

高层建筑施工上部结构 垂直度检测的几种方法

李新同

(中国船舶工业总公司勘察研究院,上海 200063)

【摘要】 对高层建筑在施工、结构封顶、竣工验收等阶段上部结构垂直度的常用几种方法,并结合工程实例,用不同的检测方法作了精度分析与比较。

【关键词】 上部结构垂直度;垂准仪;主控点;竖向投影

【Abstract】 A few examining methods are introduced for the upper structural perpendicularity in construction, structure and project to be completed, check and acceptance etc. in tall-storey building. By some project examples their precision analyses and comparisons are carried out by the different examining methods.

【Key words】 upper structural perpendicularity; plumbing apparatus; main monitoring point; vertical projection

1 垂准仪传点控制法(内控法)

图1为一高层建筑某待测楼面平面图。轴线交点, A_1 、 A_5 、 E_1 、 E_5 为立柱中心, ZK_1 …… ZK_4 为底层四个主控点在此楼面上的投影,它们是用垂准仪通过预留孔传递至此待测楼面的。在各主控点上设站,用 WILD_{T2} 经纬仪配 Ni002 测距仪测出各主要承力柱的中心坐标。与设计坐标相比,便可求出其偏差值。

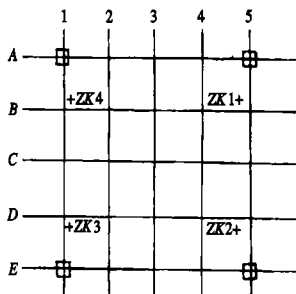


图1 某待测楼面平面图

影响该方法精度的因素包括垂准仪对中误差 m_1 、投点误差 m_2 、经纬仪对中误差 m_3 、照准误差 m_4 及观测误差 m_5 。其中 m_1 、与 m_3 、当仪器高在 1.5m 左右时,一般可控制在 $\pm 0.5\text{mm}$,其它几项误差分析如下。

1.1 垂准仪投点误差 m_2

由垂准仪中有两条自动安平轴线(竖轴和横轴)不严格垂直而造成。按 $1/20 \times 10^4$ 标称精度及 60m 投点距离,(超高层可分段传递)计算投点精度误差可达 $\pm 0.3\text{mm}$,但投点时受有机玻璃板刻划精度、现场机具振动及楼层过高时风力影响等因素的影响,投点误差一般可控制在 $\pm 1 \sim 2\text{mm}$,故取 $m_2 = \pm 2\text{mm}$ 。

1.2 经纬仪照准误差 m_4

包括照准后视点和前视点的照准误差。当所用经纬仪望远镜的放大倍率为 V 、视线长为 D ,并取望远镜分辨率为 $60''$ 时,则

作者简介:李新同,男,27岁,工程师。1994年毕业于华东地质学院工程测量专业,主要从事高层建筑施工监测及大、中型厂矿竣工测量等工作。

$$m_4 = \sqrt{2} \cdot \frac{60''}{V} \cdot \frac{D}{\rho''} \quad (1)$$

式中: V ——望远镜的放大倍为 $30X$;

D ——视线长度为 50m 。

则 $m_4 = \pm 0.69\text{mm}$

1.3 观测误差 m_5

$$m_5 = \sqrt{m_D^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho} \cdot D\right)^2} = \pm 2.2\text{mm} \quad (2)$$

式中: m_D ——测距中误差;

m_β ——测角中误差;

D ——观测距离,取 50m 。

综上所述,本方法测量精度

$$M_1 = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2} = \pm 3.1\text{mm} \quad (3)$$

2 经纬仪竖向投影法

当预留孔被封阻或整个建筑结构已封顶时,则可采用经纬仪竖向投影法进行测量。

2.1 测量方法

图 2a 所示,1、2、3、4 为建筑物四角立柱。先对立柱 2 进行测量,在测站甲上,架设经纬仪,严格整平后,盘左瞄准立柱顶端右棱角 A 处(见图 2b),纵向转动望远镜,将 A 点投影到立柱底部右边的直尺上,读取 A 点相对于底部的偏差值 a_1 ,盘右再读一数 a_2 ,取其均值 $a = \frac{a_1 + a_2}{2}$;然后照准立柱顶端左棱角 B 处,同样读取偏差值 b ,便可得出该立柱在 Y 方向上顶端相对底部的偏差值 $\Delta Y = \frac{a + b}{2}$ 。再把经纬仪搬至乙站,同样可测得该立柱在 X 方向的偏差值 ΔX ,则其绝对偏差值 $\Delta S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ 。同理可测得另外三个立柱的偏差值,从而推算出整栋大楼的垂直度情况。

2.2 精度分析
影响本方法测量精度的因素主要包括:
2.2.1 立柱顶端棱角的照准误差 m_1
根据式(1),取 $V = 30X, D = 150\text{m}$,则

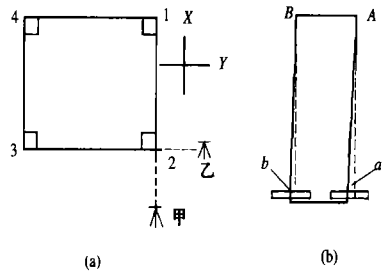


图 2 经纬仪竖向投影示意图

$$m_1 = \pm \frac{60''}{V} \cdot \frac{D}{\rho''} = \pm 1.45\text{mm}$$

考虑到立柱棱角不规则及视距较远等因素,此项误差还应有所放大,一般可取 $m_1 = \pm 2.5\text{mm}$ 。

2.2.2 立柱底部直尺读数误差 m_2

由数据估读及视距较远、光线较暗等因素而引起,一般可取 $m_2 = \pm 1\text{mm}$ 。

2.2.3 立柱底部直尺对中误差 m_3

由直尺摆设不水平及立柱棱角不规则而造成,一般可取对中误差 $m_3 = \pm 1\text{mm}$ 。

2.2.4 经纬仪投影误差 m_4

由经纬仪竖轴不铅垂而引起,当所用经纬仪水平度盘水准管分划值 $\tau = 20''$ 、置平精度为 $\tau/5$,且经纬仪投影高差 H 取 100m 时

$$m_4 = \frac{H}{\rho''} \cdot \frac{\tau}{5} = \pm 1.9\text{mm} \quad (4)$$

式中: H ——经纬仪投影高差,

取 $H = 100\text{m}$ 。

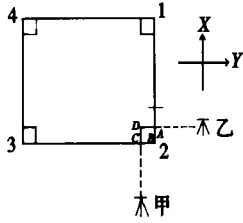
由此可求得经纬仪正倒镜竖向投影法的测量精度

$$M_2 = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2}{2} + m_3^2 + m_4^2} = \pm 2.9\text{mm} \quad (5)$$

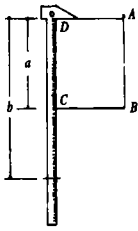
3 垂准仪配丁字尺卡读法

当建筑物结构已封顶,预留孔全部封闭,而邻近建筑物相隔太近时,则可考虑采用该

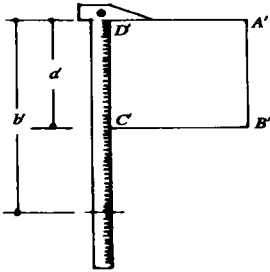
方法进行测量。



(a) 水准仪架设位置



(b) 对点器向下读数



(c) 水准仪向上读数

图3 水准仪配丁字尺卡读示意图

3.1 测量方法

图3a所示,1、2、3、4为立柱,A、B、C、D为立柱2的四个棱角。在DC延长线上设测站甲,架设水准仪(仪器距立柱0.3~0.5m),先在立柱底部内侧面DC处摆放丁字尺,尺子卡紧棱角D,并贴紧DC侧面水平伸出(见图3b)。此时,先读取棱角C对应的刻度a,再从水准仪的对点器中读取b;然后用同样的方法把丁字尺摆测到待测楼面,先由摆尺人读取a',再用水准仪向上读数,每旋转90°读一数(因靠近立柱,只能读三个数),取

其均值得b'(见图3c),则此处的立柱中心相对底部在X方向上的偏差值为

$$\Delta X = \frac{(b' - b) + [(b' - a') - (b - a)]}{2} = \frac{(b' - b) - (a' - a)}{2} \quad (6)$$

ΔX 为正表示向X轴正方向偏,反之向负方向偏。

再把水准仪架设到乙站,同样可测得 ΔY ,则该立柱中心从施测楼面到底部的绝对偏差 $\Delta S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$ 。同理可测得建筑物其它几个立柱的偏差值。

3.2 精度分析

影响本方法测量精度的因素包括:

3.2.1 丁字尺摆设误差 m_1

由立柱棱角不规则及丁字尺摆设时不严格水平而引起,一般可取1mm左右,考虑到上、下两次摆尺,故可取 $m_1 = \sqrt{m_{上}^2 + m_{下}^2} = \pm 1.414\text{mm}$ 。

3.2.2 读取a、a'时的读数误差 m_2

同样因立柱棱角不规则、读数估读而引起,一般可取1mm,故

$$m_2 = \sqrt{m_a^2 + m_{a'}^2} = \pm 1.414\text{mm}$$

3.2.3 读取b时的读数误差 m_3

当水准仪仪高在1.5m左右时,可取 $m_3 = \pm 0.5\text{mm}$ 。

3.2.4 水准仪向上投点误差 m_4

参考1.2.1,可取 $m_4 = \pm 2\text{mm}$ 。

3.2.5 读取b'时的读数误差 m_5

因视距较远(一般超过50m)、光线较暗及读数估读等因素引起,根据多次实践经验,一般可取 $m_5 = \pm 2\text{mm}$ 。

综上所述,采用该方法进行测量,向上读取b'三次读数取其均值时,其测量精度为:

$$M_3 = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + \frac{m_5^2}{3}} = \pm 3.1\text{mm} \quad (7)$$

4 三种方法的测量允许误差分析

根据高层建筑施工手册规定^[1],高层测量允许误差不应超过 $3H/10\ 000$, (H 为建筑物全高),且不应大于

$$\pm 10\text{mm} \quad (30\text{m} < H \leq 60\text{m})$$

$$\pm 15\text{mm} \quad (60\text{m} < H \leq 90\text{m})$$

$$\pm 20\text{mm} \quad (H > 90\text{m})$$

介绍的三种方法,其测量精度分别为:

$$M_1 = \pm 3.1\text{mm};$$

$$M_2 = \pm 2.9\text{mm};$$

$$M_3 = \pm 3.1\text{mm}。$$

若再考虑到现场施工、阳光照射等客观条件的影响,其值还可分别放宽至 $\sqrt{2}$ 倍,作为其各自的测量中误差,若取两倍中误差为允许误差,则其值分别为:

$$M_{允1} = 2\sqrt{2}M_1 = \pm 8.8\text{mm};$$

$$M_{允2} = 2\sqrt{2}M_2 = \pm 8.2\text{mm};$$

$$M_{允3} = 2\sqrt{2}M_3 = \pm 8.8\text{mm}。$$

数据表明,三种测量方法的精度均能满足规范要求。

5 工程实例

5.1 港陆广场上部结构垂直度检测

位于上海市延安东路、西藏中路的港陆广场,地面 36 层,高 132.5m,采用垂准仪传点控制法对其上部结构垂直度进行施工检测,测得其最大偏差值位于 36 层东北角立柱处,其中

$$\Delta X = +9\text{mm}, \Delta Y = -13\text{mm}, \text{偏差值}$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} =$$

$$15.8\text{mm}。$$

5.2 长乐路某大楼倾斜测量

该大楼为 15 层商住楼,高约 45m,因附近施工造成一定程度的倾斜。因受场地限制,采用了经纬仪竖向投影法和垂准仪配丁字尺卡读法相结合的办法进行测量。测得其最大偏差值位于顶层西南角立柱处,其中

$$\Delta X = +59.8\text{mm}, \Delta Y = +92.0\text{mm}, \text{偏差值}$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = 109.7\text{mm}。$$

值得一提的是,在测量时,同时用上面两种方法同时进行测量,两次观测数据分别为: $\Delta Y_1 = +90.9\text{mm}, \Delta Y_2 = +93.1\text{mm}$,两者差值 $\Delta = 2.2\text{mm}$ 。下面,对该差值进行简要的分析。

首先来分析一下此处用经纬仪竖向投影法测量精度 M_2' 。

参照式(5),对于 m_1 ,因视距变短($D = 75\text{m}$)而略有减小,参照 2.2.1,一般可取 $m_1 = \pm 2\text{mm}$;对于 m_4 ,因经纬仪投影高差变小($H = 50\text{m}$)而减小,经计算

$$m_4 = \frac{H}{\rho'} \cdot \frac{\tau}{5} = \pm 0.95\text{mm}$$

m_2, m_3 不变,代入式(5),则

$$M_2' = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2}{2} + m_3^2 + m_4^2} =$$

$$\pm 2.1\text{mm}$$

而此处用垂准仪配丁字尺卡读法测量,因其投点距离比前面分析的略有缩短,不妨取 $M_3' = \pm 3.0\text{mm}$ 。同样,考虑到其它因素的影响,分别将 M_2', M_3' 放宽 $\sqrt{2}$ 倍,作为其测量中误差,则

$$M_{中2} = \sqrt{2}M_2' = \pm 3.0\text{mm}$$

$$M_{中3} = \sqrt{2}M_3' =$$

$$\pm 4.2\text{mm}$$

当两种方法同时采用时,其观测中误差

$$M_{均} = \pm \frac{\sqrt{M_{中2}^2 + M_{中3}^2}}{2} =$$

$$\pm 2.6\text{mm}$$

若取其两倍中误差为测量允许误差,则此处 $M_{允} = 2M_{均} = \pm 5.2\text{mm}$ 。由此可见,前面提到的用两个数据的差值 $\Delta = 2.2\text{mm}$ 在测量允许误差范围内,满足精度要求。

(下转 65 页)

表 3 药包加工方式比较表

序号	药包加工方式	优点	缺点	示例
1	药包加工成所需大个药包	加工简单,只需插入雷管	拒爆率高	杂货码头 0+47~0+63m,一次起炸 40 个药包,拒爆 12 个
2	小药包捆扎成形	准爆率高	加工费时费力	杂货码头 0+87~0+123m,一次起爆 65 个药包,无一拒爆。但一个药包加工时间长达 8min
3	小药包用编织袋装在一起,不捆扎,但袋口扎紧	加工简单,准爆率高	加工过程中,有时编织袋口扎不紧	杂货码头 0+211~0+259m,起爆 60 个药包,无一拒爆,一个药包加工时间 4.5min

通过实验,第三种药包加工方法省时,省力,可大大提高生产效率(只要将编织袋口扎紧),即此方法指定为生产药包加工方法。

4.2 药包加工

爆夯采用乳化炸药。药包用塑料袋包装。通过试验优选出爆夯效果好、加工速度快的药包加工法,即大个药包用数个等量起爆药包捆扎在一起,袋内加砂作配重,保证炸药包在水中不偏位。

4.3 药包定位与起爆

利用小圆木绑扎成相应的悬吊药包的木筏,内部网络按选取药包间距制作,木筏浮力保证承重 4 人同时作业及相应的药包、锚绳重量,药包位置按设计网度吊系于筏上(悬高按选取的参数)。木筏定位准确后,将每条药包同时脱落于基床上部,在岸上由电雷管引爆。爆夯要求所有药包尽可能同时起爆,以获最大夯实能量,达到最佳夯实效果,故选取

并联复合网络式起爆。

4.4 效果检验

设计要求夯实率 $\eta \geq 12\%$ 。为验证爆夯效果,每次爆后均需进行断面测量,从而进行夯实率计算。经爆夯后的断面测量计算,夯实率 $\eta > 15\%$,完全满足设计要求。

5 结束语

本工程目前为国内最大的爆夯工程,夯实率 $\eta > 15\%$ 。速度快、成本低、夯实效果好。此爆夯工艺的应用不仅证明了在水下抛石基床夯实的可行性,同时也丰富了此类工程施工的经验。实践证明,爆夯参数因抛石体的几何形状,水深及设计爆夯率的不同而不同。施工前必须进行爆夯试验,从而取得经济合理的爆夯参数,达到较好的夯实效果。由于爆夯技术目前理论依据不成熟,尚需作大量的试验及规律性探索。

收稿日期:1999-01-18

(上接 62 页)

6 结 语

高层建筑上部结构垂直度检测方法很多,这里就介绍这三种,应该还有更好的方法,这有待于大家共同探索。在实际操作过程中,可能会遇到一些特殊情况,如立柱上小、下大,上方、下圆等,这都可以采用一些小技巧来解决它,这里就不详细介绍。有时还可以根据场地情况,几种方法同时采用,灵活

地避开各种障碍,以获得精确、完整的数据。

参 考 文 献

- 1 杨嗣信. 高层建筑施工手册. 北京:中国建筑工业出版社,1992
- 2 武汉测绘学院《测量学》编写组. 测量学. 第二版(修订本)上册. 北京:测绘出版社,1985

收稿日期:1998-12-11