

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 5 - 580 - 08

基于斜坡单元和公路功能的滑坡风险评价

田述军¹ 孔纪名^{2*}

(1. 西南科技大学 土木工程与建筑学院 四川 绵阳 621010;
2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所 四川 成都 610041)

摘 要: 为了实现公路滑坡风险评价,以公路为承灾对象进行危险性评价,以滑坡对公路功能的影响为对象进行易损性评价。以斜坡为研究单元,沿公路两侧划分出 549 个斜坡单元,从斜坡发生滑坡的可能性和滑坡发生对公路造成危害的可能性两个方面建立公路滑坡危险性评价指标体系,对每个斜坡单元危险度进行计算。从公路功能角度出发,主要考虑公路对区域经贸往来的纽带作用和车辆通行能力,选择经济密度、道路修复时间、公路绕行能力三个因素建立公路滑坡易损性评价指标体系,对公路滑坡易损度进行计算;以危险度和易损度为基础,对公路滑坡风险度进行计算,从而实现公路滑坡风险评价。

关键词: 滑坡; 风险评价; 斜坡单元; 公路功能; 公路

中图分类号: P642.22 X43 文献标志码: A

2008 - 05 - 12 四川省汶川县发生 Ms 8.0 级地震,造成大量的人员伤亡和巨大财产损失,同时,地震触发大量崩塌和滑坡灾害^[1-2],在地震直接破坏和地震滑坡灾害共同作用下,灾区大部分道路交通受到毁灭性破坏^[3-4]。由于“生命线”的破坏,使得大量物资、救援人员和设备不能快速到达地震灾区,在震后极其重要的黄金 72 h,部队和武警官兵只能徒步进入灾区,采用简单的工具进行救援。震后由于余震和降雨的触发,公路沿线的边坡不断发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害,使得抢通的公路多次中断,多次重复修建,严重影响灾区震后重建工作的展开。随着我国社会和经济的发展,西部大开发的推进,西南地区公路工程建设迅猛发展。由于西南地区地貌地质条件复杂,是崩塌、滑坡、滚石等边坡

灾害多发的区域,这些边坡灾害常破坏或堵断公路,直接影响公路的正常运行。因此,科学评价公路边坡灾害的风险对于山区路网建设、道路工程布局、抢险救灾等具有重要意义。

风险是危险性和易损性共同作用的产物,区域风险是指在一定区域和给定时段内某种灾害可能导致的区域内所存在的一切人、财、物的潜在最大损失。数学上,风险度大小为 0 (0%) to 1 (100%) 之间,可用公式表达^[5-7]

$$\text{风险度} = \text{危险度} \times \text{易损度} \quad (1)$$

式中,危险度为灾害危险性的大小,包括灾害的规模大小和出现的概率;易损度为灾害发生可能造成总损失的大小。因此,对于边坡灾害的风险评价需要完成边坡灾害危险性评价和边坡灾害易损性评价

收稿日期(Received date): 2013 - 04 - 09; 改回日期(Accepted): 2013 - 06 - 09。

基金项目(Foundation item): 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2012AA121302),云南干线公路边坡灾害风险评估研究(2010(A)08 - b)。[This research is supported by the National High Technology Research and Development Program (863 Program) (2012AA121302) and the Program on Risk Assessment of Slope Disaster of Highway in Yunnan Province(2010(A)08 - b).]

作者简介(Biography): 田述军(1980 -),男,主要从事山地灾害区域预测与风险评价。[Tian Shujun (1980 -), Male, current research is focused on regional forecasting and risk assessment of mountain hazards.] E-mail: tsj19800702@163.com

* 通信作者(Corresponding Author): 孔纪名(1956 -),男,研究员,博导,主要从事山地灾害发生理论、灾害区域预测与评估、岩土工程与地质灾害防治方法与技术研究。[Kong Jiming (1956 -), Prof. and Ph D supervisor of IMHE, CAS, current research is focused on theory of mountain hazards, regional forecasting and assessment of mountain hazards, prevention methods and techniques of geotechnical engineering and geological hazards.] E-mail: jimink@imde.ac.cn

两个方面的内容。

对于边坡灾害的危险性评价,唐川等^[8]利用专家打分方法确定各影响因素的权重,再通过对所有影响因子综合评价来划分区域,进行滑坡危险性评价;乔建平^[9]采用贡献权重方法计算出各因素的自权重、互权重和样本贡献率,实现滑坡危险性评价;M. L. LIN. 等^[10-11]采用信息量法分析了集集地震造成的潜在滑坡危险性。这些方法都与GIS相结合,利用GIS的空间分析能力,将研究区域划分为栅格单元,通过对每个栅格因素进行叠加计算,能在短时间内实现对研究区域的滑坡危险性评价,取得了比较好的效果。公路属于线性工程,滑坡危险性评价是以公路沿线两侧一定带宽范围坡体为研究对象。虽然沿公路两侧一定带宽也是区域,但由于这一带宽比较狭窄,以栅格为研究单元,会割裂滑坡的整体性,不能客观反映坡度和坡体结构等因素的作用,而且考虑到承灾对象为公路,需要考虑滑坡可能滑动方向与公路的空间关系作为滑坡危险性评价的因素,因此,采用栅格划分方法对这样的区域进行危险性评价难以实现。

而对于边坡灾害的易损性的评价,国内外研究很少,大部分研究针对边坡发生可能造成的直接损失,多以边坡灾害造成的公路破坏损失作为易损性评价的指标^[13-14],而没有从公路的功能出发建立适合公路边坡灾害的易损性评价指标体系。

正是基于此,本文以云南省文山壮族苗族自治州文(山)天(保)二级公路为例,以公路为承灾对象,以单个斜坡为研究的基本单元,沿公路沿线两侧一定带宽划分出549个斜坡,从斜坡发生滑坡的可能性和滑坡发生对公路造成危害的可能性两个方面选择滑坡危险性评价指标,对每个斜坡单元进行危险度计算,实现对文天线公路沿线的滑坡危险性评价。对于公路滑坡易损性评价,首先假定滑坡灾害发生后堵断或者破坏公路,车辆只有绕行其他公路或等待公路抢通后才能通行,然后从公路所承担的功能出发,建立适合于公路边坡灾害的易损性评价指标体系,对文天线边坡灾害的易损性进行评价。在此基础上,通过计算公路沿线滑坡危险度和易损度,计算公路滑坡风险度,实现公路滑坡风险评价。为西南山区公路的减灾防灾和公路灾害风险管理服务,这不仅具有十分重要的现实意义、经济效益和社会效益,而且对于推动公路边坡灾害风险评估学科的发展也有重要的科学意义。

1 研究区概况

文天线全长约100 km,按4车道修建,路基宽24.5 m,设计行车速度80 km/h。文天线北连国道主干线GZ75、国道323线和多条省道,南接国家级口岸天保,通过口岸通向越南,是中国云南通往越南首都取道最直、里程最短的重要陆路通道,是我国与越南友好往来进行物质、文化交流及连接中国东盟自由贸易区的重要平台,同时也是重要的国防公路。文天线不仅可以带动公路沿线经济发展,保持边疆地区的繁荣和稳定,巩固国防,而且对于促进中越边境贸易及文化交流有着重大而深远的意义。

文天线处于云贵高原南缘部分,属中山高原地貌区,碳酸盐岩广泛分布,侵蚀和溶蚀作用是区内地貌形成的主要营力,主要表现为构造侵蚀中低山、侵蚀峡谷、侵蚀溶蚀山地、峰丛洼地等地貌特征,地貌形成及发展均受地层岩性、构造和新构造运动控制和影响,特别是文山、马关溶蚀盆地的形成与新构造运动关系较大;文天线总体地势北西高、南东低,控制了区内水文网的展布与流向,路段内基岩裸露,水土流失情况较严重,因多沿河谷修建,沿线边坡灾害发育(图1)。

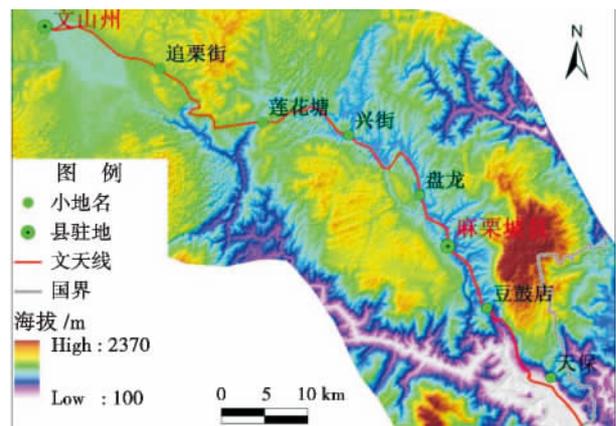


图1 文天线沿线地貌与水系

Fig. 1 Topography and river system along Wentuan Highway

2 滑坡危险性评价

2.1 公路沿线斜坡单元的划分

考虑公路两侧斜坡发生地质灾害可能对公路的影响,并结合研究区的地形情况,沿文天线两侧各建立500 m范围的缓冲区;然后,在ARCGIS中,导入

研究区 1:5 万 DEM 数据,生成等高线分布图;最后结合文天线两侧等高线、山脊和山谷等地貌特征,划分出不同的斜坡单元(图 2)。沿文天线共划分出 549 个斜坡,以这 549 个斜坡作为研究单元,根据斜坡单元的不同环境本底因素组合进行滑坡危险性评价。

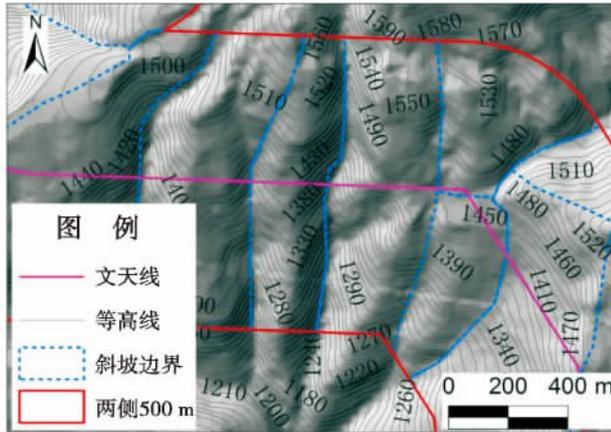


图 2 文天线斜坡单元

Fig. 2 Slope units along Wentian Highway

2.2 公路沿线地质调查

“云南干线公路边坡灾害风险评估研究”项目组于 2010 年 7 月、2010 年 11 月和 2011 年 4 月三次沿公路进行了 32 d 约 30 人次的野外调查,详细收集了公路沿线滑坡的岩性、坡体结构、节理裂隙发育状况等方面的资料。根据调查资料,公路沿线地层从第四系至寒武系,缺失侏罗系、白垩系和志留系,根据岩组岩性和滑坡发育特征,将沿线岩组划分为易滑岩组、较易滑岩组、偶滑岩组和稳定岩组四类;另外,根据滑坡在不同坡体结构中发生的统计分析,将坡体结构划分为顺层结构且层面倾角小于坡度、顺层结构且层面倾角大于坡度、逆层陡倾且倾角大于 50° 和水平或逆层且倾角小于 50° 四类。

2.3 危险性评价因素的选择和分类

对于不同的斜坡单元,由于其环境本底因素组合不同,发生滑坡的可能性也不同,如果斜坡单元为坡度较陡、顺层结构和易滑岩层的因素组合,则发生滑坡的可能性就很大。由于本文是对公路沿线滑坡危险性评价进行研究,所以除了考虑斜坡发生滑坡的可能性外,还需要考虑斜坡发生滑坡与公路破坏之间的关系。对于公路沿线的滑坡灾害,如果发生滑坡的斜坡距离公路较远或者其滑动方向背离公路,那么即使发生,对公路造成的影响也很小。因

此,本文对于公路滑坡危险性评价是从斜坡发生滑坡的可能性和滑坡发生对公路造成破坏的可能性两个方面选择危险性的评价因素。其中斜坡发生滑坡的可能性选择每个斜坡加权平均坡度、岩性和坡体结构三个评价指标,滑坡发生对公路造成破坏的可能性以斜坡发生滑坡的可能运动方向与公路的空间关系为评价指标。

2.3.1 加权平均坡度

利用研究区 1:5 万 DEM 数据,在 ARCGIS 中运用 surface 分析工具提取坡度指标,并运用其空间分析工具对数字高程模型(DEM)进行变换,生成文天线沿线的坡度栅格分布图;然后利用其区域统计工具对每个斜坡单元的加权平均坡度进行计算;最后将 549 个斜坡单元按加权平均坡度 $0^\circ \sim 10^\circ$ 、 $10^\circ \sim 20^\circ$ 、 $20^\circ \sim 30^\circ$ 和大于 30° 四类进行分类,并建立属性表。

2.3.2 岩性

采用 1:20 万地质图提取研究区域的地层、岩性、断裂等地质信息,然后按易滑程度将各岩层按易滑岩组、较易滑岩组、偶滑岩组和稳定岩组四类进行合并(图 3)。最后将 549 个斜坡单元与易滑程度图层叠加,按易滑岩组、较易滑岩组、偶滑岩组和稳定岩组四类进行分类,并建立属性表。

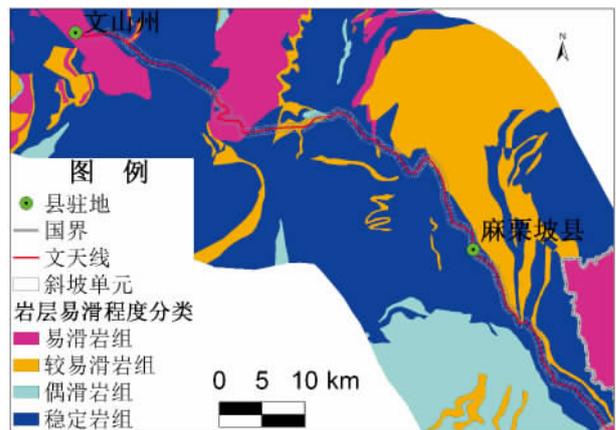


图 3 文天线斜坡单元岩组易滑程度分布图

Fig. 3 Sliding degree of strata for slope units along Wentian Highway

2.3.3 坡体结构

在 ARCGIS 中,以数字化的地质图中各岩层的走向、倾向和倾角为基础,根据岩层倾向于坡向的关系以及岩层倾角的大小统计每个斜坡单元的坡体结构,将 549 个斜坡单元按顺层结构且层面倾角小于坡度、顺层结构且层面倾角大于坡度、逆层陡倾且倾

角大于 50°和水平或逆层且倾角小于 50°四类进行分类, 并建立属性表。

2.3.4 公路与斜坡灾害可能运动方向的空间关系

在 ARCGIS 中, 统计每个斜坡单元灾害发生可能运动方向与公路的空间关系, 将 549 个斜坡单元按灾害发生可能运动方向与公路正交且公路在斜坡单元体上(以下简称正交且在坡体上)、灾害发生可能运动方向与公路斜交且公路在斜坡单元体上(以下简称斜交且在坡体上)、灾害发生可能运动方向朝向公路且斜坡单元体底部距离公路小于 150 m(以下简称朝向且距离小于 150 m)和灾害发生可能运动方向朝向公路且斜坡单元体底部距离公路大于 150 m 或背离公路四类(以下简称朝向且距离大于 150 m 或背离)四类进行分类, 并建立属性表。

2.4 滑坡灾害危险性评价

2.4.1 滑坡灾害在各因素不同分类中的发生概率

根据前述对 549 个斜坡单元滑坡灾害危险性评价因素的分类统计结果, 在 ARCGIS 中建立 549 个斜坡单元各因素不同类别的属性表。然后, 根据对沿线已发生的滑坡灾害的考察资料, 统计其在各因素不同类别中的发生概率, 结果如表 1。

表 1 滑坡在各因素不同类别中的发生概率

Table 1 Occurrence probability of landslide in different categories of factors

因素	分类			
坡度/°	>30	20~30	10~20	0~10
发生概率	0.5	0.3	0.15	0.05
岩性	易滑	较易滑	偶滑	稳定
发生概率	0.5	0.3	0.15	0.05
坡体结构	顺层结构, 层面倾角小于坡度	顺层结构, 层面倾角大于坡度	逆层陡倾, 倾角大于 50°	水平或逆层, 倾角小于 50°
发生概率	0.55	0.3	0.1	0.05
公路与斜坡运动空间关系	正交且在坡体上	斜交且在坡体上	面对且距离坡体小于 150 m	面对且距离坡体大于 150 m 或背离
发生概率	0.45	0.35	0.15	0.05

2.4.2 斜坡单元滑坡灾害危险度计算

公路沿线滑坡灾害的发生是各因素共同作用的结果, 在进行滑坡灾害危险性评价时, 需要确定各因素在危险性评价中的权重大小。本文采用专家打分

法, 最终确定斜坡加权平均坡度、岩性、坡体结构、公路与斜坡滑动方向的空间关系四种因素在公路沿线滑坡灾害危险性评价中的权重分别为: 0.3、0.32、0.22、0.16。

以斜坡为研究单元, 根据前述建立的斜坡单元各因素不同类别的属性表, 结合表 1, 确定每个斜坡单元对应于斜坡加权平均坡度、岩性、坡体结构、公路与斜坡滑动方向的空间关系四种因素的概率值, 然后根据四种因素对应的危险性评价权重按下式进行危险度计算

$$H = \sum_{i=1}^4 P_i * W_i \quad (2)$$

式中 H 为危险度, P_i 为第 i 个指标(加权平均坡度、岩性、坡体结构、公路与斜坡滑动方向的空间关系)对应的概率值, W_i 为第 i 个指标对应的权重(加权平均坡度为 0.3、岩性为 0.32、坡体结构为 0.22、公路与斜坡滑动方向的空间关系为 0.16)。

2.4.3 斜坡单元滑坡危险性评价结果

在 ARCGIS 中, 运用其空间计算功能计算出 549 个斜坡单元的危险度。然后将危险度按 0.2 为间隔划分为极高危险等级、高危险等级、中等危险等级、低危险等级和极低危险等级五级, 文天线沿线 549 个斜坡单元的危险性分布如图 4 所示。

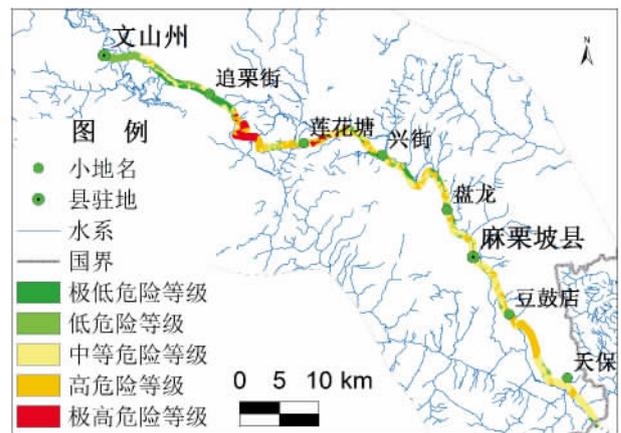


图 4 文天线沿线斜坡单元危险性分布图

Fig. 4 Hazard of slope units along Wentian Highway

根据对 549 个斜坡单元所处危险等级的统计(表 2), 可以看出, 分别有 22 个和 131 个斜坡单元为极高危险等级和高危险等级, 分别占斜坡单元总数的 4.01% 和 23.86%, 这与沿文天线的灾害调查结果较为一致。

表2 不同危险等级斜坡单元统计表
Table 2 Statistics of slope units in hazard class

危险度	斜坡单元危险等级	数量	数量百分比
0.8~1.0	极高危险等级	22	4.01
0.6~0.8	高危险等级	131	23.86
0.4~0.6	中等危险等级	296	53.92
0.2~0.4	低危险等级	84	15.30
0.0~0.2	极低危险等级	16	2.91

3 公路边坡灾害易损性评价

3.1 评价因素的选择

本文首先假定滑坡发生后堵断或者破坏公路,车辆只有绕行其他公路或等待公路抢通后才能通行,从公路所承担的功能角度出发,主要考虑公路对区域经贸往来的纽带作用和车辆通行能力。因此,对于滑坡发生后堵断或者破坏公路造成的易损性采用经济密度、道路修复时间、公路绕行能力三个指标进行量化;其中经济密度表征滑坡灾害对区域经贸往来影响;道路修复时间和公路绕行能力表征滑坡灾害对车辆通行能力的影响。在进行公路滑坡灾害易损性评价时,采用专家打分法确定经济密度、道路修复时间、公路绕行能力三个指标在易损性评价中的权重分别为0.25、0.15、0.6。

3.2 评价指标体系及其量化

3.2.1 经济密度

经济密度采用单位面积国民生产总值GDP进行量化,其量化是根据文天线沿线各乡镇2010年GDP总量除以该乡镇面积得到。这一指标的含义为:当公路通过地区经济密度越大时,则滑坡堵断公路造成的易损性值越大。

首先根据各乡镇的GDP总量和各乡镇面积计算出单位面积的GDP(即经济密度),然后对各乡镇的经济密度进行归一化处理,再将经济密度归一化后的结果乘以其权重值,最后在ARCGIS中,建立各乡镇经济密度的权重属性表。

3.2.2 道路修复时间

这一指标的含义为:当滑坡堵断公路的地点距离抢修出发点越远,在相同的情况下,公路抢通和修复所需的时间越长,则滑坡堵断公路造成的易损性值越大。

考虑因滑坡破坏或阻断公路对道路通行能力的影响,其量化根据距起点(文山州驻地)距离进行量

化。首先根据文天线距离抢修出发点的远近确定这一指标,即在文天线起点(文山州驻地)处这一指标为0,在文天线终点这一指标为1,其他路段位于0~1之间;然后将这一指标乘以其权重值;最后,在ARCGIS中,建立道路修复时间的权重属性表。

3.2.3 绕行能力

当滑坡堵断文天线,在公路抢通之前,车辆可以选择与文天线相交的其他公路绕过公路断点,实现通行需要。

绕行能力采用滑坡堵断后车辆绕行距离和绕行公路等级两个指标进行量化。通过分析文天线沿线与文天线相交可以绕行的二级或三级公路的分布,并采用最短绕行距离选择绕行路线,沿文天线共划分出10个绕行点,将文天线分为11个路段(文天线起点编号为0,终点编号为11),如图5所示。

对于其中某路段,以0~1路段为例,0(文天线起点)到绕行点1之间3.48 km的路段任何一点发生滑坡堵断文天线,车辆绕行距离和绕行公路等级是相同的,所以0~1路段的绕行能力为唯一值。5~6之间的A点虽然有公路与文天线交叉,但对于5~6之间任何一点发生滑坡堵断公路所绕行的公路等级和距离是一样的,所以没有将A点作为一个绕行点。

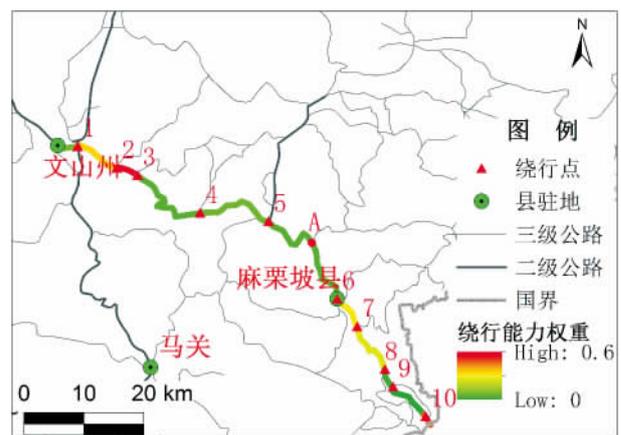


图5 文天线绕行能力分布图

Fig.5 Road bypass capacity along Wentian Highway

公路等级系数通过不同等级公路设计通行能力计算得到。根据《公路路线设计规范(JTG D20-2006)》,文天线及周边的二级公路设计通行能力 P_2 为1600 pcu/h(标准车当量数/h),三级公路设计通行能力 P_3 为700 pcu/h。当文天线因滑坡堵断公路时,如果绕行的为二级公路,则二级公路等级系数

G_2 为 1; 如果绕行的为三级公路, 则三级公路等级系数 $G_2 = P_2 / P_3$, 其值为 2.29。

对每一段公路的绕行能力采用下式计算

$$C = D_2 / D \times G_2 + D_3 / D \times G_3 \quad (3)$$

式中 C 为绕行能力, D_2 为绕行二级公路的长度, D 为绕过的文天线公路长度, D_3 为绕过的三级公路的长度, G_2 为二级公路等级系数, G_3 为三级公路等级系数。

因此, 绕行能力的含义为: 当绕行的公路长度与绕过的文天线公路长度的比值越大或绕行公路等级越低时, 绕行能力 C 值越大, 则滑坡堵断公路造成的易损性越大。

在 ARCGIS 中, 首先计算出各路段长度(即绕过的文天线公路长度)、绕行二级公路长度和绕行三级公路长度, 如表 3 所示; 其次, 根据公式计算各路段的绕行能力; 然后对绕行能力进行归一化处理, 并乘以其权重值; 最后根据计算结果在文天线两侧各建立 500 m 的缓冲区, 其分布如图 5 所示。

表 3 各路段绕行的公路长度和等级统计表

Table 1 Detour length and grade of road in each section of Wentian Highway

路段	路段长度	绕行二级公路长度	绕行三级公路长度
0~1	3.48	4.91	6.33
1~2	7.70	21.15	46.62
2~3	3.74	21.89	46.02
3~4	16.66	0.00	31.26
4~5	13.29	14.98	23.31
5~6	21.91	0.00	41.32
6~7	6.39	0.00	46.04
7~8	8.93	0.00	52.59
8~9	13.14	0.00	20.32
9~10	8.35	0.00	10.54
10~11	2.02	0.00	20.32

3.3 评价结果

根据经济密度、道路修复时间和绕行能力的计算结果, 在 ARCGIS 中, 对各因素进行栅格叠加运算, 计算公式如下式

$$V = \sum_{i=1}^3 F_i * W_i \quad (4)$$

式中 V 为易损性, F_i 为第 i 个指标(经济密度、道路修复时间、公路绕行能力) 归一化后的值, W_i 为第 i 个指标对应的权重(经济密度 0.25、道路修复时间 0.15、公路绕行能力 0.6)。

经过栅格叠加计算, 文天线各路段的易损性值位于 0.07 ~ 1.00 之间, 然后在 ARCGIS 中, 采用自然断点法, 将易损性分为五级, 如图 6 所示。



图 6 文天线易损性分布图

Fig. 6 Distribution of vulnerability along Wentian Highway

在 ARCGIS 中, 统计文天线不同易损性等级公路长度, 并计算其占文天线总长度的百分比, 如表 4 所示。

可以看出, 文天线全长有 30.75% 属于极高和高易损性等级, 其中 3.96% 的路段(绕行点 2~3 之间) 为极高易损性, 这一路段易损性等级最高主要是由于其绕行的公路长度与绕过的文天线公路长度的比值很大, 如果要降低这一路段滑坡灾害的易损性, 在今后路网的建设中可以考虑减少这一路段的绕行公路长度, 如在与这一路段相交的路网中修建一小段三级公路, 这样即使文天线绕行点 2~3 之间发生滑坡破坏或堵断公路, 车辆也可以很快绕过。虽然距离文天线起点最近的路段(绕行点 0~1 之间) 经济密度最大和修复时间最短, 但由于靠近文山州政府驻地, 其路网密集, 绕行的公路长度较小, 因此其易损性为中等。

表 4 不同易损性等级占文天线长度百分比统计表

Table 4 Different Level of Vulnerability Accounting for Percentage of Road Length

易损性等级	占文天线长度百分比/%
极高易损性	3.96
高易损性	26.79
中等易损性	30.24
低易损性	21.94
极低易损性	17.07

4 滑坡灾害风险评价

公路滑坡危险性是指公路滑坡灾害孕灾环境和致灾因子的各种自然属性特征,通过危险性评价可以计算出各种致灾因子综合作用下公路滑坡灾害发生可能性;公路滑坡灾害的易损性具有明显的社会属性,是以中心城市为起点,将连接城市与之间区域作为承灾对象,易损性评价是对承灾体的预测性评价,即可能发生的灾害对与之存在关系的社会经济系统可能遭受的损失;在公路滑坡灾害危险度 R 和易损度 V 完成后,公路滑坡风险度可根据式(1)计算。

在 ARCGIS 中,利用其栅格运算工具,对公路滑坡危险度 R 和易损度 V 进行叠加计算。由于在进行危险性评价时是以斜坡为研究单元,而在易损性评价时是对公路一定距离建立 500 m 缓冲区进行研究,因此,两者叠加运算的风险度在公路两侧不相等,这样的结果不能满足公路滑坡灾害风险评价的要求。本文沿文天线按间隔 200 m 进行分段,从公路滑坡灾害风险评价目的和管理角度,主要关注每段公路风险最大值是多少,因此,在 ARCGIS 中取每段公路两侧 500 m 范围内风险度的最大值作为该段公路的风险度,其结果如图 7 所示。



图 7 文天线滑坡风险评价图

Fig. 7 Risk assessment of landslide along Wentian Highway

5 结论与讨论

本文以文天线为例,对公路滑坡风险进行了评价,主要得出以下结论:

1. 沿文天线共划分出 549 个斜坡单元,建立了

以斜坡为研究单元的公路滑坡危险性评价指标体系。斜坡单元不仅能够反映地势起伏与地质环境条件,而且也是滑坡发育的基本单元,这样可以使评价单元与地质环境条件紧密联系,能更全面合理的选择危险性评价因素,从而有效避免因单元划分而忽略斜坡整体性的影响。

2. 首次从公路的功能出发,建立了以经济密度、道路修复时间和绕行能力为基础的公路斜坡易损性评价指标体系,可以更为客观和科学的对公路滑坡灾害进行易损性评价,具有一定的开创性。

3. 在公路滑坡危险性评价和易损性评价基础上,借助于 GIS 手段和技术,实现了公路滑坡灾害的风险评价研究,具有一定的推广性。

国内外文献对于公路滑坡易损性评价和风险评价的研究尚处于空白状态,笔者在建立评价指标体系的过程中,深感尚有很多问题有待解决,如果能将公路滑坡风险评价和风险预测相结合,不仅可为优化路网提供参考,而且对于实现公路滑坡风险管理与预警及防灾减灾都具有重要意义。

参考文献(References)

- [1] Ying Yueping. Features of landslides triggered by the Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology 2009, 17(1): 29-38 [殷跃平. 汶川八级地震滑坡特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 29-38]
- [2] Huang Runqiu, Li Weile. Research on development and distribution rules of geohazards induced by Wenchuan earthquake on 12th May, 2008 [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(12): 2585-2592 [黄润秋, 李为乐. “5·12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报 2008, 27(12): 2585-2592]
- [3] Li Jun, Zeng Ying, Li Yanfeng. Study on the assessment of post-earthquake traffic damage based on Wenchuan earthquake [J]. Management Review 2008, 20(12): 35-40 [李军, 曾鸮, 李妍峰. 基于汶川地震的震后交通受损评估研究[J]. 管理评论, 2008, 20(12): 35-40]
- [4] Zhang Xiaolun, Zhang Yujie. Main measures of the repair and keeping expedite of the post-earthquake road in Wenchuan [J]. Journal of Wuhan Polytechnic University 2009, 28(1): 80-83 [张孝伦, 张瑜洁. 汶川地震公路抢修与保畅主要措施[J]. 武汉工业学院学报 2009, 28(1): 80-83]
- [5] United Nations, Department of Humanitarian Affairs. Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options—a manual for policy makers and planners [M]. New York: United Nations, 1991: 164
- [6] Alexander D E. Natural Disasters: a framework for research and teaching [J]. Disasters, 1991, 15: 209-226
- [7] Liam Finn W D. Geotechnical aspects of the estimation and mitigation of earthquake risk [G]//Issues in urban earthquake risk. B. E.

- Tucker M, Erdik and C. N. Hwang. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993: 35 - 77
- [8] Tang Chuan, Zhu Jing, Zhang Xiangrui. GIS based earthquake triggered landslide hazard prediction [J]. Journal of Seismological Research 2001 24(1): 73 - 81 [唐川,朱静,张翔瑞. GIS 支持下的地震诱发滑坡危险区预测研究[J]. 地震研究, 2001 24(1): 73 - 81]
- [9] Qiao Jianping, Wu Caiyan, Tian Hongling. Contribution rate research of stratum to landslide growth of Yunyang - Wushan segment in Three Gorges Reservoir region [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2004 23(17): 2920 - 2924 [乔建平,吴彩燕,田宏岭. 三峡库区云阳 - 巫山段地层因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004 23(17): 2920 - 2924]
- [10] Lin M L, Tung C C. A GIS - based potential analysis of the landslides induced by the Chi - Chi earthquake [J]. Engineering Geology 2003 71(1 - 2): 63 - 77
- [11] Gao Kechang, Cui Peng, Zhao Chunyong et al. Landslide hazard evaluation of Wanzhou based on GIS information value method in the Three Gorges Reservoir [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2006 25(5): 991 - 996 [高克昌,崔鹏,赵纯勇等. 基于地理信息系统和信息量模型的滑坡危险性评价——以重庆万州为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2006 25(5): 991 - 996]
- [12] Zhang Yongxing, Chen Yun, Wen Haijia, et al. The research of landslide hazard assessment system [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University 2008 30(1): 30 - 33 [张永兴,陈云,文海家等. 边坡灾害风险评估系统研究及应用[J]. 重庆建筑大学学报, 2008 30(1): 30 - 33]
- [13] Zhang Lei, Gu Wenhong, Wang Xiaoxue et al. Risk factors identification and evaluation for slopes in highway engineering [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering 2007 3(7): 1265 - 1273 [张雷,顾文红,王晓雪等. 高等级公路边坡工程风险因子识别及评估[J]. 地下空间与工程学报, 2007 3(7): 1265 - 1273]
- [14] Zhang Yonghui, Li Hongxu, Sheng Qian, et al. A study on safety assessment of rock slope hazard of mountain highway [J]. Highway 2010(2): 55 - 59 [张勇慧,李红旭,盛谦等. 山区公路岩质边坡危险源安全性评价研究[J]. 公路, 2010(2): 55 - 59]

Risk Assessment of Landslide Based on Slope Unit and Highway Function

TIAN Shujun¹, KONG Jiming²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to evaluate the risk of landslide to highway, the paper carried out hazard assessment of landslide to highway and vulnerability of highway function affected by landslide. 549 slope units along the highway were divided as research unit for hazard assessment of landslide. The index system of hazard assessment of landslide was established based on the possibility of slope unit to landslide and the damage possibility of landslide to highway. According to hazard calculation of each slope unit, hazard assessment of highway landslide was carried out. Based on highway function which was the economic effect of highway to region and vehicle capacity, three factors including economic density, road repair time and road bypass capacity were selected for establishing the index system of vulnerability assessment of slope hazard and the vulnerability was calculated based on the index system. According to risk calculation based on hazard and vulnerability, risk assessment of highway landslide was carried out.

Key words: landslide; risk assessment; slope unit; highway function; highway