

水利堤防工程边坡失稳除险加固施工技术探讨

王万信, 叶建军

(江苏省水利建设工程有限公司, 江苏 扬州 225000)

摘 要 水利堤防在长期承受水流冲刷、浸泡软化的条件下, 边坡极易出现滑动问题, 若处理不及时, 将对防洪安全造成直接威胁。为确保堤防在复杂水文环境中的稳定运行, 有必要对滑坡特征进行精准识别, 并采取有效措施进行系统治理。本文通过对水利堤防工程边坡失稳的原因进行分析, 并提出相应的除险加固技术措施, 旨在保障堤坡受到极端水力作用时仍能保持结构稳定, 为防汛安全提供有益参考。

关键词 水利堤防工程; 边坡失稳; 除险加固施工技术

中图分类号: TV551.2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.018

0 引言

水利堤防作为河流、湖泊和水库防洪体系的重要组成部分, 其安全运行直接关系到沿岸地区居民的生命财产安全及社会发展。然而, 在长期运行过程中, 堤坡不可避免地受到渗流、软化、冲刷、荷载变化等因素影响, 从而产生不同形式的滑坡隐患, 尤其在汛期高水位持续或暴雨集中发生时, 边坡失稳问题更加突出。面对堤坡失稳的多样性、突发性, 传统经验式治理已难以满足现代防洪安全需求, 加固技术必须在科学评估基础上形成体系化、针对性强的施工方案。

1 水利堤防工程边坡失稳的原因

1.1 洪水期渗流

在汛期, 当河流水位升高到一定高度并维持较长时间时, 堤身浸没于高水位之下的区域会逐渐进入饱和状态, 土体原有的结构性被持续渗水破坏, 使抗剪能力显著下降^[1]。坡体在完全饱和后, 自重与外部水压力叠加, 使得下滑力快速增大, 滑动趋势随之加强。与此同时, 渗流贯穿坡体形成向外排出的水流路径, 使土体内部出现动水压力, 当水位下降速度快于堤身内水位消退速度时, 坡内水不能及时排出, 反向渗透力随之产生, 致使边坡在短时间内承受双重不利因素。再加上饱水导致的自重大幅提升, 堤坡在此阶段往往处于极为脆弱的状态。如果不能及时削减渗透压力或开展排水措施, 局部滑塌、深层滑移等失稳现象极易发生。

1.2 水流冲刷、漫坡侵蚀

在堤防紧邻急流或主流区的位置, 水流对坡脚的冲击往往较为剧烈, 尤其是在洪水涨落频繁、流速变

化突出的河段, 坡脚受到的切割、淘蚀和掏刷作用更为明显。若防护结构薄弱或缺乏必要的护脚措施, 坡脚土体被不断削弱, 最终使坡面失去应有的支撑力, 从而引发整体不稳定。更为危险的是, 当水位骤降至滩地以下并形成明显落差时, 饱和坡体内部水分尚未排出, 而坡外水位已低至坡脚, 外部压力减小与内部孔隙水压力失衡, 极易出现大范围坍塌^[2]。此外, 坡面表层在漫水阶段受到长期浸泡, 土粒骨架被弱化, 强度下降后在水流擦洗下逐渐剥落, 使坡度持续变陡, 最终丧失稳定性。尤其在弯曲河段, 流态变化复杂, 冲刷范围不固定, 坡体受力更不均匀, 从而加大失稳概率。

1.3 堤防地基强度不足

堤基强度不足是引发深层滑坡的重要内在因素之一, 尤其是在天然地基存在软弱夹层、透水层或地基土承载力偏低的情况下, 堤身在长期荷载与水作用下更易发生整体滑移。导致地基强度偏低的情形较多, 如设计阶段未能充分掌握地基土的真实特性, 或勘察深度有限, 未发现软弱层, 使得选用的计算强度指标与实际条件不符; 施工速度过快, 填土尚未固结或地基加固措施不到位, 使地基强度在短期内急剧下降^[3]。当地基局部出现不均匀压缩或受渗水影响导致土体结构破坏时, 滑面往往向深层发展, 一旦贯通便会形成整体式滑坡, 对堤防安全构成重大隐患。

1.4 施工缺陷、结构老化及外界因素叠加

若堤身填土未能按照设计密实标准进行压实, 或新旧堤身衔接处处理不当, 则可能形成弱面, 在暴雨

作者简介: 王万信 (1971-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程施工。

或漫水条件下首先出现裂缝,使渗水迅速向内部扩展,从而触发进一步滑移。堤脚附近开挖管线、施工扰动等人为因素,也会使土体结构遭到破坏,导致局部应力失衡并向周边扩展。长期运行后的堤防在经历多次水位涨落、干湿交替后,其土体结构也会逐渐老化甚至粉化,使强度不断下降。若再遇到洪水期强烈渗流、暴雨冲刷等外部条件叠加,堤坡便会在短时间内出现破坏。

2 水利堤防工程边坡失稳除险加固施工技术措施

2.1 浅层滑坡的剥离重构处理

在汛期或暴雨后,堤坡表层容易因浸泡、渗流或填筑缺陷出现局部滑动(见图 1)。

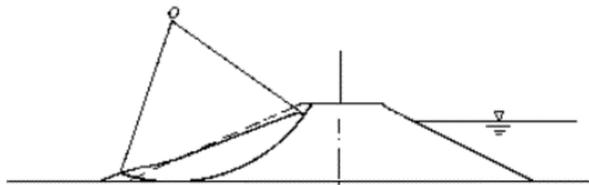


图 1 浅层滑坡示意图

当滑动深度不大且尚未破坏堤基结构时,需要以快速剥离、及时回填为核心进行处理,使堤坡在短时间内恢复稳定状态。施工人员会先确定滑坡区的平面尺寸和深度,再从坡面上缘开始逐步向下剥离不稳定土体。剥离必须循序渐进,每级高度宜控制在 20 cm 左右,使滑体剥离界面呈现稳定的阶梯状^[4]。在每一级剥离过程中,都需要同步检查滑体后方是否存在松动土,一旦发现未滑动但已处于软化状态的土层,应按规定继续剥离 0.5 ~ 1.0 m,以确保新旧土体结合界面具备稳定性。剥离完成后,应以向外延伸约 2 m 的范围为基准,将坡面整形成接近 1:3 的安全坡比,使回填区域具备良好的受力基础。回填工作可采取机械或人工进行,根据现场材料情况选择土方、砂性材料或适宜黏性土作为回填料。回填必须分层进行,每层厚度严格控制,使压实度达到设计强度,再继续向上填筑。为了让新旧土体形成有效咬合作用,填料的含水量、颗粒组成与压实度需要连续监测,同时施工队伍需随时关注坡面稳定情况,确保逐层填筑后坡体不会再次发生松动。整个区域的后填完成后,应再次调整坡比,使外观线型自然过渡,并在坡面表层预留防护结构的设置空间,使后续护坡体系顺利施工。

2.2 堤脚滑塌后的稳定性恢复

堤脚区域承担着上部堤身的主要荷载,一旦出现塌陷就会导致堤坡底部支撑能力削弱,使滑动力显著增大,因此需要在抢险阶段及时采取措施恢复基础稳

定。处置堤脚塌陷通常从卸荷开始,通过减少堤脚受压来降低堤身自重带来的下滑作用,再结合回填强化、形态重塑等措施,使滑坡区重新具备支撑能力^[5]。在实施卸荷施工时,先对堤脚塌陷区域外缘进行开挖,使塌陷体暴露,并将不稳定土体全部剥除。如果塌陷深度较大,需要扩大开挖范围,使其至少向外延伸约 5 m,避免形成新的松动块体。对于具有滞水特性的滑塌区域,应采用透水性良好的砂石作为回填材料,让渗水迅速排散,避免再次形成软化区。回填材料放置后,应按照整形、分层夯实、坡脚外展的步骤推进,使回填土在结构上形成向外扩展的稳定支撑体。在整形过程中,要特别注意坡面与堤基结合部位的密实程度,因为该区域是滑坡再次发生的高风险点。为提高整体稳定性,回填过程可结合局部削坡调整,使坡比更加缓和,让堤身与堤脚的整体结构更协调。在坡体重新成型后,应对整个处理区进行统一压实,使其达到设计规定的压实强度。由于塌陷区域的原状土已失去结构性,因此回填材料的压实质量直接决定加固效果,需要采取严格的检测措施确保填土质量。在堤脚恢复过程中,还需关注洪水期可能出现的渗透压力,一旦退水速度过快,堤脚内部渗水无法及时排散,进而产生向外的压力,使已恢复的区域再次出现滑坡。因此,在堤脚恢复后常需要预留排水通道,使渗水顺畅外排,为堤坡上部结构提供可靠支撑。

2.3 因堤身填筑质量偏低导致滑动的整治技术

滑坡区常存在密实度不足、颗粒组成不合理、夯填工艺缺陷等问题,若直接在原有基础上进行补强,效果往往有限,因此必须采取整体剥离再回填的方式进行系统整治。施工单位需首先明确滑坡区的边界线,并沿滑体上缘切割坡面,使其形成便于开挖的几何形状,再以分段开挖的方式逐步向下剥除全部滑动体。每次剥离的高度宜控制在合理范围,使坡面不因过快卸荷而引发新的滑移^[6]。同时,为保证新旧土体结合牢固,在剥离过程中应定期检查滑动深度,确保所有软化土层全部剔除,绝不留有潜在隐患。回填时,施工人员一般从坡脚开始填筑,让新土在自身重量和压实作用下形成稳固的承载层。填筑过程需采用分层压实方式,每层厚度经过试验确定,保证压实后填料密度达到设计值。为了避免出现局部滑移,坡面外缘要设置延伸约 2 m 的工作带,使新填土在成型后具备向外扩展的稳定效应。对于回填材料的选择,需要优先满足强度、渗透性能和粘聚力指标,使其在长期受水作用下仍能保持强度不降。若滑坡范围较大,施工单位还应适当调整坡比,使新坡面在外观上更为平缓,

降低滑动力。通常在稳定性较差的地段，坡比会调整为接近1:3，使整体结构的安全性提升。在回填完成后，还需再次检测压实度、含水率和弯沉值等指标，使新填土具备足够的结构性。

2.4 临水坡滑坡的抢险恢复

临水坡受水流冲击、浪涌拍击和水位涨落影响显著，是堤坡滑移最频发的区域之一。此类滑坡的处理需同时关注力学稳定和水动力环境，使治理后的坡体既能承受长期静水压力，也能应对突发性水流冲刷。处理临水坡滑坡的第一步是清理松散体，使坡面恢复规则形态，从而便于后续结构加固。对于由坡脚坍塌引发的滑坡，需先在坍塌位置采取反护措施，使坡脚支撑条件恢复，再逐级剥离滑体。滑体剥离过程需考虑水位变化带来的附加风险，一旦水位快速上涨，滑坡体可能再次松动，因此施工作业应保持连续性，使坡面及时暴露并处理。剥离完成后，施工单位会根据坡面软化程度和结构缺陷，决定是否需要延伸剥离范围，让新旧土层在结合处达到稳定状态。在恢复坡体形态后，需要重建坡脚支撑结构。常见做法是利用透水性良好的砂石混合料回填，使水流在冲刷坡脚时不集中破坏单一点，同时在坡脚外缘设置延伸2 m的工作带，使支撑区在结构上形成外展式稳定体。若潮位较高，施工人员还需在坡脚外增设石料护脚，使坡脚在洪水顶冲作用下保持完整。对于由暴雨或渗透引发的临水坡滑坡，其成因是渗水沿裂缝进入堤身内部，使滑动力增加并削弱抗剪强度。此类问题常伴随坡体表层的软化扩散，因此在挖除滑体后，应构建新的反渗结构，让水流低能量通过；再以逐层填筑方式恢复坡体，使内部空隙减少，避免新的渗流通道出现。

2.5 滑坡处理后的坡面保护

滑坡治理完成后，如果坡面未及时得到保护，外界风浪、暴雨或洪水涨落会迅速破坏新填土，使滑坡再次出现。因此，坡面保护的目标不仅是防止剥蚀，还要让坡面具备良好的排水性。在重新构成的坡体完成压实后，施工人员会根据堤段环境选择合适的保护结构^[7]。对于长期受水流影响的堤段，常采用石料护坡或混凝土结构作为保护层，使坡面在大流速冲击下依然保持稳定。如果坡面坡比较缓，可选择草皮覆盖，使植物根系形成天然加固网，提高土体抗剪力，同时使雨水得以慢速渗透，不会引发表面冲刷。在坡脚区域，由于坡脚承担着整个坡面的支撑功能，因此通常布设护脚石或片石抛填，使坡脚不因水流淘刷而破裂。一旦坡脚受损，滑体会在极短时间内失去平衡，因此

坡脚防护必须在坡面处理后立即实施。施工过程应严格按照图2严格实施，保障施工质量。在运行期，管理人员需要持续巡查坡面状况，一旦发现沉陷、裂缝或局部剥蚀，应立即修复，使坡体保持完整。

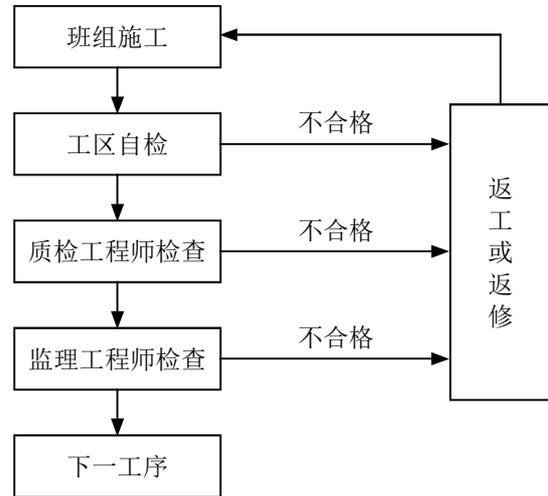


图2 坡面施工流程

3 结束语

堤坡失稳的除险加固是一项多环节、多技术联动的系统工程，不同类型的滑坡具有不同的触发机制，也对治理方式提出不同要求，因此在实施加固前必须准确识别失稳模式，再选择最匹配的技术路线。未来，随着极端气象事件增多，堤防的安全形势更加严峻，施工单位仍需推动加固工艺精细化与防护体系智能化建设，使堤防具备更高更强的应急保障能力，提升堤防整体安全水平，更好地服务于社会发展。

参考文献:

- [1] 于阳. 水库膨胀土高边坡滑坡失稳锚杆加固措施[J]. 黑龙江水利科技, 2025, 53(08): 142-145.
- [2] 严行云, 杨寅, 刘欣怡, 等. 堤防工程边坡稳定性分析及其防护技术研究[J]. 珠江水运, 2025(05): 111-114.
- [3] 袁海. 某堤防工程高边坡施工技术应用探讨[J]. 中国设备工程, 2025(01): 231-233.
- [4] 丁涛. 新汴河堤防工程边坡稳定性分析[J]. 水利科技与经济, 2024, 30(06): 40-43.
- [5] 许艳杰. 高水位长期浸泡背景下堤防土体工程边坡稳定性研究[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(05): 12-16, 26.
- [6] 王晗. 不同物理作用下河道堤防黏土力学特性及边坡稳定性研究[J]. 水利建设与管理, 2023, 43(05): 36-41, 47.
- [7] 卞智远. 水利堤防边坡稳定性与加固分析[J]. 内蒙古水利, 2020(08): 51-52.