

文章编号: 1002-0268 (2008) 09-0073-08

南京长江三桥钢索塔施工测量技术

陈光保¹, 魏浩翰², 黄 腾¹

(1. 河海大学 土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京林业大学 土木工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 南京长江三桥为我国首座采用钢索塔结构的特大型斜拉桥。针对机加工车间的钢索塔节段预拼装工艺流程和桥位现场的钢索塔拼装施工流程, 研究了预拼装过程中的微型控制网建立、测量点选择、钢索塔节段温度测量、钢索塔轴线偏差等方面的测量技术和数据处理方法。根据钢索塔的施工流程, 提出了钢索塔拼装控制网 布设、拼装定位等测量与数据处理方案; 通过预拼装测量获取钢索塔已预拼装节段的状态, 指导了钢索塔后继节段加工与调整, 为桥位施工现场钢索塔拼装提供数据和保证了钢索塔拼装的顺利进行。南京三桥钢索塔的各项竣工数据指标均优于钢索塔验收标准, 说明所采用的钢索塔施工测量方法完全满足特大型桥梁钢索塔设计、施工的需要, 可以为同类型的工程提供参考。

关键词: 桥梁工程; 钢索塔; 预拼装测量; 拼装测量; 控制网

中图分类号: U448.27

文献标识码: A

Construction Survey Technology of the Steel Pylon of Nanjing Third Yangtze River Bridge

CHEN Guang-bao¹, WEI Hao-han², HUANG Teng¹

(1. School of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China;

2. School of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037, China)

Abstract: Nanjing Third Yangtze River Bridge is the first cable-stayed bridge in China of which the main tower is in the form of steel structure. Focus on the steel pylon preassembly in machining workshop and assembly on the bridge location, the methods of survey and data processing were discussed such as the building of miniature control network, the choosing of surveying point, temperature measure, the axis deviation of steel pylon section during the steel pylon preassembly process. According to the construction process of the steel pylon matching, the schemes of control network, fixing survey and data processing were established for the steel pylon construction of Nanjing Third Yangtze River Bridge. And the state of assembled steel pylons was got, which can direct the manufacturing of following sections and the assembly of steel pylon in the construction site. The survey technique of the steel pylon preassembly and assembly are effective, which can be regarded as a reference for the similar engineering projects.

Key words: bridge engineering; steel pylon; preassembly survey; assembly survey; control network

0 引言

南京长江三桥主桥为双塔双索钢箱梁斜拉桥, 其主塔为国内首次采用的“人”字形钢结构索塔, 主跨为 648 m, 塔柱高 215 m, 设 4 道横梁, 其中下塔柱及下横梁为钢筋混凝土结构, 下横梁以上部分为钢结构

索塔柱。除钢混结合段外, 每个钢索塔共分为 21 个节段, 每节段长 7.7~11.42 m, 节段间连接采用端面金属接触, M24 高强螺栓连接。钢索塔总重约 12 000 t, 其概貌见图 1^[1]。

由于特大桥钢索塔施工在我国尚属首例, 且钢索塔的现代施工工艺对测量的精度和施工控制提出了相

收稿日期: 2007-05-17

基金项目: 江苏省交通科学研究计划资助项目 (05Y01; 06B01)

作者简介: 陈光保 (1974-), 男, 湖北钟祥人, 讲师, 博士研究生, 从事教学科研工作. (hhughb@163.com)

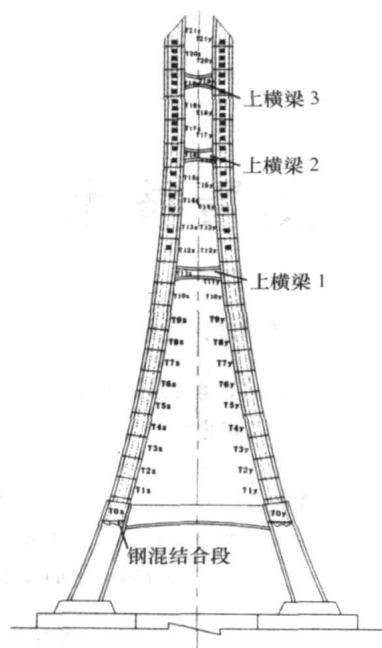


图1 南京长江三桥钢索塔概貌

Fig 1 The steel pylon of Nanjing 3rd Yangtze River Bridge

当高的要求。故本文对南京长江三桥钢索塔施工测量的关键技术进行了探讨。

1 施工控制网

钢索塔施工模式一般分为机加工厂房内节段制作加工和桥位现场吊装^[2]。因此,钢索塔的施工控制网分为预拼装测量微型控制网和钢索塔拼装专用控制网。

1.1 预拼装测量微型控制网^[3,4]

进行钢索塔预拼装测量,首先,必须建立精密测量控制网,如图2所示。将需匹配的钢索塔节段以每两节为单位架设在长6.8m、宽5.0m、高0.5m的钢结构胎架上,微型控制网的坐标系建立方法如下:

坐标原点为钢结构胎架的几何中心点, X 轴为过坐标原点 O 与胎架一条边垂直的主轴线 OA 。全网网型为大地四边形,共 A 、 B 、 C 、 D 4 个控制点,均为观测墩加强制对中基座, AB 、 BC 、 CD 、 DA 各边长均 50 m 左右。按边角网严密平差后,各点点位中误差均小于 ± 0.35 mm。

高程控制网测量采用在胎架几何中心 O 点处架设精密水准仪,测定各混凝土观测墩对中基座顶面的高差,假设基准点 A 的高程为 1 m,推算出各基准点的高程值。

1.2 钢索塔拼装专用控制网^[3,4]

因为钢索塔关键部位定位精度要求特高,大桥首

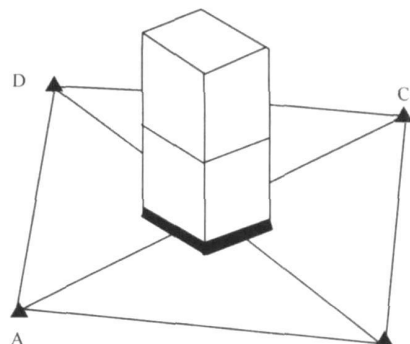


图2 预拼装测量微型控制网

Fig 2 Miniature control network for preassembly survey

级控制网已不能满足钢索塔拼装测量的精度要求。所以必须根据大桥现场施工条件要求,建立相应的钢索塔施工专用控制网,并采取措施提高控制网的精度。

综合考虑南京长江三桥的实际情况,在主塔混凝土部分(下塔柱及下横梁)完成后,通过岸上施工控制网在主塔下横梁上布设平面和高程控制点,与原主桥首级控制网和首级加密控制网中的若干点组成钢索塔拼装专用控制网。

1.2.1 钢索塔拼装平面控制网

南京长江三桥钢索塔拼装平面专用控制网分为南、北主塔两个控制网体系(如图3),每个控制网有 8 个控制点,各有 6 个已知点,其中 $NT04$ 、 $NT06$ 、 $JM03$ 、 $JM05$ 为 2 个控制网公用点(主桥首级平面控制点); $T8$ 、 $T9$ 、 $JM02$ 、 $JM04$ 为两岸 15[#]、18[#] 辅助墩上建立主桥首级加密控制点;未知点 $HL1$ 、 $HL2$ 、 $T6$ 、 $T7$ 分别为新建在南(北)塔下横梁上的 4 个控制点。全网采用边角网形式,按国家二等三角测量的精度要求实施^[5,6]。

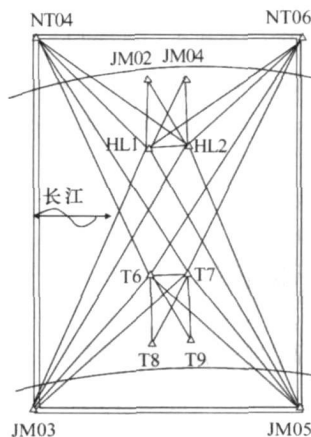


图3 钢索塔拼装平面控制网

Fig 3 Horizontal control network for assembly survey

1.2.2 钢索塔高程控制网

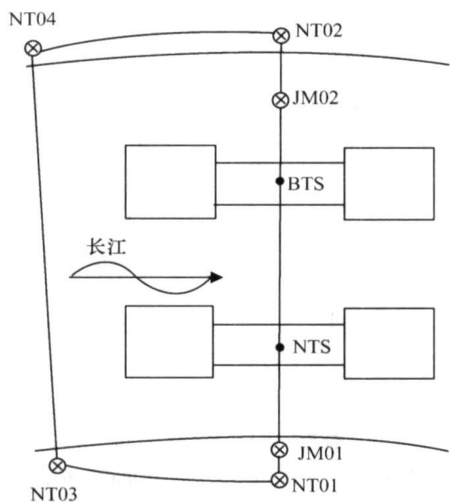


图4 钢索塔拼装高程控制网

Fig 4 Vertical control network for assembly survey

结合桥梁现场施工进度, 当主塔钢套箱基础出水后, 在桥轴线方向上建立4个二等水准点, 其中NTS、BTS分别位于南北主塔基础上, JM01位于13[#]过渡墩顶面上, JM02位于18[#]辅助墩上, 与主桥首级高程控制网中的控制点NT01、NT02、NT03、NT04一起构成钢索塔高程专用控制网(如图4)。其中NT03-NT04段采用经纬仪倾角法跨河水准; JM01-NTS、NTS-BTS、BTS-JM02、JM02-NT02采用精密三角高程跨河水准; NT01-JM01采用悬挂钢尺法传递高程; NT01-NT03、NT02-NT04采用陆上水准。全网达到国家二等水准的精度, 同时桥轴线上JM01、NTS、BTS、JM02相邻控制点间的精度控制在 ± 2 mm以内^[4]。

2 预拼装测量

为了检验机加工完成后的钢索塔节段的接口匹配状态、金属接触情况、塔柱线形等, 考察制造工艺的合理性及拼装的可靠性, 需要在机加厂房模拟桥位现场进行相邻两节段间的预拼装。

2.1 预拼装温度测量

钢结构膨胀系数较大, 受温度影响结构变形显著^[7]; 为了保证预拼装的钢索塔节段各部分温差不超过 2°C , 同时预拼装测量过程中环境温差在 2°C 以内, 所有预拼装测量工作都在凌晨3:00~5:00进行, 并且采用点温计进行温度测量, 其温度测点分布如图5所示, 温度测量内容包括:

(1) 壁板温度测量。温度测点分别选取均匀分布于壁板A、B、C、D外侧的1、2、3点处, 其3点的温度平均值为该壁板的温度, 记为 T_A 、 T_B 、 T_C 、 T_D 。同理测

得腹板E、F的温度为 T_E 、 T_F 。

(2) 内环境温度测量。分别测量3个腹腔中的 M_1 、 M_2 、 M_3 处的空气温度, 其温度平均值即为内环境温度值, 记为 T_M 。

(3) 外环境温度测量。将点温计测针分别置于塔外空气中的 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 处, 其4点温度的平均值即为外环境温度值, 记为 T_N 。

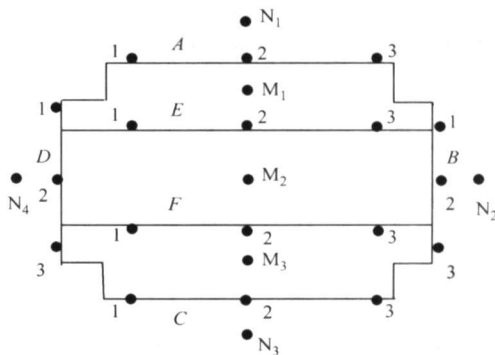


图5 温度测点分布

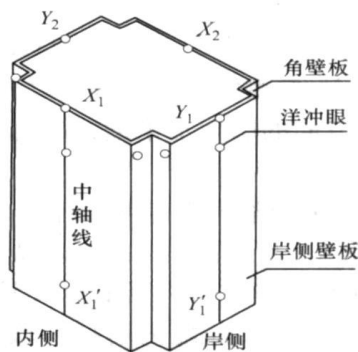
Fig 5 Arrangement of temperature measuring points

当 T_A 、 T_B 、 T_C 、 T_D 、 T_E 、 T_F 、 T_M 、 T_N 之间的温差小于 2°C 时, 即认为此时处于均温状态, 可以进行立式匹配测量。

2.2 节段断面检测及测量点布设

钢索塔节段断面检测在机加工车间内用精密工业测量仪器Tracker ㊦型三维激光跟踪仪测量系统^[8]完成并提供数据。与此同时在钢索塔节段壁板上进行测量点的布设(如图6), 一般选在特征点或轴线上, 采用洋冲眼作为标记。考虑到在桥位现场拼装测量时仍需使用预拼装的测量标志, 从而贴上直径为15 mm的圆形荧光纸作为拼装测量标志, 便于桥位现场的夜间施测^[9]。

2.3 胎架水平度检测

图6 T_1 段测量标志点布设Fig 6 Arrangement of survey marks on the section of T_1

预拼装测量的主要目的是要获得预拼装节段的垂直度及其壁板上的测量点坐标,而由于胎架本身的水平度 α 对测量结果会产生直接的影响,所以每次预拼装测量前都要先测定胎架在预拼装坐标系的 X 轴和 Y 轴方向的水平度。

如图7所示,用检定过的钢尺量取胎架某一边上 P_1 、 P_2 之间的距离为 S ,将钢瓦水准尺立在 P_1 、 P_2 点之上,测出 P_1 、 P_2 点的高差 h ,则得到该边在 Y 方向的水平度: $\alpha_Y = h/s$,同理可以测出其余各边的水平度。

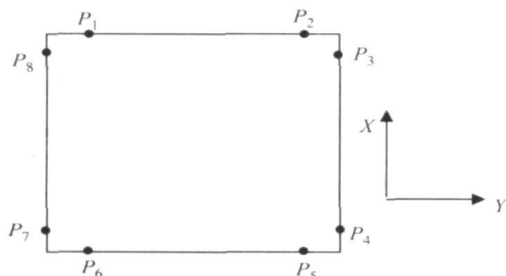


图7 胎架水平度测量

Fig 7 Horizontality measurement of assembling jig

2.4 拼接处错边量^[10]

直接采用游标卡尺量取下节段上端面轴线点和上节段下端面轴线点之间的距离。

3 预拼装测量的数据处理

3.1 预拼装测量坐标计算

预拼装测量时,采用极坐标测量方法测量得到钢索塔节段壁板上测量点的坐标。如果胎架是完全水平的,则得到的坐标就是匹配坐标,但实际上胎架总是不完全水平的,故极坐标法测得的坐标必须根据胎架水平度进行改正,其改正公式如下:

$$\begin{cases} X_{\text{匹配}} = X_{\text{测}} + \alpha_X H_p, \\ Y_{\text{匹配}} = Y_{\text{测}} + \alpha_Y H_p, \end{cases} \quad (1)$$

式中, $X_{\text{匹配}}$ 、 $Y_{\text{匹配}}$ 为改正后的坐标值; $X_{\text{测}}$ 、 $Y_{\text{测}}$ 为预拼装现场极坐标法实测值; α_X 为 X 轴方向的胎架水平度; α_Y 为 Y 轴方向的胎架水平度; H_p 为测点沿铅垂线方向到胎架顶面的距离。

3.2 预拼装测量钢索塔垂直度计算

如图8所示,利用全站仪的竖丝从上节段的上端口轴线中心点 O_2 作垂线,引至下节段下端口 M 处,量测 MO_1 的距离 L 。设匹配的塔柱节段高分别为 H_i 、

H_{i+1} ,则求出钢索塔阶段的垂直度: $\tau = \frac{L}{H_i + H_{i+1}} - \alpha$,

式中, α 为胎架水平度。

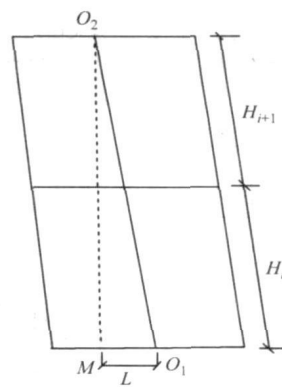


图8 塔柱节段垂直度

Fig 8 Vertically of steel pylon section

3.3 预拼装测量中钢索塔轴线累计偏差计算

钢索塔作为一个整体,在预拼装或者拼装过程中很难通过直接测量其轴心的空间位置来反映其姿态,因此钢索塔的姿态偏差是通过测量钢索塔壁板轴线偏差来反映的。从而节段壁板轴线不仅包含有节段轴心空间位置的信息,还包含有节段横桥向和顺桥向的定位信息。如图6所示,塔柱 T_i 节段的壁板轴线 X_1X_1' 或 X_2X_2' 端点相对于塔柱轴线在 Y 方向的偏移值就反映了顺桥向的偏差;轴线 Y_1Y_1' 端点相对于塔柱轴线在 X 方向的偏移值就反映了横桥向的偏差。

引起钢索塔轴线偏差的主要因素包括:节段下端面垂直度误差、两端面的相对夹角误差及两节段拼装时壁板轴线的相对偏移。以塔柱 T_i 节段的一个壁板为例,各种因素引起的壁板轴线偏移值计算方法如下:

(1) 下端面垂直度误差引起的壁板轴线偏移

如图9所示, H_i 为第 i 节段长度, θ 为下端面垂直度,则由于下端面垂直度误差引起的壁板轴线偏移量 x_i 为:

$$x_i = H_i \sin \theta, \quad (2)$$

其中,实际轴线偏向理论轴线左侧时 θ 为负,偏向理论轴线右侧时 θ 为正。

(2) 节段上下两端面的夹角累积值引起的上端面水平轴线偏移量为:

$$\sigma_i = H_i \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_{j-1}, \quad (3)$$

式中, H_i 为第 i 节段的长度; α_{j-1} 为前 $i-1$ 段的端面夹角累积值,单位为弧度,正负号取法如图10所示,顺时针为负,逆时针为正。

(3) 节段间的轴线错台^[10]

由于机加工工艺的划线误差和预拼装时壁板错边量的调整,导致相邻节段上下壁板轴线的相对偏移值

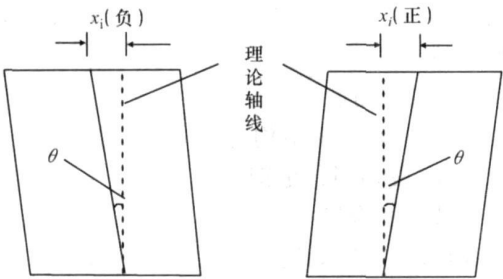


图 9 下端面垂直度引起的轴线偏移
Fig 9 Desaxis caused by the bottom's verticality of steel pylon section

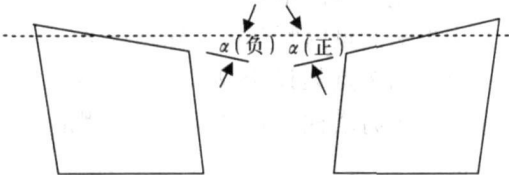


图 10 上下端面夹角引起的轴线偏移
Fig 10 Desaxis caused by the angle between the top and the bottom of steel pylon section

为 u_i , 规定第 i 节段壁板轴线偏向第 $i-1$ 节段壁板轴线左侧为负, 偏向右侧为正。

将以上因素引起的轴线偏移累加, 并设前 $i-1$ 个节段已产生的轴线偏移为 X_{i-1} , 则得到塔柱节段匹配时第 i 节段某一壁板轴线偏移值 X_i :

$$X_i = X_{i-1} + x_i + \sigma_i + u_i = X_{i-1} + H_i \sin \theta + H_i \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_{j-1} + u_i \quad (4)$$

为了清楚地反映预拼装测量中钢索塔轴线累计偏差的计算方法, 表 1 给出了北塔下游塔柱岸侧壁板轴线累积偏差的计算实例。内侧、江侧壁板轴线累积偏差的计算方法与其类似。

表 1 北塔下游塔柱内侧壁板轴线累积偏差计算

Tab 1 The calculation of accumulative deviation of the central axis of the inside wainscot of the downriver pylon column of the northern steel pylon

节段号	H_i / mm	$\theta_1 / (^\circ)$	$\theta_2 / (^\circ)$	x_i / mm	$\theta_2 - \theta_1 / (^\circ)$	$\sum \alpha_{i-1} / (^\circ)$	δ_i / mm	u_i / mm	X_i / mm
T2	8 000	20 00	20.90	0.78	0.90	0.90	0.00	0.0	0.78
T3	7 974	11.66	-5.74	0.45	-17.40	-16.50	0.03	0.6	1.86
T4	7 974	-20.00	4.39	-0.78	24.39	7.89	-0.64	-1.4	-0.96
T5	7 973	-0.47	-6.04	-0.02	-5.57	2.32	0.30	-0.2	-0.88
T6	7 973	9.83	20.51	0.38	10.68	13.00	0.09	0.2	-0.21
T7	7 974	10.84	-19.37	0.42	-30.21	-17.21	0.50	0.0	0.71

3.4 预拼装坐标系统与桥轴坐标系统的转换

为了将机加工厂房预拼装测量获得的塔柱各节段加工形态的第一手资料用以指导后续节段的精密加工

和桥位现场的拼装, 因此, 有必要将预拼装现场测量得到的坐标转换到桥位现场的桥轴坐标系统中。桥轴坐标系的 X 轴为桥轴线指北方向, Y 轴方向垂直于桥轴线并指向长江下游方向。假设南北塔下横梁中心在桥轴坐标系中的坐标为 $O_S(X_S, Y_S)$ 、 $O_N(X_N, Y_N)$, 可以得到如下转换公式:

$$\begin{cases} X_{\text{南}} = X_N \pm X_{\text{匹配}}, \\ X_{\text{北}} = X_S \pm X_{\text{匹配}}, \\ Y_{\text{上}} = Y_N \pm L_i \pm Y_{\text{匹配}}, \\ Y_{\text{下}} = Y_N \pm L_i \pm Y_{\text{匹配}}, \end{cases} \quad (5)$$

式中, $X_{\text{南}}$ 、 $X_{\text{北}}$ 为南、北塔塔柱测量标志点的纵坐标, 当测量标志点在 O_S 、 O_N 北侧时, $X_{\text{匹配}}$ 前符号取“+”, 反之, $X_{\text{匹配}}$ 前符号取“-”; $Y_{\text{上}}$ 、 $Y_{\text{下}}$ 为上、下游塔柱测量点的横坐标; L_i 为第 i 节塔段中心点(即预拼装测量系统的坐标原点)在桥位现场与下横梁中心点 O_S 、 O_N 的距离, 当测量标志点在 O_S 、 O_N 上游时, $X_{\text{匹配}}$ 前符号取“-”, L_i 前符号取“-”, 反之, $X_{\text{匹配}}$ 前符号取“+”, L_i 前符号取“+”。

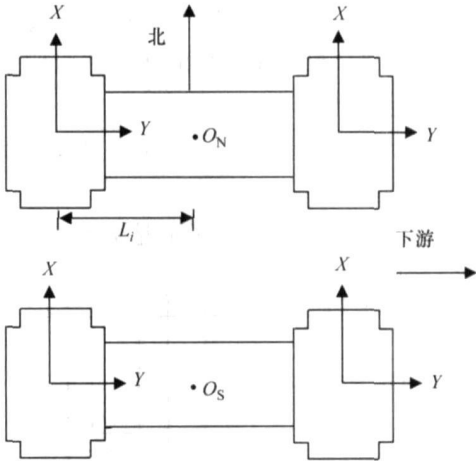


图 11 预拼装坐标系与桥轴坐标系
Fig 11 Coordinate system for preassembly and coordinate system of the bridge axis

4 拼装测量

由于钢索塔节段在机加工厂房加工完成后, 几何形态已经确定, 在现场钢索塔拼装过程中不能对其线形进行局部调整, 且钢索塔各节段间采用高强螺栓连接, 传力方式为金属接触传力^[11]。故在南京三桥的桥位现场只是进行钢索塔节段拼装, 其重点在于控制钢索塔节段的姿态、整体的垂直度。

4.1 钢混结合段 (T0 段) 定位测量

由于 T0 段平面定位和顶面标高偏差精度要求小

于 $\pm 2\text{ mm}$ 。故T0段的定位测量只能采用内控法,即在塔柱内部或距离塔柱很近的控制点架设全站仪施测。以北塔为例,利用下横梁上布设的两个平面控制点HL1、HL2和高程控制点BTS1,采用内控法定位T0段。

T0段定位的关键在于其钢结构部分的定位。而钢结构从下到上分为底座定位件、底座、锚固箱三部分。故T0段定位包括底座定位件及底座定位、锚固箱定位。

4.1.1 底座定位件及底座定位测量^[12]

结合底座定位件及底座定位的施工流程(见图12),其定位的关键在于轴线点的测设和顶面倾斜度的调整,在底座顶面四边纵横轴线点 X_1 、 X_2 、 Y_1 、 Y_2 上布设洋冲眼(见图12)以调整平面位置。调整过程如下:

(1) 初步调整: HL1、HL2点架设全站仪,后视NT04,极坐标法调整底座端口的平面位置,偏差在5 mm左右即可。

(2) 在底座顶面架设精密水准仪,测量特征点A、B、C、D的高程,同时用精密钢尺量距法量取AB、CD的距离,反算出顶面倾角,并对偏差进行调整,直至满足设计要求。

(3) 重复上述两步操作,直至满足设计要求。

4.1.2 锚固箱定位

底座定位完成后即浇注底座混凝土,混凝土凝固

后进行锚固箱的定位。锚固箱定位方法和底座定位件及底座定位方法相似。

4.2 T1段拼装测量

T1段位于索塔钢结构部分的最底层,其定位精度要求和T0段相当,是钢索塔拼装的关键部分。白天利用拖拽绳配合塔吊进行T1段的初步吊装,通过设置于T0段上端口的定位匹配件定位T1与T0间的相互关系,打入不低于20%螺栓孔数量的拼接板冲钉;然后进行塔段间接触率的检查,安装高强螺栓并进行初拧。等到夜间22:00左右塔柱处于均温状态时进行拼装测量。其测量内容如下:

(1) 内控法测量内侧壁板上标志点坐标

在HL1、HL2点架设全站仪,后视NT04,极坐标法测量上、下游塔柱内侧壁板的8个测量点(如图6)的坐标。

(2) 外控法测量岸侧壁板上标志点坐标及顶面纵横轴线点坐标

在JM02处架设全站仪,后视NT04点,极坐标法测定上、下游塔柱岸侧壁板上8个测量点(如图6)的坐标(测量前要测定现场的大气折光系数 K 值,并对全站仪进行相应改正)。由于顶面轴线点是用来控制 X 、 Y 方向(即横桥向、顺桥向方向)的偏移量,因此 Y_1 、 Y_2 点只需测出 Y 坐标值, X_1 、 X_2 测出 X 坐标值即可。

(3) 顶面端口顺桥向轴线之间的水平距离

在塔段顶面设置全站仪直接测量上下游中轴线 Y_1 、 Y_2 之间的距离(如图13)。

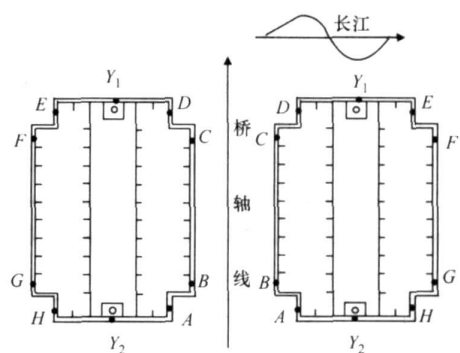


图13 顶面端口距离及高差测量点

Fig 13 Distance and vertical survey marks on the top surface

由于塔柱壁板为宽仅6 cm左右的钢板,无法在节段顶面端口架设全站仪和棱镜进行测距,为此专门设计加工了专用强制对中底盘,用高强螺栓将其与塔柱壁板紧密连接,以取代常规测量中使用的强制对中底盘。现场测量时,将全站仪和棱镜架设于专用强制

图12 底座定位件及底座定位的施工流程

Fig 12 Location process of base fixtures and base

对中底盘上进行往返测距, 两测回取平均。这时测得的距离 S' 实际上只是上下游对中底盘之间的距离, 而非节段顶面顺桥向轴线间的距离。因此必须求出轴线与对中底盘中心之间的距离 ΔL 。其方法为小角度法 (见图 14): 将 TCA2003 全站仪和棱镜分别置于专用对中底盘中心 O_1 、 O_2 两点, 测出节段顶面两对中底盘中心之间的距离 L , 接着测出节段顶面顺桥向轴心点 Y_1 与对中底盘中心之间的小角度 θ 。由几何关系可知:

$$\Delta L = L \arctan \theta. \quad (6)$$

对中底盘中心位于节段顺桥向轴线内侧时 ΔL 为正, 反之为负。则有:

$$S = S' + \Delta L_{\text{上游}} + \Delta L_{\text{下游}}. \quad (7)$$

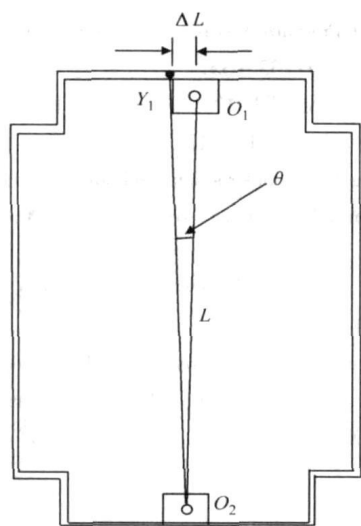


图 14 小角度法测距

Fig 14 Distance measurement using small angle

(4) 节段顶面横桥向端面倾角和上下游节段之间的相对高差

钢索塔的人字形造型使得上下游塔段之间的距离从 T1 段开始不断变小, 因此每节塔段都向内侧倾斜, 控制各节段顶面的横桥向倾角是索塔拼装测量的必要内容。

由于上下游塔柱都向内侧倾斜, 可直接将钢瓦尺架设在塔柱顶面端口的棱边上, 不必专门制作高程测量点。为避免架设水准仪的三角架在塔柱顶面打滑, 需用强力磁铁固定。各高差测量点布设如图 13 所示。用检定过的钢尺以标准拉力精确量取节段对称点的距离 (如 AH 、 BG 等), 以上游节段为例, AH 线上的倾斜度为:

$$\alpha_1 = \arctan \frac{h_{AH}}{L_{AH}}, \quad (8)$$

式中, h_{AH} 为 A 、 H 两点间的高差; L_{AH} 为 A 、 H 两点间的距离。

则该节段的倾斜度为:

$$\alpha = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \alpha_i, \quad (9)$$

式中, α_i 分别为 AH 、 BG 、 CF 、 DE 间的倾斜度。

另外, 上下游节段间相对高差的测量按二等水准的要求, 分别在上下游塔柱顶面架设精密水准仪和水准尺进行往返观测名字相同点之间的高差, 如 AA 、 BB 等。其高差测量点布设如图 13。

4.3 T2~T21 段拼装测量

T2 段的平面定位精度为 ± 4 mm, 并且从该塔段开始平面定位精度以每节 ± 2 mm 的幅度递减, 外控法拼装测量的精度完全能够满足各塔段的定位精度要求, 没有必要再用内控法测定内侧壁板的测量点坐标。除此之外, T2~T21 段与 T1 段的拼装测量内容完全相同。

5 结束语

南京三桥钢索塔的各项数据指标均优于钢索塔验收标准, 说明所采用的钢索塔施工测量技术完全满足了设计、施工的需要, 从而得出了以下结论:

(1) 钢索塔预拼装测量检验了钢索塔各节段的制作加工情况, 获取了已匹配节段的状态, 并指导后继节段在机加工厂房内的加工和桥位施工现场钢索塔的拼装。

(2) 为了保证预拼装测量过程中的钢索塔节段各部分温差不超过 2°C , 且环境温度在 2°C 以内, 因此预拼装所有测量工作都应选在凌晨 3:00~5:00 进行; 同时, 钢索塔拼装测量应选在同一时间段。

(3) 钢索塔关键部位定位精度要求特高, 大桥首级控制网已不能满足拼装测量的精度要求。在此情况下, 根据大桥现场施工条件要求建立相应的钢索塔施工专用控制网, 并采取措施提高控制网的精度。

(4) 钢索塔拼装施工现场观测条件复杂, 单一的观测手段很难满足钢索塔不同节段拼装的需要, 因此针对不同节段、不同施工条件, 需要采用内控法、外控法及内外控结合的测量方法。

参考文献:

References:

- [1] 刘世忠, 陈权, 李少波. 同安银湖独塔单索面部分斜拉桥 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (5): 57-59.
- LIU Shi-zhong, CHEN Quan, LI Shao-bo. Tongan Yinhu Single-tower Single-cable face part of the cable-stayed bridge [J]. Highway Technology, 2006, 23 (5): 57-59.

- gle Pylon Partial One-side Cable-Stayed Bridge [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23 (5): 57-59.
- [2] 刘世林, 梁智涛. 斜拉桥 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- LIU Shi-lin, LIANG Zhi-tao. Cable-stayed Bridge [M]. Beijing: China Communications Press, 2002.
- [3] 华锡生, 黄腾. 精密工程测量技术及应用 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2002.
- HUA Xi-sheng, HUANG Teng. Techniques and Application of Precise Engineering Surveying [M]. Nanjing: Hohai University Press, 2002.
- [4] 孔祥元, 梅是义. 控制测量学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- KONG Xiang-yuan, MEI Shi-yi. Control Surveying [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004.
- [5] GB50026-93, 工程测量规范 [S].
- GB50026-93, Norm of Engineering Surveying [S].
- [6] 刘成龙, 李振伟. 现代桥梁施工平面控制网建网方法研究 [J]. 桥梁建设, 2002 (6): 23-26.
- LIU Cheng-long, LI Zhen-wei. Research of Methods for Establishing Horizontal Control Network for Modern Bridge Construction [J]. Bridge Construction, 2002 (6): 23-26.
- [7] 刘来君, 贺拴海, 宋一凡. 大跨径桥梁施工控制温度应力分析 [J]. 中国公路学报, 2004, 17 (1): 53-56.
- LIU Lai-jun, HE Shuan-hai, SONG Yi-fan. Analysis of Temperature Stress in Control of Long-span Bridge Construction [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17 (1): 53-56.
- [8] 冯闻灏. 工业测量 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- FENG Wen-hao. Industrial Surveying [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004.
- [9] 张宝魁, 马清珍. 云阳长江公路大桥施工控制 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (8): 73-77, 82.
- ZHANG Bao-kui, MA Qing-zhen. Construction Control of a Highway Cable-stayed Bridge on the Yangtze River [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (8): 73-77, 82.
- [10] 刘溢恩, 冷豪. 锅炉与压力容器检验测量影响因素的分析 [J]. 石油化工设备, 1995, 24 (6): 33-35.
- LIU Yi-en, LENG Hao. Analysis of the Influential Factors to Boiler and Pressure Vessel [J]. Petro-Chemical Equipment, 1995, 24 (6): 33-35.
- [11] 杜振兵. 高强度螺栓安装施工技术 [J]. 山西建筑, 2003, 29 (3): 111-112.
- DU Zheng-bing. Construction Technology of High Strength Bolt Installation [J]. Shanxi Architecture, 2003, 29 (3): 111-112.
- [12] 陈明宪. 斜拉桥建造技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- CHEN Ming-xian. The Construction Technology of Pony Tower Cable-Stayed Bridge [M]. Beijing: China Communications Press, 2004.