

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.02.12

基于层次分析法的重庆山区矿山泥石流流势度评价

文光菊^{1,2}, 邓文杰³, 杨 乐^{1,2}, 彭海游^{1,2}, 谢晓彤^{1,2}

- (1. 外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室(重庆地质矿产研究院), 重庆 400042;
2. 重庆市地质灾害自动化监测工程技术研究中心(重庆地质矿产研究院), 重庆 400042;
3. 重庆川东南地质工程勘察设计院, 重庆 400038)

摘要: 重庆是典型的山地城市, 矿产资源丰富, 降水充沛, 为矿山泥石流灾害较为严重的城市。为分析重庆山区孕育矿山泥石流灾害的地质环境特征, 本文选取渣堆坡角、渣堆高度、渣堆堆积时间等 13 个因子构建了矿山泥石流流势度评价指标体系, 利用层次分析法确定各指标权重, 建立了矿山泥石流流势度综合指数评价模型, 并以秀山溪口矿山泥石流为研究对象, 通过计算得到研究区矿山泥石流流势度指数为 8.51, 区内地质环境孕育矿山泥石流的潜在能力高, 评价结果与实际情况吻合。

关键词: 矿山泥石流; 流势度; 层次分析法; 重庆

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)02-0092-05

Based on the AHP of potentiality degree assessment of mine debris flow in mountainous area of Chongqing

WEN Guangju^{1,2}, DENG Wenjie³, YANG Le^{1,2}, PENG Haiyou^{1,2}, XIE Xiaotong^{1,2}

- (1. Chongqing Key Laboratory of Exogenic Mineralization and Mine Environment, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China;
2. Chongqing Engineering Research Center of Automatic Monitoring for Geological Hazards, Chongqing Institute of Geology and Mineral Resources, Chongqing 400042, China;
3. Chongqing Southeast Geological Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 400038, China)

Abstract: Chongqing is a typical mountain city with rich mineral resources and abundant rainfall, and it's also a city that the mine debris flow disaster is serious. To analyze the geological environment characteristics of Chongqing mountain area which maybe give birth to mine debris flow, the assessment index system of potentiality degree was constructed with the angle, height, accumulation time of slag heap and other 10 indices, the weight of each index was calculated by the analytic hierarchy process and the comprehensive index model was established. Taking a mine debris flow in Xikou of Xiushan as an example, by calculating, the index of potentiality degree is 8.11, and it means that the potential ability which may induce mine debris flow is high in this area. The assessment result is consistent with the actual situation.

Keywords: mine debris flow; potentiality degree; analytic hierarchy process(AHP); Chongqing

重庆是典型的山地城市, 地形陡峭, 矿产资源丰富, 降水充沛, 具备矿山泥石流形成的基本条件。随着山区工程建设活动的逐年增加, 矿山环境不合理破坏;

加之以往忽略对矿山环境的有效保护, 使得矿区地质环境恶化, 以至于此类灾害的比例也逐年上升, 并造成严重的经济损失和社会影响。因此, 如何早期警示矿

收稿日期: 2016-09-07

基金项目: 重庆市国土房管局科技项目(CIGMR1102)

第一作者: 文光菊(1987-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 主要从事岩土工程灾害机理与控制研究。E-mail: wwgj87@163.com

山泥石流灾害,有效避免灾害的发生是矿山泥石流研究领域亟需解决的一项课题。

潜势度^[1-2]源于区域地质灾害四度分析理论,它是指某一区域在没有任何外界诱发因素(如降雨、地震和人类活动)的影响下地质环境自身孕育地质灾害的潜在能力,代表着一个地区地质环境的特征,是矿山泥石流灾害趋势预测的基础。我国矿山泥石流研究起步晚,是我国泥石流研究领域的薄弱环节。目前,针对矿山泥石流潜势度的研究更是欠缺,尚未形成体系,仅徐友宁、莫时雄、方茜娟等分别对陕西、广西、豫西的栾川地区的金属矿山进行了研究^[3-7]。为有效的进行矿山泥石流减灾防灾,矿山泥石流潜势度研究仍需加强。本文在已有成果的基础上,将评价指标细化,构建了适用于重庆山区矿山泥石流潜势度的评价体系,以期掌握重庆市矿山泥石流的发育程度,并对预防、减轻矿山泥石流灾害奠定基础。

1 重庆山区矿山泥石流概况

1.1 物源条件

重庆市矿产资源较丰富,已发现矿产 68 种,并且其中 17 种资源储量位于全国前 10 位^[8]。丰富的矿产资源,开采过程中势必会形成大量的矿渣。根据现场调查,仅奉节汾河流域,流域面积约 130 km²,存在 31 座不同规模的矸石山,矿渣总量达 3.7057×10^6 m³;位于秀山县溪口镇境内的汞矿,经多年开采,矿渣堆最高达 93 m,堆积方量近 1.45×10^6 m³;万盛区东林煤矿,矸石山于 1958 年开始堆积,堆放量约 4×10^6 m³,总占地面积 0.288 km²,已形成一、二、三级矸石山最大坡高达 73.1 m。在一个小流域内存在如此大量的松散矿渣,为矿山泥石流的形成提供了丰富的物源。

1.2 地形地貌

重庆市地处四川盆地东部,东侧与秦巴山、武陵山相连,西侧逐渐向川中丘陵过渡,区内地貌明显受地质构造控制,西部多为低山丘陵地貌,海拔标高在 500 ~ 900 m,往东逐渐变化为低山、中山地貌,海拔标高一般在 1 000 ~ 2 500 m。全市地形起伏变化较大,东部以深丘、低中山、中山地貌为主,沟谷发育,地形切割强烈,多形成峡谷;西部多为低山丘陵地貌。陡峭的地形为矿渣的起动和搬运创造了有利的条件。

1.3 水动力条件

重庆市属亚热带湿润季风气候区,气候温暖湿润,雨量充沛。据春早夏热,秋雨连绵,无霜期长、光照少、湿度大、气候温和、四季分明、春夏多旱,冬暖多雾的特点。年

降水量为 955.4 ~ 1 519.1 mm,降水量主要集中在 5 ~ 10 月,为年降雨量 70% 左右,降水量具有东部山区高于西部地区,长江南岸比北岸多的特点。充沛的降雨,为重庆市矿山泥石流的发生提供了足够的水动力条件。

1.4 灾害情况

随着采矿活动的加强,矿区地质环境严重恶化,重庆成为全国矿山泥石流灾害较为严重的城市之一,较典型的一次灾害为南桐东林煤矿矿山泥石流。东林煤矿矸石山于 1958 年开始堆积,堆放量约 4×10^6 m³,形成一、二、三级矸石山,一般边坡高度为 20 ~ 40 m,最大坡高达 73.1 m(图 1)。2004 年 6 月 5 日矸石山南坡发生突然垮塌,造成 11 人死亡,2005 年 10 月 25 日,该矸石山南坡新堆放的矸石再次垮塌,造成 1 人死亡,并严重恶化了矿地关系。



图 1 东林煤矿矸石山

Fig. 1 Gangue hill from the coal mine of Donglin

2 潜势度评价体系

2.1 评价指标

目前,已有的评价指标主要从物质来源和地形地貌条件两方面建立,具体可为松散物质储量、沿程补给物质量、岩石类型、流域面积、相对高差、沟谷纵坡比降、沟岸山坡坡角、坡面形态、堵塞系数、坡耕地面积比、渣堆稳定性和历史上有无泥石流发生等等^[3-7]。但描述物质来源的指标较少、较粗略。本文在已有研究的基础上,结合现有调查资料及其可行性,将物源条件进行细化,得到重庆市矿山泥石流潜势度评价指标体系(表 1)。

2.2 指标量化赋值

矿山泥石流潜势度评价指标有定性的也有定量的,且定量的指标具有不同量纲。因此,需要将定性指标和定量指标量化,以满足评价数据统一规范量化的要求。本文将各评价指标分值采用具体数值 1、5、10 为标度分值。其中 1 代表潜势度低,5 代表潜势度中,10 代表潜势度高。

表 1 矿山泥石流潜势度评价指标体系

Table 1 Assessment index system of potentiality degree for mine debris flow

评价指标	低潜势度	中潜势度	高潜势度
渣堆坡角/(°)	≤15	15 ~ 30	≥30
渣堆高度/m	≤10	10 ~ 30	≥30
渣堆堆积时间/a	≥10	10 ~ 3	≤3
渣堆稳定性	稳定	基本稳定	欠稳定、不稳定
沿程补给长度百分比/%	≤30	30 ~ 60	≥60
岩性条件	砂岩、灰岩	中风化以上的泥、页岩	全风化泥、页岩;第四纪松散堆积物
流域面积/km ²	≤0.5	0.5 ~ 10	≥10
相对高差/m	≤200	200 ~ 500	≥500
沟床纵坡比降/‰	≤100	100 ~ 200	≥200
沟岸山坡坡角/(°)	≤15	15 ~ 30	≥30
坡面形态	凹	直线	凸
沟谷堵塞程度	轻微	中等	严重
地表植被覆盖率/%	≥60	60 ~ 30	≤30

2.3 指标权重

多指标综合评价时权重分配不同会直接导致评价对象优劣顺序的改变,因而权重值的合理性、准确性直接影响评价结果的可靠性^[9-10]。确定权重的方法很多如专家咨询法、层次分析法、主成分分析法、因子分析法等等。其中,层次分析法是将整个评价系统按各因素间的隶属关系和相互间的影响划分为多个不同的层次,通过逐层比较各种关联因素,确定各层指标因子的相对重要性权值,进而将人的思维过程和经验判断定量化为数学求解,再根据结果进行一致性检验^[11]。该方法是一种客观方法,它综合整理了人们的主观判断,易于运用掌握。本文基于 20 位专家的意见,按照层次分析法的操作过程,获取了矿山泥石流潜势度评价指标的权重(表 2)。

表 2 指标权重

Table 2 Weight of each index

评价指标	权重
渣堆坡角	0.105 5
渣堆高度	0.098 3
堆积时间	0.025 6
渣堆稳定性	0.123
补给百分比	0.055 1
岩性条件	0.074 9
流域面积	0.088 7
相对高差	0.084
沟床纵比降	0.101
沟岸山坡坡角	0.073 7
坡面形态	0.039 6
沟谷堵塞程度	0.067 6
植被覆盖率	0.063 1

3 综合评价模型

矿山泥石流潜势度采用多因素综合指数法^[12-13]

进行计算,得到的潜势度综合指数是潜势度评价的综合量化值,可用以评价潜势度的分级,并可根据该值的大小设定阈值对潜势度进行综合分级。矿山泥石流潜势度综合指数通过各评价指标的加权叠加计算获取,其计算模型为:

$$Z = \sum_{i=1}^n W_i F_i \tag{1}$$

式中:Z——矿山泥石流潜势度综合指数;
 W_i ——第*i*评价指标的权重值;
 F_i ——第*i*评价指标的赋值。

依据矿山泥石流潜势度综合指数方法提出的潜势度综合分级方案见表 3。

表 3 矿山泥石流潜势度等级

Table 3 Potentiality degree grades of mine debris flow

潜势度分级	低潜势度	中潜势度	高潜势度
分值	1 ≤ X ≤ 3	3 < X < 7	7 ≤ X ≤ 10

4 实例

溪口镇位于重庆市秀山县西北角,为构造剥蚀丘陵-中低山地貌,地形复杂,最大海拔高程 915 m,山势陡峭,两岸谷坡坡度 30° ~ 60°,谷底狭窄沟床纵坡 7° ~ 22°,为“V”型峡谷。山脊多呈棱角状;谷坡区植被发育,覆盖率 60% 以上,从山顶至沟底谷坡大部有残坡积物覆盖,表层为角砾夹粉土,下部为松散碎石土,谷坡堆积物中块石、巨块石含量很少,仅沟底局部可见。

泥石流沟位于溶溪河左岸,流域面积 8.95 m²,主沟长 1.98 km,平均纵坡 15°,主沟两岸呈“V”型峡谷,两岸谷坡坡度 35° ~ 70°,相对高差 100 m 以下的两岸谷坡有大量的残坡积堆积,厚度 2 ~ 15 m,沟道两岸植被发育,在沟的源头区地形呈圈椅状,残坡积物较发

育,沟内水系较为发育,呈树枝状分布,各支流与主沟呈锐角交汇。

泥石流物源主要为秀山县溪口国营水银厂历史开采多年堆渣形成,该渣堆已经严重改变了沟谷地貌,呈现堵沟现状,堆填高度最高达 93 m,堆积体积近 $1.45 \times 10^6 \text{ m}^3$ (图 2),由于矸石堆积体较松散,粘性差,且堆积量大,为泥石流的主要物源区,上缘的汇水区和中段的物源区构成了该泥石流的形成区;该沟的中下段为泥石流的通区,该沟山口段及沟口段为泥石流的堆积区。沟的形成区主沟段,沟底仅中上段有松散层分布,大部分沟段沟底见基岩,流通区沟底主要为基岩,堆积区沟底为泥石流堆积。



图 2 溪口矸石山
Fig.2 Gangue hill of Xikou

根据前述指标量化方法,研究区各评价指标量化结果见表 4。利用式(1)求得研究区矿山泥石流潜势度综合指数为 8.11。根据表 3 可知,研究区潜势度等级为高,即区内孕育矿山泥石流的条件充足,形成矿山泥石流灾害的潜力为高。

表 4 指标量化结果

Table 4 Quantizing result of each index			
评价指标	取值	指标赋值	指标权重
渣堆角度/(°)	30 ~ 50	10	0.105 5
渣堆高度/m	93	10	0.098 3
堆积时间/a	≥ 10 年	1	0.025 6
渣堆稳定性	不稳定	10	0.123 0
沿程补给长度百分比/%	30 ~ 60	10	0.055 1
岩性条件	第四纪松散堆积物	10	0.074 9
流域面积/km ²	8.95	5	0.088 7
相对高差/m	687	10	0.084 0
沟床纵比降/‰	118	5	0.101 0
沟岸山坡坡角/(°)	35 ~ 70	10	0.073 7
坡面形态	凸	10	0.039 6
堵塞程度	严重	10	0.067 6
植被覆盖率/%	30 ~ 60	5	0.063 1
潜势度综合指数	8.51	潜势度等级	高

5 结论

(1)从物质来源、地形地貌条件和水动力作用三方面分析了重庆地区矿山泥石流的发育条件,得到重庆市矿产资源丰富,矿渣储量大,地形地貌较陡峭,境内地下水资源丰富及降雨充沛,为矿山泥石流的形成提供了充足条件。

(2)选取渣堆坡角、渣堆高度、渣堆堆积时间等 13 个因子构建了矿山泥石流潜势度评价指标体系,利用层次分析法确定各指标权重,建立了矿山泥石流潜势度综合指数评价模型。

(3)以秀山溪口矿山泥石流为研究对象,根据矿山泥石流潜势度综合评价方法得到,研究矿山泥石流潜势度综合指数为 8.51,则区内地质环境孕育矿山泥石流的潜在能力高。

参考文献:

[1] 刘传正,李铁峰,程凌鹏,等. 区域地质灾害评价预警的递进分析理论与方法[J]. 水文地质工程地质,2004,31(1):1-8.
LIU Chuansheng, LI Tiefeng, CHENG Lingpeng, et al. A method by to analyse four parameters for assessment and early warning on the regional geo-hazards[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004,31(1):1-8.

[2] 刘传正,李铁峰,温铭生,等. 三峡库区地质灾害空间评价预警研究[J]. 水文地质工程地质,2004,31(4):9-19.
LIU Chuansheng, LI Tiefeng, WEN Mingsheng, et al. Assessment and early warning on geo-hazards in the Three Gorges Reservoir region of Changjiang River [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004,31(4):9-19.

[3] 徐友宁,陈社斌,李育敬,等. 陕西潼关金矿区泥石流潜势度评价[J]. 水文地质工程地质,2006,33(2):89-92.
XU Youning, CHEN Shebin, LI Yujing, et al. Potentiality degree assessment of slag mudslide geo-hazard on the gold mine area in Tongguan, Shaanxi Province[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006,33(2):89-92.

[4] 徐友宁,陈社斌,袁汉春,等. 潼关金矿区矿渣型泥石流熵权评价[J]. 地质科技情报,2006,25(5):101-104.
XU Youning, CHEN Shebin, YUAN Hanchun, et al.

- Entropy weight assessment on slag mudslide potentiality parameter in tongguan gold mine area[J]. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(5): 101 - 104.
- [5] 方茜娟. 矿山泥石流形成条件及其潜势度综合评判研究——以栾川大练沟为例[D]. 桂林: 桂林工学院, 2007.
- FANG Xijuan. The study of forming conditions of mine debris flow and its potentiality degree assessment -taking the Dalian Valley as an example[D]. Gui Lin: Guilin University of Technology, 2007.
- [6] 莫时雄, 程峰, 王杰光, 等. 典型金属矿山泥石流潜势度的模糊层次综合评判[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(2): 41 - 45.
- MO Shixiong, CHENG Feng, WANG Jieguang, et al. Fuzzy hierarchic evaluation for debris flow potential of typical metal mine [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 20(2): 41 - 45.
- [7] 莫时雄, 苏夏征, 程峰, 等. 模糊综合评判法在金属矿山泥石流潜势度评价中的应用[J]. 矿业研究与开发, 2009, 29(2): 30 - 32, 59.
- MO Shixiong, SU Xiazheng, CHENG Feng, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in the potential degree assessment of debris flow in metal mine [J]. Mining Research and Development, 2009, 29(2): 30 - 32, 59.
- [8] 程军, 张丽红, 刘梓萱. 重庆市主要矿产资源分布及赋存特征[J]. 中国西部科技, 2011, 10(8): 3 - 5.
- CHENG Jun, ZHANG Lihong, LIU Zixuan. Distribution of main mineral resources and the orebearing feature in Chongqing [J]. Science and Technology of West China, 2011, 10(8): 3 - 5.
- [9] 李克钢, 侯克鹏, 李旺. 指标动态权重对边坡稳定性的影响研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(2): 492 - 497.
- LI Kegang, HOU Kepeng, LI Wang. Research on influences of factors dynamic weight on slope stability [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(2): 492 - 497.
- [10] 马荣国, 杨申琳. 基于物元分析的 AHP 确定指标权重方法[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2003, 23(5): 117 - 119.
- MA Rongguo, YANG Shenlin. AHP confirming weight of index by matter element analysis [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003, 23(5): 117 - 119.
- [11] 王新民, 康虔, 秦健春, 等. 层次分析法—可拓学模型在岩质边坡稳定性安全评价中的应用[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(6): 2455 - 2462.
- WANG Xinmin, KANG Qian, QIN Jianchun, et al. Application of AHP-extenics model to safety evaluation of rock slope stability [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(6): 2455 - 2462.
- [12] 朱翔, 朱云, 翟云波, 等. 长株潭地区水环境生态安全评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2011, 38(1): 72 - 77.
- ZHU Xiang, ZHU Yun, ZHAI Yunbo, et al. Assessment of the ecological security of water environment in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan district [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2011, 38(1): 72 - 77.
- [13] 李录娟, 邹胜章. 综合指数法和模糊综合法在地下水质量评价中的对比——以遵义市为例[J]. 中国岩溶, 2014, 33(1): 22 - 30.
- LI Lujuan, ZOU Shengzhang. Comparison of comprehensive index method and fuzzy comprehensive method in the evaluation of groundwater quality: A case study of Zunyi City [J]. Carsologica Sinica, 2014, 33(1): 22 - 30.

敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要,扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国期刊网》、《中文科技期刊数据库》和《万方数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部