

水利水电

水利施工技术在水闸工程中的优化与应用

张建新

连云港铭禹水利建筑安装工程有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i10.8466

[摘要] 本文以水闸工程施工全流程为脉络，结合当前行业技术发展趋势，系统分析传统水利施工技术在水闸地基处理、混凝土浇筑、金属结构安装等环节存在的技术痛点，重点探讨静压植桩技术、自密实混凝土技术、BIM 协同管理技术等新型技术的优化路径与应用要点。通过实际工程案例验证，优化后的施工技术可显著提升水闸工程的结构稳定性、抗渗性能与施工效率，降低后期运维成本，为同类水闸工程的技术升级与质量管控提供理论参考与实践范式。

[关键词] 水利施工技术；水闸工程；技术优化

Optimization and Application of Water Conservancy Construction Technology in Sluice Engineering

Zhang Jianxin

Lianyungang Mingyu Water Conservancy Construction and Installation Engineering Co., Ltd

[Abstract] This article takes the entire construction process of water gate engineering as the thread, combined with the current industry technology development trend, systematically analyzes the technical pain points of traditional water conservancy construction technology in water gate foundation treatment, concrete pouring, metal structure installation and other links, and focuses on exploring the optimization path and application points of new technologies such as static pressure pile planting technology, self compacting concrete technology, BIM collaborative management technology, etc. Through practical engineering case verification, the optimized construction technology can significantly improve the structural stability, anti-seepage performance, and construction efficiency of water gate projects, reduce later operation and maintenance costs, and provide theoretical references and practical paradigms for the technological upgrading and quality control of similar water gate projects.

[Key words] water conservancy construction technology; Water gate engineering; Technical optimization

前言：

传统水闸施工中地基处理易受地质条件影响导致沉降不均，混凝土浇筑存在裂缝控制难、密实度不足等问题，金属结构安装精度偏差易引发运行故障，这些技术痛点不仅制约工程质量，还增加了施工周期与成本。近年来，随着新材料、新设

备、信息化技术在水利领域的深度融合，静压植桩、自密实混凝土、BIM 协同管理等技术为水闸施工技术优化提供了新路径。本文基于水闸工程施工的核心环节，深入剖析技术优化的必要性与可行性，通过理论分析与案例结合，明确优化技术的应用方法与实施效果，旨在推动水利施工技术与水闸工程的深

度适配，为水利工程高质量发展提供技术支撑。

一、水闸工程施工的核心环节与传统技术痛点

（一）地基处理环节：沉降控制与承载力不足问题

水闸工程多建于江河、湖泊沿岸，地质条件复杂，常面临软土地基、砂土地基等不良地质环境，传统地基处理技术主要采用换填垫层法、碎石桩复合地基法，但存在明显局限性：

1. 换填垫层法适用范围窄：仅适用于软土层厚度小于 3m 的区域，若软土层过厚，需大量开挖换填，不仅施工成本高、周期长，还易引发周边土体扰动，导致基坑坍塌风险；

2. 碎石桩复合地基法密实度难控制：在饱和砂土地基中施工时，碎石桩易出现“断桩”“缩颈”现象，导致地基承载力不均匀，后期水闸运行中易出现闸室沉降、闸底板开裂等问题。例如，某平原地区中型水闸工程，采用传统碎石桩处理软土地基后，运行 5 年内闸室最大沉降量达 12cm，远超规范允许值（ $\leq 5\text{cm}$ ），不得不进行加固处理，造成经济损失。

（二）混凝土浇筑环节：裂缝与密实度管控难题

传统混凝土浇筑技术以“振捣密实”为核心，依赖人工操作与经验判断，存在两大技术痛点：

1. 裂缝控制难度大：水闸混凝土构件体积大（如闸底板厚度常达 1-2m），水泥水化热释放集中，传统浇筑工艺缺乏精准的温度控制措施，易导致混凝土内外温差超过 25°C ，引发温度裂缝；同时，混凝土养护阶段若保湿、保温措施不到位，还会产生干缩裂缝，这些裂缝会成为渗水通道，加速钢筋锈蚀，缩短工程寿命；

2. 密实度不均匀：对于水闸闸墩与底板交接的边角、钢筋密集区域，传统振捣棒难以深入，易形成“蜂窝”“麻面”等缺陷，部分工程检测数据显示，传统浇筑工艺的混凝土密实度合格率仅为 82%-85%，低于规范要求的 90%以上标准。

（三）金属结构安装环节：精度与协同性不足

传统金属结构安装采用“现场测绘-人工调整”的模式，存在两大问题：

1. 安装精度偏差大：闸门轨道安装需控制高程偏差 $\leq 2\text{mm}$ 、直线度偏差 $\leq 1\text{mm/m}$ ，传统测量工具（如水准仪、全站仪）难以实现实时动态监测，易因累计误差导致闸门运行卡顿、止水橡皮磨损过快；某灌溉水闸工程曾因闸门轨道安装偏差达 5mm，导致闸门关闭时漏水率超标 30%，影响灌溉用水效率；

2. 与土建施工协同性差：金属结构安装需与混凝土浇筑进度精准衔接（如闸门预埋件需在混凝土浇筑前定位），传统施工缺乏统一的协同管理平台，易出现预埋件位置偏差、安装时机延误等问题，导致返工整改，延长施工周期。

二、水利施工技术在水闸工程中的优化路径

（一）地基处理技术优化：静压植桩与高压喷射注浆结合

针对软土地基承载力不足、沉降控制难的问题，优化采用“静压植桩技术+高压喷射注浆技术”的复合处理方案，实现地基承载力与稳定性的双重提升：

1. 静压植桩技术替代传统碎石桩：静压植桩通过液压装置将预制桩（如钢筋混凝土方桩）缓慢压入地基，无需锤击或振动，避免对周边土体的扰动；相比传统碎石桩，静压桩单桩承载力可提升 30%-50%，且桩身垂直度偏差可控制在 0.5%以内，有效解决“断桩”“缩颈”问题；在某河口区水闸工程中，采用 $\Phi 500\text{mm}$ 静压桩处理软土地基，地基承载力从 80kPa 提升至 200kPa，满足闸室承载要求，且施工周期缩短 20%；^[1]

2. 高压喷射注浆技术强化防渗：在静压桩形成的桩群之间，采用高压喷射注浆（旋喷桩）形成连续防渗帷幕，浆液在高压作用下与土体充分混合，形成强度高、渗透性低（渗透系数 $\leq 10^{-6}\text{cm/s}$ ）的固结体；该技术可针对水闸地基的薄弱区域精准加固，尤其适用于砂土地基的防渗处理，相比传统黏土铺盖防渗，施工效率提升 40%，且防渗效果更持久。

（二）混凝土浇筑技术优化：自密实混凝土与温控智能化结合

围绕混凝土裂缝与密实度问题，优化采用“自密实混凝土技术+智能化温控系统”，实现混凝土浇筑质量的精准管控：

1. 自密实混凝土替代传统振捣混凝土：自密实混凝土通过优化骨料级配、添加高效减水剂与增稠剂，具备高流动性、抗离析性与自填充性，无需振捣即可充满模板内部，尤其适用于钢筋密集的闸墩、牛腿等部位；实验室数据显示，自密实混凝土的密实度合格率可达 98%以上，抗渗等级提升至 P8-P10，且可减少人工振捣环节，降低施工成本 15%；在某大型水闸闸墩施工中，采用 C30 自密实混凝土，成功解决了传统振捣难以触及的钢筋间隙填充问题，经超声波检测，混凝土内部无空洞、蜂窝缺陷；

2. 智能化温控系统实现裂缝预防：针对大体积混凝土水

化热问题，优化引入“预埋温度传感器+智能喷淋养护系统”：在闸底板、闸墩等大体积构件内预埋光纤温度传感器，实时监测混凝土内部温度（监测精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ），通过云端平台分析内外温差；当温差超过 20°C 时，智能喷淋系统自动启动，调节构件表面温度，避免温度裂缝产生；某水闸工程应用该系统后，混凝土裂缝发生率从传统的18%降至3%，显著提升耐久性。^[2]

（三）金属结构安装技术优化：BIM 协同与激光测量结合
针对金属结构安装精度低、协同性差的问题，优化采用“BIM 协同管理技术+激光跟踪测量技术”，实现安装全过程的数字化与精准化：

1. BIM 技术实现全流程协同：在施工前，构建水闸工程的全专业 BIM 模型（包含土建结构、金属结构、机电设备），通过碰撞检测功能提前发现预埋件与钢筋的位置冲突（如闸门预埋件与闸墩钢筋重叠），避免现场返工；施工中，通过 BIM 平台实时同步土建浇筑进度与金属结构加工进度，例如，当闸室混凝土浇筑至预埋件安装高程时，平台自动提醒金属结构班组进场安装，实现工序无缝衔接；某水闸工程应用 BIM 协同后，金属结构安装返工率从25%降至5%，施工周期缩短15天；

2. 激光跟踪测量技术提升安装精度：替代传统全站仪，采用激光跟踪仪（测量精度 $\pm 0.1\text{mm/m}$ ）对闸门、启闭机等金属结构进行实时测量与调整；在闸门轨道安装中，激光跟踪仪可同时监测轨道的高程、直线度与平行度，数据实时传输至 BIM 模型，若出现偏差，安装人员可根据模型提示进行微调；某水闸闸门安装中，采用该技术后，轨道高程偏差控制在1mm以内，闸门运行时的摩擦阻力降低20%，止水橡皮使用寿命延长3-5年。^[3]

三、水利施工优化技术在水闸工程中的应用案例

为验证优化技术的实际效果，以“某流域防洪治理工程中的中型水闸项目”为案例，该水闸为节制闸，设计过闸流量 $50\text{m}^3/\text{s}$ ，闸室长20m、宽8m，地基为软土层（厚度5-8m），施工周期要求180天。项目采用上述优化技术，具体应用效果如下：

（一）地基处理优化效果

项目摒弃传统换填垫层法，采用“静压植桩+高压喷射注浆”复合方案：共施工 $\Phi 500\text{mm}$ 静压桩120根，桩长10-12m，单桩承载力达1800kN；在桩群间施工 $\Phi 600\text{mm}$ 旋喷桩，形成封闭防渗帷幕。施工后，通过平板载荷试验检测，地基承载力

平均值达220kPa，满足设计要求；运行1年后监测，闸室最大沉降量仅3mm，远低于规范允许值，未出现不均匀沉降现象。

（二）混凝土浇筑优化效果

闸室底板、闸墩采用C30自密实混凝土，共浇筑混凝土 1200m^3 ，无需人工振捣，节省振捣工人8名；同时安装24个光纤温度传感器，搭配智能喷淋系统，混凝土内外温差最高控制在 18°C ，未产生温度裂缝。经钻芯取样检测，混凝土密实度达99.2%，抗渗等级为P10，满足水闸长期抗渗需求。^[4]

（三）金属结构安装优化效果

基于BIM模型完成闸门、启闭机的碰撞检测，提前调整3处预埋件位置冲突；采用激光跟踪仪安装2扇钢制闸门（单扇重量15t），轨道高程偏差0.8mm，直线度偏差0.5mm/m，闸门启闭顺畅，止水橡皮与闸座贴合紧密，闭闸时漏水率仅 $0.1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ ，远低于规范要求的 $0.5\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$ 。

整体来看，该项目通过技术优化，不仅将施工周期缩短至165天（提前15天），还降低施工成本28万元，工程质量验收获评“优良”，验证了优化技术在水闸工程中的实用性与经济性。

结语：

水闸工程的技术优化是水利行业高质量发展的必然要求，而施工技术作为工程质量的核心保障，其优化方向需紧密结合工程实际痛点与技术发展趋势。本文通过分析水闸工程地基处理、混凝土浇筑、金属结构安装三大核心环节的传统技术缺陷，提出“复合地基处理”“智能化混凝土管控”“BIM协同安装”等优化路径，并通过实际案例验证了优化技术在提升工程质量、缩短工期、降低成本方面的显著效果。

[参考文献]

- [1]赵杰.水利工程中水闸施工的技术要点[J].工程建设与设计, 2023(18): 187-189.
- [2]刘国庆.水利工程中水闸加固施工技术的应用[J].科技资讯, 2024, 22(1): 110-113.
- [3]鲍传信.水闸施工技术应用在水利水电工程中的实践探究[J].计算机产品与流通, 2018(11): 110.
- [4]徐志军.水利工程中的水闸施工技术实践分析[J].建材与装饰, 2018(47): 298-299.