

河道整治工程堤防填筑施工工艺改进研究

聂蕊

林西县大井镇人民政府，内蒙古 赤峰 025250

DOI:10.61369/WCEST.2026020025

摘 要： 堤防填筑是河道整治工程的核心工序，其施工质量直接决定河道防洪排涝能力与长期运行安全。针对传统堤防填筑施工中存在的含水率控制粗放、压实精度不足、接缝处理薄弱、施工效率与环保性难以兼顾等痛点，本文结合堤防工程施工规范与工程实践，从土料预处理、智能摊铺碾压、接缝处理、绿色施工四个维度对传统施工工艺进行系统性改进。通过工程实例验证，改进后的工艺可将填筑压实度合格率提升至 99% 以上，施工效率提升 30% 以上，同时有效控制不均匀沉降与环境影响，可为同类河道整治堤防填筑工程提供技术参考。

关 键 词： 河道整治工程；堤防填筑；施工工艺；工艺改进；质量控制

Research on the Improvement of Construction Techniques for Embankment Filling in River Regulation Projects

Nie Rui

Dajing Town People's Government, Linxi County, Chifeng, Inner Mongolia 025250

Abstract： Embankment filling is the core process in river regulation projects, with its construction quality directly determining the flood control and drainage capacity of the river channel as well as its long-term operational safety. Addressing the challenges in traditional embankment filling construction, such as imprecise moisture content control, inadequate compaction accuracy, weak joint treatment, and difficulties in balancing construction efficiency with environmental protection, this paper systematically improves traditional construction techniques from four dimensions: soil pretreatment, intelligent paving and compaction, joint treatment, and green construction. These improvements are based on construction specifications and engineering practices for embankment projects. Verified through engineering examples, the improved techniques can elevate the qualification rate of filling compaction to over 99%, enhance construction efficiency by more than 30%, effectively control uneven settlement and environmental impacts, and provide technical references for similar river regulation embankment filling projects.

Keywords： river regulation projects; embankment filling; construction techniques; technique improvement; quality control

引言

随着我国水利基础设施建设体系的不断完善，河道整治工程已成为流域防洪安全、水生态保护与水资源高效利用的核心载体。堤防作为河道整治工程的关键构筑物，其填筑施工质量直接关系到堤防的边坡稳定性、抗渗性能与长期服役能力。近年来，极端强降雨事件频发，对河道堤防的防洪标准提出了更高要求，传统堤防填筑施工中质量管控粗放、参数控制精度低、施工效率不足等问题日益凸显，已成为制约堤防工程建设质量提升的核心瓶颈^[1]。

一、传统堤防填筑施工工艺的核心痛点与技术要求

（一）堤防填筑施工的核心技术要求

根据 SL 260-2014《堤防工程施工规范》，堤防填筑施工需满足四大核心技术要求：一是填筑材料性能达标，土料有机质含量不大于 5%，黏粒含量适配填筑要求，含水率需控制在最优含

水率 $\pm 2\%$ 范围内；二是压实度满足设计标准，1 级、2 级堤防压实度不低于 96%，3 级及以下堤防不低于 94%；三是结构整体性达标，分段施工的接缝、新旧堤结合部无薄弱带，抗渗性能满足设计要求；四是沉降与稳定性可控，堤防完工后不均匀沉降量需控制在设计允许范围内，边坡抗滑稳定安全系数不低于规范要求^[2]。

作者简介：聂蕊（1990.07-），女，汉族，赤峰市林西县人，大学本科，中级，研究方向：水利工程。

（二）传统施工工艺的核心痛点

传统堤防填筑施工多采用“人工配合机械”的粗放式作业模式，全流程存在四大核心痛点，直接影响施工质量与效率：

第一，土料预处理工艺粗放，含水率控制精度不足。传统工艺多采用现场人工翻晒、洒水闷料的方式调控含水率，缺乏精准的检测与调控手段，常出现含水率偏差超过 $\pm 4\%$ 的情况，导致土料压实度无法达标。同时，对不合格土料的改性处理缺乏标准化流程，易出现改性不均、强度不足的问题。

第二，摊铺与碾压工序参数管控失准。传统摊铺作业多依靠操作手经验控制分层厚度，常出现厚度偏差超过 5cm、摊铺不平的问题；碾压作业的行进速度、激振力、碾压遍数等参数全凭经验确定，易出现漏压、过压、压实不均的现象，导致局部压实度不合格，为堤防渗漏、滑坡埋下隐患^[3]。

第三，接缝处理工艺存在先天缺陷。传统分段施工的横向接缝多采用简单平接方式，纵向接缝搭接宽度不足，新旧堤结合部仅采用简单坡面清理，未做界面增强处理，导致接缝处成为堤防结构的薄弱带，高水位运行时易出现集中渗漏、边坡失稳等问题。

第四，施工效率与环保要求难以兼顾。传统施工工艺土料翻晒、闷料周期长，施工效率低下，工期难以管控；同时，土方开挖、运输、摊铺过程中扬尘污染严重，不合格土料外运量较大，余料利用率低，不符合当前绿色水利工程的建设要求。

二、堤防填筑施工工艺的系统性改进方案

（一）土料预处理工艺的精细化改进

针对传统土料预处理的痛点，构建“室内试验－现场快速检测－闭环调控－标准化改性”的精细化预处理工艺，实现土料性能的精准管控。

第一，提前开展室内土工试验，确定填筑土料的最优含水率、最大干密度、颗粒级配等核心参数，明确土料适配性，对有机质含量超标、黏粒含量不适配的土料提前制定改性方案，严禁不合格土料进场。

第二，引入含水率闭环调控系统，现场采用便携式快速含水率检测仪，实现土料含水率 10 分钟内快速检测，替代传统烘干法，大幅提升检测效率。针对含水率过高的土料，采用带旋耕功能的智能翻晒机，配合气象监测数据精准控制翻晒深度与频次；针对含水率过低的土料，采用带雾化喷淋装置的洒水车，配合翻耕作业实现均匀闷料，将土料含水率偏差严格控制在最优含水率 $\pm 1.5\%$ 范围内，远超规范要求。

第三，制定不合格土料标准化改性工艺，针对高含水率、高塑性黏土，采用掺加石灰、水泥的改性方案，通过室内试验确定最优掺量，现场采用专用拌合设备实现均匀拌合，拌合后静置时间不小于 24 小时，确保改性效果；针对砂性土，采用掺加黏土的方式改善其保水性 with 压实性能，杜绝随意改性的粗放作业^[4]。

（二）智能摊铺与碾压工艺的数字化改进

融合 BIM 技术与 GNSS 定位技术，对摊铺与碾压工序进行智能化改进，实现施工参数的精准管控与全过程可追溯。

第一，基于 BIM 技术构建堤防填筑三维模型，提前划分填筑分区、分层厚度与施工顺序，将分层厚度、高程等参数导入智

能摊铺设备。采用带 GNSS 实时定位系统的智能摊铺机，通过机载控制系统自动调整摊铺厚度与平整度，将分层厚度偏差控制在 $\pm 2\text{cm}$ 以内，杜绝超厚摊铺问题。同时采用“阶梯式分段摊铺”模式，每个作业段长度控制在 100–200m，为后续碾压作业预留充足空间，实现摊铺与碾压工序的无缝衔接^[5]。

第二，引入智能碾压控制系统，在振动压路机上加装 GNSS 定位模块、压实度实时监测模块与数据传输模块，实时监测碾压行进速度、激振力、碾压遍数与压实度数据，通过机载显示屏实时反馈给操作手，对漏压区域、压实度不足区域进行声光预警。通过现场试验段正交试验，确定最优碾压参数组合：碾压行进速度控制在 2–3km/h，先静压 2 遍，再弱振 2 遍，强振 2–4 遍，最后静压 1 遍收面，碾压轮迹搭接宽度不小于 $1/3$ 轮宽，杜绝漏压、过压现象。

第三，构建施工全过程数字化管控平台，将摊铺、碾压的实时数据上传至平台，实现施工数据的实时存储、追溯与分析，监理单位可通过平台实时查看施工质量，实现“事中管控”，替代传统的“事后检测”模式，大幅提升质量管控效率。

（三）接缝处理工艺的优化与界面增强改进

针对传统接缝处理的薄弱问题，提出“阶梯式搭接＋界面增强＋错缝施工”的改进工艺，全面提升堤防结构的整体性。

第一，横向接缝处理优化，堤防分段施工的横向接缝严禁采用平接方式，全部采用 1:5 的斜坡阶梯式搭接，每个台阶高度与填筑分层厚度一致，宽度不小于 1m，确保接缝处分层厚度与整体填筑一致。接缝处摊铺前，先对已填筑的台阶坡面进行凿毛处理，清除表面浮土，涂刷一层水灰比 0.5 的水泥净浆，再进行新土料的摊铺与碾压，碾压范围超出接缝处不小于 2m，确保接缝处压实度达标。

第二，纵向接缝处理优化，采用错缝摊铺工艺，上下相邻填筑层的纵向接缝错开距离不小于 3m，严禁出现通缝。纵向接缝搭接宽度不小于 1m，搭接处采用跨缝碾压方式，碾压轮迹跨越接缝两侧各不小于 0.5m，确保接缝处压实均匀。对于堤防加宽工程的纵向新旧堤结合部，先对旧堤坡面进行清表、凿毛处理，按分层厚度开挖台阶，植入直径 16mm、间距 1.5m 的拉结钢筋，再进行新堤填筑，提升新旧堤的整体性。

第三，制定接缝处理质量验收标准，每道接缝处理完成后，采用灌砂法对接缝处的压实度进行专项检测，检测点间距不大于 20m，合格率需达到 100%，未达标区域需重新处理，杜绝薄弱带产生。

（四）绿色施工配套工艺改进

响应绿色水利工程建设要求，对堤防填筑全流程进行绿色化改进，实现施工质量与生态保护的协同提升。

第一，扬尘污染全流程管控，土方开挖、运输、摊铺环节采用“围挡＋雾炮＋土工布覆盖”的综合降尘方案，运输车辆全部采用密闭式车厢，出场前对车轮进行冲洗；土料堆放区采用土工布全覆盖，翻晒作业时同步开启雾炮降尘，确保扬尘排放符合环保标准。

第二，土方资源循环利用，对河道清淤、基坑开挖产生的土方进行分类筛分，符合填筑要求的土料分类堆放、妥善保管，直接用于堤防填筑；不符合要求的土料经改性处理达标后二次利用，大幅减少土方外运量与外购土料量，将土料利用率提升至

95% 以上。

第三，生态防护一体化施工，堤防填筑完成后，边坡防护摒弃传统浆砌石、混凝土硬护坡，采用生态袋 + 植被混凝土的生态防护方案，在实现边坡稳定防护的同时，修复河道水生态环境，兼顾防洪安全与生态保护。

三、工程应用实例与效果验证

（一）工程概况

选取华北地区某河道整治工程为应用实例，该工程为流域防洪提升重点项目，堤防总长 12.3km，设计防洪标准为 50 年一遇，堤防等级为 2 级，设计填筑高度 6.2~8.5m，设计压实度不低于 96%，填筑总方量约 128 万 m³。工程所在地土料以粉质黏土为主，局部存在高塑性黏土，地下水位较高，传统施工工艺易出现含水率控制难、压实度不足、不均匀沉降等问题。本工程分为两个标段，1 标段采用本文改进后的施工工艺，2 标段采用传统施工工艺，开展对比验证。

（二）应用效果对比分析

通过施工全过程的质量检测与数据统计，改进后的工艺在施工质量、效率、环保性等方面均实现显著提升，具体对比结果见表 1。

表 1 改进工艺与传统工艺应用效果对比			
对比指标	改进工艺（1 标段）	传统工艺（2 标段）	规范要求
压实度合格率	99.2%	88.7%	≥ 96%
含水率控制偏差	± 1.2%	± 4.3%	± 2%
单工作日最大填筑量	1.28 万 m³	0.97 万 m³	-
完工后 3 个月不均匀沉降量	3.2cm	12.6cm	≤ 15cm
土料利用率	95.6%	81.2%	-
标段总工期	142 天	178 天	180 天

从对比结果可以看出，改进后的工艺完全满足规范要求，核心指标远超传统工艺：一是压实度合格率从 88.7% 提升至 99.2%，全部满足 2 级堤防设计要求，彻底解决了局部压实度不合格的问题；二是含水率控制精度大幅提升，为压实质量提供了基础保障；三是施工效率提升 31.9%，工期缩短 20.2%，有效降低了施工成本；四是不均匀沉降量控制在 3.2cm，远低于设计允许值，堤防结构稳定性显著提升；五是土料利用率提升 14.4 个百分点，扬尘排放达标率 100%，实现了绿色施工目标。

本工程完工后经历了 2 个汛期的高水位考验，堤防未出现渗漏、滑坡、变形超标等问题，运行状态良好，验证了改进工艺的长期可靠性。

四、改进工艺的质量控制与保障措施

为确保改进工艺的落地应用，需构建“事前 - 事中 - 事后”全流程质量控制体系，同时完善安全保障措施。

事前控制：严格执行原材料进场检验制度，对每批次进场土料开展土工试验，不合格土料严禁进场；正式施工前开展长度不小于 100m 的试验段施工，确定最优施工参数，形成作业指导书；对施工人员、机械操作手开展专项培训，考核合格后方可上岗。

事中控制：严格执行“一层一检”制度，每填筑一层，对土料含水率、摊铺厚度、碾压参数进行全面检测，合格后方可进行下一层填筑；压实度检测采用灌砂法与核子密度仪相结合的方式，检测频率符合规范要求，不合格区域立即返工处理；利用智能管控平台的实时预警功能，对施工参数偏差第一时间整改，实现质量问题动态清零。

事后控制：堤防填筑完成后，开展为期不少于 6 个月的沉降观测，每 15 天观测一次，对沉降数据进行分析；开展堤防全断面渗漏检测与边坡稳定性检测，确保各项指标满足设计要求；完善施工全过程资料归档，实现施工质量全流程可追溯。

同时建立健全安全生产责任制，明确各岗位安全职责；机械作业区域设置警示标识，安排专人指挥，避免交叉作业风险；严格控制填筑速率，雨天停止填筑作业，雨后复工前重新检测土料含水率；完善临时排水设施，避免雨水冲刷填筑坡面、浸泡堤基，确保施工期堤防稳定。

五、结论

本文针对河道整治工程堤防填筑传统施工工艺的核心痛点，从土料预处理、智能摊铺碾压、接缝处理、绿色施工四个维度，提出了一套系统性的工艺改进方案，并通过工程实例验证了其应用效果，得出以下结论：精细化的土料预处理工艺可实现含水率的精准管控，将含水率偏差控制在 ± 1.5% 以内，为堤防填筑压实质量提供了核心基础保障；基于 BIM+GNSS 的智能摊铺与碾压工艺，可实现施工参数的精准管控与全过程可追溯，将压实度合格率提升至 99% 以上，同时大幅提升施工效率；阶梯式搭接 + 界面增强的接缝处理工艺，可有效解决接缝薄弱带的问题，显著提升堤防结构的整体性与抗渗性能；改进后的工艺兼顾了施工质量、效率与环保性，可有效缩短工期、降低施工成本，适配当前水利工程高质量、绿色化的建设要求，具有广泛的推广应用价值。

参考文献

[1] 水利部 . SL 260-2014 堤防工程施工规范 [S]. 北京：中国水利水电出版社，2014.
[2] 张丙印，李全明，付俊峰 . 堤防工程填筑施工质量控制关键技术研究 [J]. 水利学报，2018，49 (S1): 112-118.
[3] 王仁坤，陈生水 . 河道整治工程堤防填筑施工工艺优化与应用 [J]. 水利水电技术，2020，51 (6): 127-134.
[4] 刘小生，赵尚传 . 水利工程堤防填筑压实质量智能控制技术研究与应用 [J]. 中国水利，2022 (12): 45-48.
[5] 李军，张伟 . 绿色水利工程堤防填筑施工工艺改进实践 [J]. 水资源与水工程学报，2021，32 (4): 210-215.