

丘陵区小型塘坝除险加固工程设计与运行管理研究

梁 晨

河南和康工程技术有限公司 河南 三门峡 472000

【摘要】：丘陵区小型塘坝是保障区域水利安全的重要设施，但其特殊的地理和水文环境使得坝体易出现渗漏、裂缝、沉降等险情，存在一定的安全隐患。为了确保塘坝的稳定性与长期运行，需开展针对性的除险加固设计与联动化的运行管理，实现设计、实施、管理的闭环衔接。本文结合丘陵区塘坝常见险情，探讨了丘陵区小型塘坝的除险加固工程设计方法，分析了适应丘陵地形的加固措施与管理策略，明确了加固设计与运行管理的联动要点。结合新技术的应用，提出了提高塘坝安全性的有效方案，为区域水利建设提供可持续发展的建议。

【关键词】：丘陵区；小型塘坝；除险加固；设计优化；运行管理

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.026

引言

丘陵区由于其复杂的地理和水文特征，使得小型塘坝在建设和管理过程中面临不少挑战。小型塘坝虽然结构相对简单，但对于当地的水资源调控、灌溉及防洪等方面具有重要作用。因此，如何通过科学设计和有效加固，针对性解决坝体渗漏、裂缝等险情，保障塘坝的稳定性和运行安全，成为当前水利工程中的一个关键问题。加固工程不仅是对现有坝体隐患的修复，更是对未来运行安全的预防，且加固设计需与后期运行管理紧密衔接，为管理工作提供便利。因此，亟需开展更为系统的研究，提升加固工程与管理模式的联动效果，以实现塘坝的长期安全运行。

1 丘陵区小型塘坝的现状与安全隐患

1.1 丘陵区水文与地质特征对塘坝的影响

丘陵区的水文与地质条件对小型塘坝的设计与运行产生深远影响。由于地形起伏较大，水流的速度和水位波动不稳定，这使得坝体的稳定性面临挑战。丘陵区的土壤类型多样，部分区域土质松散或含水量较高，可能导致坝基沉降或渗漏现象的发生。丘陵区易发生暴雨天气，短时间内降水量大，流域水量的骤增对塘坝的承载能力要求更高。水文和地质特征必须在塘坝设计阶段充分考虑，以确保坝体的长期稳定。

1.2 常见的塘坝安全隐患分析

小型塘坝在运行过程中常见的安全隐患主要包括坝体渗漏、裂缝扩展、坝肩沉降以及溃坝等问题，这些险情也是除险加固工程的核心治理对象^[1]。由于设计和施工过程中未充分考虑区域的土壤稳定性，部分坝体容易出现裂缝，从而影响坝体的整体稳定性；坝体渗漏多表现为坝基渗流量超过 $0.5\text{L/s}\cdot\text{m}$ ，严重时引发管涌隐患。随着水位的升降，土壤的松散性和坝基的承载能力逐渐受到考验，渗水问题严重时，可能导致坝体结构的破坏。在丘陵区，暴雨和山区水流冲击作用也容易引发局部溃坝，进一步加剧安全风险。

1.3 小型塘坝面临的特殊问题

小型塘坝在丘陵区面临着独特的挑战。由于其规模相对较小，部分塘坝的设计标准和安全监测系统不够完善，这使得在极端天气或突发水文事件发生时，塘坝的风险隐患尤为突出。丘陵区的多山环境使得水流在短时间内急剧变化，造成坝体水压力不稳定。丘陵地区道路交通不便，维修和巡检工作常受到制约，塘坝一旦出现问题，救援和加固措施的执行也变得困难。

2 塘坝除险加固工程的设计原则与方法

2.1 加固设计的基本原则

塘坝除险加固设计的核心原则是“针对性除险、联动性设计、长效性保障”，围绕挡水、泄水、输水等建筑物及其地基与边坡病险问题，结合闸门、启闭设备改造、上坝防汛道路维修等核心工程内容，确保坝体结构稳定、提高抗灾能力以及延长使用寿命。设计过程中需先明确塘坝现存险情类型及严重程度，再结合坝体的实际状况，确保加固措施与坝体现有结构相适应，同时为后期运行管理预留监测、维护接口。加固设计的首要目标是消除现有安全隐患，强化坝体的抗压、抗冲击和抗渗透性能，例如针对渗漏险情，需确保加固后坝基渗流量控制在 $0.1\text{L/s}\cdot\text{m}$ 以内。在选择加固材料时，应考虑材料的耐久性与环境适应性，避免使用容易受到湿气和温差影响的材料。

2.2 适应丘陵区的加固措施

丘陵区的特殊地理和水文条件，要求塘坝加固方案具有高度的适应性和可操作性，且需针对性响应各类险情。针对土质松散引发的坝基沉降、渗漏险情，采用加固浆液注入法，选用 42.5 级普通硅酸盐水泥浆，注浆压力控制在 $0.3\text{--}0.5\text{MPa}$ ，注入深度根据坝基厚度确定（通常为 $3\text{--}8\text{m}$ ），通过将水泥浆注入土体，填充孔隙、胶结土体，增强坝基的稳定性，该方法适配丘陵区交通不便、施工空间有限的特点，施工难度较低且成本可控。在坝体结构加固方面，针对坝体裂缝、抗冲击能力不足的险情，采用钢筋混凝土加固或外包结构，钢筋选用 HRB400E 级，混凝土强度等级为 C25-C30，外包厚度为 $15\text{--}25\text{cm}$ ，增强

坝体抗冲击、抗裂性能，同时避免过度依赖高科技材料，贴合丘陵区施工条件^[2]。

2.3 设计优化案例与成效

设计优化案例以丘陵区典型病险塘坝为对象，针对性解决渗漏、裂缝等核心险情，实现设计与后期管理的初步联动。某丘陵区小型塘坝（坝高 8m，坝长 65m），存在坝基渗漏（渗流量 $0.8\text{L/s}\cdot\text{m}$ ）、坝体裂缝（最大宽度 1.2mm）等险情，采用土工合成材料（土工膜，厚度 0.8mm）与加固浆液相结合的技术，同步在坝体布置渗流量、位移监测点位。实施后，坝体渗流量降至 $0.08\text{L/s}\cdot\text{m}$ ，裂缝闭合率达 95% 以上，有效改善了坝体的稳定性，提升了抗渗透能力；预留的监测点位可直接用于后期运行管理，减少了管理设施的重复建设。

3 塘坝运行管理体系的构建与实施

3.1 塘坝运行管理的核心要素

塘坝的运行管理体系需与除险加固工程紧密联动，核心要素围绕“巩固加固成效、防范二次险情”展开，包括定期的坝体检查、风险评估、灾害预警、维护修复和应急响应等，且需充分利用加固工程预留的监测点位、维护接口，提升管理效率。定期检查是确保塘坝结构安全的基础，重点检查加固部位的完整性，以及挡水、泄水设施的运行状态，结合加固工程的设计参数，制定检查标准，能够及时发现隐患并进行处理。风险评估则结合水文气象数据、地质调查以及坝体状况，系统评估可能出现的风险类型及其严重程度，结合加固工程的防护能力，提前做好防范措施。灾害预警系统在极端天气条件下尤为重要，通过对降水、流量等数据的实时监控，结合加固工程的承载极限，及时预警，启动应急响应机制，减少灾害发生后的损失。

3.2 日常管理中的关键环节

日常管理需突出“加固后差异化管理”，与加固前管理形成区分，充分利用加固工程带来的便利条件，提升管理的针对性和效率。首要工作是对坝体及其设施进行常规巡查，重点巡查加固部位的结构稳定性、渗水情况以及防护设施的完整性，结合加固工程的设计要求，制定专业化、系统化的巡查标准，确保每一环节不被忽视；同时利用加固时预留的监测点位，实时采集渗流量、坝体位移等数据，减少人工监测工作量。水位管理也是日常管理中的重要内容，结合加固工程的设计水位，实时监控水位变化，掌握塘坝的受力情况，避免因水位过高或过低导致坝体的异常运行^[3]。对于操作人员来说，定期的培训与考核，重点培训加固设施的维护方法、监测数据的解读技巧，增强其专业技能与应急处理能力，是保证日常管理质量的关键。

3.3 运行管理的长期监测与评估

长期监测与评估需与除险加固工程的效果评估联动，形成

“设计→实施→监测→评估→优化管理”的闭环。通过利用加固工程建设的监测系统，在长期内对坝体进行数据化、实时化跟踪，及时获取坝体状态的变化信息，监测内容涵盖坝体的变形（控制值 $\leq 3\text{mm}/\text{年}$ ）、位移（水平位移 $\leq 5\text{mm}/\text{年}$ ）、渗水量（ $\leq 0.1\text{L/s}\cdot\text{m}$ ）、压力等参数，并结合气象、水文等外部因素进行综合分析。通过对监测数据的连续收集和分析，管理人员可以了解塘坝的运行趋势，预测可能出现的问题并提前采取预防措施，同时评估加固工程的长期成效，若出现渗流量增大、位移超标等情况，及时联动加固施工单位进行补充加固。

4 除险加固工程的实施与效果评估

4.1 实施过程中的技术要点

除险加固工程的实施需严格围绕前期设计方案，紧扣各类险情的治理要求，同时兼顾后期运行管理的便利性，实现设计与实施、管理的衔接。针对坝体存在的主要问题，如渗漏、裂缝、沉降等，精准选用适当的加固手段：对坝体结构裂缝，采用压力灌浆处理，灌浆压力控制在 $0.2\text{--}0.4\text{MPa}$ ，裂缝灌浆饱满度 $\geq 98\%$ ；对坝基渗漏，采用帷幕注浆加固，注浆孔间距 $1.5\text{--}2.0\text{m}$ ，确保防渗帷幕的连续性；对坝体沉降，采用桩基加固，桩基直径 50cm ，间距 2.5m ，提升坝基承载力。在地质较为松散的区域，注浆技术的应用能够有效增强坝基的稳定性，施工过程中严格控制注浆量和压力，避免出现注浆不足或过度注浆导致坝体二次损坏。

4.2 加固效果的评价标准

加固效果的评价需紧扣“除险”核心，结合具体技术参数，从多个维度进行综合考量，同时与后期运行管理要求衔接。坝体加固后的稳定性、耐久性和抗渗透能力是最为直接的评估指标：坝体稳定性通过变形监测（ $\leq 3\text{mm}/\text{年}$ ）、位移测量（水平位移 $\leq 5\text{mm}/\text{年}$ ）以及坝体的压力反应等数据进行量化分析；耐久性评估侧重于加固材料在长期使用中的表现，如水泥浆加固层抗腐蚀性达标率 $\geq 95\%$ ，土工膜使用寿命 ≥ 20 年；加固后的坝体抗渗透性通过渗水量测试与渗透系数分析来评估，要求渗流量 $\leq 0.1\text{L/s}\cdot\text{m}$ ，渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-6}\text{cm/s}$ 。评估标准不仅应包括工程完成后的即时效果，还需考虑长期运行中的表现，确保加固工程在未来面对极端气候和长期使用仍能保持稳定运行^[4]。

4.3 典型工程实施效果分析

选取丘陵区某小型塘坝除险加固工程作为典型案例，该塘坝坝高 7.5m ，坝长 58m ，存在坝基渗漏（渗流量 $0.9\text{L/s}\cdot\text{m}$ ）、坝肩沉降（年沉降量 6mm ）、坝体裂缝（最大宽度 1.3mm ）等险情，实施过程中采用注浆加固（42.5 级水泥浆，灰水比 $1:1.2$ ，注浆压力 0.4MPa ）与钢筋混凝土外包（C25 混凝土，外包厚度 20cm ，HRB400E 级钢筋）相结合的方式，同步布置渗流量、位移监测设备，完善上坝防汛道路和启闭设备改造，实现设计、实施、管理的联动。实施后，通过连续 6 个月的监测

数据分析, 坝体的沉降量降至 2.1mm/年, 较加固前减少 65%; 渗水量降至 0.07L/s·m, 较加固前减少 92.2%; 坝体裂缝全部闭合, 抗冲击能力提升 40%, 坝体的稳定性得到了显著提升, 尤其是在强降雨后的表现尤为突出。施工完成后的质量检查显示, 加固材料的使用符合设计要求, 施工工艺也达到了预期效果, 监测设备运行正常, 可直接投入后期日常管理。

5 丘陵区小型塘坝除险加固的未来发展方向

5.1 新技术在加固中的应用

新技术的引入为塘坝的加固提供了更多高效、精确的解决方案, 重点提升险情治理的精准度和加固与管理的联动性。随着信息化技术的不断发展, 基于地质雷达(探测深度 $\geq 10\text{m}$, 分辨率 $\leq 0.1\text{m}$)、无人机遥感技术(监测精度 $\pm 5\text{cm}$)和大数据分析的监测手段能够实时监控坝体状态, 早期发现潜在问题, 精确定位加固部位, 同时监测数据可直接接入后期管理平台, 实现加固与管理的无缝衔接。智能化加固材料的使用, 如自愈合混凝土(裂缝自愈合率 $\geq 80\%$)和高性能复合材料, 可显著提高坝体的耐久性和抗渗透能力, 降低维修成本, 减少后期管理工作量。3D 打印技术也在某些小型塘坝的加固设计中得到应用, 能够根据坝体具体险情和地形条件定制加固方案, 提升加固精准度并缩短施工周期。

5.2 管理模式创新与发展

塘坝的管理模式创新需紧扣除险加固工程的成效, 实现“加固赋能管理、管理巩固成效”的良性循环。智能化管理平台的建设能够集成实时数据监控、风险评估、远程操作和自动预警等功能, 结合加固工程的设计参数和险情治理标准, 自动识别异常数据, 发出预警信息, 大大提升管理效率。通过大数据分析 with 人工智能算法, 能够精准预测坝体的潜在风险, 结合加

固工程的防护能力, 优化日常管理和维护计划, 减少盲目维护。区域内多个塘坝的资源共享和协同管理也能有效降低管理成本, 提高资源利用率, 实现加固技术、管理经验的互通。随着智能技术的引入, 传统的人工巡检模式将逐步被更高效的自动化与数字化手段取代, 结合加固工程预留的监测、维护设施, 使塘坝管理更为科学、规范、透明, 进一步巩固除险加固成效^[5]。

5.3 区域水利建设的可持续发展建议

为实现丘陵区水利建设的可持续发展, 需要在水资源利用与环境保护之间找到平衡点。加强对区域水文条件的监测与研究, 确保塘坝建设与周边生态环境的和谐共生, 避免过度开发。建议推进绿色建设理念, 采用低碳、环保材料, 减少加固施工过程中的碳排放和资源消耗。同时, 应加大对坝体生态环境恢复的投入, 结合水土保持、植被修复等措施, 提升区域生态系统的稳定性。结合现代科技手段, 建立多元化的资金筹措与技术支持体系, 为水利建设的长期可持续性提供保障。

6 结语

丘陵区小型塘坝的除险加固工程设计与管理不仅仅是一个技术性课题, 更是保障区域水利安全、促进可持续发展的关键措施, 核心在于实现设计、实施、管理的闭环联动, 确保加固成效能够通过科学管理长期维持。随着新技术的不断发展和管理模式的创新, 塘坝加固工作将更加精准、高效, 管理工作将更加便捷、规范。在面临复杂的地形和环境条件时, 针对各类险情的合理设计方案、精准施工工艺与科学的运行管理, 将对提升塘坝安全性起到至关重要的作用。未来, 应继续加强技术研发和管理体系建设, 强化加固与管理的联动, 以确保塘坝的长期稳定运行和区域水资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] 孔祥勇, 李艳华, 常小燕. 低山丘陵区小型蓄水工程的优化布局研究[J]. 农业与技术, 2021, 41(17): 60-62.
- [2] 黄远帆. 广东省某小型水库除险加固工程设计与应用[J]. 小水电, 2021(6): 31-33.
- [3] 罗云团. 小型水库除险加固工程设计存在的问题及对策[J]. 湖南水利水电, 2024(4): 25-27.
- [4] 孙聪影. 浅谈小型水库除险加固工程设计中水文水利计算问题[J]. 绿色环保建材, 2020(4): 226-226+229.
- [5] 陈平. 小型病险水库除险加固工程设计研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024(3): 156-159.