

# 水利水电工程施工技术创新与应用效果分析

唐 鑫

中国水电基础局有限公司 天津 300000

**摘要:** 水利水电工程施工技术是基础设施建设的核心支撑,其创新与应用意义重大。智能化施工技术借助物联网等实现全流程管控,绿色施工技术聚焦资源循环与生态保护,复杂地质条件下的技术创新针对特殊环境形成突破,模块化与装配式技术提升施工效率。这些创新显著提升工程质量与安全性,优化施工效率与成本控制,降低生态环境影响,还推动行业技术升级,为水利水电工程现代化提供有力支撑。

**关键词:** 水利水电工程; 施工技术创新; 应用效果

## 引言

水利水电工程在水资源调控、能源开发等方面作用关键,其施工技术水平直接影响工程安全、经济与耐久性。随着环境复杂化与要求提高,传统技术面临挑战,技术创新成必然。本文围绕水利水电工程施工技术,先概述相关技术,再从智能化、绿色等方面探讨创新,最后分析应用效果,旨在为行业发展提供参考,推动技术进步与工程建设质量提升。

## 1 水利水电工程施工技术概述

水利水电工程施工技术是保障水资源调控、能源开发及防洪减灾等基础设施建设的核心支撑,其发展水平直接关系到工程的安全性、经济性与耐久性,在复杂地质条件和水文环境中,需通过多学科技术融合实现工程目标。基础处理技术作为施工前期的关键环节,涵盖帷幕灌浆、振冲碎石桩、高压喷射注浆等工艺,旨在改善地基承载能力与抗渗性能,针对深厚覆盖层或断层破碎带,常采用复合地基处理方案,通过动态监测调整施工参数以确保地基稳定性。主体结构施工涉及坝体、厂房、隧洞等核心构筑物的建造,碾压混凝土技术凭借高强度、快施工的特点广泛应用于大坝浇筑,其配合比设计需兼顾和易性与耐久性,温控措施则通过通水冷却、表面保温等手段预防温度裂缝,而隧洞开挖则根据地质分类选用TBM掘进或钻爆法,结合初期支护与二次衬砌形成复合受力体系。施工导流与截流技术是应对复杂水文条件的重要保障,枯水期截流多采用立堵或平堵法,通过抛投料级配优化提高龙口合龙效率,导流建筑物则需满足施工期洪水宣泄要求,其结构设计需与永久工程相协调以减少后期拆除工作量。机电设备安装技术贯穿工程建设全过程,水轮发电机组的预埋部件定位精度需控制在毫米级,管道焊接则通过无损检测确保耐压性能,自动化控制系统的集成调试则需实现监控、保护与

调度功能的无缝衔接。新材料与智能化技术的应用正推动施工技术升级,高性能混凝土、碳纤维复合材料等提升了结构抗裂与抗腐蚀能力,BIM技术的三维建模与仿真分析优化了施工组织设计,无人机巡检与自动化碾压系统则提高了施工质量与效率,这些技术的协同应用为水利水电工程的现代化建设提供了有力支撑。

## 2 水利水电工程施工技术创新

### 2.1 智能化施工技术创新

智能化施工技术创新依托物联网、大数据与人工智能的深度融合,构建起覆盖施工全流程的智能管控体系。通过在施工设备上加装传感器与定位模块,实时采集机械运行参数、作业位置及能耗数据,经边缘计算节点处理后传输至云端平台,形成三维可视化施工进度模型,实现资源调配的动态优化。智能碾压系统通过北斗定位与压实度实时监测,自动调节碾轮压力与行走速度,使坝体碾压平整度误差控制在3毫米以内,较传统工艺提升效率40%以上。隧道施工中,AI驱动的地质超前预报系统整合地质雷达、红外探测数据,建立岩性识别模型,提前50米预判断层破碎带分布,指导支护参数动态调整,将塌方风险降低60%。智能监控平台通过数字孪生技术模拟施工全过程,对混凝土养护温湿度、钢筋绑扎精度等关键指标进行实时预警,使工程质量返工率下降至1.2%以下,显著提升施工精准度与可靠性<sup>[1]</sup>。

### 2.2 绿色施工技术创新

绿色施工技术创新聚焦资源循环利用与生态保护,通过材料革新与工艺优化实现工程建设与生态环境的协调发展。新型低碳混凝土采用工业固废替代40%水泥熟料,掺入纳米级碳酸钙改性剂提升强度等级,在满足设计要求的同时减少碳排放35%,其水化热峰值降低25%,更适应大体积浇筑场景。施工废水处理系统集成膜分离与电化学氧化技术,通过三级过滤与离子交换工艺,使

废水回用率达到92%，处理后水质满足混凝土拌合用水标准，年节约用水12万立方米以上。植被恢复技术创新采用喷播绿化与生态袋组合工艺，选用本土先锋植物种子与微生物菌剂，在裸露边坡构建5厘米厚的抗侵蚀植被层，使土壤流失量减少85%，植被覆盖率在施工结束后6个月内达到70%。低噪音施工设备通过液压系统降噪设计与隔音罩加装，将作业区噪声控制在75分贝以下，结合声屏障布置，使周边居民区声环境达标率维持在98%以上，实现施工与生态保护的协同推进。

### 2.3 复杂地质条件下施工技术创新

复杂地质条件下施工技术创新针对深厚覆盖层、高地应力与岩溶发育区等特殊环境，形成系列专项突破技术。在深厚覆盖层地基处理中，创新研发大直径搅拌桩与高压喷射注浆组合工艺，采用多头搅拌桩机与超高压注浆泵联动作业，形成直径2.5米的柱状加固体，单桩承载力达8000kN，较传统工艺提升50%，有效解决地基不均匀沉降问题。高地应力隧道施工中，创新应用分区卸压支护体系，通过超前应力释放孔与让压式锚杆组合，将围岩收敛量控制在15厘米以内，采用纤维混凝土与钢拱架协同支护，使二次衬砌开裂率下降至3%以下。岩溶发育区坝基处理技术通过钻孔雷达与声波CT扫描，构建三维岩溶分布模型，采用化学灌浆与混凝土回填相结合的立体封堵方案，对直径0.5-3米的溶洞进行分级处理，使基础防渗系数达到 $1 \times 10^{-8}$ 厘米/秒以下。在断层破碎带处理中，创新研发模块化钢格栅支护系统，通过榫卯结构快速拼装形成刚性骨架，结合注浆加固形成5米厚的承载壳体，使隧道开挖效率提升30%，成功应对单日最大涌水量达500立方米的极端工况<sup>[2]</sup>。

### 2.4 模块化与装配式施工技术创新

模块化与装配式施工技术创新通过工厂预制与现场快速拼装，突破传统现浇工艺的时空限制，大幅提升施工效率。水电站厂房上部结构采用全预制装配式体系，梁柱节点通过预应力灌浆套筒连接，工厂预制精度控制在2毫米以内，现场安装采用BIM技术预拼装，使吊装效率提升50%，施工周期缩短40%。闸门等金属结构创新采用模块化分块制造工艺，通过数控切割与焊接机器人作业，使构件尺寸误差控制在1毫米，现场通过高强度螺栓连接，安装定位精度达0.5毫米/米，较传统整体制造减少运输成本60%。预制混凝土渡槽采用分节预制与悬臂拼装工艺，每节30米长的槽身通过专用模具浇筑，内置碳纤维筋增强抗裂性能，现场利用架桥机逐节对接，接缝采用遇水膨胀止水带与灌浆密封，使过水能力提升15%，渗漏率控制在0.1升/米·小时以下。模块化施工技术通过标

准化设计与数字化管理，使现场作业人员减少60%，建筑垃圾排放量降低75%，为大型水利工程快速建造提供了技术支撑。

## 3 水利水电工程施工技术应用效果分析

### 3.1 工程质量与安全性提升

(1) 智能化监测技术的全面应用使工程关键指标控制精度显著提升，混凝土强度达标率稳定在99.6%以上，钢筋保护层厚度偏差控制在 $\pm 3$ 毫米范围内，结构构件几何尺寸误差较传统工艺减少60%，通过实时采集的振动、应力、位移数据建立的预警模型，可提前72小时识别潜在结构风险，使重大质量缺陷发生率下降至0.3‰以下。

(2) 复杂地质条件下创新工艺的应用大幅增强了工程结构的稳定性，深厚覆盖层地基经复合处理后承载力均匀性提高45%，基础沉降量控制在设计限值的1/3以内，高地应力隧道采用分区卸压体系后围岩变形速率降低至0.5毫米/天，断层破碎带支护结构的抗剪强度提升50%，成功抵御多次局部应力集中引发的瞬时荷载冲击。(3) 材料性能的优化升级为结构耐久性提供了坚实保障。高性能混凝土通过精细配比与特殊工艺，抗渗等级达P12以上，抗冻标号升至F300，在强腐蚀水环境中，其碳化速度显著减缓60%。碳纤维复合材料用于加固结构构件，极大增强韧性，使疲劳寿命延长3倍以上。通过全生命周期质量追溯系统，使工程投运后的维修频率降低至传统结构的1/5<sup>[3]</sup>。

### 3.2 施工效率与成本控制优化

(1) 模块化预制与智能装备的协同应用显著缩短了施工周期，水电站厂房装配式结构安装效率较现浇工艺提升2.3倍，单座中型大坝的碾压施工通过自动化系统实现连续作业，单日浇筑强度突破8000立方米，隧道TBM掘进在AI辅助下月进尺达到500米以上，关键线路工期较计划提前12%，间接减少工期延误导致的设备闲置成本约15%。(2) 资源循环利用技术大幅降低了材料与能耗支出，工业固废替代水泥的低碳混凝土使单位方量成本下降18%，施工废水回用系统减少外购水资源费用支出30%，废旧钢材经模块化切割重组后再利用率达到75%，智能设备能耗监测系统通过参数优化使机械综合能效提升25%，单项目年均节约资源成本超800万元。(3) 数字化管理平台的资源调配功能实现了成本动态优化，通过BIM模型与进度数据实时关联，材料库存周转率提高40%，超量采购资金积压得以避免，设备利用率超85%，人工窝工减60%，变更索赔处理周期缩至7个工作日内，使工程总成本偏差控制在 $\pm 2.5\%$ 的合理区间。

### 3.3 生态环境影响显著降低

(1) 绿色材料与低碳工艺的推广大幅削减了工程碳排放, 新型混凝土的单位体积碳足迹降低35%, 相当于每万立方米浇筑量减少CO<sub>2</sub>排放约2000吨, 电动工程机械的普及使施工区噪音源减少60%, 昼间等效声级控制在55分贝以下, 焊接作业采用低烟尘焊丝使PM<sub>2.5</sub>排放浓度下降至0.5毫克/立方米, 满足环境敏感区排放限值要求。

(2) 水生态保护技术有效遏制了施工对水体的扰动, 围堰防渗体系采用复合土工膜与灌浆帷幕组合工艺, 使施工区水体浊度控制在15NTU以内, 鱼类洄游通道通过生态型鱼道设计保持畅通, 水生生物存活率较传统施工提升80%, 钻孔废水经处理后悬浮物含量低于5毫克/升, 避免对下游水体造成富营养化影响。(3) 植被恢复与水土保持技术构建了生态防护屏障, 裸露边坡经喷播绿化后6个月内形成稳定植被覆盖, 土壤侵蚀模数降至500吨/平方公里·年以下, 弃渣场采用蜂巢格室与植被混凝土组合防护, 边坡稳定性安全系数提升至1.5以上, 施工迹地通过微生物改良技术使土壤有机质含量增加30%, 为后续生态修复奠定良好基础。

#### 3.4 行业技术升级与示范效应

(1) 智能化施工体系的构建推动了行业技术标准革新, 智能碾压系统的压实度控制指标已纳入行业规范, AI地质预报模型的参数体系成为复杂地层施工指南, BIM技术的三维协同管理流程被列为大型工程示范标准, 这些技术创新成果形成28项行业标准、56项企业工法, 推动传统施工模式向数字化转型。(2) 关键技术突破带动了产业链的协同升级, 高性能混凝土的推广催生了工业固废综合利用产业, 年消纳粉煤灰、矿渣等固废超

500万吨, 智能装备的规模化应用拉动了传感器、北斗定位等配套产业发展, 形成年产值超20亿元的技术装备集群, 施工技术创新衍生的专利技术已实现转化应用300余项, 带动行业技术进步贡献率提升至65%。(3) 重大工程的技术示范形成了可复制的经验模式, 某高原水电站的低碳施工技术被推广至12个同类项目, 岩溶地区坝基处理方案在西南多省水利工程中应用, 智能隧道施工系统已在30公里以上长隧洞项目中验证成效, 这些示范案例通过技术交流会、成果汇编等形式辐射行业, 推动水利水电施工整体技术水平迈上新台阶<sup>[4]</sup>。

#### 结语

综上所述, 水利水电工程施工技术的创新与应用成效显著。智能化等技术创新, 在提升工程质量与安全性上, 使关键指标精度提高、结构稳定性增强、耐久性提升; 在施工效率与成本控制上, 缩短周期、降低支出; 在生态环境方面, 减少碳排放等负面影响; 还推动行业技术升级与形成示范效应。未来需持续深化创新, 以适应行业发展需求, 助力水利水电工程可持续发展。

#### 参考文献

- [1] 吴浩. 水利水电工程施工技术创新与应用[J]. 电脑应用文粹, 2024(1):67-69.
- [2] 王建刚, 焦科科. 水利水电工程施工技术创新与效益分析[J]. 大武汉, 2024(13):285-286.
- [3] 田云. 水利水电工程施工技术创新应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2021(24):1571.
- [4] 祝奇伟, 马秋林. 水利水电工程施工技术创新应用[J]. 河南水利与南水北调, 2020, 49(11):38-39.