

刘文方, 李红梅. 基于熵权理论的斜坡地质灾害链综合评判[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 8-11. [Liu Wenfang and Li Hongmei. Analysis of Slope Geological Disaster Chain Based on the Entropy Theory[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 8-11.]

基于熵权理论的斜坡地质灾害链综合评判^{*}

刘文方, 李红梅

(四川理工学院 建筑工程学院, 四川 自贡 643000)

摘 要: 通过引入灾害链理论对斜坡地质灾害链进行深入研究, 基于灾害链原理, 分析地质灾害漫长链式灾变规律, 指出原始地形地貌在地质构造演变及气象水文影响、地震作用和人为作用下形成的环境是导致斜坡地质灾害链的源头因素, 崩滑流灾害链中危岩、崩塌、滑坡、泥石流等灾害要素之间的相互关联关系使链的延续成为可能。运用熵权理论对斜坡地质灾害链源致灾因素进行探讨, 找出链式灾变规律的主要源头因素, 为源头致灾因素的工程治理及防护措施等断链减灾提供依据。

关键词: 地质灾害; 灾害链; 灾害熵; 致灾因素; 断链减灾

中图分类号: P642.22; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)01-0008-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.01.002

斜坡失稳地质灾害是斜坡地貌在短期内发生了剧烈变化的表现形式, 其地貌灾变过程表现为崩塌、滑坡和泥石流^[1], 这种以崩滑流灾害链^[2]的形式群发成灾的现象是客观存在的, 并且属于突发性地质灾害, 危害极大。崩塌—滑坡—泥石流地质灾害的形成与发展为一个环环相扣的链式过程, 其宏观链式环节及单一灾害微观链式环节的形成都是一个内因与外因综合作用的灾害链式过程, 各致灾因子乃链机制演化过程中推动链条前行的源头以及使灾害链得以延续的必要条件。如何断链减灾应优先考虑灾害的源头因素, 争取把斜坡灾害从源头能够治理, 这样可以避免此类灾害链环的形成。因此, 影响斜坡稳定性的各致灾因子综合分析及评价就至关重要, 其致灾因子多而复杂, 并且各自影响程度也不相同。而且作为划分斜坡稳定级别的各致灾因子标志和界限又相当模糊, 很难由经典数学模型统一量度。现在越来越多的学者对斜坡类地质灾害某一影响因素或多种影响因素致灾规律进行了研究^[3-6]。本文在前人研究基础上, 探讨斜坡灾害成链机制的演化规律, 应用灾害熵概念^[7-10], 把致灾环节中各致灾因子的许多资料、判断及各种描述统一结合, 评判链式环节中各致灾因子推动灾害链条前行的权重关系, 从而对斜坡稳定性及斜坡地

质灾害链进行综合识别和判断, 为断链减灾提供合理入手点。

1 斜坡灾害链式规律分析

斜坡地质灾害的形成和发展是一个内因与外因综合作用的灾害延续的链式过程, 基于灾害链的延续性, 笔者曾给出灾害链的数学表达式^[11]:

$$S(n) = \{S_c(n), R, E\} \quad (1)$$

式中: $S(n)$ 为 n 个相互关联的灾害要素组成, $n \geq 2$; $S_c(n)$ 为灾害链内要素; R 为灾害链内要素之间的相互关联关系; E 为灾害链所处环境。而灾害链内要素在 t 时刻相互之间的关联关系可表述为:

$$f(S_i(t), R_{i,j}(t), S_j(t)) = 0 \quad (2)$$

式中: $S_i(t), S_j(t)$ 分别为 t 时刻灾害链内要素 $S_{G_i}(t), S_{G_j}(t)$ 的状态; $R_{i,j}(t)$ 为灾害链内要素 $S_{G_i}(t)$ 与 $S_{G_j}(t)$ 之间的相互关联关系。

式(2)表明灾害 $S_{G_i}(t)$ 与 $S_{G_j}(t)$ 形成的灾害链在 t 时刻 $R_{i,j}(t)$ 作用下维持着系统物质、能量及信息之间相互转换的平衡关系。

由此, 斜坡地质灾害链演绎过程如下, 原始斜坡地形地貌在气象、水文、地震、人为, 以及地质构造特征等复杂因素的交互耦合作用下, 为危岩及滑坡灾害提供致灾环^[12], 危岩在暴雨、地震等因素影

* 收稿日期: 2013-04-24 修回日期: 2013-06-21

基金项目: 四川省教育厅青年基金项目(11ZB101); 四川理工学院学科特色培育项目(2011TS06)

作者简介: 刘文方(1980-), 男, 山东成武人, 硕士研究生, 副教授, 从事防灾减灾及结构方向教学及科研工作。

E-mail: liuwenfang_2006@163.com.cn

响下又成为崩塌致灾环。崩塌与滑坡灾害相互诱发先后接踵成链,同期迸发,并同时在强降雨或冰雪融水等因素激发下引发泥石流,经过泥石流的冲刷及淘蚀使斜坡地质构造及地形地貌继续演变,为新滑坡或新危岩的产生提供可能,并为又一次地质灾害链的起发储备了致灾环节。由此就形成了环环相扣,灾灾相连的斜坡灾害链式过程(图1)。

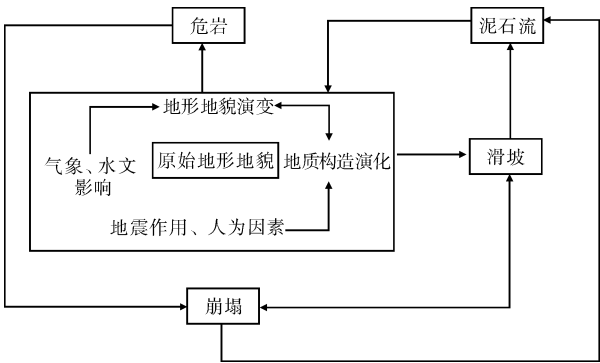


图1 斜坡灾害链式规律

通过斜坡灾害链形成规律可知,原始地形地貌在地质构造演变、气象水文影响、地震作用及人为作用下形成的环境E是导致斜坡地质灾害链的源头因素,崩滑流灾害链中危岩、崩塌、滑坡、泥石流等灾害要素之间的相互关联关系R使链的延续成为可能。若能对斜坡灾害链形成环境的主要致灾因素采取检测、预警、治理、消除、消弱、切断等措施从而截断或减弱灾害链中各灾害要素发生所需物质、能量和信息传递路径的畅通性,则能从斜坡地质灾害链形成的孕育阶段对其源头主要致灾因素加以治理改善,从而切断灾害延续成链所需物质、能量及信息传递路径,对斜坡地质灾害链的断链减灾将会起到事半功倍的效果(图2)。

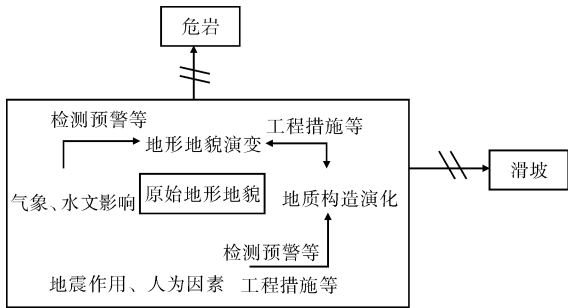


图2 斜坡灾害链源头断链减灾示意图

影响原始地形地貌稳定性的致灾因子多而复杂,各致灾因子的影响程度也不相同,如何综合分析及评判影响斜坡稳定性的各致灾因子,则对斜坡地质灾害链的断链减灾至关重要。

2 致灾因子熵及熵权值的确定

在信息论中,熵值反映了信息的无序化程度,可以用来度量信息量的大小,某项指标携带的信息越多,表示该指标对决策的作用越大。熵值越小,则系统无序度越小。因此可用信息熵^[13]评价所获信息的有序度及其效用,从而尽量避免各评价指标权重的人为因素干扰,使评价结果更符合实际。基于熵权理论计算斜坡灾害链中各致灾因素权重,从而找出导致灾害链发生的源头主要致灾因素,为孕育阶段断链减灾提供可能,斜坡地质灾害链致灾因子熵权值的主要计算步骤如下:

(1) 在斜坡稳定性评价中,假定被评价致灾因子指标集为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, m 为致灾因子个数,选取 n 位评价者,形成原始判断矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$, 其中 $a_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 为第 j 位评价者对第 i 种致灾因子影响程度判断。

(2) 将原始判断矩阵 A 进行归一化,得到归一化矩阵 R , R 的元素为:

$$r_{ij} = \{a_{ij} - \min(a_{ij})\} / \{\max(a_{ij}) - \min(a_{ij})\}。 \tag{3}$$

式中: $\min(a_{ij}), \max(a_{ij})$ 为同一评价指标下不同事物中最满意值和最不满意值(值越大越不满意)。

(3) 根据传统的熵概念可定义第 i 个致灾因子的熵为:

$$S_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}。 \tag{4}$$

式中: $f_{ij} = (r_{ij}) / \sum_{j=1}^n (r_{ij})$; $k = 1/(\ln n)$ 。

(4) 第 i 个致灾因子的熵权定义为:

$$\omega_i = \frac{1 - S_i}{m - \sum_{i=1}^m S_i}。 \tag{5}$$

3 应用示例分析

一斜坡根据分析研究,选取影响斜坡灾害链形成环境的源头主要因素四大类13项作为评价指标,并对各致灾因子进行等级划分(表1)。

对于表1中的离散型变量,根据各致灾因素的表述,将各致灾指标由稳定到不稳定的灾变状态采取1~4的4级整数评分,最终取值采用多位专家评定取平均值确定,专家根据13个影响因素分级情况对该斜坡各个不同斜坡位置进行评分(表2)。

表 1 斜坡灾害链致灾因素分级

致灾因素		稳定	基本稳定	次不稳定	不稳定
M_1 地质构造特征	$M_{1.1}$ 岩土类型	坚硬岩类	胶结好的半坚硬岩类	胶结差的半坚硬岩类	软弱岩类及松散岩土类
	$M_{1.2}$ 斜坡结构	均质结构	块状结构	层状结构	碎裂结构及松散体结构
	$M_{1.3}$ 结构面发育程度	不发育	较不发育	较发育	非常发育
	$M_{1.4}$ 风化程度	未风化	弱风化	中等风化	强风化
M_2 地形地貌特征	$M_{2.1}$ 坡面形状	凸型坡	直型坡	凹型坡	“S”型坡
	$M_{2.2}$ 斜坡高度	低	较低	中等	高
	$M_{2.3}$ 斜坡角度	平缓	缓倾	中等倾	陡倾
M_3 气象、水文地质特征	$M_{2.4}$ 冲沟发育状况	弱	较弱	较强	强
	$M_{3.1}$ 降雨影响	小	较小	较大	大
	$M_{3.2}$ 地下水位	浅	较浅	较深	深
M_4 其它因素特征	$M_{4.1}$ 地震作用	弱	较弱	较强	强
	$M_{4.2}$ 人为作用	弱	较弱	较强	强
	$M_{4.3}$ 植被覆盖率	发育	较发育	发育差	发育极差

表 2 坡段的划分及评价指标标准化

致灾因素	不同斜坡位置坡段号						
		3	4	5	6		
M_1 地质构造特征	$M_{1.1}$	3	4	3	3	4	4
	$M_{1.2}$	2	3	4	2	3	3
	$M_{1.3}$	2	3	3	3	2	2
	$M_{1.4}$	1	2	2	2	3	3
M_2 地形地貌特征	$M_{2.1}$	1	1	2	1	2	2
	$M_{2.2}$	2	2	1	3	1	2
	$M_{2.3}$	1	3	2	2	1	1
	$M_{2.4}$	2	1	1	1	2	3
M_3 气象、水文地质特征	$M_{3.1}$	3	3	3	4	4	2
	$M_{3.2}$	3	3	4	2	2	2
	$M_{4.1}$	4	3	3	2	2	2
M_4 其它因素特征	$M_{4.2}$	2	3	3	3	3	2
	$M_{4.3}$	2	3	3	3	2	2

构建斜坡地质灾害链源各致灾因素评价指标矩阵 A , 并将矩阵按式(3) 做归一化处理, 得到规范化矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 1 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 & 1 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

根据前述步骤, 由式(4) 和(5) 可以计算出各致灾因素的熵及熵权值(表 3)。

表 3 致灾因素熵及熵权值

致灾因素		熵	熵权值
M_1 地质构造特征	$M_{1.1}$ 岩土类型	0.61	0.091
	$M_{1.2}$ 斜坡结构	0.74	0.061
	$M_{1.3}$ 结构面发育程度	0.61	0.091
	$M_{1.4}$ 风化程度	0.86	0.033
M_2 地形地貌特征	$M_{2.1}$ 坡面形状	0.61	0.091
	$M_{2.2}$ 斜坡高度	0.74	0.061
	$M_{2.3}$ 斜坡角度	0.58	0.098
M_3 气象、水文地质特征	$M_{2.4}$ 冲沟发育状况	0.58	0.098
	$M_{3.1}$ 降雨影响	0.86	0.033
	$M_{3.2}$ 地下水位	0.58	0.098
M_4 其它因素特征	$M_{4.1}$ 地震作用	0.58	0.098
	$M_{4.2}$ 人为作用	0.77	0.054
	$M_{4.3}$ 植被覆盖率	0.61	0.091

由表3 可以看出, 在斜坡各个坡段, 地质灾害链形成源头的 13 个致灾因子中, 斜坡角度、冲沟发育状况、地下水位、地震作用、岩土类型、结构面发育程度、坡面形状和植被覆盖率的权重最大, 分别为 0.098、0.098、0.098、0.098、0.091、0.091、0.091 和 0.091, 这标志着这些致灾因子将会是此斜坡地质灾害链形成的链始主要起因, 是灾害链形成环境中的孕源环节, 也是推动链延续使链内各要素相互激发的重要因素。因此, 此斜坡应对这几个链始环节采以检测、预警、治理、消除、消弱、切断等措施, 在地质灾害链形成初期, 对于孕育阶段, 破坏作用力度极微弱或破坏物质、能量及信息也处于初始聚集或耦合阶段, 进行孕源断链, 这种对于漫长的地质灾

害链灾变过程进行断链减灾最为有效,不需要很大的投入就可收到显著效果。

又通过公式:

$$H_i = 0.091M_{1.1} + 0.061M_{1.2} + 0.091M_{1.3} + 0.033M_{1.4} + 0.091M_{2.1} + 0.061M_{2.2} + 0.098M_{2.3} + 0.098M_{2.4} + 0.033M_{3.1} + 0.098M_{3.2} + 0.098M_{4.1} + 0.054M_{4.2} + 0.091M_{4.3}, \quad (7)$$

可计算得到此斜坡不同坡段处可能出现链源环节的危险程度(表4)。

表 4	不同坡段处危险程度评价指标					
坡段	1	2	3	4	5	6
评价	2.192	2.613	2.613	2.261	2.233	2.272
指标						

由表4可以看出,在此斜坡中,6、2、3位置坡段处相对更为危险,在此三个坡段应特注重斜坡角度、冲沟发育状况、地下水位、地震作用、岩土类型、结构面发育程度、坡面形状和植被覆盖率等致灾环节的防范及加固。

4 结 语

(1)本文运用灾害链理论,研究斜坡地质灾害漫长的链变规律,探讨地质灾害成链环节中的致灾因素,指出斜坡地质灾害成链的源头因素及延续条件,为斜坡地质灾害链的断链减灾找寻主要致灾点。

(2)在斜坡灾害链源因素评价中引入熵权法计算权重,克服了链源致灾指标没有统一标准的缺陷,可有效掌握各致灾因子的优劣次序,从而提高了斜坡地质灾害链源形成评价的科学性,便于各致灾要素之间的定量比较,为孕源断链提供重

要入手点。但评价结果中各致灾因素的评价值相对比较集中,在提供准确的危险程度排序方面有一定的缺陷,基于此方面,笔者还需进一步研究。

参考文献:

[1] Norbert R Morgenstern C, Derek M. Landslides seeing the ground [C]// Landslides and Engineered Slope. London: Taylor&Francis Group, 2008: 3-23.

[2] 冯玉涛,肖盛燮.崩滑流地质灾害链式机理及其优化防治[J].灾害学,2009,24(3):22-26.

[3] 李腾飞,李晓,李守定,等.地下采掘诱发斜坡失稳破坏机制研究[J].岩石力学与工程学报,2012,32(Suppl):3803-3810.

[4] 赵亮,何松云,全德.深圳市斜坡类地质灾害发育特征及影响因素分析[J].安全与环境工程,2008,15(4):15-21.

[5] 程强.汶川地震崩滑灾害影响因素分析[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(3):1-6.

[6] 程强,吴事贵,苏玉杰.映秀—卧龙公路沿线汶川地震地质灾害研究[J].工程地质学报,2011,18(2):160-167.

[7] 汤连生,廖化荣,张庆华.土的结构熵及结构性量化探讨[J].岩石力学与工程学报,2006,25(10):1997-2002.

[8] 冯利华,李凤全.基于最大熵原理的灾害损失分析[J].数学的实践与认识,2005,35(8):73-77.

[9] 李向军,陈亚宁,欧阳辉.运用灾害熵浅析沙尘暴强度[J].干旱区地理,2002,25(4):350-353.

[10] 张星.自然灾害灾情的熵权综合评价模型[J].自然灾害学报,2009,18(6):189-192.

[11] 刘文方,肖盛燮,隋严春,等.自然灾害链及其断链减灾模式分析[J].岩石力学与工程学报,2006,25(Suppl):2675-2681.

[12] 李明,唐红梅,叶四桥.典型地质灾害链式机理研究[J].灾害学,2008,23(1):1-5.

[13] 邢修三.物理熵、信息熵及其演化方程[J].中国科学(A辑),2001,31(1):77-84.

Analysis of Slope Geological Disaster Chain Based on the Entropy Theory

Liu Wenfang and Li Hongmei
(Department of Architectural Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Slope geological disaster chain is profoundly studied by introducing the disaster chain theory. An analysis on the long chain disaster law on geological disaster is done based on the disaster chain theory. It is pointed out that the environment which formed in geologic structure evolution, terrain landform evolution, meteorological influence, hydrological influence, earthquake action and human unreasonable activities is the source factor that lead to slope geological disaster chain, and the slope geological disaster chain exists because of the interaction of perilous rock, collapses, landslides and debris flow. The disaster-causing factors of slope geological disasters chain is discussed by the entropy theory, and the main source factors of the chain disaster law is tried to be found out to provide the further research references on chain-cutting disaster mitigation.

Key words: geological disaster; disaster chain; disaster entropy; disaster-causing factor; chain-cutting disaster mitigation