

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.293

引用格式: 李博, 刘浩, 段圣龙, 等. 单体滑坡灾害风险评价与防控对策——以怀化市桑植县城老电厂滑坡为例[J]. 中国地质调查, 2025, 12(4): 124–132. (Li B, Liu H, Duan S L. Risk assessment and prevention and control measures for individual landslide disaster: A case study of Laodianchang landslide in Sangzhi County of Huaihua City[J]. Geological Survey of China, 2025, 12(4): 124–132.)

单体滑坡灾害风险评价与防控对策

——以怀化市桑植县城老电厂滑坡为例

李博¹, 刘浩¹, 段圣龙¹, 付俊俊¹, 连志鹏², 刘磊^{2*}, 徐勇²

(1. 上海市建筑科学研究院有限公司, 上海 200030; 2. 中国地质调查局武汉地质调查中心
(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205)

摘要: 单体滑坡定量风险评价一直是滑坡研究领域的重点及难点, 通过对不同降雨重现期下滑坡危险性的分析, 定量计算单体滑坡风险对滑坡风险防控具有重要意义。以怀化市桑植县城老电厂滑坡为研究对象, 结合 Gumbel 分布理论、滑坡灾害强度和易损性定量评估, 建立了单体滑坡灾害风险定量评价的方法及评价过程, 得出了不同降雨条件下老电厂滑坡的经济损失和人员伤亡风险, 提出了滑坡风险防控优选方案比选方法。结果表明: ①滑坡风险评价应综合考虑滑坡体的运动特征和影响范围内的承灾体分布及易损性等因素, 采用定性-定量相结合的方法, 确保评估结果的准确性和科学性, 同时, 风险评价结果可用于确定差异化的滑坡防控措施, 以实现经济效益、社会效益和环境效益的最优化; ②20 a 和 50 a 降雨重现期的人员伤亡风险与经济风险较 10 a、20 a 分别增加了 11.41%、18.64%, 说明随着暴雨重现期的延长, 滑坡区域内室内人员和经济风险值也呈现出递增的趋势; ③对比各种风险控制方案, 推荐采用抗滑桩+截排水沟的整体治理措施。研究成果丰富了滑坡灾害风险评价的理论体系, 可为政府和相关部门制定科学合理的防控策略提供科学依据和技术支撑。

关键词: 单体滑坡; 破坏概率; 易损性计算; 风险评价; 风险防控

中图分类号: P681.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2025)04-0124-09

0 引言

滑坡风险是指在给定时间段内, 由滑坡造成的预计损失大小, 相较于目前工程中常用的安全系数, 风险作为评估指标, 更为科学且全面^[1-3]。单体滑坡风险评估结果可为滑坡灾害的有效防治提供理论支持, 已成为当前学者研究的热点^[4-8]。单体滑坡灾害风险评价主要涉及滑坡危险性评价和承灾体易损性评价, 其中危险性评价包括灾害破坏概率及影响范围的研究, 易损性评价包括灾害对承灾体作用强度和承灾体脆弱性的研究^[9-10]。陈强等^[11]运用一次二阶矩和蒙特卡洛法计算了滑坡的

破坏概率, 并探讨了内摩擦角和黏聚力在概率分布模型上对可靠度计算结果的影响。Hung 等^[12]考虑滑坡运动特性, 利用先进的 DAN3D 滑坡动态分析数值模拟软件, 深入分析了滑坡的运动距离, 以此作为评估滑坡灾害风险的重要依据之一。也有学者采用历史灾情资料的统计分析法和经验估算法, 对承灾体的易损性进行了定性和半定量的分析^[13-15]。此外, 还有学者采用数值模拟和公式计算等方法, 对承灾体的易损性进行了定量计算^[2, 16-18]。滑坡风险评价是对危险性和易损性的综合计算, 如何联合危险性计算结果, 并与易损性分析相结合, 进行单体滑坡的风险评价还有待深入研究。同时, 如何利用滑坡风险评价的结果, 采用

收稿日期: 2024-08-21; 修订日期: 2025-03-25。

基金项目: 上海建科集团科研创新项目“地表及地下浅层空间城市公共安全数字化交付平台(编号: KY10000038.20220023)”和“深度学习在音频大地电磁法断层破碎带识别中的应用(编号: KY10000038.20230057)”项目联合资助。

第一作者简介: 李博(1984—), 男, 正高级工程师, 主要从事桥梁检测、监测和评估工作。Email: libo2@sribs.com。

通信作者简介: 刘磊(1987—), 男, 高级工程师, 主要从事地质灾害调查及风险评价研究工作。Email: martianstar@163.com。

工程治理、植被恢复、监测预警等风险防控措施,从根本上降低滑坡灾害可能发生的风险,是工程应用需要解决的难点。

为探讨上述问题,本文以怀化市桑植县城老电厂滑坡为研究对象,将 Gumbel 分布理论分析与非线性有限元建模相结合,对不同降雨条件下老电厂滑坡的破坏概率及影响范围进行了计算,继而采用考虑滑坡运动特征和承灾体脆弱性的滑坡灾害易损性计算方法,建立了单体滑坡灾害风险定量评价的方法及评价过程,实现了对老电厂滑坡的风险评价,结合不同滑坡防治方案,提出了滑坡风险防控优选方案建议。研究旨在丰富滑坡灾害风险评价理论体系,为政府和相关部门制定科学合理的防控策略,提供科学依据和技术支撑。

1 老电厂滑坡发育特征

1.1 滑坡基本特征

老电厂滑坡位于湖南省怀化市桑植县澧源朱家台社区老电厂,该滑坡为土质滑坡,主滑方向为 335°,滑坡平面形态为长舌形,滑坡体纵长约 304 m,横宽约 203 m,平均厚度约 6.93 m,面积约 61 700 m²,滑坡体积约 42.8 万 m³(图 1)。滑坡区地形平缓,地形坡度为 8°~12°,局部呈台阶状,单级台阶高 1~3 m,局部高 6 m,为平缓型斜坡。滑坡中部、后缘地形坡度相对较缓,坡度为 8°,前缘相对较陡,坡度为 12°左右。滑坡前缘为澧水,后缘为公路通过,坡上植被较发育,大部分为水田、旱地及村民聚居地。

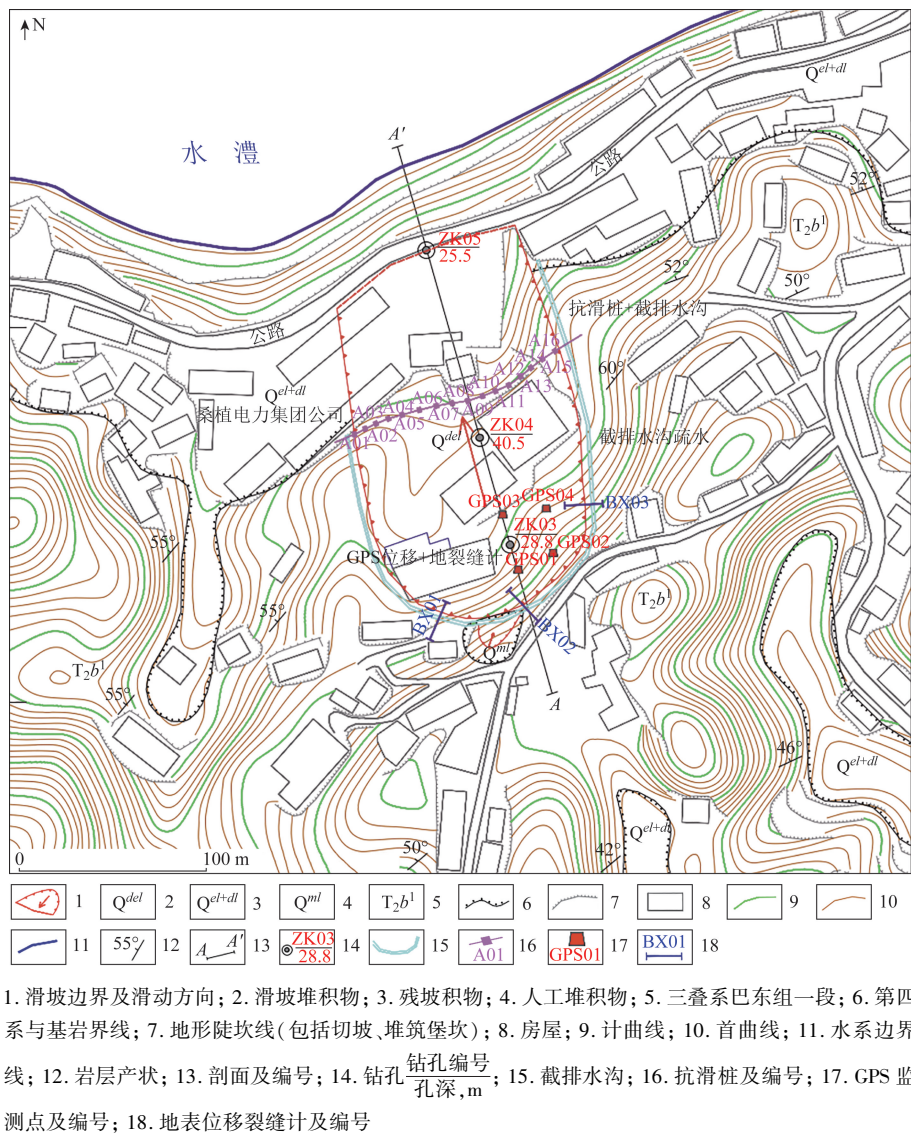


图 1 老电厂滑坡工程地质平面图

Fig.1 Engineering geological plan of Laodianchang landslide

滑体主要为第四系滑坡堆积物(Q^{del}),滑体物质为红褐色碎石土,块石成分多为紫红色粉砂岩、泥质粉砂岩,次棱-棱角状,块径2~5 cm,土石比为6:4~7:3,结构松散。粉质黏土稍湿,可塑状。滑带土主要为粉质黏土,含水量高,呈软塑状。滑床为三叠系巴东组一段(T_2b^1)紫红色粉砂岩和泥质粉砂岩互层,岩体较完整,表面风化破碎,岩层产状 $308^{\circ}\angle 60^{\circ}$,工程地质剖面如图2所示。

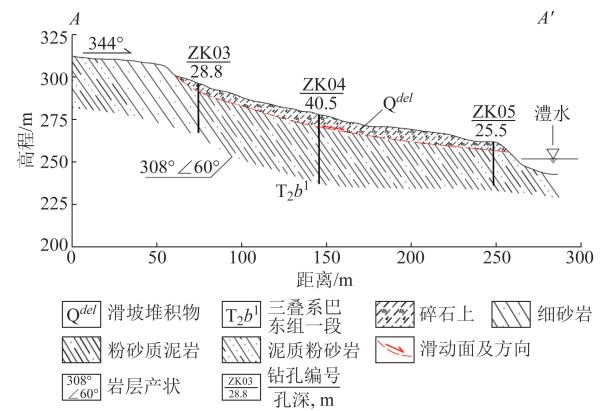


图2 老电厂滑坡工程地质A—A'剖面
Fig.2 Engineering geological profile A—A' of Laodianchang landslide

1.2 滑坡变形特征

老电厂滑坡于2009年产生了严重的变形和破坏,形成了贯通的张裂缝,长约80 m,宽1~5 cm,最大20 cm。后缘横向拉张裂缝已贯通,长约10 m,宽1~5 cm,形成1.2 m高的滑坡后壁。滑坡前缘有多条断续延伸的横向裂缝,裂缝宽5~10 cm。滑坡目前处于潜在不稳定状态,滑坡范围内民房均出现不同程度的开裂,其中6栋民房濒临倒塌,两条乡道路面明显下凹,滑坡前缘地面下陷40 cm以上。

2 滑坡危险性分析

2.1 降雨极值分析

根据现场调查,老电厂滑坡属于降雨诱发型滑坡。降雨诱发的滑坡主要受控于滑坡发生相关的降雨特征,如降雨强度、降雨历时等。降雨极值分析在确定降雨特征方面应用较多,常用的模型有Gumbell分布模型、Weibull模型、Fréchet模型等。Gumbell分布模型是水文、气象频率分析计算中常用的模型,本文利用该模型来进行桑植县不同重现期条件下的降雨极值研究。

统计分析桑植县地质灾害及降雨历史数据,桑植县降雨型滑坡大多发生于3 d连续降雨之后。

采用Gumbell分布计算重现期(T)为10 a、20 a和50 a的降雨强度,计算结果如表1所示。

表1 桑植县不同降雨重现期下的降雨极值
Tab.1 Extreme rainfall under different rainfall return periods in Sangzhi County

重现期/a	$T=10$	$T=20$	$T=50$
3 d 连续降雨量/mm	287.51	334.46	396.86

注: T 为重现期, a

2.2 滑坡稳定性及破坏概率分析

根据老电厂滑坡现场调查、降雨极值分析,参考《DZ/T 0438—2023 地质灾害风险调查评价规范(1:50 000)》^[19],确定老电厂滑坡危险性的计算工况。工况1为无降雨条件;工况2为10 a重现期下的3 d累积降雨;工况3为20 a年重现期下的3 d累积降雨;工况4为50 a年重现期下的3 d累积降雨。

综合室内剪切试验所获取的岩土力学参数数据,以及通过反演分析得出的结果,并参考周边地区工程地质的相似数据进行类比分析,确定滑坡稳定性计算参数(表2)。采用Geostudio软件的SEEP模块对老电厂滑坡4种工况下的滑坡渗流场进行模拟,并选取最不利的工况4进行示例说明,工况4的滑坡渗流场计算结果见图3。

表2 研究区滑坡稳定性计算参数
Tab.2 Landslide stability calculation parameters of the study area

参数	天然	饱和
重度/ m^3	22.50	23.70
黏聚力/kPa	均值	30.30
	标准差	3.25
内摩擦角/ $^{\circ}$	均值	19.30 $^{\circ}$
	标准差	1.67
饱和渗透系数/ $(m \cdot s^{-1})$	-	1.86×10^{-4}

注: “-”表示无数据。

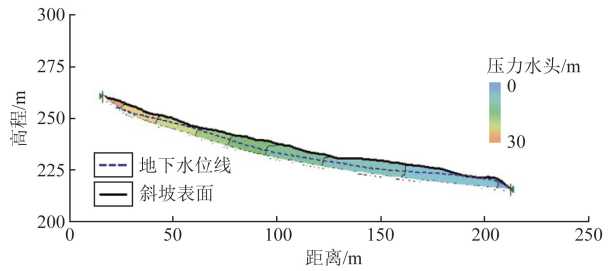


图3 研究区工况4条件下滑坡渗流场
Fig.3 Landslide seepage field under working condition 4 in the study area

由图3可知,50 a年重现期下的3 d累积降雨条件下,压力水头从坡顶至坡底表现出逐次降低的特征,在坡顶水头最高为30 m,在坡底的水头最低

为0 m,斜坡表现出较为均匀稳定的渗流场。

采用 SLOPE 模块计算各工况条件下老电厂滑坡的稳定性系数和破坏概率,计算结果如表 3 所示,并选取最不利的工况 4 进行示例说明,工况 4 的稳定性计算条块划分见图 4。

表 3 研究区不同工况下稳定系数与破坏概率

Tab.3 Stability coefficient and failure probability under different working conditions of the study area

计算结果	工况			
	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4
稳定系数	1.072	1.000	0.983	0.954
破坏概率/%	29.06	50.46	56.22	66.70

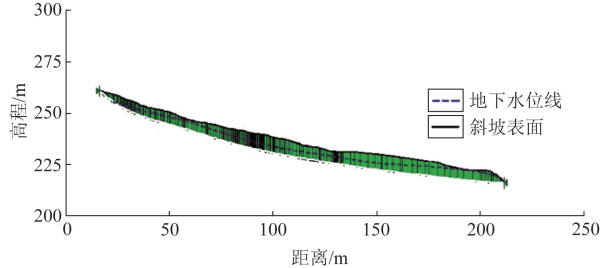


图 4 研究区工况 4 条件下滑坡稳定性计算示意图

Fig.4 Schematic diagram of landslide stability under working condition 4 in the study area

由表 3 结果可知: 工况 1 条件下,滑坡稳定性最好,破坏概率最低; 工况 4 条件下,滑坡稳定性最差,破坏概率最高。随着暴雨重现期的增大,稳定性系数逐渐降低,破坏概率随之增高,主要是由于越大的暴雨重现期,其 3 d 累计降雨量越大,入渗进滑坡体内的水就越多,导致滑坡的抗滑能力降低,稳定性下降。

3 滑坡易损性分析

3.1 承灾体调查数据

在现场调查中,对滑坡影响范围内的承灾体进行编号(表 4,图 5),老电厂滑坡影响区域内受威胁承灾体主要为住宅、电厂等建筑物以及其内的居民 30 人。

表 4 老电厂滑坡承灾体信息

Tab.4 Information of Laodianchang landslide hazard – bearing bodies

建筑物编号	总人数/人	室内财产/万元	层数/层	栋数/栋	结构类型	用途
1	—	20	2	1	钢架砖混结构	电厂储煤厂
2	—	80	4	1	钢架砖混结构	发电厂房
3	1	2	2	1	砖木	住宅+仓库
4	5	8	2	2	砖木	住宅+仓库
5	4	10	2	2	砖混	住宅
6	20	15	3	1	砖混	电厂员工宿舍

注: “—”表示无数据。



图 5 老电厂滑坡建筑物分布

Fig.5 Buildings distribution of Laodianchang landslide

3.2 滑动距离估算

根据滑坡变形特征及结构特征,老电厂滑坡为中型滑坡,参考 Varnes^[20] 提出的滑坡速度划分标准,该滑坡为中等速率滑坡。结合滑坡地质条件、地形地貌特征及建筑物布局,采用经典滑移距离计算公式^[21],滑坡到达角范围约为 4°~7°,相应的滑坡到达承灾体的概率范围为 0.15~0.6,由此推测得到滑坡可能的影响范围,并将其分成 4 个区(图 6)。

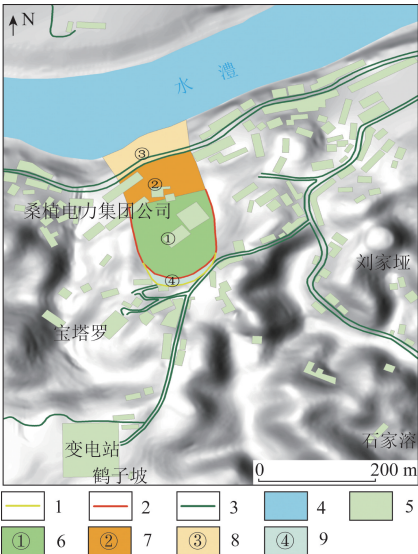


图 6 老电厂滑坡影响范围分区示意图

Fig.6 Schematic diagram of Laodianchang landslide impact area

①区为整个滑坡体;②区为滑坡的坡脚至前方道路之间区域,③区为前方道路至澧水边缘之间区域;④区为滑坡后缘后部影响范围。

3.3 易损性分析

3.3.1 建筑物易损性

根据已有研究成果,结合老电厂滑坡的影响范围和承灾体特征,对滑坡影响范围分区内的承灾体进行了分析。

(1)①区建筑物位于坡体之上,鉴于滑坡现象可能导致的全面结构受损,极易发生整体性坍塌与破坏,因此,其易损性被评估为最高等级,其值为1。

(2)②区建筑物以砖混结构为主,滑坡发生后,该区域建筑物极易遭受滑坡体的冲击从而受到损害,因此,评估其易损性较高,其值为0.8。

(3)③、④区无建筑物,③区存在一条县级公路,受②区建筑物部分阻挡作用,将③区的县级公路易损性定为0.2。

3.3.2 室内人员易损性

随着建筑物易损性的提升,室内人员的易损性也相应加剧。特别地,在滑坡体上,由于滑坡的整体移动,使得位于①区的人员面临最高的易损性,因此其易损性值为1。考虑到滑坡发生与其实向前推移之间存在时间差,为②区的室内人员安全出

逃和躲避房屋垮塌提供了较大可能性,认为其易损性值相对较低为0.13。③区和④区这两个区域内并无建筑物存在,因此不涉及室内人员的易损性评估。

4 滑坡风险分析

4.1 室内人员风险

在滑坡影响区域内,假定每位居民每日平均在房屋内度过18 h,得到其时空概率为0.75。依据风险计算公式,计算出工况2、3、4下室内人口所面临的风险值,如表5、图7所示。

表5 不同工况下老电厂滑坡室内人员风险值
Tab.5 Indoor personnel risk results of Laodianchang landslide under different working conditions

滑坡分区	建筑物编号	室内人员风险值/人		
		工况2	工况3	工况4
①	1	0	0	0
①	2	0	0	0
①	3	0.284	0.316	0.375
②	4	0.852	0.949	1.126
①	5	1.135	1.265	1.501
②	6	3.406	3.795	4.502
总计		5.677	6.325	7.504

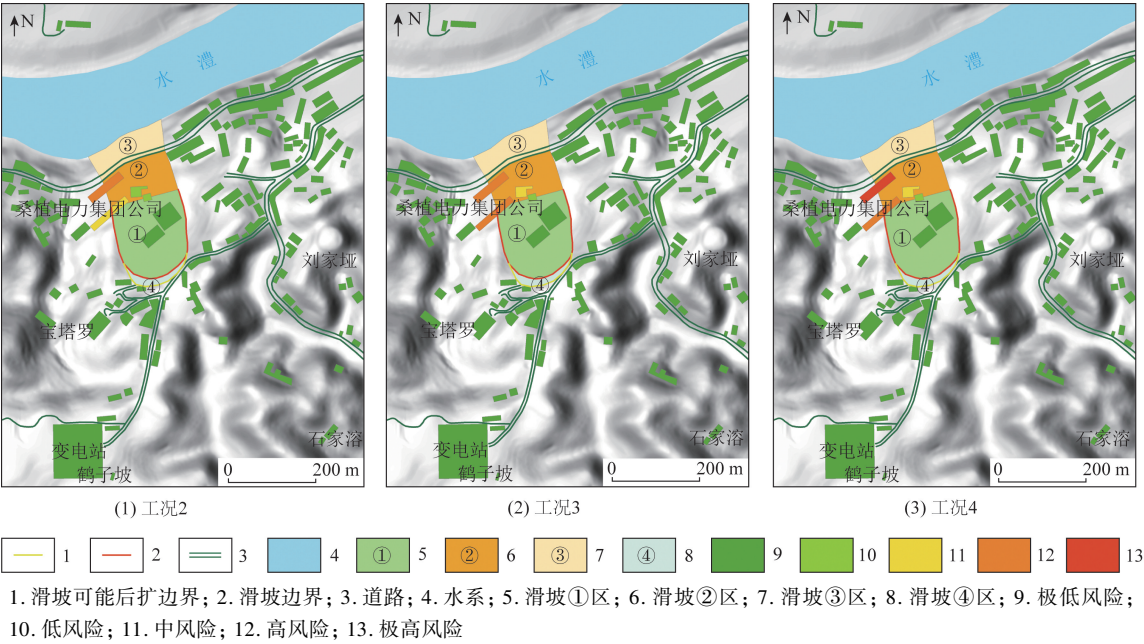


图7 不同工况下老电厂滑坡室内人员风险分布

Fig.7 Indoor personnel risk map of Laodianchang landslide under different working conditions

由表5可知,20 a 和 50 a 降雨重现期的人员伤亡风险分别较 10 a、20 a 的增加了11.41%和18.64%,表

明随着暴雨重现期的延长,滑坡区域内室内人员的风险值也呈现出递增的趋势。特别地,在最为极端的工

况4下,室内人员风险值达到了最高,即7.504人,这表示在该工况下,预计最多可能会造成8人同时伤亡。

4.2 滑坡经济风险

滑坡分区内经济承灾体的位置不随时间或空间变化,因此其时空概率设为1,以反映其持续暴露于潜在风险中的状态。依据承灾体经济价值调查结果,对滑坡影响的不同区域及在不同工况条件下的潜在财产损失进行了估算(表6、图8)。

由表6可知,20 a和50 a降雨重现期的经济风险分别较10 a、20 a的增加了11.41%和18.64%,表明随着暴雨重现期的延长,滑坡区域内经济风险值呈现出递增的趋势。在工况4下,经济风险值高达496.669万元,其中,建筑物及其内部财产的经济风险占据主要部分,达到了489.431万元,土地经济风险为6.42万元,而公路的风险值相对较低,

为0.818万元。值得注意的是,该计算结果尚未将河道受损及其他潜在的间接经济损失纳入。

表6 不同工况下老电厂滑坡经济风险值
Tab.6 Economic risk results of Laodianchang landslides under different working conditions

滑坡分区	建筑物编号 及土地、公路	经济风险值/万元		
		工况2	工况3	工况4
①	1	69.565	77.506	91.954
①	2	241.761	269.358	319.569
①	3	5.186	5.777	6.854
②	4	2.196	2.447	2.903
①	5	43.192	48.122	57.092
②	6	8.366	9.322	11.059
②	公路	0.619	0.689	0.818
②	水泥硬化场	4.857	5.412	6.420
总计		375.742	418.633	496.669

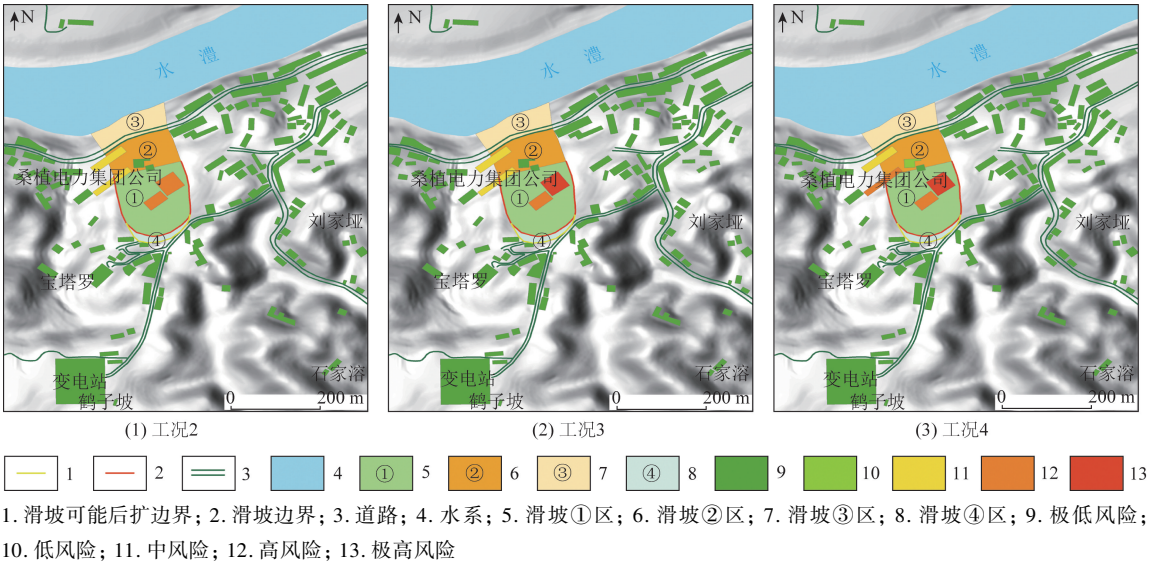


图8 不同工况下老电厂滑坡建筑物风险分布

Fig.8 Building risk map of Laodianchang landslide under different working conditions

由表5、表6可以看出,老电厂区域在遭遇不同重现期(10 a、20 a、50 a一遇暴雨)情境下,单栋建筑物承灾体的最高风险值为319.569万元,位于滑坡中部,而单栋建筑内人员风险值最高达到4.502人,位于滑坡前缘公路附近,该可视化结果为决策者提供了清晰的风险评估依据。

4.3 滑坡年风险值

基于10 a、20 a和50 a不同降雨重现期下滑坡损失与降雨年超越概率之间的关联性,绘制了人口与财产总风险随年超越概率变化的趋势图(图9,图10)。图中曲线所覆盖的面积,直接反映了滑坡的年风险值。经过计算,该滑坡室内人员年风险值

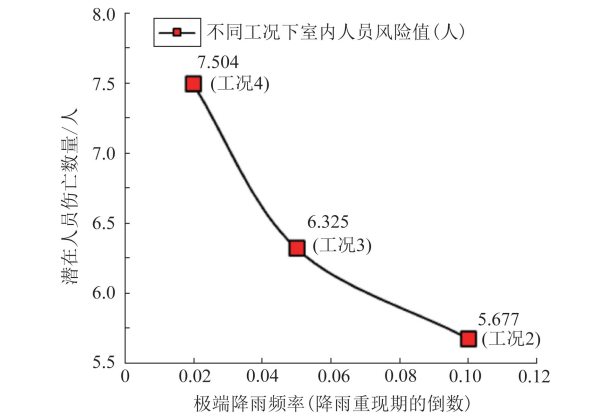


图9 老电厂滑坡室内人员损失曲线

Fig.9 Indoor personned loss curve of Laodianchang landslide

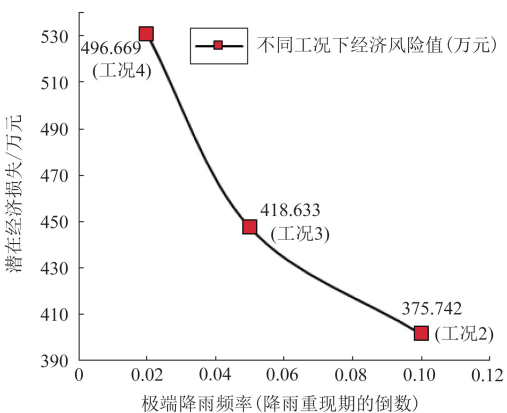


图 10 老电厂滑坡经济损失曲线

Fig. 10 Economic loss curve of Laodianchang landslide

达到 4.4 人,而滑坡导致的经济年风险值则为 311.65 万元。该滑坡人员年均风险已达较大事故认定标准,且滑坡经济年均风险较高,因此,需对该滑坡开展风险防控对策研究。

5 滑坡风险管理对策建议

5.1 滑坡防治措施分析

老电厂滑坡的人员年均风险较大,尤其在 50 a 一遇暴雨工况下,滑坡发生的概率高达66.70%,可能造成的人口伤亡为 7.504 人,造成的直接经济损失至少约 496.669 万元。为了减小该滑坡所造成的损失,需要采取减小小滑坡风险的措施,根据该滑坡的风险评价结果,可采用的防治方案有 4 种:整体治理、局部治理、监测预警、搬迁避让,各方案介绍如下,具体施工布置见图 1。

(1)整体治理。在滑坡前缘设置截面 2.5 m ×

2 m,桩长 8 m 的抗滑桩 16 根,在滑坡周边设置矩形截面为 0.5 m × 0.5 m、沟帮和沟底厚 0.3 m、总长为 376 m 的截排水沟。工程费用约 206 万元。

(2)局部治理。仅采用整体治理中的截排水沟工程,减小滑坡外围地表水的渗入。工程费用约 14 万元。

(3)监测预警。老电厂滑坡采用 GPS、裂缝计与群测群防相结合的监测措施减缓滑坡风险。滑坡布设 4 个 GPS 监测点,构成 2 纵 2 横监测网络,并布设 3 个地表裂缝位移监测点,监测工程运行期可按 10 a 计算,总体费用合计 29.64 万元。

(4)搬迁避让。老电厂滑坡主要威胁住宅、土地等,根据现场调查访问,滑坡影响范围内有 6 户 30 人,按照原建筑面积建住房供搬迁人员迁入,建筑面积为 4 174 m²,按照农村建造房屋 800 元/m² 计算成本,共计需要投入 334 万元。

5.2 滑坡风险控制方案比选

在进行滑坡风险控制方案比选时,需要考虑在采取了风险控制措施后,仍然存在的风险,即残余风险。将上述多种方案实施后可能产生的残余风险进行综合。如表 7 所示:监测预警方案的残余风险最大;局部治理方案的经济成本最低,但其残余风险较大;整体治理方案和搬迁避让方案可以将人员的残余风险降至最低。根据“人民至上、生命至上”的防控原则,优先采用整体治理和搬迁避让这两种方案,考虑到无论在经济成本或其残余风险方面,整体治理方案均比搬迁避让方案更低,因此,老电厂滑坡的风险防控措施推荐采用整体治理方案作为最优实施策略。

表 7 老电厂滑坡风险控制方案比选表

Tab. 7 Risk control scheme comparison of Laodianchang landslide

风险控制方案	防治措施	投资预算/万元	50 a 暴雨滑坡的破坏概率/%	室内人员风险		经济风险		推荐方案
				50 a 暴雨工况下人员风险值/人	残余风险/%	50 a 暴雨工况下经济风险值/万元	残余风险/%	
整体治理	16 根抗滑桩 + 376 m 截排水沟 (宽、深各 0.5 m)	206.00	66.70	7.504	0	496.669	0	整体治理
局部治理	693 m 截排水沟 (宽深各 0.5 m)	14.00			70		75	
监测预警	专业监测 + 群测群防	29.64			85		90	
搬迁避让	搬迁避让	334.00			0		60	

6 结论

(1)以怀化市桑植县城老电厂滑坡为研究对象,结合 Gumbel 分布理论、滑坡灾害强度和易损性

定量评估,建立了单体滑坡灾害风险定量评价的方法及评价过程,得出 20 a 和 50 a 降雨重现期的人员伤亡风险与经济风险较 10 a、20 a 均增加了 11.41%、18.64%,在最为极端的工况 4 (50 a 一遇暴雨工况)下,预计最多可能会造成 8 人同时伤亡,

总经济风险高达 496.669 万元人民币。同时,提出了滑坡风险防控优选方案比选方法,推荐采用抗滑桩+截排水沟的整体治理措施。

(2) 滑坡风险评价应综合考虑滑坡体的规模、运动特征、影响范围内的承灾体分布及易损性等因素,采用定量或半定量的方法,确保评估结果的准确性和科学性。同时,风险评价结果可用于确定差异化的滑坡防控措施,以实现经济效益、社会效益和环境效益的最优化。

(3) 本文的风险评价结果是特定降雨阈值下的一种动态结果。需要注意的是,随着当前极端气候的不断加剧,该降雨阈值会随时间的发展而进行动态变化。因此,灾害风险评价是一种动态化、常态化的评价,后续应定期进行风险动态评价,同时对防控措施效果进行评估,不断优化和完善防控策略。

参考文献(References):

- [1] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433–454.
Huang R Q. Large-scale landslides and their sliding mechanisms in China since the 20th century[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(3): 433–454.
- [2] 吴越, 刘东升, 陆新, 等. 单体滑坡灾害财产风险定量评估模型[J]. 岩土力学, 2010, 31(S2): 342–348.
Wu Y, Liu D S, Lu X, et al. A quantitative assessment model for property risk caused by single landslide[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(S2): 342–348.
- [3] 铁永波, 孙强, 徐勇, 等. 南方山地丘陵区典型地质灾害成因机制与风险评价[J]. 中国地质调查, 2022, 9(4): 1–9.
Tie Y B, Sun Q, Xu Y, et al. Genetic mechanism and risk assessment of typical geological hazards in mountainous and hilly areas of South China[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(4): 1–9.
- [4] 吴越, 向灵均, 吴同情, 等. 基于受灾体空间概率的滑坡灾害财产风险定量评估[J]. 岩石力学与工程学报, 2020, 39(S2): 3464–3474.
Wu Y, Xiang L J, Wu T Q, et al. Quantitative assessment of landslide property risk based on impact probability of element at risk[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2020, 39(S2): 3464–3474.
- [5] 刘强, 汤爱平. 基于概率分析的公路系统灾害风险研究[J]. 西南交通大学学报, 2021, 56(6): 1268–1274, 1289.
Liu Q, Tang A P. Highway system disaster risk based on probability analysis[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2021, 56(6): 1268–1274, 1289.
- [6] Fu S, Chen L X, Woldai T, et al. Landslide hazard probability and risk assessment at the community level: A case of western Hubei, China[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2020, 20(2): 581–601.
- [7] Paliaga G, Faccini F, Luino F, et al. Geomorphic processes and risk related to a large landslide dam in a highly urbanized Mediterranean catchment (Genova, Italy)[J]. Geomorphology, 2019, 327: 48–61.
- [8] Bojadjieva J, Sheshov V, Bonnard C. Hazard and risk assessment of earthquake-induced landslides – case study[J]. Landslides, 2018, 15(1): 161–171.
- [9] 刘长春. 三峡库区万州城区滑坡灾害风险评价[D]. 武汉: 中国地质大学, 2014.
Liu C C. Landslide Risk Assessment at Wanzhou Urban Area in the Three Gorges Reservoir[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2014.
- [10] 林高聪, 刘欢, 王洪磊, 等. 不同比例尺度下的地质灾害风险评价分析——以湖南黄溪口镇为例[J]. 中国地质调查, 2024, 11(6): 100–110.
Lin G C, Liu H, Wang H L, et al. Risk assessment of geological hazards under different plotting scales: A case study of Huangxikou Town in Hunan Province[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(6): 100–110.
- [11] 陈强, 李耀庄. 边坡稳定的可靠度分析与评价[J]. 路基工程, 2007(1): 1–2.
Chen Q, Li Y Z. The analysis and evaluation to reliability of slope stability[J]. Subgrade Engineering, 2007(1): 1–2.
- [12] Hungr O, McDougall S. Two numerical models for landslide dynamic analysis[J]. Computers & Geosciences, 2009, 35(5): 978–992.
- [13] 罗冠枝, 陈全明, 王国卫. 坡面泥石流流灾变易损性分析评价及防灾模式[J]. 防灾减灾学报, 2018, 34(4): 19–25.
Luo G Z, Chen Q M, Wang G W. Analysis evaluation and disaster prevention model of slope debris flow disaster vulnerability[J]. Journal of Disaster Prevention and Reduction, 2018, 34(4): 19–25.
- [14] 高玉欣, 刘德成, 高雪媛. 区县地质灾害风险评价中易损性评价研究[J]. 环境生态学, 2021, 3(5): 49–54.
Gao Y X, Liu D C, Gao X Y. Study on vulnerability assessment of geological hazard risk assessment in districts and counties[J]. Environmental Ecology, 2021, 3(5): 49–54.
- [15] Chen L, Young M H. Green-Ampt infiltration model for sloping surfaces[J]. Water Resources Research, 2006, 42(7): W07420.
- [16] Zhang S, Zhang L M, Li X Y, et al. Physical vulnerability models for assessing building damage by debris flows[J]. Engineering Geology, 2018, 247: 145–158.
- [17] 周礼. 崩塌灾害作用下砌体结构损伤效应与易损性定量评价方法研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2020.
Zhou L. Research on Quantitative Evaluation Method of Damage Effect and Vulnerability of Masonry Structure Under Collapse Disaster[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2020.
- [18] 陈宾, 魏娜, 张联志, 等. 基于斜坡单元灾害强度的滑坡灾害易损性评价——以湖南省湘乡市为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2): 137–145.

Chen B, Wei N, Zhang L Z, et al. Vulnerability assessment of landslide hazards based on hazard intensity at slope level: A case study in Xiangxiang county of Hunan[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2024, 35(2): 137 – 145.

[19] 中华人民共和国自然资源部. DZ/T 0438—2023 地质灾害风险调查评价规范(1:50 000)[S]. 北京:地质出版社, 2023. Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. DZ/T 0438—2023 Specification of Geological Hazard Risk Survey and Assessment (1:50 000)[S]. Beijing: Geological Publishing House, 2023.

[20] Varnes D J. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice[M]. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1984.

[21] Corominas J. The angle of reach as a mobility index for small and large landslides[J]. Canadian Geotechnical Journal, 1996, 33(2): 260 – 271.

Risk assessment and prevention and control measures for individual landslide disaster: A case study of Laodianchang landslide in Sangzhi County of Huaihua City

LI Bo¹, LIU Hao¹, DUAN Shenglong¹, FU Junjun¹, LIAN Zhipeng², LIU Lei², XU Yong²

(1. Shanghai Academy of Building Sciences Co., Ltd., Shanghai 200030, China; 2. Wuhan Center, China Geological Survey (Geosciences Innovation Center of Central South China), Wuhan Hubei 430205, China)

Abstract: Quantitative risk assessment of individual landslide has always been a focal and challenging aspect of landslide research. The quantitative calculation of individual landslide risk and analysis of landslide risk during different rainfall return periods is of great significance for landslide risk prevention and control. The authors took Laodianfang landslide in Sangzhi County of Huaihua City as the research object and combined Gumbel distribution theory, landslide disaster intensity, and vulnerability quantitative assessment to establish the method and evaluation process of the quantitative assessment of individual landslide disaster risk. The economic losses and casualty risks of Laodianfang landslide under different rainfall conditions have been obtained, and a method for comparing and selecting optimal landslide risk prevention and control schemes has been proposed. The results are as follows. ① The movement characteristics of the landslide mass and the distribution and vulnerability of the disaster bearing bodies within the influence range should be comprehensively considered during landslide risk assessment. And the qualitative – quantitative combination method should be adopted to ensure the accuracy and scientificity of the assessment results. At the same time, the risk assessment results can be used to determine differentiated landslide prevention and control measures to achieve the optimization of economic, social, and environmental benefits. ② The casualty risks and economic risks during 20 – year and 50 – year rainfall return periods both have increased by 11.41% and 18.64% compared with those during 20 – year rainfall return period. This indicates that as the rainstorm return period extends, the indoor personnel and economic risk values within the landslide area also show an increasing trend. ③ The overall treatment measures of anti – slide piles and drainage ditches were adopted after comparing various risk control schemes. The research results could enrich the theoretical system of landslide disaster risk assessment and provide scientific basis and technical support for the government and relevant departments to formulate scientific and reasonable prevention and control strategies.

Keywords: individual landslide; failure probability; vulnerability calculation; risk assessment; risk prevention and control

(责任编辑: 刘丹)