

程 强
苏生瑞 著
裴向军

震后崩塌灾害



科学出版社

震后崩塌灾害

程 强 苏生瑞 裴向军 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

基于汶川地震及震后崩塌灾害研究,本书系统总结地震及震后崩塌灾害的特征、规律,分析震裂损伤岩体地质特征,阐明地震及震后崩塌灾害机理。给出基于遥感、地质分析的震后崩塌灾害识别技术方法,建立地震及震后崩塌危险性区域划分和危险性评估方法。通过考虑坡面水流速度水头和岩体裂隙水流动水压力,给出改进的潜在失稳岩体稳定性计算方法。基于地震及震后崩塌灾害实测剖面分析,给出崩塌失稳边坡高度与滚石运动距离、扩散角、震后坡面恢复系数等参数。

本书可供从事工程地质、地震地质、环境地质、岩土力学、公路工程、水利水电工程、建筑工程和工程勘察设计的科技人员和高校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

震后崩塌灾害/程强,苏生瑞,裴向军著. —北京:科学出版社,2015. 6

ISBN 978-7-03-044788-3

I. ①震… II. ①程…②苏…③裴… III. ①地震灾害-崩落-研究
IV. ①P315. 9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 123767 号

责任编辑:周 炜 张晓娟 / 责任校对:郭瑞芝
责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 6 月第一次印刷 印张:16 插页:2

字数:320 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

崩塌是陡坡上的岩、土体在重力或其他外力作用下突然向下崩落、滚动,堆积在坡脚(或沟谷)的地质现象。崩塌预测困难、发生突然、危害巨大,常对陡坡下方公路、铁路以及各类建筑物构成严重危害。

2008年5月12日发生在四川省汶川县的里氏8.0级地震,为发生在我国西部山区的特大地震灾害。地震灾区大部分处于龙门山区,山高谷深,山区公路多沿狭窄沟谷穿行、山高坡陡,地震中产生大量边坡岩体崩塌、滑坡灾害,掩埋路基、毁坏路面、损毁桥梁、掩埋或损毁隧道进出口,给灾区公路造成了毁灭性的破坏,极大地阻碍了灾区救援工作的开展,给灾后重建工作也造成了极大的影响。

地震在直接诱发大量地质灾害的同时,产生了“地震震裂作用”、“地震堆积作用”和“地震剥蚀作用”,对灾区地质环境产生显著改造,震后次生边坡崩塌和泥石流灾害问题突出。如2009年7月25日凌晨,都汶公路彻底关大桥左侧(岷江右侧)斜坡岩体发生崩塌灾害,崩落岩体击中彻底关大桥致使公路通行中段。又如2009年8月29日映秀至卧龙公路K34右侧斜坡发生崩塌灾害,掩埋下方公路,致使公路中断。

汶川地震后,交通运输部开展了汶川地震抗震减灾重大专项课题研究,其中“震后公路边坡崩塌灾害评估与对策研究”作为其中之一,主要在开展汶川地震震后崩塌灾害调查和震裂损伤岩体地质特征研究基础上,研究地震及震后崩塌灾害机理、判识评估及防治技术,本书是对该项目研究成果的系统总结和深化。

本书共六章,第1章主要论述汶川地震区地质环境、地震崩塌灾害特征,以及基于汶川地震崩塌调查统计数据,进行地震崩塌危险性区域划分以及边坡地震崩塌失稳预测的方法。第2章分析论述地震灾害效应,基于大量震后崩塌灾害数据,分析论述震后崩塌灾害特征以及典型震后崩塌灾害。第3章结合三种典型边坡地质结构,在现场勘察基础上,分析研究边坡震裂损伤岩体地质特征。第4章论述震后崩塌灾害的诱发因素、形成演化过程及机理。第5章针对公路走廊带崩塌灾害判识评估和边坡灾害点判识评估问题,给出震后崩塌灾害判识评估方法。第6章针对汶川地震区特殊的高陡斜坡条件,给出潜在失稳岩体稳定性分析计算方法,并基于汶川地震大量崩塌滚石实测剖面数据,分析地震崩塌滚石坡面运动特征,给出可供参考的统计参数。

本书各章均由各位作者撰写,其中,第1、2、6章主要由程强、苏生瑞撰写;第3章主要由裴向军撰写;第4章主要由苏生瑞撰写;第5章主要由裴向军、苏生瑞、程

强撰写,全书由程强和苏生瑞统校。袁进科也为本书的编撰工作做出了重要贡献,西南交通大学胡厚田教授审阅了本书并提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

由于崩塌判识、评估、预测极为困难,震后崩塌的发展演化还将经历一个漫长的过程,本书的研究还很肤浅,书中存在很多不足之处,敬请同行批评指正。

项目研究得到了交通运输部西部交通建设科技项目管理中心、四川省交通运输厅的大力支持;四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院、成都理工大学、长安大学等参加单位的相关研究人员也付出了艰苦的努力;很多专家指导了本项目的研究工作。限于人员众多,在此对他们不再一一列出,一并表示感谢!

目 录

前言

第 1 章 汶川地震崩塌灾害	1
1.1 汶川地震区地质环境条件	1
1.2 汶川地震崩塌灾害特征及分布规律	6
1.2.1 地震崩塌灾害调查及灾害统计分区	6
1.2.2 地震崩塌灾害分布规律	9
1.2.3 地震崩塌灾害影响因素分析	17
1.3 地震崩塌灾害分类及典型实例	25
1.3.1 地震崩塌灾害分类	25
1.3.2 典型地震崩塌灾害	26
1.4 地震崩塌危险性区域划分及稳定性评价	35
1.4.1 地震崩塌灾害危险性区域划分	35
1.4.2 基于汶川地震崩塌数据的地震崩塌失稳预测综合指标法	40
第 2 章 汶川地震震后崩塌灾害	44
2.1 地震灾害效应分析	44
2.2 震后崩塌灾害特征	46
2.2.1 震后崩塌灾害发育分期	46
2.2.2 震后崩塌灾害的主要类型	47
2.2.3 震后崩塌对公路的危害	50
2.2.4 震后崩塌灾害特征	53
2.3 典型震后崩塌灾害	57
2.3.1 G213 线都江堰-映秀-汶川公路沿线震后崩塌灾害	58
2.3.2 S303 线映秀-卧龙公路沿线震后崩塌灾害	95
2.3.3 其他路段典型震后崩塌灾害	110
第 3 章 边坡震裂损伤岩体地质特征	112
3.1 块状结构斜坡震裂特征	112
3.1.1 工程地质条件概况	112
3.1.2 斜坡岩体结构分析	114
3.1.3 斜坡震裂典型特征	117
3.2 中厚层状结构反倾斜坡震裂特征	118

3.2.1	工程地质条件概况	118
3.2.2	斜坡岩体结构分析	120
3.2.3	斜坡震裂典型特征	121
3.3	软硬互层结构顺倾斜坡震裂特征	124
3.3.1	工程地质条件概况	124
3.3.2	斜坡震裂典型特征	127
3.4	斜坡震裂损伤岩体地质特征	128
3.4.1	震裂岩体特征	128
3.4.2	震裂缝特征	138
3.4.3	岩体震裂损伤力学机理	143
3.4.4	震裂岩体分类	148
第4章	震后崩塌灾害诱发因素及形成机理	149
4.1	震后崩塌灾害诱发因素	149
4.1.1	余震的作用	149
4.1.2	降雨的作用	151
4.1.3	其他因素的作用	151
4.2	强震区深切峡谷边坡灾害发展演化模式	153
4.2.1	强震区深切峡谷边坡灾害发展演化	153
4.2.2	震后公路边坡崩塌灾害的形成演化过程	157
4.2.3	震后公路边坡崩塌形成的地质力学模式	158
4.3	震后公路边坡崩塌形成机理	160
4.3.1	滑移式崩塌	160
4.3.2	倾倒式崩塌	170
4.3.3	坠落(拉裂-错断)式崩塌	179
第5章	震后公路边坡崩塌判识及评估	181
5.1	震后崩塌灾害遥感判识	181
5.2	三维激光扫描在边坡崩塌灾害快速调查中的应用	190
5.3	震后崩塌灾害点判识	196
5.3.1	震后崩塌灾害判识考虑的主要因素	196
5.3.2	震后崩塌灾害判识的主要方法	200
5.3.3	基于层次分析法的震后崩塌灾害判识方法	203
5.3.4	基于层次分析法的震后公路边坡崩塌灾害判识实例	210
5.3.5	基于地面地质调查的简易识别方法	212
5.4	震后崩塌灾害评估	216
5.4.1	未确知理论基本原理	216

5.4.2 基于未知测度理论的震后崩塌灾害危险性评估	218
第6章 潜在崩塌体稳定性计算及失稳岩体坡面运动分析	227
6.1 各类崩塌体稳定性分析	227
6.1.1 分析计算中考虑的主要因素	227
6.1.2 裂隙水压力的计算	228
6.1.3 滑移式崩塌计算方法	230
6.1.4 倾倒式崩塌计算方法	231
6.1.5 坠落式(拉裂-错断)崩塌计算方法	232
6.1.6 压溃(鼓胀)式崩塌计算方法	233
6.2 汶川地震崩塌滚石运动特征分析	234
6.2.1 坡面运动形式及特征	235
6.2.2 基于汶川地震崩塌实测剖面统计数据的失稳岩体运动特征分析	239
参考文献	245

第 1 章 汶川地震崩塌灾害

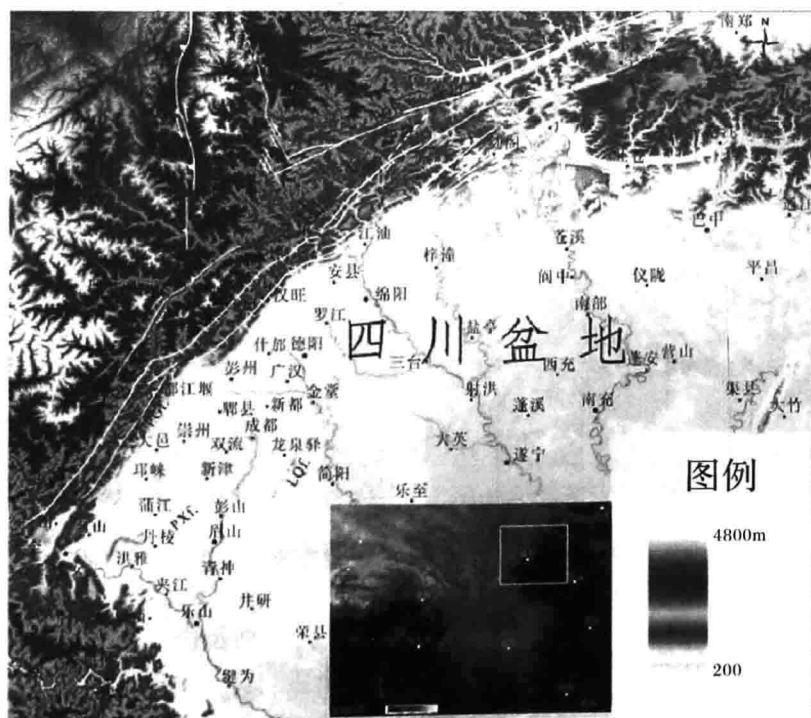
1.1 汶川地震区地质环境条件

汶川地震灾区地处龙门山区,在大地构造上,龙门山处于特殊的结合部位,西部与青藏高原腹地相接,东部与扬子地台相邻,是一个构造复杂、位置重要的造山带和前陆盆地系统。

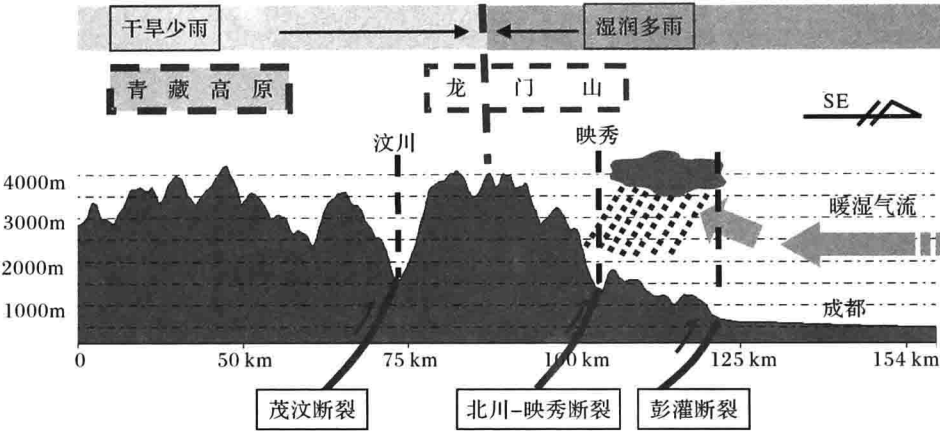
由于龙门山区地处极为特殊的地质构造背景和地理位置,区内地形地貌、地质构造极为特殊,具有如下特点。

1. 地处地形梯度带,峡谷深切、岸坡陡峻

龙门山区在地貌上处于青藏高原和四川盆地过渡带,该区域在不到 50km 范围内,地形高差达 5km 以上^[1],形成了龙门山深切峡谷地貌条件,如图 1.1 所示。



(a) 遥感影像图



(b) 地形地貌剖面图

图 1.1 龙门山及其邻近区地形地貌示意图

龙门山地区地势陡峻,道路、城镇等多顺峡谷展布,峡谷相对高差一般均大于1000m。例如在映秀-草坡-汶川-茂县段岷江两岸山峰海拔在3000~3500m以上,沿线尖尖山海拔3488m、火烧坡海拔4141m、三尖山海拔4148m、九顶山海拔4969m,而地处河谷的映秀海拔约900m、草坡约1150m、茂县约1500m。河谷两岸岸坡陡峻、岩体破碎、风化强烈,坡脚第四系堆积物极为发育(图1.2)。又如渔子溪河谷映秀至卧龙段高山峡谷区,沿线最高峰火烧坡海拔4141m,盘龙寺最高海拔3970m,而渔子溪河谷高程为900~1500m。



图 1.2 岷江河谷映秀-汶川段典型照片

2. 气候条件特殊,河谷气候变化复杂

龙门山区深居内陆,气候除受大气环流影响外,还受地形影响形成非地带性的干旱河谷气候。由于受西风环流与季风暖流交错控制,气候变化在水平方向上

从亚热带向暖温带,再向寒温带过渡。在垂直方向上从河谷干旱向中山半湿润,再向亚高山、高山的湿润气候过渡。

以下以岷江河谷为例,说明复杂的河谷气候条件。表 1.1 给出了都江堰-松潘段主要气候资料数据(据庞学勇、郭永明修改)。

表 1.1 岷江河谷都江堰-松潘段部分县气候对比

县市名	海拔/m	平均气温/°C			>10°C 积温	无霜期 /天	年雨量 /mm	年蒸发 量/mm	干燥度	年日照/h
		年	1月	7月						
松潘	2850.7	5.7	-14.3	14.5	1321.9	59.0	729.7	1136.4	1.14	1827.5
黑水	2000.0	9.0	-0.9	17.5	2533.8	164.0	833.0	1627.3	1.41	1743.7
理县	1887.5	11.4	0.6	20.8	3409.9	209.9	590.6	1585.6	1.95	1685.8
茂县	1590.1	11.2	0.4	20.8	3293.3	217.0	492.7	1332.4	1.98	1565.9
汶川	1448.5	12.7	2.4	21.9	4030.1	235.2	553.8	1858.1	2.45	1705.5
都江堰	706.7	15.2	4.6	24.7	2682.9	268.4	1243.7	921.5	0.55	1042.2

岷江发源于岷山南麓,流经松潘、汶川、映秀,在都江堰流出峡谷进入成都平原。依据其气候特点可以分为如下几段:

(1) 山前雨屏带。岷山流域山前地带(都江堰、映秀等地区)位于中亚热带湿润性季风气候区,骤然升高的地势,在夏季截迎了太平洋北上的东南湿润季风气,与西风环流常在这一带山地交锋,地形雨非常丰富,成为我国著名的“华西雨屏带”(图 1.1)。基本特点主要表现为常年阴湿、多云多雨、辐射量少且蒸发量低。

(2) 深切峡谷多雨~少雨过渡带。主要位于映秀-银杏-草坡-汶川地带,该区域峡谷深切,岷江河谷与两侧山峰高差在 3000m 以上,狭窄的河谷形成水汽通道走廊,随着河流向上游延伸,降雨量将逐渐减少。

(3) 汶川-茂县干旱河谷区。在汶川与茂县地区,由于河谷切割深,相对高差大,暖湿气流越山而下,不利于降水的形成,所以该地区降水稀少,仅 490~600mm,且小于当年蒸发量,气候干燥,河谷深切和九顶山背风坡产生的焚风效应,是造成汶川和茂县干旱河谷形成的重要因素。

(4) 岷江上游湿润多雨区。暖湿气流越过干旱河谷后,深入西北,因地势升高而致雨,故松潘、黑水的降水量又明显增多,达 730~850mm。从而形成岷江上游地区降雨量分布为山体中上部高于山麓的特点。

如上河谷气候特点,对于沿线地质灾害发育具有重要的影响。都江堰-映秀山前雨坪带雨量充沛,汶川地震后诱发大量震后崩塌及次生泥石流灾害,但由于雨量充沛、植被恢复也较为迅速。映秀至汶川深切峡谷地带,随着雨量的逐步降低,震后地质灾害的频率和规模也逐渐减轻,但靠近汶川地带由于降雨稀少,植被恢复缓慢,地震造成的山体剥蚀短时间内难以恢复。

3. 地质构造极为复杂、活动断裂发育、地震活动频繁

在区域构造上,龙门山构造带位于松潘-甘孜褶皱带与扬子板块的结合部位。龙门山以西为松潘-甘孜褶皱带,以东为扬子板块。扬子板块为晋宁旋回固化的稳定的克拉通,以晚元古界变质基底之上的典型地层沉积为特征,具有典型的地台型结构。该区自西北向东南由松潘-甘孜褶皱带、龙门山构造带、前陆盆地(四川盆地西部)等三个构造单元构成了一个完整的构造系统,如图 1.3 所示。

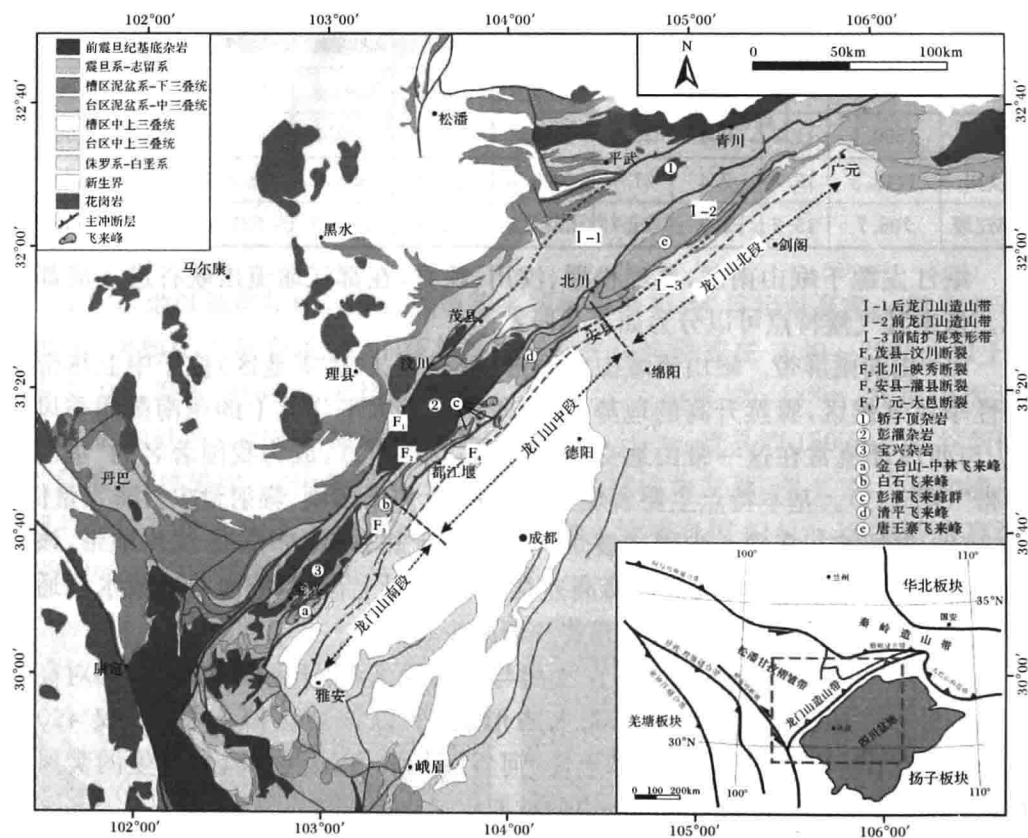


图 1.3 龙门山及邻区地质构造简图

龙门山区地质构造极为复杂,断裂构造极为发育。整个龙门山脉是由一个以断裂为主的断裂体系组成,常称为龙门山断裂带或龙门山构造带。断裂纵横交错,但其主导方向沿 NE~SW 方向展布,不仅表现为一个由西北向东南依次叠覆的逆冲断裂带,而且是一个推覆滑覆构造带,它控制了地形的走向和盆地的边缘形态。众多断裂带中由西北向东南依次由茂汶断裂、映秀-北川断裂和彭灌断裂三大主要断裂带组成大致平行的断裂带组合,也分别称为龙门山的后山断裂带、中央断裂带和前山断裂带。

据相关学者研究,龙门山构造带三条主干断裂晚第四纪以来均表现为继承性

活动,又具有新生性的特点,且均显示由西北向东南的逆冲运动,并兼有右旋走滑分量。尽管现有资料不足以鉴别古地震的震级,但从活动断裂遗存的地表破裂和位错的强度来看,龙门山有历史文字记录之前曾发生过多次震级达7级左右的古地震。自公元前780年中国有历史记载地震资料以来,龙门山三条主干大活动断裂带均有破坏性地震的记录。例如,1957年汶川6.5级,1958年北川6.2级,1970年大邑6.2级,它们均为20km以内的浅源性地震。

4. 地层岩性复杂多变

区内地层极为复杂,根据西南地区区域地层表(四川分册),大致以洞水-北川-汶川-耿达一线为界,分属扬子地层区和巴彦喀拉-秦岭地层区,区内主要地层分布情况如图1.4所示。

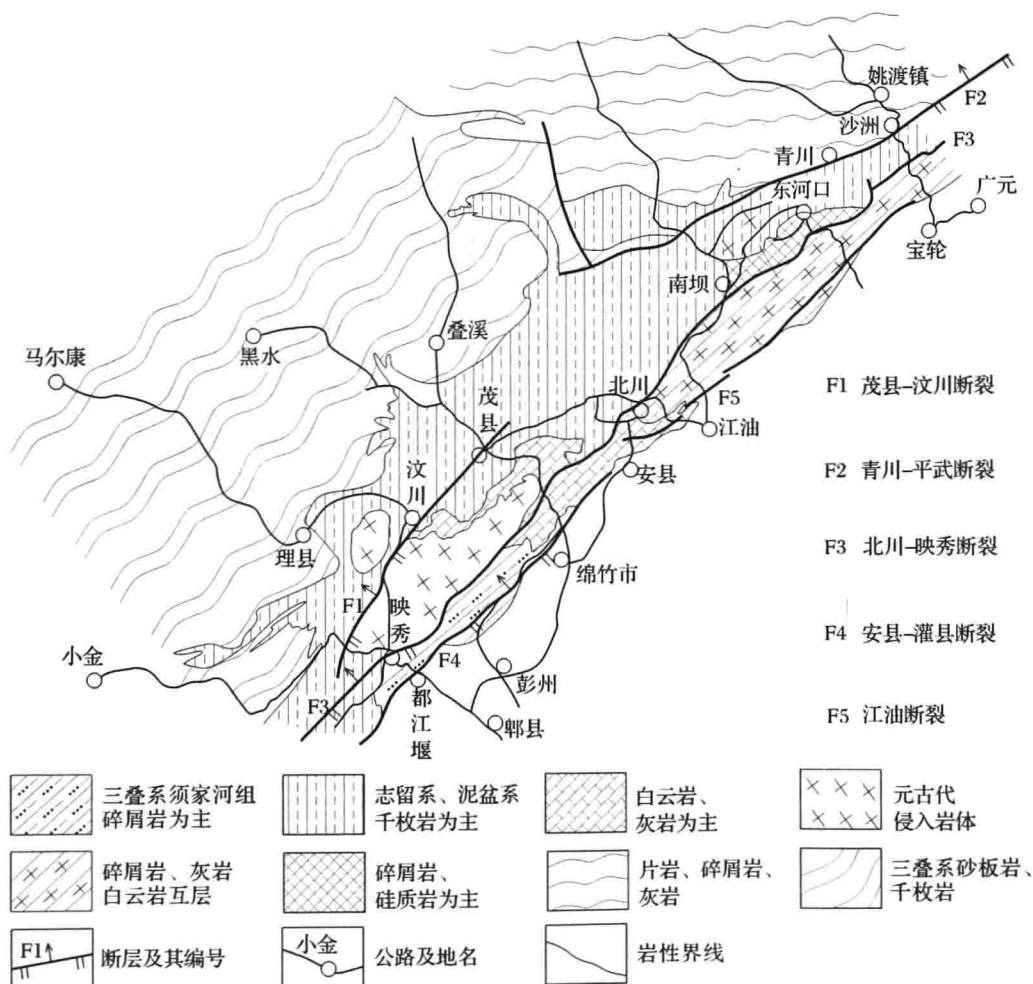


图 1.4 汶川地震区地质简图

大致在映秀至清平之间,北川-映秀断裂上盘,发育有一套元古代侵入岩体,主要为花岗岩、闪长岩、辉长岩等,岩质坚硬,形成了一系列深切峡谷地貌,河谷两侧风化卸荷作用强烈,是地质灾害高发区。安县-灌县断裂和北川-映秀断裂之间,在绵竹至江油之间,为灰岩、白云岩分布区,地面横坡陡峻,也是地质灾害高发区;灌县至绵竹之间则大片分布三叠系碎屑岩含煤地层。茂县-汶川断裂上盘,以及北川-映秀断裂的北川-南坝一线上盘,大片分布志留系千枚岩以及三叠系砂板岩、千枚岩。其余区域各类岩性混杂分布。

正是由于龙门山区具有极为特殊的大地构造背景,在强烈的内、外力地质作用下,形成了深切峡谷地貌条件,河谷两侧斜坡陡峻,斜坡岩体结构面发育、风化、卸荷作用强烈。在汶川地震前,该区域为地质灾害多发区,每年雨季均爆发大量滑坡、崩塌、泥石流灾害。斜坡岩土体在地震作用下,更易发生崩塌及滑坡灾害。

1933年,叠溪地震诱发了大量崩塌灾害,如叠溪海子崩塌堵塞岷江,形成叠溪海子保存至今。2008年5月12日,汶川8级地震,诱发了大量崩塌及滑坡灾害,且震后地质灾害频发,给地震灾区造成了严重危害。

1.2 汶川地震崩塌灾害特征及分布规律

1.2.1 地震崩塌灾害调查及灾害统计分区

汶川地震后,交通运输部门组织对地震灾区6056km²国(省)干线公路及典型县(乡)道路地质灾害进行了详细调查,并对地震崩塌灾害发育规律进行了统计分析,见文献[2]。本书在该项研究工作基础上,提取其中崩塌灾害调查研究资料,研究地震崩塌灾害特征、分布规律及影响因素,并在此基础上研究地震崩塌危险性区域划分以及地震崩塌失稳评判方法。

为统计研究汶川地震崩塌灾害发育规律及影响因素,根据汶川地震区地形地貌、地层岩性、地质构造、地震烈度等,进行统计分区,分区图如图1.5所示,图中,A~E区为地震崩塌灾害主要分布区,其他区域崩塌灾害规模较小、分布零散。本书主要在统计分析A~E区地震崩塌灾害调查资料基础上,分析研究地震崩塌灾害特征及发育规律,目的在于进行地震崩塌灾害危险区域划分及灾害评估。

图1.5中,A~E区共详细调查552处地震崩塌灾害,实测崩塌灾害点地质剖面399条。表1.2为各灾害分区调查资料情况,表1.3为典型段落崩塌灾害统计数据。

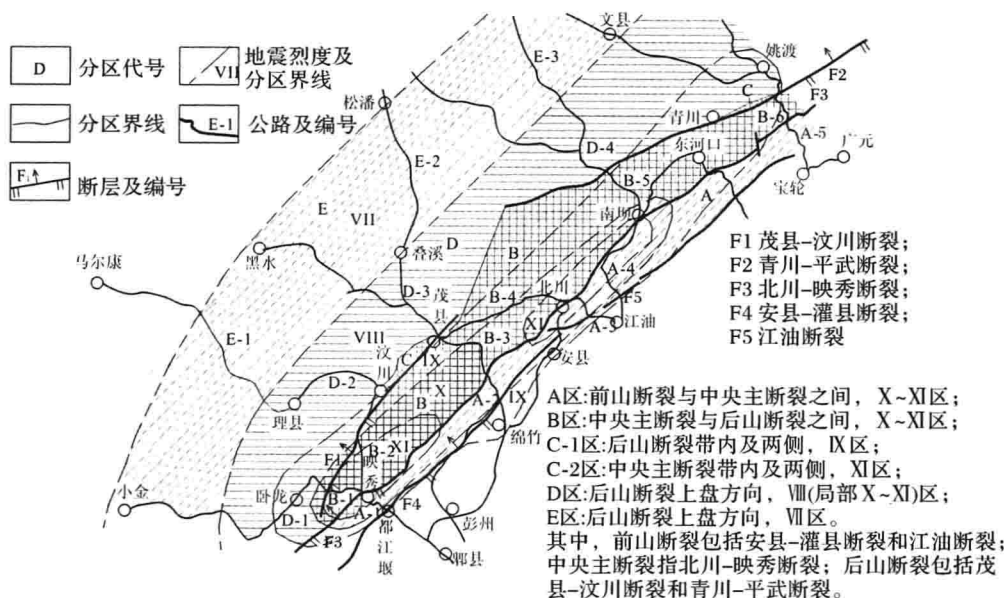


图 1.5 灾害统计分区示意图

表 1.2 各区域崩塌灾害统计

段落 分区	地质构造	地震 烈度	里程长 度/km	灾害点 数量/处	不同规模灾害点数量/处				
					$<1 \times 10^3$	$1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$	$1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$	$>1 \times 10^6$
A	前山断裂与中央主 断裂之间	Ⅷ~Ⅸ	211.50	101	52	30	16	1	2
B	中央主断裂与后山 断裂之间	Ⅷ~Ⅸ	314.18	233	18	59	88	65	3
C-1	后山断裂带内及两侧	Ⅸ	282.80	68	16	37	14	1	—
C-2	中央主断裂两侧	Ⅸ							
D	后山断裂上盘方向	Ⅷ(局部 Ⅸ~Ⅹ)	311.50	—115	44	52	19	—	—
E	后山断裂上盘方向	Ⅶ	686.00	35	19	6	9	1	—
A~E区合计			1 805.98	552	149	184	146	68	5

注:表中公路长度数据扣除了山前平原无灾害段落;连续、成片分布灾害点合并为灾害群统计。

表 1.3 典型公路路段地震崩塌灾害统计

段落分区	典型段落	主体岩性	地质构造	地震烈度	与中央主断裂的垂直距离/km	与中央主断裂交点距震中的距离/km	灾害点数量/处	路线长度/km	灾害点密度/(处·km ⁻¹)	灾害点平均规模/(m ³ ·处 ⁻¹)
A-1	G213 线都江堰-映秀	碎屑岩为主, 局部灰岩	前山断裂与中央主断裂之间	IX~XI	-8.5~0.0	2.3	24	30.6	0.78	1430
A-2	汉旺-清平(棋盘石)公路	灰岩、白云岩为主, 局部碎屑岩		IX~X	-12.3~0.0	78.0	17	12.5	1.36	117 647
A-3	S302 通口-邓家坝	碎屑岩、灰岩等		IX~XI	-9.9~0.0	135.0	12	13.7	0.88	2891
A-4	S205 江油(大康)-桂溪	碎屑岩、灰岩等		IX~XI	-15.6~-1.8	150.0	7	17.9	0.39	86
A-5	G212 三堆-洞水	碎屑岩、灰岩等		VIII~X	-9.8~0.0	259.0	6	13.2	0.45	200
B-1	S303 线映秀-耿达	花岗岩、闪长岩、辉长岩、片岩等	中央主断裂与后山断裂之间	X~XI	0.0~12.7	2.3	68	18.7	3.64	134 107
B-2	G213 线映秀-草坡				0.0~24.1	2.3	43	20.7	2.08	156 930
B-3	清平(棋盘石)-烂柴湾	闪长岩、白云岩等		X	0.0~7.4	78.0	28	10.1	2.77	123 929
B-4	S302 线北川-茂县	0~10km 寒武系碎屑岩		X~XI	0.0~5.0	126.0	0	10.6	—	—
		禹里-茂县 千枚岩为主, 局部夹灰岩		IX~X	12.2~26.9	126.0	24	56.0	0.43	5892
B-5	S205 线南坝-古城	0~9.2km 寒武系碎屑岩		X~XI	0.0~4.4	181.0	3	9.2	0.33	1667
		9.2km~古城 千枚岩为主, 局部碎屑岩、灰岩		VIII~X	4.4~27.8	181.0	10	30.5	0.33	640
B-6	G212 洞水-沙洲	千枚岩夹灰岩		VIII~IX	0.0~12.3	259.0	3	21.0	0.14	500
C-1	新 G213 线草坡-汶川-茂县	砂板岩、千枚岩、灰岩、花岗岩等	后山断裂带附近	VIII~IX	24.1~26.9	—	27	67.2	0.40	12 515
C-2	S105 线北川-桂溪-南坝	上盘寒武系碎屑岩, 下盘灰岩、碎屑岩等	中央主断裂附近	XI	-3.6~0.5	—	23	75.0	0.31	14 087
C-3	S105 线青川-沙洲	上盘片岩、凝灰岩等变质岩, 下盘千枚岩	后山断裂带附近	IX	-1.0~1.0*	—	7	29.5	0.24	3329

续表

段落分区	典型段落	主体岩性	地质构造	地震烈度	与中央主断裂的垂直距离/km	与中央主断裂交点距震中的距离/km	灾害点数量/处	路线长度/km	灾害点密度/(处·km ⁻¹)	灾害点平均规模/(m ³ ·处 ⁻¹)
D-1	S303 线耿达-卧龙	变质岩、灰岩、碎屑岩	后山断裂上盘方向	IX~X	12.7~21.2	—	34	23.5	1.45	8074
D-2	G317 线汶川-理县	砂板岩、千枚岩、灰岩		VIII	30.1~51.3	—	15	57.0	0.26	8880
D-3	G213 线茂县-叠溪	砂板岩、千枚岩夹灰岩		VIII	26.9~65.3	—	24	62.0	0.39	2746
D-4	S205 古城-平武白沟	千枚岩、板岩、片岩等		VIII	27.8~65.0	—	25	58.0	0.43	618
D-5	G212 线沙洲-姚渡	片岩、凝灰岩等变质岩		VIII~IX	12.3~24.8	—	4	21.0	0.19	1025
E-1	G317 线理县-马尔康	砂板岩、千枚岩夹灰岩	远离后山断裂	≤VII	51.3~149.9	—	3	155.0	0.02	3500
E-2	G213 线叠溪-川主寺	砂板岩、千枚岩夹灰岩		VII	65.3~75.3	—	3	101.0	0.03	500
E-3	S205 线平武白沟-九寨沟双河	变质岩、碎屑岩、灰岩		≤VII	65.0~115.5	—	20	89.0	0.22	5486

* 距离后山断裂的距离;公路长度扣除了隧道长度;统计中删除了公路对面、对公路无影响的灾害数据;灾害点大部分为多个灾害点组成的灾害群。

1.2.2 地震崩塌灾害分布规律

主要对垂直龙门山方向上和平行构造带走向上进行研究分析。在垂直龙门山构造带方向上,根据地质构造部位并考虑走向上岩性的变化,划分为映秀至北川段、北川至东河口段和东河口 NE 方向段三个区域来进行研究分析。在龙门山构造带走向上,主要对比分析不同地质构造部位地震崩塌灾害发育情况。

1. 映秀至北川段典型线路

映秀至北川段,中央主断裂至后山断裂之间以侵入岩体及灰岩、白云岩等硬质岩为主。以都江堰-映秀-卧龙和汉旺-清平-茂县两个代表性段落进行分析。

1) 都江堰-映秀-卧龙公路沿线

该线路前山断裂为安县-灌县断裂,中央主断裂为北川-映秀断裂,后山断裂为茂县-汶川断裂。前山断裂 SE(下盘)方向为山前冲积平原。在现场地震地质灾害调查基础上,结合遥感影像资料分析,绘制沿线崩塌灾害发育图如图 1.6 所示。

由图 1.6 可以清晰地看出不同地质构造部位地震地质灾害发育情况,北川-映秀断裂与茂县-汶川断裂之间为地震地质灾害密集发育区,各类崩塌灾害几乎连续