

# 张靖皋大桥超高钢混塔定位测量关键问题及解决方案探析

刘江涛

中铁大桥局集团第二工程有限公司 江苏 南京 210009

**摘要:**张靖皋大桥350米超高钢混塔定位测量通过针对性技术优化与流程管控,有效破解多重精度控制难题。本文聚焦该工程定位测量中的核心难点、影响精度的核心因素及实践解决方案,结合施工实际参数与操作细节,系统阐述长护筒安装、锚梁螺杆定位、高塔身线形控制等关键环节的具体问题。通过基础施工测量优化、关键构件定位精准调控、高塔身动态监测等措施,实现横桥向、纵桥向偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ 、高程偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 的精度目标,为同类超高钢混塔定位测量提供可操作的技术路径,其核心技术措施对桥梁工程测量领域具有实际应用价值。

**关键词:**张靖皋大桥;超高钢混塔;定位测量;关键问题;解决方案

引言:张靖皋大桥南航道桥北主塔为350米超高钢箱-钢管约束混凝土组合结构,塔柱分30个节段吊装,跨越长江入海口北岸复杂地质与水文环境。该主塔作为悬索桥核心受力构件,定位测量精度直接决定主缆架设基准与全桥结构安全,其测量要求远高于常规桥梁工程。施工中需应对长护筒垂直度控制、锚梁螺杆高精度定位、高塔身线形动态调整等关键挑战,这些问题受地质、气象、设备操作等多重因素影响,直接制约施工质量与进度。本文聚焦具体问题与实操解决方案,为超高钢混塔定位测量提供技术支撑。

## 1 超高钢混塔定位测量关键难点

### 1.1 长护筒安装测量控制难题

主塔承台下设97根 $\Phi 2.8\text{m}$ 钻孔灌注桩,钢护筒长度达15m,顶口标高+4.3m,底口标高-10.7m,埋深大且处于长江三角洲冲积平原复杂地质条件中。设计要求钻孔桩顶面中心偏位不大于5cm,垂直度偏差 $\leq 1/150$ ,而护筒插打过程中受地质分层影响,粉砂、粉质黏土等土层易导致护筒倾斜。筑岛平台标高+4m,施工过程中大型钻机作业产生的振动会扰动护筒,钢筋笼下放与混凝土浇筑过程也会对护筒位置产生间接影响,进一步增加垂直度控制难度。钢护筒作为钻孔桩施工的核心导向结构,其定位偏差累积会直接导致桩体成型精度不足,且钻孔桩为隐蔽工程,一旦施工完成难以整改,给基础施工测量带来极大压力。

### 1.2 锚梁及螺杆定位精度控制难题

塔底锚固系统由钢箱锚固与钢管锚固两部分组成,钢箱截面布置86根直径130mm的A类40CrNiMoA螺杆,单根钢管周围布置20根直径130mm的B类螺杆,两类螺杆施

工张拉控制力分别为4000kN与3500kN。设计要求锚梁安装定位顶底端平面精度 $\pm 2\text{mm}$ 、标高精度 $\pm 2\text{mm}$ ,螺杆安装顶底端平面精度 $\pm 2\text{mm}$ 、标高精度 $\pm 3\text{mm}$ ,如此严苛的精度要求对测量操作提出极致要求。锚梁与螺杆的安装精度直接决定塔柱底部受力均衡性,若定位偏差超出限值,会导致塔柱受力集中,引发结构安全隐患<sup>[1]</sup>。锚梁锚杆孔尺寸误差需控制在1mm以内,螺杆与锚梁孔间隙仅30mm且螺杆带有防腐层,传统测量方法难以保证螺杆垂直度,进一步增加定位难度。

### 1.3 高塔身线形动态控制难题

主塔高度达350m,分为上、中、下塔柱,高度分别为143.5m、152.4m、54.1m,塔身外轮廓采用矩形带凹槽结构,中间设圆曲线过渡,不同高程截面尺寸从塔底16.5 $\times$ 12m渐变至塔顶18.6 $\times$ 12m。高塔身处于开放环境中,受日照温差影响,塔身会出现规律性热胀冷缩,夏季极端最高气温38.9 $^{\circ}\text{C}$ ,冬季极端最低气温-13.4 $^{\circ}\text{C}$ ,温差导致的非均匀变形直接影响线形精度。项目区年平均风速2.43m/s,最大风速8.1m/s,风力作用会引发塔身摆动,15000T塔吊附着安装后与塔身形成整体,塔吊倾斜会带动塔身位移,进一步加剧线形动态变化。主塔合龙精度要求极高,线形偏差累积会影响主缆架设基准,进而破坏全桥受力平衡,给测量控制带来复杂挑战。

## 2 影响定位精度的核心因素

### 2.1 坐标系适配偏差影响

工程初期采用CGCS2000椭球参数的工程独立坐标系,中央子午线东经120 $^{\circ}32'$ ,投影面正常高75m,该坐标系坐标轴方向与道路中心线存在较大差异。测量人员根据独立坐标系数据进行塔身调整时,难以直接判断横桥

向、纵桥向的实际偏差方向，导致调整操作存在方向模糊、力度不当等问题，进而引发偏差累积。独立坐标系与施工实际需求的适配性不足，使得测量数据无法直接转化为施工调整指令，需额外进行坐标换算，换算过程中易产生误差，给高精度定位测量带来阻碍。此外，控制网复测与相邻标段搭接测量需涉及两套坐标系转换，进一步增加坐标适配难度，影响定位精度一致性。

## 2.2 外部环境动态干扰

项目区属亚热带季风气候，气象条件复杂多变，年降水量超1000毫米，4~9月降水量占全年72.8%，暴雨天气易导致筑岛平台沉降，影响测量基准稳定性。夏季台风频发，7~9月为集中影响期，大风常伴随暴雨，不仅干扰测量仪器正常工作，还会引发塔身瞬时摆动，导致测量数据波动。日照温差导致塔身不同部位温度差异可达10℃以上，引发非均匀变形，这种变形随时间动态变化，给线形测量基准设定带来困难。施工区域位于长江感潮河段，潮流流态为往复流，大潮平均流速0.32m/s，落潮平均流速0.48m/s，潮位变化会间接影响筑岛平台稳定性，进而影响控制点基准精度<sup>[2]</sup>。施工现场大型机械作业、材料运输等活动产生的振动，会干扰测量仪器正常工作，导致测量数据出现系统性偏差。

## 2.3 设备与操作协同短板

测量仪器精度与状态直接影响测量结果，若仪器未按要求每年进行计量检定、使用过程中未定期自检自校，会导致测量数据存在系统性误差。部分测量人员对超高塔测量流程细节掌握不够扎实，操作过程中存在仪器架设点位不合理、观测时机选择不当等问题，如未避开高温强光时段进行测量，影响数据准确性。塔吊与塔身附着连接后未进行有效配平，塔吊垂直度偏差 $\leq 1/1000$ 的要求未严格落实，导致塔吊倾斜传递至塔身，而测量过程中未采取针对性修正措施，使得测量结果无法反映塔身真实位置<sup>[3]</sup>。塔偏测量初始值定位不精准，测量过程不连续，难以捕捉塔身稳定状态下的基准数据，影响后续偏差修正效果。测量原始记录不规范、数据复核不及时，部分关键测量环节未执行“步步检核”制度，导致误差累积。

# 3 精准定位测量的实践解决方案

## 3.1 基础施工测量精准控制方案

针对长护筒安装测量控制难题，采用全站仪极坐标法与无棱镜测量模式相结合的控制方案，全程围绕“双校验、强管控”原则优化操作流程。在护筒插打前，先对筑岛平台进行沉降观测，确认平台稳定后，将徕卡TS09Plus全站仪架设在待插打护筒的横桥向或纵桥向

30~100m的坚实稳固点位，该点位需避开钻机作业振动影响区，采用后方交会法设站时，后视不少于3个已知加密控制点，确保设站平面精度 $\leq 2\text{mm}$ 。切换至无棱镜模式后，分别照准护筒底部与顶部边缘对称的2个点位，测取水平距离、高程及水平角，通过三角函数计算垂直于视线方向的垂直度，当计算值 $\leq 1/150$ 时判定为合格。里程方向垂直度调整达标后，直接实测护筒上口及下口距仪器的距离和相对高差，代入公式二次校验垂直度，该方法无需额外配置辅助仪器，可节省一台全站仪及两名测量人员，作业效率提升40%以上。钻机定位阶段，在护筒顶面按纵横轴线方向弹设红油漆标志线，采用直径0.5mm钢丝弦线交会出桩位中心，弦线拉力控制在150N，避免弦线下垂影响精度；采用3kg重吊垂球法校准钻机钻杆中心，确保钻杆中心与设计桩中心偏差控制在20mm以内，并在钻杆顶部设置激光对中器实时监控<sup>[4]</sup>。钢筋笼下放过程中，每节钢筋笼下放前均通过弦线交会法校准中心位置，顶节钢筋笼焊接4个对称限位块，限位块与护筒内壁间隙控制在5mm，确保成桩后桩位中心偏位不大于5cm，满足设计规范对隐蔽工程的严格要求。

## 3.2 关键构件定位测量优化方案

锚梁及螺杆定位采用外控法与内控法深度融合的优化方案，双重保障超高精度要求。外控法选用徕卡TM50全站仪（测角精度0.5"、测距精度0.6mm+1ppm），在加密控制点ZT01~ZT04设站，放样出塔底角点坐标后，安装机械式限位定位装置，将主塔外轮廓线控制在2mm之内，限位装置采用不锈钢材质，具备微调功能以适应现场细微偏差。内控法选用经南京市计量监督检测院检合格的50m、5m、2m钢卷尺，配合拉力计施加150N标准拉力，结合卷尺修正值公式（被测物实长=测量读数+修正值+ $\Delta L_t$ ）计算实际尺寸， $\Delta L_t$ 根据测量时温度与20℃的差值及线胀系数精准修正，确保相对位置误差控制在设计范围。建立锚梁及螺杆局部加密控制网时，加密控制点ZT01~ZT04设在已拆除的门吊基础上，采用强制对中墩构造，插地型钢插入地下2.5m并采用废弃混凝土加固，保障控制点长期稳定；通过导线法测设坐标并转换为施工坐标，坐标转换残差 $\leq 0.3\text{mm}$ ，方便现场直接使用。锚梁出厂前，采用高精度激光测距仪对锚杆孔逐孔验收测量，控制孔径误差小于1mm，孔位中心偏位 $\leq 0.8\text{mm}$ ；螺杆安装时，在锚杆支架上焊接临时强制对中墩，全站仪采用后方交会法架设，后视不少于5个已知加密点，架设平面精度 $\leq 0.5\text{mm}$ 、高程精度 $\leq 1\text{mm}$ ，若精度不达标则剔除异常控制点重新交会。针对螺杆直径130mm、锚梁锚杆孔160mm且带防腐层的特点，采用

三点求圆法,在锚杆中部和下部各选取一个水平截面,每个截面测设3个均匀分布的点位,通过圆心拟合算法求出锚杆实际中心坐标,确保螺杆偏位 $\leq 2\text{mm}$ 。螺杆张拉过程中,采用天宝DINI03精密水准仪(精度 $0.3\text{mm}/\text{km}$ )实时监测高程变化,每级张拉荷载稳定后观测3次,取平均值作为实测数据,确保张拉控制力(A类 $4000\text{kN}$ 、B类 $3500\text{kN}$ )与伸长率(+6%~0)满足设计标准。

### 3.3 高塔身线形动态调控方案

建立专用加密控制网SNT01~SNT06,采用强制对中墩设计,其中SNT02位于主塔上游南侧 $170\text{m}$ 处、SNT03位于主塔下游南侧 $100\text{m}$ 处、SNT04位于主塔上游北侧 $100\text{m}$ 处,主要控制主塔下部结构;SNT01位于主塔上游南侧 $370\text{m}$ 处、SNT05位于主塔上游北侧 $490\text{m}$ 处、SNT06位于主塔上游侧 $570\text{m}$ 处,与首级网ZG07~ZG09形成交叉控制网,控制点间距与高度适配,满足测量角度小于 $20^\circ$ 的要求,保障高塔柱测量视线无遮挡。采用内控法为主、外控法为辅的定位方式,在上下游侧塔身每节段顶口往下 $20\text{cm}$ 处焊接测量管桩平台,平台采用 $10\text{mm}$ 厚钢板制作,平整度 $\leq 0.2\text{mm}/\text{m}$ ;平台转点坐标采用全站仪天顶投点法测设,投点偏差 $\leq 0.5\text{mm}$ ,同时通过GNSS静态测量法及后方交会法进行双检核,确保基准统一。结合项目区气象条件,选择夜间 $23:00\sim 7:00$ “零状态”时段进行测量,该时段温度波动 $\leq 2^\circ\text{C}$ ,风速 $\leq 3\text{m}/\text{s}$ ,有效规避日照温差与大风对塔身变形的影响。采用TS60自动测量机器人的学习功能,设置每30分钟观测一次,开展全天候动态塔偏测量,精准捕捉温度恒定、无太阳直射时段的塔偏初始值,通过数据拟合算法生成塔身变形曲线,为塔身调整提供准确修正数据。塔吊安装附着前进行配平作业,通过移动天车位置使塔吊垂直度偏差 $\leq 1/1000$ ,测量过程中将配重旋转 $180^\circ$ 进行重复测量,两次测量数据差值 $\leq 0.8\text{mm}$ ,有效消除塔吊附着对塔身的附加影响<sup>[5]</sup>。建立主塔沉降与线性监测体系,沉降观测采用二等水准测量,以岸上稳固水准点为工作基点,每

七天观测一次,观测路线闭合差 $\leq 4\sqrt{L}$ ( $L$ 为路线长度 $\text{km}$ );塔身摆动观测在塔柱岸侧设置4个测点,以1小时为周期连续24小时重复观测,记录日照方向、温度、风速等参数,通过多元回归分析建立变形预测模型,为线形调整提供科学的数据支撑,确保主塔合龙精度满足设计要求。

### 结语

张靖皋大桥350米超高钢混塔定位测量通过聚焦基础施工、关键构件、高塔身线形三大核心难点,系统破解坐标系适配、外部环境干扰等影响精度的关键因素,形成针对性强、可操作性高的实践解决方案。通过长护筒垂直度双校验、锚梁螺杆内外控结合等技术措施,实现横桥向、纵桥向偏差 $\leq \pm 3\text{mm}$ 、高程偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$ 的高精度目标,满足指挥部提出的严苛要求。该套定位测量技术方案立足工程实际,融合多种高精度测量方法与流程管控措施,充分考虑复杂地质、气象、水文等环境因素影响,其核心经验可为同类超高钢混塔及大型桥梁结构定位测量提供重要参考。未来可进一步优化测量设备协同应用,深化动态监测数据的智能化分析,持续提升超高结构定位测量精度与效率,为桥梁工程高质量建设提供更坚实的技术支撑。

### 参考文献

- [1]徐敏.马鞍山长江公铁大桥主航道桥Z4号桥塔钢塔施工关键技术[J].桥梁建设,2025,55(3):11-19.
- [2]牛玉龙.自锚式悬索桥曲面截面钢塔定位安装施工技术[J].北方交通,2023(2):11-15.
- [3]解光路,刘建,詹益.空间钻石型四塔肢桥塔施工测量技术[J].世界桥梁,2025,53(1):49-55.
- [4]刘群德,雷钧,梁彬彬,等.南京长江第五大桥南主墩索塔安装定位测量控制技术[J].珠江水运,2020(9):54-55.
- [5]夏焕文,常建增.鳊鱼洲长江大桥南汊航道桥塔梁同步施工测量技术[J].世界桥梁,2023,51(z1):91-96.