量工作能顺利到达最高层。

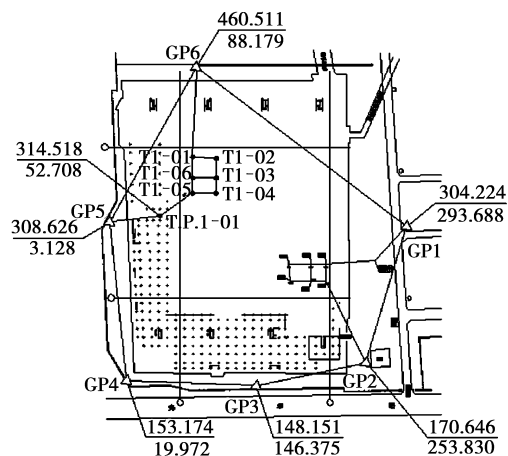


图 2 室外首级控制网

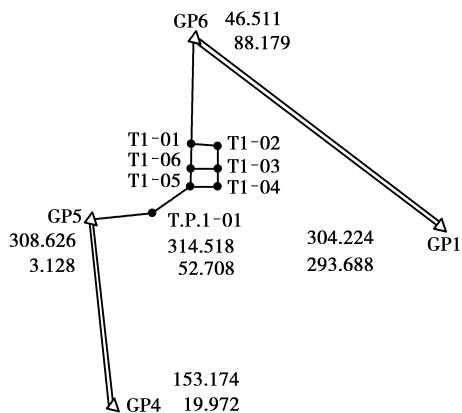
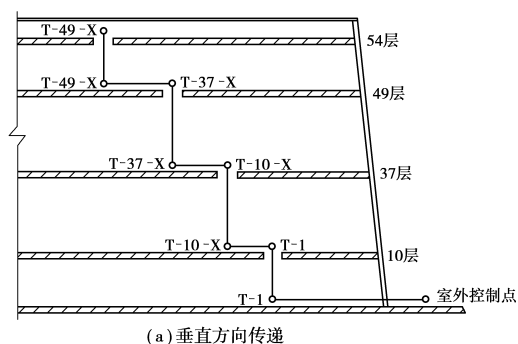
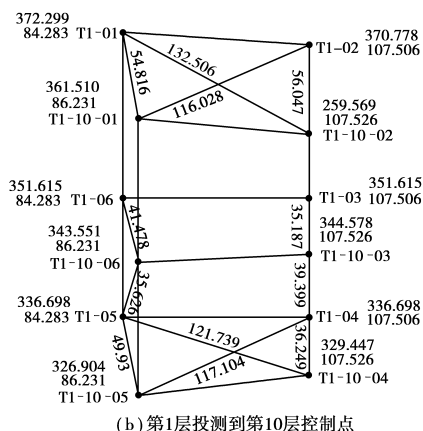


图 3 室内首层控制点

用各转移层控制点的坐标采用高精度全站仪测量各轴线控制点的坐标。如图 5 的第 37 层楼层轴线控制点布置图,在转移控制点 T1-37-01 至 T1-37-06 的点上,安置全站仪,再用全站仪测量各轴线控制点间的距离,如四个角上的轴线控制点的距离,即确定了轴线控制点的坐标,并分析其点位精度。其它轴线控制点测量图和其它楼层轴线控制点布置图不赘述。综上所述,虽然超高层建筑或倾斜超高层建筑室内平面坐标传递过程存在诸多困难,GPS 技术不能解决室内控制点和轴线控制点的坐标问题,而采用全站仪测量距离确定点的位置坐标,在顾及固定误差、测距误差、温度和气象等因素后,施加改正,减小全站仪测距的误差影响,使交会点的坐标精度更高。从而室外首级控制点采用 GPS 观测,室内首层采用全站仪引测,



(a)垂直方向传递



(b)第1层投测到第10层控制点

图 4 垂直方向坐标传递示意图

室内楼层控制点采用激光准直仪和全站仪在楼层上多次分段转折投测,又在室内各楼层控制点上采用全站仪测量轴线控制点,这种一体化的集成方法计算平面控制点和轴线控制点的坐标和分析相应坐标点位的精度,一是发挥了各自仪器的优势,二是提高了工作效率,三是测量降低成本,且坐标点位高精度,四是解决了复杂钢结构坐标传递的难题。

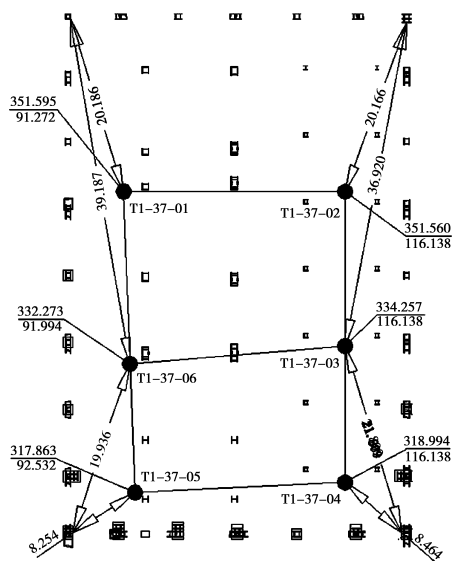


图 5 测量第 37 层轴线控制点

3 室外控制点引测室内首层导线点位的误差

3.1 点位误差的确定

控制网采用附和导线,如图 3 所示。即 GP1—

GP6—T1—01—T1—02—T1—03—T1—04—T1—06—T. P. 1—01

—GP5—GP4 导线,有 7 条边。这样从测量理论得出:在导线中间附近的 T1—03 点或 T1—04 点误差最大^[5]。按误差传播定理,分析最弱点的点位误差和其它控制点的点位误差,如表 1。

3.2 提高点位精度的方法

- 1) 导线布置形状。减少导线从已知点到工地基准点的边数。如≤4 边到工地基准点。
- 2) 转折角度测量的测回数:4 测回或其它测回数。
- 3) 导线边长测量:3~4 次,取平均值或其它测量次数。
- 4) 适宜的时间和气候观测。

4 激光准直仪向上投测楼层控制点的点位精度分析

为了获得楼层控制点的坐标和准确位置,采用目前高精度 20 万分之 1 的激光准直仪在竖直方向投测。它支承在强制对中墩上,向上投测到楼层控制点。这样可计算楼面点位在对中靶上的点的坐标和相应点位

$$m_{X_{\text{点}}} = \sqrt{m_{x_{\text{站}}}^2 + \left(\frac{X_{\text{点}} - X_{\text{站}}}{S}\right)^2 m^2 + (X_{\text{点}} - X_{\text{站}})^2 \tan^2 \alpha \left(\frac{m_{\alpha}}{\rho}\right)^2 + (Y_{\text{点}} - Y_{\text{站}})^2 \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2}$$

$$m_{Y_{\text{点}}} = \sqrt{m_{y_{\text{站}}}^2 + \left(\frac{Y_{\text{点}} - Y_{\text{站}}}{S}\right)^2 m^2 + (Y_{\text{点}} - Y_{\text{站}})^2 \tan^2 \alpha \left(\frac{m_{\alpha}}{\rho}\right)^2 + (X_{\text{点}} - X_{\text{站}})^2 \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2}$$

$$\text{点位误差: } m_{\text{点位}} = \sqrt{m_{x_{\text{点}}}^2 + m_{y_{\text{点}}}^2} \tag{2}$$

由此可见点位误差与测站点(室外首级 GPS 点的坐标误差)、坐标增量、测边误差 m_s 、测角误差和垂直角 α 等有关。而测边误差 m_s 与全站仪的固定误差、比例误差系数和测量距离^[6]密切相关。如考虑在楼层上测量的垂直角 α 小,按 10° 计算,在室内控制点上全站仪的点位误差约 1 mm。在顾及其它测量误差影响,塔楼内第 10 层控制网点的精度分析结果如表 3,塔楼内第 49 层控制网点周围轴线点的精度分析结果如表 4。

5.2 提高全站仪测量平面坐标精度的措施

提高测量平面坐标精度的措施如下:

措施 1:控制垂直角 α

垂直角 α 最好控制在 60° 以内,越小越好,图 5 所示,否则垂直角 α 对平面坐标的精度影响较大。

如果受场地狭小限制时,可将地面控制点的位置适当提高到一定高度,如其它建筑的屋面或专用的测量架上,对地面变形监测点成一定俯角(如 15° 以内),对屋顶的变形监测点成仰角(如 45° 以内),满足垂直角度在 60° 以内的要求。

措施 2:提高测角(垂直角和水平角)精度

除了选用高精度的测角全站仪外,还可增加垂直角和水平角测量的测回数,如角度每站测 4 测回或其它测回数,以提高点位精度。

中误差 m 计算公式:

$$m = \sqrt{m_z^2 + m_g^2 + m_j^2} = \sqrt{m_z^2 + \left(\frac{h}{200\ 000}\right)^2 + m_j^2} = \sqrt{m_z^2 + \left(\frac{h}{200\ 000}\right)^2 + m_j^2} \tag{1}$$

其中: h —激光投射的高度,单位:m; m_z —对中靶上人的对中误差(人眼的分辨误差); m_j —楼内基准点的对中误差; m_g —激光相对中误差。

提高激光准直仪投测精度的措施:在激光靶上投测四点(0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个方向)的取中点。

激光准直仪向上投测楼层控制点的点位精度,按公式 1 列算到表 2—表 4 中。

5 平面坐标点位的精度分析

5.1 全站仪观测的平面坐标及其精度分析

采用全站仪的极坐标法从室外引测室内首层控制点的平面坐标之精度。极坐标法观测点坐标的误差计算公式:

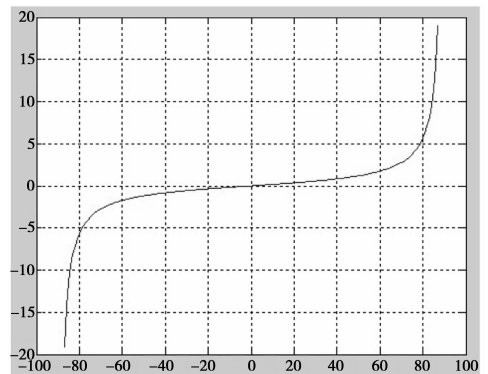


图 5 正切函数曲线图

5.3 工程应用

在中央电视台新台址塔楼内观测变形点,根据室外首级控制导线点坐标引测楼内控制点,再通过楼内控制点使用激光准直仪将坐标引测到观测楼层控制点,最后通过楼层控制点观测轴线控制点。仪器采用标称精度:测角精度 $\pm 0''.5$,测距精度 $\pm (1\text{ mm} + 1\text{ ppm})$ 的全站仪,分析塔楼室内轴线点的精度如下:

根据室外首级 GPS 控制点,采用全站仪引测室内控制点,计算楼内地面首层控制网点的平面坐标精度结果,如表 1。

表1 塔楼内第1层控制网精度分析

点号	T1-01	T1-02	T1-03	T1-04	T1-05	T1-06
点位误差/mm	2.890	3.066	2.893	2.711	2.512	2.706

在塔楼内地面首层控制网点上采用激光准直仪向第10层投测控制点,计算塔楼内第10层控制点的平面坐标精度,其分析结果如表2。

表2 塔楼内第10层控制网点的精度分析

点号	T1-10-01	T1-10-02	T1-10-03	T1-10-04	T1-10-05	T1-10-06
点位误差/mm	2.903	3.078	2.905	2.725	2.527	2.720

在塔楼内采用激光准直仪向第49层投测楼面控制点,计算塔楼内第49层控制点的平面坐标精度,其分析结果如表3。

表3 塔楼内第49层控制网点的精度分析

点号	T1-49-01	T1-49-02	T1-49-03	T1-49-04	T1-49-05	T1-49-06
点位误差/mm	3.557	3.702	3.559	3.414	3.258	3.410

在塔楼内由第49层楼面控制点用全站仪测量轴线控制点,其平面坐标精度分析结果如表4。

表4 塔楼内第49层控制网点周围轴线点的精度分析

点号	T1-49-01	T1-49-02	T1-49-03	T1-49-04	T1-49-05	T1-49-06
点位误差/mm	3.828	3.963	3.830	3.695	3.552	3.692

其余楼层控制点和轴线控制点的精度分析和全程计算公式,限于篇幅,此处略。

从室外地面GPS控制点开始,直至塔楼内激光准直仪分段投测到第49层轴线控制点,表4结果表明其集成到轴线控制点的点位误差为±3.963 mm以内。

设计要求轴线控制点的“绝对水平误差 $H/2 \leq 500 + 10 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$ ”(其中 H 为柱从建筑基底计的竖向高度),从以上结果看出,用全站仪测量轴线控制点的绝对水平误差比设计要求小得多,即点位精度高很多,符合设计轴线控制点的点位精度要求。

6 注意的问题

超高层建筑,建造的时间较长,一般在1年以上,会受风、雪荷载及夏天曝晒等自然条件影响,在进行变形监测时,也要考虑其对观测结果的影响。在监测点测量时只能避开或减弱其影响。如:

- 每次观测时间、环境条件(温度、湿度、风等)大致相近;观测时间尽可能控制在天亮后2 h以内;
- 雨、雪天及曝晒天气,不应进行监测测量;
- 风力大于4级天气,不应进行监测测量;
- 恶劣气候下,不宜进行监测测量;
- 测量控制点和轴线控制点顾及构件预调值影响等。

7 结论

超高层建筑由于建筑物高耸、垂直方向通视不良,给建筑室内控制点和纵横交错的轴线控制点的确定和

传递带来诸多困难,加之这些轴线控制点的定位精度要求很高,更何况倾斜的建筑物,因此采用逐段传递的方式,将地面控制点的坐标传递到建筑的楼(顶)层,确定建筑物各轴线控制点。借助目前国际、国内最先进的测量设备和高技术,如GPS技术、激光技术、全站仪等,发挥各自设备的优势,将其有机地集成在一起,研究解决了像中央电视台新址在国内外均属高、难、精、尖的特大建设项目的建筑物楼层控制点和轴线控制点的坐标传递、分析其点位精度的难题。

超高层建筑施工时间长,受不良气候影响因素多,研究了在测量过程中采取克服或减弱其影响的措施。特别在测量技术层面上,研究、探讨了预留更高点位精度的保证措施。

全站仪测量平面坐标和其点位精度分析,除用于竖直超高层建筑以外,也用于倾斜、或其他复杂、“怪异”的超高层建筑的测量工作,并得到了高精度的轴线控制点。为今后应用其他现代测量设备,全面、科学、系统计算超高层建筑的轴控制点、轴线控制点和变形监测点的坐标和分析其精度有借鉴意义。

参考文献:

- [1] If_37879974_2.htm[EB/OL]. <http://co.163.com>.
- [2] 郭彦林,刘学武.大型复杂钢结构施工力学问题及分析方法[J].工业建筑,2007,37(9):1-8.
GUO Yan-lin, LIU Xue-wu. Construction mechanical problems and computational methods of complex steel structures [J]. Industrial Construction, 2007,37(9):1-8.
- [3] 刘玉梅,卢静.激光准直仪在高层建筑施工及监测中的应用[J].沈阳建筑工程学院学报,1996,12(2),240-243.
LIU Yu-mei, LU Jing. Application of the laser collimators in the construction and monitoring of highrise building[J]. Journal of Shenyang Architectural and Civil Engineering Institute, 1996,12(2),240-243.
- [4] 莫南明,过静璐,张胜良,等. CCTV主楼施工变形监测技术应用研究[J].测绘工程,2007,16(5):48-52.
MO Nan-ming, GUO Jing-jun, ZHANG Sheng-liang, et al. Research on technical application of deformation observation in CCTV new construction[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2007, 16(5):48-52.
- [5] R. E. 戴维斯[美]. 测量学理论与实践(上、下册)[M].北京:测绘出版社,1990.
- [6] GB/T 15314-94.精密工程测量规范[S],中华人民共和国国家标准.北京:中国标准出版社,1995.
- [7] 岳建平,许捍卫.交会法测定水平位移的精度分析[J].测绘工程,2000,9(2),64-67.
YUE Jian-ping XU Han-wei. Accuracy Analysis of Survey Methods for Horizontal Monitoring Points[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2000,9(2),64-67.