

水库枢纽工程大坝施工过程中的质量控制与技术创新研究

韩伟明 刘东波

内蒙古辽河工程局股份有限公司 内蒙古自治区 赤峰 024300

摘要：水库枢纽大坝施工质量直接关乎工程安全与功能发挥。本文聚焦大坝施工质量控制与技术创新，先阐述质量控制的概念、原则及关键影响要素，再分析基础处理、混凝土浇筑等关键环节的质量控制要点。同时，探讨技术创新的核心方向，重点研究新型材料、智能化技术及绿色化技术的实践路径。研究表明，构建全流程质量控制体系与推动技术创新协同发展，可有效提升大坝施工质量与效率。本文成果为大坝施工提供理论支撑与实践参考，助力水利工程高质量建设。

关键词：水库枢纽工程；大坝施工；质量控制；技术创新

引言：大坝作为水库枢纽的核心结构，承担防洪、灌溉等重要功能，其施工质量是工程安全的生命线。随着水利工程规模扩大与地质条件复杂化，传统施工质量控制模式与技术已难以满足需求，质量隐患风险与施工瓶颈日益凸显。在此背景下，强化施工质量控制、推动技术创新成为大坝建设的迫切需求。本文以大坝施工为研究对象，系统梳理质量控制要点，探索技术创新实践路径，旨在解决施工难题，提升工程质量，为水利工程可持续发展提供有力保障。

1 大坝施工质量控制概述

1.1 质量控制的基本概念与原则

质量控制是指在工程建设全过程中，通过制定明确的质量标准、实施系统性的监测与调控措施，确保工程实体质量符合设计要求及相关规范的一系列管理与技术活动。在大坝施工中，质量控制处于核心地位，因其直接决定大坝的结构安全、使用寿命及防洪抗旱等核心功能的发挥，关系到下游人民生命财产安全与区域经济社会稳定，是保障工程“百年大计”的关键支撑。大坝施工质量控制需遵循多项基本原则，其中“预防为主”是首要原则，强调通过事前对施工方案、材料性能等进行全面研判，提前规避质量风险；“全过程控制”要求覆盖从施工准备、工序实施到竣工验收的各个环节，避免质量问题漏判；同时还需坚持“客观公正”与“全员参与”原则，以数据为依据开展质量评估，调动各岗位人员的质量责任意识。

1.2 大坝施工质量控制的关键要素

大坝施工质量受多重要素综合影响，各要素相互关联、相互制约，共同构成质量控制的核心体系。材料要素是质量基础，水泥、砂石、钢筋等主材的强度、耐久性指标直接影响坝体结构稳定性，材料不合格将从源

头导致质量隐患。工艺要素是技术保障，不同坝型的浇筑、碾压、防渗等工艺参数是否精准，决定工序质量是否达标。设备要素是施工支撑，搅拌、起重、压实等设备的性能稳定性与操作精度，直接影响施工效率与质量均匀性。人员要素是管理核心，施工人员的技术水平、责任意识及管理干部的监管能力，决定质量控制措施能否有效落地。施工环境如气象、地质条件等外部要素也需纳入考量，各要素的协同匹配程度，最终决定大坝施工的整体质量水平^[1]。

2 大坝施工过程中的关键质量控制点

2.1 基础处理质量控制

基础作为大坝承载的核心载体，其处理质量直接决定坝体整体稳定性与抗滑安全，是避免后期出现不均匀沉降、渗漏及结构失稳的首要防线。基础处理需针对不同地质条件制定差异化方案，核心控制措施围绕以下三个维度展开。（1）地质勘察精准化控制。施工前需开展全面的地质详勘工作，明确基础岩层的分布、岩性、风化程度及断层、裂隙等地质缺陷的具体参数，通过钻孔取样、原位测试等手段获取完整地质数据，为处理方案设计提供精准依据，避免因勘察疏漏导致处理措施与实际地质不符。（2）基础缺陷针对性处理。针对勘察发现的断层、溶蚀孔洞等缺陷，需采用挖除置换、灌浆填充等方式处理。对于软土地基，需通过换填法、排水固结法等提升地基承载力；对于岩石地基的裂隙，需进行水泥灌浆或化学灌浆处理，确保裂隙填充密实，阻断渗水通道。（3）处理后强度与密实度控制。基础处理完成后，需通过载荷试验、密实度检测等方式验证处理效果，确保地基承载力满足设计要求，压缩模量、抗剪强度等指标达到规范标准，为坝体施工提供稳定可靠的基础条件。

2.2 混凝土浇筑质量控制

混凝土是大坝施工的核心材料，其浇筑质量直接影响坝体的强度、耐久性及抗渗性，控制过程需贯穿原材料选择、配合比设计及浇筑工艺实施的全流程，形成闭环管控体系。（1）原材料选择与质量管控。水泥需选用强度等级符合设计要求、水化热较低的品种，进场前检测其安定性、凝结时间等指标；砂石骨料需控制颗粒级配、含泥量及针片状含量，确保质地坚硬、洁净；外加剂需根据施工需求选择缓凝、减水等类型，严格控制掺量；水需采用符合标准的饮用水或经过处理的水源，避免杂质影响混凝土性能。（2）混凝土配合比优化设计。结合大坝不同部位的受力要求与工作环境，通过试验确定最佳配合比，控制水胶比、砂率等关键参数，在保证混凝土强度的同时，提升其和易性与耐久性。针对大体积混凝土，需通过掺加粉煤灰、矿渣粉等掺合料降低水化热，减少温度裂缝产生的风险。（3）浇筑工艺与过程控制。浇筑前需清理施工面，检查模板支撑的稳定性与密封性；浇筑过程中控制布料厚度与速度，采用分层浇筑、分层振捣的方式，确保混凝土密实，避免蜂窝、麻面等缺陷；振捣需采用插入式振捣器，控制振捣时间与插入深度，确保振捣到位且不出现过振现象。浇筑完成后及时进行覆盖保湿养护，控制降温速率，避免温度应力导致裂缝。

2.3 坝体填筑与压实质量控制

坝体填筑与压实质量是确保坝体整体稳定性、抗渗性及承载能力的关键，控制重点集中在填筑材料选择、施工参数把控及压实效果检测三个方面。（1）填筑材料选择与预处理。根据坝型设计要求选择合适的填筑材料，均质土坝优先选用黏粒含量适中、塑性指数符合要求的土料，堆石坝选用强度高、抗风化能力强的块石或碎石。材料进场前需进行颗粒级配、含水量等指标检测，对含水量过高的土料进行翻晒处理，含水量过低则进行洒水调整，确保材料性能符合填筑要求。（2）填筑施工参数精准控制。填筑层厚需根据压实设备性能确定，一般控制在30-50厘米，避免过厚导致压实不到位；铺料采用水平分层方式，确保层面平整，相邻层铺料方向相互垂直，减少层面结合薄弱环节；碾压设备需选用重型振动碾，控制碾压速度与碾压遍数，一般碾压遍数不少于6-8遍，确保碾压均匀。（3）压实质量检测与管控。压实完成后需采用环刀法、灌砂法或核子密度仪等设备检测压实度，确保均质土坝压实度不低于98%，堆石坝相对密度符合设计要求。同时检测填筑层的干密度、含水量等指标，若检测结果不达标需及时进行补压或返工处理，严禁不合格土层进入下一道工序，确保坝体填筑质量均匀稳定^[2]。

3 大坝施工技术创新概述

大坝施工技术创新是指在传统施工技术基础上，结合工程需求与科技发展，通过理论突破、方法优化、设备升级等手段，形成的更高效、安全、经济的施工技术体系。随着水利工程规模扩大与复杂地质条件增多，传统技术在施工效率、质量控制等方面的局限日益凸显，技术创新成为突破工程瓶颈的核心驱动力。技术创新围绕施工全流程展开，核心方向包括勘察设计数字化、施工工艺精细化、设备智能化及管理信息化。勘察设计阶段通过三维地质建模技术提升勘察精度；施工工艺上，新型浇筑、碾压技术优化了工序衔接，降低质量风险；智能化设备如无人碾压机、混凝土输送机器人的应用，减少人为误差的同时提升施工效率。技术创新不仅解决了复杂地质条件下的施工难题，更推动质量控制模式从“事后补救”向“事前预判”转变。其以科技为支撑，实现施工参数精准调控，在保障工程质量与安全的前提下，有效缩短工期、降低资源消耗，为大坝施工提供了更可靠的技术保障，是水利工程高质量发展的重要支撑^[3]。

4 大坝施工中的关键技术创新路径

4.1 新型施工材料在大坝施工中的应用

新型施工材料的应用以提升坝体性能、优化施工流程为核心，通过材料性能改良与功能拓展，解决传统材料在强度、耐久性及施工适应性上的不足，为大坝施工质量提供基础保障。其应用路径围绕材料筛选、性能适配及施工工艺协同展开。（1）高性能混凝土材料的应用。重点采用低热微膨胀混凝土，通过掺加复合矿物掺合料与专用外加剂，降低混凝土水化热峰值，减少温度应力引发的裂缝风险，同时利用微膨胀特性提升混凝土密实度。针对坝体防渗部位，应用自修复混凝土，通过内部胶囊型修复剂在裂缝产生时自动释放，实现裂缝自主闭合，增强坝体抗渗耐久性。（2）新型土工合成材料的推广。在坝体防渗与加固环节，应用高强度土工格栅与复合土工膜。土工格栅通过与土料的咬合作用，提升坝体填筑层的整体承载能力与抗剪强度；复合土工膜采用高密度聚乙烯与无纺布复合结构，优化防渗性能，同时具备较强的抗老化与抗穿刺能力，适配不同施工环境。（3）新型胶凝材料的实践。针对特殊地质条件，应用新型碱激发胶凝材料，以工业废渣为主要原料，通过碱激发剂激活其胶凝活性，不仅降低水泥用量，还能提升材料的耐侵蚀性，适配水库水环境下的长期工作需求，施工中需严格控制激发剂掺量与搅拌时间，确保材料性能稳定。

4.2 智能化施工技术在质量控制中的应用

智能化施工技术通过数据采集、实时分析与精准调

控,将质量控制贯穿施工全流程,实现从人工监管向智能管控的转变,其应用核心在于构建“感知-分析-控制”的闭环体系,提升质量控制的精准度与效率。(1)施工过程实时监测技术。采用物联网技术布设传感器网络,在混凝土浇筑仓面安装温度、应变传感器,实时采集混凝土内部温度变化与应力分布数据,通过云端平台分析判断是否存在裂缝风险。在坝体填筑环节,利用无人机航拍与激光扫描技术,快速获取填筑层厚度与平整度数据,实现施工参数的实时核验。(2)智能化施工设备的操作应用。推广无人碾压机与智能布料机的使用,无人碾压机通过卫星定位与惯性导航系统,按照预设路径自动完成碾压作业,实时反馈碾压速度、遍数及压实度数据,确保碾压均匀性。智能布料机结合混凝土输送系统,精准控制布料位置与速度,避免混凝土堆积或漏铺,提升浇筑施工的连续性与均匀性。(3)质量数据信息化管理。构建大坝施工质量管控平台,整合施工过程中产生的材料检测数据、工序验收数据及设备运行数据,通过大数据分析技术挖掘数据关联,预判潜在质量隐患。平台实现质量问题的溯源追踪,明确责任主体与整改要求,形成质量控制的全流程可追溯管理。

4.3 大坝施工绿色化技术创新

绿色化技术创新以“减量化、资源化、无害化”为原则,围绕施工过程中的生态保护、能源节约及废弃物利用展开,在保障工程质量的同时,降低施工对周边环境的影响,实现工程建设与生态保护的协同发展。(1)施工废弃物资源化利用技术。建立施工废渣分类处理系统,将基坑开挖产生的岩石废渣进行破碎分级,加工为坝体填筑骨料或混凝土粗骨料,减少外购骨料用量。对混凝土浇筑产生的废弃浆体,通过过滤、脱水处理,将固体残渣制成免烧砖,用于临时设施建设,实现废弃物的循环利

用。(2)低碳施工技术的应用。推广新能源施工设备,采用电动碾压机、太阳能照明系统替代传统燃油设备,降低碳排放。在混凝土生产环节,优化配合比设计,增加工业废渣掺合料用量,减少水泥消耗量,同时采用低温搅拌技术,降低混凝土生产过程中的能耗,实现施工过程的低碳化。(3)生态保护与修复技术。施工前对施工区域内的植被进行移植保护,采用植生袋防护技术替代传统浆砌石护坡,在坝体边坡铺设含有本土植物种子的植生袋,促进施工后植被恢复。针对施工废水,构建多级沉淀池与过滤系统,处理后的废水用于施工现场降尘与混凝土养护,实现水资源的循环利用,减少对周边水体的污染^[4]。

结束语:本文围绕大坝施工质量控制与技术创新展开系统研究,明确了质量控制的核心原则与关键要素,提出了各施工环节的针对性控制措施,同时构建了新型材料、智能化等技术的创新应用体系。研究证实,质量控制是工程基础,技术创新是提升效能的核心动力,二者协同方能保障大坝施工质量。未来,需进一步推动智能化与绿色化技术的融合应用,完善质量控制标准体系,结合工程实际优化创新路径,为大坝施工技术发展注入持续动力。

参考文献:

- [1]刘聪.水利水电工程中大坝施工质量控制与检测技术探讨[J].微型计算机,2025(14):139-141.
- [2]陈海贝.水利工程大坝填筑施工技术要点探析[J].区域治理,2025(22):0097-0099.
- [3]刘琼雅.水利工程水库大坝混凝土施工技术分析[J].工程研究与实用,2024,5(18):148-150.
- [4]吴基宇.岩溶地区水库大坝基础防渗施工技术创新[J].中国房地产业,2025(31):178-181.