

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.04.04

S303 公路边坡崩塌灾害体发育特征及其危险性评价

刘洪博 佟磊 张龙 韩科胤 丛波
(牡丹江自然资源综合调查中心 黑龙江 牡丹江 157021)

摘要: S303 公路边坡崩塌灾害多发,严重影响当地人民的生命财产安全,因此,查明 S303 公路边坡崩塌灾害体发育特征及其危险性评价刻不容缓。通过资料收集与实地详查,共发现潜在崩塌灾害体 56 处。经过统计分析,总结了 S303 公路边坡崩塌灾害体的发育特征,并以此为基础,横向对比确定了 S303 公路边坡崩塌灾害体危险性评价指标。利用模糊层次分析法(FAHP)确定了各指标权重,构建了 S303 公路边坡崩塌灾害体危险性评价体系,并对 56 处潜在崩塌灾害体进行危险性评价,为公路边坡崩塌灾害调查提供了思路,为 S303 公路边坡崩塌灾害的预防与治理提供了依据。

关键词: S303 公路;崩塌;模糊层次分析法;危险性评价

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)04-0034-05

Slope collapse hazard development characteristics and risk assessment of S303 Highway

LIU Hongbo, TONG Lei, ZHANG Long, HAN Keyin, CONG Bo
(Mudanjiang Natural Resources Investigation Center, Mudanjiang, Heilongjiang 157021, China)

Abstract: The collapses of S303 Highway slope is frequent, seriously affect the safety of life and property of the local people, therefore, it is urgent to find out the collapse characteristics and risk assessment of S303 Highway slope. Through data collection and field investigation, a total of 56 potential collapses were found, after statistical analysis, the developmental characteristics of S303 Highway slope collapses were summarized, and build on that, the evaluation index of slope collapses risk of S303 Highway were determined by cross-sectional comparison. Fuzzy analytic hierarchy process(FAHP) was used to determine the weight of each index, and the risk evaluation system of S303 Highway slope collapses was constructed, and the risk assessments were made for 56 potential collapses, it provides an idea for the investigation of highway slope collapses, and the basis for the prevention and treatment of S303 Highway slope collapses.

Keywords: S303 Highway; collapse; fuzzy analytic hierarchy process; risk assessment

0 引言

S303 公路是连通临江与长白县的重要交通枢纽,沿鸭绿江近东西向延展。受人类工程活动影响,致使边坡形成大量陡崖,存在较大安全隐患。在雨季,受降雨影响,沿路陡崖极易发生岩体崩塌地质灾害,严重影

响道路的通畅与威胁当地人民生命财产安全,潜在危害大。因此,开展对 S303 公路边坡崩塌调查是十分必要的。

2003 年,柳源^[1]提出应用层次分析法确定权重,避免了权重判断的主观性影响危险性计算结果的可靠程度。2018 年,于成龙^[2]采用网格赋值法,对临江市

收稿日期: 2020-01-06; 修订日期: 2020-03-23

基金项目: 中国地质调查局项目: 沿江及重点地区应用地质调查(DD20160081)

第一作者: 刘洪博(1991-),男,黑龙江牡丹江人,大学本科,资源勘察工程专业,助理工程师,研究方向为资源勘察、灾害评估。E-mail: 2274496829@qq.com

地质灾害易发性进行了分区,将 S303 公路划分为地质灾害高易发区。2018 年王少华等^[3]根据遥感数据,利用模糊层次分析法构建了临江市地质灾害评价体系,但采用的模型指标并不适合于公路边坡地质灾害横向对比。

基于以上考虑,笔者根据实地调查,在查明崩塌体发育特征的基础上,通过横向对比,选取了 S303 公路崩塌的危险性评价因子,并采用模糊层次分析法,建立了 S303 公路崩塌危险性评价体系,为 S303 公路边坡崩塌地质灾害的预防与治理提供了依据。

1 基础地质概况

S303 公路位于吉林省白山市临江-长白县,鸭绿江右岸。在地形地貌上属于侵蚀构造中低山,山势大多高陡直立,受鸭绿江断裂影响切割强烈,次生构造发育,以北东东向为主,岩性主要为变质岩与花岗岩,局部出露火山碎屑岩与少量沉积岩,岩石结构多为块裂-碎裂,风化程度轻微-中等风化,节理裂隙发育。

2 崩塌发育特征

针对 S303 公路崩塌灾害多发的现状,通过资料收集与实地调查的工作方法,共发现崩塌灾害隐患点 56 处(图 1),通过统计分析,基本查明了 S303 公路边坡崩塌灾害体发育特征。典型潜在崩塌照片见图 2、图 3。

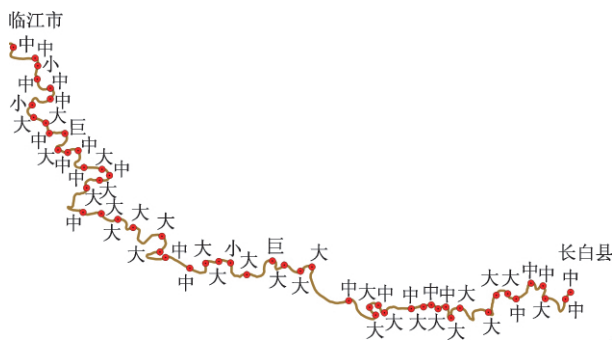


图 1 S303 公路边坡潜在崩塌灾害点分布示意图
Fig.1 Schematic diagram of slope potential collapses distribution of S303 Highway
注:巨、大、中、小为崩塌灾害体规模

2.1 坡体类型

S303 公路边坡崩塌灾害体主要为人类工程原因所形成的岩质崩塌。修筑公路时人工切坡或开挖坡脚,导致公路边坡角度过陡,形成陡崖,致使边坡失去原有内部应力平衡,易引发崩塌灾害。



图 2 八道沟镇 32 号潜在崩塌灾害
Fig.2 No.32 potential collapse hazard in Badaogou Town



图 3 四道沟镇 08 号潜在崩塌灾害
Fig.3 No.8 potential collapse hazard in Sidaogou Town

2.2 坡度

通过实地测量, S303 公路边坡崩塌灾害体坡度在 50°~60°有 3 处;在 60°~70°有 11 处;在 70°~80°有 27 处;在 80°~90°有 15 处,占比情况见图 4。

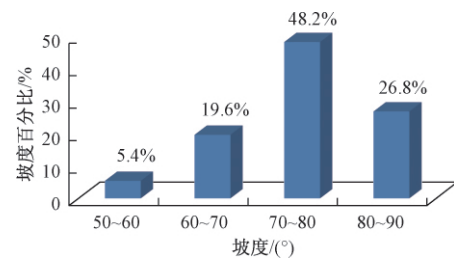


图 4 崩塌边坡坡度占比直方图
Fig.4 Slope histogram of potential collapse slope

分析发现,公路边坡崩塌主要发生在坡度 60°~90°范围内的陡崖,在 70°~80°分布较为集中,原坡度在 80°~90°的崩塌灾害体发生崩塌后,边坡坡度变缓,降到 70°~80°。总体来看,随着公路边坡坡度增加,危岩体与坡面间的摩擦阻力降低,坡脚应力聚集更为集中,坡顶危岩体拉应力阻力减小,发生岩质崩塌的概率相应增高。

2.3 坡高

通过对 S303 公路边坡崩塌灾害体坡高统计,公路边坡崩塌坡高在 20~30 m 范围内 2 处;30~40 m 范围内有 6 处;40~50 m 范围内有 11 处;50~60 m 范围内有 16 处;大于 60 m 范围内有 21 处,占比情况见图 5。

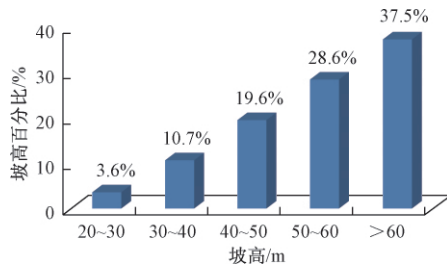


图 5 崩塌边坡坡高占比直方图

Fig. 5 High proportion histogram of collapse slope

统计结果表明,S303 公路边坡坡高与崩塌之间呈正相关函数变化,主要发生在 30 m 以上的高陡边坡,随着边坡坡高的增加,坡体安全系数减小,稳定程度降低,调查时发现有多处崩塌体因无法承受自身重力而发生崩塌的现象。

2.4 形成机理

根据崩塌点岩性、结构面、地形、受力状态、起始运动形式判定,S303 公路内崩塌灾害类型有滑移式(图 6)、倾倒式(图 7) 2 种,其中滑移式有 39 处,倾倒式有 17 处。统计结果表明,调查区内崩塌形成机理以滑移式崩塌为主,主要受剪性应力作用,影响范围更广,危害更大。需要说明的是,多数崩灾害体形成机理并不单一,往往是滑移式与倾倒式复合产生。

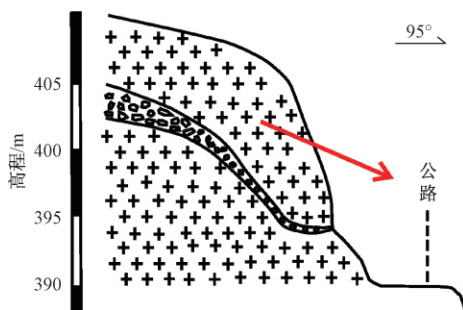


图 6 滑移式崩塌剖面示意图

Fig. 6 Schematic diagram of sliding collapse profile

2.5 控制面

调查结果表明,诱发 S303 公路边坡崩塌灾害发生的控制面类型主要为节理裂隙面及构造错动面。结果显示,以节理裂隙面为主的崩塌约占总体的 86%,有 11 处崩塌灾害受节理裂隙面与断层错动面共同控制。

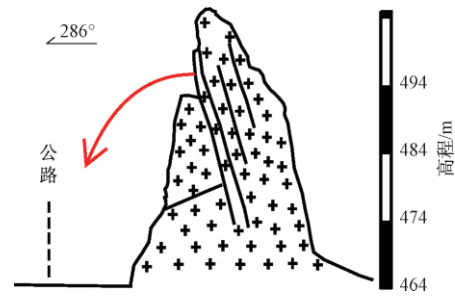


图 7 倾倒式崩塌剖面示意图

Fig. 7 Schematic diagram of toppling collapse profile

受鸭绿江断裂影响,S303 公路边坡岩体往往发育多组节理,偶尔伴有断层发育,节理面或断层面与临空面方向接近时,极易引发顺节理面或断层面的岩质崩塌灾害。

2.6 规模

崩塌体规模,一定程度上反应了崩塌发生时造成的危害等级与对公路的破坏程度。实地调查中采用激光测距仪测量灾害体的坡宽、坡长和危岩体厚度,结合危岩体整体的空间形态计算其规模。按照可能产生的崩塌体体积在 10^4 m^3 以下为小型, $10^4 \sim 10^5 \text{ m}^3$ 为中型, $10^5 \sim 10^6 \text{ m}^3$ 为大型,大于等于 10^6 m^3 为巨型的划分标准^[4],对调查区崩塌规模进行统计划分。结果显示,调查区有小型崩塌 3 处,中型崩塌 23 处,大型崩塌 28 处,巨型崩塌 2 处。统计结果表明,S303 公路崩塌规模以中-大型为主,仅少数崩塌体规模为小型,对当地人民生命财产安全具有较大安全隐患。

2.7 失稳因素

通过对 S303 公路边坡已发生崩塌灾害统计调查,认为降雨是 S303 公路边坡崩塌灾害诱发的主要因素。S303 公路位于临江-长白县鸭绿江上游右岸,多年平均降水量 830.84 mm,最大降水量 1 238.4 mm,最小降水量 612.4 mm,日最大降水量 126.00 mm,降雨多集中在 6~8 月^[2]。因此,该段时间也是 S303 公路边坡崩塌地质灾害的易发时段,需重点防范岩质崩塌地质灾害。

降雨对调查区崩塌的诱发作用主要表现在三个方面:

- (1) 雨水渗入危岩体裂隙,增加了危岩体自重,使危岩体向临空面方向的作用力增大;
- (2) 雨水浸润裂隙充填物,软化了裂隙中泥质、砂质等充填物,降低了控制面的抗滑性能;
- (3) 雨水侵蚀控制面左右岩体,使控制面缝隙不断增大,降低了控制面对危岩体的作用力。

3 危险性评价

S303 公路边坡植被覆盖、岩体风化程度、降雨、离路距离等条件区别不大,不作为此次评价指标。根据前面所述崩塌地质灾害的发育特征、所处的地质环境条件,结合公路边坡岩土体的变化破坏特征等因素,选择坡度、坡高、规模、斜坡前缘临空情况、岩体结构、断裂发育情况与防治工程作为判别依据,采用模糊层次分析法对 S303 公路边坡崩塌体的危险性进行评价。

3.1 基本步骤

(1) 构建层次结构模型。构建影响 S303 公路崩塌灾害的影响因子,将影响因子分层列出。

(2) 通过查阅资料并咨询相关专家意见,建立模糊判断矩阵,矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$, 矩阵 A 具有如下性质:

- ① $a_{ij} = 0.5 \quad j = 1, 2, \dots, n$;
- ② $a_{ij} + a_{ji} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$ 。

式中: a_{ij} 表示影响因子 x_i 相比于 x_j 的重要程度。采用 0.1 ~ 0.9 标度法对数量进行标度,得到矩阵 A

(3) 计算各因子权重

判断矩阵权重公式^[5]:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: W_i ——影响崩塌危险程度的某个因子作用权重。

(4) 一致性检验

式(1)中影响因子作用权重的合理性仍需进一步检验。

建立模糊判断矩阵 A 的权重向量^[6]:

$$W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T \quad (2)$$

令

$$W_{ij} = \frac{w_i}{w_i + w_j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

得到判断矩阵 A 的特征矩阵为

$$W^* = (W_{ij})_{n \times n} \quad (4)$$

利用公式:

$$I(A, W^*) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij} + w_{ij} - 1| \quad (5)$$

式中: I —— A 与 W^* 的相容性指数。

对结果进行一致性检验,如果计算结果 $I(A, W^*) < 0.1$,则认为满足一致性^[7]。

3.2 危险等级判断标准

通过模糊层次分析法 (FAHP) 对 S303 公路崩塌地质灾害危险性进行评价。按照 FAHP 法构建权重矩阵,采用 0.1 ~ 0.9 标度法各因子进行相对重要程度分析,并通过一致性检验,最终得到各因子综合权重(表 1)。

表 1 崩塌危险性分级及评判因素

Table 1 Classification and evaluation factors of potential collapse risk

指标层次	轻微危险(1)	低危险(2)	中危险(3)	高危险(4)	权重
坡高	<5	5~15	15~30	>30	0.193
坡度	<30	30~60	60~80	>80	0.208
规模	小	小	中	大	0.185
斜坡前缘临空	不临空	临空高差小	前缘临空	前缘临空	0.107
岩体结构	整体块状	块裂	碎裂	散体	0.103
断裂发育情况	断裂不发育	断裂带宽累计 <10 m	断裂带宽累计 10~50 m	断裂带宽累计大于 50 m	0.093
防治工程	有防护防护程度好	有防护防护程度较好	有防护,防护程度一般或无防护	无防护	0.111

利用公式:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n W_i \lambda_i \quad (6)$$

式中: Q_j ——某一崩塌体危险性指数;

W_i ——影响该崩塌危险程度的某个因子作用权重;

λ_i ——影响该崩塌危险程度的数值。

由于表 1 中危险性指数极限范围为 1 ~ 4,采用自然间断点法对危险性指数进行分级,共划分 4 个等级:

轻微危险(1 ~ 1.75),低危险(1.75 ~ 2.5),中危险(2.5 ~ 3.25),高危险(3.25 ~ 4)。

通过计算统计,对 S303 公路边坡崩塌灾害体进行危险性评价得出如下结论:崩塌体轻微危险 0 处,低危险 6 处,中危险 20 处,高危险 30 处。6 处低危险崩塌体主要由于灾害体规模较小,防护措施合理,可以有效防治岩质崩塌。多数崩塌无防护措施或防护措施较为简单,防护能力有限,遇到强降雨影响仍易引发大规模崩塌。

4 结论

通过对 S303 公路边坡崩塌灾害体属性特征分析, 总结出 S303 公路边坡崩塌灾害体具有以下特点:

(1) 崩塌灾害体为裂隙发育的破碎岩体, 多呈块裂或碎裂状; 多为人类活动作用的结果。与人工修路有关, 修筑公路时人工切坡、开挖坡脚, 导致边坡角过陡, 形成临空面, 使危岩体失去原有的应力平衡, 易引发崩塌; 集中分布于坡度大于 60° 、坡高大于 30 m 的岩质边坡; 崩塌体规模集中在中-大型, 控制面与坡向方向基本一致; 崩塌灾害形成机理主要为滑移式、倾倒式, 往往复合产生; 降雨是崩塌灾害发生的主要诱发因素。通过对以上属性特征的分析, 有利于 S303 公路边坡潜在崩塌灾害体的预防。

(2) 通过对 S303 公路边坡崩塌灾害体属性特征横向对比, 确定了 S303 公路边坡崩塌灾害体危险性评价指标。

(3) 通过模糊层次分析法(FAHP) 构建了 S303 公路边坡崩塌灾害体危险性评价体系。

(4) 根据评价结果, S303 公路边坡崩塌灾害体危险性以中-高危险为主, 潜在危害大。本次工作为公路边坡灾害调查提供了思路, 为 S303 公路边坡崩塌灾害的预防与治理提供了依据。

参考文献:

- [1] 柳源. 中国地质灾害(以崩、滑、流为主)危险性分析与区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): 95-99. [LIU Y. Risk analysis and zoning of geological hazards (chiefly landslide, rock fall and debris flow) in China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2003, 14(1): 95-99. (in Chinese)]
- [2] 于成龙. 临江市地质灾害易发程度分区评价[J]. 防灾科技学院学报, 2018, 20(4): 68-76. [YU C L. Zoning evaluation of geological hazard susceptibility degree in Linjiang City [J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 2018, 20(4): 68-76. (in Chinese)]
- [3] 王少华, 郭令芬, 赵力颖. 基于模糊层次分析法的吉林省临江市地质灾害危险性评价[J]. 黑龙江工程学院学报, 2018, 32(4): 16-20. [WANG S H, GUO L F, ZHAO L Y. Risk assessment of geological hazards in Linjiang City of Jilin Province based on fuzzy analytic hierarchy process [J]. Journal of Heilongjiang Institute of Technology, 2018, 32(4): 16-20. (in Chinese)]
- [4] 中华人民共和国国土资源部. 崩塌、滑坡、泥石流监测规范: DZ/T 0221—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Monitoring code of rockfall, landslide and debris flow: DZ/T 0221—2006 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006. (in Chinese)]
- [5] 姬东朝, 宋笔锋, 喻天翔. 基于模糊层次分析法的决策方法及其应用[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(11): 38-41. [JI D C, SONG B F, YU T X. The method of decision-making based on FAHP and its application [J]. Fire Control and Command Control, 2007, 32(11): 38-41. (in Chinese)]
- [6] 陈华友, 赵佳宝. 模糊判断矩阵的相容性研究[J]. 运筹与管理, 2004, 13(1): 44-47. [CHEN H Y, ZHAO J B. Research on compatibility of fuzzy judgement matrices [J]. Operations Research and Management Science, 2004, 13(1): 44-47. (in Chinese)]
- [7] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵的相容性及一致性研究[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2002, 3(2): 94-96. [XU Z S. Research on compatibility and consistency of fuzzy complementary judgement matrices [J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science), 2002, 3(2): 94-96. (in Chinese)]