

数字化监测技术在大型水利施工项目质量管控中的实践

万晓英

江西湓泰科技有限公司 江西 九江 332000

【摘要】：在我国基础设施中，水利工程是重要组成部分，发挥水力发电、农田灌溉、防洪减灾等作用。随着水利工程建设事业的发展，项目规模逐渐地扩大，并愈加提升对施工质量的要求。数字化监测技术具备实时性、智能化、精准性等优势，其为水利工程施工质量管理的高质高效开展提供了全新的思路。因此，本文在介绍数字化监测技术基础上，分析了该技术在大型水利施工项目质量管控中的应用意义，并结合工程实例探讨了具体的应用策略，以供参考。

【关键词】：数字化监测技术；大型水利施工项目；质量管控

DOI:10.12417/3083-5526.25.04.014

引言：

大型水利工程项目建设时，施工质量管控是重要环节。传统情况下，施工期间，主要通过抽样检测、人工巡检等方式实施质量管控，但存在效率低下、质量问题发现不及时等不足，一定地限制了质量管控效果。随着数字化技术的迅速发展，在大型水利工程项目施工中开始引入各种先进技术，如 BIM 技术、无人机技术等，实现实时监测施工质量，促进质量管控效率与水平大幅提高。鉴于此，探讨大型水利施工项目质量管控中如何科学合理地应用数字化监测技术具有重要意义。

1 数字化监测技术概述

数字化监测技术指利用物联网、遥感平台、人工智能等数字化技术实时监测环境、基础设施或生态系统，并自动采集、处理和分析相关的数据，为决策提供有力支持，保障决策科学合理。该技术集成了智能算法、传感器网络等，与传统监测方法相比，其具备以下核心优势^[1]：

第一，实时性与高效性。数字化技术辅助下，数据采集与传输可高效完成，延迟大幅度降低，实现近乎实时的监控环境或设备状态。同时，数据处理由系统自动完成，减少人工干预，提升处理效率及准确性。

第二，高精度与可靠性。传感器是数字化监测系统中的核心组成，通过更高精度设备的应用，配合抗干扰信号处理技术，有效降低外部噪声对监测结果的影响，提升监测结果的准确性，再加上自动化校准与误差修正算法，使该系统能稳定的、长期的运行。

第三，强大数据处理与分析能力。大数据、机器学习等技术整合到数字化监测系统中后，系统能在海量数据中快速且准确地识别出所需数据，并自动预测发展趋势，辅助管理人员决策，提升决策的合理性。

第四，可扩展性与集成性。数字化监测系统布设时，采用分布式网络架构，这不仅能覆盖现有的全部节点和区域，同时还具备扩展性，支持无缝集成标准协议与异构设备。另外，模块化设计方式允许以软件升级方式拓展功能。

2 大型水利施工项目质量管控中数字化监测技术的应用意义

2.1 促进高效施工

大型水利项目施工时，之所以运用数字化监测技术，主要目的是提高施工效率及质量。例如，在施工现场，施工测量、施工监测等多项工作可利用全站仪设备开展，帮助管理者将异常施工行为精准地识别出来，进而及时采取相应措施处理，确保规范施工，提升施工的安全性。数字化监测技术作用下，水利工程中的土方路基填筑、挖掘等项目施工期间，可大幅增强其质量管理精度，且能够实现碾压作业质量 100%控制。此外，数字化监测技术还可减少内业、外业工作量，促进施工效率显著提高。

2.2 实现全过程协同管理

大型水利施工项目包含众多的施工环节，且涉及范围广泛，如施工质量管控工作按照传统方式开展，全过程覆盖难以实现。而应用数字化监测技术后，通过集成应用多种监测手段，能够全面监测整个施工过程的质量，使工程质量全程可控^[2]。与此同时，依托数字化监测系统，建设单位、设计单位、施工单位等相关单位可有效地沟通与交流，实现协同管理，提升管理的规范性，保障全过程的施工质量符合要求。

2.3 提升监测实时性与精准性

数字化监测技术可实时采集和传输施工质量数据，这能将传统监测手段存在的数据滞后问题有效解决。例如 GNSS 实时动态监测技术，大型水利工程施工期间，对于施工区域的变形数据，该技术可实时获取，且采样频率超过 10Hz，能达到毫米级的数据精度^[3]。再如传感器网络技术，可全天候的监测混凝土温度、应变等指标，施工人员通过这些数据，可实时且准确的掌握混凝土状态，包含结构受力状态、水化热过程等。因监测数据具备精准、实时的特征，一旦存在质量隐患，质量管控人员能及时发现并处理，避免整体施工质量受到影响。

2.4 提高质量预警的智能化水平

数字化监测技术中集成了众多当前先进的技术，如人工智

能、大数据等，在这些技术支撑下，可深度分析和挖掘采集的质量数据，建立质量预警模型。当监测数据在预设阈值范围以外，预警信息由系统自动发出，质量管控人员接到预警后，及时采取措施处置。同时，系统还会自动分析历史监测数据，预测质量隐患发展趋势，利用数据有效地支持决策，实现早发现、早处置质量问题。

2.5 降低质量管控成本与劳动强度

大型水利施工项目质量管控时，传统人工巡检与抽样检测方法需要投入大量的人力资源，花费成本较高，且工作人员劳动强度较大。应用数字化监测技术后，质量监测工作由系统自动完成，并进行智能分析，这不仅使人工投入大幅度减少，同时也减轻工作人员承担的工作量。例如无人机航测技术，其巡检速度非常快，短时间内即可完成大面积施工区域的质量检查，与人工巡检相比，显著提升工作效率。

3 数字化监测技术在大型水利施工项目质量管控中的应用策略

3.1 工程概况

本文以某大型水利枢纽工程为案例，该工程主要作用是防洪，同时兼顾航运、发电、灌溉等功能。该工程施工时，需建设的建筑物包含船闸、溢洪道、大坝、发电厂房等，其中大坝采用混凝土重力坝，坝高最高处为120m，坝顶长度800m，总库容25亿m³。涉及的土石方开挖量、混凝土浇筑量各为1500万m³、800万m³。该工程施工周期长、施工环节众多且施工量大，为保证施工质量，引入数字化监测技术管控施工质量。

3.2 选用数字化监测技术

数字化监测技术中集成了众多的先进技术手段，如大数据、人工智能、物联网、传感器、无人机等，实际应用时，需以具体应用场景、技术特征、实际约束等为依据，合理选择其中几项。本工程施工时，存在较多的质量隐患，如混凝土大坝沉降变形、土石方开挖边坡变形、土石方超挖、地基沉降等，对此，可选择以下四项技术构建数字化质量监测体系。

(1)GNSS实时动态监测技术：该技术以GPS、GLONASS等全球导航卫星系统为基础，通过基准站与流动站的协同，实时测定监测点位置。基准站在已知坐标点上布设，且保持固定不动，用于实时接收卫星信号，并向流动站传输观测数据；流动站布设在监测点上，接收基准站传输数据以及卫星信号，利用差分计算，实现监测点三维坐标的实时获取。该技术的优点包含实时性强、定位精度高、操作简便等。对于本工程来说，可采用该技术监测土石方开挖边坡变形、位移情况，降低边坡坍塌几率；监测大坝基坑和围堰变形情况，提升其稳定性；监测混凝土大坝等建筑物沉降、位移情况，使变形隐患及时发现。

(2)无人机航测技术：该技术指利用无人机巡检施工区域的施工情况，通过搭载高清相机、激光雷达等设备，获取影

像或点云数据，再经专业软件处理获取的数据，全面了解施工情况。本工程施工期间，施工进度监测、施工区域地形地貌勘测、施工区域安全隐患排查、土石方开挖工程量核算等都可采用该技术。

(3)传感器网络监测技术：该技术通过在施工环境或结构中部署传感器节点，实时采集施工质量数据，再利用数据传输设备，向数据中心传输采集到的数据，数据中心负责存储、处理和分析接收到的数据，实现实时监测和预警施工质量^[4]。该技术具有广泛的监测范围，可连续的采集数据，且有较高自动化程度。本工程中，混凝土浇筑、地基处理、金属结构安装等环节的施工质量都可应用该技术监测，同时还能监测施工环境，保障施工安全。

(4)BIM+监测融合技术：该技术指数字化监测技术结合BIM技术，通过将监测点信息、监测数据嵌入到BIM模型中，可视化展示监测数据，并实现一体化管理。二者关联后，当监测到异常数据，异常区域可在BIM模型中精准定位，有利于提高质量隐患的处理速度。本工程施工前，借助BIM模型碰撞检测，可避免存在质量隐患，同时结合实时监测数据，能够有效追溯质量隐患，提升管控效果。

3.3 设计数字化监测方案

数字化监测技术应用过程中，数字化监测方案的设计至关重要，其设计的合理性直接影响监测结果。本工程应用该技术的主要目的是对边坡变形、基坑沉降等关键质量指标做出实时监测，从而将存在的质量隐患及时发现，发出预警信息，辅助质量管控人员科学地制定决策，确保工程质量与相关规范、要求相符。

根据上述监测目标，结合实际施工特点，本工程监测项目包含边坡变形、基坑沉降、混凝土温度与应变、工程量核算等，每个监测项目所采用的监测技术、布设方法等见表1。除表1中监测项目外，本工程还采用BIM+监测融合技术开展质量可视化管控。

表1 监测项目与监测技术

监测项目	监测技术	布置方法
边坡变形、 基坑沉降	GNSS实时动态监测技术	监测点布置在边坡上、基坑周边，间隔各为50m、30m
混凝土温度与应变	传感器网络监测技术	温度传感器、应变传感器布置在混凝土大坝浇筑仓内，沿着坝体高度和水平方向进行，每组中，温度传感器3个、应变传感器2个，间隔10m
地基沉降	传感器网络监测技术	沉降传感器布置在船闸地基中和发电厂房内，间隔20m

施工区域	无人机航测技	/
航测、工程	术	
量核算		

3.4 数据处理

监测点布置完成后，正式采集数据之前，还需设计采集频率。GNSS 实时动态监测技术连续监测土石方开挖边坡和基坑情况，采样频率为 10Hz，以三维坐标形式呈现监测数据。无人机航测时，频次为 1 次/周，每次航测过程中，整个施工区域都要包含在内。三类传感器中，除沉降传感器的采样频率为间隔 2 小时一次外，其余监测温度与应变的传感器每次采样间隔为 1 小时。各监测技术获得监测数据后，通过 4G 网络、LoRa 无线通信技术、光纤网络等网络技术传输到数据中心。

各类监测数据传输到数据中心后，数据中心开展清洗、格式转换等预处理，将其中的异常数据、无效数据处理，保障数据完整的同时，提升数据的可靠性。接着，利用专业软件和模型分析预处理后的数据，据此判断施工质量及质量隐患情况。例如变形数据分析，通过 MATLAB 软件实施趋势分析与回归分析，对变形发展趋势做出合理的预测，见图 1。从图 1 可知，在施工初期，边坡位移以较快速度增长，随着施工推进，以及布置支护结构，逐渐减慢了其增长速度，并趋于稳定，稳定时的位移值为 12mm，比预警阈值（30mm）小。

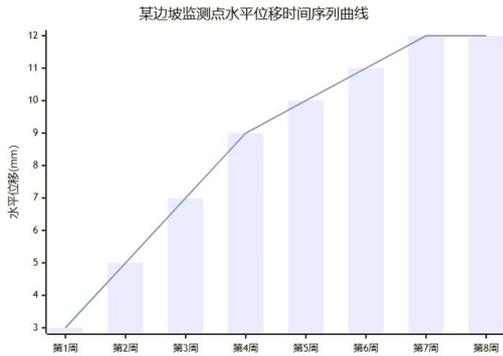


图 1 变形数据分析结果

参考文献:

- [1] 王利娟,柴晓燕. 现代数字技术在水利施工管理中的运用 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (34): 205-207.
- [2] 易兰. 数据防伪在水利工程质量安全监测中的应用研究——增强数据防伪技术的抗攻击能力 [J]. 中国品牌与防伪, 2025, (14): 145-147.
- [3] 邓小龙. 渗流监测技术在水利工程施工质量检测中的应用 [J]. 中国水运, 2025, (16): 112-114.
- [4] 刘东海,刘国庆,杨钢,等. 水毁堤坝工程重建施工质量智能管控技术及应用 [J]. 人民长江, 2025, 56 (10): 206-213.

3.5 质量预警与处置

数字化监测技术应用过程中，为实现质量管控目标，需结合工程实际情况科学设定预警阈值，并建立预警机制及处置预案，及时发现和处理质量隐患，提高施工质量。当监测数据达到预警阈值，一级蓝色预警信息由系统自动发出，此时，需将监测频率适当增加，并对数据变化趋势密切关注；接近极限阈值情况下，二级黄色预警信息发出，质量管控人员收到预警后，现场核查立即进行；达到或超出极限阈值时，三级红色预警信息发出，相关施工要立即停止，且应急处置预案立即启动。例如边坡变形监测，根据以往施工经验，结合相关规范、要求等，预警阈值设计为 20mm，极限阈值设计为 30mm。质量管控期间，某监测点第 5 周位移量达到 22mm，超过预警阈值，系统发出蓝色预警信息，工作人员收到后，采样频率立即调整，增加到 20Hz，同时现场核查立即开展，查找原因，发现是由边坡支护锚杆锚固力不足导致，之后及时针对原因处置，措施包含增加支护密度等，处置后逐渐减慢边坡位移整长速度，恢复至安全范围。

结束语:

大型水利工程项目的施工相对较为复杂，质量管控要求较高，传统人工巡检和抽样检测方法难以满足管控需求。数字化监测技术应用后，可有效弥补传统方法存在的不足，提升监测的精准性，同时还能实现实时的、智能的、自动的监测，利于及时发现和处理存在的质量隐患，进而显著提高工程整体质量。应用实践中，应结合工程实际情况科学选择具体的监测技术，并合理布置监测点，促进数字化监测技术作用充分发挥。