

文章编号: 0451—0712(2006)12—0014—04

中图分类号: U445. 469

文献标识码: B

崖门大桥索塔施工测量

王 永

(广东省长大公路工程有限公司第一分公司 番禺市 510000)

摘 要: 结合崖门大桥索塔的爬模施工,介绍了施工中模板和锚管的平面和高程控制,以及索塔施工的测量监控。

关键词: 斜拉桥; 索塔; 控制网; 测量控制; 锚管定位; 精度分析

- 1 崖门大桥概况
- 崖门大桥为广东省西部沿海高速公路上位于崖门入海口的一座大型桥梁,全长1 296 m。主桥为墩、塔、梁固结的单索面预应力混凝土箱梁斜拉桥,跨径组合为50 m+115 m+338 m+115 m+50 m,桥上索塔高77 m,为空心直塔,平面几何尺寸为6.6 m×3.6 m,索塔两侧各设25对斜拉索,见图1所示。崖门大桥位于台风活动强烈的地区,其中5月~8月尤为强烈,而索塔刚好在5月~9月施工,给索塔测量带来了很大难度,因此必需根据现有的施工条件制订出高精度的、可靠的施工测量方案。
- 2 建立施工测量控制网
- 崖门大桥12号和13号主墩都处于约800 m宽的崖门水道深水中,两边与两岸用50 mT梁连接,布设了如图2所示的平面控制网。为了达到规范要求,平面控制网采用国家二等边角网的方案进行施测。为了保证2个索塔标高的统一,具体实施是在2个承台上埋设钢筋,露出水泥面少许,将水准控制点标高引测至此,用2台N₃精密水准仪配铟瓦钢尺,采用二等跨河水准联测。把跨河水准联测后的标高引测到施工完成后的0号块预埋钢筋上,作为0号块的水准控制点,并且定期对该点进行复测工作。

收稿日期:2006—06—18



A Study on Shear Lag Effect for Integral Abutment and Curved Box Girders

PENG Da-wen¹, LIN Zhi-ping², DENG Li-qiong², XU Sheng²

(1. Department of Civil Engineering and Architecture, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China;
2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In this paper, finite element models are established to analyze the shear lag effect of integral abutment and curved box girders (IACBG). Different distribution laws of shear lag of IACBG are compared with the generic bridges. The accuracy of FEA method is proved by the plexiglass model test. The influence of structure parameters are analyzed and the practical tables calculating shear lag coefficient are provided. The rules of shear lag coefficients changing with the affecting factor are summarized. It is proved that the main affecting factors include: equivalent pile length, bending stiffness of abutment, ratio of width to span, distance of webs, etc.

Key words: bridge; integral abutment; curved box girder; shear lag effect; FEM; model test; practical table

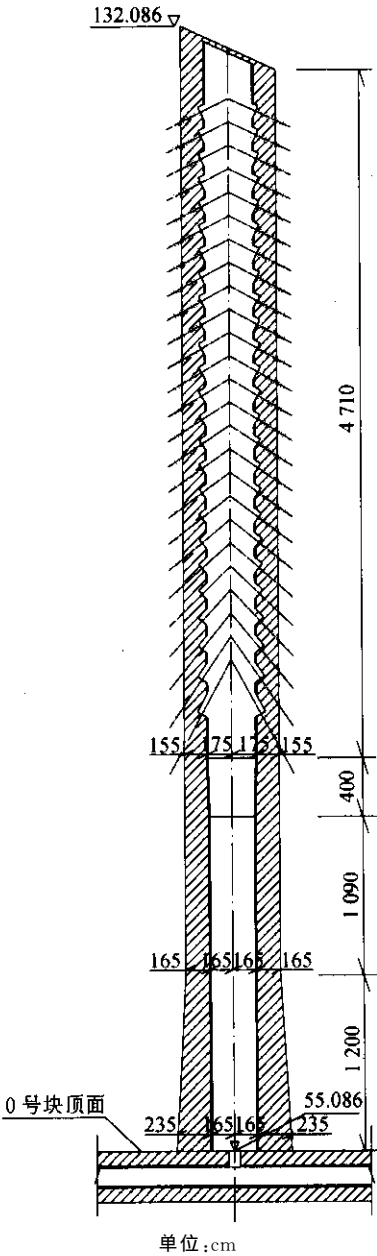


图 1 索塔立面

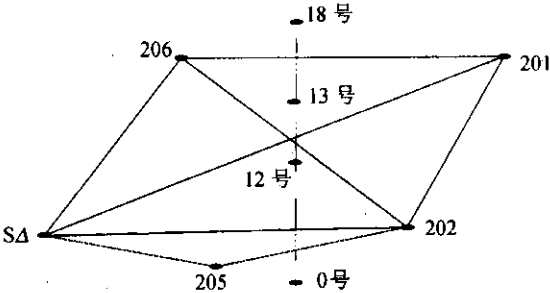


图 2 平面控制网

3.1.1 转化坐标

根据设计要求以及施工特点,崖门大桥索塔采用爬模施工。索塔模板采用大块模板设计,每层 3 m,3 层共 9 m,每次提升 6 m,根据已有的控制网,采用极坐标法控制索塔模板主角点的平面位置,使就位精度满足设计文件要求。每施工 6 m 后都要对模板角点的平面位置进行调整。由于崖门大桥主桥全部处在直线段之中,在调整模板角点位置的过程中,可以将大地坐标系转化为桥轴线坐标系,使得大桥的测量更为方便、快速、准确,对于索塔模板而言,可以更方便地调整模板的平面位置,将棱镜杆直接摆在模板各角点上,测出桥轴线坐标,可以迅速地弄清模板角点的偏位以及方向。下面进行转化公式的推导,如图 3 所示。

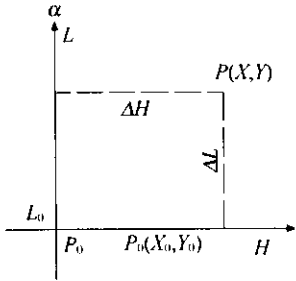


图 3 转化坐标系计算示意

L 表示桥轴中线,并且与里程方向相同, H 与 L 垂直,上水方向为正, L_0 为 $P_0(X_0, Y_0)$ 点对应的里程,在直线段中可以任意选一特定的 P_0 点和与之对应的里程 L_0 , α 表示桥轴中线方位角, P 点表示平面中任何一未知点,则很容易得出 P 点坐标为:

$$X = X_0 + \Delta L \cos \alpha - \Delta H \sin \alpha$$

$$Y = Y_0 + \Delta L \sin \alpha + \Delta H \cos \alpha$$

即得:

$$\Delta L = (X - X_0) \cos \alpha + (Y - Y_0) \sin \alpha$$

$$\Delta H = (Y - Y_0) \cos \alpha - (X - X_0) \sin \alpha$$

将 $L = L_0 + \Delta L$ 替换上式,得:

$$L = L_0 + (X - X_0) \sin \alpha + (Y - Y_0) \cos \alpha$$

$$\Delta H = (Y - Y_0) \cos \alpha - (X - X_0) \sin \alpha$$

由于 L_0 、 X_0 、 Y_0 、 α 都为常数,平面中任一点 $P(X, Y)$ 包括大地坐标系控制点都可以转化为纵轴为桥中轴线,横轴为与之正交的桥轴线坐标系,根据设计图纸,容易得出模板各个角点的设计桥轴线坐标 $(L, \Delta H)$,与实测的数据相比较,可以迅速得出模板各个角点偏位情况。

3.1.2 平面定位精度

3 索塔施工测量

3.1 索塔模板的平面施工测量

平面定位精度可按下式估算。

$$M_P^2 = m_S^2 + s^2/\rho^2 m_a^2 + m_0^2$$

式中: m_a 为测角精度; m_S 为测距精度; m_0 为桥轴线点位精度。

根据现有情况可知 $M_{P_{\max}} = \pm 4.8 \text{ mm}$ 。

3.2 索塔模板的标高测量

由于索塔高 77 m, 用常规水准测量作高程控制时困难大且速度也慢, 甚至无法施测, 这里可以考虑以下方法。

3.2.1 悬挂钢尺配合 2 台水准仪测量

一般方法是: 在索塔模板边, 用施工塔吊将钢尺挂到距离 0 号块地面约 1 m 高, 钢尺下端悬挂与鉴定钢尺时拉力相等的重物, 钢尺零端读数放在下面, 在 0 号块地面和塔顶各布置 1 台同精度的 NA2 水准仪, 用水准测量方法同步进行观测 3~5 个测回, 其计算公式为:

$$H = H_0 + (A_{\text{下}} - A_{\text{上}}) + (B_{\text{上}} - B_{\text{下}}) + \Delta L_{\text{温}} + \Delta L_{\text{尺}} + \Delta L_{\text{重}} + \Delta L_{\text{拉}}$$

式中: H_0 为 0 号块上水准控制点; $A_{\text{下}}$ 为 0 号块上水准仪观测水准尺上的读数; $A_{\text{上}}$ 为塔顶上水准仪观测水准尺上的读数; $B_{\text{上}}$ 为塔顶上水准仪观测钢尺上的读数; $B_{\text{下}}$ 为 0 号块上水准仪观测钢尺上的读数; $L_{\text{温}}$ 、 $\Delta L_{\text{尺}}$ 、 $\Delta L_{\text{重}}$ 、 $\Delta L_{\text{拉}}$ 分别为 $B_{\text{上}} \sim B_{\text{下}}$ 这段钢尺的温度、尺长、自重伸长、拉力的改正数。

悬挂钢尺配合水准仪测量定位精度可按下式估算:

$$M_h^2 = \pm M_0^2 + M_1^2 + M_2^2 + M_3^2$$

式中: M_0 为 0 号块上水准基点中误差; M_1 为水准测量观测误差; M_2 为水准尺自身误差; M_3 为钢尺量测误差。

根据现有情况可知 $M_{h_{\max}} = \pm 3.6 \text{ mm}$ 。

3.2.2 利用全站仪加棱镜杆测量

全站仪可以作为高程测量的复核, 现介绍一种使用 1 台全站仪加 2 个棱镜杆测量标高的方法。两个要同样高度, 各项指标完全一样, 如图 4 所示: 将一棱镜杆放在 0 号块上水准控制点上, 然后在塔顶上找一固定点架好棱镜杆, 用 1 台全站仪在地面任意摆站, 但尽量控制在 400 m 之内, 垂直角不要超过 $\pm 15^\circ$ 。以 Leica TC702 全站仪为例介绍如何操作, 首先将仪器调平后镜头对准 0 号块上棱镜杆镜头中心 A, 测量 dH (有正负), 同时记录斜距 D_1 , 垂直角 α_1 , 然后在坐标设置输入高程 H_0 (其数值 $H_0 = H_{0\text{号块}} - dH$), 重新测距, 则仪器显示 0 号块水准控制点标高值

H_A , 最后对准塔顶上棱镜杆镜头中心 B, 按测距即可测出其标高 H_B , 同时记录斜距 D_2 , 垂直角 α_2 。用此法来复核悬挂钢尺所得标高值, 非常方便, 又不易出错。

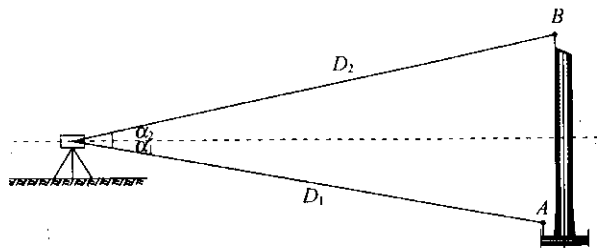


图 4 利用全站仪测量标高示意

利用全站仪测量标高的精度评定:

$$H_{BA} = D_2 \sin \alpha_2 - D_1 \sin \alpha_1 - (L_B - L_A) \quad (L_B = L_A)$$

$$\text{则 } M_{HBA}^2 = (\sin^2 \alpha_2 + \sin^2 \alpha_1) M_D^2 + (M_a/\rho)^2 \times (D_2^2 \cos \alpha_2^2 + D_1^2 \cos \alpha_1^2)$$

代入相应的数据可得: $M_{HBA} = \pm 5.0 \text{ mm}$, 满足桥梁工程对精度的要求。

3.3 索塔锚管的测量定位

锚管的测量精度必须满足一定的规范要求, 锚管空间位置的正确与否直接影响到斜拉索的受力状态, 进一步影响到斜拉桥的受力状态, 如果锚管的测量定位精度过多偏离设计值到一定程度, 会对桥体产生严重的损害。我们在施工测量过程中, 对索塔锚管的三维空间定位精度控制在 $\pm 5 \text{ mm}$ 之内, 故在索塔施工中, 锚管的测量定位是一项非常重要的工作, 并且对其精度要求极高。

在进行塔上锚管的测量放样之前, 首先要根据锚管的设计参数计算出放样数据, 只需要在静态的条件下定位。下面对塔上锚管放样数据的计算方法及施工定位做一简单介绍。

索塔上锚管设计参数如图 5 所示, 塔上锚管的设计参数是相对于以索塔几何中心为坐标原点, 指向中跨的顺桥向方向为正 X 轴、指向下游的横桥向方向为正 Y 轴和指向高度方向为正 Z 轴的局部施工坐标系而言的。塔上锚管的设计参数主要有: 索塔上锚点 A 的三维坐标 X、Y、Z, 斜拉索塔上出口方向角 α 、 β 、 γ , 锚管的长度 L 和锚管的外径 ϕ 以及锚管锚垫板的厚度 h。按方向余弦定理可以得到出口中心点 B 的设计坐标为:

$$X_B = X + (L + h) \cos \alpha$$

$$Y_B = Y + (L + h) \cos \beta$$

$$Z_B = Z + (L + h) \cos \gamma$$

同理可得到出口端上下边沿 C 点和 D 点以及 E 点的设计坐标为:

$$X_C = X_B + 0.5\phi \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$Y_C = X_B - 0.5\phi \sin(90^\circ - \beta)$$

$$Z_C = Z_B + 0.5\phi \cos(90^\circ - \gamma)$$

和

$$X_D = X_B - 0.5\phi \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$Y_D = Y_B + 0.5\phi \sin(90^\circ - \beta)$$

$$Z_D = Z_B + 0.5\phi \cos(90^\circ - \gamma)$$

以及 $X_E = X_C - L_1 \cos \alpha, Y_E = Y_C - L_1 \cos \beta, Z_E = Z_C - L_1 \cos \gamma$ 。

同理可得锚固点上下边沿 $A_{上}$ 和 $A_{下}$ 的设计坐标为:

$$X_{A_{上}} = X + 0.5\phi \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$Y_{A_{上}} = Y - 0.5\phi \cos(90^\circ - \beta)$$

$$Z_{A_{上}} = Z + 0.5\phi \cos(90^\circ - \gamma)$$

和

$$X_{A_{下}} = X - 0.5\phi \cos(90^\circ - \alpha)$$

$$Y_{A_{下}} = Y + 0.5\phi \sin(90^\circ - \beta)$$

$$Z_{A_{下}} = Z - 0.5\phi \cos(90^\circ - \gamma)$$

重新对 3 个观测点进行测定,也可补测 E 点进行复核,此方法是最常规的方法。在实际施工过程中,测量工作费时费力,调整一条锚管需要 2 h 多。我们可以采取另外一种方法,首先将局部施工坐标转化为桥轴线坐标,把锚管大致固定在劲性骨架设计位置上,此工作可以在吊装劲性骨架之前完成,然后检测 $A_{下}$ 、 C 两点的桥轴线坐标,反复调整两点的桥轴线坐标到设计值,当 $A_{下}$ 、 C 两点差不多到设计值时,检测 $A_{上}$ 的桥轴线坐标,反复调整此点的桥轴线坐标到设计值,然后检测 $A_{下}$ 、 C 两点的桥轴线坐标,待 3 点坐标都在规范范围内之后加固锚管。用此方法,调整一条锚管只需要 1 h 左右。为了节省更多调整锚管时间,可以预先在加工场地粗调锚管,然后同骨架一起吊装就位在塔上微调,可以加快施工进度。

4 索塔施工测量的精度分析

从前面的定位分析可知:高程定位精度 $M_{h_{\max}} = \pm 3.6 \text{ mm}$,平面定位精度 $M_{P_{\max}} = \pm 4.8 \text{ mm}$ 。

5 索塔的测量监控

由于崖门大桥随着悬臂施工的延长,索塔受日照、风力及斜拉索的张拉等因素的影响,在顺桥向和横桥向都会存在偏移。使用全站仪直接测量观测点的平面坐标的方法可以得出二维坐标的偏移量。具体观测方法是:在塔顶安置 2 个全站仪反射棱镜,作为变形观测点,每施工完 1 个节段后,早晨 5 点到 6 点用全站仪直接测量这 2 个观测点的二维坐标。利用桥轴线坐标系进行观测,可以直接分析出索塔顺桥向和横桥向的偏移情况,进一步预测下一施工节段的变形情况和规律,提前预防索塔变形过大,保证了索塔的受力安全。从前面的平面定位精度分析可知,此方案的平面测量精度为 $\pm 4.8 \text{ mm}$,完全满足测量规范要求。

6 结语

在崖门大桥索塔施工过程中,采用了各种测量方法对索塔施工进行测量控制,解决了大跨径、高塔斜拉桥的高精度测量定位问题,保证了索塔施工的顺利进行。

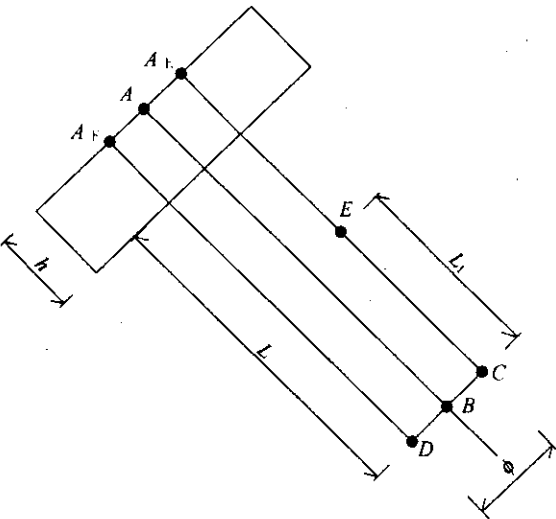


图 5 锚管设计坐标计算示意

按照计算出来的结果,利用已有的桥面控制网和 0 号块上水准基点,在劲性骨架上按局部施工坐标系放样出 $A_{上}$ 、 $A_{下}$ 、 C 三点的空间位置,然后安装锚管,进行微调工作达到设计要求范围内,加固之后