水利工程施工中河道堤防填筑技术与质量控制措施

王学猛[1] 庞 岱[2] 高秋雨[2] 任泽俭[3]
1. 枣庄市峄城区城乡水务局 山东 枣庄 277399
2. 山东省水利水电建筑工程承包有限公司 山东 济南 250100
3. 山东润鲁工程咨询集团有限公司 山东 济南 250102

摘 要：为提升河道堤防填筑质量、保障水利工程防洪安全，本文以堤防填筑技术与质量控制为研究对象，采用文献分析与技术梳理结合的方法，系统探究填筑材料选型、施工工艺优化及全周期质量管控要点。研究表明，通过动态调整分层碾压参数、精准管控材料级配、应用BIM与物联网监测技术，可显著降低堤防沉降、渗漏风险；构建的"材料-工艺-监测"三维质量控制体系，能有效提升填筑施工质量稳定性。结论显示，科学填筑技术与精细化质量控制的协同融合，是确保堤防工程长期安全运行的核心保障。

关键词：河道堤防；填筑技术；质量控制；水利施工；碾压工艺

引言：河道堤防作为防洪减灾体系的基础性工程，其结构稳定性直接关系沿岸群众生命财产安全与区域经济社会发展。近年来，受全球气候变化引发的极端降水事件频发影响，洪涝灾害防御压力持续加大，对堤防的抗渗性能、承载能力及耐久性提出了更为严格的技术要求。堤防填筑作为决定堤防工程质量的核心环节，其技术实施精度与质量管控水平直接关联工程安全——材料性能不达标、碾压工艺参数失配或管控流程疏漏，均可能引发沉降、渗漏等隐性病害，甚至导致堤防功能失效。

当前堤防填筑施工中，仍存在材料级配管控缺乏动态调整机制、碾压参数与材料特性的匹配度不足、全过程监测技术应用滞后这三方面突出问题。这些问题制约着填筑质量的精细化提升。基于此，本文结合水利工程施工实践，系统梳理堤防填筑的关键技术要点，剖析质量控制的核心难点，构建"材料-工艺-监测"协同管控体系，旨在为提升堤防填筑质量提供系统性技术支撑。

1 河道堤防填筑技术核心内容分析

河道堤防填筑技术以“分层填筑、分层碾压”为核心原则，需结合堤防功能定位、场地地质条件及材料物理力学特性，构建从材料筛选到工艺实施的完整技术体系。其核心逻辑在于通过各环节参数的精准调控，实现填筑体密实度、抗渗性及整体稳定性的协同达标，为堤防长期安全运行奠定结构基础。

1.1 填筑材料选择与处理技术

填筑材料的性能直接决定堤防结构质量，需基于堤防等级、防渗标准及区域材料资源分布，建立科学的选型与预处理技术路径。

（1）材料类型及选择标准。常用填筑材料按功能分为黏性土、砂性土、砾石土及混合土料，适用场景差异显著。①黏性土因渗透系数 ≤ 1×10^{-5}cm/s，为防渗体优选材料，需将含水量控制在最优值±2%区间，避免干缩裂缝或湿陷变形；②砂性土压实后强度高但透水性强，适用于堤壳等非防渗部位，需配套反滤层设计防止渗透破坏；③砾石土压缩性低、承载能力强，适合高水位堤防填筑，需确保砾石粒径不超过碾压层厚的2/3，避免压实盲区[1]。

材料选择需兼顾技术合理性与经济性：优先选用堤线周边3km范围内土料以降运输成本；进场前需通过室内试验检测液塑限、压实度、抗剪强度等指标，1级堤防防渗体压实度 ≥ 93%，2级堤防 ≥ 92%，非防渗体统一为 ≥ 90%，指标不达标材料不得用于主体工程。

（2）材料预处理技术。针对天然材料性能缺陷，需通过靶向预处理技术提升适用性：对含水量超标的黏性土，采用翻晒法或掺加3%-5%生石灰调节，可降低含水量5%-8%；对干旱地区砂性土，采用分阶段洒水焖料工艺，确保水分均匀渗透；对含杂质土料，通过5-10cm孔径筛网过滤结合人工清理，控制杂质含量 ≤ 5%；对级配不良土料，采用砂性土掺加10%-15%黏性土的掺配工艺，将级配曲线调整至规范要求区间。

1.2 分层填筑与碾压工艺优化

分层填筑与碾压是实现填筑体密实度的关键工序，需基于材料特性与设备性能，建立动态可调的工艺参数体系，确保“逐层压实、层间密结”。

（1）分层填筑技术要点。填筑前需完成堤基标准化处理：清除表层30cm以上腐殖土及杂草，平整后碾压至压实度 ≥ 85%，同步开挖坡度 ≥ 2%的临时排水沟，防

止地基积水影响承载力。填筑采用“水平分层、纵向分段”模式，分段长度按设备效率控制在50-100m，段间搭接宽度 ≥ 1m以消除纵向接缝隐患；分层厚度需与碾压设备匹配：25t以上振动压路机施工时，黏性土取20-30cm，砂性土25-40cm，砾石土30-50cm；蛙式打夯机作业时分层厚度严格 ≤ 20cm。

（2）碾压工艺参数优化。碾压参数需通过现场试验确定，不同材料采用差异化方案。①黏性土：选用低频高幅振动压路机，碾压速度2-3km/h，采用“静压2遍+振动碾压4-6遍+静压收光1遍”工艺，相邻碾压带重叠 ≥ 10cm，确保无漏压区域；②砂性土：采用高频低幅振动模式，碾压速度3-4km/h，碾压遍数4-6遍，碾压前需将含水量提高至最优值2%-3%，增强颗粒黏结性；③砾石土：选用激振力 ≥ 30t的专用设备，碾压速度2-2.5km/h，碾压遍数8-10遍，施工前需检查砾石分布，单块砾石占压面比例 ≤ 10%，超标部位人工分散或换填处理。另外，层间结合质量控制需同步强化：每层碾压完成后，采用刨毛机处理表层，洒水至含水量 ≥ 最优值80%，再进行下一层铺料，避免形成软弱夹层。

1.3 特殊部位填筑技术

堤防与建筑物衔接处、堤身缺口等特殊部位是质量控制薄弱点，需采用针对性技术方案消除隐患。

（1）堤与建筑物衔接处填筑。衔接部位需重点处理接触面与周边填筑：①清除建筑物表面杂物后涂刷水灰比0.5-0.6的水泥净浆增强黏结；②2m范围内采用手扶振动碾或平板夯等小型设备施工，分层厚度 ≤ 15cm，碾压遍数较常规增加2-3遍；③宽度 ≤ 1m的狭小空间采用人工夯实，并间隔30cm铺设抗拉强度 ≥ 10kN/m的土工格栅，抑制不均匀沉降。

（2）堤身缺口填筑。新旧堤身结合采用“台阶式”处理工艺：①将缺口边坡削成1:2-1:3的台阶，台阶高度30-50cm、宽度 ≥ 1m；②台阶表面刨毛洒水后，从底部开始分层填筑，每层碾压向台阶延伸 ≥ 50cm；③填筑材料需与原堤身一致，材料不同时需在结合面铺设20cm厚砂垫层等反滤层，防止渗透变形。

2 河道堤防填筑质量控制措施

堤防填筑质量控制需构建“事前预防-事中管控-事后验收”的全周期闭环体系，通过材料、工艺、监测的协同联动，实现质量风险的早识别、早调控，避免隐蔽性病害留存。

2.1 事前质量控制

事前控制以技术准备与材料源头管控为核心，为施工质量筑牢基础防线。

（1）技术准备与方案优化。施工前编制专项填筑方案，明确材料性能标准、工艺参数阈值、质量验收指标及应急处置流程，方案需经专家评审论证；开展分级技术交底，结合现场试碾压演示，明确分层厚度、碾压参数等关键工序的操作要点与质量红线；依据堤线地质勘察数据动态调整方案，如地下水位高于堤基时，先采用井点降水将水位降至堤基以下1m，再实施堤基处理，确保地基承载力达标。

（2）材料进场验收。建立“溯源-检测-准入”三级管控流程：①每批材料进场时核查产地、规格等溯源信息，按规范取样检测——黏性土每1000m³取1组试样，砂性土每500m³取1组，重点检测含水量、压实度等指标，不合格材料严禁入场；②存储阶段实行分类堆放，黏性土与砂性土间距 ≥ 5m，设置标识牌注明材料类型及检测结果，同时覆盖防雨棚，防止雨水浸泡或杂质混入。

2.2 事中质量控制

事中控制聚焦施工过程动态管控，通过实时监督与参数优化确保工艺合规性。

（1）工序质量监督。采用“旁站+巡检”结合模式：①对分层厚度、碾压参数等关键工序旁站记录，每30m检测1点厚度，偏差超5cm立即整改；②每2h巡检1次，核查铺料均匀性、碾压搭接宽度，发现漏压、欠压区域标记后重新碾压复检；特殊部位设置质量控制点，安排专人检测，每50cm测1点压实度，合格后方可进入下道工序。

（2）参数动态调整。依据现场检测结果实时优化工艺参数：①若黏性土压实度＜92%，需针对性调整——含水量过高则延长翻晒时间，碾压遍数不足则增加2-3遍振动碾压，级配不良则调整掺配比例；②遇特殊天气时动态调控，高温时段将铺料至碾压间隔缩至 ≤ 2小时，降雨前覆盖未碾压土料，雨后重新检测含水量，达标后方可施工。

（3）现场快速检测技术应用。引入快速检测设备提升管控效率：①用环刀法或灌砂法检测压实度，每碾压层每100m²取1组样，检测周期 ≤ 2h；②用土壤水分速测仪，每50m监测1点含水量，实时指导翻晒或洒水；③用平整度仪检测堤身表面，确保偏差 ≤ 5cm/2m，对凸起部位人工削平、凹陷部位补料碾压。

2.3 事后质量控制

事后控制以分层验收与问题闭环整改为重点，确保填筑质量全面达标。

（1）分层验收与整体检测。实行“三级验收”制度，①每层填筑完成后，先由班组自检压实度、厚度、平整度，再由项目部复检抗渗性，最后经监理验收合格

并签署记录；②全部填筑完成后开展整体检测，采用分辨率 ≤ 2cm的探地雷达扫描堤身内部，排查空洞、松散区；③每100m选取1个代表性断面钻孔取样至堤基，测定不同深度压实度，确保全断面指标达标。

（2）问题整改与记录归档。对检测发现的质量问题制定靶向整改方案：①压实度不足区域采用补压法，渗漏部位采用水灰比0.8-1.0的水泥浆注浆处理，整改后重新检测直至合格；②同步建立质量档案，系统记录材料检测报告、工序验收记录、检测数据等，为后续堤防维护提供完整技术依据。

2.4 创新性质量控制方法

融合“数字化+智能化”技术提升管控精度，构建传统与新型手段结合的管控模式。

（1）BIM技术可视化管控。构建堤防填筑BIM模型，录入分层厚度、压实度等设计参数，施工时通过移动端实时上传现场数据，模型自动对比实际值与设计值，偏差超限时自动预警；利用模型模拟不同工艺参数的填筑效果，优化碾压速度等参数，减少试错成本[2]。

（2）物联网实时监测系统。在堤身内部按5-10m间距布设土壤含水率、应变等传感器，数据实时传输至监控平台。含水率超限时提醒调整洒水或翻晒，应变值 ≥ 设计值1.2倍时预警裂缝风险并联动推送加固建议；平台自动生成压实度随碾压遍数变化等趋势图，为参数调整提供数据支撑[3]。

3 技术与质量控制的协同优化

堤防填筑技术与质量控制是相互支撑的有机整体，需通过协同优化构建“技术参数-质量指标-控制措施”的联动机制，实现施工效果的整体提升。

3.1 技术参数与质量指标的匹配

技术参数的合理性直接决定质量指标达标度，需通过试验建立动态匹配关系。不同材料的参数与指标关联存在差异：如黏性土碾压遍数与压实度呈阶段性正相关，6-8遍时压实度提升显著，超过8遍后增幅趋缓，故需将遍数控制在此区间以平衡质量与效率；砂性土分层厚度与平整度呈负相关，厚度超40cm时平整度偏差易超标，因此需将厚度限定在25-40cm。施工中需以质量指标检测结果为反馈，实时调整技术参数，形成闭环适配机制[4]。

3.2 质量控制对技术创新的推动

质量控制的精细化需求反向驱动填筑技术升级。传统人工检测存在效率短板，催生了土壤硬度计等快速检测设备，将单点位检测时间从30min缩短至5min以内；堤防内部质量监测难题，推动探地雷达、分布式传感器等技术的工程应用；特殊部位碾压不实等共性问题，促进了微型振动碾等专用设备的研发，进一步拓展了技术的适用场景。

结束语

本文系统梳理了河道堤防填筑技术体系，涵盖材料选型与预处理、分层填筑碾压工艺优化及特殊部位施工技术，明确了不同材料与场景下的参数控制要点；同时构建了“事前-事中-事后”全周期质量控制体系，提出材料溯源检测、工序动态监督及BIM与物联网协同监测等措施，揭示了技术参数与质量指标的适配机制及质量控制对技术创新的驱动作用。研究证实，科学填筑技术与精细化管控的协同，可显著提升堤防密实度、抗渗性及稳定性，有效降低病害风险。

参考文献

[1]薛峰.水利工程堤防质量控制与施工技术研究[J].建设监理,2021,(12):91-93.

[2]刘朝凤,郑科学.智能建造技术在无棣拦河闸施工中的应用[J].山东水利,2025,(02):46-48.

[3]李参,张兆军,任泽俭.基于ANSYS分析地基参数对大坝安全的影响[J].山东水利,2021,(2)13-15.

[4]冯敏.菏泽市魏楼水库围坝填筑质量控制要点浅析[J].山东水利,2021,(08):54-55.