

水利工程施工技术创新与实践

冯 磊

内蒙古绰勒水利水电有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘要：水利工程作为国家基础设施建设的核心领域，其施工技术的创新与实践对行业发展至关重要。本文围绕水利工程施工技术创新展开研究，首先分析技术创新在提高工程效率、降低成本、提升质量及应对水资源管理挑战等方面的重要性；其次探讨复杂地质条件、设备利用率、信息化管理、人员技术水平及环境保护等现实挑战；最后从材料、工艺、设备、管理四个维度，阐述新型混凝土材料、预应力技术、无人机巡检、BIM技术等创新实践案例，旨在为水利工程施工技术的现代化升级提供理论参考与实践路径，推动行业向高效化、智能化、绿色化方向发展。

关键词：水利工程；施工技术；创新与实践

引言：水利工程是保障水资源合理利用、防洪抗旱及改善生态环境的关键手段，其施工技术水平直接影响工程效益与可持续性。随着全球气候变化加剧、水资源供需矛盾突出及社会对基础设施品质要求的提升，传统施工技术在效率、成本、环保等方面的局限性日益显现，创新成为行业突破发展瓶颈的必然选择。本文结合水利工程建设实际需求，系统梳理技术创新的核心价值，深入剖析地质条件复杂、管理信息化滞后等现实困境，并通过材料革新、工艺优化、设备升级及管理模式创新等具体实践案例，探讨新时代水利工程施工技术的发展方向，以期为行业技术迭代与高质量建设提供有益借鉴。

1 水利工程施工技术创新的重要性

1.1 提高工程效率

传统水利工程施工受人力、地形和天气限制，进度缓慢。创新技术的应用显著改善这一局面。自动化施工机械可实现24小时不间断作业，如智能混凝土浇筑设备能精准控制浇筑速度和厚度，大幅提升施工效率；无人机与卫星遥感技术辅助测量，能快速获取地形数据，优化施工方案，减少因人为测量误差导致的工期延误。这些技术突破有效缩短施工周期，保障工程按时交付。

1.2 降低成本

施工成本是水利工程建设的关键考量因素。技术创新从多方面实现成本优化：新型材料研发降低原材料费用，例如工业废渣制备的混凝土既环保又经济；自动化与智能化设备减少人工依赖，降低人力成本；BIM技术通过施工模拟提前发现设计缺陷，避免后期返工带来的额外支出。这些创新举措有效控制工程成本，提升项目经济效益。

1.3 提升工程质量

水利工程质量关乎国计民生，技术创新为质量提升提供有力保障。新型材料如纤维增强混凝土、纳米混凝土，显著增强结构的抗裂性和耐久性；预应力技术提高构件承载能力，减少裂缝隐患；自动化监测设备实时采集施工数据，精准把控施工质量，避免人为因素导致的质量缺陷。通过技术创新，水利工程的安全性和使用寿命得到有效提升。

1.4 应对水资源管理挑战

在水资源短缺与生态保护需求日益迫切的背景下，技术创新成为水利工程可持续发展的关键。生态友好型材料应用减少施工对环境的破坏；智能化监测系统实时掌握水资源动态，实现科学调度；新型防渗技术降低水库渗漏损失，精准灌溉技术提高水资源利用效率。这些创新技术助力水利工程更好地适应气候变化，实现水资源的合理开发与保护^[1]。

2 水利工程施工技术创新面临的挑战

2.1 复杂地质条件应对难题

水利工程多建于江河、山区等复杂地形区域，地质条件差异大且不确定性高。部分工程选址处存在断层、溶洞、软土地基等不良地质，传统施工技术难以满足处理需求，如在喀斯特地貌区修建水库，溶洞的隐蔽性和复杂性易导致地基失稳，增加渗漏风险。同时，地质勘察精度不足，现有勘探技术难以全面揭示地下复杂结构，施工过程中常出现与勘察报告不符的情况，被迫临时调整方案，不仅延误工期，还可能因技术准备不足引发安全隐患，给水利工程施工技术创新带来巨大挑战。

2.2 机械设备利用率不高

水利工程施工设备种类繁多，从挖掘机械到混凝土浇筑设备，设备购置与维护成本高昂。但在实际施工中，机械设备利用率普遍较低。一方面，工程建设存在

阶段性、间歇性特点，部分设备仅在特定施工环节使用，长期闲置造成资源浪费；另一方面，设备选型与工程需求匹配度低，部分企业盲目追求高端设备，却因操作复杂、维护困难或与工程实际工况不符，导致设备难以充分发挥效能。

2.3 施工现场管理缺乏信息化支撑

当前，多数水利工程施工现场仍依赖传统管理模式，信息化水平滞后。施工进度监控、物资调配、质量安全管理等环节主要依靠人工记录与经验判断，信息传递效率低且易出现误差，难以实现对施工过程的动态跟踪与精准管控。施工现场数据分散在不同部门与人员手中，缺乏统一的数据整合与分析平台，无法为决策提供及时、全面的信息支持。

2.4 施工人员技术水平参差不齐

水利工程施工技术创新需要高素质的人才队伍支撑，但目前行业内施工人员技术水平差异显著。部分一线施工人员多为农民工，缺乏系统的专业培训，对新技术、新工艺的理解与操作能力有限，难以适应自动化、智能化设备的使用要求。此外，施工企业对人才培养重视不足，技术培训流于形式，缺乏针对创新技术的专项培训与实践指导。而具备创新能力的技术骨干与管理人才相对匮乏，人才梯队建设不完善，导致新技术在推广应用过程中面临执行难、效率低等问题，阻碍了水利工程施工技术创新的落地实施。

2.5 环境保护压力大

水利工程建设对生态环境影响广泛，在绿色发展理念下，施工过程面临严格的环保要求。然而，传统施工技术在环保方面存在诸多短板，如土石方开挖、混凝土搅拌等环节易产生扬尘、噪声与废水污染；施工废弃物处理不当，可能导致土壤与水体污染。同时，工程建设对周边生态系统的扰动难以避免，如大坝修建改变河流生态，影响鱼类洄游与生物多样性。此外，环保法规与标准日益严格，施工企业需投入更多成本用于环保设施建设与生态修复，但部分企业环保意识薄弱、技术储备不足，难以满足环保要求，在施工技术创新中面临巨大的环保压力^[2]。

3 水利工程施工技术创新的具体实践

3.1 材料创新

3.1.1 新型混凝土材料

新型混凝土材料通过改良原材料配方与制备工艺，显著提升了性能。纤维增强混凝土在普通混凝土中加入碳纤维、合成纤维等，有效增强韧性，减少裂缝产生，常用于水工结构抗冲击部位；自密实混凝土流动性高、

无需振捣，能在复杂结构中实现均匀浇筑，降低施工难度；纳米混凝土则利用纳米颗粒优化微观结构，提升强度与耐久性，延长水工建筑物使用寿命。这些材料在大坝、水闸等工程中的应用，切实解决了传统混凝土易开裂、抗渗性差等问题。

3.1.2 生态友好型材料

生态友好型材料在保障工程功能的同时，注重与自然环境的和谐共生。植生混凝土孔隙结构利于植物根系生长，将其用于护坡工程，既能稳固边坡，又能恢复植被，减少水土流失；透水混凝土可使雨水渗透至地下，补充地下水，缓解城市水利工程中的内涝问题；微生物诱导碳酸钙沉淀材料，利用微生物代谢产物加固土体，减少化学药剂使用，降低对土壤和水体的污染，为水利工程生态化建设提供了新选择。

3.2 工艺创新

3.2.1 预应力技术

预应力技术通过预先对构件施加应力，有效提升水利工程结构的承载能力与抗裂性能。在水坝、渡槽等大型水工结构中，采用后张法或先张法对混凝土构件施加预应力，可抵消使用过程中产生的拉应力，避免裂缝出现，延长结构使用寿命。例如，在大跨度输水渡槽施工中，预应力技术能够增强槽身结构强度，减少变形，保障输水安全。该技术还能优化结构尺寸，降低材料用量，实现工程的经济性与可靠性双赢。

3.2.2 喷射混凝土技术

喷射混凝土技术利用高压喷射设备，将混凝土高速喷射至受喷面，快速形成密实结构。在水利工程的边坡支护、地下洞室衬砌施工中，该技术具有显著优势。其施工速度快，可及时封闭岩面，防止岩石风化、坍塌；能与岩面紧密贴合，有效传递应力，增强围岩稳定性。同时，喷射混凝土无需模板，可适应复杂的地形与结构形状，减少施工工序，降低成本，尤其适用于应急抢险和加固工程，为水利工程施工提供了高效、灵活的工艺选择。

3.2.3 自动化与智能化施工工艺

自动化与智能化施工工艺借助传感器、机器人、大数据等技术，推动水利工程施工向精准化、高效化发展。自动化混凝土浇筑系统通过实时监测温度、厚度等参数，实现浇筑过程的精确控制；智能摊铺设备可自动调整摊铺速度与厚度，提升施工平整度与效率。此外，无人机巡检与三维激光扫描技术，能够快速获取施工现场数据，辅助施工决策与质量检测。这些技术减少了人工干预，降低劳动强度，提升施工质量与安全水平，是

水利工程施工工艺创新的重要方向。

3.3 设备创新

3.3.1 无人机巡检设备

在水利工程中,无人机巡检设备凭借灵活机动、视野广阔的特点,有效解决了传统人工巡检的局限性。面对地形复杂的大坝、渠道等工程,无人机搭载高清摄像头与传感器,可快速完成大面积巡查,实时获取结构表面裂缝、渗漏点等隐患图像及数据。其夜间热成像巡检功能,能检测隐蔽的温度异常区域,辅助判断内部缺陷。此外,无人机还可用于施工进度监测,通过航拍建模生成三维实景,为工程管理提供直观、准确的信息支持,极大提升巡检效率与安全性。

3.3.2 自动化施工机械

自动化施工机械通过集成智能控制系统,实现水利工程施工的精准高效作业。自动化挖掘机、推土机等设备,可依据预设参数自动调整挖掘深度、推土角度,减少人工操作误差;自动化混凝土搅拌车能根据配比要求精确计量原料,保证混凝土质量稳定。在河道疏浚、堤岸修筑等工程中,自动化机械可24小时连续作业,不受恶劣天气和高强度劳动影响,显著提升施工效率,降低人力成本,同时减少因疲劳操作引发的安全事故,推动水利工程施工向智能化、无人化方向发展。

3.3.3 机器人技术

机器人技术为水利工程施工带来突破性变革。水下作业机器人可深入水库、河道等复杂水域,执行管道检测、大坝基础探查等高风险任务,避免人工潜水的安全隐患;混凝土喷涂机器人通过精准控制喷射角度与厚度,在隧道衬砌、边坡防护施工中提高喷涂质量与均匀性。此外,巡检机器人搭载多种传感器,可在大坝、电站等区域自动巡逻,实时监测设备运行状态、环境参数,发现异常及时预警,以其高精度、高可靠性的特点,填补了人工操作在复杂环境下的技术空白。

3.4 管理创新

3.4.1 BIM技术应用

BIM技术通过构建三维信息模型,实现水利工程全生命周期的数字化管理。在设计阶段,BIM技术可整合多专业数据,进行碰撞检测,提前发现设计冲突并优化方案;施工阶段,通过模拟施工流程,合理规划资源调配与施工顺序,避免因工序不当导致的工期延误。此外,BIM模型还能关联施工进度、成本、质量等信息,为管理者提供可视化决策依据,实现精细化管理。在复杂水工

结构建设中,BIM技术的应用显著提升了工程协同效率与管理水平。

3.4.2 施工现场信息化管理平台

施工现场信息化管理平台通过物联网、大数据等技术,实现施工过程的实时监控与动态管理。该平台可整合人员考勤、设备运行、物资消耗等数据,管理者通过移动端或电脑端即可远程掌握现场情况,及时发现并解决问题。同时,平台具备智能预警功能,针对施工进度滞后、设备异常等风险自动报警,辅助管理者快速决策。此外,信息化管理平台打破部门间信息壁垒,促进数据共享,提高施工组织协调效率,推动水利工程施工现场管理向智能化迈进。

3.4.3 全过程质量控制与安全管理创新

全过程质量控制与安全管理创新通过建立标准化、系统化的管理体系,保障水利工程施工质量与安全。在质量控制方面,利用智能检测设备与数据采集技术,对原材料、施工工艺等关键环节进行实时监测,确保质量符合标准;在安全管理方面,引入VR安全培训、智能安全帽等技术,提升人员安全意识与风险应对能力。同时,通过建立质量安全追溯系统,实现问题可查、责任可究,形成从施工准备到竣工验收的闭环管理,有效降低质量安全事故发生概率,为水利工程建设保驾护航^[1]。

结束语

水利工程施工技术创新是行业发展的核心动力,直接关系到工程质量、效益与可持续性。面对复杂地质条件、环保要求提升等挑战,材料革新、工艺优化、设备升级与管理创新的协同实践,为行业发展注入新活力。从新型混凝土材料的应用到BIM技术的数字化管理,每项创新都在突破传统局限,推动水利工程向高效、智能、绿色方向迈进。未来,随着科技持续进步,水利工程施工技术需进一步深化创新,加强产学研合作,攻克技术难题,实现工程建设与生态保护的和谐统一,为保障国家水资源安全、推动经济社会高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]陈晓光,李建平,赵志强,等.水利工程施工技术创新与工程实践研究[J].水利与建筑工程学报,2020,20(3):412-418.
- [2]王志勇,张华,刘勇,等.水利工程施工技术创新与应用案例分析[J].水利水电科技进展,2021,39(6):151-156.
- [3]郭伟,赵磊,陈小明,等.水利工程施工技术创新与发展趋势研究[J].水利学报,2018,49(2):259-265.