

郑川, 曹彦波, 吴艳梅, 等. 云南高原山区道路遭受地震地质灾害特征对比分析[J]. 华南地震, 2019, 39(S1): 58–65. [ZHENG Chuan, CAO Yanbo, WU Yanmei, et al. Comparative Analysis of Seismic Geological Hazards in Yunnan Plateau Mountainous Areas [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(S1): 58–65]

云南高原山区道路遭受地震地质灾害特征对比分析

郑 川, 曹彦波, 吴艳梅, 张方浩

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 搜集了鲁甸 6.5 级地震和景谷 6.6 级地震震区地质灾害的详细资料, 提取地质灾害点中对道路有影响的地质灾害点, 分析了导致道路地质灾害的空间分布特征及各影响因子, 并将两次地震道路地质灾害的特征进行对比, 得出初步认识, 所得结果对进一步认识云南省内地震地质灾害对道路风险具有参考意义。

关键词: 地震地质灾害; 影响因子; 道路; 分布特征

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)S1-0058-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.S1.010

Comparative Analysis of Seismic Geological Hazards in Yunnan Plateau Mountainous Areas

ZHENG Chuan, CAO Yanbo, WU Yanmei, ZHANG Fanghao

(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China)

Abstract: The detailed information of the geological disasters in the earthquake zone of Ludian M_s 6.5 earthquake and Jinggu M_s 6.6 earthquake is collected. The geological disaster points affecting the roads in the geological disaster points are extracted, and the spatial distribution characteristics and various impact factors of the road geological disasters are analyzed. Then the paper compared the characteristics of the two earthquake road geological disasters and got the preliminary understanding. The obtained results have reference significance for further understanding the seismic geological disasters in Yunnan Province.

Keywords: Earthquake geological disaster; Impact factors; Road; Distribution characteristics

收稿日期: 2019-02-26

基金项目: 中国地震局应急救援司青年重点任务 (CEA_EDM-201814) 资助

作者简介: 郑 川(1989-), 男, 工程师, 研究方向: 地震应急指挥技术系统及应急基础数据库建设。

E-mail: 981706476@qq.com.

0 前言

云南省内地震活动频度高、震级大、分布地域广、造成损失重,自1900年以来,全国5.0级以上破坏性地震有20%以上发生在云南省境内。地震发生后,公路是重要的救援通道,具有紧急通道功能,救援人员、物资、车辆、大型救援设备及时进入灾区,将能大大减少人民的生命和财产损失,但由于云南地区山高坡陡,地形起伏大等复杂的多山地形地貌条件,也导致了部分区域的交通不便,区域内破坏性地震发生后都会引发相应地质灾害,地质灾害发生在道路周边将可能对地震应急救援带来严重影响,轻则严重阻碍交通,救援物资与救援力量无法及时发挥作用^[1],增加救援难度,重则直接造成大量生命财产损失。随着社会经济的快速发展,统计云南省区域内1992年以来6.0级以上地震经济损失情况,可以发现道路直接经济损失占总经济损失的比重在逐年上升,2014年鲁甸6.5级地震(以下简称鲁甸地震)道路经济损失约占14.9%,2014年景谷6.5级地震(以下简称景谷地震)道路经济损失约占8.0%,因此加强对道路遭遇地震地质灾害的研究显得尤为重要。

通过对鲁甸和景谷震区道路震害统计发现,震后道路破坏主要是由地质灾害引发的^[2],主要包括滑坡、崩塌、泥石流。地质灾害对道路造成的破坏更强且破坏范围更大,是公路沿线区域地震风险的主要表现形式^[3],本研究的一个关键技术点是通过收集到的数据,分析不同影响因子对地震地质灾害的作用情况,危险性研究过程中,首先将地质灾害点所在位置的影响因子属性提取到地质灾害点中,为每个地质灾害点赋予所在位置的地震烈度、道路等级、坡度、植被覆盖率、多年平均降水量、是否为新增地质灾害点、地质灾害诱发成因等属性。通过对上述各因子对地质灾害点空间分布特征的影响进行分析,然后初步统计不同影响因子下的地质灾害点数量和空间分布,试图通过本研究,剖析云南高原山地地震地质灾害对道路影响的区域性特征及其成因。

1 数据收集与处理

鲁甸地震和景谷地震诱发了大量地质灾害,全面搜集两次地震道路地质灾害信息,国土部门提供的地质灾害隐患点排查统计表,为深入研究

地震地质灾害提供了珍贵的研究资料。其中记录了鲁甸地震752条、景谷地震588条地震地质灾害点数据,数据内容包含了地质灾害类型、灾害点经纬度、灾害影响对象、灾害主要诱发因素、威胁情况、灾害规模等属性内容。依据研究需要,收集整理了云南省30m dem数据、公里格网降水栅格数据、坡度数据、植被覆盖率栅格数据、乡镇人口密度数据、乡镇gdp数据、两次地震烈度影响场、抗震设防烈度及两次地震灾害损失评估报告等数据。

通过对上述资料的整理统计分析,分析了地质灾害造成道路损害各个影响因子,从多因子角度综合认识云南部分区域道路震害类型、空间分布特征,对地震灾害应急救援、采取有效防范措施具有一定的指导意义。

2 道路地震地质灾害特征及对比分析

笔者根据所掌握的资料,用数理统计和空间分析的方法,对鲁甸地震和景谷地震造成的道路地质灾害进行对比分析,发现地震造成道路地质灾害原因既有共同特点,也有明显的区域性差异^[4]。鲁甸、景谷地震灾区同处于云南高原山区,两次地震发生时间接近,震级相差不大,但引发的地质灾害无论是数量还是规模上都相差巨大^[5]。深入探讨其道路地质灾害成因和灾害差异的原因,对云南地区地震地质灾害预防和地震灾害应急快速评估具有重要的科学和实际意义。

2.1 道路遭遇地质灾害总体分布状况

鲁甸地震极其严重的地震地质灾害,是鲁甸地震灾害的显著特征之一。昭通山高坡陡、岩石破碎程度高的地质地貌环境,一旦遭遇地震动强烈作用时就非常容易引发严重山体滑坡、滚石等次生地质灾害,并因此造成新的人员伤亡、交通破坏、房屋受损,加重地震灾害和损失^[6-7],鲁甸地震共收集到道路地质灾害点为277个,灾害的表现形式主要为:滑坡、崩塌、泥石流,其中崩塌数量为113个,滑坡数量147个,泥石流17个,按灾情等级划分为:大型14个,中型67个,小型196个(分级标准按地质灾害分类分级标准),其中168个灾害点为新增灾害点,109个灾害点为原有隐患点,道路直接经济损失约占总经济损失的14.9%。据抗震救灾指挥部信息专报记录,至8月5日20时通往震中的道路才得以抢通,但保通

任务繁重压力大，至 10 日中午，通往重灾区行政村道路才得以全部抢通，不难看出鲁甸地震道路地质灾害的严重程度。

景谷地震道路地质灾害相对较轻，共收集到道路地质灾害点为 91 个，灾害的表现形式主要为：滑坡、崩塌、泥石流，其中崩塌数量为 8 个，

滑坡数量 80 个，泥石流 3 个，按灾情等级划分为大型 2 个，中型 20 个，小型 69 个（表 1），其中 26 个灾害点为新增灾害点，道路直接经济损失约占总经济损失的 8.0%，通过对比可以看出，景谷地震道路地震灾害无论从数量、灾情等级、经济损失等方面都明显轻于鲁甸地震。

表 1 道路地质灾害点分布统计表

Table 1 Road geological disaster points distribution statistics

地震名称	滑坡	崩塌	泥石流	大型	中型	小型
鲁甸地震	147	113	17	14	67	196
景谷地震	80	8	3	2	20	69

2.2 影响因子研究分析

不同类型地震地质灾害有其自身的分布特点及控制因素^[4]，各种类型的地质灾害都是在一系列因素的作用下发生的，作用于地震道路地质灾害的因素就称为影响因子，通过对鲁甸地震和景谷地震道路地质灾害统计发现，影响地震区道路地质灾害的风险因素多种多样，本文用分析分解法对道路地质灾害风险源进行全面筛选，将分别讨论地震烈度、道路等级、活动断裂带、地表坡度、地质灾害隐患点分布、抗震设防烈度、人口、经济、多年平均降雨量等 11 个影响因子对道路地质灾害分布特征的作用及两者之间的差异性。

2.2.1 道路地质灾害与地震烈度

地震是诱发高原山区崩塌、滑坡的主要因素。地震烈度越高，地震产生的破坏性越大，从而引发崩塌、滑坡、泥石流灾害的规模和概率就越大（表 2）。根据长短轴效应理论，地震烈度沿短轴方向的衰减，要比长轴方向快得多，同时由于地震的能量主要沿断裂释放，造成地震能量在垂直于断裂的方向上衰减很快。从两次地震道路地质灾害点调查数据和新增地质灾害点空间分布来看，中度及以上破坏程度地质灾害点主要集中在高烈度区，且沿影响场长轴方向展布(如图 1)。对比两次地震，鲁甸地震由于地震烈度更高，产生了数量更多破坏程度更大的地质灾害点(见表 1)。

表 2 地震新增地质灾害点分布统计表

Table 2 Statistical table of distribution of new geological hazard points in earthquakes

地震名称	Ⅶ/(个)	Ⅷ/(个)	ⅧI/(个)	Ⅸ/(个)	合计/(个)
鲁甸地震	37	37	53	41	168
景谷地震	18	4	4	\	26

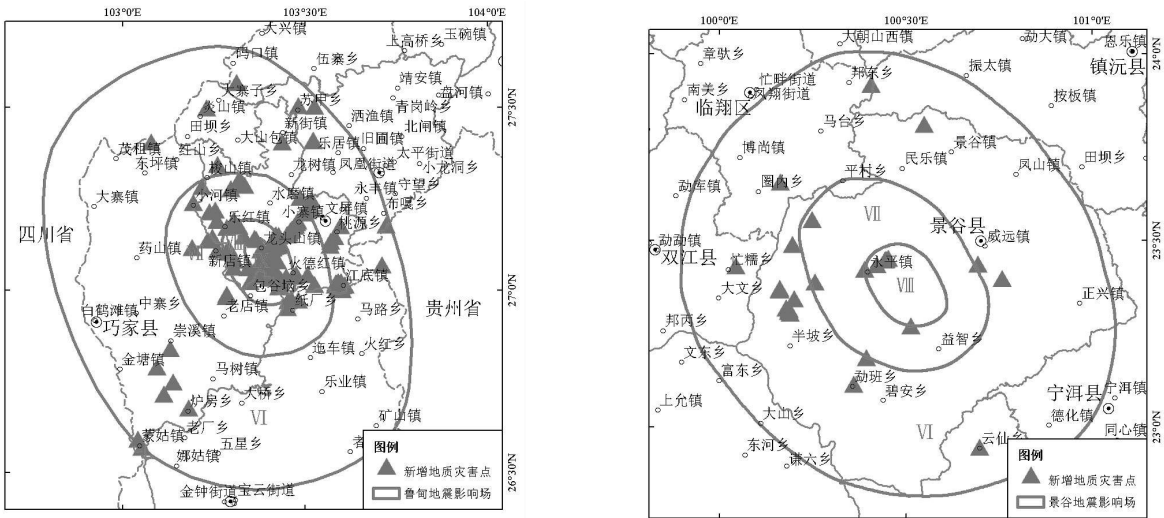


图 1 新增地质灾害点分布

Fig.1 New geological disaster points distribution

2.2.2 道路地质灾害与道路等级

道路等级是评价地震灾害对道路影响的重要指标之一。不同等级的公路，建设标准和公路设施完善程度也不相同^[9]，公路等级越高，投入的资金人力就越大，防护力度也就越强，相对安全性的也就越高。将道路划分为高速公路、国道、省

道、县乡道四个等级，从道路受灾统计表看出两次地震道路地质灾害主要集中在低等级公路，高等级公路地质灾害点主要集中在高烈度区(图 2)。可见道路等级越高，地质灾害易可能性就越低，反之，公路等级越低，公路地质灾害可能性就越高(见表 3)。

表 3 不同等级道路受灾情况统计表

Table 3 Statistics on the disaster situation of different grades of roads				
地震名称	高速/(条)	国道/(条)	省道/(条)	县乡道/(条)
鲁甸地震	0	14	93	170
景谷地震	0	9	14	68

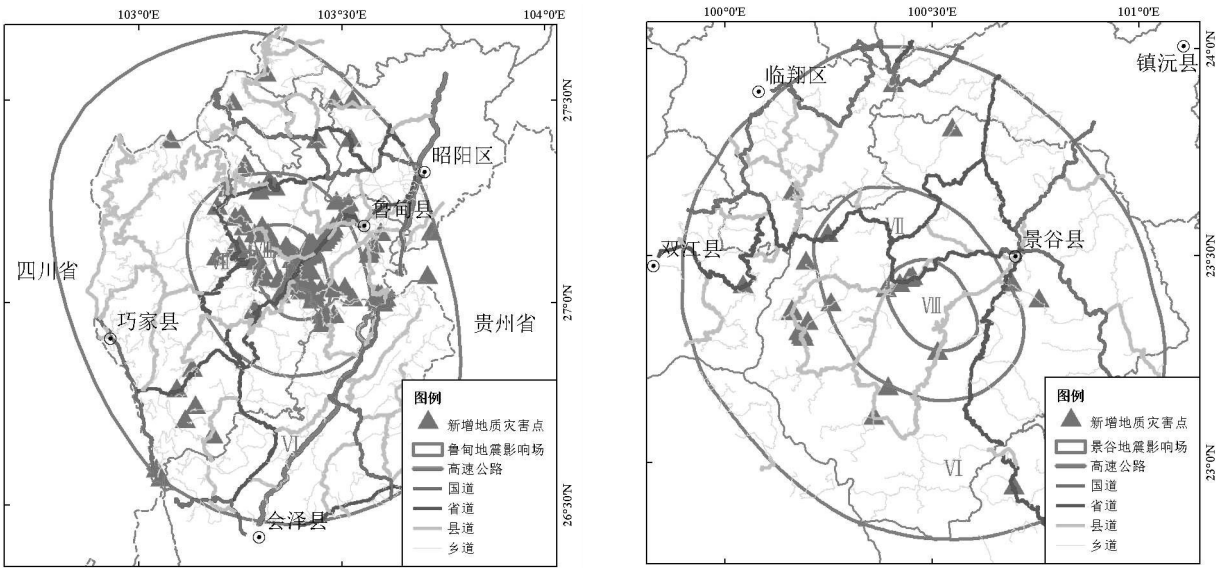


图 2 不同等级道路地质灾害分布
Fig.2 Geological disasters of different grades of roads

2.2.3 道路地质灾害与活动断裂带

鲁甸和景谷震区均属于地震多发地区，构造活动强烈，鲁甸震区主要位于昭通-鲁甸活动断裂带内，同时处于梁山次级活动块体运动前缘，构造应力相对较大，景谷震区位于无量山活动断裂带内^[9]。从统计结果看，鲁甸震区内活动断裂分布密度明显高于景谷震区，地质灾害点数量也相对较多。从地质灾害空间分布情况看，当道路远离且平行于活动断裂带时，道路地质灾害破坏较少；当道路平行且临近于活动断裂带时，道路地质灾害破坏程度较大且破坏更为严重，灾害发育较明显。因此，地震地质灾害与活动断裂有明显的成因关系，地质灾害点多集中分布于构造活动强烈、断层发育的区域，道路距震中、发震断层、活动断裂带越近，地质灾害越严重(图 3)。

2.2.4 道路地质灾害与地表坡度

地面坡度是产生地质灾害的必要条件^[6]，一般

来说，地质灾害风险随着坡度的增加而增加，从道路地质灾害点的数量看，景谷地震主要集中在(10°至 30°)、鲁甸地震主要集中在(10°至 50°) 区间(见图 4、图 5)，两次地震相比，地质灾害点分布密度都是随坡度的增加而变大，鲁甸震区坡度明显高于景谷震区，这可能是导致两次地震道路地质灾害规模差异的原因之一，一个区域内，地面坡度越大，道路地质灾害发生的规模和风险概率也越大。

2.2.5 道路地质灾害与原有地质灾害分布

一个地区的地质灾害隐患点的崩塌、滑坡、泥石流等次生地质灾害发育情况，是该区域此类地质现象发育程度的客观反应，是地质灾害危险程度评判指标之一，破坏性地震发生即有可能触发地质灾害的发生。通过对灾后道路地质灾害隐患点调查信息统计结果可知，鲁甸地震道路地质灾害点中由原有地质灾害点引发的数量占总数的

比重为 40.8%，景谷地震高达 71.4%(表 4)，由所占比例可见，景谷地震道路地质灾害多数由于地震引发原有次生灾害点形成，鲁甸地震也有大部分地质灾害由原有地质灾害点引发（图 6）。烈度

区内原有地质灾害隐患点由于其结构不稳定受地震影响极有可能触发更大地质灾害，是形成地震地质灾害的重要原因，应重视对原有地质灾害点的日常观测和防护工作。

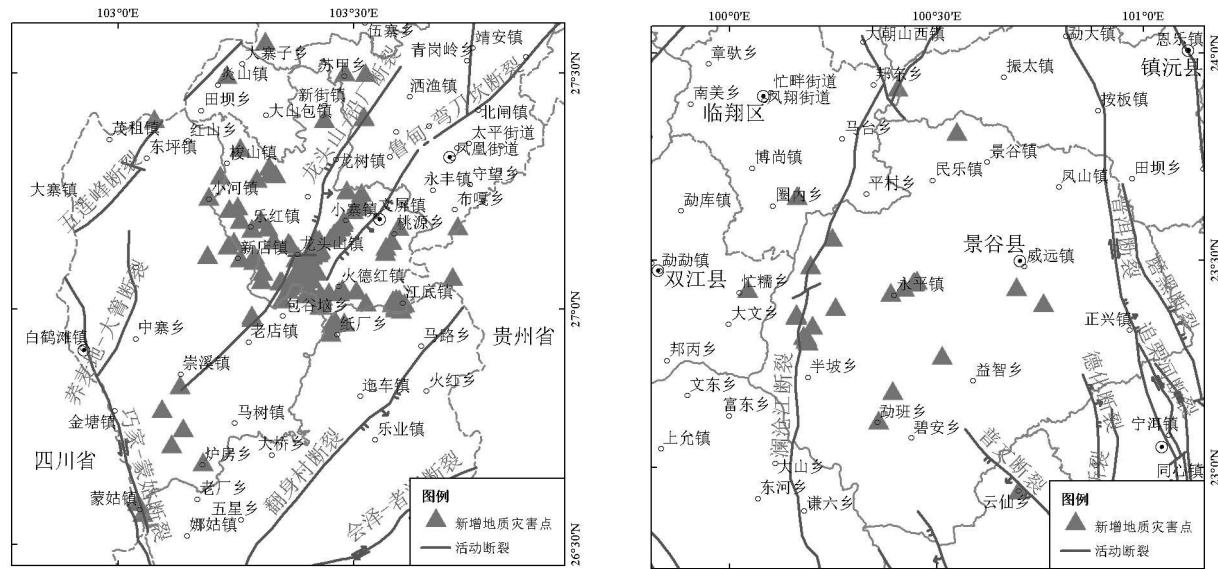


图 3 地质灾害点与活动断裂分布

Fig.3 Geological hazard points and active faults distribution

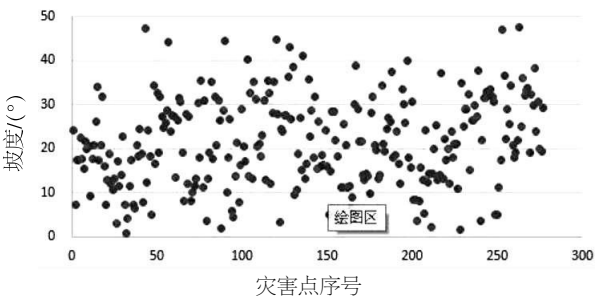


图 4 鲁甸地震地质灾害点坡度分布图

Fig.4 Slope of geological disaster points distribution of Ludian earthquake

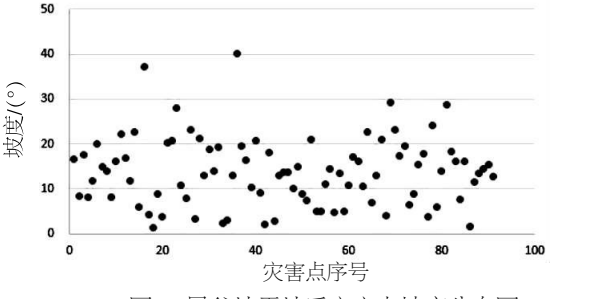


图 5 景谷地震地质灾害点坡度分布图

Fig.5 Slope of geological disaster points distribution of Jinggu earthquake

表 4 两次地震原有地质灾害隐患点统计表

Table 4 Statistical table of hidden danger points of geological disasters in two earthquakes

地震名称	道路地质灾害点/(个)	原有地质灾害隐患点/(个)	所占比例/(%)
鲁甸地震	277	113	40.8
景谷地震	91	65	71.4

2.2.6 道路地质灾害与抗震设防烈度

抗震设防烈度是工程建设时要满足不低于当地地震基本烈度的设计要求。统计数据中鲁甸地震超过总数 39.3%道路地质灾害点的地震烈度高于当地的抗震设防烈度，而景谷地震中该比例仅占 4.4%（见表 5），且灾害严重程度明显强于其他灾害点。可推测实际地震烈度超过抗震设防烈度也是造成两次地震道路地质灾害差异的原因之一。

2.2.7 道路地质灾害与植被覆盖率

一般植被覆盖率越小的区域岩石裸露，易遭风化侵蚀，水土保持能力越差，易产生地表径流^[10]，从而引发地质灾害，故其占的面积越大，形成崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的危险性越大。但从两次地震道路地质灾害点植被覆盖率统计看，鲁甸地震植被覆盖率平均值 89.89%，景谷地震植被覆盖率平均值为 78.21%（图 7），植被覆盖率可能不是导致道路地质灾害的主要原因，对道路地质灾害影响表现不大，可能为次要影响因素。

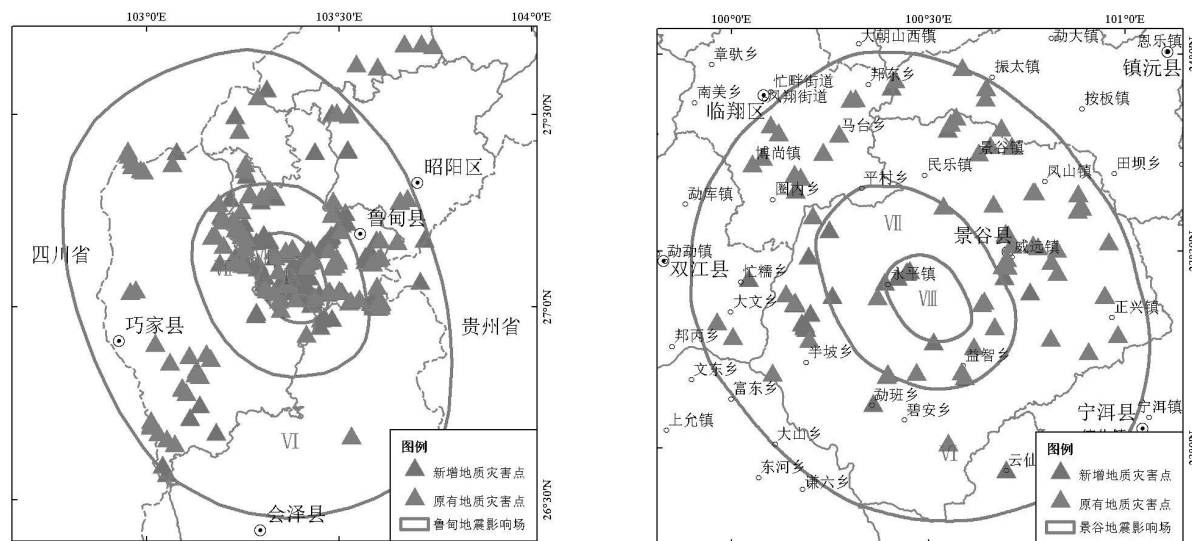


图 6 鲁甸地震与景谷地震新生、原有地质灾害点分布对比图

Fig.6 Comparison of the distribution of new and original geological disasters after the Ludian earthquake and the Jinggu earthquake

表 5 地质灾害点实际烈度与抗震设防烈度对比表

Table 5 Comparison between actual intensity of geological disaster points and seismic fortification intensity

地震名称	道路地质灾害点/(个)	地震烈度高于抗震设防烈度灾害点数/(个)	所占比例/(%)
鲁甸地震	277	109	39.3
景谷地震	91	4	4.4

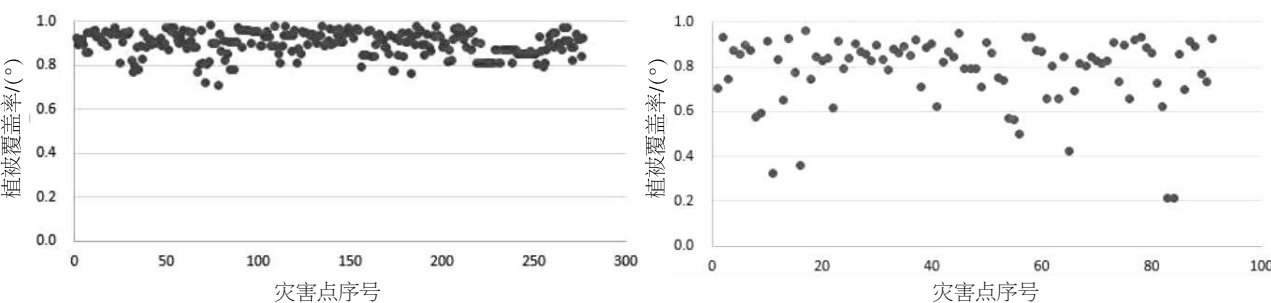


图 7 鲁甸地震与景谷地震地质灾害点植被覆盖率对比图

Fig.7 Comparison of vegetation coverage rate of geological disaster sites between Ludian earthquake and Jinggu earthquake

2.2.8 道路地质灾害与多年平均降雨量

通过道路地质灾害成因统计，地震后道路地质灾害的诱发因素有地震、降雨、人工加载等因素，且两次地震后灾区都伴有降雨，从地震道路地质灾害主要诱发因素分析，其中鲁甸地震灾害点与降雨有关地质灾害占 82.7%、景谷地震占 84.6%，可见降水是诱发崩塌、滑坡、泥石流的主要因素，其降雨量与崩塌、滑坡、泥石流的发育有十分密切的相关关系，道路所在行政区内多年平均降水量应是震后关注重要因素之一。

2.2.9 道路地质灾害与经济水平

一般情况，区域经济情况越好，财政经济投入道路建设越多，相应的道路状况就越好。提取

道路地质灾害点所属乡镇社会生产总值(GDP)，对比两次地质灾害点 GDP 平均值，鲁甸震区地质灾害点 GDP 平均值明显低于景谷震区(表 6)，当公路沿线区域经济水平越高时道路遭遇地震地质灾害可能性越小，反之则越大。

2.2.10 道路地质灾害与人口密度

随着社会经济的发展，修建铁路、公路、开挖坡脚、乱砍乱伐等越来越多的人类活动破坏了自然坡体，容易促使地震地质灾害的发生，人口密度反映区域面积内居住人口数量多少，人口密度越大，人类活动就越广泛频繁，提取道路地质灾害点所属乡镇人口密度，对比两次地震情况，鲁甸地震人口密度均值约为 260 人/平方公里，是

景谷震区的 5 倍之多(表 6),可初步推断,当公路沿线区域人口密度越大时,道路地质灾害易损性也就越高。

2.2.11 道路地质灾害与水系

在高烈度地震区,尤其陡峻的峡谷地区,河谷区是地质灾害的多发区,道路容易遭受地质灾害。云南由于特殊的地形条件,大部分公路分布

在地势较低的河谷,沿山脉走向分布,这些公路在平时就经常遭受滑坡等地质灾害威胁,在震后很容易受到震后地质灾害的打击,如鲁甸地震中的昭巧公路(省道 S101)破坏极为严重,此路段沿沙坝河而建,受地震地质灾害分布密集、更为严重(见图 8),震后抢通保通工作极为困难,断裂带附近沿溪线病害较多。

表 6 震区人口经济统计表
Table 6 Population and economic statistics in earthquake area

地震名称	人口密度均值/(人·km ⁻²)	GDP 均值/(亿元)
鲁甸地震	260	4.9
景谷地震	51	约 16

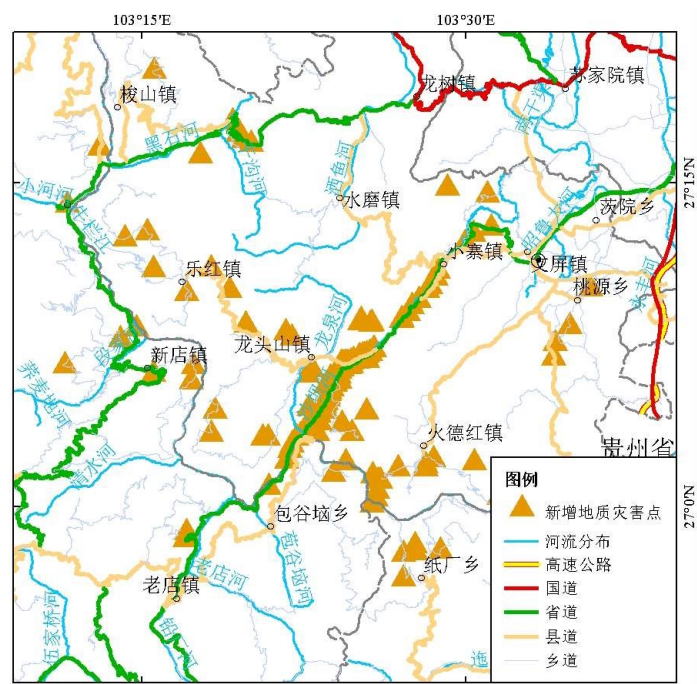


图 8 鲁甸地震道路地质灾害与河流关系分布图
Fig.8 Distribution map of geological disasters and rivers in Ludian earthquake

3 结语

综上所述,在分析地震地质灾害发育环境的基础,总结了两次地震道路地质灾害的基本特征,初步分析了地震地质灾害成因。对两次地震致道路地质灾害问题形成了以下认识:

- (1) 云南省内发生 6.0 级以上中强地震,都会伴随着大量的地质灾害,极有可能引发大量道路地质灾害,从而影响震区道路正常通行,对区域内道路产生损害,将加大地震应急难度。
- (2) 从统计结果看,发生地震道路地质灾害的成因与多个影响因子有直接或间接关系,明显

受控于地震烈度、活动构造、公路等级、原有地质灾害隐患点、坡度、抗震设防烈度,同时年均降水量、植被覆盖率、人口密度、经济水平也对震后道路地质灾害的形成有一定影响。

(3) 两次地震震级和时间相近,道路地质灾害的空间分布也呈现相似的规律,但引发的道路地质灾害无论是数量还是规模上都相差巨大,通过对比分析发现云南省内由于地质构造差异、自然地理条件差异、人文环境差异,两个震区的区域特征造成了两次地震道路地质灾害差异。

本次研究还存在很多不足。一方面,笔者仅从震后道路地质灾害的数量、成灾原因和空间分

布做了简单的定性分析,没有通过科学的定量计算检验,得出的结论较为粗浅,后期研究过程中将结合相关专家经验和选定模型计算方法,将地震地质灾害对道路的影响给出科学合理的风险评估方法;另一方面,由于地区的差异也导致了结果大相径庭,但受限于历史地震地质灾害详细信息的缺失,不能对云南区域进行分区研究,后期研究中将收集更多的历史震例相关信息,弥补分区研究,使结论更加的科学可靠。

参考文献:

- [1] 帅向华,姜立新,侯健盛,等. 云南鲁甸 6.5 级地震灾害特点浅析[J]. 震灾防御技术,2014,9(3):340-358.
- [2] 刘爱文,帅向华,吕红山,等. 鲁甸地震生命线工程震害特点及应急抢修[J]. 震灾防御技术,2014,9(3):359-367.
- [3] 贾兴利,许金良. 基于云模型的地震公路震害风险评估[J]. 同济大学学报(自然科学版),2014,42(9):1352-1359.
- [4] 李永强,李兆隆. 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震致人死亡情况分析[J]. 中国地震,2016,32(4):787-800.
- [5] 代博洋,吴波,常昊,等. 2014 年云南鲁甸 $M_s6.5$ 与云南景谷 $M_s6.6$ 地震滑坡灾害对比分析 [J]. 地震研究,2017,40(1):153-160.
- [6] 白仙富,戴雨芡,戴靖,等. 昭通地区地震灾害区域性特征分析[J]. 地震研究,2013,36(4):514-524.
- [7] 王秀英,聂高众,马牧军. 地震滑坡灾害评估中地震影响因素的联合应用[J]. 地震学报,2012,34(1):76-84.
- [8] 张彦琪,李西,谢英情,等. 以鲁甸地震和彝良地震为例分析云南昭通地质构造与地震灾害特点[J]. 地震研究,2016,39(2):270-278.
- [9] 刘洋洋,李永强,李有朋,等. 基于 AHP-模糊综合评价法的山区丘陵公路灾害易损性研究 [J]. 灾害学,2017,32(2):32-38.
- [10] 赵立冬,傅荣华,张博. 天山公路.天山公路沿线地质灾害危险性模糊综合评判 [J]. 防灾减灾工程学报,2007,27(1):96-100.
- [11] 皇甫岗,陈勤. 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震[M]. 昆明:云南科技出版社,2015:369-379.
- [12] 林钧岐,李杰,刘金龙,等. 公路系统地震破坏等级划分研究[J]. 世界地震工程,2013,29(1):15-20.