

考虑降雨敏感度的泥石流危险性评价

黄艳婷, 郭永刚

Debris flow risk assessment considering different rainfall sensitivity: A case study in southeast Tibet

HUANG Yanting and GUO Yonggang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202201009>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

泥石流致灾因子敏感性分析——以四川都江堰龙溪河流域为例

Sensitivity analysis of debris flow to environmental factors: a case of Longxi River basin in Dujiangyan, Sichuan Province

李彩侠, 马煜, 何元勋 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 32-39

基于不同评价单元和灾害熵的泥石流危险性分析

Hazard analysis of debris flows based on different evaluation units and disaster entropy: A case study in Wudu section of the Bailong river basin

李小龙, 宋国虎, 向灵芝, 罗亮, 唐良琴, 沈娜, 梁梦辉 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(6): 107-115

基于数值模拟的群发性泥石流危险性评价

Risk assessment of mass debris flow based on numerical simulation: An example from the Malu River basin in Min County

曹鹏, 侯圣山, 陈亮, 冯振, 王立朝, 李昂, 刘军友 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(2): 100-109

安宁河流域西昌北段东岸沟谷泥石流危险度评价

Risk Assessment of Gully Debris Flow Ravine at the East Bank of the Xichang North Section in the Anning River

罗健, 郭宁, 杨峥 中国地质灾害与防治学报. 2018, 29(4): 40-49

基于改进变异系数法的G109拉萨—那曲段泥石流危险性评价

刘佳, 赵海军, 马凤山, 郭捷, 孙琪皓, 段学良 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(4): 63-70

基于ArcGIS的“三高”地区高速公路泥石流危险性评价

张明, 王章琼, 白俊龙, 李元松, 王亚军, 张兵 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(2): 24-32



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202201009

黄艳婷, 郭永刚. 考虑降雨敏感度的泥石流危险性评价——以藏东南地区为例 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(1): 129-138.

HUANG Yanting, GUO Yonggang. Debris flow risk assessment considering different rainfall sensitivity: A case study in southeast Tibet[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(1): 129-138.

考虑降雨敏感度的泥石流危险性评价 ——以藏东南地区为例

黄艳婷, 郭永刚

(西藏农牧学院水利土木工程学院, 西藏 林芝 860000)

摘要:藏东南是泥石流发生的高频地区,也是 G318 国道铁路的途径之地,泥石流对当地社会发展和重大工程建设构成严重的威胁。文中针对藏东南区域的条件选取了距公路距离、距河流距离、距断层距离、高程、坡度、降雨、*NDVI* 等 11 个致灾因子来研究该地区的泥石流发生规律。在 ArcGIS 中导出并分析泥石流点各因子数据,进行相关性检验和建立因子敏感度等级。利用层次分析法计算权重后,结合因子敏感图层制作 2015 年藏东南地区泥石流危险分布图来检验模型的正确性。针对不同降雨敏感度制作不同的危险分布图来预测未来的泥石流易发区。当全区降雨敏感度为 3 时,藏东南近一半地区都是泥石流的极高易发区, G318 国道沿线都处于高风险地区中。降雨敏感度为 2 时,藏东南没有极高易发区,全区危险指数大大降低, G318 国道沿线高风险部分占 84.56%。结果表明降雨量对研究地区泥石流的危险性分布影响较大,该研究成果可为藏东南的社会发展及重大工程基础建设提供理论支撑。

关键词:藏东南; 泥石流; 降雨敏感度; ArcGIS; 层次分析法; 危险区

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2023)01-0129-10

Debris flow risk assessment considering different rainfall sensitivity: A case study in southeast Tibet

HUANG Yanting, GUO Yonggang

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University,
Linzhi, Tibet 860000, China)

Abstract: Southeast Tibet is an area with high frequency of debris flow, and also the place G318 pass through. Debris flow poses a serious threat to local social development and major engineering construction. In this paper, according to the conditions of southeast Tibet, 11 disaster-causing factors such as highway distance, watershed distance, fault distance, elevation, slope, rainfall and *NDVI* etc. are selected to study the occurrence regularity of debris flow in this area. Each factor data of debris flow point is derived and analyzed in ArcGIS, correlation test is carried out and factor sensitivity grade is established. After calculating the weights by AHP, the risk distribution map of debris flow in southeast Tibet in 2015 was made by combining

收稿日期: 2022-01-11; 修订日期: 2022-04-12

投稿网址: <https://www.zgdzhyfzxb.com/>

基金项目: 西藏自治区科技重大专项资助(XZ202201ZD0003G03); 西藏自治区科技重点研发计划项目资助(XZ202201ZY0034G)

第一作者: 黄艳婷(1998-), 女, 浙江金华人, 硕士研究生, 主要从事西藏重大工程地质灾害监测与分析方面的研究。

E-mail: 572485483@qq.com

通讯作者: 郭永刚(1966-), 男, 黑龙江双城人, 博士, 教授, 主要从事水利水电工程强震安全监测、水工结构地震危险性安全评价及灾害防治方面的研究。E-mail: 1960373107@qq.com

factor sensitive layers to verify the correctness of the model. Different risk distribution maps are made according to different rainfall sensitivities to predict the future debris flow prone areas. When the rainfall sensitivity of the whole region is 3, nearly half of the southeast Tibet is highly prone to debris flow, and all along G318 are in high risk areas. When the rainfall sensitivity is 2, there is no extremely high risk area in southeast Tibet, the risk index of the whole region is greatly reduced, and the high risk part along G318 accounts for 84.56%. The results show that rainfall has a great influence on the risk distribution of debris flow in the study area. The research results can provide theoretical support for the social development and major project construction in southeast Tibet.

Keywords: southeast Tibet; debris flow; rainfall sensitivity; ArcGIS; analytic hierarchy process; risk level

0 引言

泥石流是一种常见的地质灾害,它具有突发性、暴发力强等特点。藏东南地区由于其特有的水文气候条件、高原环境、复杂的地层岩性条件和植被覆盖率等因素,是泥石流的高发地区。随着公路、铁路项目的推进和西藏旅游业的发展,频繁的人类活动加大了发生泥石流的隐患。泥石流严重威胁当地的经济发展、工程建设和居民安全。

层次分析法和 ArcGIS 是计算因子权重和分析泥石流的重要方法^[1-4]。张明等^[5]、刘佳等^[6]、胡桂胜等^[7]利用数学模型和 ArcGIS,对地质地貌、气象水文等致灾因子进行分析后,再进行公路段或藏东南某地区的泥石流危险度评价。近年来,G318 国道沿线地质灾害成为研究热点。何坤等^[8]、史洪滨等^[9]、黄勇^[10]通过遥感解译、数值模拟、“3S”技术及多种手段结合地质地形,对 G318 国道周边泥石流沟道、拟建车站、交通廊道点进行地质灾害安全性分析。

但是在宏观评价体系中,降雨这一重大水源因子因为具有不确定的时空变化往往被忽略。同一个地区的气候基本一致,湖泊、河流、冰川这类水源条件无外力作用下对泥石流的影响甚微,把这些当作水源因子得到的结果缺少准确性,并且实时监测藏东南整个地区的土壤湿度又不现实。文中引入年均降雨量这一因素为变量,来研究降雨对藏东南泥石流发生的影响,并通过年均降雨量预测未来泥石流灾害的易发区。

文中根据区域特点选取适用于藏东南泥石流的致灾因子,并用层次分析法计算权重。在 ArcGIS 中提取分析过去发生泥石流事件的致灾因子信息,在层次分析法的基础上加入因子敏感度等级来突出危险区域。把年均降雨量分成三个敏感度等级,利用 ArcGIS 栅格计算器绘制不同降雨敏感度等级下的泥石流危险性分布区域图来填补无法获取未来降雨数据的空缺,进一步完善对藏东南地区泥石流的研究。

1 研究地区概况

对近 8 年西藏发生泥石流、滑坡、崩塌 3 大地质灾害数据进行查询统计。如表 1 近 8 年地质灾害调查报告所示,泥石流是西藏主要的地质灾害,在所有地质灾害中占比最大。

表 1 近 8 年地质灾害调查报告
Table 1 Geological disaster investigation report in recent 8 years

年份	2019	2018	2017	2016	2015	2013	2012	2011
发生地质灾害数量/次	56	67	59	185	82	138	59	139
泥石流数量/次	30	39	23	118	62	75	35	77
泥石流灾害占比/%	54	58	39	64	76	54	59	55

注:西藏历史年鉴中没有公开 2014 年数据。

把西藏地质环境监测总站提供的 36a(1971—2006 年)泥石流数据^[11-12]导入 ArcGIS 得图 1,发现泥石流主要集中在林芝、昌都,其次分布在日喀则、山南、拉萨。那曲、阿里受灾害影响较少。所以藏东南是西藏泥石流研究的主要地区。

2 致灾因子选取和分析

2.1 致灾因子的选取

前期课题组已经对林芝、昌都地区进行遥感解译和实际调研,收集整理了林芝、昌都地区的地形地貌、地质环境、土地利用、植被覆盖、人类活动等信息,了解了藏东南泥石流的大概情况^[13-14]。

藏东南断裂带活动频繁,时常诱发大大小小的地震。公路四通八达,沿线岩性复杂,人类的工程活动破坏了山体结构,增加了人类活动轨迹,给泥石流创造了丰富的固体物源^[15]。流域周边时常发生暴雨型泥石流。说明在断层、公路、河流附近都直接或间接地储存着有效固体物源,易发生泥石流^[16-17]。

藏东南的土壤、岩性、气温、植被种类垂直分布化明显,常常有“一山有四季,十里不同天”的自然地理现

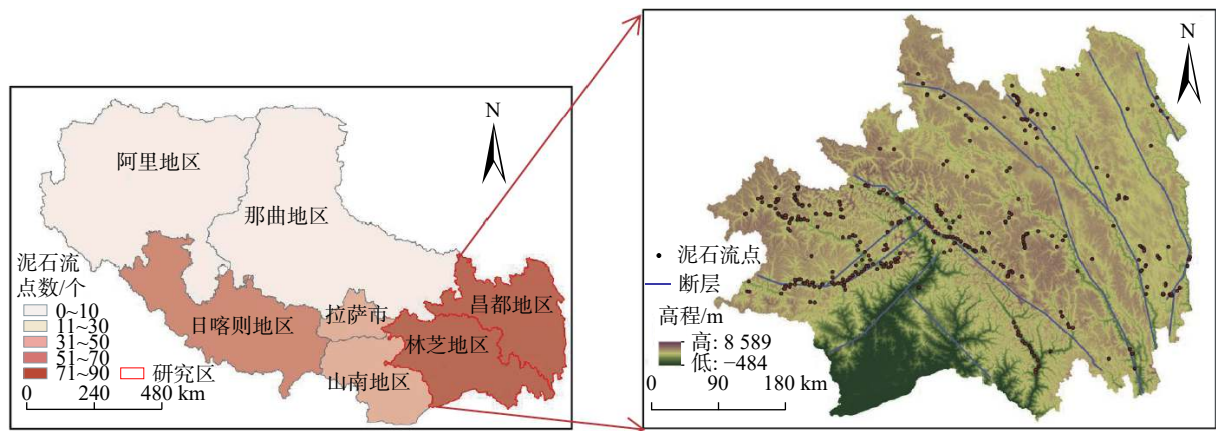


图 1 西藏泥石流数量地区分布图

Fig. 1 Regional distribution map of debris flow quantity in Tibet

象,这源自西藏海拔高这一特征。高海拔地区日照时间长、日夜温差大、气候恶劣,岩石风化严重。所以高程、坡度、坡向地形条件对西藏泥石流的发生有着较强的影响^[18]。

降雨量是泥石流暴发的主要因素之一。在高原地区,冰川泥石流的水源还可以来自冰雪消融或冰湖溃决。藏东南的大部分泥石流事件发生在降雨量多、气温较高的 5—9 月^[19-20]。

除了直接影响泥石流发生的因素外,还有一些诱发泥石流的因素。考虑到泥石流形成区、流通区需要地形呈漏斗状,沟床纵坡大等特点,加入了地貌因子。还选取了土地利用、植被覆盖率等影响较大的诱发因子来一同研究提高结果的准确率^[21](表 2)。

2.2 因子相关性分析

由于坡向、降雨、水文和地貌是选项变量,所以对另外 7 个重要指标数据进行相关性分析。基于 326 组(2001—2009 年)泥石流点数据,通过 SPSS 软件,分析

表 2 泥石流致灾因子及数据来源		
Table 2 Debris flow disaster factors and data sources		
一级因子	二级因子	数据来源
固体物源	距公路距离	1 : 100万全国基础地理信息数据
	距河道距离	
	距断层距离	
地形	高程	ASTGTM2 DEM30m
	坡度	
	坡向	
水源	降雨	中国科学院资源环境科学与技术中心
	水文	
诱发因子	植被覆盖率	地理空间数据云
	土地利用率	
	地貌	

结果如表 3 所示。其中距河道距离与距公路距离、高程两者呈较弱的正相关性,其余因子之间的相关系数均较小可以认为没有相关性,符合因子选取条件(**代表 P 小于 0.05,说明具有统计学意义)。

表 3 泥石流 7 个致灾因子的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of 7 disaster-causing factors of debris flow

指标	距公路距离	距河道距离	距断层距离	高程	坡度	植被覆盖率	土地利用率
距公路距离	1						
距河道距离	0.520**	1					
距断层距离	-0.076	-0.054	1				
高程	0.259**	0.416**	0.263**	1			
坡度	0.171**	0.175**	-0.021	0.245**	1		
植被覆盖率	0.185**	0.220**	-0.160**	-0.199**	0.174**	1	
土地利用率	0.094	0.084	0.188**	0.298**	0.105	-0.341**	1

2.3 致灾因子数据处理

根据 2001—2009 年西藏自治区县市地质灾害调查资料,得到图 1 林芝、昌都泥石流灾害点分布。用

ArcGIS 距离分析中的欧氏距离计算出泥石流点到断层、公路、河道的垂直距离,再利用 ArcGIS 中值提取到点的功能,提取各个泥石流点的高程值、坡度值、坡

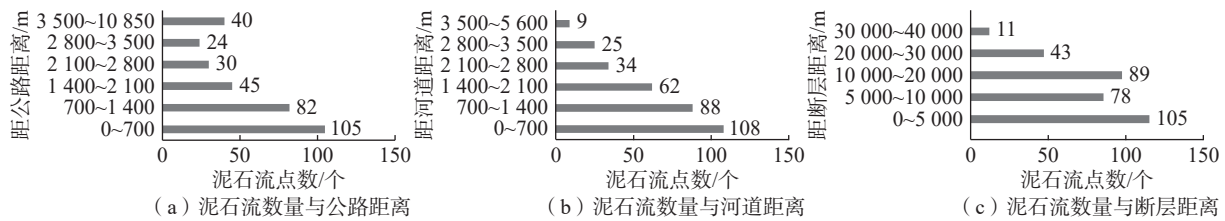


图 2 固体物源因子数据分析(2001—2009 年)

Fig. 2 Data analysis of solid source factor from 2001 to 2009

向、降雨量(2001—2009 年)、水文数据、植被覆盖率、土地利用以及地貌类别。

固体物源因子的分析如图 2: 泥石流点主要集中在距离公路 0~1 400 m, 其次在 1 400~3 500 m, 最远一处距离公路有 10 850 m。泥石流点同样主要集中在距离河道 0~1 400 m, 其次在 1 400~2 800 m、2 800~5 600 m 均有少量分布。在距离断层 0~5 000 m 范围泥石流分布点最多, 在 5 000~20 000 m 范围也有较多分布, 其余

点分布在 20 000~40 000 m。

地形因子的分析如图 3: 泥石流主要集中在海拔 3 500~4 500 m, 其次分布在 2 500~3 500 m, 少量分布在 1 500~2 500 m 和 4 500~5 500 m。最容易发生泥石流的坡度是 20°~40°, 其次是 0°~20°和 40°~50°, 50°~60°发生泥石流的概率很小, 60°~90°没有发生泥石流。西、西北、西南坡向发生泥石流的概率大于南、东、东南坡向, 北和东北坡向发生泥石流较少, 平面没有泥石流的发生。

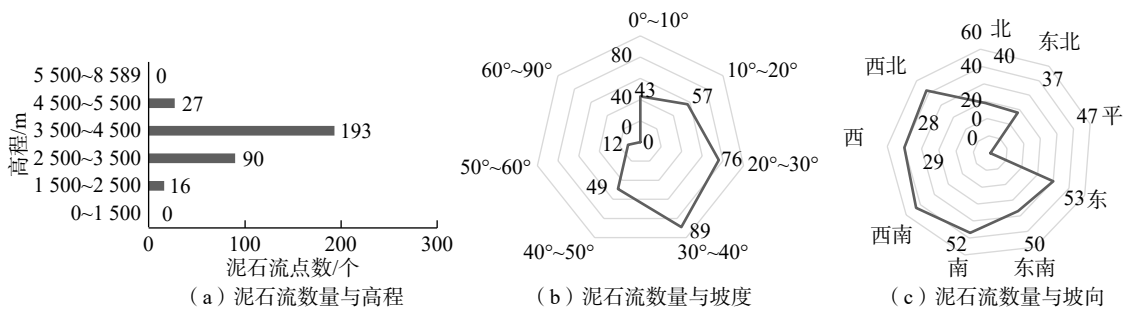


图 3 地形因子数据分析(2001—2009 年)

Fig. 3 Data analysis of topographic factor from 2001 to 2009

水源因子的分析如图 4: 取 9 年(2001—2009 年)泥石流点处降雨量的平均值, 发现年均降雨量在 700~800 mm 地区泥石流点数最多, 其次分布在 600~700 mm

和 800~900 mm 地区。泥石流主要发生在森林生态系统和草地生态系统。

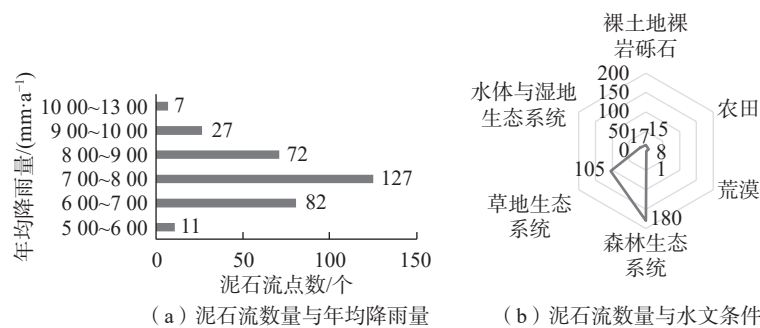


图 4 水源因子数据分析(2001—2009 年)

Fig. 4 Data analysis of water source factor from 2001 to 2009

诱发因子的分析如图 5: 植被覆盖率(NDVI)为 0.6~0.8 地区容易发生泥石流, 0.4~0.6 次之, 0.1~0.4 不易发生泥石流。土地利用率在 20%~30% 时易发生

泥石流, 其次是 30%~40% 地区, 其余地区均有少量发生。泥石流主要发生在高海拔山地, 随后是中高海拔平原。

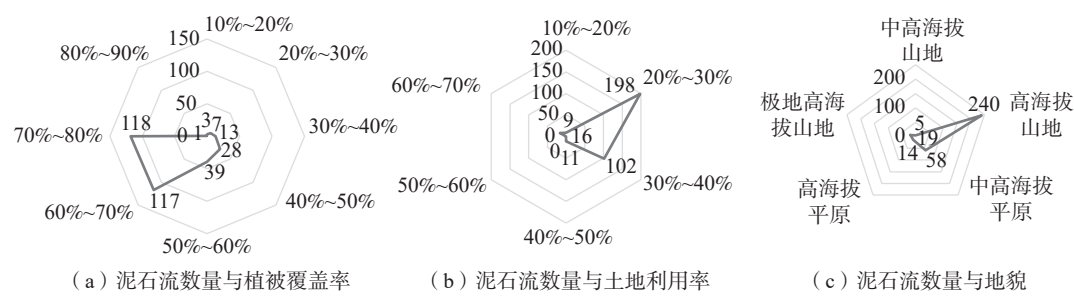


图 5 诱发因子数据分析(2001—2009 年)

Fig. 5 Data analysis of inducing factors from 2001 to 2009

3 层次分析法计算权重

3.1 研究分析法

层次分析法(AHP)是将与决策有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法^[22]。

目标层 A 为计算出各个致灾因子的权重。第一准则层 B 中有固体物源因子 B1、水源因子 B2、地形因子 B3、诱发因子 B4 等 4 个泥石流指标。第二准则层 C 有距公路距离 C1、距河道距离 C2、距断层距离 C3、高程 C4、坡度 C5、坡向 C6、降雨 C7、水文 C8、植被覆盖率 C9、土地利用率 C10、地貌 C11 等 11 个泥石流指标。层次分析法的量化表如表 4, 根据 9 个量化值对各指标两两对比进行赋值并列出判断矩阵。

表 4 量化表

Table 4 Quantitative table

因素 <i>i</i> 比因素 <i>j</i>	量化值
同等	1
稍微	3
较强	5
强烈	7
极端	9
两相邻判断中间值	2, 4, 6, 8
倒数	$a_{ij}=1/a_{ji}$

列出判断矩阵后要进行一次一致性检验, 因为 $Aw=\lambda w$, 所以根据式(1)可以计算出 $\lambda_{\max}$ 。根据式(2)可以得出 CI , CI 值越小得到的权重越可靠, 再根据式(3)算出 CR , 当 $CR<0.1$ 时矩阵通过一致性检验。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{nw_i} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$CI = (\lambda - n)/(n - 1) \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

式中: A ——构造的判断矩阵;

w_i ——标准化后第 i 个权重;

$[Aw]_i$ ——向量 Aw 的第 i 个分量;

n ——指标数量;

CR ——一致性比率;

CI ——一致性指标;

RI ——查表可得^[22]。

3.2 确定因子权重

(1)第一准则层的构造判断矩阵见表 5, $CR=0.079<0.1$, 通过一致性检验。

表 5 第一准则层判断矩阵

Table 5 The judgment matrix of first criterion layer

	固体因子B1	水源因子B2	地形因子B3	诱发因子B4
固体因子B1	1	1/6	1/4	3
水源因子B2	6	1	4	8
地形因子B3	4	1/4	1	5
诱发因子B4	1/3	1/8	1/5	1

(2)第二准则层的构造判断矩阵如表 6, CR 分别为 0.031, 0.074, 0, 0.017, 均小于 0.1。

表 6 第二准则层判断矩阵

Table 6 The judgment matrix of second criterion layer

		距公路距离C1	距河道距离C2	距断层距离C3
固体物源 因子判断 矩阵	距公路距离C1	1	4	7
	距河道距离C2	1/4	1	4
	距断层距离C3	1/7	1/4	1
		高程C4	坡度C5	坡向C6
地形判断 因子矩阵	高程C4	1	1/7	1/3
	坡度C5	7	1	4
	坡向C6	3	1/4	1
		降雨C7	水文C8	
水源判断 因子矩阵	降雨C7	1	7	
	水文C8	1/7	1	
		植被覆盖率C9	土地利用率C10	地貌C11
诱发因子 判断矩阵	植被覆盖率C9	1	2	4
	土地利用率C10	1/2	1	3
	地貌C11	1/4	1/3	1

(3)通过 2.3 节致灾因子数据处理中的分析,把同因子的不同分类级别对泥石流的影响分成 3 个敏感等级并赋值 1, 2, 3。根据不同分类中的泥石流数量和占总泥石流数量的百分比来赋值,在同因子不同分类级

别中发生泥石流事件总数越多,该区间敏感度值就越高。敏感度高的分类区间代表容易触发泥石流。B 准则层的权重乘以 C 准则层的权重就是每个因子的权重,数据处理如表 7。

表 7 致灾因子敏感度及权重
Table 7 Sensitivity and weight of disaster-inducing factors

第一准则层	第二准则层	分类	泥石流数量	总占比/%	敏感度	权重
固体物源因子	距公路距离C1	[0, 700), [700, 1 400)	105, 82	57.4	3	0.068 8
		[1 400, 2 100), [2 100, 2 800), [2 800,3 500)	45, 30, 24	30.4	2	
		[3 500, 10 850)	40	12.3	1	
	距河道距离C2	[0, 1 400)	197	60.4	3	0.023 4
		[1 400, 2 800)	96	29.4	2	
		[2 800, 5 600)	34	10.4	1	
	距断层距离C3	[0, 5 000)	105	32.2	3	0.007 8
		[5 000, 10 000), [10 000, 20 000)	78, 89	51.2	2	
		[20 000, 30 000), [30 000, 40 000)	43, 11	16.6	1	
地形因子	高程C4	[3 500, 4 500)	193	59.2	3	0.021 25
		[2 500, 3 500)	90	27.6	2	
		[1 500, 2 500), [4 500, 5 500)	16, 27	13.2	1	
	坡度C5	[20, 30), [30, 40)	76, 89	50.6	3	0.175 25
		[0, 10), [10, 20), [40, 50)	43, 57, 49	45.7	2	
		[50, 60)	12	03.7	1	
	坡向C6	西北, 西南, 西	52, 53, 50	47.5	3	0.053 25
		南, 东, 东南	47, 40, 37	38.0	2	
		北, 东北	29, 28	17.5	1	
水源因子	年均降雨量 (2001—2009年) C7	[700, 800)	127	39.0	3	0.528
		[600, 700), [800, 900)	82, 72	47.2	2	
		[500, 600), [900, 1 300)	11/34	13.8	1	
	水文C8	森林生态系统	180	55.2	3	0.072
		草地生态系统	105	32.2	2	
		湿地, 农田, 裸土地系统	17, 8, 15	12.3	1	
诱发因子	植被 覆盖率 C9	[0.6, 0.7), [0.7, 0.8)	117, 118	72.1	3	0.027 85
		[0.4, 0.5), [0.5, 0.6)	28, 39	20.6	2	
		[0.1, 0.4)	23	7.1	1	
	土地 利用率 C10	[20, 30)	198	60.7	3	0.016
		[30, 40)	102	31.3	2	
		[10, 20), [40, 50), [60, 70)	9, 11, 16	11.0	1	
	地貌 C11	高海拔山地	240	73.6	3	0.006 15
中高海拔平原		58	17.8	2		
其余地貌		38	11.7	1		

4 基于 ArcGIS 的泥石流危险分布图

4.1 原始图层处理

ArcGIS 软件能有效处理各种复杂的地质工程信息数据,拥有对栅格图片掩膜、转点、重分类、叠加等处理功能^[18]。在 30 m 分辨率的高程图中使用 3D Analyst 工具得到研究区的坡度、坡向栅格图;用已有的公路图层,河道图层,断层图层和线状市界图层用欧式距离工具计算出新的距离图层。对分辨率过小的图层,先通过

栅格转点再用克里金插值法达到 30×30 的栅格分辨率。根据敏感度等级对图层进行重分类得到因子敏感图层。

4.2 致灾因子图层

根据表 7 赋予的敏感值,制作各因子的危险性子图层见图 6,不在敏感系数区间的赋值为 0。绿色代表敏感度为 0,蓝色代表敏感度为 1,黄色代表敏感度为 2,红色代表敏感度为 3。

4.3 泥石流模型检验

叠加图 6 中的 2015 年降雨图层后得到图 7 泥石流

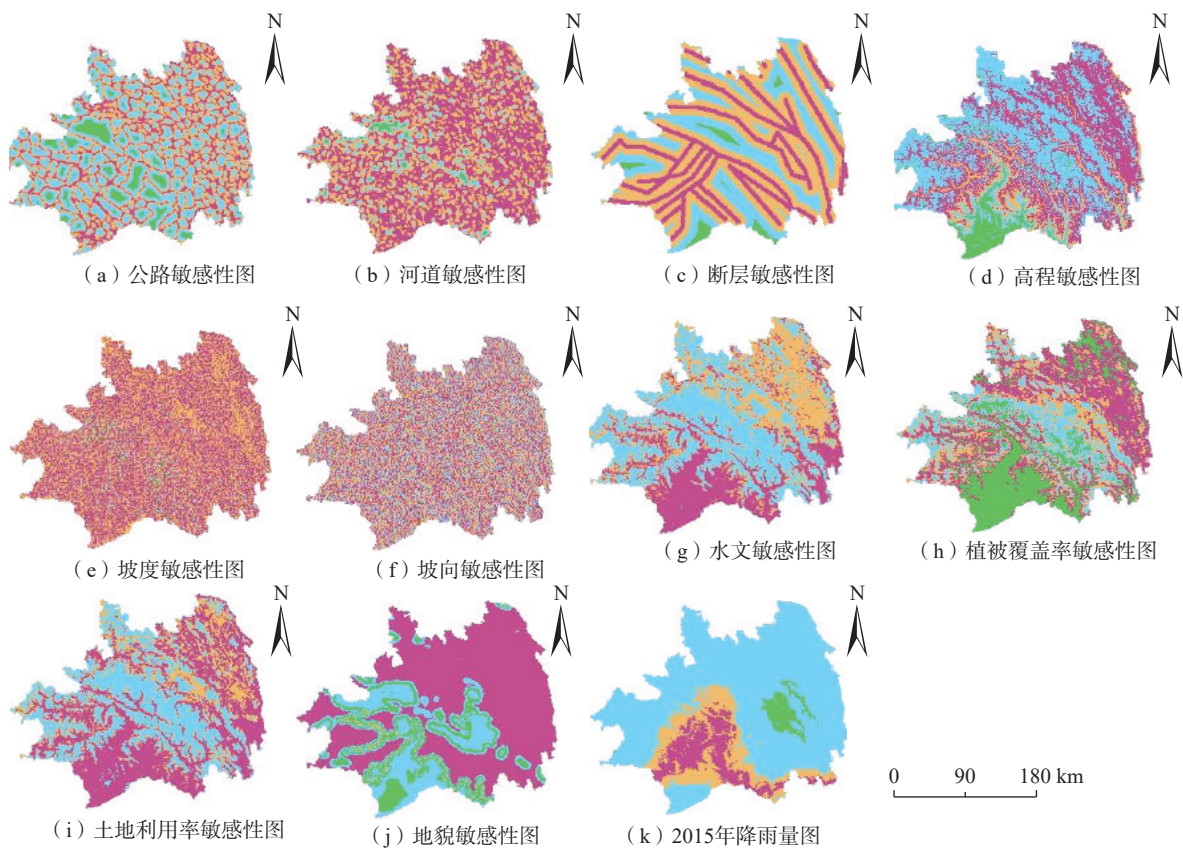


图 6 致灾因子敏感度图

Fig. 6 Disaster-inducing factor sensitivity diagram

危险性分布图, 图层数值是 0.407 ~ 2.986, 数值越大越易发生泥石流, 根据图层数值分为不同易发性地区 (表 8)。

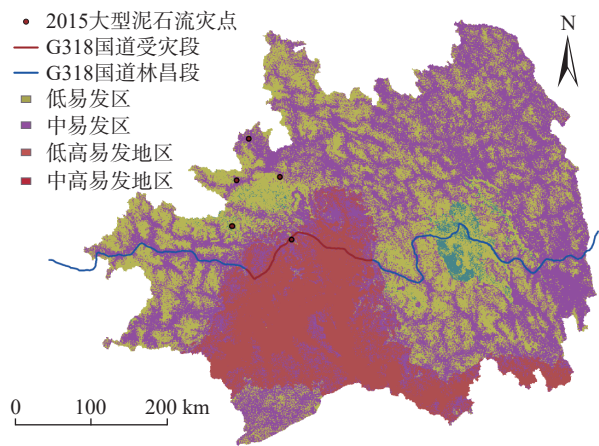


图 7 2015 泥石流危险性分布图

Fig. 7 Debris flow hazard distribution map in 2015

表 9 是搜集到的 2015 年林芝、昌都发生的大型泥石流灾害点及受灾较多区域的位置信息。把灾害点信息放到图 7 中不难看出 4 个泥石流点位于中易发区,

表 8 图层数值与易发性对应表

Table 8 Corresponding table of layer values and debris flow susceptibility

图层数值	易发性
[0, 1)	非易发区(几乎不会发生泥石流)
[1, 1.5)	低易发区(极少发生泥石流)
[1.5, 2)	中易发区(受体条件影响容易发生泥石流)
	[2, 2.3) 低高易发区
[2, 3)	高易发区
	[2.3, 2.6) 中高易发区
	[2.6, 3) 极高易发区

1 个泥石流点和 G318 公路受灾段位于高易发区, 说明该泥石流模型有一定的正向指导作用。

5 未来藏东南泥石流危险区预测

在泥石流形成条件中, 地形、地貌、固体物源、植被覆盖率和土地利用率在短时间内不会发生太大的变化, 而水源随着降雨可能会突然暴发, 当水源超过土体可以承载的阈值后, 导致土体稳定性失衡, 触发泥石流。在多雨季节实时跟踪年降雨量, 年降雨量对应着不同敏感度值, 通过带入不同敏感值图层来预测未来的泥石流危

表 9 2015 重大泥石流事件信息
Table 9 Information on major debris flow events in 2015

县市	位置	发生日期	来源	预测易发性
昌都边坝无名冰湖	G318国道附近	2015年7月3日	《西藏冰湖溃决灾害事件极端气候特征》	中易发区
昌都边坝金岭乡结玉村江卡自然村	边坝县讲卡村	2015年7月3日	中国天气网西藏站	中易发区
林芝扎木弄沟泥石流	波密县易贡藏布河域附近	2015年8月16日	《西藏林芝扎木弄沟泥石流规模变化趋势研究》	中易发区
林芝巴宜区	排龙乡河谷路段	2015年8月17日	中国新闻网	高易发区
昌都边坝	边坝镇普玉二村荣达自然村	2015年9月12日	人民网	中易发区
林芝	G318国道林芝境内	2015年8月—2015年9月	拉萨新华社	高易发区

险分布情况,这是发生极端天气时快速找到泥石流易发区并及时避险的重要手段。

假设藏东南的年降雨量将达到 700~800 mm,此时研究区的降雨敏感度为 3,危险分布图如图 8。中易发地区占 0.256%,低高易发地区占 4.93%,中高易发地区占 45.61%,极高易发地区占 49.2%。假设研究区年降雨量在 600~700 mm 或 800~900 mm 时,降雨敏感度为 2,泥石流危险分布图如图 9,低易发区占 0.34%,中易发区占 33.83%,低高易发区占 49.36%,中高易发区占 16.47%。从中可以看出降雨对泥石流的影响十分显著。

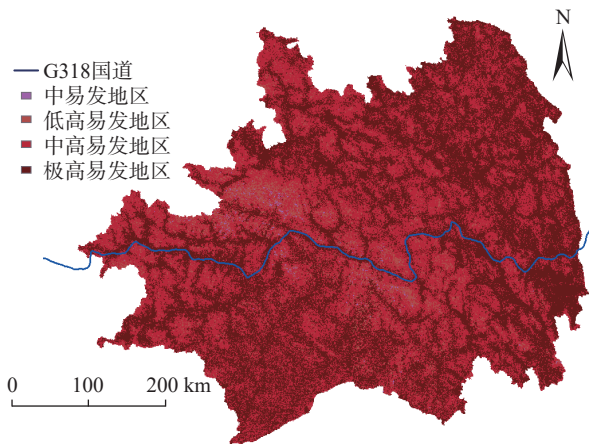


图 8 降雨敏感度 3 的泥石流危险分布图
Fig. 8 Debris flow hazard distribution map with the rainfall sensitivity 3

泥石流危险区主要位于林芝市墨脱县南部、朗县西部以及林芝县,米林县中部和昌都市东北、东南部。特别是这些地区公路、河道、断层的交汇点是泥石流发生的主要区域。

G318 国道所经过地区路线中,当降雨敏感度为 3,G318 国道沿线低高易发地区占 0.80%,中高易发地区占 26.88%,极高易发地区 72.32%。当降雨敏感度为 2,G318 国道沿线,中易发区占 15.45%,低高易发地区占 51.70%,中高易发地区占 32.86%。

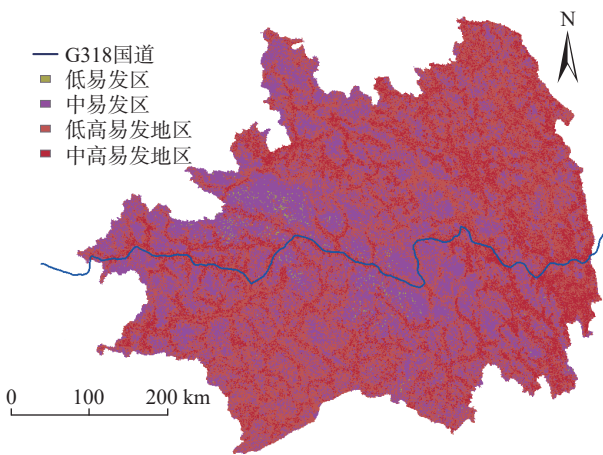


图 9 降雨敏感度 2 的泥石流危险分布图
Fig. 9 Debris flow hazard distribution map with the rainfall sensitivity 2

6 结论

根据西藏独特的地理位置、气候条件和泥石流分布特点,找到符合藏东南地区区情的 11 个泥石流致灾因子,分别为距公路距离、距河道距离、距断层距离、高程、坡度、坡向、降雨、水文、植被覆盖率、土地利用率和地貌。通过 ArcGIS 软件和加入敏感性的层次分析法的研究,主要成果如下:

(1)通过设定层次分析法的两个准则层计算出因子的权重,发现降雨是导致藏东南泥石流发生的最主要因素,其次是水文>坡度>距公路距离>坡向>植被覆盖率>距河道距离>高程,权重较小的 3 个因素是土地利用、距断层距离、地貌。藏东南主要的水源因子是降雨;主要的地形因子是坡度;主要的物源因子是人类工程活动。

(2)在藏东南地区年降雨量达到 700~800 mm 时最有可能发生泥石流。在年降雨量小于 700 mm 时,发生泥石流概率较低,且随着年降雨量增加泥石流发生概率变大。但当年降雨量超过 800 mm 后,由于多降雨导致固体物源被冲刷或隐患地区已经暴发了泥石流,所以随

着雨量的增加泥石流发生概率又逐渐变小。

(3)降雨敏感度为3时(年降雨量在700~800 mm),藏东南地区49.2%是泥石流极高易发区,发生泥石流可能性较大;5.186%是安全区;其余剩下地区是中高易发区,存在的一定的安全隐患。G318国道沿线中泥石流极高易发路段和中高易发路段分别占72.32%和26.88%,整段国道几乎处于危险当中。

(4)当降雨敏感度为2时(年降雨量在600~700 mm或800~900 mm),藏东南地区没有极高易发区;中高易发区占16.47%;低高易发区占49.36%;剩余地区为低易发区和中易发区,安全性较高。G318国道沿线中泥石流的中高易发区占32.86%,比降雨量敏感度3时要少8.68%;低高易发区占公路沿线51.70%,其余是中易发区占15.45%。藏东南地区天气变化莫测,遇到极端天气时泥石流暴发的可能性极高,要做好群众撤离、暂停工程建设、保护重要设施等工作。

参考文献(References):

- [1] 马海荣,程新文,陈联君,等.基于GIS与层次分析法的公路泥石流危险性评价[J].公路工程,2016,41(1):33-37. [MA Hairong, CHENG Xinwen, CHEN Lianjun, et al. Hazard evaluation of debris flow along highway based on GIS and AHP [J]. Highway Engineering, 2016, 41(1): 33-37. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 王毅,唐川,李为乐,等.基于GIS的模糊数学模型在泥石流敏感性评价中的应用[J].自然灾害学报,2017,26(1):19-26. [WANG Yi, TANG Chuan, LI Weile, et al. Application of GIS-based fuzzy mathematics model to sensitivity evaluation of debris flow [J]. Journal of Natural Disasters, 2017, 26(1): 19-26. (in Chinese with English abstract)]
- [3] 王骏,丁明涛,庙成,等.基于GIS和AHP的芦山地震灾区泥石流危险性评价[J].长江流域资源与环境,2014,23(11):1580-1587. [WANG Jun, DING Mingtao, MIAO Cheng, et al. Hazard assessment of debris flow based on GIS and AHP in Lushan earthquake disaster area [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(11): 1580-1587. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 武辰爽,郭永刚,苏立彬.基于地理信息系统的色季拉山土地利用时空动态变化[J].科学技术与工程,2021,21(7):2602-2608. [WU Chenshuang, GUO Yonggang, SU Libin. Dynamics of land use in Sedgila Mountain based on geographic information system [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(7): 2602-2608. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 张明,王章琼,白俊龙,等.基于ArcGIS的“三高”地区高速公路泥石流危险性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(2):24-32. [ZHANG Ming, WANG Zhangqiong, BAI Junlong, et al. Hazard assessment of debris flow along highway of high altitude cold and intensity regions with aid of ArcGIS [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(2): 24-32. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 刘佳,赵海军,马凤山,等.基于改进变异系数法的G109拉萨—那曲段泥石流危险性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(4):63-70. [LIU Jia, ZHAO Haijun, MA Fengshan, et al. Risk assessment of G109 Lhasa-Naqui Debris flow based on improved coefficient of variation [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(4): 63-70. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 胡桂胜,陈宁生,邓虎.基于GIS的西藏林芝地区泥石流易发与危险区分析[J].水土保持研究,2012,19(3):195-199. [HU Guisheng, CHEN Ningsheng, DENG Hu. Analysis of debris flow-prone and dangerous area in Nyingchi of Tibet based on GIS [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(3): 195-199. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 何坤,胡卸文,刘波,等.川藏铁路某车站泥石流群发育特征及对线路的影响[J].水文地质工程地质,2021,48(5):137-149. [HE Kun, HU Xiewen, LIU Bo, et al. Characteristics and potential engineering perniciousness of the debris flow group in one station of the Sichuan-Tibet railway [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(5): 137-149. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 史洪滨,胡卸文,文强,等.拟建川藏铁路夏里2[#]沟泥石流发育特征及动力学过程数值模拟[J].地质灾害与环境保护,2021,32(3):39-46. [SHI Hongbin, HU Xiewen, WEN Qiang, et al. Debris flow development characteristics and dynamic process numerical simulation of Xiali 2[#] gully on the proposed Sichuan-Tibet railway [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2021, 32(3): 39-46. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 黄勇.川藏铁路昌都至林芝段交通廊道安全稳定性分区研究[J].铁道标准设计,2021,65(9):1-8. [HUANG Yong. Research on safety and stability zoning of Changdu-Linzhi railway corridor of Sichuan-Tibet railway [J]. Railway Standard Design, 2021, 65(9): 1-8. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 王高峰,高幼龙,姚亚辉,等.甘肃省白龙江流域降雨型潜在泥石流危险性预报模型[J].中国地质,2022,49(3):732-748. [WANG Gaofeng, GAO Youlong, YAO Yahui, et al. Prediction model of potential debris flow hazard of rainfall type in Bailong River basin, Gansu Province [J]. Geology in China, 2022, 49(3): 732-748. (in Chinese with English abstract)]
- [12] 马艳鲜,余忠水.西藏泥石流、滑坡时空分布特征及其

- 与降水条件的分析 [J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(1): 55–58. [MA Yanxian, YU Zhongshui. Analysis on temporal and spatial distribution characteristic of mud-rock flow and landslide with the rainfall condition [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2009, 29(1): 55–58. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 武辰爽. 基于GIS的川藏铁路林芝段地质灾害危险性评价 [D]. 拉萨: 西藏大学, 2021. [WU Chenshuang. Evaluation of geological hazard risk based on geological information system in Nyingchi section of Sichuan-Tibet railway [D]. Lasa: Tibet University, 2021. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 李廷. 基于遥感技术的昌都地区土地覆被和地质灾害分析研究 [D]. 拉萨: 西藏大学, 2021. [LI Ting. Based on remote sensing technology analysis of land cover and geological disasters in Qamdo area based on remote sensing technology [D]. Lasa: Tibet University, 2021. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 郭长宝, 王磊, 李任杰, 等. 西藏贡觉粉砂质泥岩工程地质特性与蠕变强度研究 [J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(5): 54–64. [GUO Changbao, WANG Lei, LI Renjie, et al. Engineering geology properties and creeping strength characteristics of the silty mudstone in Gongjue County in Tibet of China [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(5): 54–64. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 刘鑫, 邓广辉. 川藏公路邦达至林芝段泥石流环境背景及激发因子分析 [J]. 公路, 2020, 65(5): 70–74. [LIU Xin, DENG Guanghui. Analysis of environmental background and triggering factors of debris flow on Bangda to Nyingchi section of Sichuan-Tibet highway [J]. Highway, 2020, 65(5): 70–74. (in Chinese)]
- [17] 潘华利, 安笑, 邓其娟, 等. 泥石流松散固体物源研究进展与展望 [J]. 科学技术与工程, 2020, 20(24): 9733–9741. [PAN Huali, AN Xiao, DENG Qijuan, et al. Progress and prospects of research on debris flow solid source [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(24): 9733–9741. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 倪化勇, 陈绪钰, 周维, 等. 高寒高海拔山原区沟谷型泥石流成因与特征——以四川省雅江县祝桑景区为例 [J]. 水土保持通报, 2013, 33(1): 211–215. [NI Huayong, CHEN Xuyu, ZHOU Wei, et al. Formation and characteristics of gully-type debris flow on hilly plateau planes with cold climate and high altitude of Sichuan province: A case study of the Zhusang scenic spot in Yajiang County of Sichuan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013, 33(1): 211–215. (in Chinese with English abstract)]
- [19] 屈永平, 唐川, 刘洋, 等. 西藏林芝地区冰川降雨型泥石流调查分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(增刊2): 4013–4022. [QU Yongping, TANG Chuan, LIU Yang, et al. Investigation and analysis of glacier debris flow in Nyingchi area, Tibet [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(Sup 2): 4013–4022. (in Chinese with English abstract)]
- [20] 邓国卫, 孙俊, 郭海燕, 等. 四川泥石流灾害分区及其与诱发降水关系 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(1): 95–102. [DENG Guowei, SUN Jun, GUO Haiyan, et al. Zoning of debris flow hazards in Sichuan Province and their relationship with inducing precipitation [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2020, 42(1): 95–102. (in Chinese with English abstract)]
- [21] 陈飞, 郭顺, 熊如宗, 等. 基于层次分析法的地质灾害危险性评价 [J]. 有色金属科学与工程, 2018, 9(5): 54–60. [CHEN Fei, GUO Shun, XIONG Ruzong, et al. Risk assessment of geological hazards based on analytic hierarchy process [J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2018, 9(5): 54–60. (in Chinese with English abstract)]
- [22] 李元松, 余再富, 朱冬林, 等. 基于ArcGIS的公路工程地质选线模型 [J]. 公路, 2021, 66(9): 105–111. [LI Yuansong, YU Zaifu, ZHU Donglin, et al. Model for highway engineering geological line selection based on ArcGIS [J]. Highway, 2021, 66(9): 105–111. (in Chinese with English abstract)]