祝建，朱冬春，刘卫民. 川藏公路(西藏境)地质灾害类型与分布规律研究[J]. 灾害学，2018，33(S1)：18 - 24. [ZHU Jian，ZHU Dongchun and LIU Weimin. Types and Distribution of Geological Hazards in Sichuan Tibet Highway (Tibet Border) [J]. Journal of Catastrophology，2018，33(S1)：18 - 24. doi：10.3969/j.issn.1000 - 811X.2018.Z1.004.]

川藏公路(西藏境)地质灾害类型与分布规律研究*

祝 建[1,2]，朱冬春[1,2]，刘卫民[1,2]

(1. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司，陕西西 安，710075；2. 西安中交公路岩土工程有限责任公司，陕西 西安，710075)

摘 要： 川藏公路(西藏境)地质灾害具有类型多、分布广、活动频繁、突发性强、危害严重的特点。通过对地质灾害的现场调查和现有的资料统计分析，地质灾害点共 1 583 处，8 种灾害类型，对公路交通产生危害最大最直接的主要是泥石流、滑坡、崩(坍)塌、水毁、溜砂 5 种灾害。根据川藏公路沿线不同的地质条件和不同气候水文环境分析，地质灾害具有密集性和广泛性，地域性、时域性和周期性，共生性、重复性和交替性三大独特区域特征。在此基础上，利用多因素叠加法对川藏公路泥石流、滑坡、崩塌、水毁和溜砂等 5 种重大地质灾害密集频发进行了评价分区，结果表明：全路段划分为高频发、中频发和低频发三个频发程度等级的分区，共 23 个区段，重大地质灾害密集频发区主要集中在东久至然乌的帕隆藏布沿江段、八宿西至怒江大桥的冷曲河沿溪段和宗拉山东至金沙江大桥的西曲沿溪段三大段。

关键词： 川藏公路；地质灾害；分布规律；密集频发；多因素叠加

中图分类号： X43；P642　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1000 - 811X(2018)S1 - 0018 - 07

doi：10.3969/j.issn.1000 - 811X.2018.Z1.004

川藏公路是我国西部的公路大通道之一，东起四川省成都市，西止西藏自治区拉萨市，是我国地势最险峻的公路。川藏公路分为南北两条线：南线属国道 318 线的一部分，北线由国道 317、国道 318 和国道 214 的一部分组成。南线起于四川成都，经雅安、泸定、康定、雅江、巴塘，到达与四川省接壤的西藏芒康县竹巴笼乡，再经芒康、左贡、邦达、八宿、波密、林芝、工布江达、墨竹工卡、达孜至拉萨，全长 2 146 km，西藏境内全长 1 286 km[1-2]。本文将围绕西藏境内川藏公路南线进行研究论述。

川藏公路作为西藏联接内地的纽带之一，自建成以来一直对维护国家统一、领土完整和维护西藏地区政治稳定、民族团结，促进区域经济发展等方面发挥着重要作用。2001 年，《国家重点干线公路规划》将川藏公路被国家列入重点干线公路，其在国家骨架公路网和进出藏交通运输体系中的主干线地位更为突出，在西藏社会经济发展中的作用更为显著。

然而，川藏公路素有“灾害博物馆”之称，沿线基本为高山峡谷，地层岩性复杂多样，地震活动频繁，地壳隆升及河流下切强烈、降水丰沛、冰川运动活跃，造就了沿线灾害种类多，分布范围广，活动十分频繁、突发性强、危害严重、影响路线长、整治难度大，长期威胁着川藏公路的安全运营，给人民生命和财产带来了巨大损失。1990 年代前，全线年平均断通达 180 d 左右[3]，川藏公路受地质灾害影响，基本上处于瘫痪状态。据统计，对川藏公路(西藏境)已产生直接危害的各类灾害点近 2 000 处，直接危害长度达 220 km，平均每 l km 长度内分布有灾害 1.23 处、危害长度近 200 m。

随着经济、社会的不断发展，川藏公路(西藏境)的地位益发突出，政治经济作用更加强大。为了提高川藏公路整体服务水平，保证其通畅，同时为川藏公路升级改造、川藏铁路建设指引方向，对川藏公路沿线地质灾害的类型和规律进行研究是十分必要和有意义的。

* 收稿日期：2018 - 03 - 15　　修回日期：2018 - 07 - 11

第一作者简介：祝建(1979 -)，男，陕西乾县人，硕士研究生，高级工程师，从事工程地质和地质灾害方面研究工作.
E-mail：253554927@qq.com

1　川藏公路地质环境

川藏公路从东往西穿越横断山、念青唐古拉山和喜马拉雅山三大山系(图1)，跨越金沙江、澜沧江、怒江和雅鲁藏布江四大水系，为高山峡谷地形，地貌上属山地地貌、河流地貌和冰川与冰缘地貌。东部地形起伏大，高差近3 000 m，西部地形起伏较小，地势较平缓[4-6]。

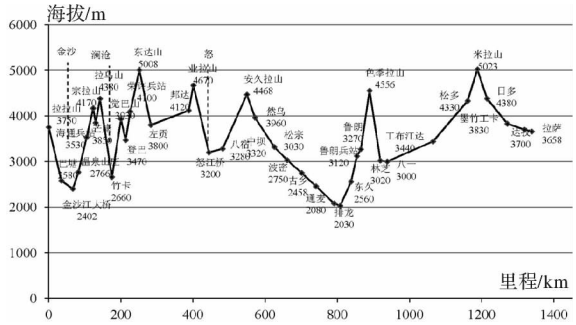


图1　川藏公路沿线地势起伏图(据文献[7]略有改动)

川藏公路沿线东部为太平洋与印度洋气流影响的海洋性气候，西部为西北环流影响的大陆性气候，但由于地形的控制性影响，使沿线气候差异很大。横断山脉为干热气候，喜马拉雅～念青唐古拉山为印度洋季风气候，念青唐古拉～冈底斯山为西风环流气候。

降水在时间的分配和空间的分布很不均匀。雨季雨量非常集中，一般要占全年总量的90%左右；雅鲁藏布江中游一带降雨量最大，暖湿气流受山脉阻挡向东西部延伸降雨量逐渐降低。年降雨量最大地区位于通麦，约1 200 mm，八宿县最小，约233 mm[1-2,8-11]。

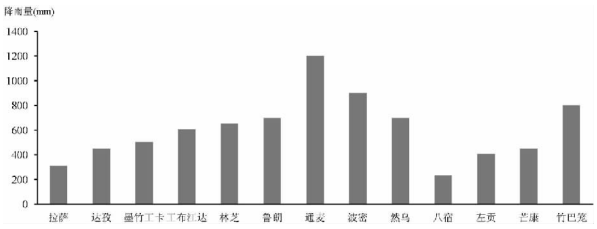


图2　川藏公路沿线地区年均降水量直方图

公路沿线出露的地层从上古生界到第四系都有，特别是三叠系分布最广，地层以海相或海陆相成因为主，厚度巨大，普遍变质，岩性主要为变质砂岩、板岩、灰岩、砾岩、千枚岩、花岗岩和第四系松散堆积物等。

沿线地区处于青藏高原东南部，横跨班公错—怒江断裂带，平行雅鲁藏布江缝合带[7,12-13]，运动十分强烈，使路线所经地区岩体强烈切割，地层褶皱、扭曲变形，岩体破碎，易于各种地质灾害作用的进行。

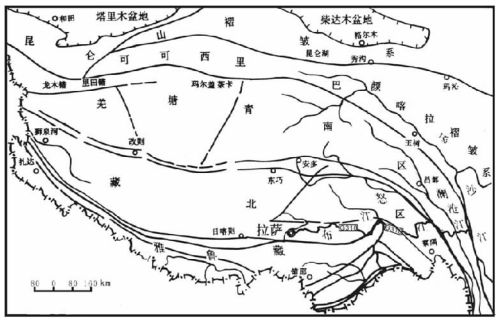


图3　川藏公路沿线构造图(据文献[4]略有改动)

另外，川藏公路沿线新构造运动活动强烈，断裂的差异升降和断块的掀起，形成深切河谷，成为滑坡、危岩、崩塌发育的温床。

2　川藏公路地质灾害类型与分布规律

2.1　地质灾害类型

由于川藏公路沿线地形地貌、地质构造、地层岩性、新构造运动、气象水文等自然环境条件十分复杂和特殊，造就了沿线灾害不仅类型多、分布广，而且活动十分频繁、突发性强、危害严重。据现场调查与资料统计(表1)[1-2,8-11]，主要发育泥石流、滑坡、崩(坍)塌、水毁、溜砂、雪害(图4)，其次为涎溜冰和路基翻浆等八类灾害[4-5,14-16]。对公路交通危害最大最直接的主要是泥石流、滑坡、崩(坍)塌、水毁、溜砂5种灾种，其中泥石流、崩塌、滑坡、水毁合计占总灾害数的94%，影响公路里程占总灾害影响长度的90%(图5)。

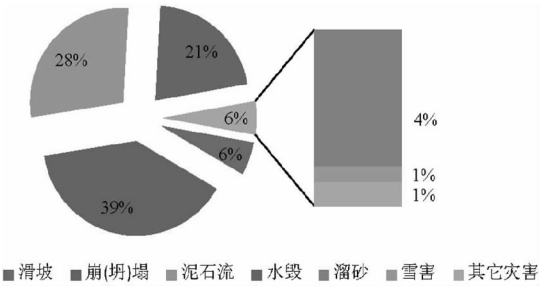


图4　沿线地质灾害数量对比图

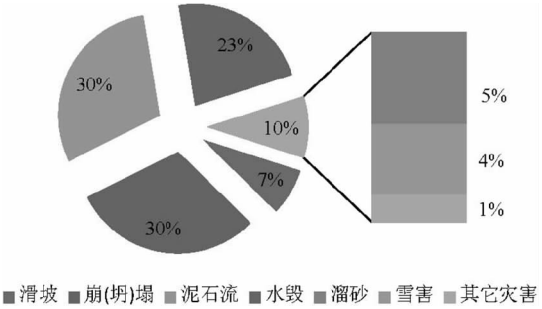


图5　沿线地质灾害影响公路长度对比图

表 1 川藏公路(西藏境)沿线地质灾害分布统计表

段落名称	里程长度/km	泥石流		滑坡		崩(坍)塌		水毁		溜砂		雪害		其它灾害	
		个数	影响长度/m	个数	影响长度/m	个数	影响长度/m	个数	影响长度/m	个数	影响长度/m	个数	影响长度/m	个数	影响长度/m
拉萨至米拉山	154	19	1320	1	142	12	1370	8	1090	5	387				
米拉山越岭段	26	2	310	1	250	2	88								
米拉山至林芝	230	62	12276	20	5050	78	7920	34	4002	2	120			2	750
色季拉越岭段	84	4	282	10	576			3	282			4	5100		
鲁朗至安久拉	305	149	36464	42	6982	216	30715	149	25146	48	8569			5	800
安久拉至怒江大桥	97	57	4710	1	161	44	3562	59	7422	2	380	2	431		
业拉山越岭段	94			2	460	1	40								
田妥至东达山	83	45	4380	3	450	27	5137	26	1463	12	1050				
东达山越岭段	18	1	40			3	511					2	2500	2	800
东达山至登巴	39	17	520			17	4784	17	2234					3	755
觉巴山越岭段	37	11	361	2	73	9	1643								
澜沧江大桥至拉乌山	30	10	464			10	2325	1	75						
拉乌山宗拉山越岭段	29	1	8			3	390								
宗拉山至竹巴龙	58	71	4453	7	2148	196	8183	41	8117						
全线合计	1286	449	65588	89	16292	618	66668	338	49891	69	10506	8	8031	12	3105



图 6 泥石流、滑坡



图 7 崩塌、水毁



图 8 溜砂、雪害

2.2 地质灾害分布规律

川藏公路沿线不同的地质条件和气象水文环境，孕育的灾害类型、形成机理、发生发展过程、活跃程度及影响范围，差异性很大。这些地质灾害的发生固然受气候、水文、人类活动等外部因素的影响，但起控制性作用的却是其所在地区的地形地貌、地质构造、地层岩性、新构造运动等内部因素，具有独特的区域性特征。

(1)灾害的密集性和广泛性

全线集中了我国公路交通干线中几乎所有的山地灾害类型，发育有泥石流、滑坡、崩塌、溜砂、水毁、路基沉陷等，还有雪害、涎溜冰，类型齐全、规模大，暴发频繁，以大规模的冰川泥石流灾害和水毁灾害活动为特色，是一个名符其实的“地质灾害博物馆”。

另外，公路沿线的地质环境脆弱，任何一个地方都存在发生灾害的可能，只是灾害的种类和危害程度的大小不同而已。据不完全统计，对公路已产生过直接危害的各类灾害点近 2 000 处，直接危害长度达 220 km，平均每 l km 长度内分布有灾害 1.23 处、危害长度近 200 m，可见灾害布密度之大，危害范围之广。

(2)灾害的地域性、时域性和周期性

灾害的地域性是单种或几种灾害发生范围的局限性。各种灾害在孕灾环境、形成机理、产生过程、方式和影响的时空范围等方面都存在着差异和特定条件，只有在特定的地区，具有特定的孕灾、成灾环境条件时，才会发生某种特定的灾害。

雨洪型泥石流全线均有分布，而拉萨河流域因西风环流气候的影响和沿线地貌特征，气候干燥，年降水量小，暴发频率低；冰川泥石流分布于八宿县以西及工布江达县以东的部分现代冰川(积雪)分布区的沟谷中，以然乌－东久地段分布最密集、规模和危害也最大，有著名的古乡沟[17]、培龙沟、米堆沟[18]、索通沟和唐不朗沟[19]等大型、特大型冰

川泥石流；滑坡也主要集中分布在该路段内，规模以大型、巨型居多，中小型少见，类型以基岩坡少、堆积层滑坡发育，如102道班附近2#滑坡，备受世人瞩目[20]。

崩塌多发生在公路切割上边坡，地形陡峻、第四系堆积层较松散和岩体节理、裂隙发育的地段，峡谷区发育相对集中，发生频率高，宽缓河谷区分布零散，发生频率低，以松宗－然乌、八宿－业拉山和宗拉山－金沙江沿江路段发育分布最为集中，发生频率最高。

水毁则主要发生在沿河溪路段，东久－然乌的帕隆藏布沿河路段和海通沟西曲沿河路段岸坡陡峻，河谷狭窄，纵坡大，水流湍急，水位变幅大，暴发频率高，分布密集，危害亦长。溜砂基本发育于半干燥气候地带，主要展布于地形高陡、岩体破碎的然乌至松宗一线[21]。雪害则主要分布在东达山、业拉山、安久拉山、色季拉山、米拉山等越岭线段内[16]。

全线灾害总的地域特点是中段灾害类型最多，分布最密集，暴发最频繁，规模和危害也最大，东段灾害仅次于中段，亦属于严重区段，西段灾害相对较小，危害也最轻。

灾害的时域性是灾害发生时间的特定性。地质灾害是在特定的地质环境、水文气象等多种环境因素组合作用下的产物，产生的时间受控于各组合要素的演化。泥石流、崩塌、滑坡和水毁灾害一般发生在雨季，以每年6－8月最为显著，冰雪灾害主要发生在冬春季节，以每年1－3月最为显著，溜砂主要发生在干旱少雨的旱季。另外，灾害多年的发生特点是高温多雨和低温多雨年份水毁、泥石流、滑坡容易发生；干热和干冷年的暴雨对暴雨泥石流有利；降温丰水后期和干冷年前期对冰川泥石流的发生有利。1988年米堆冰湖溃决泥石流暴发时，当年的气温较往年平均气温偏高0.3℃，降雨量较往年平均值偏高30.8%[18]。

再者，灾害发生的周期性主要体现在与地震、太阳黑子及降雨等的活动周期大体一致，约50年左右出现一个与地震周期一致的强烈的活跃期，10年左右出现一个与太阳黑子活动周期一致的活跃期。

地球自转的准周期变化，即自转速度减慢，影响到全球气候异常变化，亦影响到降水与水湿条件的变化，导致灾害的暴发亦随之变化。

(3)灾害的共生性、重复性和交替性

灾害的共生性是在同一种外界因素的影响下，造成多种灾害同时或相继发生，从而使受灾范围和强度不断加大。江河洪水对公路沿线路基下边坡的冲刷、侧蚀，造成下边坡发生滑坡、崩塌，造成水毁和滑坡、崩塌共生，危害程度加大。在同一时段，泥石流沟暴发堵塞干流，易形成溃决性水毁灾害。如2000年4月9日扎木弄沟发生高速巨型滑坡，造成易贡形成库容达288×10^9 m^3堰塞湖，堰塞湖溃决，使下游通麦至排龙段近20 km公路发生崩塌、水毁、滑坡[19]。

灾害的重复性是一年内多种灾害重复多次出现或数年内在大致相同位置重复发生，其表现最突出的就是泥石流和水毁。由于受当时经济条件、建设标准的限制和后期处治认识深度的不足，大部分沿江路段存在治了又垮，垮了又治的循环当中，不少路段是今年垮，明年邻近位置又垮，相同位置重复发生灾害的现象十分明显。2010年雨季，索通村对岸泥石流沟发生大型泥石流，造成400 m路基和一座拱桥损毁，下游多处路段发生水毁。2015年雨季，索通村山后的泥石流沟暴发泥石流，殃及重建不久的一座中桥和下游部分路段[10]。

灾害的交替性是同一地区不同时间出现不同的灾害，受灾害控制因素的影响，同一地点诱发灾害的控制因素有所不同，导致发生灾害的种类有所变化。如102滑坡群2#滑坡，在保通治理前，该路段的灾害先期以下边坡坍塌为主，后期受河流不断冲刷影响，逐渐演化成大型大滑坡，导致路基无法成型，造成公路断通。保通治理后，滑坡得到有效治理，但上边坡受地下水影响，产生的坡面泥石流和崩塌时常发生，给过往车辆带了很大的威胁。再者，公路沿线泥石流并非年年都发生泥石流灾害，多数情况以山洪和泥石流交替出现，即便是泥石流暴发，也因固体物质补给量和物质组成的差异，泥石流的规模和性质、类型均不相同，也多出现稀性和粘性的交替性。古乡泥石流1964年前多为粘性泥石流，1965－1979年粘性与稀性泥石流交替出现，1980年代以来，则多为稀性及水石流[4]。

3　川藏公路地质灾害密集频发评价分区

川藏公路沿线的孕灾环境决定了沿线灾害的类型和分布特征，也决定了灾害发育的密集程度和频率。对川藏公路地质灾害密集频发性进行评价分区，可直观反映公路地质灾害区域差异，有助于系统掌握川藏公路各段落的地质灾害分布规

律与密集频发程度，为公路选线、工程设计及升级改造提供翔实可靠的基础依据。

目前，研究者基本是从公路地质灾害危险性与风险性的角度进行评价[22-32]，齐洪亮[27]还对受灾体损失大小对破坏损失进行了评价，采用的评价方法有：模糊综合评判法、层次分析法、多元统计模型、多因素叠加法等，而对地质灾害密集频发性的评价少之又少。为使评价过程直观，可操作性较强，评价结果更加符合实际，以理论分析为基础，考虑工程实际的影响为目的，采用了多因素叠加法，对川藏公路地质灾害的密集频发评价分区。

评价模型为：

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i A_i 。 \quad (1)$$

式中：P 为公路地质灾害频发等级；P_i 为各评价指标权重值；A_i 为各评价指标评价分值。

3.1 评价指标体系的建立

公路地质灾害分区时，很难全面反映所有影响因素，为了合理确定评价指标，更好的体现实际情况，突出主要因素，忽略次要因素为原则。

依据川藏公路重大地质灾害地质环境与致灾机理，采用4分制分值将公路沿线泥石流、滑坡、崩塌、水毁和溜砂五种灾害的频发性划分为四个等级，雪害因受海拔和季节影响因素大，地域性和时域性较明显，涎溜冰和路基翻浆分布范围有限，不对其频发性评价分区。高频发性的指标为4分，中频发性的指标为3分，低频发性指标为2分，不频发区指标为1分。列举泥石流灾害的评价指标和分级如下：

表2 泥石流灾害频发评价指标分级与分值

评价指标		指标分级			
一级指标	二级指标	不频发	低频发	中频发	高频发
地形地貌	地貌类型	丘状山岭区	宽缓河谷区	U型峡谷区	V型峡谷区
地质特征	岩土类型	完整岩	破碎岩	密实土	松散土
气象水文特征	年平均降雨量/mm	<400	400~600	600~800	>800
	冰川	无冰川	不发育	较发育	发育
环境特征	地震烈度	<6	6~7	7~8	≥8
	植被覆盖率/%	>80	80~55	55~30	<30
评价分值	1	2	3	4	

本文选用德尔菲法作为评价指标权重的确定方法。泥石流灾害权重的结果如表3所示。

表3 泥石流灾害频发评价指标权重值

指标	地貌类型	岩土类型	年平均降雨量	冰川	地震烈度	植被覆盖率
权重	0.35	0.25	0.20	0.05	0.05	0.10

3.2 地质灾害密集频发评价分区

在AcrView平台下，以30 m高分辨率的DEM数据做为基础地理底图，结合调查统计所获得的全线地质灾害点，对川藏公路地质灾害走廊运用栅格数据处理方法进行单元网格剖分，为了提高精度和真实性，每个单元面积取500 m×500 m。采用多因素叠加法作为评价方法，以频发评价指标体系和评价分区方法为基础，按照泥石流、滑坡、崩塌、水毁和溜砂各单灾种分析评价每个单元，将地质灾害数字化结果划分各单元，最后根据级别(值)大小划分不同频发程度区间。

川藏公路沿线泥石流灾害密集频发性，按照其地貌类型、岩土类型、年均降雨量、冰川发育程度、植被覆盖率和地震等6种评价指标，划分为高、中、低三个不同频发程度等级的分区，再结合公路所处的微地貌特征，进一步划分为12个地段。

滑坡灾害密集频发性，按照其地貌类型、地质构造、岩土类型、年均降雨量、河流冲刷和地震等6种评价指标，划分为高、中、低三个不同频发程度等级的分区，6个地段。

崩塌灾害密集频发性，按照其地貌类型、坡高、地质构造、岩体完整性、年均降雨量和地震等6种评价指标，全路段划分为高、中、低三个不同频发程度等级的分区，12个地段。

水毁灾害密集频发性，按照其地貌类型、岩土类型、年均降雨量、河流流速和河流形态等5种评价指标，划分为高、中、低和不频发四个不同频发程度等级的分区，23个地段。

溜砂灾害密集频发性，按照其地貌类型、岩体完整性、年均降雨量、植被覆盖率和地震等5种评价指标，划分为高、中、低和不频发四个不同频发程度等级的分区，共5个地段。

参照单灾种密集频发分析方法，采用多因素叠加法，对泥石流、滑坡、崩塌、水毁和溜砂5种重大地质灾害的密集频发进行多灾种综合分析。评价指标为各灾种的频发等级分值，每种灾害的权重结合各灾害暴发时对公路的危害程度以及产生次生灾害的严重程度，通过德尔菲法综合确定。

评价模型：

$$P = P_1A_1 + P_2A_2 + P_3A_3 + P_4A_4 + P_5A_5 。 \quad (2)$$

式中：P 为综合频发等级；$P_{1,\cdots,5}$ 为各灾种权重值；

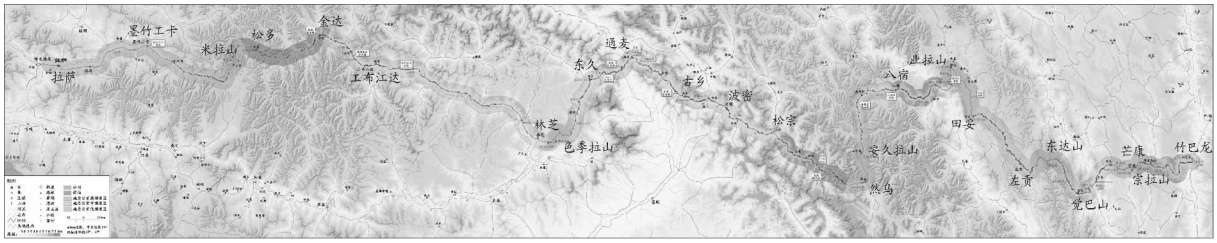


图9　川藏公路(西藏境)地质灾害密集频发分区图

$A_{1,\cdots,5}$为各灾种频发等级分值。

表4为地质灾害频发综合评价权重值表。

表4　地质灾害频发综合评价权重值表

灾害类型	泥石流	滑坡	崩塌	水毁	溜砂
权重	0.20	0.25	0.15	0.30	0.10

按照泥石流、滑坡、崩塌、水毁和溜砂等5种灾害，叠加计算后，全路段划分为三个频发程度等级，共23个分区：拉萨大桥至扎西岗低频区、扎西岗至米拉山中频区、米拉山越岭段低频区、米拉山至金达高频区、金达至林芝中频区、林芝至鲁朗低频区、鲁朗至东久中频区、东久至索通高频区、索通至古乡中频区、古乡至卡达高频区、卡达至松宗中频区、松宗至然乌高频区、然乌至安久拉低频区、安久拉至八宿中频区、八宿至怒江大桥高频区、怒江大桥至田妥低频区、田妥至东达山中频区、东达山越岭段低频区、东达山至登巴中频区、登巴至澜沧江大桥低频区、澜沧江大桥至拉乌中频区、拉乌至宗拉山低频区、宗拉山至金沙江大桥高频区(图9)。

从图9可见，川藏公路重大地质灾害密集频发区主要集中在东久至然乌的帕隆藏布沿江段、八宿西至怒江大桥的冷曲河沿溪段和宗拉山东至金沙江大桥的西曲沿溪段三大段。该三段地形陡峻，地质构造复杂，灾害类型多样，规模大，几乎每年都有暴发，暴发频率高，往往一种灾害的发生会诱发其它种类灾害同时发生，对公路破坏严重，平均每公里分布不小于2处，每公里危害公路长度不小于240 m；另外，米拉山至金达尼洋河上游沿溪段灾害密集频发区灾害类型较少，规模不大，危害相对前三段较低。

中频发区主要集中在墨竹工卡至米拉山的拉萨河支流上游沿溪段、工布江达至林芝的尼洋河下游沿溪段、田妥至东达山西的玉曲沿溪段、澜沧江大桥至拉乌段澜沧江流域沿溪段，其地形相对较缓，灾害类型较少，规模中等，以单灾种发生为主，数年暴发一次，频率较低，对公路危害一般，平均每公里分布1~2处，每公里危害公路长度60~240 m。

其余路段均为低频发路段，主要集中在拉萨河下游沿溪段和各山岭越岭段，地形平缓开阔，灾害类型少，规模小，分布零散，近十年至十几年暴发一次，暴发频率低，对公路危害轻微，平均每公里分布小于1处，每公里危害公路长度小于60 m。

4　结论

通过本文研究，对川藏公路(西藏境)地质灾害类型与分布规律得到以下结论：

(1) 通过现场调查和资料统计分析，沿线地质灾害点共1 583处，主要发育泥石流、滑坡、崩(坍)塌、水毁、溜砂、雪害，其次为涎溜冰和路基翻浆等八类灾害。对公路交通产生危害最大最直接的主要是泥石流、滑坡、崩(坍)塌、水毁、溜砂5种灾种，其中泥石流、崩塌、滑坡、水毁合计占总灾害数的94%，影响公路里程占总灾害影响长度的90%。

(2) 地质灾害在地形地貌、地质构造、地层岩性、新构造运动等内部因素和气候、水文环境等外部因素耦合作用下，具有密集性与广泛性，地域性、时域性和周期性，共生性、重复性和交替性三大独特区域性特征。

(3) 川藏公路全路段划分为高、中和低频发三个频发程度等级的分区，共23个段落，地质灾害高密集频发区主要集中在东久至然乌的帕隆藏布沿江段、八宿西至怒江大桥的冷曲河沿溪段和宗拉山东至金沙江大桥的西曲沿溪段三大段；灾害类型多样，规模大，几乎每年都有暴发，暴发频率高，对公路破坏严重，平均每公里分布不小于2处，每公里危害公路长度不小于240 m。

中频发区主要集中在墨竹工卡至米拉山的拉萨河支流上游沿溪段、工布江达至林芝的尼洋河下游沿溪段、田妥至东达山西的玉曲沿溪段、澜沧江大桥至拉乌段澜沧江流域沿溪段，灾害类型较少，规模中等，以单灾种发生为主，数年暴发一次，频率较低，对公路危害一般，平均每公里分布1~2处，每公里危害公路长度60~240 m。

低频发区为拉萨河下游沿溪段和各山岭越岭段，灾害类型少，规模小，分布零散，近十年至十几年暴发一次，对公路危害轻微，平均每公里分布小于1处，每公里危害公路长度小于60 m。

(4)利用高分辨率影像数据，采用多因素叠加法对川藏公路沿线重大地质灾害进行密集频发分区是快速有效的途径，对川藏公路升级改造、川藏铁路建设工作具有重要的借鉴价值。

参考文献:

[1] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 川藏公路病害整治工程可行性研究总报告[R]. 西安: 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 1992.
[2] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 国道 318 线川藏公路(西藏境)整治改建工程方案研究报告[R]. 西安: 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 2002.
[3] 西藏自治区志公路交通志编纂委员会. 西藏自治区交通志[M]. 北京: 中国藏学出版社, 2007.
[4] 朱平一等. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999.
[5] 吕儒平, 唐邦兴, 朱平一. 西藏泥石流与环境究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999.
[6] 中国科学院. 水利部成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通科学研究所. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
[7] 尚彦军, 杨志法, 袁广祥, 等. 雅鲁藏布江大拐弯北部川藏公路地质灾害发育与分布研究[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
[8] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 国道 318 线川藏公路(西藏境)102 滑坡群 2 号滑坡和如美沟路段整治工程可行性研究报告[R]. 西安: 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 1996 ~ 2001.
[9] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 国道 318 线川藏公路(西藏境)海通沟兵站至东达山段、牛踏沟至中坝段、松宗至古乡段、通麦至 105 道班等 7 个路段整治改建工程初步设计报告[R]. 西安: 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 2001 - 2016.
[10] 西安中交公路岩土工程有限责任公司. 国道 318 线川藏公路(西藏境)然乌至东久段水毁、业拉山至八宿段修复工程初步设计报告[R]. 西安: 西安中交公路岩土工程有限责任公司, 2010.
[11] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 国道 318 线工布江达至米拉山段公路改造工程初步工程地质勘察报告[R]. 西安: 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 2013.
[12] 孙鸿烈. 青藏高原的形成演化[M]. 上海: 上海科技出版社. 1996.
[13] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏第四纪地质[M]. 北京: 科学出版社. 1983.
[14] 汪阳春等. 西藏公路水毁研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2001, 12.
[15] 李家春, 黄丽珍, 田伟平, 等. 公路自然灾害类型划分[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2011, 2(1): 15 - 19.
[16] 王彦龙. 川藏公路沿线雪害与防治[M]. 北京: 海洋出版社. 1993.
[17] 吕立群, 王兆印, 漆力健等. 西藏古乡沟泥石流堰塞湖演化规律[J]. 泥沙研究, 2015, 10: 14 - 18.
[18] 李德基, 游勇. 西藏波密米堆冰湖溃决浅议[J]. 山地学报, 1992(4): 219 - 224.
[19] 吕儒仁, 李德基. 西藏工布江达县唐不朗沟的冰湖溃决泥石流[J]. 冰川冻土, 1986, 1(8): 61 - 71.
[20] 祝介旺, 苏天明, 张路青等. 川藏公路 102 滑坡失稳因素与治理方案研究[J]. 水文地质工程地质, 2010. 37(3). 43 - 47.
[21] 梁光模, 王成华, 张小刚. 川藏公路中坝段溜砂坡形成与防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003(4): 33 - 38.
[22] 丁继新, 尚彦军, 杨志法等. 川藏公路然乌—鲁朗段地质灾害影响因素定量分析[J]. 水文地质工程地质, 2005(4): 1 - 5.
[23] 王运周, 李志强. 甘肃省公路地质灾害区划指标体系研究[J]. 兰州交通大学学报(自然科学版), 2007, 26: 17 - 24.
[24] 王平. 基于地理信息系统的自然灾害区划的方法研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2000, 36(3): 410 - 416.
[25] 马寅生, 张业成, 张春山, 等. 地质灾害风险评价的理论与方法[J]. 地质力学学报, 2000(1): 7 - 18.
[26] 张春山, 吴满路, 张业成. 地质灾害风险评价方法及展望[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 96 - 102.
[27] 齐洪亮. 公路路基地质灾害评价及防治对策研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
[28] 江高. 模糊层次综合评价法及其应用[D]. 天津: 天津大学, 2005.
[29] 邱向荣, 袁仁茂, 许伟文. 公路边坡灾害危险性预测模糊综合评判法[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 26 ~ 28.
[30] 褚洪斌, 母海东, 王金哲. 层次分析法在太行山区地质灾害危险性分区中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 9, 14(3).
[31] 谢翠明. 基于 GIS 的公路地质灾害区域危险性评价与预测[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
[32] 陈洪凯, 唐红梅. 川藏公路地质灾害危险性评价[J]. 公路, 2011(9): 17 - 23.

Types and Distribution of Geological Hazards in Sichuan Tibet Highway (Tibet Border)

ZHU Jian, ZHU Dongchun and LIU Weimin

(1. *CCCC First Highway Consultants CO., LTD, Xi'an* 710075, *China*; 2. *Xi'an China Highway Geotechnical Engineering CO., LTD, Xi'an* 710075, *China*)

Abstract: The geological hazards of Sichuan Tibet highway (Tibet border) are characterized by many types, wide distribution, frequent activities, sudden and strong hazards. Through the field investigation of geological disasters and the statistical analysis of the existing data, there are 1583 types of geological hazards and 8 types of disasters. The most direct and most direct damage to road traffic are debris flow, landslide, collapse, water destruction, and sand slipping. According to the analysis of different geological conditions and different climate and hydrology environment along the Sichuan and Tibet highway, the geological disasters have three unique regional characteristics, such as denseness and universality, regional, time domain and periodicity, symbiosis, repeatability and alternation. On this basis, the multi factor superposition method is used to evaluate 5 major geological disasters in Sichuan Tibet highway, such as debris flow, landslide, collapse, water destruction and sand slipping. The results show that the whole section is divided into three regions with high frequency, medium frequency and low frequency, with a total of 23 sections and major geological disasters. The densely frequent occurrence areas are mainly concentrated in the three sections of the park Zangbu along the East long to the black, the eight Zangxi to the cold Qu River along the Nu River bridge and the West Qu River section of the Zang La Shandong to the Jinsha River bridge.

Key words: Sichuan Tibet highway; geological hazard; distribution rule; frequent occurrence; multiple factors superposition