

# 间冷塔双曲线结构土建施工中的测量控制技术研究

同奕申<sup>1</sup> 王洪光<sup>2</sup> 祝贺强<sup>2</sup>

1. 黄陵矿业沮源发电有限公司 陕西 延安 727300

2. 东北电力烟塔工程有限公司 辽宁 锦州 121000

**摘要:** 本文聚焦间冷塔双曲线结构土建施工中的测量控制技术。先阐述间冷塔双曲线结构特性与测量控制理论基础,包括结构核心特性、测量原则及关键技术。接着分析施工各阶段测量控制难点,涵盖施工准备、基础施工、筒壁施工及收顶阶段。最后构建测量控制技术体系,涉及高精度基准控制、环形结构定位、动态曲面监测及精度收敛控制技术,为间冷塔施工提供技术支撑。

**关键词:** 间冷塔; 双曲线结构; 土建施工; 测量控制技术

**引言:** 在电力工程建设领域,间冷塔作为关键设施,其双曲线结构凭借独特力学性能与经济性被广泛应用。然而,该结构土建施工测量控制难度大,从施工准备阶段的基准网构建,到基础、筒壁施工,再到收顶,各环节均面临诸多挑战,精准把控动态曲面等关键测量要点,对保障施工质量与安全意义重大。本文深入探究其测量控制技术,为相关施工提供有力参考。

## 1 间冷塔双曲线结构特性与测量控制理论基础

### 1.1 间冷塔双曲线结构核心特性

间冷塔双曲线筒壁结构是兼顾力学性能与建筑经济性的关键设计,其核心特性体现在几何形态与力学传导的高度统一。从几何特征来看,筒壁以旋转双曲线为母线绕中心轴线旋转形成,截面直径随高度呈“下宽-中窄-上宽”的变化规律,这种形态使结构在水平风荷载作用下能有效分散应力。力学特性方面,双曲线形态使竖向荷载通过筒壁曲面均匀传递至基础,减少局部应力集中,同时具备优异的抗风振性能,能通过曲面形态化解强风带来的涡激振动<sup>[1]</sup>。材料适配性上,该结构与钢筋混凝土材料特性高度契合,通过变厚度筒壁设计(底部厚、中部薄、顶部渐变厚)实现材料用量优化。结构整体具有良好的热工性能,曲面形态可引导气流形成稳定的上升循环,提升冷却效率,这些特性共同决定了施工测量中需重点关注动态曲面的精准把控。

### 1.2 测量控制的核心原则

间冷塔施工测量控制有四大核心原则。精准性要求测量数据误差在规范内,鉴于双曲线结构,平面位置误差要控制在 $\pm 5\text{mm}$ 内,高程误差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ,选高精度仪器并多级复核保数据精准。系统性强调测量与施工流程融合,构建从基准控制网到收顶精度校验的闭环体系,各环节测量数据精准衔接后续施工。动态性适配筒

壁施工连续性,因其曲面随高度变化,需建立实时监测机制,每完成3-5节筒壁施工就全面测量,及时修正偏差。可靠性通过多重保障实现,如用检定仪器、建立双人复核制度、留存完整记录,确保数据可追溯验证,为施工安全提供支撑。

### 1.3 测量控制关键技术

间冷塔测量控制关键技术涉及高精度定位、动态监测与数据处理。高精度定位以GNSS和全站仪三维坐标测量为核心,建首级控制网与施工加密网,精准定位塔体中心轴线等关键部位,GNSS实现平面毫米级定位,全站仪可同步测高程与平面坐标。动态监测采用自动化设备与人工复核结合,在筒壁施工平台装传感器和监测点,实时采集数据,每小时传输分析,偏差立即预警。数据处理依托专业软件,将三维坐标数据导入双曲线模型比对分析,拟合计算偏差值,自动生成报告。高空测量用激光铅垂仪竖向投点,保障上下节段轴线精准衔接,为施工提供全方位保障。

## 2 间冷塔施工全流程测量控制难点分析

### 2.1 施工准备阶段:基准控制网构建难点

施工准备阶段基准控制网构建面临地形条件、环境干扰与精度保持三大核心难点。地形条件方面,间冷塔施工现场通常存在基坑开挖后的坡度变化、临时设施占用测量点位等问题,导致首级控制网点位难以选择,部分点位需设置在基坑边缘或临时坡道附近,增加了点位稳定维护难度<sup>[2]</sup>。环境干扰主要来自施工现场的电磁干扰与视线遮挡,周边施工机械运行产生的电磁辐射会影响GNSS接收机的数据接收精度,而临时搭建的钢筋加工场、材料堆放区会遮挡全站仪测量视线,导致部分控制点位之间无法直接通视,需多次转点测量,增加了测量误差累积风险。精度保持难点体现在控制网的长期稳定

性维护，由于施工周期长达6-12个月，控制点位可能因地基沉降、雨水冲刷或施工碰撞发生位移，需定期对控制网进行复测，但复测过程中受施工进度影响，部分点位可能被施工材料覆盖，需临时恢复点位，不仅延长了复测时间，还可能引入新的测量误差。

### 2.2 基础施工阶段：环形结构定位难点

基础施工阶段环形结构定位的核心难点集中在环形轴线精准放样、基坑内测量条件受限与混凝土浇筑过程中的偏差控制。环形轴线放样方面，间冷却塔基础多为环形钢筋混凝土基础，环梁直径通常超过80米，需在基坑底部精准放样出环形轴线与多个径向分区线，由于基坑底部地势不平且存在积水，传统的拉线放样方法精度不足，而全站仪测量需多次移动仪器，难以保证环形轨迹的连续性精度。基坑内测量条件受限体现在两个方面，一是基坑深度较大（通常8-12米），导致全站仪与基准控制点之间存在视线遮挡，需搭建临时测量平台，增加了测量操作难度；二是基坑内作业人员与机械频繁移动，干扰测量仪器操作，且容易碰撞测量标记点，导致定位标记失效。混凝土浇筑过程中的偏差控制难度突出，环形基础浇筑采用分段连续浇筑方式，浇筑过程中模板会因混凝土侧压力发生变形。

### 2.3 筒壁施工阶段：动态曲面控制难点

筒壁施工阶段动态曲面控制面临形态实时变化、高空测量风险与施工干扰三大核心难点。形态实时变化方面，筒壁以每节30-50厘米的高度逐层施工，每节筒壁的截面尺寸与曲率都需按照双曲线模型调整，传统的人工放样方式需逐点计算坐标并标记，效率低下且易出现计算错误，难以适应连续施工的进度要求。高空测量风险体现在施工平台为环形悬挑结构，宽度仅1-1.5米，测量人员在平台上移动时需兼顾仪器操作与人身安全，同时高空风力较大（通常比地面高3-5级），会导致全站仪镜头抖动，影响测量数据精度，极端天气下甚至无法开展测量工作。施工干扰主要来自钢筋绑扎、模板安装与混凝土浇筑等工序，测量标记点易被钢筋遮挡或被施工人员误碰，导致已放样的点位失效，需重新测量复核；同时混凝土浇筑过程中产生的振动会传导至施工平台，使测量仪器产生微小位移，若未及时校准，会导致整节筒壁的放样偏差。

### 2.4 收顶阶段：精度收敛控制难点

收顶阶段精度收敛控制的难点主要体现在偏差累积修正、收顶形态把控与最终精度校验三个方面。偏差累积修正方面，筒壁施工过程中各节的微小偏差会随高度累积，到收顶阶段偏差可能达到规范限值边缘，此时

需通过精准测量计算偏差分布规律，制定合理的修正方案，但收顶阶段筒壁曲率变化率增大，修正量过大会导致筒壁表面出现折线或凹凸不平，影响结构美观与力学性能，修正量过小则无法满足最终精度要求，难以把握修正尺度。收顶形态把控难点在于收顶部位为双曲线结构的顶端，截面直径最小（通常仅10-15米），且需与顶部风帽结构精准衔接，放样时需同时控制筒壁的垂直度、曲率半径与顶面高程，三个参数相互影响，任一参数偏差都会导致收顶形态不符合设计要求，增加了测量控制的复杂性<sup>[3]</sup>。最终精度校验方面，收顶完成后需对筒壁整体形态进行全面测量，由于塔体高度超过100米，地面测量仪器难以直接获取顶部精准数据，需采用无人机航测或高空吊篮测量等特殊方法，这些方法受天气条件影响大，且测量数据的拼接与修正难度高。

## 3 间冷却塔双曲线结构施工测量控制技术体系构建

### 3.1 高精度基准控制体系

高精度基准控制体系构建以“分级布网、精准测量、动态维护”为核心，形成覆盖施工全流程的基准保障。分级布网采用“首级控制网-施工控制网-作业控制网”三级架构，首级控制网选用GNSS静态测量技术，在施工现场外围布设4-6个永久性控制点，点位选在地势较高、视野开阔且远离振动源的区域，采用混凝土浇筑固定，确保长期稳定，测量精度达到平面±2mm、高程±3mm；施工控制网在首级控制网基础上，在基坑周边布设8-12个加密控制点，采用全站仪边角测量法进行观测，实现对基础与筒壁施工的直接控制；作业控制网针对各施工环节需求，在施工平台或基础面上布设临时控制点，采用极坐标法快速放样。精准测量依托先进设备与软件，选用0.5秒级高精度全站仪与双频GNSS接收机，配备专业测量数据处理软件，将测量数据实时导入双曲线结构模型，自动完成坐标计算与偏差分析。动态维护建立定期复测制度，首级控制网每月复测一次，施工控制网每两周复测一次，作业控制网每施工3节筒壁复测一次，发现点位位移立即修正，并形成复测报告存档，确保基准控制体系始终处于精准状态。

### 3.2 环形结构精准定位技术

环形结构精准定位技术通过“仪器组合放样、模板预拼校验、浇筑动态监测”的三维技术方案实现高精度定位。仪器组合放样采用“全站仪+激光扫平仪”联合作业模式，首先利用全站仪根据设计坐标在基坑底部精准放样出环形轴线的多个特征点（间隔5-8米一个），然后使用激光扫平仪发射水平激光束，连接各特征点形成连续环形轴线，同时采用GNSSRTK技术对轴线点位进行

随机抽检,确保放样精度 $\pm 3\text{mm}$ 以内。模板预拼校验针对环形基础与筒壁模板,在地面进行预拼装,采用全站仪测量模板内侧曲面的三维坐标,与设计模型比对,修正模板拼装偏差,合格后再进行现场安装,安装完成后使用内径千分尺测量模板间距,结合全站仪监测模板垂直度,确保模板安装精度满足要求。浇筑动态监测采用“传感器实时监测+人工定时复核”方式,在模板关键部位安装应变传感器与位移传感器,实时采集混凝土浇筑过程中模板的变形数据,每30分钟通过数据采集仪读取数据,同时安排测量人员使用全站仪对模板位置进行复核,发现偏差超过 $\pm 5\text{mm}$ 时,立即通知施工人员调整浇筑速度或采取加固措施,确保环形结构成型精度。

### 3.3 动态曲面监测技术

动态曲面监测技术构建“自动化监测+人工复核+数据实时分析”的一体化监测体系,适配筒壁动态施工需求。自动化监测系统由高精度倾角传感器、位移传感器与数据采集终端组成,在每节筒壁模板的顶部、中部与底部各安装3组传感器,传感器间距8-10米,数据采集终端通过无线传输模块将监测数据实时发送至监控中心,监控中心采用专业分析软件对数据进行处理,自动生成筒壁曲面形态曲线与偏差值,当偏差超过阈值时自动报警。人工复核采用“全站仪三维坐标测量+激光测距仪辅助”方式,每完成一节筒壁施工后,选取20-30个特征点进行坐标测量,将测量数据与自动化监测数据比对,验证监测结果的可靠性,同时对报警点位进行重点复核,排查偏差原因。数据实时分析依托BIM技术构建双曲线结构数字模型,将监测数据实时导入模型,实现筒壁施工过程的可视化模拟,通过模型比对直观展示实际形态与设计模型的偏差分布,为施工调整提供精准依据。建立监测数据共享平台,施工、测量与监理人员可实时查看监测数据与偏差分析报告,实现协同管控,确保动态曲面施工精度。

### 3.4 精度收敛控制技术

精度收敛控制技术以“偏差累积分析、分级修正控制、收顶精准放样”为核心,确保收顶阶段精度达标。偏

差累积分析采用“全周期数据追溯+趋势预测”方法,收集各施工阶段的测量数据,建立筒壁偏差数据库,通过数据统计分析软件计算偏差累积规律,结合双曲线模型预测不同高度的偏差发展趋势,提前识别可能出现的精度风险,为修正方案制定提供数据支撑。分级修正控制实施“小偏差逐节微调、中偏差集中修正”策略,当单节筒壁偏差在 $\pm 5\text{mm}$ 以内时,通过调整下一节筒壁的放样坐标进行逐节微调,避免偏差累积;当偏差达到5-10mm时,在后续3-5节筒壁施工中逐步修正,每次修正量控制在2-3mm以内,确保筒壁曲面平滑过渡<sup>[4]</sup>。收顶精准放样采用“三维坐标实时放样+多仪器联合校验”技术,根据偏差预测结果调整收顶阶段的设计坐标,使用全站仪实时放样筒壁模板位置,同时采用激光铅垂仪校验垂直度,使用激光测距仪测量截面直径,三个参数同步核验,确保收顶形态精准。收顶完成后,采用无人机航测技术获取筒壁整体点云数据,与设计模型进行全面比对,生成精度验收报告,确保最终精度满足规范要求。

### 结束语

间冷塔双曲线结构土建施工测量控制技术至关重要,贯穿施工全流程。从基准控制网构建到收顶精度收敛,各环节都面临不同难点。通过构建高精度基准控制体系、精准定位环形结构、实施动态曲面监测及采用精度收敛控制技术,能有效应对挑战,保障施工质量。未来,随着技术发展,测量控制技术将更完善,为间冷塔等复杂结构施工提供更可靠保障。

### 参考文献

- [1]秦嘉兴.双曲线钢冷塔安装空间测量定位技术[J].商品与质量,2020(49):10-11.
- [2]赵凯斌.探讨土建施工中工程测量放线的经验及技巧[J].智能建筑与工程机械,2024,6(6):111-113.
- [3]邓志.双曲线冷却塔风筒施工方法浅析[J].建筑与工程,2020(31):685-686.
- [4]周志.钢结构间冷塔安装施工技术[D].上海建设科技,2020(03):54-57.