



中国地质调查成果
CGS 2015-041

汶川地震地质灾害 遥感调查研究

Remote Sensing Survey of Geohazards Induced
By the Wenchuan Earthquake

王 军 汪友明 王 猛 梁京涛 等 著



科学出版社



中国地质调查(1212011014033)项目资助

汶川地震地质灾害遥感调查研究

王 军 汪友明 王 猛 梁京涛 等 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书采用以遥感技术为主的“3S”技术,对汶川地震地质灾害进行了全面调查与研究。全书共分五章,系统介绍汶川震区39个县(市、区)自然地理及区域地质环境背景、地质灾害遥感调查技术方法和地质灾害规模的遥感划分标准,详细阐述地震地质灾害发育分布特征及其与龙门山断裂带的关系,重点研究汶川地震触发的体积最大滑坡——安县大光包巨型滑坡等典型地震地质灾害特征,并总结和分析地震地质灾害链式特征及重大泥石流灾害的动态变化趋势。

本书可供从事环境遥感应用、地质灾害防治、工程地质、环境地质等领域的工程技术人员、科研和教学人员、研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

汶川地震地质灾害遥感调查研究 / 王军等著. —北京:
科学出版社, 2015.5

ISBN 978-7-03-044191-1

I. ①汶… II. ①王… III. ①①遥感技术-应用-地质-
自然灾害-调查研究-汶川震区 IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 089245 号

责任编辑: 罗 莉 / 责任校对: 王 翔
责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

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>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年5月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015年5月第一次印刷 印张: 10 1/2

字数: 257千字

定价: 168.00元



中国地质调查(1212011014033)项目资助

汶川地震地质灾害遥感调查研究

(本书作者名单)

王 军	汪友明	王 猛	梁京涛
刘 彬	宋 云	杨 磊	任光明
沈松平	游丽君	曾 建	江 煜
马晓波	王小刚	谭 娟	张 肃

序

2008年5月12日14时28分,四川汶川发生了Ms 8.0级特大地震灾害,8万7千多宝贵的生命瞬间陨落,无数个原本幸福、美满的家庭被恶魔般的地震地质灾害所破灭。地震地质灾害给当地人民的生命财产和基础设施建设造成了巨大损失。

汶川地震发生后,作者等迅即投入到了抢险救灾中,充分发挥遥感图像宏观性强、视域广、不受地形限制等独特优势,快速地评估灾情、圈定地质灾害隐患点,特别是在高陡山区、较为隐蔽的地质灾害隐患点的调查中发挥了巨大作用,在第一时间为抢险救灾工作提供了所需的遥感基础资料。并采用以遥感技术为主要手段的“3S”技术,对汶川震区39个县(市、区)地震地质灾害开展了全面而系统的遥感调查研究,取得了一批原创性的基础数据和研究成果。随后,作者等又相继承担了繁重的灾后恢复重建中的遥感调查任务。

通过这些工作,作者等形成了一套高陡山区地震地质灾害遥感调查研究的系统思路和技术路线。本专著就是对上述工作的理论与方法的系统总结,提出了汶川震区滑坡、崩塌、泥石流、不稳定斜坡等地质灾害规模的遥感划分标准,明确了震后同类型地质灾害的识别标志,为地震地质灾害的准确判释和灾情预判提供了科学依据;研发了汶川震区集卫星遥感、无人机航摄和地面调查为一体化的“天、空、地”地质灾害遥感调查技术方法,克服了传统地面调查耗时、耗力、效率低的缺点,为高危、高位、高海拔山区地质灾害调查和早期识别提供了有力的技术支撑;建立了巨型地震滑坡精细化遥感测量技术和方法,为反演高速远程滑坡形成过程和成灾机理提供了新思路和有效的技术手段;在分析汶川震区泥石流发育特征、演化规律的基础上,提出了震后泥流动态变化特征,为重大泥石流灾害治理工程提供了遥感基础资料和决策依据。这些理论与方法不仅在“5.12”汶川特大地震中得到了广泛应用,而且还在随后发生的2010年“8.13”群发性泥石流、2013年“7.10”特大暴雨和“4.20”芦山强烈地震等诱发的多起重大地质灾害应急抢险救灾中发挥了重要作用。

最后,值此汶川特大地震7周年之际,相信本专著的正式出版发行,将会进一步推动我国遥感技术在地震地质灾害调查与监测中的广泛应用与研究。

国际滑坡协会主席



2015年4月25日

目 录

绪论	1
一、主要研究内容	1
二、总体研究思路和技术路线	2
三、主要认识及研究成果	3
四、主要研究人员及分工	4
第 1 章 自然地理及区域地质环境背景	6
1.1 概述	6
1.1.1 地理位置	6
1.1.2 交通条件	7
1.2 自然地理条件	8
1.2.1 气象与水文	8
1.2.2 地形地貌	10
1.3 区域地质环境条件	12
1.3.1 大地构造格架	12
1.3.2 地层岩性	14
1.3.3 岩浆岩	17
1.3.4 工程地质岩组特征	18
1.4 主要活动断裂带特征	20
1.4.1 龙门山中央断裂带	22
1.4.2 龙门山前山断裂带	22
1.4.3 龙门山后山断裂带	23
1.5 地震活动	24
1.5.1 历史地震记录	24
1.5.2 “5.12”汶川特大地震	25
第 2 章 地质灾害遥感调查技术方法	27
2.1 遥感信息源及基础资料收集	27
2.1.1 遥感信息源	27
2.1.2 其他基础资料	29
2.2 无人机航空摄影测量及大比例尺地形图制作	29
2.2.1 无人机航空数据的快速获取	29
2.2.2 基于无人机航空摄影测量的大比例尺地形图制作	31

2.2.3 基于卫星影像立体像对的大比例尺地形图制作	33
2.3 遥感数字图像处理	34
2.3.1 卫星遥感图像处理	34
2.3.2 无人机航空遥感图像处理	37
2.4 遥感解译方法	40
2.4.1 遥感解译标志的建立	40
2.4.2 遥感解译方法及步骤	40
2.4.3 地质灾害规模的遥感划分标准	41
2.5 野外调查验证	42
2.5.1 野外调查验证内容	42
2.5.2 野外调查验证方法	42
2.6 遥感成果图件编制	43
2.6.1 图件编制原则	43
2.6.2 图件编制步骤	43
第3章 汶川地震地质灾害遥感调查与研究	45
3.1 遥感信息源选择	45
3.1.1 县(市、区)遥感信息源	45
3.1.2 重点研究区遥感信息源	47
3.1.3 典型地震地质灾害遥感信息源	48
3.2 地震地质灾害遥感影像特征	50
3.2.1 地震滑坡的遥感影像特征	50
3.2.2 地震崩塌的遥感影像特征	52
3.2.3 泥石流的遥感影像特征	54
3.2.4 不稳定斜坡的遥感影像特征	56
3.3 汶川地震地质灾害遥感调查	57
3.3.1 汶川地震地质灾害类型	57
3.3.2 汶川地震地质灾害规模	59
3.3.3 汶川地震地质灾害危害对象	60
3.4 典型地震地质灾害遥感研究	62
3.4.1 滑坡	62
3.4.2 崩塌	83
3.4.3 泥石流	85
3.4.4 不稳定斜坡	93
第4章 汶川地震地质灾害发育分布特征研究	96
4.1 重点研究区概述	96
4.1.1 北川县擂鼓—青川县东河口研究区	96
4.1.2 绵竹市汉旺—茂县研究区	98

4.2 地震地质灾害分布规律研究	99
4.2.1 地震烈度与地震地质灾害	99
4.2.2 地层岩性与地震地质灾害	101
4.2.3 地形地貌与地震地质灾害	103
4.2.4 水系与地震地质灾害	106
4.3 地震地质灾害发育特征分析	107
4.3.1 崩滑地质灾害的断层效应分析	107
4.3.2 地震泥石流发育特征分析	111
4.3.3 地震地质灾害与龙门山断裂带关系的初步分析	113
第5章 汶川地震地质灾害链式特征及动态变化趋势分析	119
5.1 汶川地震地质灾害链影响因素分析	119
5.2 汶川地震地质灾害链式特征分析	120
5.3 汶川地震地质灾害形成演化过程分析	123
5.3.1 同震型地震地质灾害形成阶段	123
5.3.2 地震地质灾害体转移、汇集阶段	124
5.3.3 谷底天然坝溃决、泥石流暴发阶段	124
5.3.4 同流域多支沟泥石流群发阶段	125
5.4 汶川地震地质灾害动态变化趋势分析	126
5.4.1 牛圈沟	126
5.4.2 走马岭沟	134
5.4.3 红椿沟	140
5.4.4 文家沟	146
结束语	152
主要参考文献	153

绪 论

据今 7 年前的 2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分,四川汶川发生了 Ms 8.0 级特大地震,震中位于映秀镇西南,地理坐标为北纬 31.0° 、东经 103.4° 。这是新中国成立以来,在人口较为密集的山区所发生的破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大、诱发地质灾害最为严重的一次特大地震,地震造成 69229 人遇难、17923 人失踪、374643 人受伤,倒塌和损毁房屋 3000 万间,受灾总人数达 4625 万人,受灾面积 $44 \times 10^4 \text{ km}^2$,直接经济损失超过万亿元人民币,给灾区人民生命财产和基础设施造成了巨大损失。

汶川震区地处青藏高原东缘龙门山构造带,山高谷深、地形起伏大,地质构造复杂,地震活动频繁,新构造运动强烈,内外动力地质作用异常活跃,是我国地质灾害最发育、最严重的地区之一。“5.12”汶川特大地震进一步对本就十分脆弱的山体造成了十分严重的破坏,触发了大量的崩塌、滑坡等地质灾害,其数量之多、规模之大、类型之复杂、危害之严重前所未有,尤其是沿龙门山断裂带分布的汶川、都江堰、彭州、什邡、绵竹、茂县、安县、北川、平武、青川等 10 个极重灾区和 29 个重灾区地质灾害分布最为密集,危害也最为严重。2008 年汶川地震后至 2011 年的 3 年间,在强降雨的作用下,灾区相继暴发了一系列规模大、危害严重的泥石流灾害,远远超出了该地区地震前泥石流的暴发频率和规模,再一次不同程度地给灾区人民生命财产和基础设施造成了重大损失,并对灾后恢复重建成果构成了严重威胁,引起了各级政府相关部门和国内外专家、学者的高度重视和关注,因此,地震地质灾害的防灾减灾工作已成为地震灾区灾后恢复重建的重要工作之一。

针对汶川震区制定灾后恢复重建规划和地质灾害防治规划的需求,中国地质调查局于 2009 年启动了“汶川地震地质灾害调查评价”计划项目,并于 2010 年 1 月下达了“汶川地震地质灾害遥感补充调查”工作项目,项目编码:1212011014033,由四川省地质调查院承担完成。该项目从 2010 年开始实施,2011 年 6 月提交成果资料,历时一年半,其目的是采用“3S”技术和“天、空、地”一体化的遥感调查技术,以地震地质灾害调查为基点,以地震地质灾害发育分布特征及其与龙门山断裂带的关系研究、典型地震地质灾害成因机理与动态变化趋势分析为突破口,针对汶川地震地质灾害遥感调查的关键技术问题,开展了大量地面调查和研究,取得了一批原创性的基础数据和研究成果。本书正是在“汶川地震地质灾害遥感补充调查”工作项目研究成果的基础上凝练、总结而成的。

一、主要研究内容

本书是在充分收集和整理前人已有成果资料的基础上,采用集卫星遥感、无人机航测和地面调查为一体化的“天、空、地”地质灾害遥感调查技术方法,全面而系统的对

汶川震区 39 个县(市、区)开展地震地质灾害遥感调查研究工作,并对典型地震地质灾害进行多时相遥感对比分析,研究地震地质灾害形成的地质环境条件,调查地震地质灾害类型、数量、规模及危害,分析地震地质灾害的发育分布特征和发展趋势,为汶川震区制定地质灾害防治规划、保障灾后恢复重建成果提供遥感基础资料和科学决策依据。

主要研究内容包括以下三点:

(1)采用震后的中分辨率卫星图像资料,开展汶川震区 39 个县(市、区)1:5 万地震地质灾害遥感调查研究,解译地震地质灾害的位置、类型、形态特征和分布范围,判定地震地质灾害的规模大小和危害对象,分析汶川地震地质灾害的发育分布特征及发展趋势。

(2)采用震后高精度 DMC 数码航空图像和高分辨率卫星图像资料,选取汶川震区北川县擂鼓—青川县东河口、绵竹市汉旺—茂县 2 个重点研究区,开展 1:1 万地震地质灾害遥感调查研究,主要研究地震地质灾害与龙门山断裂带的关系。

(3)采用震后高分辨率卫星图像、DMC 数码航空图像和无人机航空图像等遥感信息资料,结合无人机航测技术,开展典型地震地质灾害多时相遥感对比分析,研究汶川震区典型地震地质灾害成因机理、发展趋势及灾害链式特征等。

二、总体研究思路和技术路线

汶川震区位于青藏高原东缘向四川盆地过渡的地形急变带,属于高山峡谷地貌区,地形切割大,山体破碎,地质环境条件恶劣;加之受“5.12”汶川地震的影响,交通通行更加困难,人工现场调查难度大、效率低,且视线受到限制,往往难以形成总体认识,局部地区常规的地面调查难以开展。遥感技术不受交通、视域的限制,是一种高效、全面、经济、有效的技术手段。采用“3S”技术和“天、空、地”一体化的遥感调查技术方法,以中高分辨率卫星数据、DMC 数码航空数据和无人机航空数据为遥感信息源,可对地面调查空白区进行全视域解译,调查地质灾害特征,提高地质灾害调查的精度和质量。

本书在充分收集和整理前人已有成果资料的基础上,利用遥感图像视域广、信息量丰富、实时性强等优势,采用多平台、多时相、多分辨率航天(空)遥感图像资料和无人机航测技术,结合 GPS、GIS 等新技术和新方法,辅以地面调查验证,从“面、线、点”3 个层次,全面开展汶川地震地质灾害遥感调查研究工作:①开展汶川震区 39 个县(区、市)1:5 万地震地质灾害遥感调查研究,查明各县(市、区)地质灾害的类型、数量、规模和分布状况等;②开展北川县擂鼓—青川县东河口、绵竹市汉旺—茂县 2 个重点研究区 1:1 万地震地质灾害遥感调查研究,重点研究汶川地震地质灾害与龙门山断裂带的关系;③选取具有代表性的典型地震地质灾害进行 1:5000 详细解译与研究,并通过多时相遥感对比解译,分析其成因机理和发展趋势。在此基础上,研究地震地质灾害形成的地质环境条件,系统地分析汶川地震地质灾害的发育分布特征及发展趋势,为汶川震区地质灾害防治、灾后恢复重建规划与建设提供遥感基础资料。总体研究思路和技术路线如图 0-1 所示。

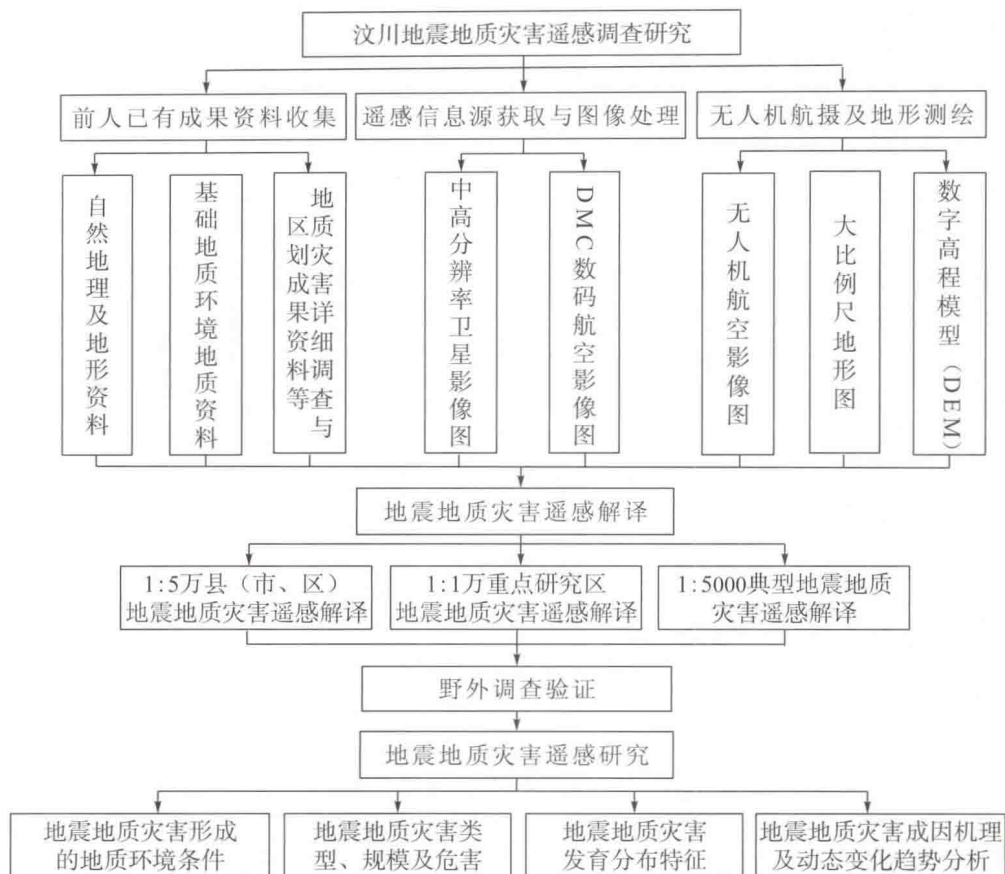


图 0-1 研究思路和技术路线框图

三、主要认识及研究成果

“5.12”汶川地震触发了数以万计的地质灾害，是迄今为止有记录以来，空间分布最密集、规模最大、危害最严重的地震地质灾害，因地震地质灾害而死亡人数约为2万。通过本次遥感解译和现场调查验证，进一步对汶川地震地质灾害进行了较系统的研究和总结，取得的主要调查与研究结果如下所述。

(1)在对已有成果资料综合分析和统计的基础上，本书提出了汶川震区滑坡、崩塌、泥石流、不稳定斜坡等地质灾害规模的遥感划分标准，明确了震后同类型地质灾害的识别标志，为地震地质灾害准确判释和灾情预判提供了依据。根据“汶川地震灾区39个县(市、区)地质灾害详细调查与区划”成果资料，分别对汶川震区不同地质灾害类型的分布面积及其对应规模进行统计分析，并经2300多处地质灾害勘查点随机抽样检查，确定了地质灾害规模的遥感划分标准，作为地质灾害规模的遥感划分依据。

(2)本书研发了汶川震区集卫星遥感，无人机航摄和地面调查为一体化的“天、空、地”地质灾害遥感调查技术方法，补充和完善了汶川震区地质灾害调查成果资料。通过本次对汶川震区39个县(市、区)1:5万地震地质灾害遥感调查，新发现中型以上地震地质灾害2325处，其中滑坡523处、崩塌1287处、泥石流388处、不稳定斜坡127处。

截至2010年12月,汶川震区39个县(市、区)共有地质灾害13759处,其中滑坡5339处、崩塌4575处、泥石流1675处、不稳定斜坡2050处、地面塌陷65处、地裂缝55处,以滑坡、崩塌为主,平均发育密度为14.02处/100 km²,快速地查明了汶川地震地质灾害的数量、类型、规模及其发育分布特征。

(3)通过对汶川震区具有代表性的典型地震地质灾害进行遥感调查与分析,本书根据不同地震地质灾害类型,选取了大光包滑坡、东河口滑坡(高速远程滑坡)、唐家山滑坡(高速短程滑坡)、凤凰山滑坡(崩滑型滑坡)、牛圈沟泥石流、走马岭沟泥石流、红椿沟泥石流、文家沟泥石流、老虎嘴崩塌和时代广场不稳定斜坡等40处典型地震地质灾害进行了详细解译,结合野外调查验证,对典型地震地质灾害成因机理及发展趋势进行了分析与研究。特别是利用震前和震后高分辨率卫星图像和DMC数码航空图像、无人机航空图像等多时相航天(空)遥感数据资料,对汶川地震触发的最大滑坡——安县大光包滑坡进行了4期遥感解译和对比分析,确定了滑体边界、剪出口位置等特征,建立了数字高程模型(DEM)和三维实体模型,计算出其体积为11.52亿~11.99亿m³,系统总结了大光包巨型滑坡特征,分析了大光包滑坡的成因机理及发展趋势,建立了巨型地震滑坡精细化遥感测量技术和方法。

(4)本书采用多平台、多时相的高分辨率遥感图像资料,在分析汶川震区泥石流发育特征、演化规律的基础上,重点对牛圈沟、走马岭沟、红椿沟、文家沟等典型地震地质灾害进行了多期的遥感对比解译,统计分析了泥石流沟物源堆积量及冲出量,研究了地震地质灾害链式特征及动态变化趋势,为灾区重大泥石流的演化、危害及其治理工程提供了可靠的基础资料和决策依据。

(5)汶川地震地质灾害的发育分布受断裂带尤其是发震断裂控制,同时与地形地貌、地层岩性、地震烈度等具有明显的相关性。

①地震地质灾害沿龙门山断裂带呈“带状”分布。从距离上看,距离断裂越近,灾害发育密度越大,且在断裂两侧10 km范围内,地质灾害尤为发育。从方向性上看,地震地质灾害崩滑方向主体上与发震断裂走向垂直或大角度相交;地震地质灾害沿NE方向的分布密度较SW方向大。另外,断裂对地质灾害的控制还体现在上盘灾害发育密度明显大于下盘,在断裂错列、转折端集中分布。

②地震地质灾害沿河流水系呈线状分布。以龙门山褶皱侵蚀中山区最为发育,分布高程主要集中在1000~1500 m,坡度30°~50°斜坡为地质灾害高发区,其地质灾害发育数量占总数量的80%左右,且地震波传播的背坡面一侧的滑坡发育密度明显大于迎坡面一侧。

③地震地质灾害主要在坚硬岩类中较为发育,且主要发育崩塌灾害,在软岩和第四系覆盖层中主要发育滑坡和不稳定斜坡灾害。

④地震区内的地质灾害在不同烈度区的发育密度整体上随着烈度的降低而降低,其中Ⅴ度区发育密度最大。

四、主要研究人员及分工

本次调查研究人员由多学科的技术人员组成,充分体现了学科优势互补,发挥

了团队集体智慧的力量。本书撰写分工如下所述。

绪论由王军、汪友明撰写,介绍本书的主要研究内容、技术路线和主要研究成果。

第1章由汪友明、沈松平撰写,介绍研究区自然地理特征和区域地质环境背景,重点阐述龙门山构造带主要活动断裂带特征、地震活动性特征和地层岩性与工程地质岩组特征等,总结地震地质灾害形成的地质环境条件。

第2章由王军、宋云、游丽君、马晓波、江煜、王小刚等撰写,介绍地质灾害遥感调查技术方法,主要包括遥感信息源及基础资料收集、无人机航空摄影及大比例尺地形图制作、遥感数字图像处理、遥感解译方法、野外调查验证和遥感成果图件编制等,地质灾害规模的遥感划分标准等为调查研究提供了技术支撑。

第3章由王猛、梁京涛、刘彬等撰写,介绍汶川地震地质灾害遥感调查与研究,主要包括遥感信息源选择、地震地质灾害遥感影像特征、39个县(市、区)地震地质灾害遥感调查和典型地震地质灾害遥感研究等内容,结合野外调查验证,详细阐述地震地质灾害数量、类型、规模及危害,补充和完善汶川地震地质灾害调查成果资料。

第4章由梁京涛、汪友明、杨磊、任光明等撰写,介绍汶川地震地质灾害发育分布特征研究,阐述汶川地震地质灾害发育特征和分布规律,通过对2个重点研究区的调查,重点分析地震地质灾害与龙门山断裂带的关系。

第5章由王猛、王军、梁京涛、任光明、曾建等撰写,介绍汶川地震地质灾害链式特征及动态变化趋势,阐述汶川地震地质灾害链影响因素、地震地质灾害链式特征,通过多时相遥感解译和对比分析,具体研究牛圈沟、走马岭沟、红椿沟和文家沟等4处典型地震地质灾害的动态变化趋势。

本书初稿分章完成后,由王军、汪友明进行统稿。遥感数字图像处理和相关图件由江煜、马晓波、谭娟、张肃、游丽萍、吴传智、邓秀梅、宋班制作完成。

在调查研究工作和专著的撰写过程中,至始至终得到了国土资源部地质灾害防治技术指导中心总工程师、国际滑坡协会主席殷跃平研究员、中国地质科学院地质力学研究所张永双研究员、中国地质调查局成都地调中心郑万模研究员、中国地质科学院探矿工艺研究所宋军研究员、中国国土资源航空物探遥感中心王治华研究员、四川省地质调查院成余粮教授级高级工程师、印仁高教授级高级工程师等专家的技术指导和帮助,提出了诸多指导性建议,大大提高了本次研究成果的技术水平;大光包滑坡无人机航摄像控点测量工作还得到了四川省地矿局九〇九水文地质工程地质队肖元队长、赖书名副队长、杨飞所长等同志的大力支持。借此机会,特向对本项研究提供帮助、支持和指导的所有领导、专家和同行表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,还有许多内容有待进一步深化和拓展研究,书中难免存在错误或不妥之处,敬请同行专家和读者批评指正。

第 1 章 自然地理及区域地质环境背景

1.1 概 述

1.1.1 地理位置

研究区位于四川省西北部龙门山地区及岷江上游、北部大巴山区，地理坐标为东经 $101^{\circ}54' \sim 107^{\circ}12'$ 、北纬 $28^{\circ}50' \sim 33^{\circ}45'$ 。行政区划上隶属于四川省阿坝藏族羌族自治州（以下简称“阿坝州”）汶川县、茂县、理县、松潘县、黑水县、九寨沟县、小金县，广元市青川县、利州区、元坝区、朝天区、旺苍县、剑阁县、苍溪县，绵阳市北川县、平

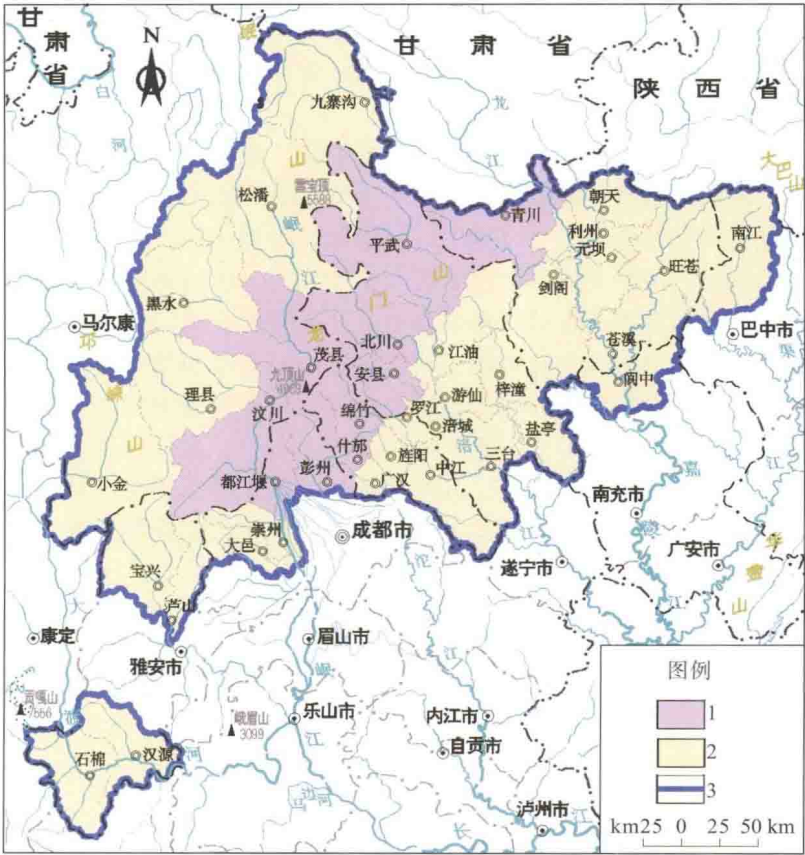


图 1-1 研究区范围及行政区划图

1. 极重灾区；2. 重灾区；3. 研究区范围

武县、安县、涪城区、游仙区、江油市、梓潼县、盐亭县、三台县, 德阳市绵竹市、什邡市、旌阳区、广汉市、罗江县、中江县, 成都市都江堰市、彭州市、崇州市、大邑县, 南充市阆中市, 巴中市南江县, 雅安市宝兴县、芦山县、汉源县、石棉县等 8 个市(州) 39 个县(市、区)(图 1-1), 其中汶川县、茂县、北川县、平武县、安县、绵竹市、什邡市、青川县、都江堰市、彭州市 10 个县(市)属汶川地震极重灾区, 其余 29 个县(市、区)属重灾区。研究区总面积 98137 km^2 、占全省总面积的 20.2%, 总人口 1778.8 万人、占全省总人口的 19.8%, 其中农业人口 1338 万人、非农业人口 440.8 万人。该区人口较为密集, 也是现今地球表面地形地貌和地质构造演化最复杂、地震活动最强烈、地质灾害最发育的地区之一。

1.1.2 交通条件

研究区内有成灌、成彭、成绵、绵广、成温邛、成雅、都汶等 7 条高速公路和 G108、G212、G213、G317、G318 等 5 条国道, 以及 S101、S105、S106、S202、S205、S210、S211、S301、S302、S303、S306 等 11 条省道以及宝成铁路通过, 县与县之间有柏油路相通。龙门山南东盆地区及前山丘陵区公路密集, 乡村基本有公路相通; 龙门山后山地区公路相对稀疏, 县县有公路相通, 部分乡村通简易公路。

举世震惊的“5.12”汶川特大地震, 对公路基础设施造成了极其惨重的损失, 灾区大部分道路被毁, 交通中断, 导致区内在建的都汶高速公路和 5 条国道、11 条省道的路基路面、桥梁隧道等结构物不同程度受损(图 1-2、图 1-3), 尤其是重灾区的阿坝、广元、绵阳、成都、德阳、雅安等市(州)的各类交通基础设施受损十分严重, 其中通往汶川、茂县、北川、青川等极重灾区以及 254 个乡镇公路交通一度完全中断。据不完全统计, 汶川地震共造成四川省公路基础设施直接经济损失达 580 亿元。

汶川震区经过 7 年的灾后恢复重建, 目前交通已全部恢复, 并得到极大改善。但每年汛期的强降雨常诱发泥石流灾害频繁发生, 造成交通基础设施新的破坏, 导致区内交通时有中断, 通行不便。



图 1-2 G213 公路被崩塌体掩埋

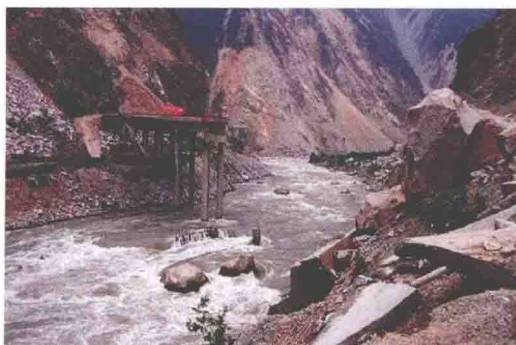


图 1-3 岷江上的彻底关大桥被崩塌体砸断

1.2 自然地理条件

1.2.1 气象与水文

1. 气象

研究区属亚热带湿润季风气候与暖温带大陆性半干旱季风气候交汇区。因地形垂直高差悬殊,气候条件差异十分明显,东部四川盆地为暖湿的亚热带东南季风气候,西部高原高山峡谷地区为干湿季分明的亚热带季风气候,西北部为干冷的高原大陆性气候。

东部四川盆地的主要气候特点为冬暖、春早、夏热、秋雨,阴天多、日照少,雨量丰沛、无霜期长,多年平均气温 14~16℃,冬季最冷月(1月)平均气温 4~8℃,7、8月份平均气温 25~30℃。常年年平均降雨量为 325~920 mm。降雨主要集中于 5~9 月(表 1-1),占全年降雨量的 50%~70%,因此,汛期成为地质灾害的主要发生期。春季气温回升快,夏季炎热期长,降水集中,多暴雨、雷电。盛夏的四川盆地“东旱西涝”已是常见的气候特点;盆地西部多暴雨、易成洪涝。秋季气温下降快,多连绵阴雨,持续时间长。盆地区的另一气候特点是湿度大、云雾多、日照少,年平均相对湿度为 70%~80%,常年日照时数 1900~2600 小时,年总辐射量一般为 120~160 kcal/cm²。历年平均霜日为 18~228 天,无绝对无霜期。

表 1-1 研究区各县(市、区)降雨量统计表

行政区划		多年平均降雨量/mm	月最大降雨量/mm
阿坝州	汶川县	497.8	211.1
	茂 县	484.1	170.8
	理 县	619.9	185.8
	松潘县	728.4	123.1
	黑水县	831.9	256.3
	九寨沟县	680.7	187.5
	小金县	613.9	176.4
广元市	广元市区	941.8	571.9
	青川县	1021.7	428.2
	旺苍县	1136.1	750.8
	剑阁县	1059.0	506.8
	苍溪县	1046.7	470.3

续表

行政区划	多年平均降雨量/mm	月最大降雨量/mm
绵阳市	绵阳市区	1275.2
	北川县	1340.2
	平武县	807.6
	安 县	1261.0
	江油市	1077.1
	盐亭县	1296.5
	梓潼县	1302.3
	三台县	1523.5
德阳市	旌阳区	825.2
	绵竹市	1003.9
	什邡市	938.7
	广汉市	1011.5
	罗江县	813.0
	中江县	844.4
成都市	都江堰市	1134.8
	彭州市	893.3
	崇州市	1012.4
	大邑县	1098.2
南充市	阆中市	998.5
巴中市	南江县	1198.7
雅安市	芦山县	1313.1
	宝兴县	992.5
	石棉县	803.1
	汉源县	727.2

西部高原高山峡谷地区由于地形高差悬殊,气候垂直分带十分明显,为高寒气候类型,具有气温低、干燥少雨、辐射强、云雾少、日照多、温差大、冰雹多、冬季漫长等特点,无明显四季之分,气候变幻莫测。年平均气温 $6\sim 12^{\circ}\text{C}$,最冷月均温 $-11.3\sim 6.3^{\circ}\text{C}$,最热月均温一般在 14°C 左右,总热量少,生长期短。

2. 水文

研究区内河流主要有岷江、沱江、涪江、嘉陵江及大渡河,均属长江水系(图1-4),总体为由北向南的流向。其中,西部的松潘—黑水—茂县—理县—汶川—都江堰一线及石棉县和汉源县区域属岷江流域,大渡河是岷江主要支流之一;岷江上游(都江堰以北)纵比降为 8.2% ,流速最大达 $6\sim 7\text{ m/s}$ (殷跃平、张永双等,2013);大渡河上游由北向南流经金川、康定、石棉,再呈近东西向流经汉源于乐山汇入岷江;东北部的九寨沟、平武、青川、广元市区、南江、北川、安县等地属嘉陵江(含涪江)流域,涪江为其最大