

堤防工程土方填筑施工工艺优化与实践应用研究

谈畅 王珊珊

江苏省鸿源招标代理股份有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i8.4910

[摘要] 文章为提升堤防工程土方填筑施工质量与效率,针对现有工艺压实不均、效率偏低、环境影响较大等问题,提出材料优选与配比优化、压实度控制、填筑段划分、设备及流程优化、环境影响管控等改进措施。经现场试验验证,优化工艺可有效提升施工效率,增强压实度均匀性,降低环境负面影响。结果表明,该优化施工工艺在提高堤防工程整体稳定性与耐久性、推动绿色施工方面成效显著,可为同类堤防工程提供参考。

[关键词] 土方填筑; 施工工艺优化; 压实度控制; 绿色施工

中图分类号: TV871 文献标识码: A

Research on Optimization and Practical Application of Earthwork Filling Construction Technology for Levee Engineering

Chang Tan Shanshan Wang

Jiangsu Hongyuan Bidding Agency Co., Ltd.

[Abstract] To improve the quality and efficiency of earthwork filling construction for levee engineering, this paper addresses existing problems such as uneven compaction, low efficiency, and significant environmental impact. Improvement measures are proposed including material selection and proportion optimization, compaction control, filling section division, equipment and process optimization, and environmental impact control. Field tests have verified that the optimized technology can effectively enhance construction efficiency, improve compaction uniformity, and reduce negative environmental impacts. The results show that this optimized construction technology achieves remarkable results in improving the overall stability and durability of levee engineering and promoting green construction, providing a reference for similar levee projects.

[Key words] earthwork filling; construction technology optimization; compaction control; green construction

引言

堤防工程作为抵御洪水侵袭的关键基础设施,其土方填筑施工工艺的合理性直接影响工程结构的抗滑稳定性、渗透稳定性及耐久性^[1]。传统施工工艺常因填筑材料级配失当、压实能量传递不均、层间结合处理不足等因素,导致堤防体出现不均匀沉降、裂缝等病害,严重威胁防洪安全^[2]。随着土力学理论的发展,学者们逐渐认识到土体压实特性与含水率、击实功之间的非线性关系,以及分层填筑厚度对孔隙水压力消散速率的影响机制^[3]。因此,对土方填筑施工工艺参数进行系统优化,构建基于材料特性、压实机理以及环境效应的协同控制体系成为提升堤防工程建造质量的关键所在。

1 堤防工程土方填筑施工工艺现状分析

1.1 土方填筑施工工艺概述

土方填筑施工工艺是堤防工程建设里极为核心的环节,其技术根本在于借助分层填筑与逐层压实这种系统化的作业方式

达到土体密实度与结构稳定性的协同把控。该工艺囊括了土料选择、含水率调控、分层厚度把控以及压实能量匹配等一系列关键参数,这些参数的技术实施质量,会直接对堤防工程的抗渗性能、抗滑稳定性以及耐久性产生影响。根据土力学基本原理,土体压实度与干密度呈正相关关系,而干密度又受含水率、压实功及土料级配等多因素耦合作用^[4]。因此,对土方填筑施工工艺进行优化,要依据土体压实特性曲线,借助参数化控制来达到压实质量的精准把控。

1.2 土方填筑施工中存在的问题

当前堤防工程中土方填筑施工存在三个难题。其一,压实度在空间上的分布极不均匀。现场作业条件复杂,不同区段的土料其含水率以及压实能量输入都有明显差异,压实度检测值离散程度较大,部分区域干密度达不到设计要求,形成了结构性薄弱带。其二,施工效率的提升与质量控制之间存在着较为突出的矛盾。传统施工工艺运用“全断面推进”的方式开展作业,这

使得压实机械需要频繁调头,有效作业时间在整体中所占比例不高,而且分层检测花费的时间比较长,对整体施工进度产生了制约。其三,环境影响控制机制缺失。土方作业过程中,扬尘肆意弥漫造成污染,机械运转发出巨大噪声,土料运输途中还出现渗漏状况。

1.3 土方填筑施工工艺优化的必要性

优化土方填筑施工工艺的必要性体现在三个方面:工程质量层面,借助参数化控制手段,能够使压实度标准差降低,有效消除结构性薄弱带,提升堤防工程整体的抗滑稳定性。经济效益层面,工艺优化可减少返工率与材料浪费,使单位填筑量成本降低,同时通过提高施工效率缩短工期,产生显著的时间成本效益。环境效益层面,经过优化的工艺凭借对土料含水率与压实能量的精准把控,能让扬尘排放量减少,机械噪声降低,契合水利行业绿色发展的理念。

工艺优化技术路径应着重关注三大方向:首先,搭建土料压实特性数据库,借助室内试验明确不同土料最佳含水率与最大干密度,给现场施工提供基础参数支撑;其次,研发智能压实控制系统,运用物联网技术达到压实机械实时定位与能量调控,保障压实质量在空间上的均匀性;最后,构建绿色施工评价体系,把环境影响指标融入工艺优化目标函数,达到工程质量、效率与环保的协同共进优化。

2 堤防工程土方填筑施工工艺优化研究

2.1 土方填筑材料选择与配比优化

土方填筑材料挑选与合理配比是保障堤防工程稳定性的核心要素。黏性土、砂性土、粉质土等各类土质,它们的物理力学性质有着明显不同,这会对填筑体的抗剪强度、压缩性以及渗透性产生直接影响。土力学理论指出,填筑材料要达到最优含水率与最大干密度的平衡状态,保证压实效果符合设计标准。以黏性土为例,在处于最优含水率状态时能够获得较高的压实度,不过要留意其存在干缩裂隙的风险;砂性土的透水性良好,需要通过级配优化来防止在压实过程中出现颗粒分离的情况。配比优化要结合室内击实试验以及现场试验的结果,运用正交设计法精确定不同土层的最佳掺合比例,让填筑体的强度和稳定性实现协同提升^[5]。

2.2 压实度要求与填筑段划分

压实度作为衡量土方填筑质量的核心指标,其控制工作必须紧密结合堤防工程的设计等级以及实际使用功能来进行。在《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)里,明确规定了不同防护等级的堤防,其压实度要求有所不同,像一级堤防压实度得达到 ≥ 0.96 ,二级堤防要 ≥ 0.94 ,三级堤防则需 ≥ 0.92 。压实度要求要借助现场密度试验,像灌沙法或者核子密度仪法这类方法,来开展动态监测工作,以此保证每层填筑体的压实质量能达到设计标准。对填筑段进行合理划分是确保压实度均匀性的关键方法。堤防工程依据其几何特性与地质状况,能把填筑区域划分成多个施工单元,每个单元长度最好控制在50-100m这个区间,降低因地形起伏造成压实不均的情况。纵向坡度较大的堤段施工

时,应采用“台阶式填筑法”,确保每层填筑高度差在1m以内,同时用小型压实设备对台阶交界处额外补压。进行横向填筑作业时,要在堤轴线两侧同步且平稳地推进,防止因某一侧填筑过高而造成侧向压力失衡的情况发生。

2.3 施工设备与工艺流程优化

施工中所用设备的合理选型与科学配置对土方填筑的效率以及质量有着直接的影响。在现代堤防工程的建设里,推土机、挖掘机、自卸汽车以及振动压路机共同构成了核心设备组合,它们的性能参数必须和填筑规模相适应。工艺流程的优化要遵循“流水作业、连续施工”的基本原则。工艺流程涵盖:基底处理、分层填筑、摊铺平整、洒水晾晒、机械压实以及质量检测这些环节。具体来说,分层填筑的厚度要依据压实设备的性能来定,振动压路机作业时,每层厚度最好控制在20至30cm之间,而静碾压路机作业时,每层厚度则需减薄到15至20cm。摊铺平整环节要使用激光平地机或者安排人工来辅助修正,保证填筑面的高差在 $\pm 5\text{cm}$ 以内,给压实作业打造一个均匀的基础。洒水晾晒环节要根据所使用材料的含水率情况,进行动态化的调整,对于黏性土,其含水率要控制在最优值的 $\pm 2\%$ 这个范围之内,而砂性土的含水率范围可放宽至 $\pm 3\%$ 。质量检测工作要全程贯穿于施工过程之中,借助“三检制”(自检、互检、专检)来保证每一层填筑体都能达到设计要求,一旦发现不合格段落,必须及时安排返工处理。

2.4 环境影响评估与控制措施

土方填筑施工给环境带来的影响,重点体现在生态破坏、水土流失以及粉尘污染这三个方面。地表植被被清除,土壤结构受到扰动,这些是造成生态破坏的主要因素,还可能致使局部生物多样性降低,微气候也随之改变。填筑面若长时间裸露,遇上降雨冲刷,便会引发水土流失问题,特别是坡度大于1:3的堤段,更要着重进行防控。在材料运输以及摊铺的环节中,粉尘污染问题较为突出,PM10浓度或许会超出标准,进而对周边居民的健康产生影响。在生态保护工作上,可在填筑区域周边搭建起临时植被缓冲带,待施工结束后,立刻开展生态修复工作,像撒播草籽或者铺设植生毯等。为防止水土流失,要把工程措施和植物措施结合起来:工程方面,可以修建截水沟、排水盲沟以及沉沙池;植物方面,通过种植深根植物,像狗牙根或者高羊茅,来增强土壤的抗冲能力。施工时,粉尘污染的控制要从污染产生的源头以及粉尘的传播途径这两个方面同时着手:在源头方面,要给运输车辆加盖防尘罩,对堆存的材料覆盖防尘网;在传播途径方面,则通过每日洒水降尘不少于4次以及设置高度不低于2m的围挡,来减少扬尘的扩散。

3 堤防工程土方填筑施工工艺实践应用

3.1 现场试验法在施工工艺优化中的应用

现场试验法是验证施工工艺优化效果时采用的核心手段,通过模拟真实的施工环境对土方填筑的各项参数进行灵活的动态调整。试验进行时,必须严格依照《土工试验方法标准》(GB/T50123-2019)的规定,运用分层填筑、逐层压实的方法,针

对不同含水率、压实遍数、铺土厚度等变量组合展开对比测试。具体而言,采用重型击实试验确定土方最优含水率范围,同时利用核子密度仪对压实度进行实时监测,构建起“参数-效果”之间的量化对应关系。现场试验法可精准捕捉理论模型与实际施工工况间的差异,为后续工艺参数优化提供可靠的数据依据。试验设计要遵循控制变量原则把试验区地划分成多个单元模块,让每个模块都采用单一变量加以控制。铺土厚度试验中,让含水率稳定在(±1%),压实遍数固定在6-8遍,接着分别对20cm、25cm、30cm这三种不同铺土厚度下的压实效果展开测试。运用方差分析(ANOVA)来评估不同铺土厚度对压实度产生的显著性影响,再结合经济性方面的分析,进而确定出最优的参数组合。

3.2 施工工艺优化效果评估

施工效率评估要构建包含单位时间填筑量、机械台班利用率、工序衔接时间等多个维度的指标体系。对比优化前后的施工日志数据,运用数据包络分析(DEA)模型来量化效率提升的具体幅度。质量控制评估工作要把无损检测技术和破坏性试验结合起来开展。利用瑞利波检测仪,对压实度展开迅速扫描工作,再配合环刀法取样加以验证,最终构建起“点-面”相结合的质量监控网络。环境影响评估工作,要对粉尘、噪声、废水等各类污染物的排放量进行精准量化,通过对比优化前后的环境监测数据,来验证绿色施工措施是否有效。

3.3 施工工艺优化的推广与应用策略

推广计划实施需按阶段逐步推进:在短期(1-2年)内,重点开展技术培训与示范工程建设;中期(3-5年)阶段,致力于完善标准体系并强化政策支持力度;长期(5年以上)目标则是实现全行业技术全面升级。推广的具体步骤为,编制《堤防工程土方填筑施工工艺优化指南》,明确材料挑选、设备配备、参数把控等关键环节的具体技术要求;同时,构建省级示范工程数据库,将典型案例的工艺参数、经济指标以及环境效益数据收录其中,为推广工作提供有力的参考依据。技术培训应运用“理论加实

操”的培训模式,积极开发虚拟仿真(VR)培训系统,以此模拟出各种不同工况下的施工操作流程。借助VR设备,对施工人员进行压实度实时判断能力的训练,并结合传感器反馈的数据,及时纠正操作中出现的偏差。示范工程建设应挑选具有典型代表意义的堤防工程,如穿越城市繁华建成区或者生态极为敏感区域的项目,以此全方位展现优化工艺在复杂多变环境中的出色适应性。政策支持方面,建议将优化工艺纳入水利行业“四新技术”推广目录,对采用该工艺的项目给予税费减免或财政补贴,激发企业应用积极性。

4 结论

堤防工程土方填筑施工工艺优化需统筹材料特性、压实机理与环境效应的协同控制。通过优选材料并优化配比、划分压实度梯度、动态调整设备参数及集成生态防护,可显著提升堤防体抗滑稳定性与渗透安全性。现场试验验证了多要素协同控制理论的有效性。该成果突破传统单一技术优化局限,构建起覆盖填筑材料、压实工艺与环境管控的全链条技术体系,为堤防工程标准化施工提供理论支撑与实践范式,对保障防洪安全、推动水利行业绿色转型具有重要意义。

[参考文献]

- [1]张国然,张栋,曾帅,等.基于延迟时间的水泥改良土试验研究及施工工艺优化[J].铁道建筑,2021(5):80-82.
- [2]戴宏基,张贵金,李毅.龙家山堤防工程复合灌浆新工艺及渗控优化研究[J].水利水电技术(中英文),2020(4):146-151.
- [3]吕建文.汾河三坝库区堤防改建工程土方填筑施工工艺及质量控制[J].山西水利科技,2013(3):29-30.
- [4]赵锦瑞.建筑工程中土方填筑与压实施工工艺研究[J].砖瓦,2020(12):230-230.
- [5]高艳东.建筑工程中土方填筑与压实施工工艺研究[J].建材发展导向,2019(7):58-58.