

# 沿海地区工程测量的误差校正与精度提升

周禹怀

上海中钱联合基础工程有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i3.2578

**[摘要]** 本文旨在提升沿海大型化工项目中工程测量的精度与可靠性,针对中化泉州乙烯及炼油改扩建项目中对二甲苯装置桩基工程所面临的占地面积大与复杂环境干扰问题,开展测量误差来源分析与控制策略研究。研究内容包括测量误差的传导机制解析、环境扰动对精度的影响评估以及特殊地理条件的综合误差作用诊断。采用主控网—区域网—局部网三级联动控制网络构建、精细化控制点增设、测量数据在线平差与异常值剔除、第三方复核验收机制等方法开展误差校正与精度优化。结果显示该系统能有效控制测量误差累积效应,提升数据一致性。研究对提升沿海复杂环境下的工程测量质量具有推广价值。

**[关键词]** 沿海测量; 误差校正; 精度提升; 控制网构建

**中图分类号:** P258 **文献标识码:** A

## Error correction and accuracy improvement of engineering surveying in coastal areas

Yuhuai Zhou

Shanghai Zhongqian United Foundation Engineering Co., Ltd.

**[Abstract]** This article aims to improve the accuracy and reliability of engineering measurements in large-scale chemical projects along the coast. In response to the large footprint and complex environmental interference problems faced by the pile foundation engineering of the xylene unit in the Quanzhou Ethylene and Refinery Expansion Project of China National Chemical Corporation, an analysis of measurement error sources and research on control strategies are carried out. The research content includes the analysis of the transmission mechanism of measurement errors, the evaluation of the impact of environmental disturbances on accuracy, and the diagnosis of the comprehensive error effect of special geographical conditions. The error correction and accuracy optimization are carried out through the construction of a three-level linkage control network consisting of the main control network, regional network, and local network, the addition of refined control points, online adjustment and outlier removal of measurement data, and a third-party review and acceptance mechanism. The results show that the system can effectively control the cumulative effect of measurement errors and improve data consistency. The research has promotional value for improving the quality of engineering surveying in complex coastal environments.

**[Key words]** coastal surveying; Error correction; Precision improvement; Construction of control network

### 引言

沿海地区大型工程项目普遍面临测量作业精度受限的技术难题,受海洋气候、地质条件、施工扰动与场地环境变化等多重因素影响,常规测量方法难以满足高密度结构布设与高强度施工进度要求。中化泉州乙烯及炼油改扩建项目作为典型的大型重化工装置集群,占地广、构筑物密集、地形复杂,对测量系统的稳定性与响应能力提出更高要求。测量精度不足将直接影响桩基定位与结构施工的全过程质量控制,易引发误差积累、结构偏位与返工等问题。基于该实际背景,本文围绕复杂环境下测量

误差的识别与控制展开研究,提出一套面向沿海大型工程的误差校正与精度提升方案。

### 1 沿海地区工程测量的核心难点

#### 1.1 项目占地面积大

大型石化装置类工程往往呈现出高度集成化和广域分布的空间格局,占地面积广泛造成测量控制点的布设跨度大、数量多、层级复杂。在中化泉州乙烯及炼油改扩建项目中,对二甲苯装置桩基工程覆盖区域广,单体构筑物分布密集且结构形式多样,施工测量中需兼顾远距离传递精度与局部布点稳定性<sup>[1]</sup>。测量控

制网在跨越大范围区域过程中, 极易受到曲面投影变形、仪器精度衰减、视距误差累积等因素干扰, 导致点位误差传导链条加长, 放样精度出现系统性偏移。测量作业在日照、温度变化与局部扰动频发的场景中易产生方向漂移和基线扭曲, 难以形成稳定高效的坐标体系。针对该问题测量控制网络需由主控网、区域网和局部网构成三级结构, 并在区域内建立高一致性共用坐标控制点, 根据区域内坐标复核与交叉检验机制实现误差的约束与分解, 保障测量放样在大范围覆盖条件下仍具备高稳定性与重复精度。

### 1. 2 场地周边复杂环境对测量的干扰

工程项目所处泉州沿海工业园区为典型滨海复合地貌区域, 地面硬化程度不一, 地下管网交错密布, 地面构筑物密集分布, 环境扰动对测量系统造成非线性干扰。在高温高湿及强风盐雾条件影响下, 仪器光学组件稳定性下降, 电子测距仪测量精度波动显著, 金属构件反射干扰严重。测量路径常受施工机械遮挡、脚手架搭建及临时构筑物阻隔, 导致常规布点不可达、信号反射路径不规则, 容易引发数据跳变与方向偏差。基于此, 夜间施工与多工种交叉作业频繁交织, 测量时间窗口短、操作空间受限, 难以实现常规高精度作业流程<sup>[2]</sup>。为应对复杂场地干扰, 需要在区域划分基础上, 结合环境扰动特征进行细部子区域划分, 在局部范围内增设多点式坐标控制体系, 使用反射率优化标靶与稳定支撑平台提升设备稳定性与视线通透性, 构建适应不同工况条件的弹性测量网络, 从而提升整体数据获取的可靠性与抗干扰能力。

## 2 误差来源与精度制约因素

### 2. 1 占地面积大导致的误差传导机制

在大型沿海工程测量中, 占地范围的扩大直接导致控制网传递路径增长, 误差来源不再局限于单点操作或局部环境干扰, 而是体现为系统性误差的连续传导与累积, 测量过程中采用的导线法、交会法或GPS静态测量, 在距离延展较大的背景下, 均面临测距基线控制难度上升、角度转换精度衰减与相邻点坐标一致性降低的问题。特别是在缺乏自然遮挡的开阔地带, 测距基线暴露于日照与温湿波动中易产生尺差误差, 与角度测量误差共同作用形成误差链条, 导致后续布点出现非线性偏移<sup>[3]</sup>。若主控点选设不合理或缺乏足够稳定参考, 误差易从中心区域向外扩散, 使边缘区域测量精度显著劣化。在中化泉州项目中, 由于桩基布点密集且横跨多个功能分区, 对控制网构建的稳定性提出更高要求。项目采用主控网高精度建模与区域交错点设置策略, 在区域网内使用共用控制点形成环形误差约束路径, 并定期进行基线复测以修正长距离误差漂移, 有效降低了误差传导对结构定位的影响。

### 2. 2 复杂场地环境的误差放大效应

施工区域内高密度构筑物、临设结构与大型施工机械共同构成了动态干扰源, 其在测量过程中引发的信号遮挡、反射偏差与基准失稳现象对数据精度形成放大作用, 当测量作业在钢结构围挡、电缆沟预埋或地下管廊上方展开时, 仪器基座易受震动

或不均匀沉降影响, 造成测站稳定性降低。高温引起钢构膨胀, 湿度影响设备电子元件性能, 在精细化测量中表现为观测值波动范围扩大、数据重复性下降。若放样路径被反射物切断, 仪器发出的测距波束被多路径折返, 引起距离测量误差超限。特别是在夜间或视线条件受限区域, 使用人工反光靶或全站仪测距精度波动更为显著, 误差可能达到常规条件下的三倍以上。为减少环境复杂性带来的误差放大, 需要在重点区域增设次级控制点, 缩短测量路径长度, 并在设备布设中采取减震基座与信号遮挡避让策略, 配合连续观测与动态平差算法进行数据滤波与修正, 使测量精度恢复至可控区间。

### 2. 3 沿海地区特殊条件的综合影响

沿海地带的气候、水文与地质条件对工程测量的系统稳定性构成复合作用, 其中海风干扰、盐雾腐蚀、软土沉降与地下水位波动构成了测量系统运行的主要外部限制, 海风长期作用会对测量设备支架形成水平扰动, 降低仪器观测姿态保持能力, 尤其在高空布点或临海高台操作中影响更为明显。高盐度空气对仪器的光学系统与电路板构件存在腐蚀性, 导致长期测量中设备精度逐渐下降。地基软弱区及回填区域沉降速率不一致, 使得测量控制点产生微小偏移甚至周期性错动, 不具备稳定参考功能。地下水位受潮汐或降雨影响频繁波动, 对地下构筑物施工期间的测量基准形成扰动<sup>[4]</sup>。项目实施中这类影响并非孤立存在, 而是以多因素耦合的形式对测量体系稳定性产生动态影响。基于此应结合气象记录、地质调查与设备维保周期构建一套动态调整机制, 对测量时间段、布点顺序与控制网结构进行实时优化, 同时开展基准点长期沉降监测与姿态调整反馈, 形成具备自动适配能力的工程测量系统。

## 3 误差校正与精度提升策略

### 3. 1 主控网、区域网、局部网的三级联动机制

在中化泉州乙烯及炼油改扩建项目中, 面对大面积、异构化、多功能施工区域的特点, 传统平面控制网已难以满足全周期、高密度、多作业段施工同步测量的精度需求。构建以主控网为绝对基准、区域网为中间传递、局部网为放样执行基础的三级联动测量体系, 成为误差校正与精度提升的结构化策略。主控网布设在场地稳定区, 采用GNSS静态测量与高等级水准仪联合定基, 控制点均以钢筋混凝土基础加埋设钢标作为永久标识, 并设定双向标高与双向方向观测, 构成稳定的全局坐标框架。区域网在各主要作业区设置闭合控制路径, 根据重复导线法进行内业计算与调整, 与主控网形成多重交汇关系, 有效约束各区域坐标之间的变形差。局部网布设密度高、点位间距小, 常以全站仪精密侧向交会方式确定相对位置坐标, 主要服务于放样及构件定位任务。各层级之间根据冗余观测值实现精度耦合, 在时间上设有动态复核周期, 在空间上建立误差闭合条件控制, 从而构建起测量基准的多层级稳态传递体系。该机制能有效限制误差在长距离或多工序间的累积转移, 并保障测量精度在多点并行作业中的一致性。

### 3. 2 复杂环境下的精细化测量技术实施

为提高恶劣工况下的测量质量,精细化测量技术应围绕测点布设优化、仪器系统稳定性提升与动态环境适应能力构建。测点布设应依托地形特征与作业动线,采用模块化区域划分方式,在障碍物密集区增设高架反射靶与旋转镜组,并对全站仪基座实施可调式多级减振隔热处理,减少振动与温度干扰对测量数据的影响。仪器应选择具备快速自动整平、激光自动寻靶与远程遥控功能的高精度型号,并配置高强度碳纤维三脚架与铝合金保护壳体以适应施工扰动。在作业流程上引入多角度多方向交会与动静态融合测量流程,根据对同一测点的多组观测值计算残差并取最小偏差值作为修正基准,形成具备自适应能力的高干扰测区测量策略。在工种交叉施工区域,可增设临时辅助控制点群,采用短基线网格布设方法进行点位标定,提升空间基准覆盖密度与结构应对灵活性。

### 3.3 测量数据的在线平差与异常值剔除

测量数据误差控制不应仅停留在测后内业复核阶段,而应融入测量过程实时环节,在线平差系统将平差算法嵌入到数据采集与实时显示流程中,借助无线网络与数据采集器构建测量—校核—反馈闭环系统。在该系统框架下,测量人员完成观测后数据自动上传至中控服务器,由嵌入式平差模块对测量网络实施实时误差最小二乘平差处理,对控制点之间的角度闭合误差、距离冗余量及基线扭曲参数进行动态调整。系统自动识别观测值中的离群点与趋势性偏移,结合 $3\sigma$ 准则与滑动窗口极差分析法实时剔除异常值并提示操作人员重新观测或修正点位设置错误。在数据积累阶段,系统可生成测量稳定性评价报告,对各区域误差变化趋势与异常频率进行可视化展示,为测量网动态维护提供支持。该机制有效压缩人工内业处理周期,提升测量数据可靠性,减少人为判断干扰,在多测站联合放样、夜间施工与高频次重复测量中展现出更高稳定性。

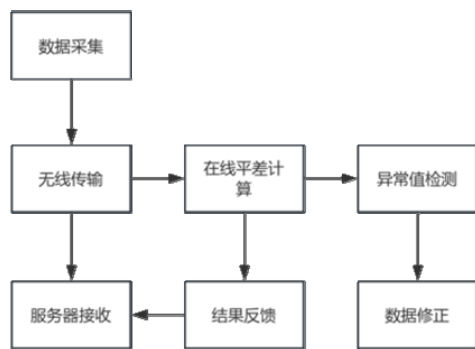


图1 在线平差与异常值处理流程图

### 3.4 测量成果的第三方复核与验收标准

为了提升测量成果的公信力与使用可靠性,应建立独立于施工单位与测量团队的第三方复核机制,由具备测绘乙级及以上资质的独立测绘机构负责实施复核流程,验收流程应覆盖平面控制网、高程基准、结构放样与竣工定位四个测量阶段,分别设定不同的精度限差与检核密度。在复核过程中,第三方机构使用独立测量设备对部分控制点进行交叉检核,并对测量成果文件进行原始数据校验与成果计算重演。控制点复测合格率应不低于95%,坐标偏差不得超过设定限差标准的70%。对于重复测量点,要求结果标准差小于3mm并具备轨迹一致性分析。最终测量成果文件需统一格式,含点位坐标成果表、误差评定表、平差报告及测量过程说明书,按阶段提交监理单位备案与归档。该机制可有效隔离施工误差责任、提升成果数据使用可信度,并为后期结构施工、设备安装与竣工图编制提供标准化数据基础。根据第三方介入形成测量闭环管理,促使测量团队提升执行规范性,保障大型工程测量成果的权威性与标准化程度。

## 4 结语

本文基于中化泉州对二甲苯装置桩基工程的实际测量任务,系统分析了沿海地区工程测量中误差产生的关键路径与环境放大机制,提出了三级控制网构建、精细化测量实施、在线平差与异常剔除以及第三方验收等策略,各项技术措施在复杂地理与施工条件下均表现出良好的适应性与精度保障能力,为大型化工类项目测量精度提升提供了可推广的技术路径。

### [参考文献]

- [1]应森群.基于井控误差校正的深度域解释技术在泌阳凹陷中南部地区的应用[J].复杂油气藏,2025,18(01):45-50+69.
- [2]王熙杰.基于几何误差校正的双臂协作定位精度分析[J].机械管理开发,2025,40(02):18-19+22.
- [3]任拓,杨鹏程,李小成,等.激光干涉测量中数据驱动的齿轮装夹误差校正方法[J].光子学报,2024,53(12):224-235.
- [4]何玉芬,杨汉波.分布式水文模型与自回归误差校正相结合的低枯流量预报研究[J].水利学报,2024,55(12):1539-1547.

### 作者简介:

周禹怀(1989--),男,汉族,江苏无锡人,本科,研究方向:工程测量。