

# 水利工程中河道堤防施工技术应用研究

郭一心

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050021

**摘要：**水利工程中河道堤防施工技术应用研究聚焦于提升堤防工程防洪能力与稳定性。研究涵盖堤防分类、设计标准及施工核心环节，如地基处理、堤体填筑与护坡结构施工。通过优化传统技术、引入新型材料与智能化手段，如智能压实监测、3D打印技术及物联网传感器，实现施工效率与质量双提升。同时，针对生态与工程目标冲突、后期维护缺失等问题，提出生态友好型材料应用与长效维护机制，为堤防工程可持续发展提供技术支撑。

**关键词：**水利工程；河道堤防；施工技术；应用

引言：河道堤防是水利工程抵御洪水侵袭、保障人民生命财产安全的重要屏障。其施工质量的好坏，直接关系到防洪减灾的效果以及周边地区的生态稳定。随着气候变化和城市化进程的加快，极端天气频发，河流洪涝灾害愈发严重，对河道堤防的稳固性和安全性提出了更高要求。在此背景下，深入研究河道堤防施工技术应用，提升施工水平与质量，具有重要的现实意义和紧迫性。

## 1 水利工程中河道堤防施工技术基础理论

### 1.1 堤防工程分类与功能定位

(1) 按材质划分：土堤以当地黏性土、砂壤土为主要材料，成本低且施工简便，适用于平原地区中小河道；石堤采用块石、料石砌筑，抗冲刷能力强，多用于山区湍急河段；混凝土堤通过现浇或预制混凝土浇筑成型，结构整体性好，适用于城市防洪及高标准防护工程；复合堤结合两种及以上材料优势，如“土堤+混凝土护坡”，兼顾经济性与安全性，在复杂工况中广泛应用。(2) 按功能划分：防洪堤核心作用是抵御洪水侵袭，保护沿岸城镇、农田，需满足特定洪水频率下的防洪要求；挡潮堤建于河口、滨海区域，可阻挡潮汐、风暴潮，防止海水倒灌；生态堤融入生态设计理念，通过种植水生植物、设置生物栖息地等，在防洪基础上改善河道生态环境，实现水利功能与生态保护的协同。

### 1.2 设计标准与施工规范

(1) 防洪标准与安全系数要求：需严格遵循《堤防工程设计规范》(GB50286-2013)，根据防护对象的重要性确定防洪标准，如城市堤防通常采用50-100年一遇洪水标准；同时需核算安全系数，包括抗滑稳定系数(不低于1.25)、渗透稳定系数(满足相关水力梯度要求)，确保堤防在极端工况下不发生失稳破坏。(2) 施工质量控制指标：压实度是堤体填筑关键指标，黏性土堤体压实度需达到93%-96%，砂性土需达到90%-93%；渗透

系数需符合设计要求，一般堤体土料渗透系数应小于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ；抗冲刷能力通过护坡结构与施工保障，如刚性护坡需保证混凝土强度等级不低于C25，柔性护坡需确保块体铺设平整度与嵌固稳定性。

### 1.3 施工核心环节

(1) 地基处理：针对软土地基，常用换填法(换填级配砂石、灰土)、排水固结法(设置塑料排水板、砂井)、挤密碎石桩法等进行加固，减少地基沉降；同时需采取排水措施，如设置盲沟、截水沟，降低地下水位，避免施工期间地基土含水量过高影响施工质量。

(2) 堤体填筑：需遵循“分层压实、循序渐进”原则，分层厚度根据压实机械类型确定，一般为20-30cm；材料选择需符合设计要求，禁止使用腐殖土、淤泥等不合格土料，填筑前需对土料含水量进行调整，使其处于最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内，确保压实效果<sup>[1]</sup>。(3) 护坡结构：刚性护坡包括混凝土板护坡、浆砌石护坡，施工时需做好伸缩缝处理，填充沥青杉木板等防水材料；柔性护坡包括干砌石护坡、土工格栅加筋护坡，需保证块体之间紧密咬合，土工格栅铺设时需拉直、固定牢固；生态护坡常用生态混凝土、植草砖、水生植物群落等，施工时需协调好结构稳定性与生态功能，如植草砖铺设后需及时播种，确保植被成活率。

## 2 水利工程中河道堤防关键施工技术应用分析

### 2.1 传统施工技术优化

(1) 土石方填筑技术：随着机械化水平提升，当前已形成“多机组协同作业”模式，采用挖掘机、装载机配合大型履带式推土机进行土料摊铺，搭配20-25t振动压路机分层压实，作业效率较人工提升3-5倍。压实度控制方面，优化后采用“三检制”(班组自检、技术复检、监理终检)，结合环刀法、灌砂法实时检测，同时引入智能压实监测系统，通过压路机自带的GPS定位与压实

度传感器,动态反馈压实参数,确保堤体各层压实度达标,避免因局部压实不足引发渗透隐患<sup>[2]</sup>。(2)混凝土浇筑技术:模板支护优化采用定型钢模板替代传统木模板,钢模板平整度误差控制在2mm内,且可重复使用30次以上,降低材料损耗。支护时通过对拉螺栓与满堂脚手架固定,间距根据混凝土侧压力计算确定,一般横向间距 $\leq 1.2\text{m}$ 、纵向间距 $\leq 1.5\text{m}$ ,防止浇筑时模板变形。裂缝防治方面,从配合比设计入手,添加粉煤灰、矿渣粉等掺合料减少水泥用量,降低水化热;浇筑过程中采用分层浇筑(分层厚度30-50cm)、振捣棒梅花式布点振捣(振捣间距 $\leq 50\text{cm}$ ),避免漏振;浇筑完成后及时覆盖土工布洒水养护,养护周期不少于14天,有效控制温度裂缝与干缩裂缝。

## 2.2 新型材料与技术应用

(1)生态护坡技术:植草护坡选用狗牙根、高羊茅等耐水耐贫瘠草种,通过喷播技术将草种、营养土、保水剂混合喷洒于坡面上,喷播厚度5-8cm,成活率可达85%以上,适用于坡度 $\leq 1:2.5$ 的缓坡;土工格室护坡采用HDPE材质格室,展开后形成蜂窝状结构,填充种植土与碎石,格室高度10-20cm,能有效约束土体,防止坡面冲刷,同时为植被生长提供稳定环境;生态袋护坡使用聚丙烯生态袋,内装改良种植土,袋体间通过连接扣紧密拼接,堆叠高度可达3-5m,适用于陡坡防护,且生态袋可自然降解,后期与周边生态环境融合。(2)高分子材料应用:土工膜防渗选用高密度聚乙烯(HDPE)土工膜,厚度1.5-2.0mm,铺设时采用热熔焊接,焊接搭接宽度10-15cm,焊接强度不低于母材强度的80%,主要用于堤身防渗层与堤基截渗沟,渗透系数可降至 $1\times 10^{-12}\text{cm/s}$ 以下;复合土工织物结合土工膜与土工布优势,一面起防渗作用,一面起过滤、排水作用,常用于堤坡反滤层,替代传统砂石反滤料,减少工程量的同时提升反滤效果,避免管涌现象发生<sup>[3]</sup>。(3)3D打印技术在异形结构施工中的探索:针对堤防中弧形防渗墙、异形压顶等复杂结构,3D打印技术通过混凝土喷头按预设模型逐层打印,采用特种打印混凝土(初凝时间1-2h,28天抗压强度 $\geq 30\text{MPa}$ ),打印层厚5-10cm,打印速度20-30cm/min。该技术无需复杂模板,施工周期较传统工艺缩短40%,且结构尺寸精度误差 $\leq 3\text{mm}$ ,目前已在小型堤防试点应用,未来有望在异形防护结构中大规模推广。

## 2.3 智能化施工技术

(1)无人机巡查与监测:采用多旋翼无人机搭载高清相机与红外热成像仪,对堤防施工区域进行每周2-3次巡查,高清相机可识别坡面平整度、裂缝等外观缺陷,

红外热成像仪能检测混凝土浇筑层温度分布,及时发现温度异常区域;巡查数据实时传输至后台系统,自动生成巡查报告与缺陷标注图,相比人工巡查效率提升10倍,且能覆盖人工难以到达的陡坡、深沟区域<sup>[4]</sup>。(2)BIM技术在施工模拟与质量管理中的应用:施工前建立堤防三维BIM模型,将设计图纸、施工方案导入模型,进行施工工序模拟,提前发现工序冲突(如防渗层施工与堤体填筑的衔接问题),优化施工顺序;施工过程中,将压实度、混凝土强度等质量数据与BIM模型关联,通过手机APP实时上传检测结果,模型自动标注不合格区域,实现质量问题溯源与整改跟踪,质量管理效率提升50%以上。(3)物联网传感器实时监控系统:在堤体内部与地基中布设多种传感器,包括渗压计(监测堤身渗透压力)、沉降计(监测地基沉降)、钢筋计(监测混凝土结构内力),传感器数据通过LoRa无线传输技术实时上传至监控平台,平台设置预警阈值(如渗压超设计值10%时触发预警),一旦数据异常,立即推送预警信息至管理人员手机,实现堤防施工期与运行初期的全天候、自动化监控,有效防范安全风险。

## 3 水利工程中河道堤防施工技术问题与优化策略

### 3.1 现存问题分析

(1)施工质量不均:受施工人员操作规范性、机械性能差异及现场管控力度影响,堤防施工易出现质量不均问题。例如堤体土石方填筑时,部分区域因压路机碾压遍数不足(未达设计要求的6-8遍)、分层厚度超标(超过30cm),导致密实度低于标准值(黏性土需 $\geq 93\%$ ),形成局部薄弱环节,后期易因雨水渗透引发管涌、堤身沉降等隐患;此外,混凝土浇筑时若振捣不充分,易产生蜂窝、麻面,降低结构抗渗性与耐久性。(2)生态与工程目标的冲突:传统堤防施工多侧重防洪功能,常采用混凝土、浆砌石等刚性材料构建护坡,虽提升了抗冲刷能力,但阻断了水体与陆地的物质交换,破坏了水生生物栖息地。例如部分河道堤防为追求工程强度,大面积铺设混凝土护坡,导致沿岸植被消失、鱼虾产卵场所减少,引发河道生态系统退化;同时,施工过程中土方开挖、材料运输易扰动周边土壤与植被,加剧水土流失,与生态保护目标形成矛盾。(3)后期维护管理缺失:多数堤防工程重建设、轻维护,建成后缺乏完善的维护机制。一方面,维护资金投入不足,导致堤防出现裂缝、护坡松动等小问题时,无法及时修复,逐渐发展为重大安全隐患;另一方面,维护人员专业水平不足,难以精准识别堤防隐患(如隐蔽性渗流),且缺乏定期巡查制度,常出现“亡羊补牢”的被动维护局

面,降低堤防使用寿命与防洪安全性。

### 3.2 优化方向与建议

(1) 标准化施工流程与质量监管体系:制定统一的堤防施工操作手册,明确各环节技术参数(如填筑分层厚度、碾压遍数、混凝土振捣时间),规范施工人员操作;建立“施工单位自检+监理单位巡检+第三方机构抽检”的三级质量监管体系,引入智能压实监测仪、混凝土强度回弹仪等设备,实时采集质量数据,确保问题早发现、早整改;同时,加强施工人员培训,通过实操考核与技术交底,提升人员专业素养,从源头保障施工质量均匀性。(2) 生态友好型材料与工艺推广:优先选用生态护坡材料与工艺,如推广植草混凝土、生态袋、土工格室等,在满足工程强度的同时,为植被生长与生物栖息提供条件;例如在堤防护坡施工中,采用“混凝土框格+本土草种”的组合形式,既保证抗冲刷能力,又恢复沿岸植被覆盖;此外,优化施工工艺,减少生态扰动,如采用分段开挖、及时恢复植被的方式,降低施工对周边生态环境的破坏,实现工程功能与生态保护的协同<sup>[5]</sup>。(3) 智能化监测与预警系统集成:整合无人机巡查、物联网传感器、BIM技术,构建一体化智能监测平台。在堤防关键部位布设渗压计、沉降计、裂缝传感器,实时监测堤身渗透压力、沉降变形等数据;通过无人机定期航拍,结合AI图像识别技术,自动识别护坡破损、植被退化等问题;将监测数据与BIM模型关联,当数据超预警阈值(如渗压突增20%)时,系统自动推送预警信息至管理人员,实现隐患精准定位与快速响应,提升堤防安全管控效率。(4) 公众参与与长效维护机制:建立“政府主导+企业负责+公众参与”的长效维护机制,

明确各级主体维护责任,将堤防维护资金纳入财政预算,确保资金稳定投入;通过社区宣传、新媒体科普等方式,提升公众对堤防保护的认知,鼓励公众参与堤防巡查(如设立“堤防守护志愿者”队伍),及时反馈身边的堤防隐患;同时,定期向公众公开堤防维护情况,接受社会监督,形成全社会共同保护堤防的良好氛围,延长堤防使用寿命。

### 结束语

水利工程中河道堤防施工技术应用研究意义重大且成果显著。通过深入剖析各类施工技术,从传统工艺优化到新型材料、智能化技术的引入,有效提升了堤防的施工质量与防洪性能。同时,关注生态保护与后期维护,力求实现工程效益与生态效益的统一。未来,应持续创新施工技术,强化全生命周期管理,以更好地应对复杂水情与生态挑战,保障人民群众生命财产安全与区域生态稳定。

### 参考文献

- [1]张国瑛.河道堤防施工技术在水利工程中应用的分析[J].水上安全,2023,(16):181-183.
- [2]林观涛.水利工程河道堤防施工质量管理研究[J].工程技术研究,2023,8(21):132-134.
- [3]脱延龙.水利工程中河道堤防护岸工程施工技术探讨[J].水上安全,2023,(12):178-180.
- [4]胡涛.水利工程河道堤防施工要点及质量控制分析[J].工程技术研究,2023,8(17):138-140.
- [5]李金妹.河道堤防施工技术在水利工程中的应用分析与探讨[J].水上安全,2025,(01):157-159.