

重庆市特大型滑坡风险评价研究

陈晓岚, 洪波

(重庆市地勘局 208 水文地质工程地质队, 重庆 400700)

摘要: 通过对重庆市特大型滑坡的分布、物质结构、成因、稳定性及成灾特点的分析研究, 建立特大型滑坡风险评价模型; 以典型特大型滑坡为基础, 确定特大型滑坡发生概率和风险等级; 结合风险评价结果, 针对特大型滑坡成灾特点, 提出风险管理对策, 探索特大型滑坡防灾减灾对策。

关键词: 特大型滑坡; 风险评价; 风险管理; 防灾减灾

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2015)04-0071-05

0 引言

特大型滑坡(指单体体积在 $1\ 000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上的滑坡)的发生给国家和人民的生命财产造成了严重的损失, 其破坏力是毁灭性的。如 2009 年 6 月 5 日重庆市武隆县铁矿乡鸡尾山发生山体崩滑特大型地质灾害, 造成 72 人伤亡^①。自 20 世纪 80 年代以来, 重庆市特大型灾害事件时有发生, 威胁人口近 10 万人。近年来, 重庆市特大型滑坡活动逐渐加强, 对重庆市社会经济发展构成了重大威胁, 并造成了巨大的人员伤亡和经济损失。因此, 开展特大型滑坡风险评价与风险管理的研究是非常必要的。

1 重庆市特大型滑坡特征

1.1 分布特征

据“重庆市地质灾害群测群防监测预警工程”调查资料, 截至 2012 年 12 月底重庆市发育特大型滑坡 117 处, 体积在 $1\ 000 \times 10^4 \sim 11\ 200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 之间。主要集中在侏罗系遂宁组、沙溪庙组、自流井组和三叠

系巴东组, 志留系罗惹坪组等地层中, 发育 90 处, 占总数的 76.92%。其中沙溪庙组发育最多, 有 46 处; 其次为巴东组, 发育有 17 处。主要分布在长江岸坡带、乌江岸坡带和渝西南丘陵低山区, 发育 105 处, 占特大型滑坡总数的 89.74%。其中长江流域有 74 处, 占总数的 63.25%; 乌江流域有 21 处, 占总数的 17.95%^{①-④}。

1.2 物质结构特征

按物质组成可分为岩质滑坡、土质滑坡、岩土混合滑坡 3 类(图 1)。岩质滑坡有 11 处, 滑体物质为侏罗系泥岩夹砂岩, 泥岩为软弱夹层, 遇水软化后构成了滑坡的潜在滑面^①。在滑坡中部岩体结构一般保存较为完整, 在现场易与基岩混淆, 滑坡后缘变形明显, 易于区分, 两侧滑体结构破碎。

土质滑坡 104 处, 滑体结构松散, 以碎块石夹粉质粘土居多, 滑体中部厚度大, 前后缘厚度较薄, 滑体物质成因多为古崩坡积物, 含有大量块石, 块石分布不均匀^[1]。

岩土混合滑坡 2 处, 表层为土质, 下部为岩质, 以岩质为主, 结构与岩质滑坡类似^①。

1.3 成因特征

由于特大型滑坡主要以古、老滑坡为主, 在其

收稿日期: 2015-01-15; 改回日期: 2015-02-05。

基金项目: 中国地质调查“重庆市特大型滑坡调查与风险评价报告(编号: 1212010740308)”项目资助。

作者简介: 陈晓岚(1975—), 男, 高级工程师, 主要从事水工环地质调查、勘察与研究。Email: 466716648@qq.com。

① 重庆市地质环境监测总站. 重庆市特大型滑坡调查与风险评价[R]. 重庆: 重庆市地质环境监测总站, 2011.

② 重庆市地勘局 208 地质队. 渝北区、江津、潼南县、万州区、忠县、巫山县等 40 个区县地质灾害详细调查与监测预警系统建设报告、地质灾害调查与区划报告[R]. 重庆: 重庆市地勘局 208 地质队, 2004.

③ 重庆市地勘局 208 地质队. 乌江流域重庆段水文地质工程地质环境地质综合勘查报告[R]. 重庆: 重庆市地勘局 208 地质队, 2001.

④ 重庆市地勘局 208 地质队. 三峡水库消落区库岸地质环境问题及对策研究(重庆段)[R]. 重庆: 重庆市地勘局 208 地质队, 2005.

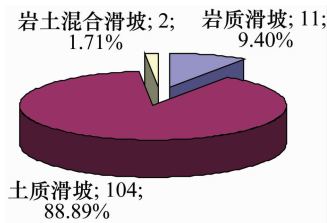


图1 物质组成示意图

Fig.1 Schematic diagram of composition

形成过程中大多历经了自然的各种地质营力作用，在这些地质营力中起决定作用的是构造运动，构造运动形成山地、沟谷等多种地貌形态，在山地、沟谷等地带一般构造作用强烈，断裂、褶皱发育，岩体较破坏，松动岩体分布广、厚度大、规模大，为特大型滑坡的形成提供了充足的物质来源。之后由于河流下切冲刷等作用，造成这些松动岩体前缘临空，在降雨、江河冲刷、地震（图2）等诱发下形成古、老滑坡。在古、老滑坡形成后相当长的时间，其逐步趋于稳定。后期由于人类工程活动（加载、切坡、水库蓄水等），部分古、老滑坡表层出现变形，形成次级滑坡体。

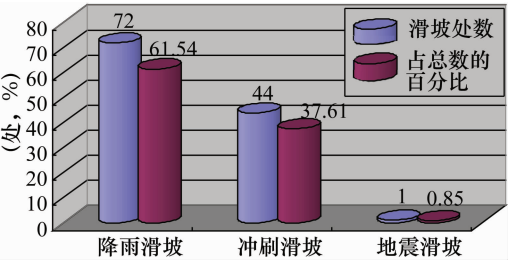


图2 滑坡成因分类示意图

Fig.2 Schematic diagram of landslide classification

1.4 稳定性分析

已进行工程治理的滑坡依据监测资料评判其稳定性，已作勘查的滑坡利用勘查报告评价结论划分其稳定性，未进行勘查的滑坡采用工程类比法划分其稳定性。经分析，重庆市稳定的特大型滑坡有15处，占总数的8.47%；较稳定的有77处，占总数的65.81%；不稳定的有25处，占总数的25.72%^①。

1.5 风险特点

重庆市特大型滑坡风险有如下特点：①随着环境破坏，灾害发生更加频繁，强度更大；②灾害事件导致的经济损失越来越大。特大型滑坡风险增大的原因主要有两个：①随着经济和社会的发展，人

口密度越来越大，单位面积上的受灾人数越来越多；②单位面积的财产聚集越来越多，面临风险的财产价值越来越高。

2 风险评价模型的建立

滑坡风险就是滑坡发生的概率以及滑坡产生不良后果的程度，风险评价是在滑坡地质环境条件、滑坡特征与成因机制、滑坡稳定性等分析的基础上，对灾害发生的可能性大小和灾害发生后可能造成的损失程度的量化过程。

2.1 滑坡发生概率

滑坡发生概率就是滑坡发生的可能性，滑坡形成的地质环境、变形破坏特征和主要诱发因素，是滑坡发生的主要控制指标。通过对重庆市特大型滑坡分布、物质结构、成因、稳定状态等的研究，选取地层岩性、斜坡结构、坡度、降雨、新构造活动与地震、人类工程活动、斜坡变形破坏特征（稳定状态）、地表水与地下水等8个因素来确定滑坡发生概率，可用下式表示：

$$P = \frac{\sum_{i=1}^8 a_i p_i}{10} \tag{1}$$

式中： a_i ·第*i*个评价因子权重（表1）； p_i ·第*i*个评价因子赋值（表1）； P ·滑坡发生概率指数。

根据公式（1）计算土台滑坡、鸡尾山崩滑体、羊角滑坡等典型特大型滑坡发生概率指数*P*，确定特大型滑坡发生概率等级临界值（表2），据此将特大型滑坡发生概率分为大（ $P > 0.8$ ）、中（ $0.5 < P < 0.8$ ）、小（ $P < 0.5$ ）3级。

2.2 滑坡易损程度

滑坡损失程度取决于受灾对象的重要程度。受灾对象主要为人和财产，财产包括滑坡体上建筑、道路、管线等设施，以及农作物、树木、土地开发利用价值等。通过调查，可初步估算滑坡一旦失稳可能造成的直接经济损失。

影响受灾对象破坏概率的因素有滑坡滑动速度、滑坡规模、受灾对象所处的位置等。由于特大型滑坡前后缘高差大，储存的势能相对大，滑动速度一般较快，同时其规模较大，因此特大型滑坡破坏概率主要取决于受灾对象所处的位置，据此受灾体易损概率划分为3级：高易损、中等易损、低易损（表3）。易损程度主要由死亡人数、受威胁人数、

表 1 参评因子量化评分及权重分配

Table 1 Factor quantification and weight allocation

序号	影响因子	权重	量级划分								
			差		得分	中等		得分	好	得分	
1	地层岩性	0.12	泥岩、砂岩软硬相间地层		10	堆积层、泥灰岩		5	碳酸盐岩、砂岩		1
2	斜坡结构类型	0.13	顺向层状斜坡、崩滑残留体斜坡		10	斜向层状斜坡、残坡积层斜坡		5	逆向斜坡、水平层状斜坡		1
3	坡度/(°)	0.13	20 ~ 60		10	10 ~ 20、> 60		5	< 10		1
4	三日最大降雨量/mm	0.15	> 140		10	50 ~ 140		5	< 50		1
5	新构造活动与地震	0.05	强烈抬升区、地震活动强烈		10	抬升区、地震活动较强烈		5	稳定区、地震活动微弱		1
6	人类工程活动	0.10	强烈		10	较强烈		5	不强烈		1
7	斜坡变形破坏特征	0.18	存在不稳定的滑体		10	存在具备复活条件的滑坡		5	稳定滑坡或无滑坡		1
8	地表水与地下水作用	0.14	作用强烈,有水位降		10	作用较强烈,无水位降		5	无地表水与地下水		1

表 2 典型特大型滑坡发生概率指数

Table 2 The probability index of typical oversize landslide

序号	滑坡名称	体积/ (10 ⁴ m ³)	稳定 状态	发生 概率	发生概 率指数 <i>P</i>	概率指 数区间
1	玉皇阁滑坡	1 150	稳定	小	0.172	<0.5
2	白衣庵滑坡	3 600	稳定	小	0.427	
3	和平广场滑坡	1 950	稳定	小	0.481	
4	土台滑坡	1 400	基本稳定	中	0.506	0.5~0.8
5	羊角滑坡	3 240	基本稳定	中	0.784	
6	头渡滑坡	3 500	基本稳定	中	0.618	
7	四面山镇滑坡	1 125	基本稳定	中	0.583	
8	铁峰乡滑坡	1 100	基本稳定	中	0.536	
9	鸡尾山崩滑体	1 500	不稳定	大	0.925	>0.8
10	关张河滑坡	1 080	不稳定	大	0.817	
11	朱家蹬滑坡	1 000	不稳定	大	0.895	

表 3 易损概率分级表

Table 3 Damage probability classification

受灾对象位置	易损概率
危险区	高易损
影响区	中等易损
安全区	低易损

财产直接经济损失由 3 部分组成,据《地质环境影响评估技术规定》(重庆市国土资源和房屋管理局)并参照有关标准,按表 4 进行评价。

表 4 易损程度分级表

Table 4 Vulnerability classification

易损程度	易损指标		
	死亡人数/人	受威胁人数/人	直接经济损失/万元
损失小	<10	<100	<1 000
损失中等	10~30	100~500	1 000~5 000
损失大	>30	>500	>5 000

万方数据

2.3 滑坡风险评价

风险评价就是对滑坡发生概率和易损程度进行运算叠加,确定其风险大小,可用财产风险和人员死亡风险来衡量。

2.3.1 财产风险 F_c

$$F_c = P \cdot P_c \cdot R_c \tag{2}$$

式中: F_c ,财产风险指数; P ,滑坡发生概率; P_c ,财产易损概率(高易损取 3、中等易损取 2、低易损取 1); R_c ,财产价值系数(损失大取 1,损失中等取 0.5,损失小取 0.1)。

2.3.2 人员死亡风险 F_r

$$F_r = P \cdot P_r \cdot R_r \tag{3}$$

式中: F_r ,人员死亡风险指数; P ,滑坡发生概率; P_r ,人员死亡概率(高易损取 3、中等易损取 2、低易损取 1); R_r ,死亡系数((损失大取 1,损失中等取 0.5,损失小取 0.1))。

根据公式(2)、(3)估算财产风险和人员死亡风险等级临界值,按表 5 划分为高风险、中等风险、低风险 3 级。

表 5 滑坡风险分级表

Table 5 Landslide risk classification

风险分级	风险评判指数	
	人员死亡风险 F_r	财产风险 F_c
高风险	>2.4	>2.4
中等风险	0.5~2.4	0.5~2.4
低风险	<0.5	<0.5

3 重庆市特大型风险分析与管理对策

3.1 风险分析

据公式(1)、(2)、(3)分别计算各滑坡的发生

第五,完善保险制度。引入巨灾保险机制,让保险行业在灾后重建中发挥重要作用。

4 结语

在社会不断发展进步的同时,人类面临特大型灾害的风险越来越大,需要保护的对象也越来越多,对特大型滑坡进行风险评价、风险管理的任务

也越来越急迫和艰巨。特大型滑坡风险评价与风险管理的引入,能够缓解这一矛盾,可以通过对灾害空间分布、形成条件、形成机制等的调查、分析,预测灾害发生、发展、演变的风险概率,进而最大限度地防范灾害可能造成的损失与危害,为避免人口密集区的群死群伤事件和推进防灾减灾工作都具有十分重要的现实意义。

Research on Risk Evaluation of Large Landslides in Chongqing City

CHEN Xiao-lan, HONG Bo

(The 208th Hydrogeology and Engineering Geology Team, Chongqing Bureau of Geology and Minerals Exploration, Chongqing 400700, China)

Abstract: In this paper, distribution, material structure, formation, stability and characteristics of the large landslides in Chongqing city were analysed, while the risk evaluation model of oversize landslides was established, the probability and risk degree of oversize landslides were determined basing on typical oversize landslides. Combining with the risk evaluation results, risk management strategies and counter measures of prevention and mitigation were proposed according to the characteristics of oversize landslide disasters.

Key words: oversize landslide; risk assessment; risk management; disaster prevention and mitigation