

水利工程施工中土方填筑施工技术分析

唐怀强

兴国金海建设工程有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8609

[摘要] 水利工程土方填筑施工流程关联性强且影响变量繁杂，施工质量密切关联工程运行安全与结构稳定。针对施工环节流程无序、填料选型偏差、压实管控薄弱等问题，针对性剖析地质适应性、工艺优化、智能设备落地及质量保障体系构建的核心技术要点。结合典型工程技术实践与效果反馈，证实高标准施工工艺与信息化管控模式在强化填筑密实度、结构稳定性及施工效能方面的实际价值，可为同类工程后续实施提供技术参照。

[关键词] 水利工程；土方填筑；压实技术；施工质量；技术控制

Analysis of Earthwork Filling Construction Technology in Water Conservancy Engineering Construction

Tang Huaiqiang

Xingguo Jinhai Construction Engineering Co., Ltd

[Abstract] The construction process of earthwork filling in hydraulic engineering has strong correlation and complex influencing variables, and the construction quality is closely related to the operation safety and structural stability of the project. In response to the problems of disorderly construction process, deviation in filling material selection, and weak compaction control, targeted analysis is conducted on the core technical points of geological adaptability, process optimization, intelligent equipment implementation, and quality assurance system construction. Based on typical engineering technology practices and feedback, it is confirmed that the high standard construction technology and information control mode have practical value in strengthening the compactness, structural stability, and construction efficiency of filling, which can provide technical reference for the subsequent implementation of similar projects.

[Key words] water conservancy engineering; Earthwork filling; Compaction technology; Construction quality; Technical control

引言：

水利工程对基础结构稳定性要求严苛，土方填筑作为核心施工程序，工艺水准与质量管控直接关联工程整体效能。现场地质条件多变、工序交叉复杂及施工周期紧张等因素制约下，传统施工范式常显现出效能偏低、质量欠佳等问题。建设标准持续提升态势下，推进填筑施工技术体系向精细化与智能化转型，是强化水利工程质量与安全水准的关键路径。

一、当前水利工程土方填筑施工普遍存在的质量控制问题

(一) 填筑工艺流程不规范导致施工效率低下

水利工程施工中的土方填筑涵盖清基、铺料、碾压、检测等关键施工环节，施工流程组织缺乏科学统筹易诱发工序衔接阻滞中断、机械设备无效空转及施工周期显著滞后等实际问

题。部分水利工程项目施工前期未制定统一规范的填筑技术方案，导致作业安排呈现随意性特征，压实作业时间把控与填筑层厚控制均未达到技术标准，部分填筑区域未严格依照设计文件明确要求实施分层分段填筑，直接推高工程返工频次。施工区域空间划分缺乏清晰界定易引发多工序交叉作业现象频发，既大幅削减机械作业效率，又持续加剧施工过程中的相互干扰。缺乏高效适配的施工进度协同调控机制易使施工节奏陷入无序状态，阻碍工程关键节点按期推进，极端情况下可能诱发工程结构安全隐患。

(二) 现场填料种类不一影响压实均匀性与密实度

水利工程现场实操中常见填料涵盖砂土、壤土、粘性土及碎石类材料，不同类型填料的颗粒级配组成、天然含水率状态及可压实性能存在明显分异特征。实际施工阶段，填料性能筛

选与分区适配使用的管控缺失，极易导致不同物理力学性能的填料出现混杂填筑现象，压实成型后的土体密实度难以形成均匀分布状态^[1]。部分填筑区域可能因填料天然含水率过高或过低出现压实不实的虚压情况，埋下后期沉降变形隐患，另有部分区域会因碾压作业强度过高形成表层硬壳层结构，破坏工程整体结构的连续性与整体性；填料未依据工程技术规范完成含水率的精准调整，会大幅提升压实作业的能耗投入，还可能导致压实质量达不到设计标准。

（三）质量检测手段落后难以实时反映施工效果

现阶段土方填筑质量检测多依托灌砂法、环刀法及干密度仪测量等传统检测手段，检测流程耗时较长且监测覆盖维度有限，难以对施工全断面形成实时动态监控。施工实施阶段检测点位布设数量偏少且分布失衡，易导致检测数据缺乏足够代表性，难以全面反映实际施工质量状况，部分施工场地处于高强度连续作业状态时，检测频次难以匹配施工推进节奏，使得潜在质量隐患无法及时排查整改。检测全流程人工操作占比较高，易受人员操作习惯、经验水平等主观因素干扰，导致检测数据出现偏差，间接影响工程质量评估结果的精准度。尚未引入物联网、智能传感等现代化实时监测技术支撑，填筑作业过程中出现的各类异常工况难以实现即时预警与快速响应，进一步制约施工质量控制工作的及时性与覆盖全面性。

二、提升施工质量过程中亟需改进的土方填筑技术要素

（一）加强填料选择与处理流程的适应性调整措施

各类水利工程对填筑填料的物理力学性状均有严苛规范，现场土料未经甄选直接投入使用易引发压实强度欠缺或渗透系数超标，需结合设计指标与场地地质实况优先选取级配均衡、压实性能优越的粉质黏土或砂壤土。高含水率填料摊铺作业前需经晾晒风干或机械翻松晾晒，低含水率填料则需均衡洒水调质以保障含水率处于最优压实含水率范围，含植物根茎、腐殖质及大块孤石的原土需预先清理筛分，防止干扰填筑体密实度及匀质性。填料堆放场域需避开施工作业区域分区规整存放，布设防护围挡规避雨水冲刷引发含水率异变。堆放场地同步实施硬化处置，增设排水明沟并覆盖防雨苫布，遏制雨天渗水致含水率攀升及干燥时段水分散失。

（二）改进分层铺填与压实方法提升结构稳定性

土方填筑需严苛把控分层厚度，常规限定于20cm范围内保障各层密实度达标，填筑阶段分层厚度不均或摊铺工艺失当引发上下层密实度差异，进而削弱整体结构稳固性，“人字形”或“交错式”摊铺工艺可规避填层间贯通性接缝形成，降低剪切失稳隐患^[2]。各类压实机具需结合填料特性与施工区域条件合理适配，坡面区域宜采用羊足碾压实，平缓地段选用大型振动碾提升密实均匀度。边角狭小区域需借助小型压实机具或人工夯实实施补强压实，消除压实盲区以强化整体结构匀质

性与耐久性能。此类区域作业空间受限，常规大型压实设备难以介入，处理疏漏易形成密实度薄弱区域，局部补强压实可有效提升结构整体性，规避应力集中引发的开裂渗漏等工程病害，保障坝体长期运行性能稳定。

（三）引入智能压实设备提升机械化施工精准度

现代水利施工中智能压实系统已日渐普及于土方工程，融合GPS定位技术、压实传感装置与实时数据记录模块，可精准调控压实遍数、作业速度及碾压压力。相较于传统机械压实模式，智能装备能动态适配碾压参数以匹配不同土质区域特性，提升密实度均匀性。碾压过程中系统同步生成密实度热力图谱，为施工管控人员提供可视化数据支撑，降低过压或漏压问题发生率。部分设备具备软弱区域自主辨识功能，经过报警提示助力施工决策，实现作业过程自适应优化，智能装备可远程推送施工数据，便于后续质量追溯与技术评估，助力土方施工朝着精细化、信息化方向稳步发展。

三、影响土方填筑施工稳定性的环境与管理因素技术分析

（一）复杂地质条件下施工适应性与风险应对策略

华南某山区水库扩建工程施工区域地质条件复杂，以强风化砂岩与软弱粉质黏土互层为主，地下水位偏高且雨季地表径流旺盛，填筑边坡多次出现局部坍塌现象。边坡施工中采用三级反压护坡结构搭配地表截排水系统，切实遏制雨水冲刷影响，填筑前开展原状地基回弹模量检测，对数值低于40MPa的区域强化换填厚度与压实标准管控。采用分段分层同步推进的作业模式，规避大面积暴露引发的软土沉陷或边坡滑移风险，增强施工整体安全性与环境适应性。

（二）施工组织调度与机械配合的系统协调分析

土方填筑施工效能与组织调度紧密关联，机具配置与人员调配需高效联动，大断面连续作业场景中缺乏科学的时序规划，易出现运输车辆拥堵、压实机具闲置或频繁待工现象，拉低整体施工效能^[3]。合理调度需依托填筑区推进进度规划压路机、推土机与运输车辆的作业节律，采用网格化分区作业方案，界定各施工单元时间阈值，规避资源冲突。实操过程中构建施工日进度规划与实时反馈体系，动态优化各工序衔接时段，可均衡机具作业负荷，达成施工资源的最优配置并降低工序脱节引发的进度起伏。

（三）多工序交叉作业中控制关键工序的技术要点

土方填筑施工阶段常呈现碾压、运输、铺料等多工序并行作业态势，缺失精细化管控与工序优先级界定易诱发工序交叉干扰，损害关键工序施工质量。压实工序作为结构成型核心环节其作业时空需充分预留，规避碾压未竟即开展下层级铺料或交叉通行。技术管控层面确立“压实优先、碾压闭合”准则，划定专属通行廊道保障运输车辆与压实机具分流作业，依托无人机航拍与地面标识协同的管控手段实施施工区域动态监管，

能精准辨识工序冲突点位前置优化作业序列,助力关键工序在安全稳定的作业环境下达成高质量实施要求。

四、强化质量保障体系在土方填筑施工中的实际应用探索

(一) 构建全过程质量控制闭环提升监督效能

土方填筑质量管控体系需覆盖施工筹备、填料进场、分层铺筑、压实作业及检测验收全流程,搭建“事前预防、事中管控、事后核验”的闭环管控机制。填料进场环节布设检测专区,对颗粒级配、含水率及有机物含量实施逐批次核验,铺筑阶段界定分层厚度与压实遍数标准,动态留存各工序完成状态信息。压实作业结束后按区块开展干密度与含水率检测,同步搭建与施工进度联动的质量台账体系,形成完整工序追踪链路,发现质量偏差可快速追溯至具体责任节点,缩短问题处置周期,确保施工全流程处于高效管控范畴。

(二) 推行施工技术交底和岗前培训机制规范操作

标准化技术交底与岗前培训机制是强化施工执行力及操作规范化水平的核心路径,施工启动前针对不同岗位编制细化技术交底文件,明确各工序核心要点、质量管控基准及操作禁忌,规避理解偏差诱发的作业失范^[4]。施工现场划定专属培训区域,开展设备实操演示、标准化工艺流程解读及质量事故案例剖析,深化作业人员对施工规范的认知与掌握。特种设备操作人员及测量检测人员需通过专项技能考评,建立岗位准入管控机制,制度化培训管理可有效降低人为操作偏差发生率,强化施工全过程的一致性与合规性。

(三) 利用信息化平台动态管理施工数据提升透明度

信息化技术在土方填筑作业中的实践应用已成为提升管理效能与质量可控性的核心支撑,施工现场布设传感装置与GPS监控模块,实时捕获填筑推进进度、碾压次数、压实度分布等核心参数。构建可视化作业管控界面,平台端对采集数据开展智能研判,生成动态质量评估报告,为异常指标设定自动报警阈值,助力管理人员即时掌控现场作业状态。系统兼容施工日志自动生成、任务派发与反馈闭环、历史数据检索等功能模块,为监管机构与技术人员提供科学决策支撑,数字化管控模式提升数据透明度,同步强化施工过程的实时性与快速响应效能。

五、典型水利工程案例中土方填筑施工技术应用的成效剖析

(一) 高标准填筑工艺在大型水库工程中的应用表现

华北地区某大型调蓄水库工程建设中,填筑总工程量达800万立方米,工程采用高标准施工作业工艺实施全流程管控。填料选取以低液限粘土为核心,含水率调控至最优压实含水率区间±1.5%范围,压实度达标98%以上,施工中严苛落实分层管控每层厚度均设定为20cm。搭载GPS定位模块追踪碾压轨迹

确保压实无盲区,施工全过程布设双重质量核验机制,现场抽检与实验室复核并行开展。边坡区域采用错缝搭接工艺及台阶式铺筑技术显著增强整体边坡稳固性,坝体沉降差值调控至设计标准10%范围,契合高等级防渗性能及结构稳定指标要求。

(二) 多元压实技术融合下的堤坝稳定性优化成果

南方某中型灌溉枢纽工程主坝填筑区采用振动压路机、羊脚碾及夯实机械等多种压实技术协同应用,按填料特性与区域位置分区布设。核心坝段启用重型羊脚碾实施高能量碾压提升密实度,坝体两侧采用轻型振动碾逐层复压强化边缘密实匀质性,渗控层设置多道过渡料填层通过间歇式碾压与调湿工艺结合降低压实应力集聚^[5]。实操阶段依托智能压实系统对碾压次数与行进速率实施实时调控有效规避压实欠缺或超压问题,工程完工后坝体应力分布均衡稳定性指标较传统工艺提升约15%,达成结构响应优化的预期目标。

(三) 施工质量改进后工程运行初期的稳定性反馈分析

某引水枢纽工程投运半年后,运行期监测数据表明坝体沉降速率渐趋平稳,总沉降量调控至设计允许值85%范围,坝轴线无显著位移迹象。自动监测系统反馈坝体孔隙水压力处于稳定状态无异常增幅,印证防渗体系运行良好,边坡应变计监测数据显示边坡位移变幅控制在3mm内远低于警戒阈值,泄洪时段观测到坝体结构各部位应力传递均衡未出现裂缝及局部形变。运行初期实测数据与施工阶段构建的质量模型高度契合,印证高标准填筑、分区碾压及信息化管控等施工技术对坝体初期稳定性的强化效果。

结语:

土方填筑系水利工程施工核心工序,其技术水准直接关联工程整体质量与运行安全性,规范作业流程、优化压实工艺、强化质量管控与引入信息化技术可同步提升施工效能与结构稳固性。复杂地质条件与多工序交叉作业场景中,系统协同与风险防控尤为关键。后续智能建造技术持续发展下,施工管理会进一步趋向精细化与动态化,土方填筑技术将持续整合先进装备与数据体系,达成质量、安全与效能的全方位优化。

参考文献

- [1]贾飞.水利工程施工中土方填筑施工技术探讨[J].工程建设与设计, 2025, (17): 206-208.
- [2]邓文明, 李皓, 李佳宾.大型水利堤防高强度大方量快速填筑施工技术研究[J].四川水利, 2025, 46(04): 71-74.
- [3]李璐珺, 李冬.土方回填施工中动态土壤特性分析与优化方法[J].山西建筑, 2025, 51(14): 65-68.
- [4]曹水秀.水利工程施工中土方填筑施工技术的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版), 2025, (17): 217-219.
- [5]韩延春.水利工程施工中土方填筑施工技术分析[J].水上安全, 2025, (11): 191-193.