

滇藏铁路滇西北段主要地质灾害类型 及发育规律的探讨

郭长宝, 雷伟志, 张永双, 刘景儒

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 滇藏铁路滇西北段位于青藏高原东南缘向云贵高原的过渡部位, 地貌复杂、峡谷深切, 新构造运动十分强烈, 地震活动频繁。该区的降雨主要集中在5~10月份, 降雨强度大且集中。复杂的地质环境加之降雨、人类活动等外部因素造成该地区成为崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害多发区, 常引起交通中断、毁坏房屋及人员伤亡事故。本文在野外地质调查的基础上, 着重阐述了滇藏铁路滇西北段主要地质灾害类型及发育规律, 对于减少和预防铁路遭受崩塌、滑坡和泥石流等的危害具有重要的理论和实际意义。

关键词: 滇藏铁路; 滇西北; 地质灾害; 发育规律

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

0 引言

滇藏铁路在云南省内从大理向西北经丽江、香格里拉至德钦, 再由德钦进入西藏(图1)。该线路由东而西穿越云贵高原西部横断山区、青藏高原东南部。复杂的地质演化历史导致铁路沿线地质环境条件极其复杂, 新构造运动十分强烈, 铁路工程建设在很大程度上受到新构造运动及内外动力地质作用产生的各类地质灾害的制约。

滇西北地区是我国地质灾害最严重的地区之一, 具有类型多、分布广、成灾快、灾害重、暴发频繁、治理难度大等特点^[1-5]。近年来, 随着该地区人口的剧增和工程经济活动的加强, 山地环境恶化, 地质灾害呈增长趋势, 已成为影响社会经济发展的重要制约因素。本文在野外地质调查的基础上, 着重阐述了滇藏铁路滇西北段主要地质灾害的分布、形成条件及发育规律, 对于减少和预防铁路遭受滑坡、泥石流等的危害具有重要的现实意义。

1 地质背景

研究区位于中国两大地貌阶梯: 青藏高原东南缘向云贵高原的过渡部位, 为扬子地台、松潘—甘孜块体和三江块体的结合部位, 构造背景甚为复杂。在印度板块向北推挤和青藏高原

收稿日期: 2006-02-27

基金项目: 中国地质调查局“滇藏铁路沿线地壳稳定性调查评价”项目(编号: 1212010541404)资助。

作者简介: 郭长宝(1980-), 男, 硕士研究生, 工程地质专业。E-mail: guochangbao@163.com。

原南南东向挤出叠加作用下，新构造运动十分强烈，表现为强烈的垂直差异运动和块体侧向滑移，以及 NW 向断裂右旋位移、近 SN 向和 NNE 向断裂左旋位移的断裂活动特征（图 1）。研究区自前古生代至新生代的地层均有出露。在区域地貌上，属强烈侵蚀切割的褶皱断块高山与深切河谷区，著名的长江第一湾（石鼓）、世界上最深峡谷之一（虎跳峡）及滇西北第一高峰（海拔 6740m 的梅里雪山）均位于本区，而三大河流（澜沧江、金沙江和怒江）的最低海拔低于 1500m，河流的切割深度可达 3000m 以上。

2 铁路沿线主要地质灾害类型及特征

野外地质初步调查表明，滇西北地区的主要地质灾害类型包括崩塌、滑坡和泥石流。根据野外调查和前人研究成果统计，滇藏铁路滇西北段穿越的大理州、丽江市及迪庆州 20 世纪 50 年代以来发生地质灾害中，有 94.1% 的泥石流和 84% 的滑坡发生在 6~9 月份，基本与云南省的雨季（5~10 月份）相吻合（图 2，图 3），并且灾害分布在区域上有从东南（大理州）向西北（迪庆州）逐渐减少的趋势。现结合滇藏铁路滇西北段地质灾害野外调查资料，概述各类地质灾害的主要特征：

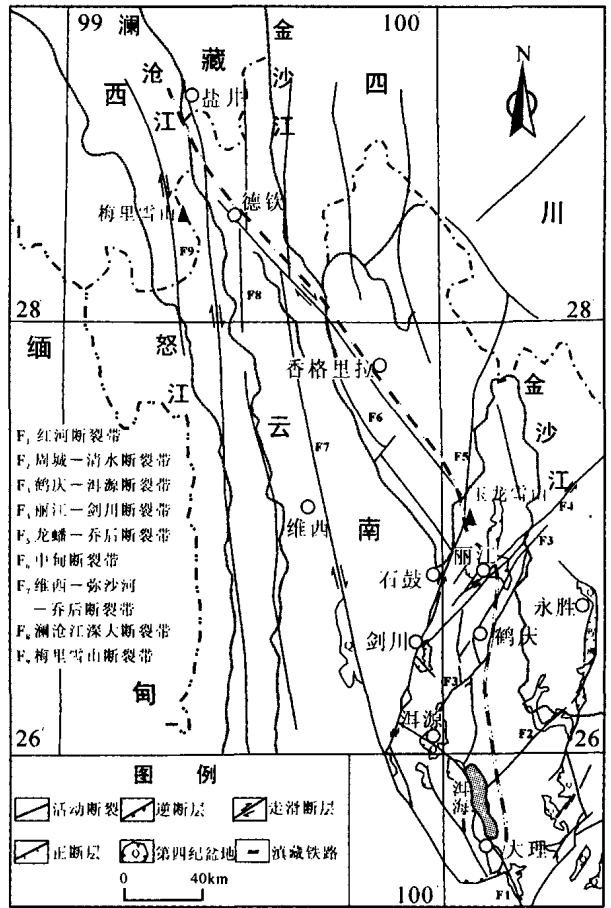


图 1 滇藏铁路滇西北段区域构造位置图

Fig.1 Regional tectonic map along the Yunnan-Tibet railway in NW Yunnan

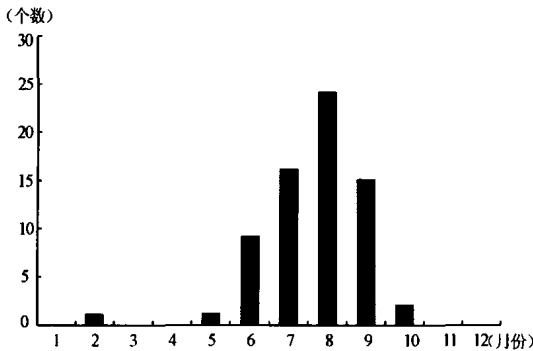


图 2 滇西北地区泥石流与月份关系 (1950~2001 年)

Fig.2 Relation between debris flows and months in NW Yunnan (1950 ~ 2001)

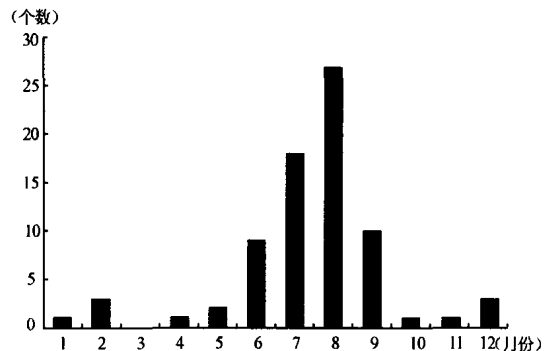


图 3 滇西北地区滑坡、崩塌与月份关系 (1950~2001 年)

Fig.3 Relation of landslides and avalanches with months in NW Yunnan (1950 ~ 2001)

2.1 崩塌

崩塌灾害主要发育于金沙江、澜沧江两岸及其支流深切谷地,在玉龙雪山和哈巴雪山等高山顶部陡峭地区也较为常见^[3]。崩塌主要形成于悬崖、陡坎(坡)部位,特别是公路开挖的高陡边坡,在其下部的平缓地带常形成大量崩塌堆积。在虎跳峡一带的金沙江两岸由岩石崩塌形成的倒石堆和坡积物随处可见。2005年8月,香格里拉虎跳峡镇通往三坝乡的公路上发生多起崩塌堵塞公路事件,以中虎跳核桃园附近(N27°14'14", E100°08'30")的岩石崩塌为例,崩塌体由大小碎石混杂堆积,平面形态呈扇形,碎石岩性主要为片麻岩,大的碎石粒径大于2m,一般以1~1.5m左右为主,崩塌堆积体为以大碎石为骨架夹杂碎屑粉状物质所组成,崩塌后边坡总体坡角约为45°,该崩塌体造成公路中断达一个多月。崩落的岩块常对行人安全造成威胁,沿江边坡陡峻地段常有滚石、坠石造成人畜伤亡事件。



图4 香格里拉县核桃园附近崩塌

Fig.4 Avalanche near Hetaoyuan in Shangrila County

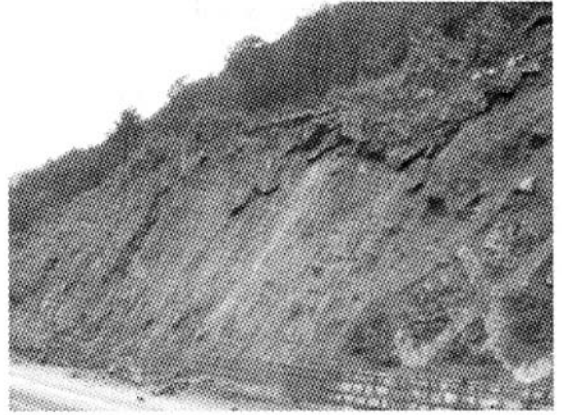


图5 丽江市214国道红粘土滑坡

Fig.5 Red clay landslide along the 214 National Highway in Lijiang City

2.2 滑坡

滇藏铁路滇西北段沿线碎屑岩类及岩浆岩分布范围较广,受构造影响,岩体破碎、完整性差,表层风化带较厚,加之坡面植被较差,斜坡表层受雨水冲刷及外营力作用强烈,易形成滑坡。区内滑坡规模以中小型为主,少数为大型甚至超大型,多见于金沙江沿岸及支流地区。在香格里拉县虎跳峡镇至小中甸镇,对214国道公路具有危害的滑坡达十几处,部分滑坡组成滑坡群,密集分布,滑坡体经常堵塞公路。2005年8月在214国道复线发生的多起滑坡堵塞公路,中断交通近一个月。滇西北许多老滑坡体现今仍不稳定,在降雨、地震、人类活动等因素诱发下极易再次活动。根据滑坡体的物质组成,大致可将本区的滑坡划分为四类:残坡积物滑坡、黏性土(残积黏土和湖相黏土)滑坡、岩质滑坡及复杂斜坡体。

2.2.1 残坡积物滑坡

受断裂构造影响,研究区内在斜坡体处、阶地后缘或较窄的沟谷两侧,坡积、残积物形成混杂堆积,以块碎石、粉质粘土为主,在基岩接触面或软弱夹层处极易形成滑动。例如,位于香格里拉县三坝乡小羊桥村北的滑坡即是典型的残坡积物滑坡,该滑坡位于东环线公路西侧边坡,边坡体主要由 P_2 基性火山岩构成,表层坡积物厚度5~10m。公路以上斜坡起伏,公路下方为格吉河支流,在降雨及下方河流的侧蚀作用下,斜坡失稳,致使峡沟大桥以北200m长的路段产生滑坡。滑坡体在各处变形有所差异,在南侧靠近峡沟大桥附近导致原

有的挡土墙产生破损，产生裂缝宽达5cm，北侧主要表现为路基下沉路面开裂，路面形成高30~40cm的错落台阶。目前该滑坡处于蠕滑阶段。

2.2.2 黏性土滑坡

(1) 红黏土滑坡

红粘土主要是碳酸盐岩（石灰岩、白云岩、大理岩）和玄武岩的化学风化产物，属于上新世末以来古红土化作用形成的红色风化壳，它们具有跨流域、跨纬度的分布特点。滇西北地区的风化壳具有红土化程度较高、颜色红、厚度大等特点。在工程上，具有独特的结构构造和物理力学性质，如孔隙大、密度低，粘粒含量和液塑限高，吸水能力强，并具裂隙发育和较强的失水收缩性^[6]。由于人工开挖和堆填，它们常构成长距离的路堑边坡，并往往引起边坡失稳、水土流失等环境工程地质问题。在笔者野外调查期间，可见国道214线虎跳峡镇至丽江段发育多处红粘土滑坡，甚至在有护坡的情况下仍然会发生破坏（图5）。铁路工程建设中对这类问题必须给予足够的重视。

(2) 湖相黏土滑坡

滇藏铁路滇西北段主要穿越鹤庆盆地、丽江盆地和中甸盆地等，盆地内发育厚度由数十米至上百米的第四纪湖相黏土。湖相黏土具有含水率高、强度低等不良工程特性，在香格里拉县小中甸镇的沟谷内可见多处由于人工开挖造成湖相黏土边坡失稳现象。

2.2.3 岩质滑坡 岩质滑坡在本区主要表现为顺层滑坡，当斜坡由层状坚硬岩层夹软弱岩层时，对斜坡的影响很大，特别是当其产状顺坡时，边坡地段常见滑动。1996年10月28日，香格里拉县境内下虎跳峡附近金沙江左岸滑石板处发生滑坡（图6），组成该斜坡体的岩性为 T_{21} 北衙组厚层白云质灰岩夹薄绢云母层，为顺向坡，岩层产状 $110^\circ \angle 48^\circ$ ，斜坡前缘因修路切坡改造过，在降雨作用下厚层白云质灰岩沿绢云母层发生滑动，形成长约300m、宽150余米，厚约30m的滑体，总方量约 $135 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。滑体下部冲入金沙江形成滑坡堆石坝，致使金沙江断流40多分钟。部分滑坡碎屑体冲至金沙江对岸，爬高100多米，并产生超前气浪，折断树木、毁坏庄稼。该边坡目前处于潜在不稳定状态，在内外动力联合作用下极易再次滑动。



图6 香格里拉县滑石板滑坡（镜像SW）

Fig.6 Huashiban landslide in Shanggrila (SW)



图7 香格里拉县虎跳峡镇冷都复杂斜坡体（镜像N）

Fig.7 Complex slopes at Lengdu, Tiger Leap Gorge Town, Shanggrila (N)

2.2.4 复杂斜坡体 滇西北地区复杂的地质演化历史,致使本区存在不少大型的复杂斜坡体,它们通常是在内外动力联合作用下形成的,由断裂带与滑坡交织在一起,因其常具有典型的滑坡地貌而被认为是巨型的滑坡体。例如,在虎跳峡镇硕多岗河河口与金沙江汇合处的左岸即发育一个这种类型的复杂斜坡体(图7),该斜坡体长1.5km、宽0.8km、高差达300m,体积达 $1.5 \sim 2.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,是在断裂构造和外动力作用下形成的,总体上,前缘为坡积、坡洪积堆积体,由巨厚的碎石与土的混杂堆积物组成,局部可见零星出露的滑带;中部基岩因断裂构造作用而支离破碎,后部陡壁处为崩塌落石堆积。该复杂斜坡体目前处于基本稳定状态,仅局部存在一些不稳定的次级滑坡体。

2.3 泥石流

滇西北地区的泥石流以暴雨型最为突出,夏秋两季泥石流较多,其中6~9月份发生的泥石流约占94.1%。滇藏铁路滇西北段受泥石流影响的区域主要集中在金沙江、澜沧江沿岸及其支流地区。香格里拉县虎跳峡镇至松坡约24km的硕多岗河段,次级支流发育泥石流沟12条,对公路有明显危害^[3]。香格里拉到西藏境内的盐井公路,由于沿澜沧江两岸切坡,导致公路线位以上的坡面型泥石流极为发育,尤其是德钦梅里石村一带分布坡面型泥石流达78处,只得将公路改走对岸,在10km范围内公路不得不修建两座横跨澜沧江的公路大桥^[5]。据笔者野外实际调查,该区泥石流主要有沟谷型泥石流和坡面型泥石流两种。

2.3.1 沟谷型泥石流 沟谷型泥石流主要发生于山区的雨季,流域常呈长条形,形成区多为金沙江、澜沧江两岸及其支流上游的沟谷。该类型泥石流的分布受地质构造和新构造运动影响较大,在滇西北急剧抬升区,被密集的近SN向、NW向和NNE向断裂切割(图1),在河流的强烈侵蚀下,地势高差大、坡度陡,沿断裂带软弱构造面发育、岩石破碎,为泥石流的发生提供了条件。典型的泥石流主要有香格里拉县三坝乡虎洛桥泥石流、三坝乡大羊场南3km处泥石流和香格里拉县三中南泥石流等。仅2005年8月间,在香格里拉县东环线旅游公路的虎洛桥、大羊场和吉那落村处发生了3处规模较大的该类泥石流。其中,香格里拉县三坝乡大羊场南3km处的泥石流位于金沙江支流花吉洛河上游($N27^{\circ}31'55''$, $E100^{\circ}02'03''$),泥石流流通区和沉积区长约200m,宽150m,泥石流沟口一带走向NNW,在沟口形成扇形地(图8),堆积物粒径最大可达80cm,厚度3~5m,堆积扇高出公路面1~1.5m。该泥石流曾造成公路堵塞、交通中断,对公路安全威胁较大。

2.3.2 坡面型泥石流 坡面型泥石流主要分布在坡度大、植被破坏严重的山坡,组成该类泥石流的物质偏粘性,其形成区和流通区无明显界限,且泥石流在形态上多呈狭窄条带状。在香格里拉县东环线三坝乡瓦刷坪子村南的山坡上发育坡面型泥石流(图9),由厚层灰岩构成的山体坡度 $50 \sim 60^{\circ}$,顶部可见灰岩陡壁,斜坡中下部残坡积物稍厚,在降雨作用下,沿植被稀疏带产生坡面流,造成山坡表面植被破坏,水土流失严重。

3 地质灾害发育规律及影响因素分析

3.1 地质灾害发育规律

根据野外调查,结合前人研究资料,滇藏铁路滇西北段地质灾害发育规律主要表现在以下方面:

(1) 以突发性地质灾害为主,类型包括崩塌、滑坡和泥石流。根据滑坡体的物质组成,滑坡又分为残坡积物滑坡、黏性土滑坡、岩质滑坡和大型复杂斜坡体。泥石流以暴雨型最为



图8 香格里拉县三坝乡大羊场沟
谷型泥石流

Fig.8 Dayangchang gorge type debris flow
in Sanba Town, Shangrila

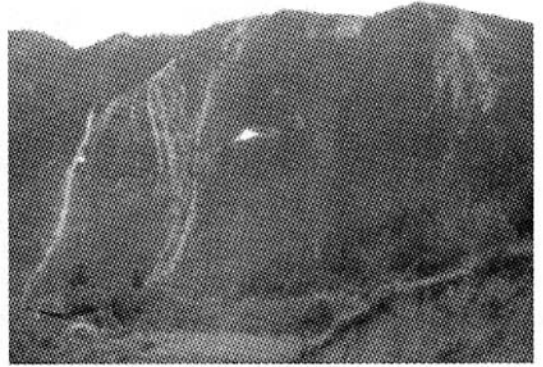


图9 香格里拉县三坝乡瓦刷坪子
坡面型泥石流

Fig.9 Washuapingzi slope surface type debris flow
in Sanba, Shangrila

突出，在流域形态上主要表现为沟谷型泥石流和坡面型泥石流。

(2) 地质灾害在区域和时间分布上有明显的规律，从该区滑坡、泥石流活动统计(图2, 图3)可知: 8月份崩塌、滑坡和泥石流活动最频繁, 7月份和9月份次之, 10月份逐渐减少, 并且灾害分布在区域上有从东南(大理州)向西北(迪庆州)逐渐减少的趋势。

(3) 崩塌、滑坡和泥石流沿金沙江、澜沧江及其支流广泛分布, 呈带状密集分布, 这些地区主要受构造影响, 地貌形态表现为深切割、山体陡峻, 并且滑坡往往同崩塌、泥石流同时发生, 并具有群发性特征, 在部分地区发育滑坡群, 对公路和居民设施有较大威胁。

(4) 该区地质灾害发育受多种因素影响, 具有危害性大, 发生频率高的特点。

3.2 主要影响因素分析

导致滇西北地区崩塌、滑坡和泥石流频繁发生的原因是多方面的, 其中地质构造、地形地貌、新构造运动、地层岩性、地震活动、气象及人类活动是最为重要的影响因素(表1)。

表1 滇西北各地州滑坡泥石流灾害点分布与诱发因素统计表

Table 1 Statistics of landslide and debris flow hazard sites and inducing factors in NW Yunnan

州、市	面积 (km ²)	泥石流				滑坡					崩塌			
		总数	降雨	地震	其他	总数	降雨	人工活动	地震	其他	总数	降雨	地震	其他
迪庆州	23155	8	8			3	2			1	2		1	1
丽江市	20530	21	20	1		25	20		3	2	4	3	1	
大理州	28282	39	35		4	33	23	4		6	9	5		4

(1) 地质构造、新构造运动、地形地貌

滇藏铁路滇西北段位于中国两大地貌阶梯: 青藏高原东南缘向云贵高原过渡部位, 同时它也位于横断山脉的东南段, 这两大特点造就了本区高山深谷的地貌特征, 坡地在滇西北地区占绝对优势。滇西北地区地质构造运动表现强烈, 断裂十分发育, 这些断裂规模大, 活动性强, 对地形的影响和对斜坡岩体的破坏作用很明显, 它们不仅控制着云南现代地貌的发育, 而且也基本控制了云南崩塌、滑坡和泥石流的发育及区域分布。

(2) 气象因素

滇西北地区地势北高南低, 主要山脉和河流的走向为 SN 向、SW 向和 SE 向, 有利于西南印度洋和东南太平洋暖湿气流的输入和深入, 降水季节性变化显著, 雨季的降水量可占全年降水量的 80%, 并主要集中在 5~10 月份, 降雨量丰沛且多暴雨, 因此经常诱发暴雨型泥石流。降水还(能够)降低岩土体强度, 促进松散碎屑物质的聚集, 为崩塌、滑坡和泥石流形成提供了条件。

(3) 地层岩性

岩土类型和性质是影响斜坡稳定性的根本因素, 也是泥石流物质组成和发生的重要因素。滇藏铁路滇西北段碎屑岩类及岩浆岩分布范围较广, 岩体破碎, 表层风化带较厚, 加之坡面植被较差, 斜坡表层受雨水冲刷及外营力作用强烈, 易形成滑坡和泥石流。另外黏土岩类、含软弱夹层的坚硬岩层和第四纪松散堆积体等在内外动力联合作用下亦常发生地质灾害。

(4) 地震

强地震可显著降低岩土体的强度, 破坏自然斜坡的稳定性。由地震引起的崩塌、滑坡和泥石流灾害在某些地区远远超过地震本身直接造成的灾害, 1996 年丽江 7.0 级地震就曾诱发至少 420 处中小型崩塌和 30 处大中型滑坡^[6]。地震还可使老的滑坡复活, 使衰退的泥石流转而旺盛发育。

(5) 人类工程活动因素

由于近年来人类对地表植被的破坏和部分工程建筑的施工, 破坏了斜坡的自然稳定状态, 加剧了山体的不稳定性。修筑公路和铁路, 大量切坡剥离废弃的土石弃入沟道中, 为泥石流的形成创造了丰富的固体物质条件; 部分坡面型泥石流也是当地村民采伐森林而诱发的。

4 结论与建议

野外地质调查表明, 滇藏铁路滇西北段的地质灾害类型以滑坡、崩塌和泥石流为主, 复杂的区域工程地质环境决定了铁路沿线地质灾害具有频率高、数量多、危害大等特点, 它们在空间和时间上具有群发性和集中诱发的特征。随着滇藏铁路不断地向深切河谷区规划, 今后遇到的地质灾害类型和成因将更加复杂, 尤其是一些大型或超大型的复杂滑坡体和冰川-冰雪融水型泥石流, 不仅影响铁路选线, 而且制约着未来铁路的运营安全。因此, 很有必要在野外调查、监测和室内试验测试、模拟等综合研究的基础上, 开展铁路沿线典型重大地质灾害的成灾机理研究, 探索地壳运动活跃地区内外动力耦合作用对各类地质灾害的控制作用以及重大突发性地质灾害的预测途径, 从而有针对性地指导减灾防灾, 促进工程建设区经济和环境的可持续发展。

致谢: 中国科学院地质与地球物理研究所曲永新研究员、赵希涛研究员参加了部分野外工作, 中国地质科学院地质力学研究所张春山研究员为本文提供了部分数据, 深表谢意!

参 考 文 献

[1] 李世成, 崔建文, 乔森, 等. 云南山地地震地质灾害对河流综合开发的影响 [J]. 地震研究, 2001, 24 (2): 140

~ 145.

- [2] 刘汝明. 云南公路的环境地质灾害及工程对策, 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13 (1): 57~69.
- [3] 吕伟, 杨丽珍, 王跃. 滇西北地区地质灾害的特征及防灾减灾对策 [J]. 玉溪师范学院学报, 2001, 17 (s): 88~89.
- [4] 唐川, 朱静. 云南滑坡泥石流研究 [M]. 北京: 商务印书馆, 2003, 1~60.
- [5] 杨子生. 云南金省沙江流域滑坡泥石流灾害区划研究, 山地学报, 2002, 20 (s): 88~94.
- [6] 袁绚. 云南红粘土的工程特性及其应用 [J]. 南昌水专学报, 2002, 21 (1): 59~62.

MAIN GEOHAZARD TYPES AND THEIR OCCURRENCE CHARACTERISTICS ALONG THE YUNNAN-TIBET RAILWAY IN NW YUNNAN

GUO Chang-bao, LEI Wei-zhi, ZHANG Yong-shuang, LIU Jing-ru
(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: The Yunnan-Tibet Railway in NW Yunnan is located at the transitional position of the southeastern Qinghai-Tibet Plateau to Yunnan-Guizhou Plateau, where landforms are complex, valleys are deeply incised, neotectonic movement is very intense and earthquakes occur frequently. The precipitation in the area is mainly recorded in May to October, when the rainfall is high and centralized. Because of the complex geological environment, combined with rain, human activities and other exterior factors, the area becomes an area of repeated occurrence of geohazards such as landslides, debris flow and avalanches, which often cause traffic interruption, destroy houses and cause casualties. On the basis of field geological investigations, the authors focus on the main geohazard types and their occurrence characteristics along the Yunnan-Tibet railway in NW Yunnan, which have important theoretical and practical significance for mitigating and preventing geohazards such as landslides, debris flows and avalanches that the railway might suffer.

Key words: Yunnan-Tibet Railway; NW Yunnan; geohazard; occurrence characteristics