

文章编号: 1006-6616(2004)01-0033-07

川藏公路林芝—八宿段地质灾害特征 及形成机制初探

廖秋林, 李 晓, 董艳辉, 李守定

(中国科学院地质与地球物理研究所工程地质力学重点实验室, 北京 100029)

摘 要: 川藏公路林芝至八宿段地质灾害尤为发育, 严重影响了川藏公路的安全运行。为有效防灾与减灾, 本文立足于野外考察和对已有资料的统计分析, 对该地区开展了区域性地质灾害研究。研究表明, 研究区域地质灾害有以下几个显著特征: 在分布上, 灾害发育密集、类型多、分段性显著; 成因复杂的松散堆积体是地质灾害的主要物质基础; 强烈的水岩作用和内外动力耦合作用是该地区地质灾害形成、发生的重要因素。本文为该区域地质灾害的成灾机理及其防治措施的研究提供了科学依据。

关键词: 地质灾害; 川藏公路; 地球内外动力耦合作用; 水岩作用

中图分类号: P694

文献标识码: A

0 前言

川藏公路西起西藏拉萨, 东至成都, 全长 2155km, 担负着进藏人员和物资运输的重要任务, 具有重大的国防意义。然而由于本区强烈的新构造运动、河流下切、降雨以及冰川运动等作用, 出现了许多山地地质灾害, 如崩塌、滑坡、泥石流等, 严重威胁着公路的正常运行。据资料^[1]统计, 位于通麦附近的 102 滑坡群在 1991~1994 年期间每年断道天数均超过 100 天, 给国家造成了巨大的经济损失。

为确保公路的正常运行, 许多科研设计单位针对地质灾害的形成机理及其防治做了大量工作。中国科学院成都山地灾害与环境研究所侧重于从自然地理学角度对川藏公路各种地质灾害的特点、形成机制等进行了研究, 认为川藏公路西藏境内的地质灾害分布最密、类型最多、频率最高, 是全线的“盲肠地段”^[1]。尚彦军等对该区域地质灾害的分布规律进行了研究^[2]。作者从地质学的角度对该区域地质灾害尤为发育的林芝至八宿段进行了考察。本文在总结前人研究成果的基础上, 结合野外地质调查成果, 总结了该区地质灾害发育的几个明

收稿日期: 2003-10-09

基金项目: 国家重点基础研究(973)项目(2002CB412702)和中科院知识创新工程项目(KJXC2-SW-L1-1)资助。

作者简介: 廖秋林(1977-), 男, 博士研究生, 现就读于中国科学院地质与地球物理研究所, 主要从事工程地质与地质灾害方面的研究工作。

显特点,以供在该地区地质工程工作中借鉴。

1 地质灾害发育密集、类型多、分段性显著

考察区地质灾害数量之大、类型之多在在我国实为少见。从林芝至八宿全长 427km,发育有各类地质灾害达 204 处,即相当于沿公路每 2km 就有一个崩、滑、流等灾害点^[2]。在公路的某些局部路段,地质灾害发育更为密集,如 102 道班附近在不到 3km 的路段上发育有大小滑坡 6 个,整个路段均受滑坡威胁;位于东久河沿岸的路段完全处于东久滑坡区或崩塌区;还有老虎咀段,沿路处处都有可能发生滚石。

从灾害类型上,研究区不仅发育有典型的崩塌、滑坡和泥石流,还发育有地区特色的溜沙坡、滚石、冰雪滑坡等地质灾害。该区泥石流几乎具备了其所有的存在形式,如冰川泥石流、混合型泥石流、冰湖溃决型泥石流和暴雨泥石流等。其滑坡的种类则主要发育于高陡边坡和岩石松散破碎的峡谷地段,以松散堆积体崩塌、滑坡为主。

不同类型的地质灾害以不同方式危及着川藏公路的正常运行。首先,大范围分布的泥石流和滑坡对公路的影响最为严重。古乡沟泥石流在 1953 年 9 月大规模爆发的前后十几年中多次造成公路中断,并直接摧毁了大量农田和房舍;2000 年 4 月的易贡大滑坡间接冲毁了通麦大桥;还有 102 滑坡群、东久滑坡群和培龙沟泥石流等都间歇性地毁坏公路,并造成了一定的人员伤亡和经济损失。其次,位于公路 84 道班附近的溜沙坡往往在公路路面上堆积大量沙砾,而造成公路中断。位于 84 道班附近和老虎咀的滚石则长期危及着过往车辆、行人及公路路面等建筑物。

从灾害的规模上,该区地质灾害有特大、大型、中型和小型等多种类型。2000 年 4 月发生的易贡特大滑坡,其方量达 3 亿立方米,是世界第二大的滑坡,该滑坡在 1900 年还发生过,方量近 5 亿立方米;1953 年爆发的古乡沟泥石流堆积扇面积达 4km²,总堆积方量达 1.5 亿立方米,爆发前后影响公路运行近 30 年。沿公路分布的大型地质灾害较多,102 滑坡群、东久滑坡群、培龙沟泥石流、拉月大塌方和加马其美沟泥石流等灾害的方量均有数百乃至上千万立方米。方量较小的中小型滑坡、泥石流、崩塌和滚石等地质灾害在考察区沿途分布更为广泛。

该区地质灾害的分布具有明显的分段性。中国科学院成都山地灾害与环境研究所根据地质灾害分布的密集程度和对公路的危害性等特点将该区划分为三个区段^[1],如图 1。

I 区:灾害极严重区段,位于公路 102~108 道班之间。该路段全长 60km,发育有泥石流 21 条、滑坡 20 个。该区段以特大、大型地质灾害为主。

II 区:灾害严重区段,位于公路 98~102 道班之间和 80~87 道班之间。这两个路段分别长 42km、20km,分别发育地质灾害 18 个、70 个。该区段以中小型地质灾害为主。

III 区:灾害一般严重区段,位于公路 87~98 道班近 110km 的帕隆藏布沿江路段。该路段发育有 26 条泥石流和一些小滑坡、崩塌等。

地质灾害严重程度的分区对于公路防灾、减灾有重要的指导意义。但对于地质灾害分段性的成因、机理的认识更是灾害治理的基础,也是一个有待于深入研究的问题。

2 松散堆积体是地质灾害的主要物质基础

地质灾害的形成必须以一定地质体为载体,地质载体的组成和结构的不同对于地质灾害

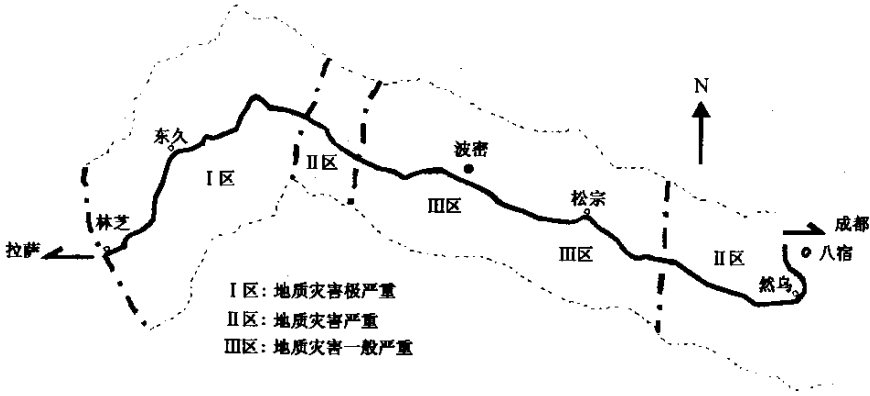


图 1 川藏公路林芝至八宿段地质灾害区划图

Fig.1 Divisions of geological hazards along the section from Nyingchi to Baxoi of the Sichuan-Tibet Highway

形成与演化的影响也不同。例如，三峡库区大部分区域均有由多次残坡积和冲洪积作用形成的堆积物，该地区发育有古滑坡和老滑坡上千个。而在我国西北黄土高原地区，由于地层单一、土体稳定性较好，地质灾害却较为少见。可见，地质灾害的发育与其依存的物质基础有着密切关系。稳定性较好的完整岩土体不易形成灾害，而碎裂岩体和多次堆积作用而成的松散堆积体等岩体强度和稳定性较差的地质体则有利于地质灾害的发生。

在川藏公路沿线，考察区出露的岩性特点尤为显著，即该区地表大范围内分布有松散堆积体。据考察结果和《西藏自治区区域地质志》等资料^[3-5]，该区出露的岩性主要有：

①第四纪 250 万年以来的松散地层、第四纪末次冰期以来的冰碛物和冲洪积物。

②现代环境下形成的残坡积物、现代冰碛物、崩塌滑坡堆积物、雪崩岩屑锥、风化物及各自然垂带上的土壤层。

③局部地段出露基岩，其岩性多为花岗片麻岩、花岗岩等。

考察区地处青藏高原南部，第四纪以来多次强烈的冰川作用形成了大量的冰碛物。此外，现代地质时期，由于强烈的地壳抬升和亚热带暖湿气候的影响，强烈的风化作用使该地区地表出露的基岩大部分风化为一些松散物质。这些堆积物大多具有结构松散、成分复杂且不均匀和稳定性差等特点，这为该区地质灾害的发育提供了有利的物质基础。

从所考察的地质灾害来看，该区地质灾害基本以松散堆积体为物质基础。首先，泥石流的物质基础为松散堆积体，这是毋庸置疑的。该区泥石流的物质基础均为风化、卸荷、冻融和冰川等外动力作用和滑坡、崩塌堆积作用形成的土石混合物，且其结构都较为松散。其次，本考察区的滑坡、崩塌也基本发育于各种松散堆积体之中。本文对于该区特大型和大型滑坡做的调查显示，在所调查的 6 个滑坡中有 5 个滑坡的物质基础为不同成因的各种类型的松散堆积体，如表 1 所示。这表明，该地区发育的滑坡大多以松散堆积体为物质基础。图 2 为 102 滑坡纵剖面，反映了该滑坡发育于由第四纪冰川作用形成的古冰碛物和一套冲洪积物堆积组成的松散地层中，其厚度分别为 256.40m、182.61m^[1]。最后，值得讨论的是溜沙坡和滚石的物质基础。这两种灾害的物质基础都是位于斜坡上的基岩，但其直接形成地质灾害的却是基岩通过风化作用形成的沙砾或块石。因此，溜沙坡和滚石的发育也与松散堆积体直接相关。

表 1 川藏公路林芝至八宿段典型滑坡物质基础特点*

Table 1 Characteristics of material foundation of typical landslides from Nyingchi to Baxoi of the Sichuan-Tibet Highway

名称	方量 (m ³)	地表出露岩性	物质成因
拉月大塌方	2×10 ⁷	花岗片麻岩	原生岩体
易贡特大滑坡	3×10 ⁸	冰碛物、坡积物	冰川、风化作用强烈
加马其美沟滑坡	1×10 ⁶	碎块石土	风化、冻融作用下, 岩体破碎
东久滑坡群		第四纪松散堆积卵石层	河流沉积作用
松宗滑坡		冰水沉积物、坡积物	冰湖沉积和河流沉积作用
102 滑坡群	5.1×10 ⁶	新、老冰碛物和冲洪积物	冰川作用、坡积作用和冲洪积作用

* 表中部分内容参考了文献 [1] 的研究成果。

3 地质灾害受强烈的水岩作用影响

水岩作用是指不同形式的水(地表水、地下水、雪水)和工程岩土体不断地进行着力学、物理、化学作用, 并对岩土介质的特性和状态产生不利影响。考察区位于雅鲁藏布江大拐弯北部, 受印度洋暖湿气流影响, 降水丰沛, 年平均降水量近 1000mm, 且雨季集中降水量大; 强烈的新构造运动和第四纪冰川作用造就了

该地区高山峡谷的地形地貌; 松散堆积体在该地区地表分布广泛。这些使得该地区具备了良好的水岩作用条件, 也导致了该地区强烈且形式多样的水岩作用^[7]。据调查, 该地区存在的水岩作用形式有冰川作用、冻融作用、河流冲刷作用、岩土软化、潜蚀以及地下水的力学效应等, 它们均影响着分布于考察区的地质灾害的形成、发生。

水岩作用对于地质灾害的形成有着重要意义。首先, 水岩作用是该地区地质灾害(包括泥石流和滑坡)物质基础形成的主要形式。该地区强烈的冰川作用产生的大量冰碛物构成了许多斜坡的物质基础^[6], 如 102 滑坡所在的斜坡近 400m 厚的松散堆积体中冰碛物近 300m 厚。强烈的冻融作用使岩土体反复经历这种“冰-水-冰”循环, 并导致岩土体裂隙持续拓宽、发展, 大大加剧了岩石的风化。2000 年发生的易贡滑坡 3 亿立方米的物质源绝大部分是在这种条件下形成的。其次, 水岩作用对于地质灾害的形成有一定控制作用。岩土软化作用使潜在灾害地质体岩土体的强度大大降低, 从而降低了整个灾害体的稳定性。潜蚀作用则将松散堆积体中的细小颗粒物带走, 架空了松散堆积体中的块石, 使其结构更加松散, 强度和稳定性均大打折扣。潜蚀还很可能沿斜坡某一层面带走大量细粒物质, 使该层强度大大

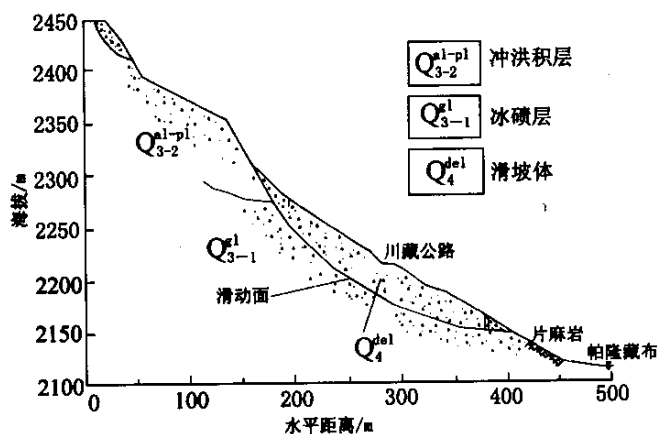


图 2 102 滑坡工程地质剖面

Fig.2 Engineering-geological profile of No. 102 landslide

降低，形成潜在滑动面，例如 102 滑坡的许多次级小滑坡的滑动面就是潜蚀作用形成的。由于考察区多为高山峡谷地形地貌，河流冲刷作用在本区相当显著。据观测帕隆藏布的年平均径流量约 $500\text{m}^3/\text{s}$ ，最大时可达 $1200\text{m}^3/\text{s}$ ，历史最大洪水最大流量为 $7990.47\text{m}^3/\text{s}$ ，流速为 $7.52\text{m}/\text{s}$ ，冲蚀高度 2.88m 。可见，其冲刷作用非常强烈。河流冲刷作用主要体现在对斜坡坡脚的侵蚀，使斜坡阻滑力减小，从而降低斜坡的稳定性。考察区 102 滑坡群、松宗滑坡、东久滑坡和加马其美沟滑坡等滑坡坡脚都在不同程度上受到河流冲刷的影响。

降雨和冰雪融水是考察区地质灾害发生的主要诱发因素之一。该地区冰川发育，由于地区气温较高冰川积累消融强，大量的冰雪融水极易诱发泥石流，如古乡沟泥石流、培龙沟泥石流等。该地区年平均降水达 1000mm ，且降雨较集中。在暴雨作用下，则极易形成坡面泥石流，如加马其美沟反复活动的泥石流。此外，该地区还有许多由冰雪融水和降雨混合作用诱发的泥石流。冰雪融水和降雨对泥石流的诱发机理基本相同。大量的水经过泥石流沟时大大增加了沟中松散堆积体的自重及其静水压力和动水压力，从而使这些松散堆积体突然失去平衡爆发泥石流。

对于滑坡而言，降雨和冰雪融水同样是一个重要的诱发因素，水对其诱发机理与泥石流基本相同。降水对于该区的滚石灾害的诱发更为明显。对于任意一块静止于斜坡或陡崖的石块，一方面，地表水沿坡面形成的径流对突出坡面的石块产生很大推力，另一方面，水对石块与斜坡接触面之间的充填物的冲刷使石块的稳定系数减小。在这两方面的影响下，这些石块受降雨和冰雪融水的冲刷很容易滚动或滑动，从而形成滚石灾害。

4 地质灾害是地球内外动力耦合作用的结果

地球动力系统可分为内动力作用和外动力作用两类。通常将滑坡、泥石流和山崩等归为外动力地质灾害，在对这些地质灾害的研究中也往往倾向于只考虑外动力的单成因分析。实际上，在内动力作用活跃地区，内动力对地质灾害的形成、发生都起着重要作用。

本研究区地处喜马拉雅运动影响最强的青藏高原南部。在印度板块对欧亚板块俯冲的作用下，该地区的内动力作用尤为活跃，主要为强烈的地壳抬升和地下深部的挤压变形，表现在上升速度的不一致。当内动力作用在深部是挤压作用时，地壳上隆使地表山体中出现侧向拉应变，促进地壳初始高压应力的释放，造成结构松弛，自然有利于山体的解体和山崩、滑坡、泥石流的频繁发生^[8,9]。此外，本研究区地震比较发育。一方面，地震本身就是一种内动力地质灾害；另一方面，它还在不同程度上影响着滑坡、泥石流等灾害的发生。如 1897 年印度阿莎 8.7 级特大地震导致了 1900 年易贡滑坡的发生^[4]；1950 年察隅 8.5 级大地震也影响了 1953 年古乡沟泥石流的爆发^[3]；1982 年 4 月帕隆藏布流域 5.3 级地震离 102 滑坡仅 6.5km ，是 102 滑坡开始变形的重要触发因素。

另一方面，该地区的外动力作用也非常强烈，如风化作用、冰川作用和河流冲刷作用等都有利于地质灾害的发生。由于这方面的研究较多，在此不再赘述。

值得注意的是，在这个内动力活跃的地区，内动力作用不仅直接影响着地质灾害的形成，还通过外动力作用影响着地质灾害的发生。笔者认为，本研究区的地质灾害是地球内外动力耦合作用的结果。外动力作用主要是夷平作用，是促使山体解体和剥蚀，造成岩土体的运移并在低洼地区堆积。而本研究区内动力作用使山体上升、挤压变形，形成一系列的挤压山脉和山间盆地。在内动力作用的过程中也在山体中产生了一些潜在的弱面或弱带，外动力

作用则可能在山体中产生新的弱面并使这些弱面(带)更弱,从而导致山体处于一种极限平衡状态;在外动力(降雨等)或内动力(地震等)的诱发下山体或山体局部的势能趋于降低,形成滑坡、泥石流等地质灾害。在内动力作用下,山体进一步抬升,势能增加,形成地质灾害的再次发生的条件。正是这种内外动力耦合作用使得本研究区地质灾害频繁发生。如易贡特大滑坡在1900年发生5亿立方米的滑坡之后100年,即在2000年4月又发生了3亿立方米的滑坡。

5 小结

通过以上讨论,对川藏公路林芝至八宿段区域性地质灾害的研究提出了四点认识以供借鉴。同时,也引出了一些值得深入研究的问题。

(1) 在本研究区地质灾害非常发育且具有明显的分段性,而其中的内在原因仍有待于进一步研究。

(2) 各类松散堆积物在该区广泛分布,也是大多数地质灾害的物质基础。

(3) 该区水岩作用非常强烈,也是影响地质灾害的重要因素之一。河流冲刷作用对滑坡的影响从定性上有一些结论,但从定量上其作用机理仍不清楚。

(4) 地球内外动力耦合作用是该地区地质灾害发生的动力来源,对于内外动力耦合作用的机理及其对地质灾害的影响还需进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所,西藏自治区交通厅科学研究所. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 四川:成都科技大学出版社. 1999.
- [2] 尚彦军,杨志法,廖秋林,等. 雅鲁藏布江大拐弯北段地质灾害分布规律及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报. 2001, 12(4): 30~40.
- [3] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 1993.
- [4] 西藏自治区地质矿产局. 区域地质调查报告(八宿幅、松宗幅)(地质部分)[R]. 1994.
- [5] 西藏自治区地质矿产局. 区域地质调查报告(通麦幅、波密幅)(地质部分)[R]. 1995.
- [6] 中国科学院青藏高原综合考察队. 西藏自然地理[M]. 北京:科学出版社. 1982.
- [7] 廖秋林,李晓,尚彦军,杜国栋. 水岩作用对雅鲁藏布大拐弯北段滑坡的影响[J]. 水文地质工程地质, 2002, 29(5): 19~21.
- [8] 王思敬. 典型人类工程活动与地质环境相互作用研究(二)[R]. 国家自然科学基金“八五”重点项目. 北京:地震出版社. 1995.
- [9] 王思敬. 地球内外动力耦合作用与重大地质灾害地成因初探[J]. 工程地质学报. 2002, 10(2): 115~117.

CHARACTERISTICS AND FORMATION MECHANISM OF GEOLOGICAL HAZARDS ALONG THE SECTION FROM NYINGCHI TO BAXOI OF THE SICHUAN-TIBET HIGHWAY

LIAO Qiu-lin , LI Xiao , DONG Yan-hui , LI Shou-ding

(*Key Laboratory of Engineering Geomechanics , Institute of Geology and Geophysics , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100029 , China*)

Abstract : Geological hazards along the section from Nyingchi to Baxoi of the Sichuan-Tibet Highway are especially severe and have seriously affected the safe riding along the highway. In order to prevent and reduce disasters effectively , regional geological hazards have been studied in the area on the basis of the field investigations and statistic analysis of available data. The results show the following three prominent characteristics of hazards in the area : in terms of distribution geologic hazards are close-spaced , have many types and are notably divided into sectors ; loose Quaternary deposits of complex origin form the main material foundation of geological hazards ; intense water-rock interaction and coupling of endogenic and exogenic forces are the important factors for the formation and occurrence of geological hazards in the area. This paper provides a scientific basis for the study of the mechanism of occurrence of the geological hazards in the area and measures for their prevention and control.

Key words : geological hazard ; Sichuan-Tibet Highway ; coupling of endogenic and exogenic dynamic forces ; water-rock interaction

(上接第 96 页)

AGE OF THE JIAWA FORMATION AND ENVIRONMENTAL EVOLUTION OF LITANG COUNTY , SICHUAN PROVINCE

WANG Shu-bing^{1,2} , Jiang Fu-chu^{1,3} , TIAN Guo-qing¹ , Fu Jian-li¹ , ZHAO Zhi-zhong¹ , XU Qing-hai⁴

(1. *Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 ;*

2. *State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology , Chinese Academy of Sciences , Xi'an 710075 , Shaanxi ;*

3. *Open Laboratory of Lake Sediment and Environment , Chinese Academy of Sciences , Nanjiang 210008 , Jiangsu ;*

4. *Institute of Geography , Planning Commission of Hebei Province , Sijiazhuang 050061 , Hebei , China*)

Abstract : The Jiawa Formation in the Jiawa Basin , Litang County , Sichuan Province , is a sequence of loose fluvio-lacustrine deposits about 300m deep. According to the magnetostratigraphic , the B/M boundary is located at 157.0m depth in the middle part of the section and the Olduvai normal polarity chron is recorded at the bottom. According to Cande and Kent's polarity time scale , it can be inferred that the deposition of the Jiawa Formation started at about 2.10 Ma BP and ended at about 0.10 Ma BP. On the basis of sporopollen analysis , the vegetation changed from subalpine conifer forest to alpine meadow , and the sedimentary environment varied from fluvial-lacustrine facies to alluvial facies.

Key words : Jiawa Formation ; magnetostratigraphy ; sporopollen ; Litang County