

虚拟点测量在国家天文台FAST索网 安装监测施工中的应用

鲍国栋¹ 张国强²

(1 武汉车都建设投资有限公司 湖北武汉 430056 2 柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

摘要:为了更好的控制FAST索网的钢结构测量精度,可以通过测量此钢结构上焊接的耳板来控制。耳板用于连接FAST索网150根边缘主索,均匀焊接在直径为500m的环形钢结构上,所以测量耳板的精度可以反映钢结构的测量精度。现通过采用虚拟点测量方法进行测量,即对对称测量基本原理进行误差分析,确定测量误差的主要来源,并在施测过程中制定相应的质量控制措施,保证耳板测量满足FAST工程测量精度要求。

关键词:虚拟点 对称测量 全站仪 测量误差

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.01.007

1 引言

大型钢结构施工当中,构筑物精度的测量控制是目前国内难以解决的问题,特别是在地形复杂地区,由于受到水汽、温度、长距离、障碍物阻挡、前点置镜、天顶距等因素的影响,使得精度控制很难达到理想的效果。

尤其是像FAST索网一类的大型复杂钢结构,受客观条件影响,自身测量点难以确定,无法保证测量精度,经综合考虑结构形状、外界等条件,本文将介绍一种新的虚拟点测量技术,新技术的使用帮助我们较好地解决这个问题,以下结合国家天文台FAST索网安装工程进行说明。

2 工程概况

FAST工程是我国建造的世界第一大单口径射电望远镜,工程处于贵州山区。FAST工程的球面索网通过150根边缘索与直径为500m的圈梁上均匀焊接的150个耳板连接。耳板位置固定,整个索网仅边缘主索采用长度可调节的结构。因此,耳板位置的精确测量,对索网制作精度以及索网最终成型都是至关重要的因素。

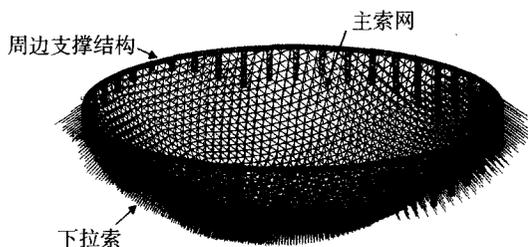


图1 索网结构示意图

3 虚拟点测量的手段与方法及原理分析

3.1 手段的确定

由于大型钢结构测量精度受温度和日照影响大,因此,测量工作通常要在温度稳定的夜间进行。测量时需要对150个耳板进行多次测量,既要求精度高、又必须速度快,才能充分满足安装技术要求。目前常用的测量仪器有常规全站仪测量、自动照准全站仪,这两种仪器具有如下优、缺点:

(1) 常规全站仪测量具有受气候影响大、仪器自身精度低、人员瞄准误差影响大、测量时间长等缺点,很难满足FAST工程测量要求。

(2) 自动照准全站仪具有数据处理自动化、测量结果精度高、测量速度快、基本不受施工干扰等优点。尤其是TS30全站仪的自动化照准马达、CCD视频相机及测角、测边精度高等特点,充分满足FAST工程测量要求。

经比较,FAST索网圈梁耳板测量采用自动照准全站仪。

3.2 方法的确定及基本原理

(1) 方法的确定

因耳板中心实际为空心结构,无法直接放置棱镜进行测量。若采用垂线法在耳板孔中心正上方或正下方测量,就有转点误差,且耳板孔中心不易确定。因此,不能满足FAST工程测量技术要求。

根据对称测量原理,采用特制加工件,将耳板孔中心点对称引出两点(如图2所示),两点与耳板孔中心点的距离相等,且三点在同一直线

上。对引出后的两点进行测量，测量结果取均值即为耳板中心值。每点均采用“正-倒镜”观测两测回，保证两测回结果较差不大于3mm。此方法可有效避免测量中前点置镜误差，保证测量精度。

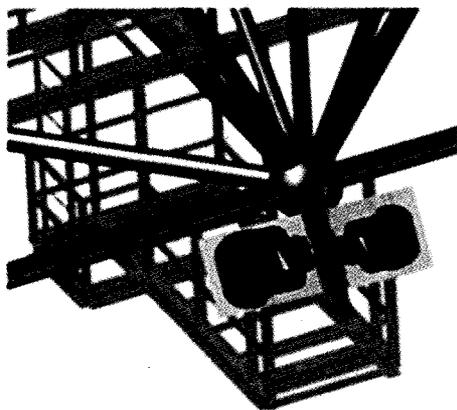


图2 耳板特制加工件示意图

(2) 具体方法

因圈梁温度变化会对测量结果造成较大影响，所以测量耳板时间为晚11点至次日凌晨5点，并在测量前对圈梁温度进行监测。具体实施办法是：将圈梁三等分，每个等分点处设置

一个温度测试点，适时测定圈梁温度，三个温度测试点同时读数，且温差 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 时，结果取均值。测量时，输入温度，加工件紧贴耳板面，每点测量两测回，再进行下一次测量。

圈梁复测阶段，温度监测工作与圈梁线形测量任务同时进行。温度测定时，读取温度2次，即每晚线形测量开始时，读取一组数据，完毕时读取一组数据，结果取均值。

4 虚拟点测量应用

4.1 虚拟点测量数据直观表

(1) 表1为耳板引出的两点的实际观测值，直观反映耳板实际位置。

(2) 表2为耳板实测的中心值与耳板理论值的对比表，客观反映耳板的偏位。

通过实测数据可见，该方法满足FAST工程安装技术要求。

4.2 提高虚拟点测量精度的措施

影响天顶距测量精度的因素主要有仪器标称精度，仪器竖轴倾斜值 i 和棱镜中心的瞄准误差等。

TS30全站仪测角标称精度为 $0.5''$ ，通过秒

表1 耳板特制加工件实测数据

耳板左侧	观测值 (m)						耳板右侧
	X	Y	Z	X	Y	Z	
A02-1	2838648.596	498818.021	972.191	A02-2	2838648.833	498818.413	972.194
A04-1	2838654.100	498826.666	972.195	A04-2	2838654.362	498827.041	972.187
A08-1	2838663.762	498844.041	972.196	A08-2	2838663.976	498844.449	972.192
A10-1	2838668.214	498853.329	972.198	A10-2	2838668.423	498853.737	972.191
A14-1	2838676.341	498873.533	972.199	A14-2	2838676.558	498873.938	972.177
A16-1	2838679.092	498881.713	972.190	A16-2	2838679.249	498882.143	972.186
A20-1	2838684.527	498901.889	972.193	A20-2	2838684.631	498902.336	972.191
A22-1	2838686.641	498912.289	972.196	A22-2	2838686.735	498912.738	972.193

表2 耳板中心差值

耳板中心	理论值 (m)			平均观测值 (m)			差值 (mm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
A02	2838648.719	498818.212	972.191	2838648.715	498818.217	972.193	-5	5	1
A04	2838654.228	498826.852	972.190	2838654.231	498826.854	972.191	3	2	1
A08	2838663.873	498844.241	972.192	2838663.869	498844.245	972.194	-4	4	2
A10	2838668.322	498853.531	972.192	2838668.319	498853.533	972.195	-4	2	3
A14	2838676.446	498873.736	972.189	2838676.450	498873.736	972.188	4	0	-1
A16	2838679.165	498881.927	972.193	2838679.171	498881.928	972.188	5	1	-5
A20	2838684.581	498902.110	972.194	2838684.579	498902.113	972.192	-2	3	-2
A22	2838686.685	498912.517	972.193	2838686.688	498912.514	972.195	3	-3	2

差公式 $\Delta h=L \times 0.5/206265$ 可以得出,引起的高差变化为4.8mm/km。为了削弱其影响,增加天顶距的测回数,提高测角精度。TS30全站仪具有双轴补偿器,观测前必须检查测试各项轴系误差,并根据实际作业需要进行改正设置,然后进行检查。其竖轴补偿器精度为0.1"。测量时采用盘左、盘右观测方法,组成一个测回,可以自动消除竖轴指标差对天顶距测量的影响。

测量时启用TS30的自动瞄准功能,减少人为

$$M_x = \pm \sqrt{M_{x_0}^2 + \cos^2 Z \cos^2 A \times M_s^2 + S^2 \times \sin^2 Z \cos^2 A (M_z/\rho)^2 + S^2 \times \cos^2 Z \sin^2 A (M_A/\rho)^2}$$

在实际施工过程中,根据四等导线控制点计算点位中误差 $M_{X_0} = \pm 2\text{mm}$,仪器采用徕卡TS30,标称精度为0.5",1+1ppm;方位角A最不利取 $\pm 90^\circ$ 、 0° ;S取最远施测距离250m,竖角Z对取最不利影响值 0° 。

角度观测误差来源主要有:仪器误差 $M_{\text{仪}} = \pm 0.5''$;照准误差(全站仪自动搜索) $M_{\text{照}} = 0''$;读数误差(电子读数) $M_{\text{读}} = 0''$,后视建站方位角误差 $M_{\text{站}} = 2''$,则:

$$M_A = \pm \sqrt{M_{\text{仪}}^2 + M_{\text{照}}^2 + M_{\text{读}}^2 + M_{\text{站}}^2} = \pm 2.06''$$

则在最不利情况下测点X坐标中误差为:

$$M_x = \pm 3.2\text{mm}。$$

测量中一般采取正倒镜观测取均值,中误差 $M = M_H / \sqrt{2}$ 。

在实际施工过程中,其中 M_{H_0} 为控制点高程中误差,根据二等水准等级预估为2mm;S取最远施测距离250m;仪器采用徕卡TS30,标称精度为0.5",1+1ppm,则 $M_s = 1\text{mm}$, $M_z = 0.5''$;M_i为量取仪器高误差取1mm;M_r为棱镜高误差取1mm; $\rho = 206265$;当竖角Z取 90° 求得MH0极大值。

$$M_H = \pm 2.65\text{mm}, \text{ 则 } M = \pm 1.87\text{mm}$$

根据计算预估本项目施工测量精度:平面精度为 $M_x = M_y = \pm 3.2\text{mm}$,高程精度为 $\pm 1.87\text{mm}$,满足施工要求。

5 结论

虚拟点测量作为一种先进技术的新型测量方

的瞄准误差。

前点置镜时,要多次观看水平气泡,减少因镜头放置不水平而导致的误差。

4.2.1 平面测量精度分析

X坐标计算公式为:

$$X_p = X_0 + S \times \cos Z \cos A$$

X_p 为测点X坐标, X_0 为控制点坐标,Z为竖角,A为方位角。

根据误差传播定律,测点里程X中误差为:

Y坐标计算公式为:

$$Y_p = Y_0 + S \times \cos Z \sin A$$

同上计算公式在最不利情况下测点Y坐标中误差为: $M_y = \pm 3.2\text{mm}$ 。

且 M_x 、 M_y 极大值不可能同时出现。

4.2.2 高程测量精度分析

测量点采用三角高程测量,三角高程计算公式:

$$H = H_0 + S \times \sin Z + i - r$$

其中 H_0 为控制点高程、S为斜距、Z为竖角、i为仪器高、r为棱镜高,折光差由仪器设置后直接改正。

根据误差传播定律计算测点三角高程中误差:

$$M_H = \pm \sqrt{M_{H_0}^2 + S^2 \times \cos^2 Z (M_z/\rho)^2 + \sin^2 Z \times M_s^2 + M_i^2 + M_r^2}$$

法,成功实现了对目标点的高精度测量,有效避免因前点置镜而引起的误差,满足了工程精度的要求。在国家天文台FAST索网施工测量中,针对直径500m的大型钢结构进行耳板测量,精度达到5mm以内,满足测量精度要求。因此,耳板中心用虚拟点测量在FAST索网耳板测量施工中是有效可行的办法,提高了测量精度和工作效率,对于大型复杂钢结构的测量也同样适用。

参考文献

- [1] 翟翊,赵夫来,郝向阳,杨玉海.现代测量学[M].北京:测绘出版社,2008:63~128
- [2] 孔祥元,郭际明.控制测量学[M].第三版.武汉:武汉大学出版社,2006:28~77
- [3] 肖根旺,许提多,周文健,朱顺生.高精度三角高程测量的严密公式[J].测绘通报,2004(10):15~17