

水利工程测量技术精度控制与工程质量保障的协同机制研究

陈健

广源水利水电勘测设计有限责任公司，广东 惠州 516300

DOI:10.61369/WCEST.2026030018

摘 要： 水利工程测量技术作为工程建设与管理的基础支撑，测量精度会直接对工程质量与安全产生影响。文章围绕测量技术类别、设备运用、精度控制要素展开，研究高精度技术和质量保障体系的协同机理，重点强调数据驱动的智能集成对全生命周期质量管控的支撑作用，点明技术难题及管理办法，为水利工程质量提高提供理论和实践方面的参考。

关 键 词： 水利工程测量；精度控制；质量保障协同机制

Research on the Collaborative Mechanism of Precision Control and Engineering Quality Assurance in Water Conservancy Engineering Surveying Technology

Chen Jian

Guangyuan Water Resources and Hydropower Survey and Design Co., Ltd., Huizhou, Guangdong 516300

Abstract： The measurement technology in water conservancy projects serves as the fundamental support for engineering construction and management. The measurement accuracy will directly affect the quality and safety of the project. This article focuses on the classification of measurement technologies, the application of equipment, and the elements of accuracy control. It studies the collaborative mechanism between high-precision technologies and quality assurance systems, emphasizing the supporting role of data-driven intelligent integration in the quality control throughout the entire life cycle. It also highlights the technical challenges and management methods, providing theoretical and practical references for improving the quality of water conservancy projects.

Keywords： water conservancy engineering surveying; precision control; collaborative mechanism for quality assurance

引言

水利工程测量技术作为水利工程建设及运行管理的主要基础保障，其精准度直接关系到工程的质量安全和长期稳定性。《十四五水利科技创新规划》（2021年）清晰提出要加强水利工程测量精度把控与质量保障协同水平，促进技术和管理深度融合。测量精准度把控为工程质量保障供给精确量化凭据，而质量保障需求则反向推动测量技术的精度优化与方法改革，二者构成双向促进的动态关联。考虑到水利工程地形的复杂特性、水文的动态特性等特点，搭建测量技术精度把控与工程质量保障的协同体系，能够实现全生命周期的数据即时反馈与风险预警，确实减少工程隐患，加强结构稳固性，为水利工程的安全性和可靠性提供主要技术支持。

一、水利工程测量技术基础

（一）工程测量技术概述

水利工程测量技术作为水利工程建设及运行管理的基础保障，其精准度直接关乎工程的质量与安全。常见的测量技术手段包括地面测量和水下测量这两大类别。地面测量将 GNSS 技术、全站仪测量作为核心手段，GNSS 技术通过多颗卫星信号来解算三维坐标，适合用于大范围控制网的布设以及地形测绘工作，在水库坝址的选择、渠道线路的规划里起到主要作用^[1]；全站仪是通过

测量角度和距离来实现高精度点位的定位，常应用于建筑物轴线的放样以及变形监测。水下测量的技术主要包括单波束测深仪、多波束测深系统以及侧扫声呐。单波束测深仪通过发射声波来测定水深，适合用于河流航道和水库库容的测量；多波束测深系统能够实现水下地形的全面覆盖扫描，为大坝基础处理和水下构筑物的施工提供精准的地形数据；侧扫声呐是通过声学成像技术来探测水下障碍物和地形特点，确保水利工程水下施工的安全性。这些技术手段通过大地测量学、声学原理以及空间定位理论，结合水利工程地形复杂、水文动态变化等特性，为工程设计、施工

放样、质量检测和运行监测提供精确的数据支持，是实现工程精度控制和质量保障的技术基础。

（二）测量机械设备概述

水利工程测量技术基础里的测量机械设备概括部分，要围绕主要设备的种类、作用以及在水利工程中的应用来展开。全站仪属于集成电子测距、角度测量以及数据处理功能的仪器，通过发射红外信号或者激光信号来测定距离，再与角度测量相结合实现三维坐标定位。在水利工程里的坝体轮廓测量、渠道轴线放样工作中，全站仪有着广泛的运用，其具备的高精度特点能够满足工程对于点位误差的严格标准^[9]。GPS接收机通过全球卫星导航系统，通过多颗卫星信号解算来获取测点的三维坐标，适用于较大范围的水利工程控制网设置，例如水库库区的地形测量，和传统测量方法相比明显提高作业效能。测深仪通过超声波或者声呐技术，朝水体发射声波并接收反射回来的信号，根据声波传播的时间来计算水深，在河道清淤、水库库容测算方面起到主要作用，能够迅速获取水下地形的数据。这些装置的运行原理虽各有不同重点，但均通过精确的参数测定为水利项目提供基础数据支持，其性能指标直接影响测定结果的精准度，进一步关系到工程质量保障的有效性。

二、测量精度控制理论

（一）精度控制的影响因素

在测量精度控制理论领域内，精度控制的影响因子包含内外多部方面变量，直接对水利工程测量数据的可靠性产生作用。外界干扰作为外部主要要素，包括温度改变引发的测量仪器热胀冷缩、大气折光给光学测量信号带来的折射误差，以及强电磁环境对电子测量设备造成的信号干扰，这些因素会让测量数据出现系统性偏差，从而影响工程结构的定位精准度^[3]。设备误差属于内部主要要素，包括仪器自身的系统偏差（如全站仪的轴系偏差）、偶然偏差（如测量进程中的随机读数误差），还有设备长时间使用后的老化损耗导致的精度降低，这类偏差若未及时校正，会直接降低测量结果的可靠性。操作规范的落实程度也明显影响精度，测量人员对仪器操作的娴熟程度、观测方法的标准性（如水准测量里的前后视距差把控），还有数据记录与处理的严密性，都会经由人为因素产生误差。这些要素通过累积效果对工程质量产生影响，比如基础建造阶段的测量偏差或许会导致坝体轴线出现偏移，进一步引发结构应力分布不均衡；隧洞挖掘时的测量误差可能造成断面尺寸出现偏差，加大后续衬砌施工的难度，最终对水利工程的安全性和耐久性产生影响。

（二）高精度测量技术

在测量精度控制的相关理论里，高精度的测量技术是提高水利工程测量精度的主要支撑，它的运用直接关系到工程质量保障的协同成效。三维激光扫描手段通过高密度点云数据收集，能够实现对大坝、堤防等水利建筑的毫米级精度三维建模，在变形监测时可捕捉细微位移变动，为结构安全评价提供精确数据^[4]。遥感手段依靠多光谱、高分辨率的卫星影像，实现较大范围水利工

程区域的动态监管，特别是在流域地形测量、淹没范围评定方面体现出高效特性，它和地理信息系统（GIS）相融合，能够搭建时空一体化的测量数据管理平台，提高数据处理与分析的精准度。这些技术的运用不但打破传统测量手段在复杂地势、大区域作业里的精度局限，还通过数据的即时传输与共享，促使测量精度把控与工程质量保障的协同机制朝着智能化、动态化的方向演进，为水利工程全生命周期的质量管控提供技术支撑。

三、工程质量保障体系

（一）工程质量要素

1. 水利工程质量标准

水利工程质量准则是评判工程建设合规状况与可靠程度的主要根据，包含测量精准度、结构安全性等方面的要求。《水利工程测量规范》（SL 197-2013）确定平面和高程控制测量的精度基准^[5]；《水利水电工程施工测量规范》（DL/T 5173-2012）对施工阶段的测量要求进行细化，例如坝体填筑高程的偏差限值；《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》（GB 50199-2013）规定了结构的安全等级和可靠指标，像Ⅰ级水工建筑物承载能力极限可靠指标不得低于3.7。这些标准一同建立起质量控制的基础框架，为测量精度把控与质量保障协作提供规范准则。

2. 质量管理流程

工程质量保障系统以工程质量要素作为基础，通过质量管理流程把控测量技术的精准度。质量因素包含数据精确性、设备可靠度、人员专业素养，直接作用于测量精准度与工程稳固性。质量管理流程要整合数据校验、风险评估以及质量验收，建立闭环；数据校验建立多源比对和误差识别的机制^[6]；风险评估对精度偏差给质量造成的影响等级进行量化；质量验收把测量精度指标归入验收体系，通过现场复核等途径加以验证。此协同机制实现测量精度和质量保障的动态协作，提高水利工程总体质量水准。

（二）工程安全测量

1. 安全监测技术

在工程质量保障体系里，工程安全测量通过位移监测和渗流检测来实时掌握状态改变情况，为风险预警提供数据支持。位移监测通过GNSS、全站仪等仪器对坝体、边坡开展高精度量测，了解变形走向，当超出阈值时触发警报，防止溃坝等意外发生^[7]。渗流监测通过渗压计、流量计对渗流的速度和压力进行监测，出现异常情况时会提示渗漏通道或者结构存在破损，从而为维护工作提供根据。这些技术建立动态监测闭环，在隐患早期识别里作用明显，其测量精准度直接关乎风险判定的准确性以及质量保障的有效性。

2. 应用案例分析

工程安全测量作为工程质量保障体系的主要技术支撑，其精准度直接关系到质量保障成效。以某座高拱坝作为实例，运用GNSS动态监测系统以及分布式光纤传感技术，针对坝体的位移、应力等开展高精度的数据采集工作：GNSS平面位移的精度能够达到 $\pm 2\text{mm}$ ，垂直方向精度达到 $\pm 3\text{mm}$ ，光纤应变的分辨率为

1 μm ，可有效捕捉到细微的变形情况^[8]。通过建立测量数据和质量指标的关联模式，当位移超出预警界限时自动启动缺陷排查工作，迅速修复裂缝。此案例显示，高精度测量和质量保障体系相互协同联动，实现从被动检测向主动预防的转变。

四、协同机制研究

（一）理论基础

1. 技术与管理整合

技术和管理的整合属于水利工程测量精度控制和质量保障协同机制的主要，要以系统论作为指引，把测量精度需求和质量管理流程充分融合。测量精度控制需融入工程整个生命周期，各个环节的测量数据要和质量验收指标相联动，例如施工放样误差归入偏差阈值体系^[9]。利用信息化平台搭建交互接口，建立精度预警、问题溯源、措施调整闭环体系。同时要配合修订技术标准和管理规范，通过人员培训以及组织优化，促进测量技术人员和质量管理人员进行跨角色合作，实现技术操作和管理决策的统一。

2. 协同优化策略

协同机制研究的主要在于搭建数据导向的精度把控与质量保障联动方案。经由整合测量数据的采集与处理整个流程，建立多源数据融合的模式，实现精度指标和质量参数的动态关联分析^[10]。通过机器学习算法建立精度偏差预测模型，预先识别质量风险之处。开发集成式决策支持系统，将测量数据实时传送到质量监控模块，自动使精度阈值与质量标准相匹配，超出限时就触发预警并生成调整策略。此策略通过数据即时流动和智能分析，破除信息障碍，提高协同响应速率与决策的科学性。

（二）实践应用

1. 设备在协同中的角色

在水利工程测量的精度把控与质量保障协同体系里，自动化监测设备（例如 GNSS 接收机、全站仪）属于核心载体。它们即时收集空间坐标、变形量等核心参数，经过边缘计算或者云端处理之后反馈到精度控制与质量管理体系：其一校正测量误差以保证精度；其二触发质量预警，促进隐患预控。比如在大坝变形监测工作里，当实时位移数据超出限定值时，能够自动触发质量管控流程。这种通过设备搭建纽带的数据流通，破除了信息障碍，让精度把控与质量管控转变为动态协作体，确保工程质量与安全。

2. 安全测量的协同贡献

工程安全测量技术属于水利工程测量精度把控与质量保障协同机制的主要部分。在工程建设的全生命周期里，它通过高精度的实时数据收集以及动态监控，为精度把控提供量化的根据，并且对风险预警和过程纠偏起到作用。例如在坝体填筑时期，持续监测沉降、位移等数据，同步到精度控制模块实现主要参数动态调节；运维时期长期监测变形、渗流等指标，及时察觉隐患，促使精度策略更新。此项技术搭建测量数据、精度控制、质量保障闭环反馈链路，成为衔接二者的主要桥梁，直接提高工程质量保障水准。

（三）挑战与对策

1. 技术挑战

技术难题专注于协作机制推行里的主要瓶颈。数据融合精度欠佳：多源测量数据（像 GNSS、全站仪、无人机航测）于时空基准统一、误差传递与补偿方面存在不足，降低精度控制对质量保障的支撑作用。设备兼容性难题明显：各厂商设备于通信协议、数据格式方面缺少统一规范，容易造成信息缺失或冲突，对协同作业形成阻碍。另外在动态环境当中，实时数据的处理能力欠佳，复杂的施工状况对海量数据的实时分析形成限制，进一步影响协同机制的动态响应效能。

2. 管理对策

管理措施的主要在于搭建测量精度把控与工程质量保障的协同方案。规范化流程应包含数据收集、加工、核实整个环节，清晰界定工序之间精度传递的要求。强化跨部门协同需破除测量、施工、质检等部门的信息屏障，建立常态化的沟通体系，实现测量偏差的实时反馈以及施工的迅速响应。引入智能化决策系统能够依靠 BIM 技术对数据和模型进行整合，通过算法对精度偏差发出预警，辅助开展质量纠偏工作，建立标准约束、协作联动、智能赋能的管理闭环，以此保障协同效能。

五、总结

本研究清晰界定水利工程测量精度把控与工程质量保障之间的协同逻辑：测量精度构成质量保障的基础，质量需求反向推动精度改进，建立起双向动态关联。搭建协同机制要从技术标准归一、数据共享平台、多主体协同程序着手，通过测量数据即时反馈与质量指标动态调控实现深度融合。此机制于工程整个生命周期里确实减少隐患、加强稳定性。未来通过物联网、大数据和人工智能的协同优化会成为主要方向，促使体系朝着智能化、精细化发展。

参考文献

- [1] 孙琦栋. 面向大尺寸装配对象的激光雷达自动测量精度控制技术研究 [D]. 长春理工大学, 2022.
- [2] 蒋晗. 大型海洋油气模块结构虚拟对接及精度控制技术研究 [D]. 天津大学, 2022.
- [3] 杜威. 注射成型熔体波动及重复精度控制的研究 [D]. 北京化工大学, 2023.
- [4] 令狐冰冰. 基于数值模拟的直薄壁法兰件辗扩成形精度控制及工艺参数研究 [D]. 太原科技大学, 2023.
- [5] 谢磊. 涉侨权益保障协同机制研究 [D]. 温州大学, 2022.
- [6] 赵慧. 矿井贯通测量精度控制研究 [J]. 山西冶金, 2023, 46(03): 174-176.
- [7] 牛洪全. 工程测量技术在地下工程中的应用与精度控制 [J]. 工程与建设, 2023, 37(06): 1702-1703+1714.
- [8] 韩鹏圆. 工程测量技术在地下工程中的应用与精度控制 [J]. 中华建设, 2025, (03): 142-144.
- [9] 秦凯峰. 超长距离巷道贯通测量精度控制技术 [J]. 江西煤炭科技, 2022, (02): 130-132.
- [10] 石刚. 无人机低空摄影测量技术在水利工程测量中的应用探究 [J]. 住宅与房地产, 2019, (30): 187.