

水利工程施工测量技术发展与创新应用研究

赵曙繁 李四发

云南省水利水电工程有限公司，云南昆明，650000；

摘要：工程施工测量技术是决定水利工程质量的关键环节，目前正处于由传统手段向数字化、智能化深度转型的阶段。本文梳理了现代测量技术在水利施工中的新应用，结合典型工程案例，重点讨论高精度控制网布设、关键构筑物放样及数据处理策略。研究显示，引入GPS、全站仪和激光扫描等装备后，测量精度与作业效率同步提高。本文还针对现存技术瓶颈提出改进思路，并展望其未来走向。

关键词：水利工程；施工测量；数字化测绘；质量控制；数据处理

DOI: 10.69979/3060-8767.26.01.063

引言

水利工程的施工测量自规划伊始便伴随项目全程，直至运营维护阶段仍在发挥作用。伴随国家重大水利项目密集落地，施工对测量精度的要求被不断推高。测量手段也已由经纬仪、水准仪等传统工具过渡到以数字化测绘为核心的技术体系^[1]。

水利工程施工测量决定了建筑物能否按设计坐标精准就位，任何偏差都会直接牵动质量与安全。大坝、水库这类巨型设施尤其如此，毫米级的失准就可能埋下重大隐患。新一代测量技术的引入，为行业打开了新的可能，推动作业方式迅速向智能、自动、信息化靠拢。

1 水利工程施工测量技术概述

水利工程施工测量指在水利建设现场，借助测量仪器，按设计图纸与施工要求，把工程建筑物的平面坐标、高程和几何轮廓精确定位并放样的一项专业技术^[2]。其技术内容早已超出简单的点位测定，覆盖三维空间数据获取、处理到可视化的完整链条。随着工程体量增大、结构日趋复杂，现代水利施工测量已发展为涵盖控制测

量、地形测绘、施工放样及变形监测等多领域的综合技术体系。

1.1 水利工程施工测量的作用与意义

水利工程施工测量贯穿工程全周期，既提供最初的地形底图，也持续为后续环节兜底。设计阶段先交出项目区地形图；准备阶段布设施工控制网；实施阶段把建筑物轮廓放到实地并校准安装；竣工阶段绘成竣工图；运营期则定期记录变形，全程留痕。

现代水利工程测量借助数字化测绘技术，可在短时间内生成大比例尺地形图“从整体到局部，先控制后碎部”的原则。激光雷达扫描能在数小时内输出厘米级精度的数字高程模型，为土方量核算和工程布置提供可靠基准。控制网的精度直接决定施工测量的整体质量，必须严格执行上述原则。

1.2 水利工程测量技术发展历程

水利工程测量技术由简到繁，从人工操作走向自动化，其演进脉络见下表。

表 1 水利工程测量技术发展阶段比较

| 发展阶段 | 代表设备 | 技术特点 | 精度水平 | 效率指标 |
|---------|-----------|-------------|------|------|
| 传统测量阶段 | 光学经纬仪、水准仪 | 人工观测、记录与计算 | 厘米级 | 低 |
| 电子测量阶段 | 全站仪、测距仪 | 自动数据采集、电子记录 | 毫米级 | 中等 |
| 数字化测量阶段 | GPS、激光扫描仪 | 自动化、数字化、智能化 | 亚毫米级 | 高 |

测量精度必须随水利工程规模与复杂度同步提升，这一刚性需求与电子、计算机等相邻领域的技术突破叠加，共同构成了技术进步的主引擎。

2 高精度施工控制网建立方法与案例分析

2.1 控制网设计原则与技术要求

水利工程施工控制网的设计应遵循“整体规划、分级布设、逐级控制”这一原则对于大型水利枢纽工程，通常需要建立多级控制网：首级网覆盖整个工程区域，

二级网服务于各建筑群，三级网则用于具体部位的施工放样^[3]。

《水利水电工程施工测量规范》要求，最末级平面控制点相对于同级起始点或邻近高一级控制点的点位中误差不得超过±10 mm。高程控制网通常采用水准测量，每公里偶然中误差应控制在±1 mm 以内。

2.2 控制网施测技术与方法

现代控制网通常将边角观测、GPS 与精密水准三种手段组合使用。全站仪精度高、布点灵活，在通视良好的区段表现尤为出色；GPS 无需通视，即便地形复杂的大型水利工地也能顺利施测^[4]。

外业阶段应把测量环境控制在最稳区间，以压缩误差。全站仪观测宜选大气折射最弱的时段；GPS 作业则须锁定不少于五颗卫星，并确保 PDOP 值低于 4。

2.3 尼尔基水利枢纽施工控制网实例分析

尼尔基水利枢纽以四等三角网为骨干控制，选用拓扑康 GTS710 全站仪施测，仪器标称测角精度 1.0"、测距精度 2+2ppm。网形由 5 个 II 等已知点扩展出 4 个 IV 等新点，设计最大点位误差限值为 7 mm。

外业观测严格选在气象平稳的时段开展，全程符合规范。平差后，测角中误差 1.5"，最大点位误差 0.01m，最弱边相对精度 1/53600，指标均达标。该控制网为发电厂房施工放样提供了高精度基准，保障了工程质量。

3 典型水利构筑物施工测量关键技术

3.1 大坝工程施工测量

大坝作为水利工程的核心构筑物，其测量任务贯穿

表 2 典型水利构筑物施工测量技术要求

| 构筑物类型 | 关键测量内容 | 精度要求 | 推荐技术方法 | 特殊注意事项 |
|--------|-----------------|------------------|-----------------|----------|
| 混凝土大坝 | 坝轴线定位、模板安装、轮廓放样 | 平面±10mm, 高程±5mm | 全站仪极坐标法、GPS-RTK | 温度变形校正 |
| 土石坝 | 坝坡线放样、分层厚度控制 | 平面±20mm, 高程±10mm | GPS-RTK、无人机巡检 | 压实度检测配合 |
| 水工隧洞 | 中心线标定、贯通测量 | 横向贯通误差±50mm | 激光导向、陀螺全站仪 | 地下湿度温度影响 |
| 渠道工程 | 中心桩标定、土方计算 | 平面±30mm, 高程±20mm | GPS-RTK、机载激光扫描 | 曲线段加密测量 |
| 金属结构安装 | 闸门轨道、埋件安装 | 相对精度±1mm | 微型控制网、高精度全站仪 | 温度变形控制 |

4 测量数据处理与质量监控体系

4.1 测量数据预处理与质量控制

原始测量数据在投入后续分析前必须经过预处理，流程依次涵盖粗差剔除、系统误差补偿和数据标准化。粗差剔除环节采用统计检验，典型做法是依据拉伊特准

则，即 3σ 准则将异常观测值筛除。

数据标准化指把来源与格式各异的测量数据统一成一致格式。水利工程测量类型繁杂，必须构建标准数据库加以管理。预处理阶段还要核查完整性并验证一致性。

现代大坝测量普遍采用全站仪极坐标法放样：先设测站并输入设计坐标，仪器随即算出放样元素。混凝土坝的测量侧重模板定位、轮廓放样及浇筑高程控制；土石坝则重点把控坝坡线、分层厚度与压实度。

大坝金属结构安装对测量精度要求极高，例如闸门轨道相邻点的相对误差须控制在±1 mm 以内。现场通常布设微型控制网，并用高精度全站仪实施多测回观测。

3.2 水库与渠道工程测量

水库工程测量主要包括库区地形测绘、淹没线标定与库容计算等。现代测量方法采用机载激光雷达或无人机摄影测量，快速获取高精度数字高程模型，通过对比库区 DEM 与水位高程关系，自动生成库容曲线。

渠道测量重在中心线标定、断面测量与土方计算 GPS-RTK 技术可实时测定渠道中心桩坐标与高程，尤适渠道工程研究显示，相较传统断面法，GPS-RTK 使渠道测量效率提升约一半。

3.3 输水建筑物施工测量

水工隧洞测量难度最高，地下导线布设与贯通误差控制是核心难题。现代隧洞测量把激光导向系统和自动全站仪组合使用，实时为掘进机提供定位与导向，可将贯通误差压到厘米级。

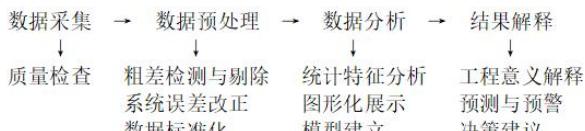
渡槽工程测量的核心落在支架定位与槽体安装支架定位与槽体安装，相邻支架中心线偏差须控制在±5 mm 以内。借助全站仪与精密放样软件，可实时比对设计坐标与实测坐标，现场随即微调。

4.2 测量数据分析方法与技术

水利工程测量数据分析常用方法包括比较法、作图法、特征值统计法与数学模型法等。比较法将观测数据与设计值、规范允许值或历史数据直接对照，可迅速判断测量结果是否满足要求。

作图法通过绘制各类图表揭示数据规律，常用类型涵盖过程线图、分布图和相关图等过程线图、分布图与相关图等。过程线图显示观测值随时间变化趋势，如水库水位与测压管水位过程线对比图可直观反映渗流状态。分布图展示观测值在空间上的分布规律，如大坝垂直位移等值线图可清晰显示沉降分布情况。相关图分析两个变量间的关系性，如位移与温度关系图可揭示温度对变形的影响程度。

特征值统计法先对观测数据做统计，从中提取最大值、最小值、均值及变差等指标，借此刻画数据分布。例如，将混凝土坝垂直位移按年计算变差，即可判断坝体稳定趋势；数学模型法把观测值与影响因素用公式关联，常用工具涵盖回归、时间序列和人工神经网络等模型。



水利工程测量数据分析流程示意图

4.3 测量成果可视化与信息化

现代水利工程测量强调成果的可视化呈现与信息化管理。三维建模技术把测量数据转化为直观图形。常用手段涵盖三维点云模型、数字地形模型及建筑信息模型等。

测量成果信息化管理依托地理信息系统平台，将各类测量数据与属性信息整合为完整的工程测量数据库。该系统支持快速查询、空间分析及动态更新，为工程管理决策提供实时依据。

5 水利工程测量技术挑战与未来发展趋势

5.1 当前面临的技术挑战

水利工程测量技术面临的主要挑战包括：特殊环境测量困难、多源数据融合不足与实时性要求提高等。大坝内部、水下地形等特殊区域的测量难度高，传统手段难以获得高精度数据。地面测量、遥感、传感器监测等

多源数据在整合时仍受技术瓶颈限制，难以形成统一的分析结论。

随着水利工程管理标准趋严，测量数据必须实时可得且采集过程高度自动化。实时性与自动化传统人工观测已无法支撑连续监测，而现有自动系统价格高昂、维护繁琐，难以大面积铺开。此外，既懂测量又懂水利的复合型人才缺口持续扩大，进一步拖慢了技术升级步伐。

5.2 技术发展趋势与创新方向

未来水利工程测量技术将朝智能化、自动化与集成化方向演进，其具体表现可从以下方面观察：

1. 新一代全站仪与 GPS 接收机将集成自识别、自诊断和自校正功能，显著降低操作门槛并削弱人为误差。随着传感器向小型化、智能化演进，测量元件可直接嵌入工程体内部，智能测斜仪、微变形传感器等设备由此实现长期、无人值守的自动化监测。

2. 无人机测绘应用普及：通过挂载高分辨率相机或激光雷达，无人机能在短时间内采集水利工程区域的三维数据，尤其适用于库容测算和大坝外观巡查。相关研究显示，其作业效率约为传统人工测量的五倍，成本则可下降约四成。

3. 地面三维激光扫描可在短时间内捕获高密度点云，直接生成毫米级精度的三维模型，已逐步用于水利工程变形监测与方量测算。对堆石坝边坡、泄洪道冲刷坑这类外形复杂的对象，其优势尤为突出。

4. 测量数据处理自动化：借助人工智能，系统可在无人干预的情况下剔除异常值、迭代模型并触发预警。以深度学习为例，大坝变形预测模型通过回溯历史监测记录，自行捕捉变形与环境变量间的耦合规律，从而提升预测准确度。

5. BIM 与测量技术融合：建筑信息模型为水利工程测量提供了新的工作平台，测量结果可直接写入 BIM 模型，使设计、施工到运维的全过程都能被可视化管控。将现场实测数据与模型比对，可即时评判施工质量，为工程决策提供依据。

5.3 水利工程测量发展展望

未来水利工程测量将演变为多技术融合、覆盖工程全生命周期的技术体系。空间、信息与传感技术深度耦合，构建空地一体的数据采集与处理网络。测量服务不再局限于数据交付，而是贯穿设计、施工、运维各阶段，提

供一体化解决方案。

水利工程测量将更强调标准化与规范化，统一数据格式、处理流程和质量评价标准，以便数据共享与互通。随着技术进步，测量效率也将显著提升，实现实时、自动的监测与预警。

6 结论与建议

本文系统研究了水利工程施工测量技术体系，得出以下主要结论：

现代水利工程施工测量已构成一条完整的技术链，各环节成熟可靠，可覆盖各类工程的精度需求。工程实践表明，引入当代测量手段后，施工质量与作业效率均得到明显提升。

数字化测绘技术已成为水利工程测量的主要引擎。GPS、全站仪等设备的普及把数据采集的精度和速度推上新台阶，而 CAD 与 GIS 软件的成熟，则让测量成果得以被充分挖掘并反复利用。

基于研究结论，对水利工程施工测量实践提出以下建议：

- 1.通过完善测量质量管理体系、严格执行规范并实行多重检验，保障测量成果的可靠性
- 2.推进技术集成应用：主动引入无人机、三维激光扫描仪等新型装备，与传统测量手段互补，综合提升工

程测量效率。

3.搭建信息化管理平台：依托 GIS 与 BIM 建立测量数据管理系统，把数据集中起来统一管理，支持共享分析和动态更新，为工程全生命周期提供支撑。

水利工程测量技术的发展是一个持续创新的过程，需要不断吸纳相关领域技术进步，结合工程实际需求，优化技术方案与方法，推动水利行业的技术进步和产业升级。

参考文献

- [1]林晓云. 水利工程风险管理与安全监测技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (24) : 208-210.
- [2]居浩. 水利工程测量中数字化测绘技术应用探析[J]. 大众科学 2025 (12) : 173-175
- [3]陈志洪. GPS 技术在水利工程测量中应用[J]. 内蒙古水利. 2018 (08) : 48-49
- [4]杨波. 人工智能在水利工程设计行业的应用思考[J]. 黑龙江水利科技 2025 (08) : 162-164

作者简介：赵曙繁（1989.04-），男，云南大理人，白族，本科学历，工程师，研究方向为水利水电工程施工。