

山区高速公路弃渣场安全风险评价体系研究

叶咸¹,尹昊¹,赵鑫¹,王冠群²,高瑜²

(1.云南省交通规划设计研究院有限公司 云南省数字交通重点实验室(筹),云南昆明 650041;

2.云南省地质环境监测院,云南昆明 650216)

摘要:山区高速公路弃渣场工程的安全关乎路域范围内环境保护、水土保持、公路建筑物及下游环境敏感点等的保护,提出安全评估方法十分必要。该文基于云南省内1369座弃渣场资料分析,提出弃渣场工程安全风险影响因素,概括为选址和设计因素、施工因素、区域地质因素、外部影响因素及资料完整性因素共5个一级指标,进一步提出18个次级指标。建立群决策AHP模型,通过64名技术专家,确定次级指标的权重,构建高速公路弃渣场工程安全风险评价技术指标体系,提出风险等级分级标准。以大理至丽江高速公路一处弃渣场实体工程为例,检验了弃渣场安全风险评价评价体系,证明了评价体系具有简单易行的优点,权重优化需要实践大数据的支撑,该评价体系适合在山区高速公路弃渣场工程中进行推广运用。

关键词:山区高速;群决策;弃渣场;安全风险;评价系统

中图分类号:U491

文献标志码:A

Study on Safety Risk Assessment System for Waste Dump of Mountainous Expressways

YE Xian¹, YIN Hao¹, ZHAO Xin¹, WANG Guanqun², GAO Yu²

(1.Yunnan Key Laboratory of Digital Communications, Broadvision Engineering Consultants, Kunming, Yunnan 650041, China;

2.Yunnan Geological Environment Monitoring Institute, Kunming, Yunnan 650216, China)

Abstract: The safety of waste dump projects of mountainous expressways is related to environmental protection, water and soil conservation, highway building protection, and downstream environment-sensitive point protection, so it is necessary to put forward safety assessment methods. Based on the data analysis of 1369 waste dumps in Yunnan Province, the safety risk factors of the waste dump engineering were proposed and summarized as five primary indicators, including site selection and design factors, construction factors, regional geological factors, external influencing factors, and data integrity factors, and 18 secondary indicators were further put forward. The group decision-making analytic hierarchy process (AHP) model was established, and the weight of secondary indexes was determined by 64 technical experts. The technical index system of safety risk assessment of the expressway waste dump engineering was constructed, and the risk classification standard was set. With a waste dump engineering of Dali—Lijiang Expressway as an example, the safety risk assessment system of the waste dump was tested, which proved that the assessment system was simple and easy to implement. The weight optimization needs the support of big data in practice, and the assessment system is suitable for promotion and application in the waste dump engineering of mountainous expressways.

Keywords: mountainous expressway; group decision-making; waste dump; safety risk; assessment system

收稿日期:2022-09-26(修改稿)

基金项目:交通运输部2021年度交通运输行业重点科技项目清单项目(编号:2021-MS4-105);云南省基础研究计划项目青年项目(编号:2019FD003);云南省交通运输厅2019年科技创新管理咨询研究项目(编号:2019301);云南省数字交通重点实验室项目(编号:202205AG070008);云南省交通规划设计研究院有限公司科技项目(编号:ZL-2021-03)

作者简介:叶咸,男,硕士,高级工程师.E-mail:478451744@qq.com

0 引言

近年来高速公路工程建设里程不断增加,以云南省为例,截至2021年底,高速公路通车总里程超过9 000 km。受地形地貌条件制约,山区高速公路建设过程中隧道工程、高边坡工程比例高,由此产生了大量废弃土石方,因此山区高速公路附属建设了大量弃渣场工程。据统计,云南省新建高速公路双向四车道平均每2.01 km设置1座弃渣场;新建双向六车道高速公路上,平均每1.59 km设置1座弃渣场^[1],可见弃渣场数量很大。弃渣场若出现滑坡、泥石流等地质灾害,将对环境保护、水土保持、公路建筑物及下游环境敏感点等造成恶劣的影响^[2]。

据王韬等^[3]研究,弃渣场工程存在多个方面的安全风险,然而对于高速公路弃渣场工程目前没有统一的安全风险评价与控制方法,仍处于弃渣体边坡稳定性计算、泥石流危险度评价阶段;余雷^[4]提出了生产项目弃渣场潜在危险性评价方法;肖鸿等^[5]基于专家调查法,开展了高速公路弃土场安全风险评价;吴伟东等^[6]基于改进PPC模型,提出了铁路弃渣场综

合风险评价系统。这些方法技术上可行,但是考虑的指标不够全面或依赖岩土试验参数,然而弃渣场的岩土体参数是较难准确获取的。本文在大量收集工程实例进行分析的基础上,采用专家群决策层次分析模型,构建山区高速公路弃渣场安全风险评价体系,通过借助现场调查和专家经验的方法,对弃渣场安全风险影响因素的量化取值,避免了岩土参数等难获取对评价体系的影响,实现了弃渣场安全风险定量评估和风险等级确定,为弃渣场安全防控和风险决策提供技术支持。

1 安全风险评价模型的构建

经过对云南省内1 369座高速公路弃渣场环评、勘察、稳定性评估资料进行分析,弃渣场工程安全风险影响因素可以概括为选址和设计因素、施工因素、区域地质因素、外部影响因素及资料完整性因素5个方面。本文采用层次分析模型进行安全风险评价,这5个方面的因素构成了模型的准则层^[7]。结合高速公路弃渣场工程的实际情况,选取了18个评价指标,形成如图1所示的层次分析评价模型。

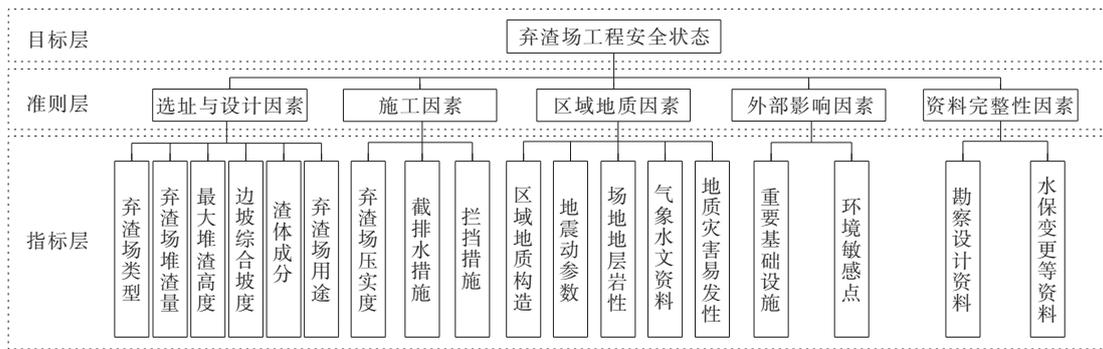


图1 安全风险评价层次分析模型

Figure 1 AHP model for safety risk assessment

2 问卷设计与专家调查

本文通过对云南省内1 369座高速公路弃渣场资料进行分析研究,邀请公路设计、水土保持设计、工程地质、环境保护等长期从事弃渣场勘察设计、监测、安全评估等专业的技术专家和工作人员进行问卷调查。问卷内容除了基本信息外还包括弃渣场安全方面的专业技术问题。基本信息包括被调查者的职务职称、学历、所从事的专业及从事该专业的工作年限;弃渣场安全专业问题则是针对模型指标专门

设计。受访专家需要结合自身的工作经验,围绕影响弃渣场安全的影响因素,对模型方案中指标间的重要程度进行对比^[8],并在安全问题的出现、治理、管控等方面进行拓展。本次研究过程中一共向云南、四川、重庆、广西等地专业技术人员发出64份问卷,成功回收64份,经检查均为有效问卷,问卷有效率达100%。

3 群决策专家的选取及权重确定

弃渣场安全风险控制因素类型涉及选址设计、施工、地质等几个方面,因此相应地,群组专家主要

由公路工程、工程地质勘察、水土保持等专业的技术人员组成。由于每个专家的专业经验不同,对构成模型的各个指标及其相互关系的影响程度存在理解上的差异,由此导致了群组专家的个人权重对决策结果的影响非常大^[9-11],因此在群组专家权重的确定上需要遵循科学合理的原则。本文中专家权重由职称属性和所从事专业的属性两部分属性权重构成,即专家权重 $W_1 = \text{专家职称权重 } W_2 \times \text{专家从事专业权重 } W_3$ 。两个属性权重均体现了专家对弃渣场工程的经验与学识的积累程度。考虑与弃渣场工程关联的紧密性,水土保持 > 公路工程 > 地质工程 > 环境工程,对专家所从事专业进行区分,赋予不同权重,进行归一化处理,最终得到专家属性权重如表1所示。

表1 群组专家信息及属性权重

Table 1 Group expert information and attribute weight

| 属性 | 专家数/人 | 权重 | |
|------|--------|----|-------|
| 职称 | 工程师 | 24 | 0.150 |
| | 高级工程师 | 27 | 0.350 |
| | 正高级工程师 | 13 | 0.500 |
| 从事专业 | 环境 | 5 | 0.172 |
| | 地质 | 9 | 0.207 |
| | 公路 | 15 | 0.276 |
| | 水保 | 35 | 0.345 |

专家权重的考虑是较为复杂的,职称、从事专业属于较为基本的属性,下一步还可以结合从事专业年限等方面,对专家权重进一步优化。

由表1可知:本次群组专家中工程师有24人、高级工程师有27人、正高级工程师有13人,其中高级及以上职称人数占比62%。因为弃渣场工程不仅涉及环水保、公路,还涉及地质工程与岩土工程专业,因此选取的专家中水土保持专家35人、公路行业专家15人、环境保护方面专家5人、地质工程专家9人,环水保方面专家占比63%,本次研究专家群组构成较为合理。

4 群决策 AHP 评价指标权重确定

本文采用群决策 AHP 法构建安全风险评价体系,群决策 AHP 法,即利用大量专家组成专家组,代替专家个人决策,从而可有效避免专家个人主观偏好造成的影响^[9-10]。基于弃渣场安全风险评价18个指标层次分析模型,首先采用群决策方法,借助 AHP 层次分析软件,根据群组专家对指标因素的相互比较,构造判断矩阵,从而确定评价模型中各个指标的主观权重。然后结合专家属性权重,完成专家群的数据集结分析,最终得到18个指标的权重,见图2。

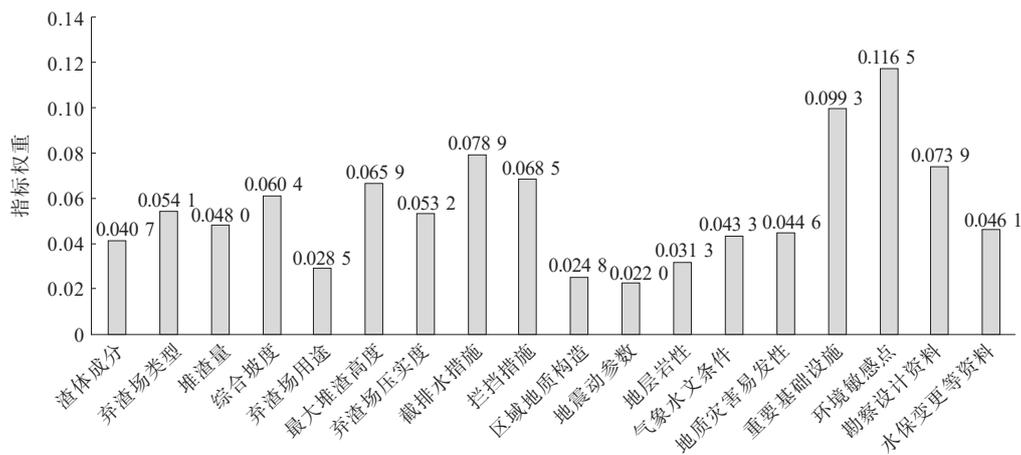


图2 弃渣场安全风险评价指标权重

Figure 2 Safety risk assessment index weight of waste dump

为避免决策模型出错,对检测判断矩阵逻辑性进行检查,采用CR指标进行一致性检验:

$$R_{CR} = I_{CI} / I_{RI} \quad (1)$$

式中: I_{CI} 为一一致性指标; I_{RI} 为平均随机一致性指标; R_{CR} 为一一致性比率^[10-11]。当 $R_{CR} < 0.1$ 时,判断矩阵具

有较好的一致性,决策模型合理。经计算,本次群决策组合 $R_{CR} = 0.0113$,符合式(1)中判断标准,表明模型通过一致性检验,结果准确度较高,准则层一致性检验结果见表2。

表2 准则层一致性检验结果

Table 2 Criterion-level consistency test results

| 要素 | 权重 | I_{CI} | I_{RI} (阶数) |
|---------|---------|----------|---------------|
| 选址和设计因素 | 0.297 7 | 0.018 3 | 1.260 0(6) |
| 外部影响因素 | 0.215 8 | 0.000 0 | 0.000 0(2) |
| 施工因素 | 0.200 6 | 0.002 7 | 0.520 0(3) |
| 区域地质因素 | 0.165 9 | 0.009 2 | 1.120 0(5) |
| 资料完整性因素 | 0.120 0 | 0.000 0 | 0.000 0(2) |

5 群决策 AHP 安全风险评价指标体系

得到弃渣场各二级指标的权重后,即可根据各指标的程度进行打分,弃渣场工程安全风险可按下式进行量化:

$$F = \sum X_i \quad (2)$$

$$X_i = R_{ij} W_{ij} \quad (3)$$

式中: F 为风险分值; X_i 为一级指标分值; R_{ij} 为二级指标分值; W_{ij} 为二级指标权重; $i=1,2,3,4,5;j=1,2,\dots,n;i$ 为一级指标的个数, n 为对应的第*i*类一级评估指标中包括的二级指标的个数。

将18个指标进行细化分级,根据每个指标的特点进行百分值打分,构建弃渣场工程安全风险评估指标体系。

本次研究运用蒙特卡洛随机抽样技术,抽样次数 1×10^7 次,可靠度 R 在99%以上,满足精度要求。按照正态分布函数,以频率分别为10%、60%、90%时的抽样结果将风险等级划分为4个等级,并得到各风险等级的阈值。弃渣场安全风险等级划分结果见表3。

表3 弃渣场安全风险分级标准

Table 3 Safety risk classification standard of waste dump

| 风险置信区间 | 风险等级 | 风险分值 |
|------------|----------|----------------|
| [0,10%) | I级(低度) | [0,42.31) |
| [10%,60%) | II级(中度) | [42.31,50.51) |
| [60%,90%) | III级(高度) | [50.51,56.08) |
| [90%,100%) | IV级(极高) | [56.08,100.00) |

依据以上研究成果,根据不同风险等级,提出相对应的弃渣场安全风险控制措施,形成弃渣场安全风险评价技术体系,实施现场管理和监控预警。风险分级管理措施建议见表4。

表4 风险分级管理措施

Table 4 Risk classification management measures

| 风险等级 | 分级管理措施 | | | |
|----------|--------|--------|------|------|
| I级(低度) | 日常管理 | — | — | — |
| II级(中度) | 日常管理 | 分部整治 | — | — |
| III级(高度) | 日常管理 | 专项整治 | 监控预警 | — |
| IV级(极高) | 日常管理 | 全面专项整治 | 监控预警 | 应急抢险 |

6 应用实例

6.1 工程地质概况

香格里拉至丽江(白汉场)高速公路上补洛大桥左右幅为连续刚构桥,桥梁全长476 m,桥梁跨越海巴洛泥石流沟。海巴洛泥石流沟位于哈巴雪山的西侧,泥石流沟的流域范围内最高海拔为5 396 m。经过调查,流域内目前仍发育有少量冰川。受冰川消融、衰退等影响,上游泥石流沟道中存在大量的冰碛物,在沟道两侧广泛分布滑坡堆积体。该沟属于高频泥石流沟,经访问,每年均有泥石流发生,发生频率2~3次/年,且发生的规模较大。据赵鑫等^[12]研究,该泥石流具有高位、高易发和高隐蔽等特征,泥石流一旦发生,对下游基础设施和人民生命财产安全将造成极为严重的影响。此外香丽高速、香丽铁路部分弃渣堆放于泥石流沟沟道两侧,更加剧了泥石流发生的风险。

6.2 工程地质条件

实例弃渣场位于云贵高原中部,地处山地斜坡中下部,属构造侵蚀地貌区,地形较陡,植被极为茂密。研究区内水系较为发育,河流主要包括金沙江、冲江河等,河道狭窄,流速较快,河流流量在雨季明显增多。

研究区气候特征表现为干湿季节分明,垂直变化显著。弃渣场所处泥石流沟流域范围可分为3个垂直气候带,其中海拔2 500 m以上区域多年平均降雨量为610 mm左右;海拔2 000~2 500 m区域多年平均降雨量890~930 mm;海拔2 000 m以下的区域气候炎热,降雨量较少,一般在700 mm以下。

研究区上覆为第四系冲积层块石土、第四系残坡积块石土、第四系残坡积碎石土。下伏基岩为三叠系上统强风化板岩、三叠系上统中风化板岩。场地区域属青藏高原断块区,地质构造复杂,场地受海巴洛背斜影响较大,岩体破碎。

此外根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015),场区地震动反应谱特征周期为0.4 s,地震动峰值加速度小于0.20g,场区地震基本烈度为8度。

6.3 弃渣场特征调查

公路和铁路隧道弃渣堆放于海巴洛泥石流沟右侧,位于中下游部位,如图3~5所示,弃渣场属于临河型弃渣场,其弃渣成分主要为碎石,石质成分为灰色、灰褐色板岩、灰岩。渣场呈长条形分布,可分为上坝区和下坝区,上坝区为大面积堆放,堆放厚度较大,下坝区堆放厚度较小,通过无人机倾斜摄影测量,弃渣场总体库容约 $22.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。弃渣场最大堆高42.9 m,综合边坡坡度 40° 。



图3 弃渣场上坝区无人机影像图

Figure 3 UAV image of dam area of waste dump

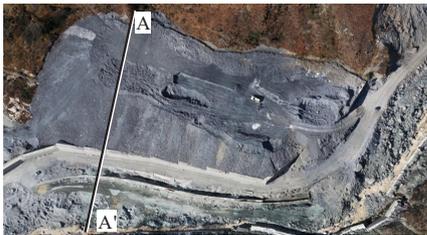


图4 弃渣场上坝区俯视图

Figure 4 Top view of dam area of waste dump

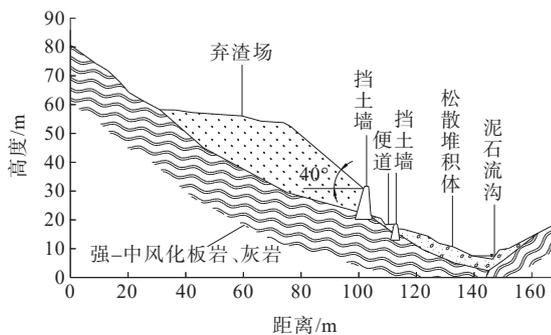


图5 A-A'剖面图(剖面位置见图4)(坡度 40°)

Figure 5 A-A' section (see Figure 4 for section position) (slope of 40°)

通过调查,弃渣场压实度较高。弃渣场目前仍在继续收纳渣体,尚未开展植被修复工作。弃渣场上坝区和下坝区局部修建两道挡土墙,一道用于拦渣,一道作为便道的路基挡墙。上坝区为泥石流沟凸岸,上坝区与下坝区衔接处及下坝区中段为泥石流沟凹岸,泥石流沟凹岸容易受到泥石流冲刷,从而导致挡土墙底部脱空出现倾覆。

根据无人机倾斜摄影成果,弃渣场仅上坝区顶部开挖了土沟,整个弃渣场未修建任何截排水设施。根据量测,弃渣场底部即为第一处施工便桥,下游距弃渣场底部150 m、290 m、470 m、530 m、570 m依次为香丽铁路的施工驻地、第二处施工便桥、香丽铁路桥墩、第三处施工便桥和香丽高速上补洛大桥桥墩。弃渣场下游基础设施较多,一旦发生较大规模泥石流,裹挟弃渣向下游产生冲击,将产生较为严重的后果。

6.4 弃渣场安全风险评估

对海巴洛泥石流沟弃渣场进行安全风险评估,通过计算,该弃渣场安全风险综合评分为52.4083分,见表5。

根据表3修正后的安全风险分级标准,该弃渣场安全风险等级为Ⅲ级,为高度风险。根据表4风险分级管理措施,应对该弃渣场进行日常管理、专项整治及监控预警,以便减小弃渣场安全风险。

6.5 风险控制措施

(1) 日常管理措施

加强日常管理,日常巡查时,对地表、挡土墙等进行外观巡查,巡查频率15~30 d/次,在连续降雨、暴雨期间加强人工巡查力度。同时禁止有关施工单位继续弃渣。

(2) 专项整治措施

开展弃渣场专项整治,针对弃渣场坡度、截排水措施开展相关工作:①对弃渣场边坡进行放缓处理,将弃渣场坡度放缓至 30° 左右,多余的土石方可堆放至上部平台,堆放过程中应进行分层碾压,确保压实度;②弃渣场整体未设计修筑截水沟,建议尽快完善截排水沟设计和施工,理顺弃渣场排水系统,使弃渣场地表水能够顺利排出,截断上部径流,以减少流水对弃渣场上覆土体的侵蚀作用;③建议对完工后的弃渣场上覆腐殖土进行生态修复;④建议对底部沟侧挡土墙进行加固处理,确保在泥石流冲刷下挡土

表5 弃渣场安全风险评估表
Table 5 Safety risk assessment of waste dump

| 一级指标 | 二级指标 | 指标情况 | 单项取值 | 权重 | 单项得分 |
|--------|----------|---------------------------------------|-------|---------|---------|
| 选址设计因素 | 弃渣场类型 | 临河型 | 80.00 | 0.066 1 | 5.288 0 |
| | 堆渣量 | $22.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ | 41.30 | 0.063 5 | 2.622 6 |
| | 边坡综合坡度 | 40° | 80.00 | 0.083 5 | 6.680 0 |
| | 弃渣场用途 | 林地 | 10.00 | 0.027 3 | 0.273 0 |
| | 渣体成分 | 碎石土,石质为主 | 26.00 | 0.042 8 | 1.112 8 |
| 施工因素 | 堆渣最大高度 | 42.9 m | 40.30 | 0.099 4 | 4.005 8 |
| | 弃渣场压实度 | 较高 | 30.00 | 0.040 1 | 1.203 0 |
| | 截排水措施 | 仅上坝区顶部开挖了土沟,整个场地未修建截排水设施 | 75.00 | 0.081 7 | 6.127 5 |
| | 拦挡措施 | 两排挡渣墙,完好,但是底部存在泥石流冲刷风险 | 30.00 | 0.060 4 | 1.812 0 |
| | 区域地质环境条件 | 区域地质构造 | 复杂 | 75.00 | 0.021 5 |
| 地震动参数 | | 小于0.2g | 30.00 | 0.018 8 | 0.564 0 |
| 地层岩性 | | 强~中风化灰色板岩、灰岩 | 30.00 | 0.033 0 | 0.990 0 |
| 气象水文条件 | | 894.6~927.4 mm | 60.00 | 0.050 4 | 3.024 0 |
| 地灾易发性 | | 高易发区 | 85.00 | 0.046 6 | 3.961 0 |
| 外部环境 | 重要基础设施 | 下游存在施工便桥、铁路桥墩、公路桥墩, $\Delta L < 0.5L$ | 85.00 | 0.076 1 | 6.468 5 |
| | 环境敏感点 | $\Delta L > 1.5L$ | 10.00 | 0.094 0 | 0.940 0 |
| 资料完整性 | 勘察设计资料 | 较完整 | 51.00 | 0.063 6 | 3.243 6 |
| | 水保变更等资料 | 不完整 | 80.00 | 0.031 0 | 2.480 0 |

墙时的稳定。建议对泥石流沟进行梳理,通过设置导流堤、急流槽、束流堤等排导措施,改善泥石流流势;⑤在桥墩上游设置丁坝、顺坝等防护工程,减少泥石流冲击影响,确保桥墩的安全。

(3) 监控预警措施

①弃渣场土体发生连续沉降时,会引发岩土体原始结构的改变,降低岩土体力学强度。当地表水大量渗入坡体内部时,还会严重危及坡体的安全稳定。为减少弃渣场土体沉降对坡体造成的影响,建议采取必要的地表位移监测措施对弃渣场表面进行监测^[13];②可采用视频监控手段,对弃渣场段泥石流进行监测,雨季应加强泥石流、挡土墙观测,一旦出现安全问题及时发布预警。

7 结语

随着高速公路建设里程不断增加,弃渣场数量

显著增长,然而弃渣场作为高速公路的附属工程,其安全性一直以来的方法没有较好的方法进行直接判定,因此亟须提出安全风险评价体系,对弃渣场安全风险进行分析,从而为其安全运营提供技术支撑。本文在通过大量调查统计分析的基础上,将弃渣场安全风险控制因素分为选址设计因素、施工因素、区域地质环境条件、外部环境、资料完整性共5个一级指标,并进一步细化为18个二级指标。通过大量专家调查分析,采用基于群决策的层次分析法计算各指标权重,构建了弃渣场安全风险评价指标体系,并建立分级标准,完善了山区高速公路弃渣场工程的安全评价技术方法体系。需要指出的是,专家权重和指标数量是基于有限的统计资料进行分析,随着评估体系使用的不断扩展和大量数据的主动或被动积累,还将进一步优化指标体系及权重,为山区高速公路弃渣场工程安全风险管控提供帮助。

参考文献:

References:

- [1] 叶咸,冯明明,税大洲,等.云南公路弃渣场分布特征及其影响因素分析[J].公路交通技术,2021,37(4):33-40.
YE Xian, FENG Mingming, SHUI Dazhou, et al. Analysis of distribution characteristics and influencing factors of highway dumping sites in Yunnan Province[J]. Technology of Highway and Transport, 2021, 37(4): 33-40.
- [2] 童云深.山区高速公路工程弃渣与生态保护[J].公路, 2013, 58(12): 213-217.
TONG Yunshen. Waste residue and ecological protection of expressway project in mountainous area[J]. Highway, 2013, 58(12): 213-217.
- [3] 王韬,叶咸,吴晓南.浅议西南山区高速公路弃渣场工程[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(1):110-114.
WANG Tao, YE Xian, WU Xiaonan. Discussion on the spoil yard project of expressway in southwest mountainous area[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development(Application Technology Edition), 2019, 15(1): 110-114.
- [4] 余雷.生产建设项目弃渣场潜在危险性快速评价方法研究:以渝万铁路为例[D].重庆:重庆交通大学,2016.
YU Lei. Research on rapid assessment to potential risk of production and construction projects spoil ground a case study on the new chongqing-wanzhou railway[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016.
- [5] 肖鸿,王开洋.基于专家调查法的高速公路弃土场安全风险评价[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(12): 294-296.
XIAO Hong, WANG Kaiyang. Safety risk assessment of expressway spoil ground based on expert investigation method[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development(Application Technology Edition), 2017, 13(12): 294-296.
- [6] 吴伟东,苟唐巧,许博浩,等.基于改进PPC模型的铁路弃渣场综合风险评价系统[J].中国安全生产科学技术, 2019, 15(8): 181-186.
WU Weidong, GOU Tangqiao, XU Bohao, et al. Comprehensive risk assessment system for railway abandoned dreg site based on improved PPC model[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019, 15(8): 181-186.
- [7] 柯小玲,冯敏,刁凤琴.改进模糊综合评价法在煤矿区生态安全评价中的应用[J].矿业安全与环保,2016,43(6):32-36.
KE Xiaoling, FENG Min, DIAO Fengqin. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation in ecological safety evaluation in coal mining areas[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016, 43(6): 32-36.
- [8] 王晓路.基于层次分析及多维度评价法的高速公路建管养运一体化对策决策[J].公路,2021,66(9):358-364.
WANG Xiaolu. Countermeasures and decisions for the expressway integrated construction based on analytic hierarchy process and multi-dimensional evaluation[J]. Highway, 2021, 66(9): 358-364.
- [9] 马国光,李晓婷,董文浩.基于层次分析法和群决策的集输管道线路评价[J].油气储运,2016,35(1):91-95.
MA Guoguang, LI Xiaoting, DONG Wenhao. Evaluation on the gathering pipeline route based on analytic hierarchy process(AHP) and group decision-making[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(1): 91-95.
- [10] 罗日洪,黄锦林,涂金良,等.基于群决策的AHP渡槽安全综合评价方法[J].水利与建筑工程学报,2020,18(5):198-203,220.
LUO Rihong, HUANG Jinlin, TU Jinliang, et al. Comprehensive aqueduct safety evaluation method based on AHP and group decision[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2020, 18(5): 198-203, 220.
- [11] 张惠源.基于AHP的群决策排名问题[J].数学的实践与认识,2017,47(12):21-37.
ZHANG Huiyuan. Group decision ranking problems based on AHP[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2017, 47(12): 21-37.
- [12] 赵鑫,张海太,赵志芳,等.滇西北海巴洛沟“7·28”降雨-冰川融水混合型泥石流成因研究[J].工程地质学报,2020, 28(6):1339-1349.
ZHAO Xin, ZHANG Haitai, ZHAO Zhifang, et al. Study on the genesis of rainfall-glacier mixed type debris flow of haibalo gully in northwest Yunnan on July 28, 2019[J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(6): 1339-1349.
- [13] 叶咸,陈文,张新民,等.山区高速公路弃渣场工程安全稳定监测方法[J].中外公路,2021,41(6):20-26.
YE Xian, CHEN Wen, ZHANG Xinmin, et al. Preliminary study on safety and stability monitoring method for waste slag site project of mountainous expressway[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2021, 41(6): 20-26.