

基于 ArcGIS 的中国公路地质灾害 危险性区划

齐洪亮¹, 尹 超^{1,2}, 田伟平¹, 李家春¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 山东理工大学 交通与车辆工程学院, 山东 淄博 255049)

摘 要:中国公路地质灾害类型较多,不同区域的灾害危险性区别较大,给灾害防治带来一定困难。根据灾害影响因素和危险性评价指标,采用影响因素叠加法,基于 ArcGIS 10.0 软件,分别进行滑坡(崩塌)、泥石流等单灾种和公路地质灾害综合危险性评价与空间分析;以公路地质灾害综合危险度为指标,完成中国公路地质灾害危险性区划。研究表明:中国公路地质灾害综合危险度处于 1.000~8.615 范围内,公路地质灾害危险性区划结果与实际公路地质灾害分布状况基本一致;公路地质灾害的极重灾区为武夷山—台湾山区和川滇山地;以图件形式明确公路地质灾害危险性在中国的分异状况,并划分不同等级的危险区,可为三级公路地质灾害危险性区划提供基础。

关键词:道路工程;公路地质灾害;危险性评价;空间分析;危险性区划

中图分类号:U419.2; TU35

文献标志码:A

Risk regionalization of highway geo-hazards in China based on ArcGIS

QI Hong-liang¹, YIN Chao^{1,2}, TIAN Wei-ping¹, LI Jia-chun¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Transportation and Vehicle Engineering,

Shandong University of Technology, Zibo 255049, Shandong, China)

Abstract: There were many kinds of highway geo-hazards in China and their risk levels existed great differences in different areas, which brought difficulties for prevention and control. According to the influencing factors and assessment indexes, risk assessments and spatial analysis of highway landslide (collapse), debris flow and comprehensive geo-hazards were conducted based on ArcGIS10.0 and factor superposition method. According to the highway geo-hazards comprehensive risk indexes, risk regionalization of highway geo-hazards in China was also accomplished. The results show that highway geo-hazard comprehensive risk index in China ranges from 1.000 to 8.615; the regionalization scheme is coincident with the actual distribution of highway geo-hazards; the severest dangerous zones are Wuyishan-Taiwan mountains area and Sichuan-Yunnan mountains area. Description of highway geo-hazard risk in China by maps and

classification of different risk grades can provide basic data for the regionalization of third-level highway geo-hazards. 8 tabs, 4 figs, 14 refs.

Key words: road engineering; highway geo-hazard; risk evaluation; spatial analysis; risk regionalization

0 引言

随着现代化事业的不断推进,中国公路建设取得了巨大进步。与此同时,中国是受公路地质灾害影响最严重的国家,由此造成的损失每年都达几十亿元,因此加强公路地质灾害的防治工作势在必行。受地带性和非地带性因素的影响,中国不同地区的自然条件差异很大,导致区域地质灾害类型和危险性区别较大。公路地质灾害危险性区划是从灾害自身属性出发,根据公路建设的环境条件及特点,分析各类灾害在全国的分异状况,从而在公路规划、设计、建设、养护和运营管理的各个环节采取合理的措施,达到减少公路地质灾害损失,实现公路工程与自然环境和谐、友好的目的^[1]。前苏联是公路自然区划研究的先行者,20世纪50年代,前苏联科学家结合本国地理、气候条件,以纬向地带性为主制定了公路气候分区^[2];中国公路自然区划研究开始较早,西安公路学院和北京大学地理系分别于1959年和1964年提出了公路气候分区方案^[3];1986年版《公路自然区划标准》(JTJ 003—86)的颁布是中国公路自然区划具有标志性意义的事件,该标准进行了一级和二级区划系统的划分,并编制了全国范围的区划图^[4];2003年,长安大学承担的“《中国公路综合自然区划》体系框架研究”代表了目前研究的最高水平,形成了包括综合区划、单项区划、专项区划和特殊区划的公路自然区划体系^[5]。通过对国内外研究成果的总结分析可以发现,虽然世界各国均进行了公路自然区划研究,但专门针对公路地质灾害区划的研究却极少。为此,本文选取公路滑坡、崩塌和泥石流灾害进行研究,通过对各灾种影响的因素分析,分别确定危险性评价指标和评价模型,基于 ArcGIS10.0 软件,将各类基础图件进行叠加,完成单灾种和公路地质灾害综合危险性评价与空间分析,生成《中国公路地质灾害危险性图》,根据公路地质灾害综合危险度制定中国公路地质灾害危险性分区方案,将中国分为4级、12个公路地质灾害危险区。

1 公路地质灾害危险性区划

1.1 灾种的确定

公路地质灾害是指由自然或人为因素引发的、危害人民生命财产和公路工程安全的、与地质作用有关的灾害。主要有滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝和地面塌陷等。

公路滑坡、崩塌和泥石流为突发性地质灾害,几乎在中国各省(区、直辖市)均有分布且发生频次较高,对公路危害较大,每年都造成巨大的经济损失和人员伤亡;而地裂缝和地面塌陷多为缓发性灾害,分布范围小且发生频次低,对公路的影响相对较小。因此,本文选择公路滑坡、崩塌、泥石流灾害进行危险性区划研究。

1.2 区划指标

区划指标是区划的核心内容,也是区域之间质的差别界线^[6]。区划指标一方面能刻画公路地质灾害类型和强度的变化规律,另一方面能反映和揭示公路建设的特点。

公路地质灾害危险性评价的基本任务是分析地质灾害的活动强度、频度和密度,即分析区域孕灾环境和灾害发生的敏感性,其评价结果(公路地质灾害危险度)反映了公路遭遇各种地质灾害影响的危险程度^[7]。本文选择公路地质灾害危险度作为公路地质灾害危险性区划的指标。

2 公路地质灾害危险性评价

危险性评价是包含多指标的综合评价,即对每一评价对象赋予一个等级和权重,再根据评价模型进行数值计算。这就要求危险性评价中必须首先确定影响因素和评价指标,并根据各指标的影响特点进行分级和评分^[8]。

2.1 公路地质灾害影响因素

2.1.1 公路滑坡(崩塌)灾害影响因素

本文宏观研究灾害的区域分异特性,而不针对具体灾害点,且公路滑坡、崩塌灾害在外部形态和破坏机理上相似,从区域角度很难进行区分,所以本文将公路滑坡和崩塌灾害合并处理。公路滑坡(崩塌)灾害的影响因素主要有地形地貌、降雨、岩土类型、

地质构造和人类活动等,各因素作用机理见表 1。

表 1 公路滑坡(崩塌)灾害影响因素及作用机理
Tab. 1 Influencing factors and action mechanism of highway landslide (collapse) hazard

| 影响因素 | 作用机理 |
|------|------------------------------------|
| 地形地貌 | 地形切割强烈、地表破碎严重、坡度大的山区,滑坡(崩塌)分布集中。 |
| 降雨 | 滑坡(崩塌)一般发生在雨后 1~8 h,且降雨强度越大越易发生灾害。 |
| 岩土类型 | 岩土体性质是影响斜坡破坏的决定因素,是形成滑坡(崩塌)的物质基础。 |
| 地质构造 | 强烈活动的、大的区域性断层破碎带附近,滑坡(崩塌)密集分布。 |
| 人类活动 | 人工削坡和切坡、不合理的灌溉和施工等可能诱发滑坡(崩塌)。 |

2.1.2 公路泥石流灾害影响因素

泥石流的形成必须具备 3 个条件:陡峭的地形、丰富而松散的固体物质和足够的水,而这些条件又受控于地质环境、气候、植被等诸因素及其组合^[9]。公路泥石流灾害的影响因素主要有地形地貌、降雨、岩土类型、植被覆盖、地质构造等^[10],各因素作用机理如表 2 所示。

表 2 公路泥石流灾害的影响因素及作用机理
Tab. 2 Influencing factors and action mechanism of highway debris flow hazard

| 影响因素 | 作用机理 |
|------|-------------------------------------|
| 地形地貌 | 利于积蓄固体物质、汇集雨水和产生流动的坡体易发生泥石流。 |
| 降雨 | 泥石流与短时间内大量流水密切相关,没有大量流水,泥石流就不能发生。 |
| 岩土类型 | 影响松散固体物质来源、组成、结构、补给方式和速度。 |
| 植被覆盖 | 植被覆盖度大于 30%时风化侵蚀强烈,易产生地表径流,从而引发泥石流。 |
| 地质构造 | 断裂密集带有利于河流侵蚀下切,为泥石流密集带。 |

表 3 公路滑坡(崩塌)灾害评价指标分级和评分

Tab. 3 Classification and evaluation scores of highway landslide (collapse) hazard evaluation indexes

| 评价指标 | 不危险 | 低危险 | 中危险 | 高危险 | 极高危险 |
|-------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 坡度/(°) | ≤8 | 8~15 | 15~25 | 25~35 | ≥35 |
| 地表切割深度/m | ≤100 | 100~300 | 300~500 | 500~700 | ≥700 |
| 地表切割密度/(km·km ⁻²) | ≤0.10 | 0.10~0.30 | 0.30~0.55 | 0.55~0.80 | ≥0.80 |
| 降雨量大于等于 25 mm 年平均天数/d | ≤1.0 | 1.0~2.5 | 2.5~4.5 | 4.5~6.5 | ≥6.5 |
| 岩土类型 | 极硬岩 | 次硬、软质岩 | 极软岩、砾类土 | 粘性、砂类土 | 粉性、黄土类土 |
| 评价分值 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |

2.2.2 公路泥石流灾害危险性评价指标

参照公路滑坡(崩塌)灾害危险性评价指标,选

2.2 公路地质灾害危险性评价指标

2.2.1 公路滑坡(崩塌)灾害危险性评价指标

由于地质构造的隐伏性和人类活动的偶然性^[11],很难在全国范围内定量表述两者的特性,因此,本文在提取评价指标时不考虑地质构造和人类活动的影响。

较陡的边坡可以提供临空面使崩滑体获得较大的势能^[12];在地表沟壑林立、地形破碎的地区发生滑坡(崩塌)灾害的可能性远大于平坦地区;降雨强度是描述暴雨的重要指标,其数值愈大,灾害发生的可能性越大;岩体的工程性能取决于原岩的岩性和后期遭受褶皱、断裂破碎和风化的程度。因此,本文选取地形坡度、地表切割深度(地面某点邻域范围的平均高程与该邻域范围内最小高程的差值)、地表切割密度(单位地表面积上的沟谷线总长度)、降雨量大于等于 25 mm 年平均天数和岩土类型,作为公路滑坡(崩塌)灾害危险性评价指标。

同一指标对公路滑坡(崩塌)灾害危险性的影响机理是一致的,但其数值大小对危险性的影响差异较大。例如,公路滑坡灾害一般发生在 45°以上的斜坡,当坡度小于 20°时极少出现;同时,坡度越大,岩土体的下滑力和抗滑力之间就越难维持平衡,边坡失稳的可能性就越大。因此,对于同一评价指标,有必要从其特性的不同程度考虑对公路滑坡(崩塌)灾害危险性的影响并进行量化,即确定同一指标的不同影响程度分级问题^[13]。

依据公路滑坡(崩塌)灾害在不同坡度等级上的发生频率,参考西部交通建设科技项目“《中国公路综合自然区划》体系框架研究”的成果,可将坡度的影响分为不危险、低危险、中危险、高危险和极高危险 5 级,即:0°~8°、8°~15°、15°~25°、25°~35°、≥35°,并分别量化评分 1、3、5、7、9。其他指标分级及量化评分方法与坡度类似,如表 3 所示。

取地表坡度、地表切割深度、地表切割密度、降雨量大于等于 25 mm 年平均天数、岩土类型和植被覆盖

度作为公路泥石流灾害危险性评价指标。根据对公路泥石流灾害发生规律的总结和公路工程的特点,参考西部交通建设科技项目“《中国公路综合自然区

划》体系框架研究”的成果,将各评价指标分为不危险、低危险、中危险、高危险和极高危险 5 级,并分别量化评分 1、3、5、7、9,如表 4 所示。

表 4 公路泥石流灾害评价指标分级和评价分值

Tab. 4 Classification and evaluation scores of highway debris flow hazard evaluation indexes

| 评价指标 | 不危险 | 低危险 | 中危险 | 高危险 | 极高危险 |
|-------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 坡度/(°) | ≤8 | 8~15 | 15~25 | 25~35 | ≥35 |
| 地表切割深度/m | ≤100 | 100~300 | 300~500 | 500~700 | ≥700 |
| 地表切割密度/(km·km ⁻²) | ≤0.10 | 0.10~0.30 | 0.30~0.55 | 0.55~0.80 | ≥0.80 |
| 降雨量大于等于 25 mm 年平均天数/d | ≤1.0 | 1.0~2.5 | 2.5~4.5 | 4.5~6.5 | ≥6.5 |
| 岩土类型 | 极硬岩 | 次硬、软质岩 | 极软岩、砾类土 | 粘性、砂类土 | 粉性、黄土类土 |
| 植被覆盖度/% | ≥75 | 65~75 | 50~65 | 30~50 | ≤30 |
| 评价分值 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |

2.3 公路地质灾害危险性评价模型的建立

2.3.1 危险性评价方法和指标权重的确定

公路地质灾害危险性评价模型的建立包括两方面的工作:一是确定危险性评价的方法;二是确定评价指标权重。

危险性评价方法主要有影响因素叠加法和模糊综合评价法。两者在原理和模型形式上相似,但前者计算简单,且考虑了工程实际。因此,采用影响因素叠加法进行危险性评价。

云模型是李德毅院士于 1995 年提出的,可以用于处理定性概念与定量描述的不确定转换问题^[14],利用云模型方法计算公路滑坡(崩塌)、泥石流灾害危险性评价指标权重值,如表 5、表 6 所示。

表 5 公路滑坡(崩塌)灾害危险性评价指标权重值

Tab. 5 Weight values of highway landslide (collapse) hazard evaluation indexes

| 指标 | 坡度/ (°) | 地表切割 深度/m | 地表切割密度/ (km·km ⁻²) | 降雨量大于等于 25 mm 年平均天数/d | 岩土 类型 |
|----|------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------|----------|
| 权重 | 0.335 | 0.128 | 0.082 | 0.273 | 0.182 |

表 6 公路泥石流灾害危险性评价指标权重值

Tab. 6 Weight values of debris flow hazard evaluation indexes

| 指标 | 坡度/ (°) | 地表切割 深度/m | 地表切割密度/ (km·km ⁻²) | 降雨量大于等 于 25 mm 年 平均天数/d | 岩土 类型 | 植被覆 盖度/% |
|----|------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| 权重 | 0.264 | 0.128 | 0.076 | 0.163 | 0.227 | 0.142 |

2.3.2 公路地质灾害危险性评价模型

综上所述,建立公路地质灾害危险性评价模型,其中公路地质灾害危险度既是评价结果,也是危险性区划的依据,见式(1)

$$P = \sum_{i=1}^n P_i A_i \tag{1}$$

式中:P 为公路地质灾害危险度;P_i 为各危险性评价指标权重值;A_i 为各危险性评价指标评分。

3 公路地质灾害危险性空间分析

以公路地质灾害危险性评价指标和评价模型为基础,完成公路地质灾害危险性空间分析。

3.1 公路滑坡(崩塌)、泥石流灾害危险性空间分析

根据评价指标体系,依托 ArcGIS10.0 软件,分别生成中国公路滑坡(崩塌)、泥石流灾害危险性评价基础分级图,按照评价模型,基于 GIS 的空间叠加功能,生成《中国公路滑坡(崩塌)灾害危险性图》和《中国公路泥石流灾害危险性图》,如图 1、下页图 2 所示。结果显示,公路滑坡(崩塌)灾害危险度为 1.0~9.0,公路泥石流灾害危险度为 1.0~7.9。

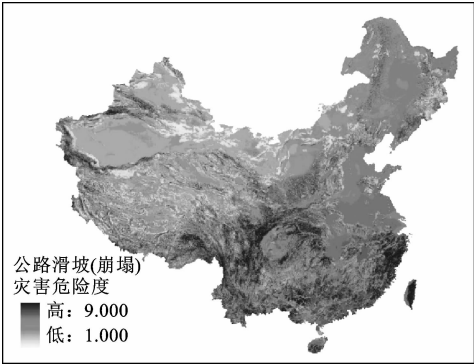


图 1 中国公路滑坡(崩塌)灾害危险性
Fig. 1 Chinese highway landslide (collapse) hazard risk

3.2 公路地质灾害综合危险性评价

公路地质灾害综合危险性评价是对公路可能发生的地质灾害的综合分析,需要对公路滑坡(崩塌)、泥石流灾害危险性评价结果进行综合。

3.2.1 公路地质灾害综合危险性评价模型

公路地质灾害综合危险性评价指标为公路滑坡(崩塌)灾害危险度和公路泥石流灾害危险度,采用影响因素叠加法建立评价模型

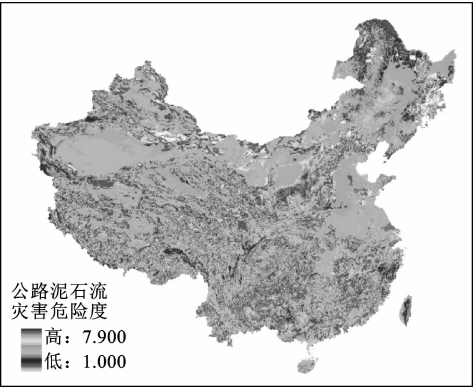


图2 中国公路泥石流灾害危险性

Fig.2 Map of Chinese highway debris flow hazard risk

$$P_z = \sum_{i=1}^n P_{id} A_{id} \tag{2}$$

式中： P_z 为公路地质灾害综合危险度； P_{id} 为单灾种公路地质灾害危险度权重； A_{id} 为单灾种公路地质灾害危险度。

评价指标权重通过云模型方法确定，如表 7 所示。

表 7 公路地质灾害综合危险性评价权重值

Tab.7 Weight values of highway geo-hazard comprehensive evaluation indexes

| 评价指标 | 公路滑坡(崩塌)灾害 | 公路泥石流灾害 |
|------|------------|---------|
| 权重 | 0.65 | 0.35 |

3.2.2 公路地质灾害综合危险性空间分析

根据式(2)，利用 GIS 的空间叠加功能，对《中国公路滑坡(崩塌)灾害危险性图》和《中国公路泥石流灾害危险性图》进行叠加，生成《中国公路地质灾害危险性图》，如图 3 所示。

计算结果显示，中国公路地质灾害综合危险度为 1.000~8.615，且危险性在全国的分异状况与实际公路地质灾害状况基本一致。由此可见，中国公路地质灾害综合危险性评价是正确、合理的。

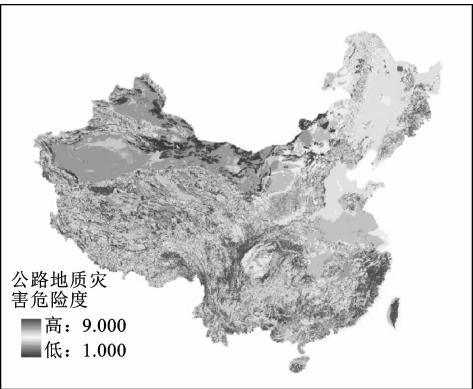


图3 中国公路地质灾害危险性

Fig.3 Chinese highway geo-hazards risk

4 公路地质灾害危险性区划方案

本区划采用一级区划系统，即一级公路地质灾害危险性区划。对于分区采用 3 段命名法，即：地理位置+地貌单元+灾度。

以公路地质灾害综合危险度为指标，结合危险性评价指标的等级划分，把全国分为微灾区、中灾区、重灾区和极重灾区 4 个等级、12 个危险区，利用 ArcGIS10.0 软件生成《中国公路地质灾害区划图》和分区方案，如图 4、表 8 所示。

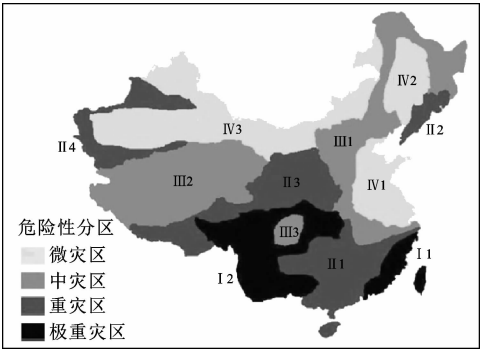


图4 中国公路地质灾害区划

Fig.4 Chinese highway geo-hazards regionalization

由此可见，中国公路地质灾害的极重灾区位于武夷山—台湾山区和川滇山地。这些地区地质灾害发生频率高、影响范围大，对公路产生极重危害。

表 8 中国公路地质灾害区划方案

Tab.8 Regionalization scheme of Chinese highway geo-hazards

| 等级 | 分区名称 |
|---------|--|
| I 微灾区 | I ₁ 华北平原—长江中下游平原微灾区 |
| | I ₂ 东北平原微灾区 |
| | I ₃ 内蒙古高原—准噶尔、塔里木和柴达木盆地微灾区 |
| II 中灾区 | II ₁ 长白山北部—大、小兴安岭—太行山—秦岭东部山地中灾区 |
| | II ₂ 青藏高原中北部高原中灾区 |
| | II ₃ 四川盆地丘陵中灾区 |
| III 重灾区 | III ₁ 南岭、云贵高原东部山地重灾区 |
| | III ₂ 长白山山地重灾区 |
| | III ₃ 祁连山—秦岭—青藏高原东南部山地重灾区 |
| | III ₄ 天山—昆仑山山地重灾区 |
| IV 极重灾区 | IV ₁ 武夷山—台湾山地极重灾区 |
| | IV ₂ 川滇山地极重灾区 |

5 结 语

(1)选取了公路滑坡(崩塌)、泥石流灾害影响因素和评价指标；通过影响因素叠加法建立了单灾种和公路地质灾害综合危险性评价模型。

(2) 基于 ArcGIS10.0 软件,将《中国公路滑坡(崩塌)灾害危险性图》和《中国公路泥石流灾害危险性图》进行叠加,生成《中国公路地质灾害危险性图》。结果显示,中国公路地质灾害危险度分异规律与实际灾害分布状况基本一致。

(3) 以公路地质灾害综合危险度为指标,将全国分为4级、12个公路地质灾害危险区,其中,微灾区3个、中灾区3个、重灾区4个、极重灾区2个,极重灾区位于武夷山—台湾山区和川滇山地。

(4) 定量提出了公路地质灾害在全国的分异状况,可以为公路地质灾害防治资金的分配和防治措施的布设提供宏观层面的参考。

参考文献:

References:

- [1] 韦 威. 基于 GIS 的公路地质灾害分区研究[D]. 西安:长安大学,2008.
WEI Wei. Research on the regionalization of highway geological disasters based on GIS[D]. Xi'an:Chang'an University,2008. (in Chinese)
- [2] 康彦军. 中国公路地质灾害区划研究的理论与实践[D]. 西安:长安大学,2006.
KANG Yan-jun. Theory and practice of regionalization of highway geological disasters in China[D]. Xi'an:Chang'an University,2006. (in Chinese)
- [3] 田茂杰. 新疆公路三级自然区划的影响因素[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(5):49-52.
TIAN Mao-jie. Influencing factors of third level natural division for highway construction in Xinjiang province[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2007,27(5):49-52. (in Chinese)
- [4] JTJ 003—86,公路自然区划标准[S].
JTJ 003—86, Standard of climatic zoning for highway [S]. (in Chinese)
- [5] 马保成,田伟平,张小荣,等. 中国公路综合自然区划分区指标[J]. 长安大学学报:自然科学版,2010,30(6):33-38.
MA Bao-cheng, TIAN Wei-ping, ZHANG Xiao-rong, et al. Dividing index for highway comprehensive natural division of China[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2010,30(6):33-38. (in Chinese)
- [6] 楚敬龙,王金生,滕彦国,等. 基于 GIS 的滑坡灾害危险性区划研究[J]. 地球科学与环境学报,2010,32(4):409-415.
CHU Jing-long, WANG Jin-sheng, TENG Yan-guo, et al. Study on landslide hazard zonation based on GIS [J]. Journal of Earth Sciences and Environment,

2010,32(4):409-415. (in Chinese)

- [7] 黄秉维. 中国综合自然区划的初步草案[J]. 地理学报,1958,24(4):348-363.
HUANG Bing-wei. A preliminary draft of Chinese comprehensive natural divisions [J]. Journal of geographical,1958,24(4):348-363. (in Chinese)
- [8] 齐洪亮,田伟平,张小荣. 中国公路地貌区划指标体系[J]. 长安大学学报:自然科学版,2011,31(3):33-38.
QI Hong-liang, TIAN Wei-ping, ZHANG Xiao-rong. Index system of landform regionalization for highway in China[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2011,31(3):33-38. (in Chinese)
- [9] 陈洪凯,唐红梅,马永泰,等. 公路泥石流研究及治理[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
CHEN Hong-kai, TANG Hong-mei, MA Yong-tai, et al. Study on highway debris flow and prevention[M]. Beijing:China Communications Press,2004. (in Chinese)
- [10] 王英杰,王磊,荣建国,等. 基于熵值理论的泥石流评价因子选取[J]. 交通运输工程学报,2014,14(2):28-33.
WANG Ying-jie, WANG Lei, RONG Qi-guo, et al. Evaluation index selection of debris flow based on entropy value theory[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2014,14(2):28-33. (in Chinese)
- [11] 贾兴利,许金良. 基于云模型的地震区公路震害风险评估[J]. 同济大学学报:自然科学版,2014,42(9):1352-1358.
JIA Xing-li, XU Jin-liang. Cloud model-based seismic risk assessment of road in earthquake region[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2014, 42(9):1352-1358. (in Chinese)
- [12] 徐世强,折学森,王思长. 高速公路坡面滚石自由飞落分析模型[J]. 交通运输工程学报,2011,11(2):14-17.
XU Shi-qiang, SHE Xue-sen, WANG Si-chang. Free rolling model of stone on expressway slope[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2011,11(2):14-17. (in Chinese)
- [13] 齐洪亮. 公路自然灾害评价系统的研究[D]. 西安:长安大学,2011.
QI Hong-liang. Study on highway natural disaster assessment system [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese)
- [14] 陈贵林. 一种定性定量信息转换的不确定性模型-云模型[J]. 计算机应用研究,2010,27(6):2006-2010.
CHEN Gui-lin. Uncertain model of qualitative/quantitative information transformation-cloud model [J]. Application Research of Computers,2010,27(6):2010. (in Chinese)