

西沟尾矿泥石流危险范围及短期灾变时序预测

周志超¹, 李向全², 刘玲霞², 侯新伟², 李杰彪¹, 闻晓慧³

1. 核工业北京地质研究院, 北京 100029
2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061
3. 中铁资源地质勘查有限公司, 北京 100039

摘要 概述了泥石流危险性评价和危险范围预测的研究现状。分析了西沟尾矿泥石流的孕灾环境地质背景, 基于泥石流预测模型对泥石流危险范围进行预测评价, 得出基于泥石流模型实验建立的预测模型适合于尾矿泥石流危险范围的预测。构建了灰色系统灾变预测模型, 并对近期泥石流灾害的灾变时间序列进行预测, 为尾矿泥石流灾害评价及防治减灾提供了重要依据。

关键词 泥石流; 环境地质; 危险范围; 灾变预测

中图分类号 P642.23

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.12.012

Prediction of Risk Range and Short-term Catastrophic Timing for Tailings Debris Flow in West Ditch

ZHOU Zhichao¹, LI Xiangquan², LIU Lingxia², HOU Xinwei², LI Jiebiao¹, WEN Xiaohui³

1. Beijing Research Institute of Uranium Geology, CNNC, Beijing 100029, China
2. Institute of Hydrogeology & Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, China
3. China Railway Resources Geological Exploration Co. Ltd, Beijing 100039, China

Abstract The main research achievements in the area of risk assessment, hazardous dimension, and catastrophic prediction of debris flow are reviewed and summarized. The environmental geological condition of tailings debris flow in west ditch is introduced by the method of field survey and local observation. By taking use of the experiment model established based on 31 sets of debris flow experiment data, the hazardous dimension of debris flow is predicted, and the maximum accumulation length and area in West Ditch is obtained, comparing with the results of field investigation, it could be concluded that the experiment model method is more suitable for predicting the hazardous dimension of tailings debris flow. The gray system forecast model is used to predict the recently disaster time sequence, the credibility is good enough as contrasted with the monitor result, it is able to provide a reference for the risk assessment and disaster mitigation of debris flow. It is also able to provide new ideas for the disaster prevention and mitigation assessment caused by tailings debris flow.

Keywords debris flow; environmental geological; risk range; catastrophic prediction

0 引言

矿山泥石流是由于矿产资源集中开采所诱发且主要分布在矿产资源集中分布的地区^[1], 其物质来源主要为采矿和矿山建设的废渣, 这些废渣散体介质具有粒径较大且粒度各异、土石混排、松散且孔隙度大、渣量丰富且持续堆积、地点

集中等特点。因而矿山泥石流具有人为性、易发性、频发性、危害集中性、可控性等特点^[2-6]。鉴于矿山泥石流的可控性等独特性质, 矿山泥石流的危险范围评价与预测就成了矿山地质灾害领域防灾减灾中的重要研究课题。

国内外学者很早就开始关注泥石流危险性的预测评价

收稿日期: 2013-01-08; 修回日期: 2013-02-16

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(sk201004); 铁道部科技研究开发计划项目(2008G027-A)

作者简介: 周志超, 博士研究生, 研究方向为水文地质及环境地质, 电子信箱: zhouzhichao2006@163.com; 李向全(通信作者), 研究员, 研究方向为水文地质、地质灾害, 电子信箱: lxqlm2003@yahoo.com.cn

工作,其研究成果主要聚焦于用模型实验和数学模型模拟两种预测评价方法,分别采用泥石流的调查分析、现场和室内模拟试验、统计及综合评价等方法建立定量半定量的预测模型。20世纪60年代以前,泥石流领域的研究主要侧重于调查分析灾害形成条件与活动过程;20世纪70年代后期,随着欧美、日本和苏联等国家对泥石流研究工作的深入,泥石流灾害区划和评价工作逐步开展;20世纪80年代后期,随着空间信息技术的广泛应用,国内外泥石流领域的研究朝着模型建立和数值模拟等定量化工作方向发展;近年来,随着全国各地对泥石流地质灾害的重视,区域性的泥石流研究侧重于灾害风险评价,以便为区域防灾减灾管理和工程建设规划提供科学依据;而针对具备泥石流地质灾害条件发生的地段重点开展泥石流危险区划,划分出危险区范围,为地质灾害治理提供科学依据^[7-12]。

泥石流危险范围预测与评价是泥石流非工程措施的重要内容,对于泥石流危险范围的预测与评价,国内外学者们主要是从统计学、水力学及地貌特征等不同角度进行研究,建立起泥石流危险范围预测的半定量经验预测和定量数学模型方法。早期主要是侧重于感性认识和实地踏勘以确定泥石流危险范围^[13],泥石流危险范围的研究随着泥石流地区的交通选址等工作逐步深入,提出了流域面积单因子预测泥石流危险范围的简易方法,目前利用试验与仿真数值模型和数理统计成了本领域研究的主要方向^[14]。而区域泥石流危险性研究在评价指标体系和方法等方面也已日渐增多,推动着泥石流危险范围预测理论方法的不断完善,但由于泥石流危险范围预测与评价所涉及的内容多且影响因素复杂,给研究工作带来了极大的困难^[15]。泥石流灾害事件可通过测定的非确定性反映出泥石流风险的存在^[11],近年通过开展泥石流堆积的模型实验并深入探讨了泥石流堆积过程中各因素间的相互关系,极大地推动了泥石流危险范围预测工作的进步。而GIS/RS技术的发展也为危险区划工作提供了更简洁、快速和高精度的技术方法^[16]。

泥石流预测预报方面,Wieczorek^[17]分析加利福尼亚La Honda地区历史上单体泥石流与降雨关系后,发现其泥石流启动的临界降雨强度与降雨持续时间成指数关系;日本建立日降雨量和泥石流发生前的1h降雨强度预报模型,其中具有代表性的是直线回归形式和指数形式两种。中国自20世纪60年代就开始重视泥石流的预测预报,对泥石流形成的基本条件进行系统研究,提出暴雨泥石流预报时间尺度,开展泥石流监测观测并建立泥石流发生的判别模式^[8];20世纪80年代,在东川市蒋家沟开展泥石流预报观测^[18];20世纪90年代,铁道科学研究院西南分院开展山区铁路暴雨泥石流中短期预报研究^[19];中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所开展山地区域性暴雨泥石流与滑坡短期预报研究;云南省地理研究所开展云南重点区域泥石流灾害中长期预测预报模式研究;中科院北京地理所在北京山区开展泥石流预报研究^[20,21]。泥石流预测预报由定性向定量发展是必然趋势,但

其影响因素众多,形成机制复杂多变,此外,泥石流预报精度也受限于气象预测预报,泥石流预测预报也具有随机性,难用统一的模型进行定量化描述。

矿山泥石流是矿山开发建设过程中所产生的一个突出的生态环境问题,危及矿山的建设和资源的可持续开采。因此,矿山泥石流的研究对矿山的安全建设、资源的可持续开采等都具有重要的理论意义和实用价值。本文采用基于泥石流试验数据构建的预测模型对典型的矿山泥石流——西沟尾矿泥石流的形成条件及危险区范围进行预测评价,研究表明该类型的泥石流危险范围预测较为客观,对该类型的地质灾害防治具有一定借鉴意义。

1 西沟泥石流孕灾环境地质背景

1.1 地形地貌

研究区地处吕梁山的南部尾翼地带,位于河津市禹门口东(图1),龙门山石灰石矿采场南部偏东处,原始地形最高处标高830m,最低处420m,流域面积0.46km²,由于受地质构造影响,强烈的侵蚀切割,坡度较陡,局部甚至达45°~65°。在分水岭地带多具延绵的陡崖和狭窄的山脊,植被稀少。在下部谷坡地带覆盖有第四系堆积物,有部分杂草,地形起伏相对平缓,灌木、乔木交错生长。西沟受后期人类活动影响,矿渣的排放使得原有地形模糊,上部堆积体地形陡峭,散体堆积物主要为细粒尾矿,下部为灰岩块石与巨石。



图1 研究区示意

Fig. 1 Location of the study area

1.2 地层岩性

研究区位于龙门山西南边缘狭长山地,南面为山前沟壑,平地陡起,地形切割严重(图2),海拔高差大于400m,西面为黄河峡谷;山上地形较平缓,北高南低,东高西低。

研究区位于矿区西南部,出露地层简单,主要为中奥陶系上部灰岩与第四系松散堆积物。

(1) 奥陶系灰岩。奥陶系灰岩出露的主要有六段和七段

的灰岩层,深灰、浅灰、灰褐色的白云质灰岩,夹薄层纯灰岩,厚度大,致密块状,性脆、坚硬,沿裂隙充填有方解石岩脉,力学强度高,较稳定。主要出露于山脊与尾矿沟谷两侧,厚层状灰岩夹页岩、砂砾岩等薄层,岩层倾角大。

(2) 第四系松散堆积物。区域内第四系黄土多分布于山前缓坡地带,主要分布于西沟东侧地带。在岩石出露和黄土层间主要为坡积物,岩性为坡积、残积、洪积松散堆积层,以黏性土、含碎石黏性土、碎石、漂块石和卵砾土为主。岩性混杂,分选差,结构松散,呈散体结构,厚度变化大,西沟沟底处呈层状分布,居民区较厚,冲沟附近薄。



图2 西沟泥石流沟全貌

Fig. 2 Overall perspective of debris flow in west ditch

1.3 地质构造

西沟尾矿地处的大地构造单元为祁-吕-贺兰“山”字型构造体系前弧东翼。其构造特点受区域性构造控制,构造线方向为北东 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 从矿区南部穿过的罗云—龙祠大断裂,长达160km,破碎带宽800~1000m,使矿区内断裂构造较发育。尾矿西部为黄河,北东为绵延的高山,南面为临汾地堑盆地(汾渭地堑的重要组成部分)。控制地堑边缘的构造,毗邻区的主要有黄河断裂(禹门口—华阴)稷山断裂、吕梁山前断裂、汾河断裂等。这些外围近距离的区域构造,也是西沟尾矿稳定性的重要影响因素。

1.4 气象水文

西沟尾矿区位于黄河东岸中高山地段,为山陕高原,属温带大陆性气候,一年四季分明,全年平均气温 13.5°C 左右,年蒸发量平均为1554.73mm。自1998—2009年12年间,该区年平均降雨量454.2mm,最大年降雨量为720.8mm,最小降雨量316.4mm。最大日降雨量高达101.41mm;降雨主要集中在7—9月,这几个月的降雨量占全年比重较高,容易诱发泥石流地质灾害。

2 西沟尾矿泥石流流域特征

西沟位于矿区西部,由Y形的两条沟组成,沟长约1.3km,流域面积约 0.46km^2 ,流域蜿蜒,沟谷发育,呈树枝状,主沟中间缓,沟底和沟顶相对较陡,两条主沟为U形,主沟平均坡度 0.3153° 。区内冲沟发育,局部地段存在陡壁、危岩,植被覆盖率小,沟谷下游地段坡洪积物堆积较厚,沟谷中段尾

矿散体覆盖层较薄或基岩出露。主沟谷中水流主要来自大气降水,沟两岸灌木发育,沟口狭窄,地形切割较深,沟中段相对平缓,有利于物源堆积,西沟的流域沟谷地形条件较复杂,沟道比降较大,不同区段泥石流的流速差异性较大,具有明显的泥石流灾害特点。

西沟尾矿已经发生过一次泥石流灾害,暴雨携带着约 $14.9\times 10^4\text{m}^3$ 的尾矿从700~833m的高程冲下,在沟口高程400m左右的居民区堆积,造成了数人伤亡,同时冲毁了大量的居民住宅,给当地造成了极大的损失。

2.1 物源区

泥石流活动的物源区主要位于两沟谷上部(图3),高程在833~650m,其中西侧的沟谷尾矿主要位于沟上部,颗粒以中细粒度的成分为主,夹杂一些块石,植被稀少,沟谷两侧较陡,基岩出露,为奥陶系灰岩,坡度较陡,近 $32^{\circ}\sim 36^{\circ}$,局部因流水等侵蚀、冲刷作用下有滑塌现象,物源区下部相对平缓,有利于松散尾矿堆积。东侧沟谷相对平缓,坡度约 28° ,由于堆积时间较长,部分表层有植被发育,沟谷中以粒径较大的尾矿块体为主,尾矿方量较大。总体上,物源区地形条件复杂,沟降比大,堆积的尾矿松散固体物质较多,是泥石流活动物质来源的主要场所。



图3 西沟泥石流活动分区

Fig. 3 Activity partition for debris flow in west ditch

2.2 流通区

高程650m至沟口为泥石流活动的流通区,呈V形,植被发育一般,沟谷狭窄,谷坡陡峻,该地形便于泥石流快速通过。在该区段偶见跌坎,沟内宽缓地带可见泥石流堆积物和尾矿松散堆积物,沟内两侧基岩裸露,局部可见泥石流冲刷痕迹。

2.3 堆积区

沟口以下为堆积区,植被少,地势平坦,呈扇形,由于前期的泥石流堆积,其泥石流堆积颗粒总体特征以细粒碎石和

夹杂的块石为主,呈棱角状,由于细粒尾矿与土等混合联结成土石混合体。区内为人类活动相对集中的区域。

3 西沟尾矿泥石流危险范围预测

泥石流危险范围是指有可能遭到泥石流危害的区域。泥石流沟的出沟口为开阔平原地带,这往往是人类活动和居住的集中区,容易遭受灾害且往往损失巨大。由于危及到的范围界定有一定难度,本次从防灾减灾等安全角度出发,采用基于泥石流模型试验数据建立的方法预测西沟泥石流的危险范围,为泥石流灾害防治提供依据。

3.1 基于泥石流模型实验的危险范围预测

泥石流危险范围预测为确定泥石流危险范围和划定安全区提供了准确可靠的依据,是对可能发生的泥石流灾害的灾情预评估,从而为防灾减灾决策提供依据。鉴于西沟尾矿泥石流地质灾害区域相对较小,且边界条件与流域清晰,因此,西沟泥石流危险区危险范围采用基于泥石流模型实验数据建立的预测方法。

(1) 预测模型。基于 31 组模型实验结果^[2],其推导的泥石流危险范围的预测模型函数关系如下:

$$S=38.41V^{2/3}G^{2/3}R^{2/3}/(\ln R)^{2/3} \quad (1)$$

$$L=8.71V^{1/3}G^{1/3}R^{1/3}/(\ln R)^{1/3} \quad (2)$$

$$T=0.017V^{1/3}R^{1/3}/G^{2/3}(\ln R)^{1/3} \quad (3)$$

其中, S 为堆积面积; L 为最大堆积长度; T 为堆积厚度; V 为一次泥石流冲出量; G 为堆积坡度; R 为泥石流容重。

(2) 预测结果的验证。采用已发生的泥石流灾害实测数据作为计算标准,对比西沟尾矿泥石流现场调查测绘的危害范围和模型预测的危险性范围,其结果见表 1。

根据对比数据可以看出,最大堆积扇长度和堆积厚度的

表 1 模型预测结果

Table 1 Results of model Prediction

堆积面积/ 10^4m^2		最大堆积扇长度/m		堆积厚度/m	
实测值	模型预测值	实测值	模型预测值	实测值	模型预测值
6.88	10.13	466.87	447.36	1.9	2.17

预测效果较好,泥石流堆积面积有一定差距,原因主要是实际发生的泥石流影响范围受到铁路工程的阻挡作用。总体上,基于泥石流模型计算的危险范围预测跟实际发生的泥石流灾害范围结果吻合较好,可用于西沟尾矿泥石流危险范围预测。

3.2 西沟尾矿泥石流的危险范围评价

由于尾矿遍布于物源区与流通区,故采用徕卡 ScanStation 2 三维激光扫描仪对泥石流区域进行高精度三维测量,通过 GIS 数据空间相交分析计算出整个流域的尾矿源总方量为 $18.2 \times 10^4 \text{m}^3$,综合考虑西沟尾矿泥石流沟的堆积特点,由于其坡度陡,且泥石流物源为尾矿散体,松散堆积于

沟谷内,极易在强降雨条件下失稳而诱发泥石流灾害,从安全最大化的角度出发,采用物源方量作为泥石流一次性最大冲出量计算,经计算的危险范围预测,可得出西沟的泥石流最大堆积面积为 0.13km^2 ,最大堆积长度和厚度分别为 507m 和 2.04m,结合地形地貌条件,根据预测数据可综合评价出西沟尾矿泥石流灾害的危险影响范围,为西沟尾矿泥石流地质灾害的防治提供依据。

4 泥石流短期灾变时序预测

鉴于西沟尾矿泥石流最大的外界诱发因素为强降雨,且该区降雨存在时空差异性,因此,采用基于部分信息已知部分信息未知的不确定性灰色系统理论,将降雨作为约束条件用于泥石流灾变预测是可行的。尽管这一约束过程中所显示的现象是随机的,但毕竟降雨的季节性特征是有一定规律可循的,因此这一数据集合具有潜在的预测规律。

4.1 泥石流短期灾变预测模型

原始序列 $X=\{x(1),x(2),\dots,x(n)\}$,给定灾变数值 ζ ,称 X 的子序列

$$\begin{cases} X_{\zeta}=\{x[q(1)],x[q(2)],\dots,x[q(n)]\}= \\ \{x[q(i)]|q(i)\leq\zeta;i=1,2,\dots,l\} \\ X_{\zeta}=\{x[q(1)],x[q(2)],\dots,x[q(m)]\}\in X \end{cases} \quad (4)$$

为灾变序列,则称

$$Q^{(0)}=\{q(1),q(2),\dots,q(m)\} \quad (5)$$

为灾变时间序列。其 1-AGO 序列为

$$Q^{(1)}=\{q^{(1)}(1),q^{(1)}(2),\dots,q^{(1)}(m)\} \quad (6)$$

$Q^{(1)}$ 的紧邻生成序列为 $Z^{(1)}$,称 $q(k)+aZ^{(1)}(k)=b$ 为灾变 GM(1,1)模型。

设 $a=[a \ b]^T$ 为灾变 GM(1,1)模型参数序列的最小二乘估计,则灾变时间序列的 GM(1,1)序号响应式为

$$\hat{q}^{(1)}(k+1)=[q(1)-\frac{b}{a}]e^{-ak}+\frac{b}{a} \quad (7)$$

$$\hat{q}^{(1)}(k+1)=\hat{q}^{(1)}(k+1)-\hat{q}^{(1)}(k)=$$

$$\begin{aligned} & [q(1)-\frac{b}{a}]e^{-ak}-[q(1)-\frac{b}{a}]e^{-a(k-1)}= \\ & (1-e^a)[(q(1)-\frac{b}{a})]e^{-ak} \end{aligned} \quad (8)$$

设 $X=\{x(1),x(2),\dots,x(n)\}$ 为原始序列, n 为序列中的最近时间,给定异常值 ζ ,相应的灾变时间序列

$$Q^{(0)}=\{q(1),q(2),\dots,q(m)\} \quad (9)$$

其中, $q(m)(\leq n)$ 为最近一次灾变发生的时间,则称 $\hat{q}(m+1)$ 为下一次灾变的预测时间;对任意 $k>0$,称 $\hat{q}(m+k)$ 为未来第 k 次灾变的预测时间。

4.2 过程与预测分析

据 20 世纪 70 年代以来 30 年间的统计数据,本地区降雨量基本集中在 7—9 月,连续日降雨量大于 50mm 为 9 次,平均 3~4 次/a;大于 25mm 的大雨为 50 次,平均 1~2 次/a。选取 2009 年和 2010 年月最大降雨量与上一次泥石流发生的 1995

表2 降雨量特征
Table 2 Eigenvalues of rainfall

时间段	1	2	3	4	5	6
降雨量/mm	21.1	20.6	17.1	13.5	16.5	36.9
时间段	7	8	9	10	11	12
降雨量/mm	26.6	47.5	24.5	56	24.6	28.7

年7—8月大于10mm的日降雨量特征数据作灾变预测,统计降雨特征值的平均时间间隔为10d。

做灾变映射,取 $25\text{mm} \leq x(t)$ 为异常值,则有

$$X_i = \{x[q(1)], x[q(2)], \dots, x[q(5)]\} = \{36.9, 26.6, 47.5, 56.0, 28.7\} = \{x(6), x(7), x(8), x(10), x(12)\}$$

做异常值 $x[q(i)]$ 到出现灾变点 $q(i)$ 的映射

$$Q^{(0)}: x[q(i)] \rightarrow q(i)$$

得灾变日期序列 $Q^{(0)}$ 为

$$Q^{(0)} = \{q(1), q(2), \dots, q(5)\} = \{6, 7, 8, 10, 12\}$$

对 $Q^{(0)}$ 建立灾变日期序列的 GM(1,1) 模型。对 $Q^{(0)}$ 做一次累加生成, 得

$$Q^{(1)} = \{q^{(1)}(1), q^{(1)}(2), \dots, q^{(1)}(5)\} = \{6, 13, 21, 31, 43\}$$

求得参数向量

$$a = [a, b]^T = [B^T B]^{-1} B^T Y = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} -9.5 & 1 \\ -17 & 1 \\ -26 & 1 \\ -37 & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -9.5 & 1 \\ -17 & 1 \\ -26 & 1 \\ -37 & 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -9.5 & 1 \\ -17 & 1 \\ -26 & 1 \\ -37 & 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 7 \\ 8 \\ 10 \\ 12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.18645 \\ 5.078109 \end{bmatrix}$$

记 $Q^{(1)}$ 的紧邻生成序列为 $Z^{(1)}$, 于是, 得灾变 GM(1,1) 为

$$q(k) - 0.18645Z^{(1)}(k) = 5.078109$$

灾变日期序列的 GM(1,1) 序号响应式为

$$\hat{q}^{(1)}(k+1) = \left[\left(q(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \right] = 33.235e^{0.18645k} - 27.2353$$

从而可得

$$\hat{q}^{(0)}(k+1) = \hat{q}^{(1)}(k+1) - \hat{q}^{(1)}(k) = 5.65332e^{0.18645(k+1)}$$

可得到 $Q^{(0)}$ 的模拟序列

$$Q^{(0)} = \{\hat{q}(k), k=2, 3, 4, 5\} = \{6.81, 8.21, 9.89, 11.92\} = \{7, 8, 10, 12\}$$

由 $\Delta^{(0)}(k) = |q(x) - \hat{q}(k)|$, 得绝对残差序列

$$\Delta^{(0)} = \{\Delta^{(0)}(k), k=2, 3, \dots, 5\} = \{0.19, 0.21, 0.11, 0.08\}$$

及相对残差序列

$$\phi = \{\phi_i / \phi = \left[\frac{\Delta^{(0)}(i)}{q(i)} \right], i=2, 3, \dots, 5\} = \{0.03, 0.03, 0.01, 0.01\}$$

平均相对残差

$$\bar{\phi} = \frac{1}{4} \pm \sum_{i=2}^5 \phi_i = 0.02 < 0.1$$

由计算结果可见该模型平均残差小于0.1, 且每个相对

残差都小于0.1, 模型为残差合格模型, 故可用 $\hat{q}(k) = 5.65332e^{0.18645(k+1)}$ 进行预测可得

$$\hat{q}(6) = 14.36 \quad \hat{q}(6) - \hat{q}(5) = 2.36$$

$$\hat{q}(7) = 17.30 \quad \hat{q}(7) - \hat{q}(6) = 5.30$$

$$\hat{q}(8) = 20.85 \quad \hat{q}(8) - \hat{q}(7) = 8.85$$

降雨量特征值平均时间间隔为10d, 且灾变集中于年最大降雨月份, 据灾变预测模型结果, 结合本地区降雨特征及近年来监测数据的概率计算, 近期灾变最可能发生的时间间隔为最近一次灾变后的24、53和89d, 据2011年监测结果显示雨季强降雨后灾害点有滑动迹象, 其监测结果与预测结果一致性较好, 其灾变时序预测具借鉴意义。因此, 在灾害防治工程施工完成之前, 近两年内的雨季需加强地质灾害预警监测工作, 制定危险区居民紧急疏散撤离预案。

5 结论

基于模型实验推导的预测模型, 对西沟尾矿泥石流危险范围进行了预测, 得出西沟尾矿泥石流的最大堆积面积和长度, 为防灾减灾提供详实参数, 基于灰色系统对近期灾变时序进行了预测。结合实地调查资料与预测研究结果可知:

(1) 基于泥石流模型实验数据构建的危险范围预测方法对尾矿沟谷泥石流评价的结果吻合较好, 评价因子确定更加客观、科学。

(2) 结合泥石流危险范围预测模型的计算结果, 通过危险区范围面积、最大堆积影响长度和地形地貌特征可以很好地反映泥石流的特征, 最大程度地反映泥石流的危及范围, 从而保证泥石流危险防治的客观性。

(3) 对于尾矿泥石流, 最大的灾害诱发因子为降雨, 基于灰色系统的短期灾变时序预测模型为该类型的泥石流防灾减灾工作提供了新的思路。

参考文献 (References)

- [1] 张丽萍, 唐克利. 矿山泥石流[M]. 北京: 地质出版社, 2001. Zang Liping, Tang Keli. Mine debris flow[M]. Beijing: Geology Press, 2001.
- [2] Sepulveda S A, Padilla C. Rain-induced debris and mudflow triggering factors assessment in the Santiago cordilleran foothills, Central Chile[J]. Natural Hazards, 2008, 47(2): 207-215.
- [3] Nakazawa T, Saito M, Taguchi Y. Geologic and hydrologic background of slope failure and debris-flow disaster in Asmara River Basin, Minamata City, Kumamoto Prefecture on July 20, 2003 [J]. Bulletin of the Geological Survey of Japan, 2003, 55: 113-127.
- [4] Wen B P, Aydin A. Mechanism of a rainfall-induced slide-debris flow: constraints from microstructure of its slip zone[J]. Engineering Geology, 2005, 78(1/2): 69-88.
- [5] 陈廷方, 崔鹏, 刘岁海, 等. 矿产资源开发与泥石流灾害及其防治对策[J]. 工程地质学报, 2005, 13(2): 179-182. Chen Tingfang, Cui Peng, Liu Suihai, et al. Journal of Engineering Geology, 2005, 13(2): 179-182.
- [6] 徐友宁, 陈社斌, 袁汉春, 等. 潼关金矿区矿渣型泥石流潜势度熵评价

- [J]. 地质科技情报, 2006, 25(5): 101-104.
 Xu Youning, Chen Shebin, Yuan Hanchun, et al. Geological Science and Technology Information, 2006, 25(5): 101-104.
- [7] 康志成, 李焯芬, 马嵩乃, 等. 中国泥石流研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
 Kang Zhicheng, Li Zhuofen, Ma Ainai, et al. Debris flow research in China[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [8] 崔鹏, 刘世建, 谭万沛. 中国泥石流监测预报研究现状与展望[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 10-15.
 Cui Peng, Liu Shijian, Tan Wanpei. Journal of Natural Disasters, 2000, 9(2): 10-15.
- [9] 谷复光, 王清, 张晨. 基于投影寻踪与可拓学方法的泥石流危险度评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(2): 373-377.
 Gu Fuguang, Wang Qing, Zhang Chen. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(2): 373-377.
- [10] 刘希林. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
 Liu Xilin. Debris flow hazard assessment [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [11] 刘希林. 我国泥石流危险度评价研究: 回顾与展望[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 1-8.
 Liu Xilin. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(4): 1-8.
- [12] 丁继新, 杨志法, 尚彦军, 等. 区域泥石流灾害的定量风险分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(7): 71-76.
 Ding Jixin, Yang Zhifa, Shang Yanjun, et al. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(7): 71-76.
- [13] Hunger O, Morgan C, Vandine F D, et al. Debris flow defenses in british Columbia [J]. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, 1987, 7(2): 201-222.
- [14] 张晨, 陈剑平, 王清, 等. 乌东德地区泥石流危险范围预测模型[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(6): 1365-1370.
 Zhang Chen, Chen Jianping, Wang Qing, et al. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40(6): 1365-1370.
- [15] 甘肃省交通科学研究所, 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 泥石流地区公路工程[M]. 北京: 北京人民交通出版社, 1981.
 Transportation Research Institute of Gansu Province, Chinese Academy of Sciences, Highway Projects of Lanzhou Institute of Glaciology. Geocryology in debris flow area[M]. Beijing: People's Communications Press, 1981.
- [16] 唐川, 冲村孝. 基于 RS/GIS 的城市泥石流灾害集成评价研究-以中国昆明市东川城区为例[J]. 地理学报, 2006, 42: 1-22.
 Tang Chuan, Takashi Okimura. Journal of Geographical Science, 2006, 42: 1-22.
- [17] Wieczorek G F. Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California[M/OL]. [2012-08-31]. <http://landslides.usgs.gov/docs/wieczorek/Binder1.pdf>.
- [18] 谭万沛. 中国暴雨泥石流预报研究基本理论与现状 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1994, 2(1): 88-95.
 Tan Wanpei. Journal of Soil Erosion And Soil Conservation, 1994, 2(1): 88-95.
- [19] 蒋忠信. 西南山区暴雨泥石流沟简易判别方案 [J]. 自然灾害学报, 1994, 3(1): 75-83.
 Jiang Zhongxin. Journal of Natural Disasters, 1994, 3(1): 75-83.
- [20] 钟敦伦, 谢洪, 韦方强, 等. 北京山区泥石流 [M]. 北京: 商务出版社, 2004.
 Zhong Dunlun, Xie Hong, Wei Fangqiang, et al. Debris flow in Beijing mountains[M]. Beijing: The Commercial Press, 2004.
- [21] 匡乐红. 区域暴雨泥石流预测预报方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2006.
 Kuang Lehong. Method for the forecasting of regional rainstorm-induced debris flow[D]. Changsha: Central South University, 2006.
- [22] 刘希林, 唐川, 陈明, 等. 泥石流危险范围的模型实验预测法[J]. 自然灾害学报, 1993, 2(3): 67-73.
 Liu Xilin, Tang Chuan, Chen Ming, et al. T Journal of Natural Disasters, 1993, 2(3): 67-73.

(责任编辑 刘志远)

· 学术动态 ·



科普出版社紧急向灾区发送科普产品

2013年4月20日8:02,四川省雅安市发生7.0级强烈地震。根据中国科协领导指示和科普部统一部署,科普出版社迅速启动应急科普预案,各部门迅速行动,将近年来与民政部紧急救援中心、国家地震局、卫生部等单位合作开发的一系列地震应急科普读物、图书,重新整理并制定统一配送方案,在第一时间与四川省科协、雅安市科协联系,并根据需求将第一批2种地震救灾科普应急挂图各1000册于4月20日17:00发往雅安市的8个重灾区。

科学普及出版社开发的相关地震救灾科普产品包括:

科普挂图2种:《地震应急知识科普挂图》、《防范地震次生灾害·地质灾害科普挂图》;

科普折页2种:《地震灾后疾病预防》、《地震应急知识》;

科普图书11种:《家庭地震应急三点通》(漫画版)、《公众防震减灾知识读本》、《青少年防震减灾知识读本》、《农村防震减灾知识读本》、《应急救援知识小百科·地震灾害》、《应急救援知识小百科·地质灾害》、《应急救援知识小百科·建筑抗震》、《震后骨折康复》、《震后颅脑康复》、《和你在一起》、《强震应急与次生灾害防范》。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35473/n35518/14621126.html>。