

文章编号: 1002-0268 (2003) S1-0188-04

# 润扬长江公路大桥高塔柱 施工测量质量控制

谢利宝<sup>1</sup>, 郭大进<sup>2</sup>, 秦正学<sup>3</sup>

(1. 江苏省交通厅工程质量监督站, 江苏 南京 210001; 2. 交通部公路科学研究所, 北京 100088;  
3. 河海大学土木学院, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 介绍润扬大桥高塔柱施工测量中的一些关键技术和手段, 以及保证其测量质量的技术措施。

**关键词:** 润扬大桥; 高塔柱; 施工测量; 三维坐标法; 自动化观测

中图分类号: U445

文献标识码: A

## Survey Quality Control on Tower Pillar of Runzhou—Yangzhou Yangtse River Highway Bridge

XIE Li-bao<sup>1</sup>, GUO Da-jin<sup>2</sup>, QIN Zheng-xue<sup>3</sup>

(1. Engineering Quality Supervising Station of Jiangsu Provincial Communications Department, Jiangsu Nanjing 210001, China;  
2. Research Institute of Highway, Ministry of Communications, Beijing 100088, China;  
3. Civil Engineering College of Hehai University, Jiangsu Nanjing 210008, China)

**Abstract:** This article introduces some of key technique and measures of construction survey on tower pillar of Runzhou—Yangzhou Bridge and technical measures to ensure its survey quality.

**Key words:** Runzhou—Yangzhou Bridge; Tower Pillar; Construction Survey; Three-dimensional Coordinate Method; Automatic Observation

### 0 概述

润扬长江公路大桥是我国第一座由悬索桥和斜拉桥构成的现代化组合桥梁。该桥南接镇江市, 北连扬州市。在这里, 长江水道被世业洲自然分割为南汊和北汊。其中南汊悬索桥主跨 1 490m, 北汊斜拉桥主跨 406m。

南汊桥南北索塔是由钢筋混凝土塔柱和 3 道横梁组成的门式空间框架结构, 塔柱高度达 208m; 北汊桥采用钢筋混凝土空间索面花瓶型索塔, 索塔由中下横梁分成上、中、下塔柱 3 部分, 塔柱高度为 143m。

设计对索塔施工测量提出了高标准的要求, 其中倾斜度不大于  $H/3\ 000$  ( $H$  为塔高), 轴线偏位不大于  $\pm 10\text{mm}$ , 断面尺寸偏差不大于  $\pm 20\text{mm}$ , 塔顶高程偏差不大于  $\pm 10\text{mm}$ 。特别是北汊斜拉桥索道管高程

偏差不大于  $\pm 10\text{mm}$ , 轴线偏差不大于  $\pm 5\text{mm}$ 。由此可见, 塔柱施工测量亦是整个大桥施工测量的重点和难点。

对如此高的索塔, 要达到上述技术要求, 的确给施工测量带来了许多技术难题。我们在充分研究大桥控制网、索塔周围地形条件以及索塔施工工艺的基础上, 采取了一些行之有效的测量手段, 保证了施工测量的进度和质量, 取得了明显的经济效益。

### 1 大桥施工控制网的维护

控制网的维护, 包括 2 方面的内容, 一是对原网进行定期和不定期的复测和检测, 监测网点的稳定性, 保证不因控制点的位移而影响施工放样的质量; 二是不断加密控制网点的数量, 调整和改善网的结构, 使得控制网能有效地为施工放样服务。

收稿日期: 2002-11-08

作者简介: 谢利宝 (1973—), 男, 河北平泉人, 工程师, 现从事公路工程建设质量监督工作。

(1) 原网的维护

润扬大桥首期施工控制网由 24 个控制点构成(如图 1 所示)。大桥开工后, 该网的部分控制点受施工影响, 可能发生了一定的变位, 为确保测量质量, 需对该网做许多维护工作。具体做法是: a. 每年对控制网复测一次。复测时, 基本上按照首期网的网形和要求进行同精度测量。个别点位因受施工机械等因素影响, 观测方案做了微调。这种做法有利于保证控制网的连续性。b. 做好不定期的检测工作。润扬大桥开工后, 由于许多大型机械进场施工, 个别控制点受到机械振动后发生了位移, 通过及时检测并启用新的成果, 有效地保证了施工进度和质量。特别是南汊桥南、北锚锭区域, 由于施工大量抽排地下水, 使控制点变位影响的范围达 700m, 部分点甚至每天变动 2~3mm。这时若采取全面复测的办法, 势必影响施工进度。为此我们采取局部网检测的手段, 确保了索塔正常施工的进度。

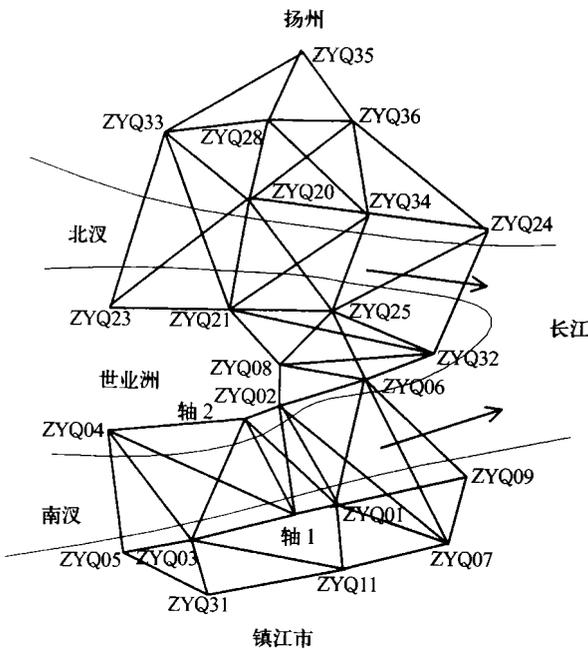


图 1 润扬大桥施工控制网示意图

(2) 根据工程需要调整和改善网的结构

随着工程的开展, 原控制网的使用可能无法满足施工放样质量的要求, 需要根据实际调整原网的结构。如北汊桥索塔施工至上塔柱时, 如果利用长江两侧的控制点, 直接放样斜拉索钢套管江侧的位置, 其精度无法满足要求, 所以及时调整了网的结构, 在南汊索塔下横梁上加密两个控制点 ZYQB13、ZYQB14, 如图 2 所示。使测站到放样点之间的距离由 800m 缩短到 410m, 大大提高了放样精度。

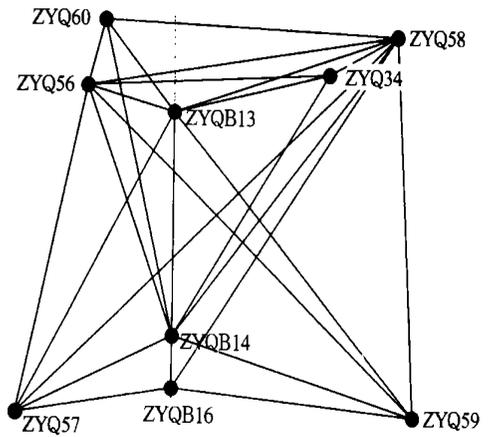


图 2

2 三维坐标法在施工放样中的广泛应用

传统的测量放样方法是多种多样的, 其共同缺点是测量工作强度大, 人员和仪器需求多, 放样速度慢, 精度可控性差。而三维坐标法的最大优点是速度快、精度高。采用瑞士徕卡公司生产的 TC2003 精密全站仪 ( $m_\alpha = 0.5'$ ,  $m_s = 1 + 1\text{ppm}$ ), 为广泛应用三维坐标法进行索塔放样工作创造了有利条件, 实现了快速施工放样的目标。

(1) 三维坐标法的原理及精度分析

如图 3 所示,  $O$  为测站点,  $P$  为放样点。全站仪安置在  $O$  点, 在  $P$  点安置棱镜。测定测站点到放样点的斜距  $S$ , 天顶距  $Z$  和水平方向角  $\alpha$ 。则  $P$  点相对测站点三维坐标为

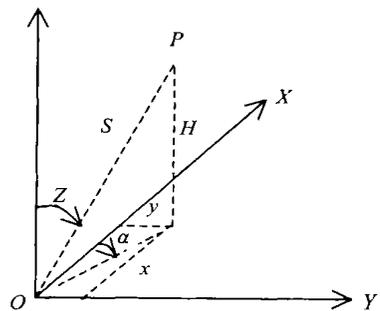


图 3 三维坐标法测量示意图

$$x_p = x_0 + S \cdot \sin z \cdot \cos \alpha$$

$$y_p = y_0 + S \cdot \sin z \cdot \sin \alpha$$

$$H_p = H_0 + S \cdot \cos z + \frac{1-K}{2R} (S \cdot \sin z)^2 + i - t$$

在不考虑起算误差时, 相应的  $x_p$ 、 $y_p$  的中误差计算公式为

$$m_{xp}^2 = (\sin z \cdot \cos \alpha \cdot m_s)^2 + \left[ S \cdot \cos z \cdot \cos \alpha \cdot \frac{m_z''}{\rho''} \right]^2 +$$

$$m_{yp}^2 = (\sin z \cdot \sin \alpha \cdot m_s)^2 + \left[ S \cdot \cos z \cdot \sin \alpha \cdot \frac{m_z''}{\rho''} \right]^2 + \left[ S \cdot \sin z \cdot \cos \alpha \cdot \frac{m_\alpha''}{\rho''} \right]^2$$

若不考虑起算点的高程误差,且暂不顾及折光误差(我们要求实测折光系数),进行放样时,其高程中误差公式为

$$m_{Hp}^2 = (\cos z \cdot m_s)^2 + \left[ S \cdot \sin z \cdot \frac{m_z''}{\rho''} \right]^2 + m_i^2 + m_t^2$$

根据施工现场实际情况、使用仪器的精度、观测的测回数,并参考相关测量实验资料,取

$$m_s = \pm 1\text{mm}, m_\alpha'' = \pm 1.3'', m_z = \pm 1.5'', \alpha = 40^\circ,$$

$$z = 56^\circ, m_i = m_t = \pm 1\text{mm}, S = 450\text{m}$$

分别计算得

$$m_{xp} = \pm 2.15\text{mm}, x_p \text{ 最大误差 } 2m_{xp} = 4.3\text{mm} < 5\text{mm},$$

$$m_{yp} = \pm 2.45\text{mm}, y_p \text{ 最大误差 } 2m_{yp} = 4.9\text{mm} < 5\text{mm},$$

$$m_{Hp} = \pm 3.1\text{mm}, H_p \text{ 最大误差 } 2m_{Hp} = 6.2\text{mm} < 10\text{mm}.$$

由上述精度分析可知,采用三维坐标法,完全满足索塔各部位施工放样的要求,能够广泛应用。

### (2) 三维坐标法的实施

在索塔的施工中,施工测量的主要任务是:各节段劲性骨架的安装定位,各节段的模板安装定位及验收,各节段混凝土竣工测量等,对于斜拉桥,还有一个主要内容是索道管安装定位。

a. 劲性骨架的安装定位。索塔劲性骨架是由角钢及钢筋加工制作,用于钢筋定位和模板支撑,其精度要求较低。一般采用三维坐标法测定两点即可。

b. 模板的定位与验收。根据施工图事先算出每一节段模板顶口四角点的理论坐标,用三维坐标法放样。具体做法是:在每一节段模板安装定位前,在劲性骨架四拐角处焊钢板(高程控制在比理论模板顶口高10cm),进行模板定位。所有安装工序完成后,在混凝土浇筑前,再用三维坐标法直接测出模板的四角点的三维坐标,若实测坐标与理论坐标偏差超出要求,需进行二次定位,直至满足要求。个别情况因爬架、脚手架等杆件影响通视时,可通过调整棱镜杆长度,或在局部范围内进行偏距测量等方法解决。

c. 各节段混凝土竣工验收。在每一节段浇筑竣工后,需要实测混凝土的顶面高程和外形尺寸,测量方法仍然采用三维坐标法配合钢尺丈量。

d. 斜拉索索道管定位。由于索道管定位要求高,必须考虑外界因素引起的塔柱变位,通常定位时间安

排在早上8点前,且在无风的条件下进行。整个索道管定位过程分为放点、调整、检验、再调整、验收5个步骤。上述步骤定位采用预先制作的两块圆盘形样板,分别套入钢套管的顶口和底口,使圆盘中心与顶口、底口中心一致,然后在圆盘中心孔上立棱镜,直接测量它们的三维坐标。一般情况下,观测两测回。若外界因素变化使测量结果差异较大时,增加测回数(可达4~8测回),确保定位准确。每完成一根钢管套筒定位,用水准仪测定其顶、底口高差,检查定位高程质量。每完成一对钢套筒定位,江侧和岸侧的钢套管的顶口,用钢卷尺丈量距离,用水准仪测定其高差,以检验标定结果的准确性。

### 3 高塔柱变形观测

一般来讲,高大索塔在外力、日照、风力等因素的作用下会产生扭转和摆动。为掌握索塔的变形情况,为后续工序提供决策依据,必须进行索塔变形观测。这里以北汉桥北塔索塔变形观测为例,介绍使用TCA2003全站仪内置的Monitoring程序进行数据采集,再用差分法进行内业数据处理的一种自动化变形观测方法。

#### (1) 数据采集

在TCA2003全站仪中随机软件中包含一个Monitoring观测程序。测量时可以预先把数据存储在全站仪的PCMCIA中,事后再进行数据处理。具体操作步骤如下:

- a. 进入TCA2003全站仪的主菜单Main Menu后,选择Monitoring观测程序。
- b. 进入Point Selection中的Control选项。选择存储在PCMCIA卡中GSI文件中的控制点,作为自动监测用的起算坐标。
- c. 进入Time Selection选项,设置开始、结束的日期和时间,以及每一测回的间隔时间。
- d. 进入Point Measurement进行自动化观测。
- e. 测量完毕后,选择按键End Monitoring。

#### (2) 数据处理

##### a. 距离的差分改正

由于测距必须考虑大气条件的影响因素,一般是测定气象元素加以改正。为使观测工作实现自动化,我们采用具有良好稳定性的基准网信息,在不测定气象元素的情况下,实现测距的大气折射率差分改正。

如图4所示,56、58、60三点为控制点,

稳定性良好,可以认为在36h的观测过程中距离保持不变。设观测站至某基准点的已知斜距为 $d_j^0$ ,在

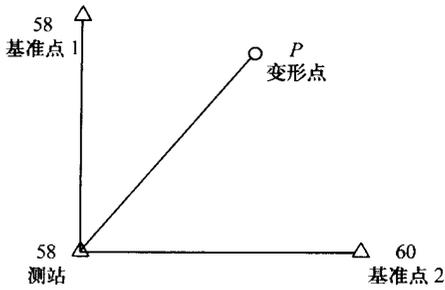


图4 变形观测方法示意图

变形观测过程中,某一时间的斜距为  $d'_j$ ,两者之间的差异可以认为是因气象条件变化引起的,按下式可求出气象改正比例系数  $\Delta d$

$$\Delta d = (d'_j - d_j^0) / d'_j$$

如果同一时刻测得某变位点的斜距为  $d'_s$ ,那么经气象差分改正后的距离  $d_s$  为

$$d_s = d'_s - \Delta d \cdot d'_s$$

为保证距离气象改正比例系数的可靠性和准确性,在实际观测中取两条基线计算的气象改正比例系数的中数,作为对变形点距离测量的差分改正。

#### b. 方位角的差分改正

在长时间的变形观测过程中,由于野外作业的影响较大,难以保证仪器的稳定。但在每一测回中,可以认为各方向值的差值是稳定的。然后以基准点为零向进行方位角差分改正,最终得到各方向的正确方位角。

#### c. 数据处理

Monitoring 观测程序,可以实现上述差分数据的自动化处理,从而计算出各时刻塔柱的三维坐标。

我们对北汊桥北索塔实施自动化观测后,了解到索塔自身在外界因素的影响下,有 2~3cm 的摆动和扭转。同时,观测数据表明,晚上 10 时至次日早上 8 时塔柱较为稳定。

实践证明,运用 TCA2003 全站仪自动化观测系统是一种方便、快捷的测量方法。

### 4 保证高索塔施工测量质量的一些技术措施

#### (1) 放样条件的选择

高塔柱放样时,塔柱受外界因素的影响而发生摆动和扭转的现象是不可避免的。因而在施工测量方案

中就应该明确塔柱放样应在微风或无风的情况下进行,尤其是塔柱高度达到 100m 以上后,这一规定必须严格遵守。另外,放样时间应选择在每日 8 时前,特别是对高精度的构件安装时更应如此。

#### (2) 精确测定大气折光系数

运用三维坐标法放样塔柱,其高程放样只能采用单向三角高程测量。而单向三角高程测量中,大气折光对高程精度的影响是非常显著的,所以,必须对不同地段、不同气象条件、以及不同视线高度进行大气折光系数的测定,从而合理地加以修正。

润扬大桥不同时段实测的大气折光系数为 0.10~0.14 之间,在北汊桥斜拉索钢套管放样时,采用的折光系数为 0.135。另外,测试结果表明,当视线高度在水面 30m 以上时,折光系数的变化相对要小一些。

#### (3) 尽量缩短放样距离

缩短放样距离,不但有利于提高平面位置的放样精度,也有利于削减折光误差对单向三角高程的影响。因而,缩短测站点至放样点之间的距离,是保证三维坐标法放样精度的有效措施。润扬大桥索塔放样时,一般将放样距离控制在 300m 以内,最大不超过 450m。当然近距离放样高塔柱顶部时,由于仰角较大,全站仪还需配备弯管目镜。

### 5 结语

大型桥梁高塔柱施工测量时,应当高度重视施工控制网的维护工作。准确无误的控制网是保证施工测量质量的前提;只要采取相应的技术措施,应用三维坐标法进行施工放样,既能满足施工放样的精度,又能实现快速施工测量的目标;采用 TCA2003 全站仪的 Monitoring 程序,能实现对高塔柱自动化变形观测,是一种经济实用的测量手段。

#### 参考文献:

- [1] 江苏省交通规划设计院,北京建达道桥咨询公司.润扬长江公路大桥相关设计文件[R].2000-08.
- [2] 李振伟.崖门大桥主梁施工测量[J].桥梁建设,2002(4):59-61.