

土石坝填筑施工质量控制要点及通病防治探析

武晓龙

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：本文聚焦土石坝填筑施工质量控制与通病防治，系统阐述了坝体材料、施工过程及关键部位的质量管控要点，涵盖防渗体、反滤层等材料的精细化筛选与检测，以及料场开采、含水率调控、碾压施工等全流程管控措施。针对压实度不足、级配离析、防渗体裂缝等常见质量通病，深入分析成因并提出针对性防治策略，同时探讨了智能化碾压监控等先进检测技术的应用。旨在通过全过程质量管控，提升土石坝填筑施工质量，保障工程安全稳定运行。

关键词：土石坝；填筑施工；质量控制；质量通病；病害防治

引言：土石坝作为水利工程的核心构筑物，其填筑施工质量直接决定工程的防渗性能、结构稳定与运行安全。当前，土石坝填筑施工面临材料质量波动、工艺管控粗放、气候环境影响等挑战，易引发压实度不足、不均匀沉降、防渗体裂缝等质量通病，威胁工程整体安全。本文围绕土石坝填筑施工全过程，从材料质量控制、施工过程管控、关键部位处理、质量检测评定及质量通病防治等方面展开探析，旨在构建系统化的质量控制体系，为提升土石坝填筑施工质量、保障水利工程长效运行提供技术参考与实践指导。

1 土石坝填筑材料质量控制

1.1 坝体材料分类与质量要求

土石坝坝体填筑材料需依据坝体功能分区精准分类，主要包含防渗材料、过渡材料、反滤材料及坝壳堆填材料四大类，各类材料需严格遵循水利工程施工规范制定专属质量标准。防渗材料优先选用黏粒含量适宜、渗透系数小、抗冻性与稳定性佳的黏性土料，严禁掺杂杂草、淤泥、冻土等杂质。过渡层与反滤材料选用质地坚硬、级配连续的砂石集料，颗粒形状规整、含泥量严控在规范限值内。坝壳料以碎石、砾石及风化岩料为主，需具备高强度、高抗渗、高压缩稳定性的特点，粒径级配均匀，无软弱颗粒与风化严重岩体。所有进场材料需提前开展取样检测，各项指标达标后方可进场使用，从源头保障坝体填筑基础质量，杜绝不合格材料投入施工。

1.2 防渗体填筑料质量控制

防渗体是土石坝阻水防渗的核心结构，其填筑料质量直接决定坝体防渗效果与运行安全，需实施全过程精细化管控。防渗土料需严格控制黏粒含量、塑性指数、

最大干密度及最优含水率，黏粒含量保持在规范适宜区间，塑性指数符合防渗施工要求，避免因指标失衡引发渗漏、开裂问题^[1]。进场料需分批抽检渗透系数、压实度、含水率等关键指标，不合格料体全部清退，杜绝因填料质量缺陷导致防渗体渗水、变形破坏。

1.3 反滤层、过渡层及坝壳料质量控制

反滤层、过渡层与坝壳料承担着排水、缓冲、支撑坝体的关键作用，三者填料质量需分区精准管控、协同把控。反滤层填料需严格遵循级配匹配原则，粗细颗粒分级清晰，含泥量严控在 3% 以内，保证排水通畅且能有效阻挡细土颗粒流失，防止防渗体土料被渗透水流冲刷带走。过渡层填料介于反滤料与坝壳料之间，级配需平缓过渡，粒径均匀、质地坚硬，有效缓冲应力差，避免坝体出现局部应力集中。坝壳料需保证整体强度高、压缩性低、稳定性好，最大粒径符合填筑规范，杜绝超大粒径石块集中堆积。各类填料需分类堆放、分区使用，严禁混料混用，进场前完成颗粒级配、含泥量、强度等指标检测，全方位保障分层填筑结构的稳定性与完整性。

2 土石坝填筑施工过程质量控制

2.1 料场开采、运输与卸料摊铺质量控制

土石坝填筑施工前期，料场开采、物料运输及现场卸料摊铺是把控填筑质量的基础环节，需落实全流程管控。料场开采需划定规范开采范围，分层有序开采，剔除表层腐殖土、软弱夹层及风化废料，开采过程中实时监测填料级配与土质均匀性，避免物料质量波动。运输阶段选用密闭运输车辆，防止物料沿途洒落、混入杂质，同时做好物料保湿防护，避免高温失水、低温冻结影响施工性能。卸料时严格控制卸料厚度与摊铺速度，

采用定点卸料、均匀摊铺的施工方式,及时人工找平,消除局部堆料、缺料问题。摊铺厚度严格匹配碾压设备参数,杜绝超厚摊铺,确保后续碾压密实均匀,为填筑压实质量达标筑牢前期施工基础。

2.2 含水率调整与碾压施工质量控制

含水率与碾压施工是决定坝体填筑压实度的核心工序,直接影响坝体沉降稳定性与防渗性能。填料摊铺完成后,需快速检测实时含水率,对比最优含水率精准调控,含水率偏高时及时晾晒翻松、通风散水,偏低时均匀洒水湿润,静置焖料使水分渗透均匀,杜绝局部干湿不均问题^[2]。碾压施工遵循“先轻后重、先慢后快、先边后中、分段搭接”的原则,选用适配吨位的碾压设备,严格控制碾压速度、碾压遍数与碾压轨迹。碾压搭接宽度符合规范要求,杜绝漏碾、欠碾、过碾现象,边角、搭接等薄弱区域采用小型设备补碾。碾压完成后及时检测压实度,未达标区域立即返工复碾,确保每层填筑体压实质量均匀达标。

2.3 雨季冬季施工及分期分段填筑质量控制

土石坝施工受气候与施工流程影响较大,雨季、冬季及分期分段填筑需针对性落实质量管控措施。雨季施工需提前搭建防雨防护设施,料场做好排水坡度与排水沟布设,避免填料淋雨积水、含水率超标。雨后及时清理填筑表面积水、稀泥,晾晒达标后方可继续填筑,严禁雨天露天碾压施工。冬季低温施工需严控施工温度,杜绝冻土、冰雪混入填料,摊铺后快速碾压成型,避免填料冻结影响压实效果。分期分段填筑需合理划分施工区段与填筑层级,明确分段搭接长度,新旧填筑结合面严格凿毛、清理、洒水湿润,分层错缝搭接施工,杜绝出现贯通裂缝与施工缝隙,保障整体填筑体的连续性与整体性。

3 关键部位与特殊工况填筑质量控制

3.1 坝体与岸坡及混凝土建筑物结合部质量控制

坝体与岸坡、混凝土建筑物结合部是土石坝渗漏、变形、开裂的高发关键部位,需实施专项质量管控。施工前需彻底清理结合面,清除岸坡松动岩土、浮土、杂物及混凝土表面浮浆、油污,对凹凸不平部位进行修整找平,保证结合面坚实整洁。岸坡坡度严格符合设计要求,陡坡区域提前处理,避免填筑后土体滑坡。填筑过程中结合部优先分层摊铺、薄层碾压,大型碾压设备无法作业的边角区域,采用小型夯实设备人工夯实,杜绝死角漏压。同时严控结合部填料含水率与压实度,适当增加碾压遍数,强化层间结合强度。施工中全程监测结

合体沉降与变形,及时处理施工隐患,有效规避结合部渗漏、脱空、开裂等质量问题。

3.2 反滤层、过渡层填筑及雨季冬季施工质量控制

反滤层与过渡层结构轻薄、层级特殊,且受温湿度气候影响显著,特殊工况下需强化专项施工质量控制。常规填筑时严格遵循“薄层、均匀、分层”原则,分层摊铺厚度均匀一致,杜绝粗细颗粒分离、局部离析,填筑后及时平整压实,保证层级界限清晰、结构规整。雨季施工时,反滤、过渡砂石料易受雨水冲刷出现颗粒流失、级配破坏,需提前做好防雨遮挡与场地排水,雨后及时清理积水与淤泥,复检料质达标后方可施工^[3]。冬季施工严控低温冻结影响,杜绝冰雪混入集料,防止填料冻结结块导致填筑密实度不均。施工全程避免重型设备直接碾压层级界面,保护分层结构完整性,保障排水、缓冲结构的施工质量与运行性能。

3.3 分期分段填筑质量控制

土石坝分期分段填筑可有效适配施工进度与场地条件,但易产生施工接缝、分层沉降差等质量隐患,需精准管控施工细节。施工前依据设计图纸与施工方案,科学划分填筑区段与层级,明确各段填筑标高、分层厚度及施工时序,杜绝随意划分施工段落。分段填筑时严格控制接缝坡度与搭接长度,竖向接缝错开布置,杜绝上下贯通接缝,横向接缝采用阶梯式搭接,保证衔接紧密。新旧填筑结合面需彻底清理浮土、松散层,洒水湿润后同步碾压夯实,增强层间、段间结合整体性。各分区填筑压实参数保持统一,避免因施工参数差异导致沉降不均。

4 土石坝填筑质量检测与评定

4.1 填筑质量的常规检测方法

土石坝填筑常规质量检测是把控施工质量的基础手段,涵盖填料指标、施工过程、成型质量多维度检测,适配各填筑工序质量核查需求。填料检测主要通过取样试验,检测土料含水率、颗粒级配、塑性指数、最大干密度等核心指标,确保填料符合设计标准。填筑施工成型后,采用环刀法、灌砂法、灌水法检测土体压实度,其中细粒土多用环刀法,粗粒石料采用灌砂法与灌水法。同时定期检测填筑体渗透系数、沉降量、平整度等指标,每层填筑完成后及时抽样检测,抽检点位均匀布置,覆盖坝体中部、边缘、搭接缝等关键区域。检测数据实时记录、整理分析,不合格部位立即返工处理,确保每一层填筑质量达标后再开展后续施工。

4.2 碾压质量实时监控技术

碾压质量实时监控技术依托智能化设备,实现土石坝碾压施工全过程动态监测,弥补传统事后检测的滞后性缺陷。该技术通过在碾压设备搭载北斗定位、速度传感、振动频率采集等智能终端,实时采集碾压行驶速度、碾压遍数、振动幅值、碾压厚度及施工轨迹等核心参数。监控系统可实时比对预设施工参数,对漏碾、欠碾、超碾、速度超标等违规施工行为实时预警,精准定位质量隐患区域。施工管理人员可通过终端平台实时掌握全场碾压施工状态,实现施工过程可视化、标准化管控。

4.3 填筑质量的验收与评定

土石坝填筑质量验收与评定是把控工程质量、保障工程达标交付的关键环节,需严格遵循规范流程分层、分阶段开展。填筑工程验收分为分层单元验收、分部工程验收及竣工验收,每层填筑施工完成后,结合常规检测数据、实时碾压监控数据开展单元工程质量评定,核查压实度、含水率、结构尺寸、层间结合质量等指标。分部工程完工后,全面核查施工资料、检测报告、隐患整改记录,评估填筑体整体稳定性、防渗性与均匀性。验收评定严格参照水利工程质量评定标准,划分优良、合格、不合格三个等级,对不合格工程要求限期返工整改,复检达标后方可进入下一工序。

5 土石坝填筑施工常见质量通病与防治

5.1 填筑压实度不足与层间结合不良

填筑压实度不足、层间结合不良是土石坝施工最常见的质量通病,多由施工管控不到位导致,易引发坝体沉降、渗水、变形等问题。压实度不足主要源于摊铺厚度超标、碾压遍数不够、碾压速度过快、填料含水率失衡及边角漏碾等因素,会造成土体孔隙率偏大、结构松散。层间结合不良多因上层填筑前未清理下层表面浮土、松散层,结合面未洒水湿润,层间碾压搭接不到位,形成薄弱夹层。防治需严控摊铺厚度,精准调控填料含水率,严格执行碾压施工参数,加密边角区域夯实作业。每层填筑完成后及时清理表层松散土体,结合面充分洒水湿润、错缝碾压,同时强化分层压实检测,杜绝质量隐患遗留,保障填筑体整体密实与结合强度。

5.2 填料级配离析与填筑体不均匀沉降

填料级配离析及填筑体不均匀沉降会严重影响土石坝运行稳定性,是危害坝体结构安全的重要质量通病。填料级配离析主要出现在物料运输、卸料摊铺环节,粗

细骨料分离堆积,局部粗料集中、细料缺失,导致填筑体密实度不均、孔隙分布杂乱。长期运行后,离析区域土体压缩性差异较大,进而引发坝体局部不均匀沉降,造成坝面开裂、结构变形^[4]。防治需从源头管控,物料运输过程中做好防离析措施,卸料时均匀摊铺,及时人工拌合梳理,消除粗细料分离现象。严格把控填料级配指标,不合格填料严禁使用,分层填筑厚度均匀一致,碾压施工全域参数统一,同时加强沉降观测,发现异常及时处置,有效规避不均匀沉降病害。

5.3 防渗体裂缝

防渗体裂缝是土石坝防渗结构的核心质量病害,分为干缩裂缝、温缩裂缝及沉降裂缝三类,直接破坏坝体防渗体系,引发渗漏隐患。干缩裂缝多因防渗土料含水率偏高,填筑后表层水分快速蒸发,土体收缩不均导致;温缩裂缝多发于冬季低温施工,土体受低温冻缩影响产生开裂;沉降裂缝主要由坝体不均匀沉降、结合部变形不协调引发。防治需精准调控防渗土料最优含水率,填筑完成后及时做好覆盖保湿养护,避免表层快速失水。冬季施工做好保温防护,严控施工温差,杜绝低温冻害。优化填筑施工工艺,强化结合部施工质量,减小沉降差异,同时加强养护期巡查,发现细微裂缝及时封堵处理,防止裂缝扩张影响防渗结构安全。

结束语

土石坝填筑施工质量控制是一项系统性、精细化工程,需从材料源头、施工过程到质量检测全流程严格管控。通过精准把控各类填筑材料质量,规范料场开采、运输、摊铺、碾压等施工工序,强化关键部位与特殊工况的专项处理,结合常规检测与智能化实时监控技术,可有效规避压实度不足、级配离析、防渗体裂缝等质量通病。未来,需进一步推广智能化施工管控技术,完善质量评定体系,实现土石坝填筑施工质量的动态化、标准化管控,为水利工程的安全稳定运行筑牢根基。

参考文献

- [1] 成柳. 基于混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术 with 质控检测 [J]. 中国水泥, 2025(11):97-100.
- [2] 孙德亮, 张哲. 清原抽水蓄能电站下水库面板堆石坝施工质量控制要点 [J]. 东北水利水电, 2024, 42(5):9-12.
- [3] 陈卢伟. 土石坝坝体填筑施工关键技术 [J]. 中国科技纵横, 2022(15):87-89.
- [4] 王毅青. 水利工程混凝土面板堆石坝坝体填筑施工探讨 [J]. 山西水利, 2021(3): 26-28.