

某山区河道护岸滑坡原因分析及处理方法探讨

顾 威

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要: 为揭示山区河道护岸滑坡的诱发因素,并提供科学可行的预防与处理措施,针对此类滑坡多由自然与人为因素共同作用引发的问题展开研究。结合南方某山区河道护岸滑坡案例,综合考察水文气象、地形地质、周边建构筑物及施工方案等关键因素,并利用有限元软件计算复核、失稳与稳定断面类比分析及管网漏水状况调查,深入剖析滑坡成因。结果表明,滑坡主要由管网漏水导致土体劣化、雨水入渗削弱坡体稳定性,以及施工管控不当引发。据此,提出“先控险、再治理、后预防”的三级处理方案,经工程运行及汛期检验,该方案合理有效,可为同类河道护岸工程的设计、施工及运维提供技术支撑。

关键词: 山区河道;滑坡;原因分析;防治措施

中图分类号: TV861

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)08-0355-05

Analysis of Causes and Discussion on Treatment Methods of River Revetment Landslides in a Mountainous Area

GU Wei

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: To reveal the inducing factors of river revetment landslides in the mountainous areas and provide scientific and feasible prevention, control and treatment references, the research is conducted on the problem that such landslides are mostly caused by the combined effect of natural and human factors. Based on a case of river revetment landslide in a mountainous area in southern China, the key factors including hydrology, meteorology, topography, geology, surrounding structures and construction schemes are comprehensively examined. Through calculation and verification using finite element software, comparative analysis of unstable and stable sections, and investigation of pipeline network leakage, the causes of the landslide are analyzed in depth. The results show that the landslide is mainly induced by pipeline network leakage leading to soil degradation, rainwater infiltration weakening slope stability, and inadequate construction control. Accordingly, a three-level treatment scheme of “first risk control, then governance, and finally prevention” is proposed. After verified through engineering operation and flood season tests, the scheme is effective and reasonable, and can provide technical support for the design, construction, operation and maintenance of similar river revetment projects.

Keywords: mountain river course; landslide; cause analysis; prevention and control measures

0 引 言

在水利水电工程领域,滑坡是山区河道护岸中高频发生的地质灾害。据统计,我国山区河道护岸滑坡发生率占水利工程灾害总量的 35% 以上,大规模滑坡可能导致河道堵塞、管网损毁甚至威胁沿岸居民安全^[1]。堤防滑坡是指由于堤防部分土体含水饱和、受外力影响或自身结构缺陷等原因,导致堤身内部潜在的薄弱层抗滑力小于滑动力,失衡并发生

显著的相对位移、脱离原来位置向下滑坠变形的现象^[2]。滑坡的成因具有复杂性:自然因素中,水文气象与地质条件是基础诱因;人类活动中,工程设计缺陷、施工管控不当及后期运维缺失会进一步加剧失稳风险^[3]。

因此,在山区河道护岸工程全生命周期中,需通过“事前预判、事中控制、事后治理”的闭环管理降低滑坡风险:设计阶段需结合现场勘察优化断面型式,施工阶段需强化对周边建构筑物的保护与监测,滑坡发生后需精准定位诱因并采取针对性修复措施^[4]。本文基于某山区河道护岸滑坡案例,通过多维度分析揭示滑坡机制,提出切实可行的处理方案,

收稿日期: 2025-12-17

作者简介: 顾威(1988—),男,硕士,高级工程师,从事水利工程设计工作。

为同类工程提供技术支撑。

1 工程概况

该山区河道综合治理工程位于南方多雨地区,工程等别为Ⅱ等,抗震设防烈度6度(第一组),核心目标包括:提升城市防洪能力(抵御50年一遇洪水)、修复河岸生态、建设亲水步道及景观绿化。工程范围涵盖右岸桩号64+350—64+600段,主要建设内容包括护岸修复、生态步道铺设及排水系统优化。

1.1 护岸修复方案

在生态河岸修复方案中,坡脚处将部署格宾石笼以稳固基础,其顶部高度设定在枯水期常水位以上0.5 m,石笼高度为1.5 m。石笼下方将铺设200 mm厚的C20混凝土底板及100 mm厚的碎石垫层,以增强结构稳定性。挡墙靠近河流一侧将堆砌大块石以加固基础,开挖坡度维持在1:2的比例。从格宾石笼挡墙至坡顶的护坡设计应尽可能地贴近原有河岸坡度,修坡比例控制在1:2~1:3之间。护坡材料选用三维水土保持毯结合30 cm厚的种植土,并撒播草籽以促进植被生长。三维水土保持毯的铺设范围从大块石压脚延伸至当前地面线。对于高度超过10 m的坡面,将设置宽度不少于2 m的马道,便于后期维护和通行。对于无法进行开挖的现有岸坡,结合景观设计设置步道。护岸断面如图1所示。

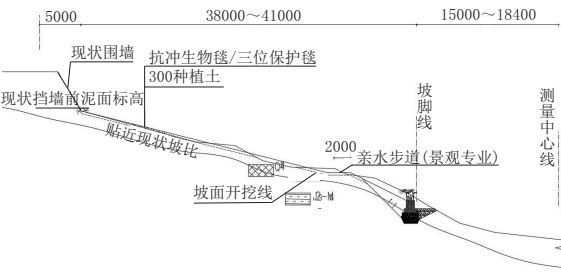


图1 护岸断面示意图(单位:mm)

1.2 滑坡出险情况

工程在该段护岸施工完成6个月后,在雨季某小区下游(右岸桩号64+500)出现管道错位与边坡失稳的状况。边坡失稳长度约30 m,宽度约20 m,边坡滑坡体顶部下沉约1 m,滑坡体底部存在管道错位,污水流入河道。对污水井错位修复半个月后,与错位管道相连接的下游污水井发生破坏,该污水井与两侧管网断开。另外3个污水检查井有不同程度位移,约100 m管网产生位移。此现象与彭水县乌江滨江段护岸局部滑坡及管网破坏情况类似^[5]。滑坡位置示意图见图2。

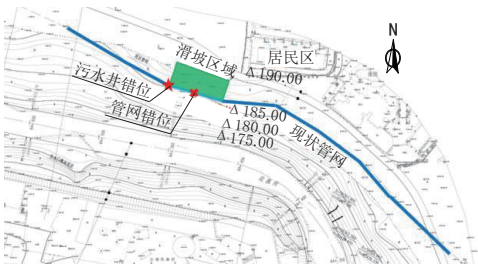


图2 滑坡位置示意图

1.3 区域水文条件

该河流属山溪性河流,集雨面积小,河长短,比降大,具有山溪河流陡涨陡落的特性。洪水全由暴雨形成,据实测资料统计,最大洪峰流量 $Q_m=844\text{ m}^3/\text{s}$ 。洪水的年内分配主要集中在5~8月,其中6~8月发生的洪水总量占全年的77%。洪水过程历时较短,最大洪峰持续时间约为2~3 h。滑坡断面处50年一遇水位为192.84 m,100年一遇水位为194.46 m。

1.4 地形地质情况

区域高程范围为171.85~205.88 m,最低点为河床,最高点为场地南侧斜坡顶部,地形整体呈现“河流处低、两岸高”的特征。河道平缓,坡降小于1%,两侧岸坡坡度约10~40°。岸坡土体为粉质黏土及素填土,未见基岩出露,钻探揭示下伏基岩为沙溪庙组砂泥岩。地质剖面图如图3所示。

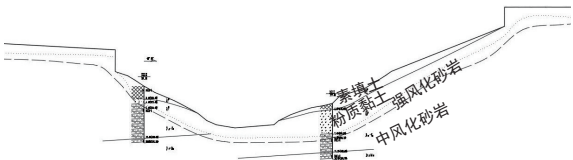


图3 地质剖面图

主要计算参数见表1。

表1 覆盖层物理力学参数建议值表

土的名称	粉质黏土 (可塑状)	强风化 砂岩	中风化 砂岩
土粒比重	2.73	—	—
天然密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.94	2.45*	2.48*
饱和密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	1.98	—	—
天然土体抗剪强度	C/kPa	22.2	—
	$\varphi/(^\circ)$	12.6	—
饱和土体抗剪强度	C/kPa	15.8	—
	$\varphi/(^\circ)$	8.9	—
容许承载力/kPa	160	400	19 524
压缩模量/MPa	4.16	—	—

注:表中*为经验值。岩层面抗剪强度: $c=20\text{ kPa}$, $\varphi=12^\circ$;结构面抗剪强度: $c=50\text{ kPa}$, $\varphi=18^\circ$ 。

2 岸坡稳定计算

依据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)^[6],

采用瑞典圆弧滑动法计算护岸整体稳定性,采用极限平衡法计算沿土岩分界面的滑动稳定性,计算软件为 SLIDE 有限元软件。

2.1 计算荷载

基本荷载:自重、静水压力、土压力、人群荷载等。
特殊荷载:可能出现的特殊工况产生的特殊荷载(见计算工况)。

正常运行工况下,考虑堤顶等效均布荷载为 5 kN/m^2 。施工期考虑施工机械荷载,堤顶等效均布荷载取 10 kN/m^2 。

2.2 计算工况

护岸边坡抗滑稳定计算可分为正常情况和非常情况共 4 种工况。

- 正常运用情况:
- 工况 1:设计低水位情况下临水坡堤岸。
 - 工况 2:设计洪水位骤降期的临水侧堤坡。
 - 工况 3:设计洪水位下的稳定渗流期或不稳定渗流期的背水侧堤坡。由于背水侧后为市政回填区及陆域回填区,可不计算其稳定。

非常运用情况:

- 工况 4:施工期(含竣工期)的临水、背水侧堤坡。根据施工计划安排,堤后陆域回填区与堤防工程同步进行,因此可不计算背水侧坡,只计算临水侧坡。

2.3 计算结果

采用 SLIDE 有限元软件分别计算了护岸断面在正常工况和非常运用情况下的整体稳定,计算参数采用表 1,计算结果见图 4 和表 2。

由计算结果可知,整体稳定性安全系数在各种工况条件下均满足规范要求。

3 滑坡原因分析

河岸护坡的稳定性受多种因素影响,包括河水的突发性泛滥、地震活动、地质条件(如岩石类型、硬度)等,这些因素均可能成为河岸滑坡的诱因^[7]。

在本项目中,边坡失稳及管网、检查井错位现象发生在桩号 64+500 附近的右岸。通过对下游未发生土体滑动的桩号 64+600 右岸断面进行对比分析,发现土层结构和岸坡坡比均相似,在相同的边界条件下,该区域岸坡保持稳定。设计断面与现状断面的坡比变化不大,这表明本次滑坡事件可能主要由其他外部因素引起。

进一步分析滑坡现场、附近断面对比以及滑坡前管网的漏水状况,可初步推断此次边坡失稳及管

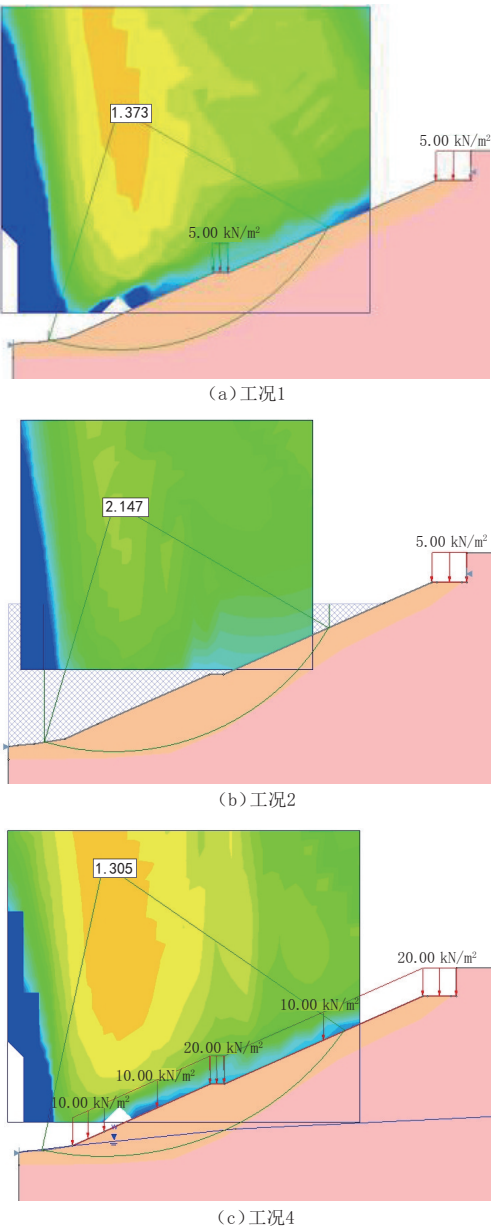


图 4 整体稳定计算

表 2 整体稳定计算结果

断面型式	正常运用情况	非常运用情况
多级斜坡式	1.373	1.305

网、检查井错位的原因主要包括:

3.1 工程地质因素

边坡失稳前现状管网已出现破损漏水以及溢流状况,使得管网附近土体长期处于泡水和污水冲刷状态,根据《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)中“粉质黏土含水率每增加 10%,抗剪强度约降低 25%~30%”的试验结论^[8],土体承载力及抗剪强度指标进一步下降,加之污水冲刷,导致管网检查井处土体承载能力不足,且被动土覆盖侧水土流失严重,进而引起检查井产生水平位移,进一步加剧管网错位与渗漏,形成“漏水—土体劣化—位移—更严重漏

水”的恶性循环。类似的地质问题分析和处理方法在相关文献中也有深入探讨^[9]。

3.2 水文气象因素

经现状雨水排口调查及滑坡后实地排查发现,坡顶后方的小区铺设了2根直径约50 mm的PVC管道。滑坡前24 h降雨量达120 mm,雨水直接排入坡体,导致坡面径流量骤增。雨水入渗使粉质黏土层孔隙水压力增加,有效应力降低,进一步削弱坡体稳定性。类似由暴雨诱发滑坡的案例在枞阳江堤殷家沟段、大渡河林邦滑坡体等地均有报道^[10-11]。

3.3 施工措施因素

局部施工便道与管网的距离过近,且边坡侧较陡,导致管网河侧的覆土减少。加之污水冲刷造成的水土流失影响,检查井被动侧的覆土进一步减少。施工期末对现状管网进行位移监测,未采取防渗保护措施。

设计开挖坡比1:2,施工便道距管网水平距离仅1.5 m。按坡比计算,管网河侧覆土厚度0.75 m,较设计要求的1.2 m减少37.5%。覆土压力不足,无法有效约束管网变形。覆土由1.2 m降低至0.75 m,管网自身抗滑稳定系数由1.32下降至1.13,虽未产生小于1的极端情况,但综合土体自身抗剪强度的下降,最终导致失稳。温州市河道施工滑坡问题的分析也强调了施工管控不当是诱发滑坡的重要原因^[12]。

4 处理方案

滑坡治理的核心在于通过增强边坡岩土体的力学性能来控制 and 修复已经失稳的滑坡体。为提升边坡的抗滑能力并降低滑动力,常采用以下工程技术措施^[14]。

(1)反压平台法:在堤坝内外坡脚处填筑土料以增加压重,通过预压提高土体的强度和承载力。这种方法类似于放缓坡面,但效果更为显著^[13]。

(2)排水法:通过在地基中钻孔来改善孔隙水的排出条件,从而有效加速地基土的固结过程。

(3)削坡减载法:对于存在失稳风险的高陡边坡或已发生滑动变形的边坡,可以通过削缓坡度、减轻上部荷载以及在坡脚增加压重等措施来提升边坡的稳定性。

(4)支挡及加固措施:对于潜在滑动的边坡,可以采用挡土墙支撑,或实施灌浆、锚固、对撑桩、抗滑桩等加固措施^[3,11]。

基于“先控险、再治理、后预防”的原则,提出三级处理方案,核心目标是恢复坡体稳定性、修复管网功能、阻断诱因。本方案借鉴了长江中游新洲一九江河段新洲尾护岸^[3]、安广江堤岳王庙护岸工程^[9]、大渡河林邦滑坡体^[11]等成功治理经验。

4.1 应急措施

(1)针对受管网渗水及溢流影响的土体,鉴于其天然含水量高、抗剪强度低和承载能力弱,建议进行全面挖除受渗水影响的粉质黏土层。

(2)清除滑坡土体后,对错位的管网和污水井进行修复。采用土石碾压法替换管网两侧受水影响的土体(沿管网方向两侧各延伸5 m)。管网修复完成后,滑坡区域应采用土石碾压分层填筑,确保压实度不低于0.93。管网、检查井临河侧与施工便道处的回填土坡比放缓至不陡于1:3。

4.2 工程措施

对于现状小区排水管位置,应使用砂浆找平封堵雨水下渗通道,并在滑坡体上方及小区围墙外侧增设500×500 mm的排水沟。围墙边缘现状低洼处通过坡面导流至坡脚位置,以减少小区排水及雨水下渗对岸坡的影响。

坡面排水沟在常水位及以下位置应布置大块石压脚,块石压脚厚度应为2 m,以满足防冲刷要求。此排水与压脚相结合的措施在长江中游新洲尾护岸滑坡处理中取得了良好效果^[4]。

4.3 预防措施

(1)对后方小区接出的雨水管及排口进行全面排查,一旦发现破损,应立即进行修复。

(2)对沿线现状管网进行全面排查及内窥检测,修复所有破损管网,确保无漏水现象。

(3)在施工过程中,应注意保护沿线既有建构筑物 and 管网,减少对已有建构筑物的影响。加强对施工场地内及周边建构筑物的施工期位移监测。监测频率应为:基槽开挖前1~2次/周,基槽开挖期间2次/d,一般情况2~3次/周。这借鉴了城市边坡工程治理中加强监测的成功经验^[3]。

(4)现状管网两侧5 m范围内禁止施工机械行驶,施工便道应尽量远离现状管网。若附近存在现状管网,则施工便道填筑不得影响管网附近原状覆土,并进行监测保护,必要时采取相应的保护措施。符合温州市河道施工滑坡预防措施中的建议^[12]。

(5)坡面施工不得覆盖原坡面集中泄水通道,应通过排水明沟或排水管引入河道。对于土体内渗流

较大处,应通过盲沟引入河道。有效的排水系统是滑坡预防的关键^[3,10]。

5 结 论

针对河道岸坡失稳现象,文章基于实际工程案例,综合运用有限元计算复核、失稳断面类比分析以及滑坡前管网漏水状况调查等多种方法,深入探究边坡失稳的根本原因,并依据地质条件提出相应的处理方案。

(1)经过 1 年的运行和汛期的检验,该段岸坡的修复工作已证实采用削坡及反压处理方案的有效性和合理性。

(2)通过对工程案例的详细分析,旨在为未来项目的设计和施工提供参考和借鉴。在河道堤防及护坡设计阶段,建议对河道管理范围内的建构筑物进行全面调查,并制定施工过程中的观测及监测标准。同时,应对周边排水系统进行全面排查,以防止雨水下渗导致土体承载力降低。施工过程中,应优先对建构筑物进行现场巡查,一旦发现异常现象应立即采取处理措施。此外,施工设备及临时工程应与现有建构筑物保持适当安全距离,并加强监测工作。

参考文献:

- [1] 周国臣.河岸滑坡治理若干地质问题的分析及处理方法[J].资源信息与工程,2017,32(6):181-182.
- [2] 杨二强,徐浩,施建明.堤防滑坡险情防治的技术路径研究[J].中国减灾,2025(23):50-51.
- [3] 张焱.城市边坡工程中的滑坡特征分析及治理方案探讨[J].四川水泥,2018(9):245-246.
- [4] 涂琳.长江中游新洲~九江河段新洲尾护岸滑坡处理措施[J].中国水运(下半月),2013,13(14):178-179.
- [5] 董立韩,彭水县乌江滨江段防洪护岸局部滑坡整治[J].中国水运(下半月),2021,21(8):88-90.
- [6] GB 50286—2013 堤防工程设计规范[S].
- [7] 马洪飞.天津市津南区双白引河滑坡处理设计[J].海河水利,2017(5):27-29.
- [8] GB/T 50123—2019 土工试验方法标准[S].
- [9] 范方喜.安广江堤岳王庙护岸工程滑坡成因分析与加固措施[J].江淮水利科技,2011(3):25-26.
- [10] 何国荣.枞阳江堤殷家沟段堤防滑坡原因分析与加固[J].吉林水利,2010(9):65-70.
- [11] 覃事河,周全,段斌,等.大渡河林邦滑坡体工程治理措施及效果评价[J].人民长江,2023,54(增刊1):77-81;93.
- [12] 谷建通.温州市河道施工滑坡问题及预防措施[J].山西水利,2022(7):50-51;54.
- [13] 陈应胜.沿江中小圩口堤防滑坡地基处理方案浅析[J].治淮,2025(8):46-48.
- [14] 任建德.基于改善边坡岩土体力学强度的滑坡防治措施[J].黑龙江科技信息,2011(29):321.

(上接第 349 页)

了非开挖修复方案。通过试验确定了适合预制法进行非开挖修复的材料和连接方式,对城市排水拱涵的非开挖修复具有理论指导意义。主要结论如下:

(1)UHPC 在极限承载能力和抵抗变形能力上,都要优于普通混凝土,因此推荐采用 UHPC 材料作为预制拱涵的材料。

(2)曲螺栓连接在变形能力、连接螺杆使用的安全性和稳定性等方面,都优于直螺栓连接和灌浆套筒连接,应优先考虑使用。

(3)预制法修复性能与新旧结果的共同作用有重要关系。随着时间地推移,新旧结构接触越紧密,共同受力增强。因此使用预制法进行排水拱涵非开挖修复是有效果的,但同时应尽量减少新旧结构间的空隙,以此增强预制构件的加固能力。

参考文献:

- [1] 冯国辉,陈光仔,张迪,等.基坑开挖诱发下卧既有隧道隆起变形解析解[J].铁道科学与工程学报,2023,20(10):3908-3917.
- [2] 马建军,李诚豪,关俊威,等.地铁隧道上方近距离爆炸动力响应研究[J].铁道科学与工程学报,2023,20(6):2246-2255.

- [3] 王俊.市政排水管道非开挖修复技术研究及工程应用[J].工程机械与维修,2022(6):244-246.
- [4] 李元元,赵伟琪,周超.城市排水管道非开挖修复技术在南方某地区的应用[J].城市道桥与防洪,2023(4):142-145.
- [5] 张乾.非开挖顶管技术在市政排水管道施工中的应用研究[J].石油化工建设,2022,44(3):110-112.
- [6] GB 50292—1999 民用建筑可靠性鉴定标准[S].
- [7] CJJ/T 210—2014 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程[S].
- [8] 陆铁坚,王鹏皓,杨诗龙,等.预制装配整体式混凝土剪力墙结构墙板节点非线性有限元分析[J].铁道科学与工程学报,2015,12(2):342-347.
- [9] 朱张峰,郭正兴.预制装配式剪力墙结构墙板节点抗震性能研究[J].地震工程与工程震动,2011,31(1):35-40.
- [10] 朱张峰,郭正兴.预制装配式剪力墙结构节点抗震性能研究[J].土木工程学报,2012,45(1):69-76.
- [11] 黄祥海.新型全预制装配式混凝土框架节点的研究[D].南京:东南大学,2006.
- [12] 陈久恒.预制装配式地铁车站施工技术研究[J].铁道建筑技术,2015(11):62-65.
- [13] 姚怡文,蒋理华,范益群.地下空间结构预制拼装技术综述[J].城市道桥与防洪,2012(9):286-292.