

川藏公路地质灾害及其防治对策研究

——以八宿至林芝路段为例

杨志法 尚彦军 张路青 许兵 等著



科学出版社
www.sciencep.com

川藏公路地质灾害及其 防治对策研究

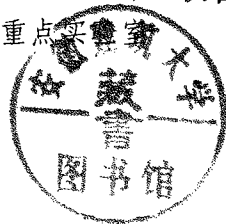
——以八宿至林芝路段为例

杨志法 尚彦军 张路青 许 兵 等 著

中国科学院知识创新工程方向项目(KZCX2-306)

国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412701) 联合资助

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



科学出版社

北 京

内 容 简 介

在前人研究成果基础上,本书以工程地质力学综合集成方法论为手段,针对川藏公路沿线地质灾害严重的八宿至林芝路段开展了较系统的工程地质力学研究。研究成果为地质灾害频发路段的整治工作提供了科学依据,一系列理论、方法和技术成果也颇具创新性。

本书可供工程地质相关研究人员、工作人员、从事工程设计、施工的工程技术人员,以及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

川藏公路地质灾害及其防治对策研究:以八宿至林芝路段为例/杨志法等
著. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-016015-0

I. 川… II. 杨… III. ①道路工程—地质灾害—研究—四川省②道路工程—地质灾害—研究—西藏 IV. U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 084454 号

责任编辑:彭胜潮 王日臣 宛楠/责任校对:赵桂芬

责任印制:钱玉芬/封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 9 月第一次印刷 印张:21 1/4

印数:1—1 500 字数:492 000

定价:54.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序 言

川藏公路(南线)是我国西藏自治区的五大主干公路之一,它对西藏经济发展、西部大开发、增进民族团结和巩固国防等方面均有着重大的战略意义。在川藏公路(南线)所穿过的帕隆藏布流域(尤其从八宿至林芝路段),由于地壳强烈隆升、河流下切、降水丰富、风化严重等原因形成了陡峻地形,留下了厚度达数百米的古冰碛层和冲洪积层。这是该地区地质灾害形成的重要条件。泥石流、滑坡、崩塌、滚石、面状碎屑流、水毁、雪崩等地质灾害频发,且分布广、规模大;每逢雨季往往使交通受阻,损失严重,甚至造成车毁人亡。

为了在川藏线上实现防灾减灾,需要对之进行工程地质研究,尤其是在该地区工程地质研究几乎空白的情况下,更是如此。该书作者在前人研究成果的基础上,以工程地质力学综合集成方法论为手段,从该地区的复杂地质背景着手,针对地质灾害严重的八宿至林芝重点路段,较系统地开展了工程地质力学研究。这些研究不仅可以为这段 427km 长的地质灾害频发路段的整治工程设计提供科学依据,而且在学科上也取得了一些理论、方法和技术的成果,具有一定的创新性。

(1) 以工程地质力学综合集成方法论(EGMS)开展川藏线地质灾害成灾机理及防灾减灾对策研究,取得了很大的研究成果。

(2) 就八宿至林芝重点路段工程地质条件的定性和半定性-半定量评价及工程地质分区等问题,开展了详细研究。作者以工程地质条件评价为基础,将该重点路段分为 8 个区(又细分为 19 个亚区)。可以预见,这一分区成果不仅能为当前的川藏公路地质灾害整治工程设计提供科学依据,而且可望成为待建的川藏铁路设计的重要参考资料。

(3) 虽然我国是滚石灾害多发国家,但有关滚石研究的成果却远不及欧美国家。然而,该书中有滚石的研究水平与欧美国家相比,却毫不逊色。在详细地掌握国外相关研究资料的基础上,对八宿至林芝路段沿线滚石灾害的危害性及滚石发生的地质条件、运动规律、灾害评价、风险分析和防治区划、防治方法与技术等开展了系统研究,既有理论意义,又有实用价值。

(4) 在滑坡防治对策研究上,该专著也有独到的见解。例如,研究区内规模最大的 102 滑坡群对从坡面上穿过的川藏公路威胁很大,几乎是常滑常治,常治常滑。尽管动用了大量工程款项去整治,去保通这条重要交通大动脉的“咽喉”段,但还是因滑坡和治滑被迫停运而造成重大损失。作者提出采用隧道避滑的对策,既有创意,

又很有实用价值。希望他们继续研究,把问题搞细弄透,以便为 102 滑坡群的彻底根治提供科学对策。

(5) 该书不仅在理论上和方法上有所创新,而且在技术上也有不少创造性成果,作者在第 12 章论述的 4 项国家发明专利便是很好的创新性成果。尽管目前尚未应用到川藏线整治工程中,但可以相信,这些发明专利将会逐步用到包括川藏线在内的各种岩石工程加固上。

《川藏公路地质灾害及其防治对策研究——以八宿至林芝路段为例》一书,内容丰富多彩,读之有味、有益,故愿以此序将它推荐给读者。

中国工程院院士

王恩敬

2004 年 6 月

目 录

序 言

第1章 绪 论	1
1.1 川藏公路地质灾害及其防治对策研究的目的和意义	1
1.2 典型路段的确定	2
1.3 重点问题和主要内容	4
1.4 主要研究方法	14
1.5 各章安排及主要研究成果的特色	15
第2章 研究方法论问题	18
2.1 关于岩土工程系统问题的讨论	18
2.2 复杂巨系统方法论与工程地质力学的结合	22
2.3 工程地质力学综合集成方法在川藏公路防灾减灾中的应用	29
第3章 地质背景与自然环境	39
3.1 研究区地质构造框架	40
3.2 青藏高原隆升与演化	43
3.3 现代地质作用和东构造结抬升速率	44
3.4 藏东自然环境基本特征	46
3.5 地质背景与自然环境的地位与作用	51
第4章 工程地质条件及其分区	54
4.1 研究意义	54
4.2 基本思路	54
4.3 分区的一般方法	56
4.4 工程地质条件及其评价	57
4.5 工程地质区段的划分	66
4.6 讨 论	89
第5章 关系矩阵法在工程地质分区中的应用	90
5.1 工程地质评价有关方法	90
5.2 工程地质定量分区法	91
5.3 关系矩阵法在区划分中的应用	92
5.4 关系矩阵法在亚区划分中的应用	95
5.5 定量与定性评价结果对比	99
5.6 与前人分区结果对比	100

第 6 章 地质灾害分类、分布规律及防灾减灾策略	102
6.1 八宿至林芝段地质灾害的分类	102
6.2 主要地质灾害发生机理及分布规律	104
6.3 八宿至林芝段地质灾害频发原因分析	116
6.4 川藏公路地质灾害工程治理策略	119
第 7 章 典型地段水岩相互作用对地质灾害的影响	125
7.1 研究现状	125
7.2 研究意义	126
7.3 研究方法	127
7.4 水与地质灾害	127
7.5 土石混合体及其特点	129
7.6 川藏线土石混合体与滑坡	131
7.7 土石混合体滑坡的水岩相互作用	133
7.8 川藏公路典型水岩作用形式及其对地质灾害(滑坡)的影响	134
7.9 水岩作用分析在 102 滑坡群研究中的应用	137
7.10 结 论	141
第 8 章 滚石灾害	143
8.1 滚石灾害及其特点	143
8.2 研究动态	146
8.3 滚石灾害多发的背景	149
8.4 滚石灾害调查	153
8.5 滚石灾害影响因素的研究	168
8.6 滚石灾害评价	172
8.7 滚石灾害防护措施	179
8.8 几点结论	179
第 9 章 滚石灾害风险分析	180
9.1 滚石灾害的风险概念	180
9.2 滚石事件的频率估计	184
9.3 遭遇滚石的年平均概率	186
9.4 滚石事件引起死亡的概率	190
9.5 结 论	193
第 10 章 碎屑流灾害	194
10.1 概念和内涵	194
10.2 研究区岩屑坡分布特征	195
10.3 物质组成和结构特征	197
10.4 形成条件和发育类型	200
10.5 产生条件	202
10.6 发展趋势预测	204

10.7 防治措施及建议	204
第 11 章 102 滑坡及其防治对策	205
11.1 滑坡群路段的交通状况	205
11.2 102 滑坡群的自然背景	206
11.3 102 滑坡的基本特征	208
11.4 102 滑坡的稳定性分析	210
11.5 102 滑坡防治研究	217
11.6 隧道方案的可行性分析	218
11.7 结 论	221
第 12 章 边坡加固和工程地质勘察新技术	222
12.1 研究目的	222
12.2 川藏线边坡工程的加固新技术	222
12.3 工程地质勘察新技术	238
12.4 几点说明	240
第 13 章 滚石、面状碎屑流、滑坡等地质灾害防治方法	242
13.1 研究范围	242
13.2 研究思路	242
13.3 对地质灾害现有防治措施的评价	244
13.4 滚石、面状碎屑流和滑坡整治的建议方法	252
第 14 章 监测技术	274
14.1 岩土工程监测的一般目的和川藏线监测的主要目的	274
14.2 监测技术及其分类	275
14.3 监测系统的设计原则和一般设计方法	292
第 15 章 综合地质信息系统在工程地质分区中的应用	295
15.1 在工程地质分区中的应用意义	295
15.2 工程地质分区的可视化研究	298
15.3 工程地质分区可视化的实现	301
15.4 几点看法	306
第 16 章 虚拟现实技术及其在地质灾害整治方案中的应用	307
16.1 概 述	307
16.2 川藏公路地质灾害及其整治方法虚拟漫游系统	314
16.3 结 语	321
参考文献	323
后 记	331

第 1 章 绪 论

1.1 川藏公路地质灾害及其防治对策研究的目的和意义

川藏公路(南线)是西藏自治区的五大主干公路之一,也是 318 国道(上海—拉萨)的重要组成部分。该公路从成都至拉萨全长 2155km,在西藏境内长达 1286km。在地理上,它从东往西横穿横断山、念青唐古拉山、喜马拉雅山 3 大山系(共翻越折多山、高尔寺、剪子弯、卡子拉山、拉乌山、卡多山、业拉山、安久拉山、色季拉山和米拉山等 10 座海拔 5000m 上下大山垭口),并跨过长江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江 4 大水系。它在发展西藏经济、推进西部大开发、增进民族团结、巩固西南边陲的国防建设等方面均有着重大的战略意义。

由于该地区(尤其是八宿至林芝路段)地壳强烈隆升、河流下切、降水丰富、冰川运动活跃、风化现象剧烈、高山峡谷的陡峻地形和厚达数百米的古冰碛层和冲洪积层(例如,第 11 章将要重点讨论的 102 滑坡处的古冰碛层的厚度和冲洪积物的厚度分别达到 256.40m 和 182.6m)^[1],成为各种地质灾害的重要成灾条件。实际情况是,由于公路等级较低,对边坡、路基的防护措施不够完善,致使公路自身的抗灾能力较低,所以沿线所发生的地质灾害具有灾种多(包括泥石流、滑坡、崩塌、滚石、水毁、面状碎屑流、雪崩等)、规模大、分布广、成灾频度大(尤其是在西藏境内八宿至林芝路段)等特征。这些地质灾害的发生不仅致使多人伤亡,使国家财产蒙受损失,而且造成雨季阻车(在 20 世纪 80 年代,每年交通中断的时间竟长达半年之久)^[1],使各项工农业、军事物资和人员不能进出畅通,严重制约了西藏经济和国防建设的发展,受到有关部门的高度重视。

为了避免这种被动的局面,除加大公路整治和养护方面的投入外,有关部门还需组织力量对川藏公路沿线地质灾害的发生规律和防治效果进行科学研究。事实上,进入 20 世纪 90 年代之后有关科学研究一直在不断地进行着:1990 年 1 月中国科学院兰州冰川冻土研究所、成都山地灾害与环境研究所、西藏交通科学研究所共同开展了安久拉—鲁朗沿线的冰雪灾害及泥石流、滑坡等的综合考察;1994 年中国科学院成都山地灾害与环境研究所完成了来自西藏交通厅等主管部门的综合研究任务,提交了有关研究报告和 1:150 000 川藏公路西藏境内沿线山地灾害分布图,并出版了两部专著^[1,2];同年,中国科学院成都山地灾害与环境研究所、西藏交通科学研究所还完成了来自交通部的有关“川藏公路西藏境内卡贡弄巴(古乡)沟泥石流发展趋势及病害整治工程模型实验”的研究任务;1996~1998 年又陆续开展了西藏交通厅和西藏科委下达的“川藏公路 102 滑坡发展趋势及整治方案研究”、“川藏公路培龙沟路段山地灾害及整治改建方案研究”、“川藏公路西藏境内拉月路段山地灾害特征及改建方案研究”等项目的研究。经系统而深入的研究,取得了一系列科学水平高、实用性强的研究成果。实际上,这些丰硕成果已为川藏公路地质灾害的防治提供了科学依据。

为了使西藏地区经济建设得到更快的发展,为了使中国西部边陲国防更加稳固,从内地向西藏修建铁路势在必行。党中央、国务院已决策修建青藏线,并已投入建设。笔者相信,川藏铁路和滇藏铁路也将会修建,因为这是发展西藏经济、增进民族团结和巩固祖国西部国防的需要,也是西部大开发的需要。应当承认,川藏铁路对地质灾害的防护要求远高于现在的川藏公路。

对于原有的一系列重要科研成果应当给予充分肯定,但国家建设要求我们继续努力,开展更深入的研究,为现在的川藏公路和将来的川藏铁路建设提供更多的研究成果:

——随着西藏建设事业的发展,经过川藏公路输送的物资和人员将越来越多,为了满足现在和今后的运输经济合理和稳定的需要,还需进一步对沿线地质灾害的形成机理、合理的防治对策等问题进行更系统和更深入的研究;

——从长远看,为了满足川藏铁路建设的需要,还必须按照铁路地质工程的特点逐步深入地进行地质灾害研究;

——无论是现在的川藏公路,还是将来的川藏铁路,都是一个开放的复杂巨系统。问题的复杂性使我们走以多学科交叉、结合为特色的研究道路成为必然。在今后研究中,不仅需要强调地貌学、水文地质学和气象学的研究,还应强调地质学(尤其是构造地质学、工程地质学和环境地质学)、岩石力学、水力学等多学科交叉的研究。实际上,多学科的交叉结合本身也是一个系统。

对于如此复杂的系统还应注意方法论的研究。近几年来,各相关学科在技术上已有不小进步,如工程地质勘察技术、边坡稳定分析技术、边坡监测和加固技术等。这些技术的发展,使地质灾害防治对策之“武器”库又增加了不少强有力的“武器”。

根据上述分析,笔者认为中国科学院知识创新工程项目设立的“进藏公路铁路典型路段工程灾害减灾理论与对策研究”项目(KZCX2-306)是有远见的。本专著实际上是对该项目第3课题(包括工程地质分区、岩体边坡稳定性评价方法、水岩相互作用机理)有关研究工作的一次总结。自2003年底该课题结束以后,作者在国家重点基础研究发展规划项目《灾害环境下重大工程安全性的基础研究》(2002CB412701)资助下继续研究,并取得了重要成果。

1.2 典型路段的确定

首先需要确定本课题的研究重点。这至少将涉及以下几个基本问题:第一,在川藏公路和铁路两者之间以谁为主要研究对象;第二,在从四川成都到西藏拉萨长达2155km中哪些路段是地质灾害的重点发生区而应被列入重点研究区;第三,从课题所要完成的任务看,哪些问题应被作为重点研究课题。

1.2.1 以川藏公路为主要研究对象

如上所述,笔者不仅要研究川藏公路的地质灾害成因及符合公路特点的防灾减灾对策,而且还要顾及将来要建设但目前尚处于规划或远景规划阶段的川藏铁路的地质灾害问题。相比之下,川藏公路理所当然是本课题的主要研究对象。

1.2.2 选川藏公路八宿至林芝路段为研究重点

在全长达 2155km 的川藏公路中,处于西藏境内的公路长度占全长的 59.21%,达 1286km。另外,从地质灾害发生的频度和严重程度角度看,位于八宿西南面(约 $S70^{\circ}W$) 的八宿至林芝公路段长达 427km,位于世界闻名的雅鲁藏布江大拐弯的北部,是地质灾害最严重的路段。所以笔者将它定为研究重点路段。

为进一步了解该研究重点路段所在地区的地理位置及其地质、地貌和水文气象环境等方面的特点,有必要简述与该重点研究路段地质灾害密切相关的区域(即帕隆藏布流域)范围的一些问题(图 1.1)。帕隆藏布流域位于 $29^{\circ}07' \sim 31^{\circ}03'N$ 、 $92^{\circ}53' \sim 97^{\circ}07'E$ 。全流域面积约为 $28\,630.9\text{km}^2$ 。其中波都藏布[即通麦[位于雅鲁藏布江大拐弯的北面(干流方向约 $S70^{\circ}E$)]以东]及其以上流域、易贡藏布[位于通麦以西(干流方向约 $N20^{\circ}W$)]和拉月曲流域面积分别占全流域面积的 40.3%、47.3% 和 11.0%。另外,其干流源头为来姑冰川。冰雪融水流经安贡错后进入然乌错(然乌东面和南面),流至河口在雅鲁藏布江大拐弯顶部的觉东附近汇入主河^[1]。实际上,从帕隆藏布与冷曲(怒江的一级支流)流域分水岭上的安久拉垭口进入本重点研究路段之后,公路基本上是沿着玉璞藏布、尤里藏布河段和波都藏布河段,经通麦转向西南方向的东久,翻过色季拉垭口,最后到达林芝。不难看出,重点研究路段主要位于帕隆藏布流域内。

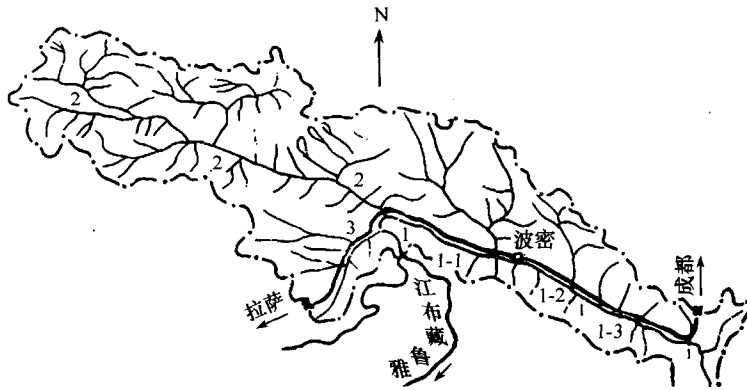


图 1.1 帕隆藏布流域水系图(据文献[1])

1. 帕隆藏布干流; 1-1. 波都藏布河段; 1-2. 尤里藏布河段; 1-3. 玉璞藏布河段; 2. 易贡藏布; 3. 拉月曲

将从八宿至林芝段列为重点研究路段主要基于以下两方面原因:

(1) 该路段的地质灾害极为严重,已到了必须彻底整治的地步。

有关资料^[1]认为:“川藏公路翻越安久拉山口后,沿帕隆藏布北岸展布。由于特定的地质地貌和水文气象环境,使得公路沿线山地灾害极为活跃,不仅具有山地灾害类型齐全、分布密度大、暴发频率高的特点,而且活动规模之大、危害之高、影响范围之广,为国内外所罕见。帕隆藏布沿江线路长 271km,灾害点 399 处,危害长度 71.63km,占沿江路段的 26.43%。其中,滑坡 9 处,崩塌 42 处,泥石流 32 条,水毁 43 处。频繁的山地灾害,使流域沿江线路路况日趋恶化,车毁人亡事件时有发生,阻车断道十分严重,成为川藏公路的重大灾害路段”。不难理

解,笔者之所以选择八宿至林芝作为重点研究路段,主要是因为它不仅是地质灾害的高发区和重灾区,而且已经给国家和人民造成很大损失,已经到了必须彻底整治的程度。当然,地质灾害的彻底整治又离不开对其成因、条件和防灾减灾对策的系统而深入的研究。何况该研究的一些成果还可望对今后川藏铁路的设计和施工提供重要参考。

(2) 从工程地质、岩石力学角度对前人工作作重要补充。

笔者在 1.1 节就已充分肯定前人的研究成果。但考虑到现今对川藏公路的发展和重点路段整治需要以及今后川藏铁路设计、施工的需要,所以还应从工程地质和岩石力学角度对一些以前未研究或研究得不够深入的问题进行深入的研究。例如:

——对公路整治设计和今后铁路设计等都很重要的、从八宿至林芝路段的工程地质分区。

——关于位于波密县易贡乡境内的 102 滑坡、位于林芝县排龙巴族自治乡的迫龙天险等多处岩崩和滚石,以及多处面状碎屑流(又称岩屑坡)等重点地质灾害的防治对策问题,尽管已有不少研究,但笔者认为仍有必要从工程地质、岩石力学角度作进一步研究,提出防治的新思路以供公路整治和未来铁路设计工程师参考。

总之,笔者拟对在 1.1 节和本节所提到的各种问题进行研究。但考虑到有些问题,例如泥石流的成灾机理和对策等,因中国科学院成都山地灾害与环境研究所已作了系统而深入的研究,并取得了不少高水平的研究成果^[1,2],故本专著不再涉及。

1.3 重点问题和主要内容

首先从当地地质条件出发考虑有关的科学问题,再从工程设计[包括川藏公路(八宿至林芝)整治设计和未来川藏铁路工程设计]出发研究工程师们可能遇到的各种工程地质和岩石力学问题,以及为了解决这些问题需要发展的技术。然后,根据上述研究思路提出主要研究内容,并介绍有关章节。

1.3.1 科学问题

据研究,有关川藏公路重点路段地质灾害的工程地质力学研究将涉及以下 3 个科学问题:

(1) 川藏公路从八宿至林芝路段何以发生灾种如此齐全、分布密度如此之大、暴发频率和成灾频度如此之高、危害程度如此严重的地质灾害。

(2) 该地区丰富的大气降雨的来源及水岩相互作用的问题。

(3) 如何评价不同地段、不同地质灾害的特性及其危害性问题。

1.3.2 技术问题

如上所述,从八宿至林芝这一段公路的整治和以后的铁路建设,至少将遇到 400 余处地质灾害区[包括 9 处滑坡、42 处崩塌和滚石、32 处泥石流、43 处水毁以及多处面状碎屑流(即溜砂坡)]。其中有些是地质灾害点已成为长期研究、长期整治,但长期有问题、损失很大的难题,如 102 滑坡和迫龙天险岩崩、滚石等;还有一些以前研究得不多的问题(如被称

为溜砂坡的面状碎屑流和滚石灾害等),也在向我们挑战。

为了使有关研究成果能较好地落到实处,即能较好地应用所取得的各项研究成果来解决上述这些亟待解决的各种难题,而不是束之高阁,除重视相关科学问题的同时,还应重视如何应用工程地质、岩石力学和浅层地球物理领域的各种新的方法技术(包括工程地质勘察新技术、边坡稳定分析新技术、边坡工程和地下工程加固新技术等),因为对于这一针对性和实用性很强的研究课题,仅停留在科学问题的提出和解释上是远远不够的。据研究,以下几种新技术有可能很好地应用于目前川藏公路、未来铁路的工程地质勘察、加固设计和施工中:

- 地震 CT;
- CSAMT 法和高密度电法;
- 利用 CCD 技术的微型电视;
- 纤维束导渗排水孔技术;
- 锚梁;
- 预应力抗滑桩;
- 层状网式钢筋石笼挡墙;
- GPS;
- 全站仪;
- 虚拟现实技术;
- 综合地质信息系统(SGIS)。

事实上,从理论研究和实际工程应用的需要出发,在研究过程中陆续提出了一些新的技术课题进行研究。例如,用于地质灾害发生和治理过程描述的虚拟现实技术,可用于高陡边坡重点加固和滑坡防治的锚梁技术,可以就地取材的层状网式钢筋石笼挡墙技术等。其中旨在取代以砍伐森林为代价的圆木垛护坡技术,可称之为“环保加固”技术的层状网式钢筋石笼挡墙,具有造价低、施工方便等优点,也许具有诱人的应用前景,至少在西藏地区是这样的。

以上这些技术将分别在本书的第 12~14 章和第 16 章中论述,可以参考。

1.3.3 主要研究内容

从上述重点研究路段(八宿至林芝路段)的地质灾害、相关科学问题和技术问题等研究的需要出发,笔者将抓住以下几个课题进行研究,简述如下。

1. 地质环境与构造背景^[3~9]

从八宿至林芝这一重点路段之所以发生了如此多的地质灾害是有多种原因的。它所在地区的独特地质环境与构造背景就是其中的最重要原因之一。根据板块构造理论,该地区正是印度板块与欧亚板块碰撞挤压而成的东构造结的北部,所以该处新构造运动特别强烈,地壳上升,河流下切,长年累月地造成了现在这种高海拔的陡峻高山峡谷区。也由于来自孟加拉湾的水汽经由雅鲁藏布江下游通道长驱直入,沿程爬高至此冷凝而给帕隆藏布流域带来了充沛的降水。这导致了冰川发育,河流水量丰富。结果,河谷两侧山体常有厚达

几百米的古冰碛层和冲洪积层。加之河流对坡脚的严重冲刷和人类工程活动(川藏公路的修建本身就是该地区最重要的人类工程活动)等影响,就可以频繁发生严重的滑坡、泥石流、岩崩和滚石、面状碎屑流(溜砂坡)及水毁等地质灾害。

毫无疑问,要彻底理解这段重点研究路段的各种地质灾害发生机理,并寻找科学的防灾减灾对策就必须抓住相应地质环境和构造背景的研究。

这一部分内容主要集中在第3章中论述。

2. 川藏公路工程地质基本特性及工程地质分区^[9~11]

考虑到长达427km的八宿至林芝路段的滑坡、泥石流、岩崩和滚石、面状碎屑流(溜砂坡)和水毁等地质灾害具有灾种多、分布密度大、成灾频度高、危害严重等特点,所以仅停留在形成机理、性质等理论研究阶段上是远远不够的。换言之,还需要把研究继续推向应用阶段,即为现今川藏公路的彻底整治和将来川藏铁路的修建,提出有分量的设计思路,为特殊难题的解决提出有参考价值的大致处理方案,甚至为它们提供某些可行的技术。为了达到从理论研究阶段向应用阶段过渡的目的,笔者特别重视对川藏公路的工程地质分区问题。

按照笔者的理解,所谓工程地质分区,是指根据对某一地质工程的岩土体的共同特性和差异(可划分出相应的工程地质岩组)作出的工程地质多信息综合评价,进行符合工程设计基本要求并对之有指导作用的一种工程区划分方案。由此定义出发,就工程地质分区一词,还应当进一步明确某些要点。简述如下:

——工程地质分区是以工程地质条件分析和评价为基础的工程区划分,而基于多信息的综合评价则有助于所作出的工程地质评价和工程地质分区能够更符合客观实际。

——任何岩土工程的工程地质分区都是为该工程设计提出一种可使工程设计方案归并、分类为目的的。从此意义上看,工程地质分区可以为(川藏公路)地质灾害危险性区划、工程设计方案制定等提供依据。因此,它实际上是一座建于工程设计者和工程地质工作者之间的便于双方沟通的桥梁。

鉴于工程地质分区对川藏公路地质灾害防灾减灾的重要性,笔者拟以前人研究成果和取自现场的各种信息为基础,通过对来自工程地质岩组、地形地貌特性、外动力地质作用、人类工程活动、地质构造、水文地质条件和地质灾害分布特征7个方面的信息进行综合集成。结果,得出了以下两点重要结论:第一,这些信息之间的层次性和相互关系十分明显;第二,对整个重点研究路段的工程地质条件综合评价为差。

在此基础上,提出了八宿至林芝路段的工程地质分区(即8个区和19个亚区),具体如表1.1所示。如果按一般所用的5级工程地质条件评价标准(即:好、较好、中、较差、差),则在表1.1中的8个区的19个亚区中大多数只能划入“较差”的一级,占总亚区数42%;还有相当一部分则被划入“差”(如第Ⅲ区和第Ⅵ区的亚区Ⅲ₂、Ⅵ₂、Ⅵ₃)和“中”的一级(如第Ⅱ、Ⅳ、Ⅴ和Ⅷ区的亚区Ⅱ₁、Ⅱ₃、Ⅳ₁、Ⅴ₂和Ⅷ₁、Ⅷ₂),分别占16%和31%;个别的还可视为“较好”(如第Ⅴ区的亚区Ⅴ₁和第Ⅷ区的亚区Ⅷ₃),占总亚区数的11%。但如果从各亚区的实际长度分析,则“差”、“较差”、“中”、“较好”等路段分别占从八宿至林芝总长度的18.6%、34.5%、28.3%和11.6%。

表 1.1 川藏公路八宿至林芝路段工程地质分区简表*

主区	I (八宿至仲沙)			II (仲沙至81道班)			III (81道班至87道班)			IV (87道班至92道班)			V (92道班至98道班)			VI (98道班至拉月桥)			VII (拉月桥至109道班)			VIII (109道班至林芝)		
	I ₁	I ₂		II ₁	II ₂	II ₃	III ₁	III ₂		IV ₁	IV ₂		V ₁	V ₂		VI ₁	VI ₂	VI ₃	VII ₁	VII ₂		VIII ₁	VIII ₂	VIII ₃
位置	八宿(72道班)至73道班西	73道班西至仲沙(77道班)		仲沙(77道班)至80道班	80道班至然乌桥	然乌桥至81道班	81道班至83道班	83道班至87道班		87道班至89道班	89道班至92道班		92道班至96道班	96道班至98道班		98道班至101道班	101道班至通麦(103道班)	通麦(103道班)至拉月桥	拉月桥(105道班)至东久(107道班)	东久(107道班)至索母浦(109道班)	索母浦(109道班)至林芝(114道班)	林芝(114道班)至林芝(115道班)		
工程地质岩组	碎岩组、冲积物组	花岗岩组、残积物组、泥流组、石岩组、风化岩组		板岩组、大理岩组	大理岩组、板岩组	板岩组、残积物组	花岗岩组、长岩组、板岩组、泥流组	花岗岩组、长岩组、板岩组、泥流组		花岗岩组、长岩组、板岩组、泥流组	花岗岩组、长岩组、板岩组、泥流组		花岗岩组、长岩组、板岩组、泥流组	花岗岩组、长岩组、板岩组、泥流组		花岗岩组、长岩组、板岩组、泥流组	片麻岩组、冰碛物组、残积物组	片麻岩组、冰碛物组、残积物组	冰碛物组、花岗岩组、冲积物组	堰塞湖沉积岩组、冲洪积物组	堰塞湖沉积岩组、冲洪积物组	花岗岩组、残积物组	花岗岩组、残积物组	花岗岩组、残积物组

续表

主区	I (八宿至仲沙)			II (仲沙至81道班)			III(81道班至87道班)		IV(87道班至92道班)		V(92道班至98道班)			VI(98道班至拉月桥)			VII(拉月桥至109道班)		VIII(109道班至林芝)		
	10	40		30	8	2	20	40	20	30	40	20		30	20	20	20	20	30	20	10
长度 /km																					
主要地质灾害	线状 碎屑 流、 滚石、 中小 型泥 石流	中型 泥石 流、 面状 碎屑 流、 滚石		冰雪 灾	崩塌、 滚石	水毁	崩塌、 滚石	面状 碎屑 流、 泥石 流、 滚石	水毁、 滚石	滑坡、 滚石		小型 滑坡		滑坡、 滚石	滑 坡、 崩 塌、 滚 石、 泥石 流	泥石 流、 崩塌、 滚石、 滑坡	小型 泥石 流、 滑坡	崩塌		冰雪 灾	
各区工 程地质 条件评 价	较差			中~较差			较差~差		中~较差		较好~中			较差~差			较差		较好~中		
亚区工 程地质 条件评 价	较差			中			较差		中		较好			较差			较差		中		

*道班系为维护川藏公路沿线而设的值班点。道班号则为各道班的编号(号数从东向西进时逐点增加)。
**系按道班编号估计。

更详细的内容,将在第4章和第5章讨论。

3. 滚石问题

所谓滚石,是指个别块石因某种原因从地质体表面失稳后经过下落、回弹、跳跃、滚动或滑动等运动方式中的一种或几种的组合沿着坡面向下快速运动,最后在较平缓的地带或障碍物附近静止下来的一个动力学过程。这里谈到的块石包括岩质边坡内由地质结构面(或与临空面的组合)切割而成的块体(或岩块)、土质边坡、土石混合体边坡、碎屑坡或碎石坡表面的砾石、角砾或尺寸较大的碎石等。这里谈到的地质体包括整体稳定的自然斜坡和陡崖、人工边坡,也包括不稳定或正在运动中的滑坡体、崩塌体、碎屑流等。

从概念来看,滚石的研究对象强调的是地质体在动力地质演化过程中分离出来的个别块石,而其研究内容包括滚石发生机理、可能造成的危害、防护方法和技术等。滚石现象具有一个共同的特征,即作为滚石物源的块石一经与地质体分离之后就可通过下落、回弹、跳跃、滚动或滑动等运动方式中的一种或多种的组合沿着坡面向下快速运动,并可能造成滚石灾害。

滑坡、崩塌、坍塌、溜滑、剥落、差异风化、冲刷、冻融循环、根劈作用、降水、地震、气温变化、人类活动等都可直接或间接地引起一个或多个块石在重力作用下向下运动,进而成为滚石。显而易见,将各类动力地质现象涉及到的个别块石滚落归结为滚石有助于问题的简化和深入。随着中国经济的迅速发展及西部大开发的快速推进,大量工程建设涉及到的滚石灾害防治问题亟待解决,而相应的深入研究则变得尤为重要。

在一定条件下滚石所造成的危害是很大的,所以早在20世纪60~70年代国外已经开始对滚石灾害及其防护体系进行系统研究^[12~14],并形成了若干有效的滚石灾害评价系统^[15~17]。由于边坡工程滚石灾害防治工程的需求量大,已有多家专业公司成立,如瑞士的布鲁革公司(GEOBRUGG)和意大利的斯太福(SITAF)公司等。

我国有关滚石的研究起步较晚^[18~20,1],但可以预见,随着我国国民经济的飞速发展,穿山区的高速公路、高等级公路和铁路大规模兴建,山区旅游景点增加,对滚石的成因、防治对策的研究将越来越重视。同时,滚石防治工程也将越来越快地发展起来^[21]。从此意义上说,川藏公路滚石灾害的防火减灾研究,不仅在原有关研究成果^[1]基础上有较大的拓展,对八宿至林芝川藏公路的滚石防治很有应用价值,而且对国内其他地区的滚石防治研究也将有着参考作用。

对于八宿至林芝公路的滚石灾害问题有3点应特别指出:第一,前人已经作了很好的研究,并取得了很大的研究成果,但这些成果主要集中在迫龙天险一带^[1],未作更大范围的研究;第二,据笔者现场调查,川藏公路上的滚石问题十分严重,可能成灾的滚石分布范围相当广,如表1.1分区中I区的2个亚区(即 I_1 和 I_2)、II区的1个亚区(即 II_1)、III区的2个亚区(即 III_1 和 III_2)、IV区的2个亚区(即 IV_1 和 IV_2)、VI区的3个亚区(即 VI_1 、 VI_2 和 VI_3)等5个区及其10个亚区都存在着滚石问题,分别占全部的8个区和19个亚区的62.5%和52.6%。其中著名的迫龙天险就处于上述的亚区 VI_3 内;从长度看,这10个亚区共长238km,占从八宿至林芝总长的56%;第三,关于滚石的工程处理对策问题尚有待深入研究。