

# 基于 AHP-模糊综合评价方法的拉萨市 周边溜砂坡稳定性评价

刘宁波<sup>1</sup>, 田荣燕<sup>1</sup>, 王海波<sup>1</sup>, 薛现凯<sup>2</sup>, 顾学颖<sup>1</sup>

(1. 西藏大学 工学院, 西藏 拉萨 850000; 2. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

**摘要:** [目的] 溜砂坡作为一种边坡灾害,近几年来,由于人类活动影响,其威胁程度不断提高。通过研究拉萨市周边溜砂坡的稳定性,为溜砂坡的预警及治理提供依据。[方法] 通过选取拉萨市周边较为典型的溜砂坡灾害,使用层次分析法和模糊综合评价法分析坡高、岩体结构和年平均降雨量等 10 个因素对溜砂坡稳定性的影响。[结果] 因风化占主导因素的岩体所形成的溜砂坡的危险等级相对较高,其整体呈散沙状,极易扩散,道路沿线山体易发生滑坡处所形成的溜砂坡危险等级普遍较低,碎屑颗粒较大且坡势较陡。[结论] 目前拉萨市周边地区溜砂坡存在不稳定的发展趋势,需引起相关部门的高度重视;本评价方法真实可靠,能够准确快速地评价溜砂坡的稳定性。

**关键词:** 溜砂坡; AHP; 模糊综合评价; 稳定性分析; 拉萨市

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2019)02-0161-06

**中图分类号:** S288

**文献参数:** 刘宁波, 田荣燕, 王海波, 等. 基于 AHP-模糊综合评价方法的拉萨市周边溜砂坡稳定性评价[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2):161-166. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 02. 026; Liu Ningbo, Tian Rongyan, Wang Haibo, et al. Stability evaluation of sand-sliding slope around Lhasa City based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2):161-166.

## Stability Evaluation of Sand-sliding Slope Around Lhasa City Based on AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Liu Ningbo<sup>1</sup>, Tian Rongyan<sup>1</sup>, Wang Haibo<sup>1</sup>, Xue Xiankai<sup>2</sup>, Gu Xueying<sup>1</sup>

(1. School of Engineering, University of Tibet, Lhasa, Tibet 850000, China;

2. College of Civil Engineering, Hu'nan University, Changsha, Hu'nan 410082, China)

**Abstract:** [Objective] As a kind of slope disaster, the threat degree of sand-sliding slope has been increasing in recent years due to the influence of human activities. The stability of the sand-sliding slope around Lhasa City was studied in order to provide bases for the early warning and treatment of the sand-sliding slope. [Methods] By selecting the relatively typical sand-sliding disaster around Lhasa City, the paper analyzed the influence of ten factors, such as slope height, rock mass structure and annual average rainfall, on the stability of the sand-sliding slope by using analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation. [Results] The sand-sliding slope formed by weathering-dominated rock mass was relatively high in risk level, and the whole was scattered and sandy, which was easy to spread. The sand-sliding slope formed by landslides along the road was generally low in risk level, with large debris particles and steep slope potential. [Conclusion] At present, the development trend of the unstable sand-sliding slope disaster in the area around Lhasa City is not optimistic, which should be paid more attention for relevant administrative agencies. The evaluation method in this paper is reliable, which can accurately and rapidly evaluate the stability of sand-sliding slope.

**Keywords:** sand-sliding slope; AHP; fuzzy comprehensive evaluation; stability analysis; Lhasa City

收稿日期: 2018-10-03

修回日期: 2018-11-05

资助项目: 西藏自治区重点科技计划项目“拉萨周边生命线工程地质灾害分布规律及防治对策研究”(Z2014A19G2-11); 西藏自治区大学生创新性实验训练计划项目(2017QCX036; 2017QCX025)

第一作者: 刘宁波(1996—), 男(汉族), 河北省魏县人, 本科生, 研究方向为道路沿线灾害。E-mail: 1395421517@qq.com。

通讯作者: 田荣燕(1980—), 女(汉族), 重庆市人, 硕士研究生, 副教授, 硕士生导师, 主要从事道路工程及防灾减灾等方面的研究。E-mail: 21675279@qq.com。

边坡表面的岩体经物理风化而形成的碎石、砂砾等松散砂石,常常在重力作用下沿坡面溜动,最终以自然休止角堆积成锥状斜坡,即溜砂坡<sup>[1]</sup>。拉萨市周边溜砂灾害十分发育,近几十年,愈加剧烈的溜砂活动,给当地的交通建设带来了极大的困难,频繁发生岩块和砂粒溜向公路、覆盖路面、埋没工程设施、中断交通的事件,甚至时常发生溜砂中挟带的岩块、巨石砸坏车辆和砸伤行人的事故<sup>[2]</sup>。因此分析研究溜砂坡的稳定性,针对稳定级别较低的溜砂坡进行重点防护,采用经济合理有效的手段进行灾害点的防治,对于确保沿线车辆及行人安全具有重要意义。目前罗

德富<sup>[3]</sup>、蒋良淮<sup>[4]</sup>、阙云<sup>[5]</sup>、叶唐进<sup>[6]</sup>等对溜砂坡的形成发育、演化规律以及力学特性等进行了深入的分析探讨,但其还未对溜砂坡的稳定性评价进行研究。为此,本研究采用模糊综合评价法建立溜砂坡的稳定性评价模型,引入层次分析法确定各项评价指标的权重。基于拉萨地区特有的地形地貌以及气候环境,以拉萨市尼木县泽南村东南方向 5.22 km 的一处溜砂坡灾害点为例,图 1 所示为该处较为典型的溜砂坡灾害点的宏观照片。在选区内选取了 10 处灾害点作为研究对象,依次判定其稳定性等级,为溜砂坡进一步的防护治理工作提供判定依据。



图 1 研究区典型溜砂坡灾害点

## 1 研究区概况

拉萨市位于青藏高原中部,海拔 3 650 m,地势北高南低,由东向西倾斜,中部为雅鲁藏布江支流拉萨河中游河谷平原,地势平坦。研究区属于高原温带半干旱季风气候,气候条件恶劣,昼夜及季节温差较大,夏季温暖短暂,降水较多,冬季寒冷干燥。历史最高气温为 29.6 ℃,最低气温为 -16.5 ℃,年平均气温为 7.4 ℃,降雨集中在 6—9 月份,年降雨量为 200~510 mm,全年日照时间 3 000 h 以上<sup>[7]</sup>。该处第三系岩浆活动较为活跃,出露的花岗岩为第三系黑云母花岗岩及黑云母花岗闪长岩<sup>[8]</sup>。由于岩体裂隙和节理面发育,外加雨水侵蚀及风化作用严重,同时因坡体表面植被稀疏,生态环境脆弱,地表水冲刷等因素,为溜砂坡的形成和发育提供了充分的物质来源及环境条件<sup>[7]</sup>。

## 2 研究方法

溜砂坡作为一种边坡灾害,影响其稳定性的因素有很多,且各因素之间的相互关系较为复杂。若需准确有效的评价诸如溜砂坡此类灾害的稳定性级别,则

寻求建立一个合理适用的数学模型是关键。本文采用模糊综合评价模型(fuzzy comprehensive evaluation, FCE)作为评价方法主体,其基本思想是利用模糊线性变换原理和最大隶属度原则,充分考虑与被评价事物相关的各个因素以及各因素之间的关联性、代表性、便于互相比较的因素,弥补了过多考虑单因素的不足,对其做出合理的综合评价<sup>[9]</sup>。其中评价因子权重的确定采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP),从而形成一个完整的 AHP-模糊综合评价方法。

### 2.1 建立评价指标体系

在野外实地调研的基础上,建立边坡稳定的二级评价体系,需要确定因素集  $U$  和评价集  $V$  (如表 1 所示)。根据边坡稳定程度,将其稳定等级分为 5 个级别:稳定( $V_1$ )、较稳定( $V_2$ )、基本稳定( $V_3$ )、较不稳定( $V_4$ )和不稳定( $V_5$ )。

### 2.2 隶属度的确定

在模糊数学中是以隶属度来描述事物模糊界限的,隶属度的确定方法是模糊综合评价法中的重要环节。根据隶属度的建立原则,本文针对不同的变量类

型,分别采用专家评定法和公式法确定隶属度<sup>[10]</sup>。

确定坡面形态、植被覆盖情况、岩体结构、岩土风化程

2.2.1 离散型变量的隶属度 采用专家打分的方法

度、人为扰动和防护程度的隶属度(其值详见表 2)。

表 1 评价因子及分级标准

评价因素		分级标准				
一级	二级	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>
地形地貌特征	边坡高度/m	0~5	5~15	15~30	30~50	>50
	边坡角度/(°)	0~10	10~25	25~40	40~60	60~90
	坡面形态	平缓坡	凹形斜坡	阶梯形斜坡	直线形斜坡	凸形斜坡
	植被覆盖情况	高覆盖	中覆盖	中低覆盖	低覆盖	裸地
地质环境特征	岩体结构	整体状结构	块状结构	层状结构	碎裂结构	散体结构
	岩土风化程度	未风化及微风化	中等风化	强风化	全风化	残土化
降雨	年平均降雨量	100<	100~250	250~400	400~550	>550
其他因素	地震烈度	3<	3~6	6~7	7~8	>8
	人为扰动	无	轻微	中度	强烈	很强
	防护程度	好	较好	一般	较差	差

表 2 离散型变量的隶属度取值

离散性变量	变量特征	隶属度				
		稳定	较稳定	基本稳定	较不稳定	不稳定
坡面形态	平缓坡	0.7	0.3	0	0	0
	凹形斜坡	0.1	0.5	0.4	0	0
	阶梯形斜坡	0	0	0.7	0.3	0
	直线形斜坡	0	0	0.3	0.5	0.2
	凸形斜坡	0	0	0	0.2	0.8
植被覆盖情况	高覆盖	0.8	0.2	0	0	0
	中覆盖	0.3	0.6	0.1	0	0
	中低覆盖	0	0.5	0.35	0.15	0
	低覆盖	0	0.05	0.15	0.7	0.1
	裸地	0	0	0	0.95	0.05
岩体结构	整体状结构	0.8	0.15	0.05	0	0
	块状结构	0.2	0.6	0.2	0	0
	层状结构	0	0.1	0.9	0	0
	碎裂结构	0	0	0.05	0.8	0.05
	散体结构	0	0	0	0.3	0.7
岩土风化程度	未风化及微风化	0.95	0.05	0	0	0
	中等风化	0	0.9	0.1	0	0
	强风化	0	0	0.9	0.1	0
	全风化	0	0	0.6	0.35	0.05
	残土化	0	0	0.05	0.25	0.7
人为扰动	无	0.6	0.35	0.05	0	0
	轻微	0.3	0.55	0.15	0	0
	中度	0	0.25	0.65	0.1	0
	强烈	0	0	0.05	0.55	0.4
	很强	0	0	0	0.2	0.8
防护程度	好	0.95	0.05	0	0	0
	较好	0.3	0.7	0	0	0
	一般	0	0.45	0.55	0	0
	较差	0	0	0.1	0.8	0.1
	差	0	0	0	0.25	0.75

2.2.2 连续型变量的隶属度 对于影响因素边坡高度、边坡角度、年平均降雨量和地震烈度,采用公式法确定其隶属度。

隶属度函数的种类很多,有正态型、戒上型、戒下型和降半型等<sup>[11]</sup>。本文采用“降半梯形”分布建立隶属度与指标取值之间的关系。

$$U_{v1}(x) = \begin{cases} 1 & (x \leq S_1) \\ \frac{S_2 - x}{S_2 - S_1} & (S_1 < x \leq S_2) \\ 0 & (x > S_2) \end{cases} \quad (1)$$

$$U_{v2}(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq S_1 \text{ 或 } x > S_3) \\ -\frac{S_1 - x}{S_2 - S_1} & (S_1 < x \leq S_2) \\ \frac{S_2 - x}{S_3 - S_2} & (S_2 < x \leq S_3) \end{cases} \quad (2)$$

$$U_{v3}(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq S_2 \text{ 或 } x > S_4) \\ -\frac{S_2 - x}{S_3 - S_2} & (S_2 < x \leq S_3) \\ \frac{S_4 - x}{S_4 - S_3} & (S_3 < x \leq S_4) \end{cases} \quad (3)$$

$$U_{v4}(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq S_3 \text{ 或 } x > S_5) \\ -\frac{S_3 - x}{S_4 - S_3} & (S_3 < x \leq S_4) \\ \frac{S_5 - x}{S_5 - S_4} & (S_4 < x \leq S_5) \end{cases} \quad (4)$$

$$U_{v5}(x) = \begin{cases} 0 & (x < S_4) \\ -\frac{S_4 - x}{S_5 - S_4} & (S_4 \leq x < S_5) \\ 1 & (x \geq S_5) \end{cases} \quad (5)$$

式中： $x$ ——边坡相关评价指标的实际值； $S_1$ — $S_5$ ——各评价指标在 5 种稳定状态下的标准值<sup>[12]</sup>。

### 2.3 权重的确定

权重的确定方法很多,有数理统计法、复杂度分析法、层次分析法等。本文在专家打分的基础上采用层次分析法确定评价因子的权重。层次分析方法是一种定性定量相结合的多目标决策分析方法。它是将评判者对其  $m$  个元素优劣程度的整体判断转变为对其  $m$  个元素的两两比较,然后再转为对其  $m$  个元素的整体重要程度排序判断,即确定各个元素的权重。将各种有关因素层次化,并逐层比较多种关联因素,为分析、决策、预测或控制事物的发展提供可比较的定量依据。计算其最大特征值及对应的特征向量。之后进行判断矩阵的一致性检验,当判断矩阵的一致性指标  $CR < 0.1$  时<sup>[13-14]</sup>,满足一致性,权重分配合理。

2.3.1 构造两两判断矩阵 根据 1—9 标度法,如表 3,对各层评价指标相对上层指标的重要性进行两两的比较,构建判断矩阵<sup>[14]</sup>。判断矩阵如表 4—8 所示。

2.3.2 计算权重 通过求和法计算判断矩阵的权重值,计算过程为<sup>[15]</sup>:

(1) 对判断矩阵的元素按列归一化,得

$$\bar{D} = (\bar{d}_{ij}) \quad \bar{d}_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

(2) 按行相加,得

$$\bar{W} = (\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n)^T \quad (W_i = \sum_{j=1}^n \bar{d}_{ij}) \quad (7)$$

(3) 对归一化,即

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i}) \quad (8)$$

表 3 判断矩阵元素  $A_{ij}$  的 1—9 标度方法<sup>[12]</sup>

标度 $a_{ij}$	定义	解释
1	同样重要	$i$ 元素 $j$ 元素同样重要
3	稍微重要	$i$ 元素比 $j$ 元素稍重要
5	明显重要	$i$ 元素比 $j$ 元素明显重要
7	很重要	$i$ 元素比 $j$ 元素很重要
9	极端重要	$i$ 元素比 $j$ 元素极端重要
2, 4, 6, 8	介于上述相邻判断中间	为以上两判断的折中标述
上述数字倒数	反比较	$j$ 元素比 $i$ 元素重要的情况

表 4 溜砂坡灾害判断矩阵  $A$

$A$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$A_1$	1	1/3	1	5
$A_2$	3	1	2	5
$A_3$	1	1/2	1	3
$A_4$	1/5	1/5	1/3	1

表 5 溜砂坡灾害判断矩阵  $A_1$

$A_1$	$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{13}$	$A_{14}$
$A_{11}$	1	1/2	1/4	1/3
$A_{12}$	2	1	1/3	1/2
$A_{13}$	4	3	1	2
$A_{14}$	3	2	1/2	1

表 6 溜砂坡灾害判断矩阵  $A_2$

$A_2$	$A_{21}$	$A_{22}$
$A_{21}$	1	1/3
$A_{22}$	3	1

表 7 溜砂坡灾害判断矩阵  $A_3$

$A_3$	$A_{31}$
$A_{31}$	1

表 8 溜砂坡灾害判断矩阵  $A_4$

$A_4$	$A_{41}$	$A_{42}$	$A_{43}$
$A_{41}$	1	1/2	1/4
$A_{42}$	2	1	1/2
$A_{43}$	4	2	1

2.3.3 一致性检验 通过求和法得出各级权重值如表 10 所示。以判断矩阵  $A$  为例,对其进行一致性检验,即要求  $CR = CI/RI < 0.1$ ,  $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ 。其中  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵特征向量最大值,  $CR$  为检验系数,

CI 为一致性检验指标,RI 为平均随机一致性指标,其取值标准详见表 9。此处, $\lambda_{\max}=4.106 1$ , $CI=0.035 37$ , $CR=0.039 29<0.1$ ,满足一致性检验。

表 9 平均随机一致性指标 RI

矩阵阶数	RI
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.26
7	1.36
8	1.41

表 10 边坡稳定性评价指标权重分配

因素	评价指标	一级评价权重	二级权重
地形地貌特征	边坡高度/m	$A_{11}=0.10$	$A_1=0.21$
	边坡角度/ $^{\circ}$	$A_{12}=0.16$	
	坡面形态	$A_{13}=0.47$	
	植被覆盖情况	$A_{14}=0.27$	
地质环境特征	岩体结构	$A_{21}=0.25$	$A_2=0.48$
	岩土风化程度	$A_{22}=0.75$	
降雨	年平均降雨量	$A_{31}=1.00$	$A_3=0.23$
其他因素	地震烈度	$A_{41}=0.14$	$A_4=0.08$
	人为扰动	$A_{42}=0.29$	
	防护程度	$A_{43}=0.57$	

### 2.4 综合评判值计算

由于溜砂坡灾害评价体系为二级评价体系,一级评价指标的隶属度模糊矩阵为:

$$S = A \cdot B = (0.21 \quad 0.48 \quad 0.23 \quad 0.08) \begin{pmatrix} 0 & 0.04 & 0.22 & 0.33 & 0.41 \\ 0 & 0 & 0.64 & 0.2 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.39 & 0.04 & 0 & 0 & 0.57 \end{pmatrix} \\ = (0.031 2 \quad 0.011 6 \quad 0.353 4 \quad 0.280 3 \quad 0.323 5)$$

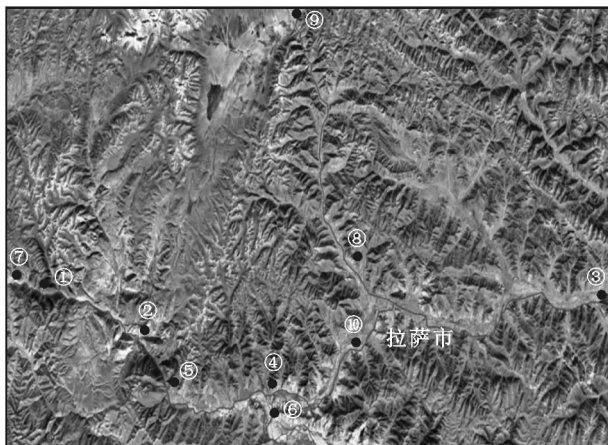


图 2 拉萨市周边典型溜砂坡灾害点分布

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0.1 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.15 & 0.2 & 0.65 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_3 = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.5 \quad 0.5)$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.85 & 0.15 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

利用一级权重矩阵  $A$  与一级模糊矩阵  $R$  相乘,构造二级模糊矩阵  $B$ :

$$B = A \cdot R \tag{9}$$

二级评价权重矩阵和二级模糊矩阵相乘,进行二级模糊评判,得出最终评判结果  $S$ :

$$S = A \cdot B \tag{10}$$

## 3 结果与分析

### 3.1 调研结果

本文实地调研了 10 个具有典型性的溜砂坡灾害点,其分布如图 2 所示。以拉萨市尼木县泽南村东南方向 5.22 km 的一处溜砂坡灾害点( $29^{\circ}19'32''N$ , $89^{\circ}57'2''E$ )为例,由公式(9)可得,构造二级模糊矩阵为:

$$B = A \cdot R = \begin{pmatrix} 0 & 0.04 & 0.22 & 0.33 & 0.41 \\ 0 & 0 & 0.64 & 0.2 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.39 & 0.04 & 0 & 0 & 0.57 \end{pmatrix}$$

由公式(10)可知,该处溜砂坡的最终评判结果为:

根据上述方法得出此溜砂坡灾害点评价结果对于三级这一评价的隶属度值高于其他 4 个评价,由最大隶属度原则和稳定等级的划分标准,评价结果为基本稳定<sup>[16]</sup>。按照同样的方法对其余灾害点进行评价,结果如表 11 所示。可以看出,大多数溜砂坡是不稳定(4 个)和较不稳定(2 个)的,处于基本稳定和较稳定状态的分别有一处和两处,只有一处是处于稳定状态。实际上发生失稳的溜砂坡全部分布在 IV, V 级,4 个处在不稳定状态的溜砂坡中有 3 个发生失稳,两个处在较不稳定状态的溜砂坡中全部发生失稳,因此该方法具有较高的适用度。拉萨地区特殊的地形地貌以及气候环境使得溜砂坡以较快的速度发

育和扩散,所以目前该地区溜砂坡灾害的发展趋势不容乐观,需重视。

### 3.2 结果分析

综合实地调研与表 11 相关内容分析可知,对处于不稳定状态的溜砂坡,其风化程度均较高,坡面多无植被,且被细沙覆盖,极易扩散。随着休止角的增大,在重力作用下,堆积区的溜砂溜向公路,对道路交通造成危害;对处于基本稳定状态的溜砂坡,溜动区与堆积区多由碎屑颗粒组成,风化程度较低,坡面植被类型多为荆棘,由于地震与降雨作用导致碎屑的滑

动成为其失稳的主要原因;对于稳定状态下的溜砂坡,坡面较为平缓,基本无风化,植被覆盖率较高,由草本植物与灌木共同组成,且该处雨水较为充沛。对于较不稳定与较稳定状态下的溜砂坡,随着休止角与风化程度的减小、植被覆盖率的增加等稳定因素改善,稳定级别依次向“稳定”状态过度。经过研究发现,山体的阴面和阳面上的溜砂坡有较大的区别,处在阳面的溜砂坡发育更快,分析其原因在于阳面的外界环境交替变化(如冻融循环、日照等)较阴面剧烈,岩体更易破坏。

表 11 各溜砂坡稳定等级划分结果

编号	地理位置坐标	模糊评判					评价结果	实际情况
		I	II	III	IV	V		
灾害点①	N29°19'32"E89°57'2"	0.031 2	0.011 6	0.353 4	0.280 3	0.323 5	III	基本稳定
灾害点②	N29°20'11"E90°16'5"	0.408 9	0.178 7	0.045 8	0.161 6	0.205 1	I	稳定
灾害点③	N29°50'3.3"E91°44'26"	0.032 1	0.182 3	0.231 5	0.338 6	0.215 5	III	较不稳定
灾害点④	N29°34'59"E90°39'28"	0.061 7	0.006 9	0.089 3	0.351 8	0.490 4	V	不稳定
灾害点⑤	N29°16'15"E90°24'22"	0.142 4	0.340 0	0.099 0	0.207 3	0.211 3	II	较稳定
灾害点⑥	N29°18'55"E90°46'52"	0.131 9	0.001 2	0.038 4	0.167 2	0.661 3	V	不稳定
灾害点⑦	N29°18'37"E89°48'55"	0.122 1	0.011 0	0.006 7	0.177 9	0.682 3	V	不稳定
灾害点⑧	N29°41'27"E90°53'14"	0.173 8	0.316 6	0.004 6	0.177 3	0.327 7	V	不稳定
灾害点⑨	N30°08'33"E90°32'44"	0.218 2	0.281 2	0.035 3	0.233 6	0.231 6	II	较稳定
灾害点⑩	N29°32'44"E89°29'57"	0.141 2	0.277 2	0.024 0	0.307 7	0.249 9	IV	较不稳定

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

溜砂坡作为一种高原特有的自然灾害,近些年才逐渐引起人们的重视。对于所研究的十处溜砂坡灾害,从分布特征分析,位于拉萨城区附近的溜砂坡多呈散沙状,覆盖面积巨大,采用草方格或砾石压砂的方式防治;位于 318 国道沿线两侧的溜砂坡多呈碎屑状,集中在沟槽内,由于过往车辆造成的扰动以及雨水的汇集冲刷导致碎屑颗粒不断地向坡脚堆积。目前防治措施以挡土墙和清理堆积区的碎屑两种方式为主。从发展趋势来看,稳定性越差的溜砂坡,其向更不稳定阶段发展的速度就越快;处于不稳定状态的溜砂坡,其失稳风险不断增大;处于稳定状态的溜砂坡,通过改善坡面环境,在较长的时间内仍可保持稳定。

溜砂坡较于其他类型的边坡灾害,其形成、发育的过程更为复杂。传统手段的稳定性分析是以组织专家打分的方式进行,缺点是考虑因素不够全面,具有较强的主观性。而对于溜砂坡的研究,目前大多学者从单因素的角度,如水的的作用,冻融的影响等出发,通过试验探索,得出了较为科学丰富的成果。AHP-模糊综合评价法降低了人为因素的干预,以较新的角度开展了对溜砂坡的研究,由于选取的因素在级别以及隶属

度的划分上过于简约,因此该方法的适用性仍需进一步加强。

### 4.2 结论

本文采用 AHP-模糊综合评价法对拉萨周边溜砂坡灾害进行稳定性评价,评判结果与现场情况吻合,验证了该方法具有较高的可行性。另外,由于此次研究区域有限,以及溜砂坡的实时监测难度较大的特点,该模型还有待在更广泛的区域验证和进一步研究。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 来志强,周伟,杨利福,等. 基于离散单元法的溜砂坡堆积形态数值研究[J]. 中南大学学报:自然科学版,2017,48(7):157-166.
- [2] 张小刚,杨天军,陈伟. 藏东南溜砂坡的发育特征与防治[J]. 灾害学,2014,29(1):47-51.
- [3] 罗德富,毛济周,朱平一,等. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [4] 蒋良滩,姚令侃,蒋忠信,等. 溜砂坡动力学特性试验及防治[J]. 山地学报,2004,22(1):97-103.
- [5] 阙云,王磊,张志勇,等. 溜砂颗粒运动模型探讨[J]. 水土保持通报,2006,26(3):59-62.
- [6] 叶唐进,谢强,王鹰. 国道 G318 玉普—然乌段溜砂坡形成中流水作用的讨论[J]. 公路,2016(7):63-67.

物质显著降低了 7.7%,但提高了 4.95%的产量和 7.56%的水分利用效率。时学双等<sup>[13]</sup>研究发现轻度水分亏缺处理可以显著提高春青稞的水分利用效率和收获指数,而极度水分亏缺则会显著降低产量、水分利用效率和收获指数。本研究也得出相似结论,WD<sub>4</sub>处理的苕蓝产量与CK无显著( $p>0.05$ )差异,WD<sub>1</sub>处理的水分利用效率最高,WD<sub>4</sub>处理次之且比CK提高 6.74%,即WD<sub>4</sub>处理为最优处理。苕蓝的经济产量受轻度水分亏缺的影响不显著,而中度和重度水分亏缺显著降低了苕蓝的经济产量。不同处理的水分利用效率受到水分亏缺的影响显著,轻度水分亏缺的水分利用效率显著增加,而其他处理的水分利用效率均有所降低。结果说明轻度水分亏缺可以有效提高苕蓝的水分利用效率,并且不会降低苕蓝的经济产量。

#### [参 考 文 献]

[1] 陈永金,陈亚宁,薛燕.干旱区植物耗水量的研究与进展[J].干旱区资源与环境,2004,18(6):152-158.

[2] Allen R G. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study [J]. Journal of Hydrology, 2000, 229(1):27-41.

[3] Risheng Ding, Shaozhong Kang, Yanqun Zhang, et al. Partitioning evapotranspiration into soil evaporation and transpiration using a modified dual crop coefficient model in irrigated maize field with ground-mulching [J]. Agri-

cultural Water Management, 2013, 127(1):85-96.

- [4] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等.不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J].生态学报,2005,25(9):2326-2332.
- [5] 白钰,唐晓清,施晟璐,等.氮营养对苕蓝生长及活性成分积累的影响[J].核农学报,2017,31(1):169-178.
- [6] 国欣,胡小龙,王月荣,等.板蓝根多糖的系统分离纯化与组成分析[J].中草药,2016,47(9):1508-1514.
- [7] 孟兆江,段爱旺,王景雷,等.调亏灌溉对冬小麦不同生育阶段水分蒸散的影响[J].水土保持学报,2014,28(1):198-202.
- [8] 杨学军,武菊英,滕文军,等.负水头亏缺灌溉下4种苜蓿草耗水量及抗旱性研究[J].草地学报,2011,19(4):607-611.
- [9] 黄兴法,李光永,王小伟,等.充分灌与调亏灌溉条件下苹果树微喷灌的耗水量研究[J].农业工程学报,2001,17(5):43-47.
- [10] 邱新强,路振广,张玉顺,等.不同生育时期干旱对夏玉米耗水及水分利用效率的影响[J].中国农学通报,2013,29(27):68-75.
- [11] 张步翀.河西绿洲灌区春小麦调亏灌溉试验研究[J].中国生态农业学报,2008,16(1):35-40.
- [12] 雷艳,张富仓,寇雯萍,等.不同生育期水分亏缺和施氮对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2010,38(5):167-174,180.
- [13] 时学双,李法虎,闫宝莹,等.不同生育期水分亏缺对春青稞水分利用和产量的影响[J].农业机械学报,2015,46(10):144-151,265.

(上接第 166 页)

[7] 张俊巍,田荣燕,薛现凯,等.西藏拉萨地区冻融作用对溜砂坡天然休止角的影响[J].中国地质灾害与防治学报,2017,28(3):52-57.

[8] 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等.印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J].地学前缘,2003(3):135-148.

[9] 王艳,石荣媛,乔长录.基于模糊综合评价模型的天山北坡经济带水资源承载力评价[J].水土保持通报,2018,38(5):206-212,219.

[10] 洪海春.关(岭)海兴(义)高等级公路工程边坡稳定性分析与危险性预测[D].贵州 贵阳:贵州工业大学,2004.

[11] 洪海春,徐卫亚,叶明亮.基于模糊综合评判的边坡稳定性分析[J].河海大学学报,2005,33(5):558-559.

- [12] 张勇慧,李红旭,盛谦,等.基于模糊综合评判的公路岩质边坡稳定性分级研究[J].岩土力学,2010,31(10):3151-3156.
- [13] 李来仕,王清,孔元元,等.基于层次分析法的灰坝桥沟泥石流危险性评价[J].路基工程,2017(1):184-188.
- [14] 杨柯,张军.层次分析法在溜砂坡危险性评价中的应用[J].长春工程学院学报:自然科学版,2012,13(4):82-85.
- [15] 付君宜,杨光玉.基于模糊综合评判的边坡稳定性评价[J].建材与装饰,2017(16):212-213.
- [16] 孙洪,付君宜,吴斌,等.岩堆稳定性模糊综合评价方法在FAST工程中的应用[J].科学技术与工程,2017,17(4):281-286.