

水利工程堤防加固设计与效果评估

张玉珂

重庆市水利电力建筑勘测设计研究院有限公司, 中国·重庆 401120

摘要: 论文旨在探讨水利工程中堤防加固的设计方法及其效果评估, 通过对当前堤防加固技术的研究和分析, 提出一套科学、合理的设计流程, 并通过案例分析验证其有效性和可行性。堤防作为抵御洪水侵袭的第一道防线, 在保护人民生命财产安全方面发挥着至关重要的作用。随着气候变化和极端天气事件频发, 加强堤防建设成为当务之急。
关键词: 水利工程; 堤防加固设计方法; 效果评估

Design Method and Effect Evaluation of Embankment Reinforcement in Water Conservancy Engineering

Yuke Zhang

Chongqing Water Resources and Electric Power Building Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Chongqing, 401120, China

Abstract: This paper aims to explore the design methods and effectiveness evaluation of embankment reinforcement in hydraulic engineering. Through research and analysis of current embankment reinforcement technologies, a scientific and reasonable design process is proposed, and its effectiveness and feasibility are verified through case analysis. As the first line of defense against flood invasion, embankments play a crucial role in protecting people's lives and property safety. With climate change and frequent extreme weather events, strengthening embankment construction has become an urgent task.

Keywords: water conservancy engineering; design method for embankment reinforcement; effect evaluation

0 前言

近年来, 全球气候异常变化加剧, 极端降水事件增多, 给水利设施带来了前所未有的挑战。其中, 堤防的安全性直接关系到下游地区的防洪能力。因此, 对现有堤防进行加固改造, 提高其防御标准, 是保障经济社会稳定发展的重要举措之一。

1 堤防加固设计方法

地质条件的详细调查与分析是堤防加固设计的基础环节。这一阶段的主要任务是对堤防所在区域进行全方位的地质勘查工作, 重点考察土质分类、地下水动态变化规律、地表水系分布格局以及潜在的不良地质作用(如滑坡、崩塌、溶洞等), 以便后续设计能够有针对性地规避风险。具体来说, 通过钻探取样、现场测试和室内实验相结合的方式, 可以获得第一手的数据资料, 如土壤颗粒组成、孔隙比、塑限指数、压缩模量、渗透系数等, 这些都是决定堤体稳定性的核心参数; 同时, 利用地球物理学探测仪器, 如地震反射波速扫描、电磁感应成像等先进技术, 也能清晰揭示深部结构特征和含水层空间位置, 为进一步优化设计方案奠定坚实的信息基础。水文资料的收集与分析同样不可或缺, 它直接关系到堤防能否经受住极端气候条件下的考验。在此期间, 技术人员需要广泛搜集整理历年来的气象水文记录, 特别是那些

关于降雨量分布、蒸发散逸量、河道流量变化曲线等方面的详尽图表, 从中提炼出反映水循环规律和洪水发生概率的核心统计指标。有了这些宝贵信息作指导, 便可以科学地推算出适用于本工程的设计洪水标准, 即一个具有一定可靠度阈值(如百年一遇、千年一遇)的大致峰值流量值, 用于校核堤防主体结构是否足够强大, 足以抵挡预期范围内的水力冲击而不至于溃决。基于前面两步获得的丰富背景知识, 接下来便是运用现代计算力学理论, 开展精细化的结构稳定性计算作业。目前主流的方法有两种: 一是有限元法(FEM), 它能够模拟复杂边界条件下的应力场和位移场分布, 适合处理非线性材料行为和几何形态变异问题; 二是极限平衡法(LBM), 主要侧重于求解简单平面问题, 优点是计算速度较快但精度相对较低些。无论是哪种算法, 都需要预先建立完整的数学模型, 包括但不限于单元划分网格细化程度、接触界面摩擦角设定、荷载组合模式选择等细节参数, 只有这样才能确保最终得出的结果既准确又可信。材料选择与配比优化是确保堤防加固工程质量和经济效益双丰收的前提条件。在这一过程中, 必须充分考虑各种候选物料的物理化学特性、市场供应情况以及施工便捷程度, 力求找到性价比最高、适用性最强的最佳组合方案。例如, 在混凝土拌合物设计中, 既要追求高强度、耐久性好, 又要兼顾流动性佳、硬化时间短, 这就需要反复调整水泥标号、细骨料粒级、添加剂种类的比例配方, 通过多次试验验证才能确定下来; 而

对于土工织物或复合材料的选择,则更多依赖于实地勘察结果,看哪些类型的产品最能满足特定环境下的防腐蚀、防老化需求。施工工艺与质量控制是贯穿整个工程建设周期的一项系统工程,它涉及了诸多专业领域和交叉环节,需要各方密切协作配合方能完成。为此,施工单位必须提前编制出详尽可行的作业计划书,明确定义各分项工程的操作规程、验收标准和时间节点安排,确保每一步骤都严格按照既定程序执行到位,不留死角。与此同时,还需要建立健全的质量监督机制,包括但不限于设立专职质检员岗位、实行第三方独立检测制度、推行信息化管理系统等措施,以便随时发现问题苗头并及时纠正偏差,防止重大事故的发生。

2 堤防加固常见措施

2.1 加高培厚

面对频繁而猛烈的自然灾害,尤其是水患频发的情况,堤防作为抵御洪灾的第一道防线显得尤为重要。其中,“加高培厚”是最常见且行之有效的堤防加固措施之一,它不仅能够显著增强堤防的抗洪能力,还有效提升了整个堤坝结构的安全性和耐久性。

2.1.1 基础准备与材料选择

实施“加高培厚”的第一步是彻底清理原有堤顶区域,移除所有阻碍施工的杂草、树木和其他障碍物,为后续作业创造一个干净平整的工作面。接下来便是关键性的材料选择环节。通常情况下,选用的填缝材料需具备良好的透水性能和稳定的力学性质,如砂质黏土、石粉或特定比例的混合料等,这些材料能够确保新建堤段具有较高的密实度和足够的承载力。

2.1.2 层层铺设与精细压实

在确定了合适的填充材料后,便进入到了核心阶段——分层铺设与压实。这一过程要求极为细致严谨,每一层填充材料都需按照设计厚度均匀摊铺,并采用专业的压实设备进行多次碾压,直至达到预定的密实标准。如此反复操作,直到堤身高程满足设计要求为止。这种逐层递进的方式不仅能有效避免因一次填充过厚而导致的内部空隙问题,还能使新添置的部分与原有堤身紧密融合,形成一个稳固的整体。

2.1.3 新旧衔接与细节处理

在加宽部分的建设中,特别需要注意新旧堤体间的平滑过渡,防止未来可能出现的不均匀沉降引发裂缝或其他结构性损坏。为此,在两者的接合部位往往会采用一系列特殊处理方法,包括但不限于交错叠砌、预留伸缩缝以及预埋连接钢筋等方式。这些技术手段旨在加强不同材料间相互作用,实现无缝对接的同时也增强了整个工程的抗震减灾能力。综上所述,“加高培厚”作为一种综合性的堤防加固策略,通过对堤身高度及宽度的有效扩展,不仅极大地提高了堤岸对自然环境变化特别是极端气候事件的适应性,同时也为周边居民提供了更为安全稳定的生活保障。当然,任何一项水

利工程的成功实施都需要科学谋划、精心组织和持续维护,唯有如此才能真正发挥出其应有的效能,成为人类智慧与自然和谐共生的美好见证。

2.2 背水坡防护

在河流治理与水利工程建设领域,堤防的背水面(即远离水流方向的一侧)往往面临着不同于迎水面的独特挑战,尤其在雨季和强风天气下更是首当其冲。因此,如何有效保护这部分区域,防止土壤侵蚀和结构破坏成为维持堤防长期稳定的关键课题。“背水坡防护”,正是围绕这一目标展开的系统化解决方案,它结合了现代科技与生态理念,旨在打造一道既坚固又可持续的天然屏障。

2.2.1 土工合成材料的应用

在众多防护措施之中,利用土工合成材料进行表层加固无疑是最具代表性和实用价值的技术路径之一。诸如聚酯无纺布、复合土工膜等高性能产品凭借其卓越的物理化学特性,在背水坡防护体系中扮演着至关重要的角色。一方面,它们可以有效阻隔水分渗透,减少雨水径流对土壤的直接冲击;另一方面,通过限制浅层植物根系的过度扩张,避免了由此带来的潜在损害,实现了堤面结构的持久稳固。此外,这类材料本身所具有的轻量化优势还有助于减轻堤体重负,进一步优化了整体安全性。

2.2.2 生态植被的植入

除了依靠人工制品提供即时保护之外,引入适应当地生态环境的本土植物亦是一种极具前瞻性的防护思路。例如,柳树、芦苇、狗牙根等物种因其旺盛的生命力和深广的根系网络而被广泛应用于各类水土保持项目当中。相较于单纯依赖非生物手段,生态植被的介入不仅能够迅速恢复受损地表的自我修复机能,促进生态系统平衡发展;更重要的是,随着植被群落逐步成熟壮大,其所形成的绿带将如同一道坚不可摧的城墙,牢牢锁住宝贵的土地资源,大大降低了由自然因素引发的灾害概率。

2.2.3 综合管理与监测评估

然而,无论是采用何种形式的背水坡防护方案,后期管理和定期检查都是不可或缺的重要环节。其中包括对现有设施状态的密切监控,及时发现并解决可能存在的隐患问题;同时也要注意收集相关数据资料,不断总结经验教训,以便于适时调整优化策略布局。只有这样,我们才能确保每一份投入都能够产生最大化的效益,真正做到未雨绸缪、防患于未然。

2.3 基础加固

在堤防工程的设计与维护过程中,基础加固工作占据着举足轻重的地位。尤其是在地质条件复杂、地下水位较高或存在软土地基的情况下,若不采取有效措施予以应对,极有可能引发堤脚滑移、沉降变形乃至垮塌事故等一系列严重后果。鉴于此,探索合理高效的基础加固方案已成为确保堤防安全稳定运行的核心议题之一。

2.3.1 深层搅拌法——重塑土体结构

深层搅拌技术主要适用于处理淤泥、饱和粘土等低强度土层，其原理在于利用专用机械将水泥浆或石灰浆等固化剂均匀注入地基深处，促使原本松散的颗粒之间发生化学反应，从而形成具有一定强度和稳定性的复合体。这种方法不仅能够显著提升土层的抗剪切能力和渗透系数，还具备施工便捷、成本较低的优点，非常适合大规模应用推广。

2.3.2 高压旋喷注浆工艺——强化地基骨架

与深层搅拌相似，高压旋喷注浆同样属于原位改性加固范畴，但其适用范围更为广泛，涵盖了砂砾石层、碎石层甚至部分硬岩类介质。作业时，专业设备会在强大压力作用下将细小颗粒物质高速喷射至指定深度，并借助于旋转喷嘴实现三维空间内的全面扩散，最终生成致密结实的人工地基骨架。相比传统灌浆技术而言，该方法能够更有效地控制注浆量及扩散半径，确保加固效果更加均匀一致。

2.3.3 锚杆支护系统——锁定潜在危机

针对某些地形地貌异常恶劣、常规加固手段难以奏效的情形，锚固技术无疑是最佳解决方案。通过预先钻孔并在其中植入特制钢缆或螺栓，再配合外露端头的紧固装置共同发挥作用，锚杆能够将上部荷载传递至深层稳定岩层，形成牢固可靠的约束机制。尤其在防治边坡坍塌、山体滑坡等方面表现突出，为处于险要地段的堤防构造起了一道坚不可破的防线。

2.4 排水系统完善

排水系统完善的目的在于排除积水，减少堤体内水分含量过高所引发的各种病害现象，尤其是对于那些位于低洼地带、常年湿润的河流湖泊周边，如果没有有效的排泄途径，那么即使最坚固的堤坝也可能因为内部渗漏而失去效力。因此，在设计初期就需要充分考虑地形地貌特征，合理规划截洪沟、导流墙、集水坑等一系列辅助构造物的位置和规模，确保能够在汛期到来之前快速疏导过境水量，减轻主堤负担。同时，还应当定期清理淤塞物，检查管道接口密封性，必要时增设抽水泵站等设施，以维持整个排水网络的畅通性和高效性。

3 效果评估

3.1 物理模型试验

物理模型试验是在实验室环境下，按照一定比例缩小实际工程尺寸，精确复制地质结构、水流条件等关键要素的一种科学研究方法。通过构建模拟堤防的实体模型，科研人员能够直观观察和测量加固前后堤防的各项力学特性，如抗压强度、渗透系数、稳定性等。例如，在加载实验中，可以模拟暴雨引发的瞬时高水位，或者长时间浸泡造成的饱和状态，以此检验堤防结构的耐久性和变形恢复能力。此外，通过对比未加固与加固后模型的表现，可以量化加固措施的实际效能，为设计改进和技术优化提供实证支持。

3.2 数值仿真分析

数值仿真分析则是借助计算机技术和专业建模软件，如 FLAC3D、COMSOL Multiphysics 等，创建与实际工程相匹配的虚拟环境，从而进行更为深入细致的研究。这种方法不仅能够重现复杂的自然现象，如洪水漫溢过程中的非线性动力学效应，还能预测在特定灾害情景下堤防可能遭受的最大破坏程度，为应急准备和风险防控提供决策依据。更重要的是，通过改变模型中的变量设定，如堤体材料属性、加固层厚度等，可以高效筛选出最优设计方案，避免传统试错法带来的资源浪费。

3.3 长期监测与维护

长期监测是指在堤防加固工程完成后，持续跟踪记录其运行状态，以便及时发现任何细微的变化趋势或异常信号。这通常涉及安装一系列自动化传感器网络，涵盖地面位移计、水位观测井、应力应变仪等多种设备，它们能实时传输数据至中央监控平台，形成全面而系统的健康档案。基于这些信息，维护团队能够迅速识别潜在的风险隐患，采取预防性维修措施，而非等到严重故障发生才被迫应对，从而大大延长整个工程的使用寿命。

3.4 社会经济效益评价

社会经济效益评价是一项综合性强的工作，它不仅衡量项目的直接成本与收益，还要充分考虑到间接影响和长远利益，如生态环境修复、居民生活质量提升等方面。在计算投资回报率时，除了常规的财务指标外，还应引入多维度分析，如减少洪水灾害造成的经济损失、促进沿岸土地开发和旅游业增长等。尤其对于那些具有重要生态功能的河湖流域而言，堤防加固不仅仅是简单的基础设施升级，更是一种可持续发展的战略抉择，它的成功与否直接影响着周边社区乃至整个国家的发展前景。

4 结语

堤防加固不仅是工程技术问题，更是社会经济发展战略的一部分。通过科学合理的加固设计，可以显著提升堤防抵御自然灾害的能力，为沿线地区提供更加稳固的安全屏障。未来研究应进一步探索新材料、新技术的应用，以及如何将智能化管理手段融入日常运维中，以实现更高水平的防洪安全保障。

参考文献：

- [1] 罗操,白雪彬,何孝龙.防渗截渗技术在水利工程堤防加固处理中的应用[J].水电站机电技术,2023,46(2):94-97.
- [2] 黄进华.防渗截渗技术在水利工程堤防加固处理中的应用探讨[J].治淮,2024(8):53-55.
- [3] 丛榕.沐河上游堤防加固截渗工程方案比选[J].山东水利,2020(11):11.

作者简介：张玉珂（1991-），男，中国重庆人，本科，工程师，从事水工结构研究。