

水利工程建设质量管理

肖龙梅

新疆哈密市伊州区水管总站, 中国·新疆 哈密 839000

摘要: 本研究聚焦水利工程建设质量管理, 核心在于揭示质量、成本与安全间的三元悖论内在关联。通过构建科学的质量评价指标体系, 量化质量管理关键因素。创新性地提出基于数字孪生的全过程质量预警系统, 实现对工程质量的实时、精准监测与预测。研究过程深入剖析行业现状, 从理论演进、现实困境到智慧化体系构建进行全面探究, 为提升水利工程建设质量管理水平提供全新思路与方法, 助力水利行业高质量发展。

关键词: 水利工程; 建设; 质量管理

Quality Management in the Construction of Water Conservancy Projects

Longmei Xiao

Water Pipe Terminus of Yizhou District, Hami City, Xinjiang, Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract: This study focuses on the quality management in the construction of water conservancy projects, with the core being to reveal the inherent relationship of the trilemma among quality, cost, and safety. By constructing a scientific quality evaluation index system, the key factors of quality management are quantified. An innovative whole-process quality early warning system based on digital twin is proposed to achieve real-time and accurate monitoring and prediction of project quality. During the research process, the current situation of the industry is deeply analyzed, and a comprehensive exploration is carried out from the evolution of theories, practical dilemmas to the construction of an intelligent system, providing new ideas and methods for improving the quality management level of water conservancy project construction and facilitating the high-quality development of the water conservancy industry.

Keywords: water conservancy projects; construction; quality management

0 前言

水利工程作为国家基础设施建设的关键组成部分, 具有不可替代的战略意义。在“十四五”规划的 102 项重大工程中, 众多水利项目位列其中, 这些工程关乎国家水资源调配、防洪减灾、农业灌溉及能源供应等多个重要领域, 对推动区域经济发展、保障民生福祉起着基石作用。然而, 水利工程质量缺陷可能引发严重的次生灾害风险。例如, 2020 年某水库溃坝事故, 不仅造成了巨大的财产损失, 更对下游居民的生命安全构成了直接威胁, 凸显了强化水利工程质量管理的紧迫性与重要性。在国际上, ISO9001 质量管理体系被广泛应用于各类行业, 但在水利工程这一专业性极强的领域, 其与水利行业标准存在适用性差异。国外在水利工程质量管理方面侧重于先进技术的应用与精细化管理流程的构建。而国内则更注重结合本土工程特点与管理体制进行探索。当前, 水利工程质量管理面临诸多技术瓶颈, 其中隐蔽工程质量追溯难题尤为突出。由于隐蔽工程施工完成后难以进行直观检查, 一旦出现质量问题, 追溯根源与解决问题的成本极高, 严重影响工程质量管控的全面性与有效性。

1 水利工程质量管理的理论演进

1.1 范式转变

水利工程质量管理范式经历了从传统“事后检测”到

现代“过程控制”的重大转变。早期的质量管理主要依赖于工程竣工后的质量检测, 这种方式难以在施工过程中及时发现并纠正质量问题。随着质量管理理念的发展, PDCA 循环(计划、执行、检查、处理)逐渐应用于水利工程, 强调对施工过程的持续改进。而近年来, BIM(建筑信息模型)协同技术的兴起, 更是将质量管理提升到新高度。通过 BIM 技术, 工程各方可以在虚拟环境中对工程建设全过程进行模拟与协同管理, 提前发现设计冲突与施工风险, 有效提升质量管控效率。同时, 质量成本理论在水利工程中的应用边界也在不断探索。一方面, 过高的质量要求可能导致成本大幅增加; 另一方面, 为降低成本而忽视质量, 则可能引发安全隐患与后期维护成本的飙升, 如何在质量与成本间寻求平衡成为关键问题^[1]。

1.2 标准体系

《水利水电工程施工质量检验与评定规程》在水利工程建设中发挥着重要的质量规范作用, 但在实际执行过程中存在诸多痛点。例如, 部分条款的表述不够清晰明确, 导致不同地区、不同项目在执行时存在差异; 检验评定流程繁琐, 影响工程进度。对比中美欧质量验收标准, 美国侧重于基于性能的标准制定, 强调工程最终应达到的性能指标; 欧洲则更注重技术规范与质量认证体系的完善; 中国的标准体系结合国情, 在保证工程安全的基础上, 逐步向与国际接轨的方

向发展。通过对比分析,有助于中国借鉴国际先进经验,进一步完善自身质量标准体系^[2]。

1.3 技术驱动

物联网传感器精度对水利工程质量监测至关重要。以沉降监测为例,在某些重要水利设施建设中, $\pm 0.1\text{mm}$ 的沉降监测精度需求极为关键。高精度的传感器能够实时、准确地反馈工程结构的沉降变化,为及时采取应对措施提供依据。数字孪生技术在质量仿真中具有广阔的应用场景。通过构建与实体工程完全一致的虚拟数字模型,在工程建设前即可对各种施工方案进行模拟仿真,预测可能出现的质量问题,优化施工方案,同时在工程运行阶段,也能实时反映工程状态,为质量维护与管理提供决策支持。

2 质量管理的现实困境与归因分析

2.1 主体行为失范

在水利工程建设中,转包乱象屡禁不止,严重影响工程质量。例如,某引水工程在建设过程中经历了3次转包,导致工程质量责任层层稀释。最终在施工中出现混凝土标号降级的严重问题,给工程安全埋下巨大隐患。监理单位作为工程质量监督的关键主体,其独立性缺失问题较为突出。根据2022年水利部专项检查数据显示,部分监理单位受利益驱使,未能严格履行质量监督职责,甚至与施工单位串通一气,对质量问题视而不见,严重破坏了质量管理的正常秩序^[3]。

2.2 技术应用障碍

尽管BIM技术在水利工程建设中具有巨大潜力,但在实际应用中,BIM模型轻量化与现场适配矛盾较为突出。在某泵站项目中,由于BIM模型数据量庞大,现场设备加载模型时延时超15秒,严重影响施工效率与实时决策。无人机巡检技术在水利工程中的应用逐渐普及,但影像数据利用率不足40%。这主要是由于数据处理技术落后,无法从海量的影像数据中快速、准确地提取有用信息,导致巡检结果的准确性与时效性大打折扣。

2.3 制度执行偏差

质量终身责任制在水利工程建设中的落地面临诸多困境。通过对2015—2023年追责案例库分析发现,由于责任界定不清晰、人员流动频繁等原因,部分质量问题发生后难以准确追溯责任主体。质量保证金制度本意是保障工程质量,但在实际操作中,对中小企业产生了挤压效应。中小企业由于资金实力有限,质量保证金的扣留对其资金周转造成较大压力,甚至影响到企业的正常运营,一定程度上也影响了中小企业参与水利工程建设积极性。

3 质量管理体系构建

3.1 智能监测系统

随着科技的飞速发展,水利工程质量监测正逐步迈入智能化时代。基于5G的分布式光纤传感网络在这一进程中脱颖而出,成为保障水利工程安全运行的得力助手。该系统

利用光纤的特殊物理性质,能够对工程结构的温度、应变等关键参数进行实时、精准的监测。在混凝土大坝建设过程中,温度变化对混凝土的性能影响至关重要。通过在混凝土内部预埋分布式光纤传感器,施工人员可以如同拥有一双“透视眼”,清晰掌握混凝土浇筑过程中的温度变化。一旦出现温度异常区域,系统能够迅速发出警报,为施工人员争取宝贵的时间,及时采取措施避免因温度应力导致的裂缝等质量问题,确保大坝的结构安全与稳定性^[4]。

与此同时,北斗高精度定位技术在堤防变形监测领域也发挥着不可替代的重要作用。其卓越的定位精度令人瞩目,平面精度可达2mm,高程精度达到5mm。这意味着即使是极其微小的堤防变形,都无法逃过北斗系统的“火眼金睛”。在实际应用中,通过在堤防关键部位安装北斗定位设备,系统能够实时、动态地监测堤防的变形情况。无论是日常的细微沉降,还是在洪水等极端工况下的突发变形,北斗高精度定位技术都能及时、准确地反馈数据,为防洪安全提供坚实可靠的保障,让防汛指挥部门能够提前做好应对准备,有效降低洪水灾害带来的风险。

3.2 过程控制技术

在水利工程建设中,过程控制技术对于保障工程质量起着关键作用。混凝土浇筑智能温控系统便是其中的典型代表。混凝土浇筑过程中,温度控制直接关系到混凝土的质量和耐久性。该智能温控系统通过在混凝土浇筑现场布置大量的温度传感器,实时采集混凝土内部和表面的温度数据。一旦监测到温差超过 2°C ,系统便会立即自动报警,以直观醒目的方式提醒施工人员。施工人员在接到警报后,能够迅速采取一系列有效的温控措施,如根据实际情况合理调整浇筑速度,避免混凝土热量过度积聚;加强冷却水管通水,加速混凝土内部热量散发等。通过这些精准的控制手段,能够有效降低混凝土内部的温度应力,极大地减少裂缝产生的可能性,从而为混凝土工程质量奠定坚实基础。

此外,灌浆工程AI质量预测模型的出现,也为水利工程质量提升注入了新的活力。该模型依托先进的人工智能算法,对灌浆过程中的压力、流量、浆液浓度等多参数进行实时、全面的监测与深度分析。经过大量实际工程数据的训练和验证,其预测准确率高达89.7%。在灌浆施工过程中,模型能够根据实时采集的数据,快速预测灌浆质量,提前洞察潜在的质量问题。这使得施工人员能够及时调整灌浆参数,优化施工工艺,有效避免因灌浆不密实等问题导致的工程质量隐患,显著提高灌浆工程质量,确保水利工程的防渗、加固等功能得以充分实现。

3.3 管理机制创新

为了从根本上提升水利工程质量管理水平,管理机制创新不可或缺。区块链质量溯源平台的设计为水利工程质量追溯提供了全新的、可靠的解决方案。区块链技术以其独特的不可篡改特性,成为保障质量信息真实性与完整性的有力

武器。在水利工程建设过程中,施工日志详细记录了每一天的施工情况,包括施工工艺、人员安排、设备使用等关键信息;材料采购记录明确了每一批次材料的来源、规格、质量检验情况;质量检测报告则对工程各环节的质量状况进行了客观评价。这些关键信息通过区块链技术进行存证,形成了一条完整、透明且不可篡改的质量信息链。一旦出现质量问题,相关人员可以沿着这条信息链快速、准确地追溯问题根源,明确责任主体,为问题的解决提供有力依据^[5]。

质量信用评价体系涵盖了 23 项核心指标,从企业资质、工程业绩、质量管控能力、诚信记录等多个维度,对参与水利工程建设的企业进行全面、客观的信用评价。企业资质反映了企业的基本实力和专业水平;工程业绩展现了企业过往的建设成果和经验积累;质量管控能力体现了企业在工程建设过程中对质量的把控和管理水平;诚信记录则关乎企业的商业信誉和道德底线。通过建立信用评价结果与市场准入、项目招投标挂钩的机制,形成了一种有效的激励约束机制。优质企业凭借良好的信用评价能够在市场竞争中脱颖而出,获得更多的发展机会;而存在质量问题或信用不良的企业则会受到限制,倒逼企业不断提高自身的质量管理水平,从而在整个水利工程建设行业营造良好的市场竞争环境,推动行业健康、有序发展。

3.4 人员培训与技术提升

水利工程建设质量的保障,离不开专业素质过硬的人员。定期开展技术培训与技能考核机制至关重要。针对施工人员,着重培训最新的施工工艺与操作规范,例如在复杂地基处理技术上,通过理论讲解与现场实操演练,让施工人员熟练掌握深层搅拌法、高压喷射注浆法等先进技术的应用要点,确保地基处理质量符合高标准。对于质量管理人员,培训内容聚焦于质量管理体系的优化与创新工具的使用,如六西格玛管理方法,提升其质量管控能力与问题解决水平。同时,设立技能考核制度,将考核结果与薪酬、晋升挂钩,激励人员不断提升自身专业素养,为工程质量提供人力保障。

3.5 数据共享与协同平台搭建

水利工程建设涉及多个参与方,数据共享不畅易导致信息孤岛,影响工程质量管控。搭建统一的数据共享与协同平台可有效解决这一问题。设计单位将工程设计图纸与相关

技术参数上传至平台,施工单位能实时获取并依据其进行施工规划与执行,同时反馈施工过程中的实际情况与问题。监理单位在平台上实时记录工程质量监督情况,检测单位上传质量检测数据。各方基于同一平台协同工作,实现信息及时互通与高效协同。例如,在施工过程中发现设计图纸存在疑问,施工单位可立即通过平台与设计单位沟通,及时解决问题,避免因信息延误导致的质量风险,提升整体工程建设质量与效率。

4 结论与展望

在水利工程建设过程中,由于各种不确定因素的影响,如人员变动、技术更新、外部环境变化等,工程质量系统的无序程度(熵值)会逐渐增加,导致质量管理效能衰减。通过对质量熵变的分析,可以更好地理解质量管理过程中的动态变化,为制定针对性的管理策略提供理论依据。为进一步提升水利工程质量管理水平,建议制定《智慧水利工程质量标准》,明确智慧化技术在水利工程建设中的应用规范与质量要求,推动行业标准化发展。同时,建立国家级水利工程质量大数据中心,整合全国水利工程建设质量数据,通过大数据分析挖掘潜在的质量问题与管理规律,为工程决策、质量监管提供数据支持,促进水利工程建设质量管理的智能化、科学化发展。

参考文献:

- [1] 董爱洁.水利工程建设施工过程中的质量管理措施[J].城市建设理论研究(电子版),2025(6):217-219.
- [2] 任雪会.数字孪生背景下水利工程档案管理的实践研究[J].办公室业务,2025(4):71-73.
- [3] 谢志龙.水利建设工程项目质量安全监督模型的构建研究[J].水上安全,202,(3):194-196.
- [4] 白勇强.新时期水利建设工程项目质量监督管理分析[J].工程建设与设计,2025(2):249-251.
- [5] 廖长茂.水利工程建设施工过程中的质量管理措施[J].城市建设理论研究(电子版),2024(35):214-216.

作者简介:肖龙梅(1978-),女,中国四川广安人,本科,副高级工程师,从事水利工程和质量管理研究。