

上海新国际博览中心连廊钢结构加载变形测量

潘国荣, 王穗辉

(同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092)

Deformation Observation of Huge Steel-Structured Shells of Shanghai New International Expo Centre with Being Loaded

PAN Guo-rong, WANG Sui-hui

摘要:介绍精密全站仪进行结构测试的原理和方法,通过具体变形测量实例证明该方法具有作业简便、能够全面反映结构变形情况之优点,且精度较高,成果可靠。

关键词:张拉;加载;变形

一、引言

随着钢结构建筑的发展,大型网架结构随之增多,如大型体育馆、娱乐馆大厅、超级市场、展览馆及机场航栈楼等,均采用大跨度钢结构网架。对于大型钢结构网架安装后质量检测以及加载前后网架形变数据的了解和观测,对设计、质检、安全运行是必不可少的。大部分网架都位于高空,直接进行观测很困难,本文对采用电子全站仪使用无仪器高作业法,观测大型钢结构网架安装后的形状及加载前后的形变观测方法与精度进行探讨,并结合上海新国际博览中心钢结构加载前后的变形测量,加以阐述。

上海新国际博览中心展馆,由德国专家设计。目前已有5个展馆启用,展厅与展厅之间由钢结构连廊连接。近期由于连廊出现异常变形,随即进行了结构加固。为确保连廊的安全,同时为检验连廊的加固质量,需做实地加载试验,并观测连廊结构在加载前后的变形情况。

二、变形测量方法

1. 测点布设

为充分反映连廊钢结构的变形状况,在每个连廊下表面的3根主梁跨中、两端(各离跨中11.7m处),采用上人升降机各贴一块三向反射片,每个连廊设9片,见图1。

由于反射片所贴位置包括与主梁之间用螺钉固定的点,故反射片与主结构变形一致。对5个连廊,共设45个测点。

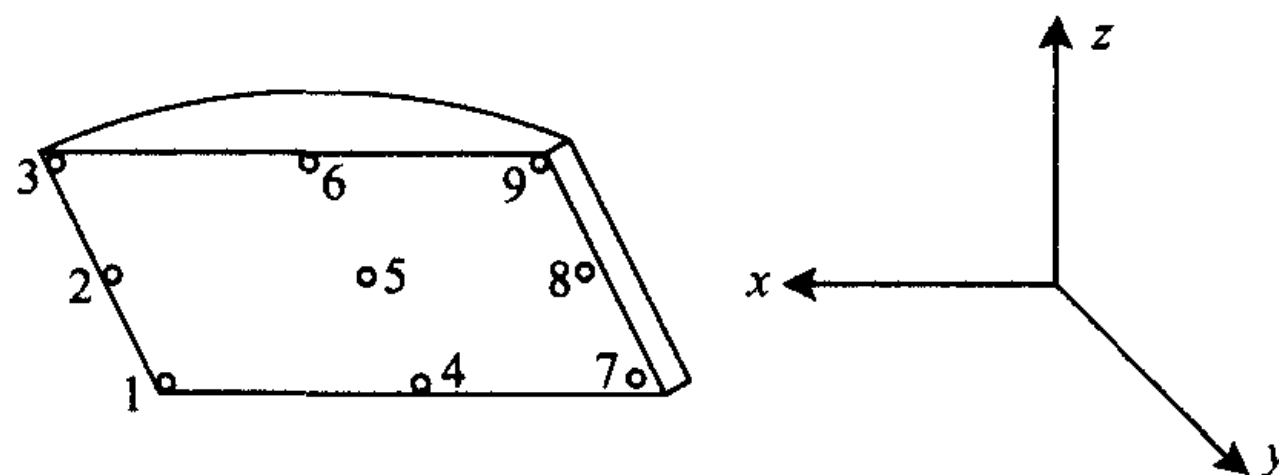


图1 连廊钢结构测点布置

2. 加载工具

用30t汽车吊,能满足加载时600kg水箱在任何位置的加载要求,现场准备好12个1#钢制水箱(含水每个重300kg),6个2#钢制水箱(含水每个重600kg)。重量公差2%,应能放置平稳,上置吊环,便于起吊。加载水箱就位位置预先标明,斜平面处用木条找平防滑。

3. 结构变形理论计算

对具体实测点在2级荷载作用下的三向变形作理论计算,以对实测结果作理论分析比较,从而对其安全性作出准确的评价。

4. 变形测量方法

变形测量采用NET2B型全站仪。先在钢结构前选择一合适的固定点安置全站仪,使其到基准点和各监测点的距离大致相等。然后在各监测点和基准点上粘贴平面反射标志(即丙烯脂胶片)。

对处于高空钢结构桁架上的测点,其高程用水准仪就无法测量,这时考虑用全站仪来测量。为避免全站仪量测仪器高的误差对成果的影响,确保高程测量的精度,我们采用了无仪器高作业法。其基本原理是:如图2所示,为了测定B点目标的高程,

在 O 点处架设全站仪, 后视已知点 A , 测得 $O-A$ 的距离 S_1 和垂直角 α_1 , 从而计算 O 点全站仪中心的高程为

$$H_O = H_A - \Delta h_1 \quad (1)$$

然后测得 $O-B$ 的距离 S_2 和垂直角 α_2 , 并顾及式(1), 从而计算 B 点的高程为

$$H_B = H_O + \Delta h_2 = H_A - \Delta h_1 + \Delta h_2 \quad (2)$$

从式(2)可以看出: 此方法不需要测定仪器高, 因而用无仪器高作业法同样具有很高的测量精度。

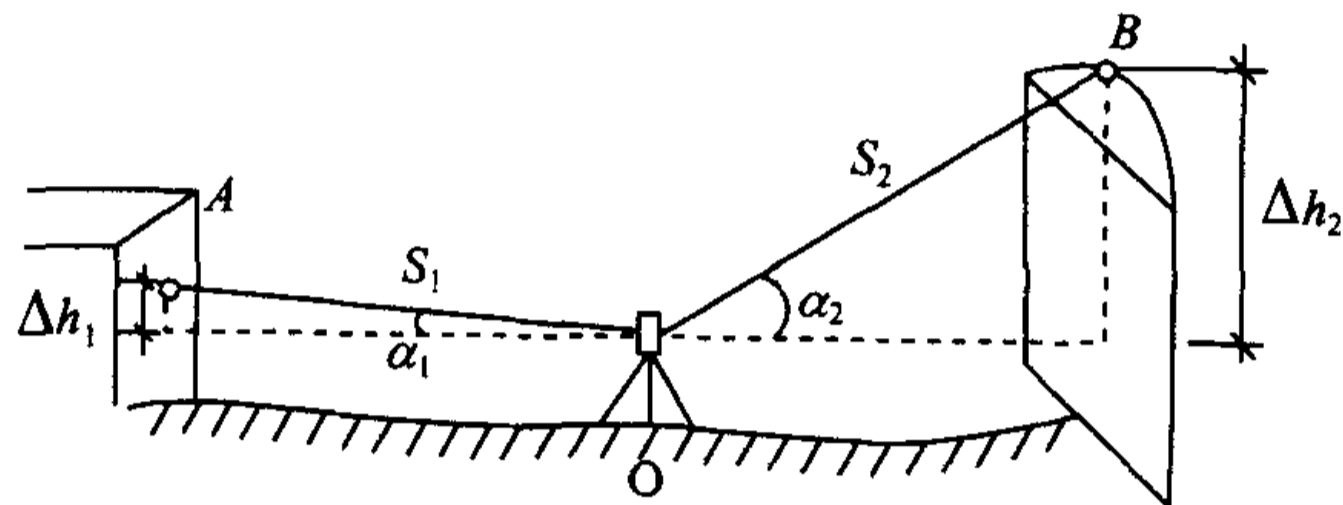


图2 全站仪无仪器高作业法

根据这一原理, 我们拟定了如下观测方案:

首先观测测站到基准点间的高差 Δh_1 , 然后将全站仪置于3维坐标测量状态, 输入测站点的坐标 X_0, Y_0 , 而 Z_0 以虚拟高程 H_0 ($H_0 =$ 基准点高程 $-\Delta h_1$) 输入, 仪器高, 棱镜高均输入 0 。以基准点为后视定向点, 并以另一个基准点检查后, 即可进行3维坐标测量。

5. 实测过程

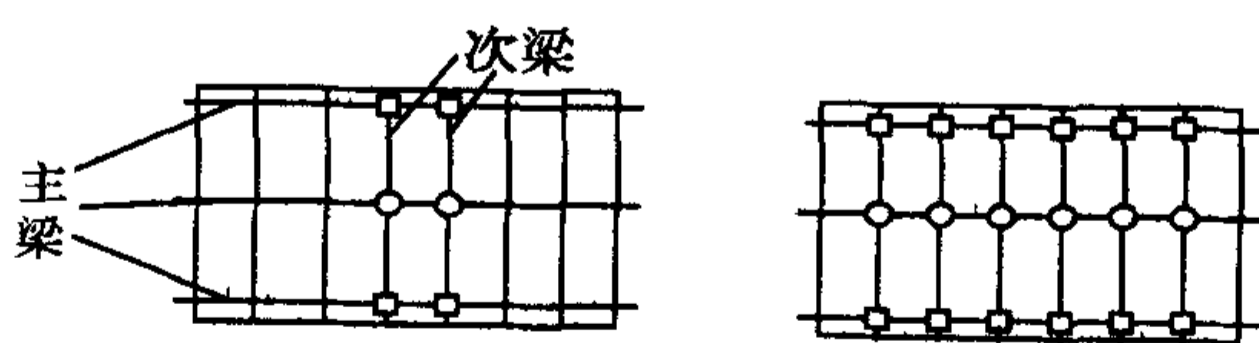
加载试验分别在空载、加1级荷载、加2级荷载、卸载的4种状态下进行。具体过程如下:

1. 测定加载前每个连廊9个测定的初始坐标值, 同时记录温度;

2. 第1级加载: 主梁与跨中2根次梁之交界点加载, 两侧4点各加300 kg, 中间2点各加600 kg, 如图3(a)所示;

3. 测定第1级加载后9个测点的坐标值(待加载后3 min 测定, 同时记录环境温度);

4. 第2级加载: 除已加载点之外, 凡中间主梁与横梁交叉点均加600 kg, 两侧主梁与横梁交叉点均加300 kg, 对称、均匀加载, 如图3(b)所示;



(a) 第1级加载

(b) 第2级加载

(□ 加载300 kg, ○ 加载600 kg)

图3 加载平面布置图

5. 测定第2级加载后9个测点的坐标值(待加载后3 min 测定, 同时记录环境温度);

6. 卸载。

7. 按以上1~6步骤依次对5个连廊实测。

三、精度分析

全站仪测定空间某点的3维坐标计算公式为

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_0 + S \sin V \cos \alpha \\ Y_i &= Y_0 + S \sin V \sin \alpha \\ Z_i &= Z_0 + S \cos V + i \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

设 $m_\alpha = m_V = m_\rho = \pm 2''$, $m_s = \pm (0.8 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D)$, 因采用无仪器高作业法故 $m_i = 0$, 根据误差传播定律, 得

$$\left. \begin{aligned} m_{x_i}^2 &= m_s^2 \sin^2 V \cos^2 \alpha + S^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2 \sin^2 V \sin^2 \alpha + \\ &\quad S^2 \left(\frac{m_V}{\rho}\right)^2 \cos^2 V \cos^2 \alpha \\ m_{y_i}^2 &= m_s^2 \sin^2 V \sin^2 \alpha + S^2 \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2 \sin^2 V \cos^2 \alpha + \\ &\quad S^2 \left(\frac{m_V}{\rho}\right)^2 \cos^2 V \sin^2 \alpha \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其平面点位误差为

$$m_i^2 = m_s^2 \sin^2 V + S^2 \left(\frac{m_\rho}{\rho}\right)^2 \quad (5)$$

高程误差为

$$m_{z_i}^2 = m_s^2 \cos^2 V + S^2 \left(\frac{m_V}{\rho}\right)^2 \sin^2 V \quad (6)$$

对于 NET2B 型精密全站仪, $m_\rho = \pm 2''$, $m_s = \pm (0.8 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D)$, $\rho = 206265$ 代入式(5)、式(6)计算, 结果得: 待测点(采用盘左盘右取平均)的平面点位中误差和高程中误差分别为 $m_i = \pm 0.75 \text{ mm}$, $m_{z_i} = \pm 0.50 \text{ mm}$ 。若采用半测回值, 则 $m_i = \pm 1.06 \text{ mm}$, $m_{z_i} = \pm 0.70 \text{ mm}$ 。

四、测量结果

实测原始记录中对结构影响最明显的参数是连廊的跨中竖向位移平均值和两端 X 向相对水平位移平均值。前者反映结构弯曲变形的整体水平, 而后者反映了结构两端变形是否会超出构造的限制范围(是否会出现支座螺栓被弯剪破坏的可能性)。对于温度变化, 在加载过程中温差在 10°C 以内。而从理论计算结果分析, 温度相差 10°C 两端相对水平位移相差为 $3 \sim 4 \text{ mm}$, 变化范围较小, 故理论值可用线性插入求取。表1为实测与理论参数对比。

表1 实测与理论计算值对照表(第2级荷载)

连廊位置	最终温差 $\Delta t/^\circ\text{C}$	项目	跨中竖向位移/mm	两端相对位移/mm
进厅~1#展厅	0	实测均值 A	-19.0	-3.7
		理论值 A_0	-38.4	-4.1
		相对比率 A/A_0	49.5%	90.2%
1#展厅~2#展厅	-5	实测均值 A	-18.0	-3.0
		理论值 A_0	-38.4	-5.6
		相对比率 A/A_0	46.9%	53.6%
2#展厅~3#展厅	-2	实测均值 A	-21.0	-2.3
		理论值 A_0	-38.4	-4.7
		相对比率 A/A_0	54.1%	48.9%
3#展厅~4#展厅	+7	实测均值 A	-19.0	-1.3
		理论值 A_0	-38.4	2.0
		相对比率 A/A_0	-49.5%	65.0%
4#展厅~5#展厅	+12	实测均值 A	-18.0	-0.3
		理论值 A_0	-38.4	-0.5
		相对比率 A/A_0	-46.9%	60.0%

综合加载试验,用全站仪测得的位移值与设计理论值的比较,可以发现,跨中竖向位移的实测值不超过理论值的60%,即设计计算结果比试验结果大,表明工程是安全的,钢结构的强度、刚度和稳定性是满足要求的。

五、结 论

由表1可见:

1. 结构跨中竖向位移普遍小于理论计算值,这说明结构刚度相当好。而上下两层较厚的压型钢板和包板对结构刚度有较大贡献,结构的抗弯能力是可信的。

2. 结构两端相对缩短绝对值都相当小。根据加载值与最大风压值之比推算,结构在最大风压时的两端缩短值平均为18.8 mm,最大不超过33.3 mm,小于设计预留变形余量118 mm,不会发生支座螺栓弯剪破坏。

3. 结构跨中竖向位移平均值受温度变形影响很小。

4. 结构两端所得实测值相对变化较小,而计算值相对变化较大,以致造成实测值和理论值的相对

误差很大。其实际原因是从加载初始状态到最终状态仅2 h左右,尽管记录的室外温度可以变化较大(+12 $^\circ\text{C}$),但钢结构内部的温度却没有如此大的变化。理论计算按整体升温是不恰当的。好在两端所得对刚度较好的简支梁已无实质影响,只要端部螺栓不受弯即可。

5. 从加载实测结果分析,现有连廊结构具有足够的刚度,其结构质量是可靠的,只要加固焊缝、加固材料材质及其他方面的施工质量验收合格即可认为总体验收合格。

6. 全站仪用于结构测试具有作业简单,能够全面反映出结构变形情况之优点,若测前能根据结构的受力状况和变形特点,合理布置测点位置,优化施测方案,测后对成果进行合理的处理和分析,则能取得较好精度的测试成果。

参考文献:

- [1] 吴翼麟,孔祥元.特种精密工程测量[M].北京:测绘出版社,1993.
- [2] 潘国荣.太湖明珠钢结构球形建筑的安装测量[J].同济大学学报,2002,(11).

欢迎订购《测绘学报》、《测绘通报》2003年合订本

《测绘学报》、《测绘通报》2003年合订本已装订完成,欢迎订购。另本部尚有部分两刊过刊合订本。《测绘学报》1999~2003年,每年1册(精装),定价40.00元。《测绘通报》1997~2003年,每年上下两册(精装),定价80.00元。

需要购买者可通过邮局汇款(另加20%邮费)至北京复外三里河路50号中国地图出版社期刊编辑部收。邮编:100045,联系电话:(010)68531192,联系人:金英。