

水利工程中的堤防设计与施工技术研究

顾浩然¹, 孙新², 孙思³, 李毅⁴, 梁骏宇⁵

- 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000
- 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000
- 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000
- 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000
- 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

摘要 : 堤防设计与施工技术在水利工程中起着至关重要的作用。随着气候变化和城市化进程的加速, 堤防面临的挑战愈加复杂。先进的设计方法和施工技术能够有效提高堤防的抗洪能力和耐久性。通过对堤防设计原理、施工技术及其应用实例的分析, 探讨了近年来堤防设计与施工中的新进展, 包括材料选择、施工工艺优化以及智能监测系统的应用。这些技术的融合有助于提高堤防系统的整体性能, 确保防洪安全和长期稳定性。

关键词 : 堤防设计; 施工技术; 防洪安全; 材料选择; 智能监测

Research on Dike Design and Construction Technology in Hydraulic Engineering

Gu Haoran¹, Sun Xin², Sun Si³, Li Yi⁴, Liang Junyu⁵

- Huai'an Water Resources Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
- Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
- Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
- Huai'an Water Resources Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000
- Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223000

Abstract : Dike design and construction technology play a crucial role in hydraulic engineering. With climate change and accelerated urbanization, the challenges faced by dikes have become increasingly complex. Advanced design methods and construction techniques can effectively improve the flood resistance and durability of dikes. Through the analysis of dike design principles, construction techniques, and application examples, this paper explores recent advancements in dike design and construction, including material selection, optimization of construction processes, and the application of intelligent monitoring systems. The integration of these technologies helps to improve the overall performance of the dike system, ensuring flood control safety and long-term stability.

Keywords : dike design; construction technology; flood control safety; material selection; intelligent monitoring

引言

堤防作为水利工程中的关键设施, 对保护人们生命财产安全至关重要。然而, 随着极端天气频发和城市化速度加快, 传统的堤防设计与施工方法已难以应对复杂的挑战。现代堤防工程不仅要求提升防洪能力, 还需兼顾环境适应性和经济效益。为应对这些需求, 设计与施工技术的创新显得尤为重要。通过深入探讨先进的设计理念、材料应用及施工技术, 可以显著提升堤防系统的性能和稳定性, 从而保障防洪安全。这一领域的技术进步正成为未来水利工程设计的重中之重。

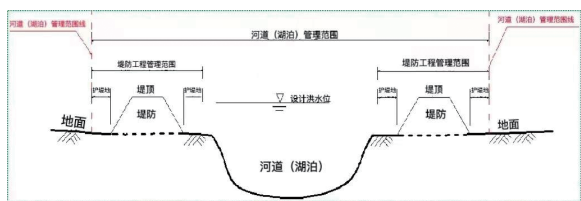
一、堤防设计原理与方法概述

1. 堤防设计原理

堤防设计的核心在于保证其对抗洪水的能力, 并确保在各种自然条件下的稳定性。设计过程中首先需了解堤防所处的环境, 包括河流流量、土壤性质、气候条件等因素。经典的堤防设计原

理包括稳定性分析、抗洪能力评估和结构安全性检验。稳定性分析主要考察堤防在洪水、雨水渗透及土壤压力作用下的稳定性, 确保其不会发生滑坡或沉陷。抗洪能力评估则需结合历史洪水数据及气候变化趋势, 合理设定堤防的防护高度和宽度。此外, 结构安全性检验包括对堤防材料的强度和耐久性的评估, 保证其在长期使用中的稳定性。如图1所示。

> 图1 堤防河道设计管理范围



2. 新型材料与设计方法

随着科技的发展,新型材料的出现为堤防设计带来了革命性的变化。这些材料具有更高的强度、更好的耐久性和更低的维护成本。例如,聚合物土工合成材料(如土工布和土工格栅)具有优良的土壤加固和水流控制能力,有效提升了堤防的稳定性和使用寿命。新型混凝土和高强度钢材的应用也显著提高了堤防的抗冲刷和抗压能力。在设计方法上,计算机模拟技术和有限元分析方法被广泛应用,以实现更精确的设计和优化。通过对堤防系统进行全方位的模拟和分析,可以识别潜在的薄弱环节并进行改进,从而提升堤防的整体性能^[1]。

3. 施工技术创新

堤防的施工技术是实现设计目标的关键环节。传统的施工方法包括土方施工、混凝土浇筑和防渗层铺设,但现代施工技术在材料处理和施工工艺上有了显著进步。例如,机械化施工和自动化设备的应用提高了施工效率和精度。新型施工技术如深层搅拌法和喷射混凝土技术可以有效改善土体的强度和稳定性。此外,施工过程中实时监测和控制技术的应用可以实时跟踪施工质量和进度,确保施工过程的安全和堤防的最终效果。通过这些技术创新,堤防的施工过程变得更加高效、可靠,进一步提升了堤防的防洪能力和耐用性^[2]。

二、新型材料在堤防设计中的应用与优势

1. 新型土工合成材料的应用

新型土工合成材料在堤防设计中发挥了重要作用。土工合成材料包括土工布、土工格栅、土工膜等,这些材料具有优良的物理和化学特性,能够显著提升堤防的稳定性和耐久性。土工布主要用于加固土体,提高土体的抗剪强度和稳定性,尤其在软土和不均匀地基中表现出色。土工格栅则通过其网状结构将土体的应力分散,增强土体的承载能力和稳定性,适用于堤防的加固和扩建项目。土工膜具有良好的防渗性能,可用于堤防的防渗层,防止水体渗透引起的堤防破坏。新型土工合成材料的应用不仅提高了堤防的功能性,还减少了施工时间和成本,提升了堤防的长期性能^[3]。

2. 高性能混凝土和增强钢材的优势

高性能混凝土(HPC)和增强钢材的使用是现代堤防设计的重要发展方向。高性能混凝土相比传统混凝土具有更高的抗压强度、抗渗透性和耐久性,能够有效应对复杂的环境条件和长期的水流冲刷。HPC中通常加入了高效减水剂和微细矿物掺合料,这些成分可以提升混凝土的密实度和抗化学侵蚀能力。增强钢材(如高强度钢筋)则提供了更大的承载能力和抗拉强度,适用于要求较高的结构设计。这些新型材料的应用使得堤防能够承受更大的荷载和更复杂的环境变化,提高了堤防的安全性和使用寿命。

3. 环保型材料的应用与可持续性

随着环保意识的增强,环保型材料在堤防设计中的应用越来越受到重视。这些材料不仅具有优良的工程性能,还符合可持续发展的要求。例如,利用回收材料制成的混凝土和土工合成材料可以减少资源消耗和环境污染。再生混凝土中的骨料来自建筑废料,减少了对自然砂石资源的依赖,降低了碳排放。绿色施工技术如低碳材料的应用和施工过程中的节能措施也在堤防工程中得到推广。这些环保型材料和技术的使用不仅减少了对环境的负面影响,还提升了堤防工程的社会效益和可持续性,符合现代水利工程的发展趋势。

三、施工技术的创新与优化策略

1. 机械化施工与自动化技术的应用

机械化施工与自动化技术的引入显著提升了堤防建设的效率和精度。传统堤防施工依赖人工操作,效率较低且容易受到人为因素的影响。现代机械化施工技术,如挖掘、推土、压实和混凝土搅拌车的应用,使土方施工和混凝土浇筑过程更加高效。自动化技术的应用则进一步提高了施工精度和质量。自动化水平测量系统、数字化控制设备和无人机监测系统可以实时跟踪施工过程,确保施工参数的精确控制^[4]。这些技术不仅加快了施工进度,还减少了施工误差,降低了人工成本和安全风险,使堤防施工更加科学和可靠。

2. 施工工艺的优化与创新

施工工艺的优化与创新是提高堤防施工质量和效率的重要手段。新型施工工艺如深层搅拌法、喷射混凝土技术和超高压水射流技术被广泛应用于堤防工程中。深层搅拌法通过在土体中引入水泥浆或其他固化剂,改善土体的强度和稳定性,特别适用于软土和不良地质条件。喷射混凝土技术则通过高压喷射混凝土层,增强堤防表面的强度和耐磨性。这些新工艺可以有效应对复杂的地质条件和恶劣的环境因素,提高堤防的结构强度和使用寿命。此外,采用模块化施工技术将施工过程分解为多个标准化模块,可以进一步提高施工效率和质量,缩短工期,降低工程成本^[5]。

3. 实时监测与控制技术的应用

实时监测与控制技术在堤防施工中的应用有助于提高施工质量和安全性。传统施工方法中,施工质量往往难以实时掌握,容易出现隐患。现代实时监测技术通过安装传感器和监测设备,可以对堤防施工过程中的关键参数进行实时监控。这些监测设备包括土壤压力传感器、水位监测仪、位移传感器等,可以实时反馈堤防的变形、渗水和应力状态。通过数据分析和处理,施工管理人员可以及时发现潜在问题,并采取相应措施进行调整。这种实时监控和控制技术不仅提高了施工的安全性,还保证了堤防工程的整体质量,确保施工过程符合设计要求和标准^[6]。

四、智能监测系统在堤防工程中的应用

1. 智能监测系统的组成与功能

智能监测系统在堤防工程中的应用涵盖了多个组成部分,包

括传感器、数据采集系统和数据分析平台。传感器是智能监测系统的基础，负责实时监测堤防的各种环境和结构参数，如土壤湿度、压力、位移和水位。这些传感器通常分布在堤防的关键部位，通过无线网络或有线连接将数据传输到中央数据采集系统。数据采集系统负责汇总来自不同传感器的数据，并进行初步处理。数据分析平台则利用大数据分析和人工智能技术对采集到的数据进行深入分析，识别潜在的风险因素和异常变化。这些智能监测系统能够实现对堤防状态的实时跟踪和动态评估，从而提升对堤防健康的理解，支持早期预警和及时维护^[7]。如表1所示。

表1 智能监测系统在堤防工程中的应用

组件	功能描述	应用案例
传感器	实时监测环境和结构参数，如土壤湿度、压力、位移和水位。	堤防关键部位安装，实时数据传输。
数据采集系统	汇总不同传感器的数据，并进行初步处理。	中央系统处理来自各传感器的数据，为分析平台提供数据输入。
数据分析平台	利用大数据和人工智能技术深入分析数据，识别风险因素和异常变化。	分析堤防数据，支持早期预警和堤防健康评估。

2. 智能监测系统的优势与应用效果

智能监测系统在堤防工程中的应用具有显著的优势。首先，实时监测能够快速发现堤防结构中的潜在问题，如裂缝、位移或渗漏现象，避免了传统方法中的被动检测和滞后响应。这种早期预警能力能够帮助工程管理人员在问题初期采取措施，防止小问题演变为严重的结构破坏。其次，智能监测系统提供的数据分析能力可以精确预测堤防的性能变化趋势，优化维护计划，减少维护成本。通过对长期监测数据的积累，系统还能够对堤防的长期行为进行评估，为未来的设计和建设提供数据支持。

3. 实际应用案例与未来发展方向

在实际应用中，智能监测系统已经在多个大型堤防工程中得到广泛应用。例如，在某些地区的河道堤防工程中，采用了基于无线传感网络的智能监测系统，实时监测堤防的水位、压力和位移，成功预警了几次潜在的洪水风险。这些应用案例表明，智能监测系统能够有效提升堤防的安全管理水平^[8]。未来，智能监测系统的发展将趋向于更加智能化和集成化。随着传感器技术、数据处理能力和人工智能算法的不断进步，未来的智能监测系统将能够实现更加精细和全面的监控功能。

五、堤防设计与施工技术的未来发展趋势

1. 高度集成的设计与施工技术

未来堤防设计与施工技术将趋向于高度集成化，融合先进的设计理念和施工技术。集成化设计方法不仅关注堤防结构的稳定性和功能性，还将综合考虑环境保护、施工效率和经济成本。在设计阶段，集成化设计工具如计算机辅助设计（CAD）和建筑信息模型（BIM）将被广泛应用，这些工具能够在设计初期进行虚拟仿真和全生命周期分析，优化设计方案。施工阶段，集成化施工技术包括模块化施工、预制装配和机械化施工等，将提高施工效率和质量，缩短工期。

2. 智能化与自动化施工技术

智能化与自动化施工技术将成为未来堤防工程的重要发展方向。智能化施工技术通过引入无人机、自动化设备和实时监测系统，提高施工精度和效率。无人机可以进行高精度的地形测绘和施工监控，自动化设备如智能挖掘机和混凝土浇筑机器人能够完成精细施工任务，减少人工操作的误差和风险。同时，实时监测系统能够实时反馈施工质量和进度，确保施工符合设计标准。未来，智能化施工技术将与人工智能（AI）和大数据分析深度融合，进一步提升施工的智能化水平，实现动态调整和优化^[9]。

3. 可持续性与环境友好的技术

随着环保意识的增强，未来堤防设计与施工将更加注重可持续性与环境友好技术的应用。可持续设计理念将被广泛采纳，包括使用环保型材料、再生资源 and 低碳施工技术。例如，采用回收材料制成的混凝土和土工合成材料可以减少资源消耗和环境污染。绿色施工技术如减少施工过程中的废弃物、降低能源消耗和碳排放也将成为标准实践^[10]。此外，堤防工程设计将更加注重生态保护和环境修复，考虑对当地生态系统的影响，设计生态友好的堤防系统。这些发展将使堤防工程不仅具备高效的防洪功能，还能够实现与自然环境的和谐共生。

六、结语

未来堤防设计与施工技术将迎来全面创新与升级。集成化设计与施工方法将提升工程效率与质量，确保堤防系统在复杂环境下的稳定性和可靠性。智能化与自动化技术的应用将进一步提高施工精度和实时监控能力，减少人为误差，提升安全性。而可持续性与环境友好技术的推广，将使堤防工程更加符合现代环保要求，实现经济效益与生态保护的双赢。这些发展趋势不仅将推动堤防工程的技术进步，也将为未来的水利工程建设提供更为科学、智能和环保的解决方案。随着技术的不断进步，堤防工程的安全性、可靠性和可持续性将得到更高水平的保障，为社会的安全与发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 梁新平. 浅析新疆墨玉县防洪工程中的堤防设计[J]. 水利规划与设计, 2013(07): 53-56.
- [2] 钟水荣. 试析水利工程建设中生态堤防设计[J]. 科技展望, 2015, 25(14): 107.
- [3] 于琦. 水利工程建设中生态堤防设计研究[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(20): 112-113.
- [4] 尹海涛. 水利工程建设中生态堤防设计研究[J]. 工程技术研究, 2018(07): 216-217. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2018.07.102.
- [5] 韩庚宝, 邓俊辰. 水利工程建设中生态堤防设计研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(21): 170. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201821140.
- [6] 高裕鸿. 生态堤防设计在水利工程中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2019, 48(03): 5-6.
- [7] 韩俊丽, 唐爽. 水利工程中生态堤防设计的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2019(25): 52. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.201925047.
- [8] 曹洋, 陈国存, 严嘉华. 水利工程建设中生态堤防设计探析[J]. 珠江水运, 2020(12): 3-4. DOI: 10.14125/j.cnki.zjsy.2020.12.001.
- [9] 范茂雷. 水利工程建设中生态堤防设计[J]. 中国科技投资, 2021(10): 152-153.
- [10] 善小平. 水利工程中堤防加固工程设计策略研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(16): 202-204. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202416067.