



Large-scale Landslides
Induced by the
Wenchuan Earthquake

汶川地震 大型滑坡研究

许强 裴向军 黄润秋 等/著



科学出版社
www.sciencep.com

汶川地震大型滑坡研究

许强 裴向军 黄润秋 等 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

2008年“5.12”汶川特大地震诱发了数以万计的次生地质灾害,其中仅大型、特大型滑坡就达数百处。与通常重力环境下形成的滑坡相比,强震诱发的大型滑坡在形态特征、动力特性以及成因机理等各方面,都具有显著的差别。因此,紧紧抓住汶川地震这千年一遇的极震事件,通过对汶川地震诱发大型滑坡的典型案例进行深入地研究和解剖,对探索和揭示强震条件下大型滑坡的动力特征与成因机理具有重要的意义。

本书选取汶川地震诱发的18个规模相对较大(一般大于100万 m^3)、具有典型特征和代表性的滑坡作为典型实例,采用现场调查、遥感解译、工程测绘和勘探,以及室内分析等手段,对各滑坡的工程地质特征和成因机理进行了较系统地描述、分析和评价,并从统计分析的角度对汶川地震诱发大型滑坡的发育分布规律、动力过程、运动特性及成因模式进行了初步分析研究。

本书可供国土资源、防震减灾、水利水电、交通、矿山、国防工程等部门的地质和岩土工程技术人员及高等院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

汶川地震大型滑坡研究/许强等著. —北京:科学出版社, 2009.12

ISBN 978-7-03-026906-5

I. ①汶… II. ①许… III. ①地震危险区-滑坡-研究-汶川县
IV. ①P642.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第036995号

责任编辑:陈 迅 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年12月第一次印刷 印张:30 1/2

印数:1—1 500

字数:700 900

定价:260.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前言

汶川

preface

5.12

2008年5月12日14时28分04秒,四川汶川县映秀镇(北纬 31.0° 、东经 103.4°)发生特大地震。汶川地震因具有震级高(Ms8.0级)、震源浅(震源深度小于20 km)、震源呈长条形面状(主破裂带长近300km,最大错动位移达7m左右)、释放能量大(是1976年唐山地震的三倍)、持续时间长(主震持续时间长达120s,主要能量释放于前80s)、地面振动强烈(所记录到PGA局部地段达1.5~2.0g)等特点,再加上地震发生于地质环境本身就异常脆弱的龙门山区,地震诱发的次生地质灾害不仅数量多(最新的遥感解译结果为6万处左右),而且还呈现出一系列与通常重力环境下地质灾害迥异的特征,如独特的失稳机理、超强的动力特性、大规模的高速抛射与远程运动、大量山体震裂松动与坡麓物质堆积、众多的崩滑堵江等。这些现象和问题已远远超出了人们原有的认识。

为了能紧紧抓住汶川地震这千年一遇的极震事件,探索和揭示强震条件下大型滑坡的动力过程与成因机理,同时也为了能在灾区各主要大型滑坡被自然和人类工程活动改造之前“真实地”记录下滑坡的形貌和特征,“5.12”汶川地震发生后,成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室及时组织力量,采用遥感解译,大量的现场调查、工程测绘和勘探等手段,对汶川地震诱发的规模相对较大(一般大于 100万 m^3)、具有典型特征和代表性的滑坡进行了较为系统地调查研究,本书便是此项研究阶段性成果的集中体现。

由于时间仓促,很多滑坡我们都还没有来得及做很深入地研究,在撰写本书时,我们主要从考虑史料价值的角度注重对滑坡滑源区及运动、堆积区

特征的现场实录，同时尽可能地对滑坡的成因机理做出初步地分析评价。由于时间紧、任务重，在对汶川地震区近 20 处大型滑坡进行调查研究时，我们分几个组同时进行，然后由各滑坡的主要调查研究人员分别撰写各自所负责的有关滑坡体的内容，力求写作风格的统一，最后由许强统稿。

在本项研究过程中，对于由四川省国土资源厅安排相关专业队伍做过勘查和测绘的滑坡，我们参考了相关勘查成果。同时，有数十名博士、硕士研究生参与了滑坡的现场调查工作，王朝阳、吴礼舟、袁勇等在本书的英文翻译和文字校对方面做了大量细致的工作。在此，对他们为本书所作的贡献表示衷心地感谢。

本书仅是反映现阶段对汶川地震诱发大型滑坡的初步研究的成果，与此有关的、深入细致的研究工作还在继续进行，相关成果将在今后几年内汇集成册陆续出版。如读者对本书有什么意见和建议请及时反馈给我们。

作者

二〇〇九年十二月

目 录

汶川

contents 5-12

前言

第 1 章 汶川地震诱发大型滑坡分布规律、特征与成因机理 (许强 李为乐)

Chapter 1 Distribution, characteristics and genetic mechanism of large-scale landslides induced by the Wenchuan Earthquake(Q. Xu, W.L. Li)..... 1

1.1 概述	1
1.2 汶川地震大型滑坡分布规律	2
1.3 汶川地震大型滑坡动力过程	19
1.4 汶川地震大型滑坡运动性	29
1.5 汶川地震大型滑坡主要成因模式	35
1.6 结论	51
参考文献	52

第 2 章 安县大光包滑坡 (黄润秋 裴向军 许强)

Chapter 2 Daguangbao landslide, Anxian (R. Q. Huang, X.J. Pei, Q. Xu) 53

2.1 概述	53
2.2 地质环境条件	57
2.3 大光包滑坡发生过程	63
2.4 大光包滑坡特征	68
2.5 滑坡堆积体特征	82
2.6 滑坡形成机制分析	89
2.7 结论	90
参考文献	91

第 3 章 安县罐滩滑坡 (巨能攀 赵建军 李果)

Chapter 3 Guantan landslide, Anxian(N.P. Ju, J.J. Zhao, G. Li) 92

3.1 概述	92
3.2 研究区地质环境条件	93
3.3 罐滩滑坡基本特征	97
3.4 罐滩滑坡成因机制分析	111

3.5 结论	116
参考文献	116
第 4 章 安县老鹰岩滑坡 (裴向军 黄润秋 袁建科)	
Chapter 4 Laoyingyan landslide, Anxian(X.J. Pei, R.Q. Huang, J.K. Yuan)	118
4.1 概述	118
4.2 老鹰岩滑坡地理位置及滑坡过程	119
4.3 滑坡区地质环境概况	122
4.4 滑坡发育特征	128
4.5 滑坡堆积体 (Ⅱ区) 特征	133
4.6 滑坡形成机制分析	137
4.7 结论	138
参考文献	139
第 5 章 北川县唐家山滑坡 (胡卸文 吕小平 罗刚)	
Chapter 5 Tangjiashan landslide, Beichuan(X. W. Hu, X.P. Lv, G. Luo)	140
5.1 概述	140
5.2 唐家山滑坡 (堰塞坝) 形成的地质环境条件	142
5.3 滑坡 (堰塞坝) 形态特征及地质结构特点	144
5.4 滑坡 (堰塞体) 物质组成及物理力学特性	147
5.5 唐家山滑坡堵江机制分析	152
5.6 唐家山滑坡 (堰塞体) 稳定性及可能溃坝模式分析	154
5.7 唐家山滑坡后壁残留山体震后稳定性	162
5.8 结论	172
参考文献	173
第 6 章 北川县王家岩滑坡 (许强 董秀军)	
Chapter 6 Wangjiayan landslide, Beichuan(Q. Xu, X.J. Dong)	174
6.1 概述	174
6.2 滑坡区工程地质环境条件	175
6.3 滑坡特征	178
6.4 滑坡成因机制分析	184
6.5 结论	186
参考文献	187
第 7 章 北川县北川中学新区滑坡 (许强 董秀军)	
Chapter 7 Beichuan new middle school landslide, Beichuan(Q. Xu, X.J. Dong)	188
7.1 概述	188

7.2 滑坡区工程地质环境条件	188
7.3 滑坡体特征	190
7.4 滑坡成因机制分析	195
7.5 结论	197
参考文献	197
第 8 章 北川县鼓儿山滑坡 (汤明高 许强 董秀军)	
Chapter 8 Guershan landslide, Beichuan(M.G. Tang,Q. Xu, X.J. Dong)	198
8.1 概述	198
8.2 地质环境条件	200
8.3 陈家坝鼓儿山滑坡特征	205
8.4 陈家坝鼓儿山滑坡成因机制	214
参考文献	220
第 9 章 青川县东河口滑坡 (许强 汤明高)	
Chapter 9 Donghekou landslide, Qingchuan (Q. Xu, M.G. Tang)	221
9.1 概述	221
9.2 地质环境条件	223
9.3 东河口滑坡特征	232
9.4 东河口滑坡运动过程与堆积特征	242
9.5 东河口滑坡成因机制	258
参考文献	262
第 10 章 青川县窝前滑坡 (汤明高 许强)	
Chapter 10 Woqian landslide, Qingchuan(M.G. Tang,Q. Xu)	264
10.1 概述	264
10.2 地质环境条件	265
10.3 窝前滑坡特征	275
10.4 窝前滑坡运动过程与堆积特征	285
10.5 窝前滑坡成因机制	300
参考文献	305
第 11 章 青川县石板沟滑坡 (许强)	
Chapter 11 Shibangou landslide, Qingchuan(Q. Xu)	307
11.1 概述	307
11.2 滑坡区工程地质环境条件	308
11.3 石板沟滑坡工程地质特征	311
11.4 石板沟滑坡坝与堰塞湖特征	317
11.5 石板沟滑坡形成机制	320

参考文献	323
第 12 章 青川县大岩壳滑坡 (裴向军 张元才)	
Chapter 12 Dayanke landslide, Qingchuan(X.J. Pei, Y.C.Zhang)	324
12.1 概述	324
12.2 地质环境条件	326
12.3 滑坡发育特征	330
12.4 滑坡失稳机制分析	336
12.5 结论	340
参考文献	341
第 13 章 青川县董家滑坡 (黄润秋 张元才)	
Chapter 13 Dongjia landslide, Qingchuan(R.Q. Huang, Y.C. Zhang)	342
13.1 概述	342
13.2 自然地理及地质环境概况	343
13.3 滑坡发生过程及堆积特征	346
13.4 滑坡失稳机制分析	351
13.5 结论	354
参考文献	355
第 14 章 汶川县牛眠沟滑坡 (许强 董秀军)	
Chapter 14 Niumiangou landslide, Wenchuan(Q. Xu, X.J. Dong)	356
14.1 概述	356
14.2 滑坡区工程地质环境条件	357
14.3 牛眠沟滑坡工程地质特征	362
14.4 牛眠沟滑坡—碎屑流的运动特性研究	372
14.5 牛眠沟滑坡—碎屑流潜在泥石流隐患分析	378
14.6 结论	379
参考文献	379
第 15 章 绵竹市文家沟滑坡 (赵其华 黄河清)	
Chapter 15 Wenjiagou landslide, Mianzhu(Q.H. Zhao, H.Q. Huang)	381
15.1 概述	381
15.2 地质环境条件	382
15.3 文家沟滑坡—碎屑流堆积体基本特征	385
15.4 滑坡—碎屑流运动路径分析	399
15.5 文家沟滑坡—碎屑流的成因机制及运动特征分析	400
15.6 文家沟滑坡—碎屑流的灾害链效应	404
15.7 结论	404

参考文献	405
第 16 章 彭州市谢家店子滑坡 (范宣梅 许强)	
Chapter 16 Xiejiaodianzi landslide, Pengzhou(X.M. Fan, Q. Xu)	407
16.1 概述	407
16.2 滑坡区工程地质环境条件	409
16.3 滑坡特征	411
16.4 滑坡区的形成机制与滑动过程	419
16.5 结论	422
参考文献	422
第 17 章 平武县平溪村滑坡 (裴向军 袁建科)	
Chapter 17 Pingxicun landslide, Pingwu(X.J. Pei, J.K. Yuan)	423
17.1 概述	423
17.2 滑坡区地质环境条件	425
17.3 平溪村滑坡特征	429
17.4 滑坡形成机制分析	435
17.5 结论	439
参考文献	440
第 18 章 平武县郑家山滑坡 (裴钻 裴向军)	
Chapter 18 Zhengjiashan landslide, Pingwu(Z. Pei, X.J. Pei)	441
18.1 概述	441
18.2 滑坡区自然地质条件	442
18.3 滑坡特征	445
18.4 滑坡形成机制分析	454
18.5 结论	459
参考文献	460
第 19 章 映秀—卧龙公路 K24 滑坡 (程强 裴向军)	
Chapter 19 K24 landslide of Yingxiu—Wolong highway(Q. Cheng, X.J. Pei)	461
19.1 概述	461
19.2 滑坡区地质环境条件	463
19.3 滑坡运动与堆积特征	466
19.4 滑坡形成机制分析	470
19.5 结论	472
参考文献	473



第 1 章

汶川地震诱发大型滑坡分布规律、特征与成因机理

Distribution, characteristics and genetic mechanism of large-scale landslides induced by the Wenchuan Earthquake

1.1 概 述

大量的研究表明,“5.12”汶川地震具有以下突出特点。

(1) 震级高,震源浅。地震震级达里氏 8.0 级,震源深度小于 20km。

(2) 呈面状震源,破裂带长近 300km,最大错动量达 9m。汶川地震的发生具有沿破裂带持续累进性破坏的特点。震源从映秀开始,沿映秀—北川断裂向北东经彭州、北川、江油至青川及其以北迅速破裂,并在沿途剪断若干由断裂的错列和转折形成的局部“锁固段”,释放大量能量(释放能量是 1976 年唐山地震的 3 倍),并激活带动了龙门山前山断裂—灌县—江油断裂,形成近 100km 长的地表破裂。

(3) 地震持续时间长。由于地震的面状震源和断裂的累进性破坏特点,从而导致此次地震持续时间长达 120s(地震的主要能量于前 80s 内释放)。长持时的振动是导致地震强烈破坏和触发大量地质灾害的重要原因。

(4) 地面振动响应强烈。由于地震发生在地形条件极为复杂的中、高山地区,地面振动响应极为强烈,所记录到的地面运动峰值加速度局部地段达到 1.5~2.0g。更为特别的是,本次地震产生的竖直向峰值加速度基本与水平向加速度相当。

由于“5.12”汶川地震的上述特征,在汶川地震过程中触发了数以万计的地质灾害点,其中绝大多数为滑坡灾害。这些滑坡中,不仅规模巨大(体积超过 1000 万 m^3 的就达数十处,面积超过 50 000 m^2 的上百处),而且呈现出一系列与通常重力环境下地质

灾害迥异的特征,如独特的震动破裂和变形失稳机制、超强的动力特性、大规模的高速抛射与远程运动、大量山体震裂松动与坡麓物质堆积、众多的崩滑堵江等。这些现象和问题有的已远远超出了人们原有的认识和知识范畴。本章在对汶川地震灾区地震诱发滑坡灾害进行大量的现场调查和研究的基础上,结合典型滑坡实例,总结了汶川地震诱发大型滑坡发育分布规律、动力过程、运动性特征与成因模式,初步揭示了汶川大地震诱发地质灾害的成因机制、地质模式和动力特征。

1.2 汶川地震大型滑坡分布规律

由于汶川地震灾区很多大型滑坡已滑动较为彻底,滑后堆积区整体稳定性较好,已不会对灾区人民生命财产构成太严重的威胁,因此灾区多数大型滑坡并未纳入灾后地质灾害防治专项规划,相关部门也就没有安排对这些大型滑坡开展系统全面的勘查工作。现阶段只能通过遥感解译、现场调查和适量的地形测绘,了解和掌握汶川地震灾区大型滑坡的基本特征。由于缺乏相应的勘探数据,很难对滑坡的体积作精确地测量,大多数滑坡体积仅能通过估算获取,但各滑坡的平面几何尺寸和面积是可以借助于遥感数据得到精确地量测。因此,为了避免因体积估算所带来的误差甚至错误,我们采用滑坡的平面面积(包括滑源区、堆积区甚至碎屑流区的整个滑坡面积)作为筛选大型滑坡的主要依据。表 1.1 为通过遥感解译得到的汶川地震区 112 处面积大于 50 000m² 滑坡的统计表。图 1.1 为与表 1.1 相对应的 112 处大型滑坡的平面分布图。

表 1.1 通过遥感解译获取的汶川地震区面积大于 50 000m² 的滑坡统计
Table 1.1 Landslides more than 50 000m² interpreted by remote sensing data

序号	滑坡名称	所在行政区	经度 / (°)	纬度 / (°)	面积 / m ²	距断层距离 / m	盘位
1	大光包	安县	104.121	31.645	7 273 719	4800	上盘
2	文家沟	绵竹	104.135	31.553	2 945 520	3900	下盘
3	东河口	青川	105.115	32.405	1 283 627	300	上盘
4	郑家山	平武	104.925	32.265	1 014 987	2400	上盘
5	水磨沟	什邡	103.982	31.440	915 608	700	上盘
6	大屋基	安县	104.197	31.701	792 190	6900	上盘
7	窝前	青川	104.966	32.309	695 672	200	上盘
8	大杉树	绵竹	103.969	31.524	693 687	6900	上盘
9	红石沟	安县	104.133	31.627	687 520	2240	上盘
10	冰口石	彭州	103.713	31.344	575 556	12 600	上盘
11	唐家山	北川	104.431	31.842	572 009	2780	上盘
12	花梯子沟	彭州	104.015	31.546	541 193	4980	上盘

续表

序号	滑坡名称	所在行政区	经度 / (°)	纬度 / (°)	面积 /m ²	距断层距离 /m	盘位
13	文家坝	平武	104.865	32.223	537 101	380	上盘
14	牛眠沟	汶川	103.458	31.045	527 700	300	上盘
15	海心沟	绵竹	103.946	31.528	517 573	8888	上盘
16	马鞍石	平武	104.891	32.277	509 836	4200	上盘
17	石板沟村	青川	105.091	32.420	496 983	2300	上盘
18	鼓儿山	北川	104.576	31.919	471 112	0	上盘
19	肖家山	绵竹	104.038	31.464	465 899	2900	上盘
20	新开洞	彭州	103.763	31.313	449 685	6800	上盘
21	宝藏村	安县	104.223	31.685	418 744	4030	上盘
22	棉角坪	北川	104.489	31.850	377 247	550	下盘
23	魏家山	北川	104.582	31.971	358 021	2120	上盘
24	草槽坪	安县	104.138	31.608	354 046	660	上盘
25	篾棚子 3 [#]	绵竹	104.119	31.591	353 817	600	上盘
26	老鹰岩	安县	104.145	31.623	353 242	1050	上盘
27	火石沟	安县	104.134	31.615	322 155	1400	上盘
28	张家山	安县	104.192	31.572	306 576	6000	下盘
29	马槽滩	绵竹	104.011	31.434	305 989	2700	下盘
30	谢家店子	彭州	103.841	31.297	294 256	1100	上盘
31	石板沟	青川	105.107	32.431	288 305	2400	上盘
32	回水沱	彭州	103.764	31.284	270 980	4200	上盘
33	大竹坪	安县	104.148	31.617	270 692	540	上盘
34	篾棚子 2 [#]	绵竹	104.115	31.586	262 520	600	上盘
35	和尚桥 3 [#]	都江堰	103.658	31.281	257 635	10 400	上盘
36	木瓜坪村	什邡	103.990	31.439	256 340	900	下盘
37	篾棚子 1 [#]	绵竹	104.113	31.581	255 296	600	上盘
38	东溪沟	北川	104.474	31.868	246 020	2200	上盘
39	窑子沟	平武	104.870	32.239	242 553	800	上盘
40	白茶坪	都江堰	103.676	31.199	241 874	4700	上盘
41	长坪	彭州	103.754	31.258	224 645	2400	上盘
42	刨地里	青川	105.035	32.355	222 157	700	上盘
43	小木岭	绵竹	104.101	31.614	218 705	2450	上盘
44	和尚桥 1 [#]	都江堰	103.649	31.278	214 020	10 900	上盘
45	柏树岭	北川	104.384	31.807	208 968	4350	上盘
46	大湾	北川	104.535	31.907	203 959	2150	上盘
47	白果树	北川	104.462	31.844	203 246	1000	上盘
48	曾家山	绵竹	104.183	31.485	198 165	11 350	下盘
49	张家沟	北川	104.563	31.912	196 299	640	上盘
50	赵家渠	青川	105.072	32.387	193 153	1300	上盘
51	黑滩子	安县	104.193	31.523	182 452	8900	下盘

续表

序号	滑坡名称	所在行政区	经度 / (°)	纬度 / (°)	面积 /m ²	距断层距离 /m	盘位
52	安乐山	北川	104.398	31.747	180 809	1140	上盘
53	阴山沟	北川	104.557	31.921	177 361	1300	上盘
54	小天池	绵竹	104.130	31.483	175 758	8200	下盘
55	岩羊村	北川	104.543	31.858	174 008	1600	下盘
56	石湊子	平武	104.917	32.242	169 540	0	上盘
57	陈家坪	安县	104.237	31.660	169 368	1050	上盘
58	王爷庙	都江堰	103.631	31.210	167 980	9300	上盘
59	枷担湾 1 [#]	都江堰	103.648	31.217	166 643	7900	上盘
60	金河磷矿	绵竹	104.019	31.438	159 848	2800	下盘
61	风岩子	北川	104.421	31.754	158 468	0	下盘
62	长滩	绵竹	104.133	31.509	151 094	6670	下盘
63	魏家沟	北川	104.436	31.808	150 818	450	上盘
64	小岗剑	绵竹	104.126	31.502	149 074	6280	下盘
65	白岩山	青川	105.022	32.387	147 940	4300	上盘
66	郭牛村	北川	104.395	31.776	147 554	3000	上盘
67	和尚桥 2 [#]	都江堰	103.659	31.276	147 394	9600	上盘
68	八座坟	安县	104.219	31.519	146 272	11 000	下盘
69	田埂里	青川	105.044	32.299	144 729	1400	下盘
70	红麻公	青川	104.963	32.301	144 683	350	下盘
71	白果村	青川	105.088	32.384	139 800	300	下盘
72	黄土梁	北川	104.559	31.904	135 084	550	上盘
73	青龙村	青川	105.037	32.342	134 079	790	下盘
74	彭家山	北川	104.546	31.930	127 156	2900	上盘
75	王家岩	北川	104.449	31.826	125 381	400	上盘
76	一把刀	绵竹	104.149	31.481	125 059	9600	下盘
77	老虎嘴	汶川	103.484	31.090	125 039	2700	上盘
78	北川中学新区	北川	104.459	31.830	124 365	300	下盘
79	小梅子林	绵竹	104.018	31.401	122 530	5800	下盘
80	响水石	彭州	103.765	31.290	119 194	4600	上盘
81	高家磨	平武	104.881	32.261	115 301	1600	上盘
82	枷担湾 2 [#]	都江堰	103.645	31.234	114 905	9300	上盘
83	大花树	北川	104.390	31.730	113 111	0	上盘
84	王家包	北川	104.401	31.738	112 418	0	上盘
85	建康村	平武	104.887	32.242	111 106	340	上盘
86	肖家桥	安县	104.278	31.646	110 085	3000	下盘
87	岭头	青川	105.050	32.361	102 116	800	上盘
88	龙湾村	北川	104.571	31.921	99 821	650	上盘
89	张正波	青川	105.017	32.333	99 726	790	下盘

续表

序号	滑坡名称	所在行政区	经度 / (°)	纬度 / (°)	面积 /m ²	距断层距离 /m	盘位
90	南岳村	都江堰	103.561	31.082	99 350	0	上盘
91	虹口乡夏家坪	都江堰	103.655	31.122	96 345	790	上盘
92	杜家岩	青川	105.028	32.334	94 769	960	下盘
93	麻地坪	青川	104.997	32.355	94 633	2600	上盘
94	毛虫山 1 [#]	平武	104.906	32.240	92 355	1200	上盘
95	岩碛窝	青川	105.099	32.390	92 128	340	下盘
96	窗子沟	绵竹	104.086	31.518	91 718	2200	下盘
97	小溪山	青川	105.031	32.359	90 298	1000	上盘
98	西山坡	北川	104.436	31.818	83 663	1140	上盘
99	何家院	青川	105.020	32.281	83 359	1990	下盘
100	赵家山	青川	105.041	32.342	82 329	1000	下盘
101	柳树坪 1 [#]	青川	105.055	32.363	81 000	780	上盘
102	围子坪	青川	105.083	32.387	74 661	470	上盘
103	工字坝	青川	105.041	32.351	71 221	220	上盘
104	马耳坪	青川	105.022	32.424	70 982	7500	上盘
105	毛虫山 2 [#]	平武	104.908	32.243	70 252	1200	上盘
106	木红坪	青川	104.982	32.289	68 288	2600	下盘
107	麻池盖	青川	105.024	32.341	66 602	500	下盘
108	子溪村	平武	104.941	32.276	57 820	2400	上盘
109	柳树坪 2 [#]	青川	105.054	32.365	54 810	1000	上盘
110	董家	青川	105.031	32.343	54 353	1000	下盘
111	马家窝	青川	105.047	32.362	50 591	1100	上盘
112	小屋基	青川	105.002	32.307	50 122	2100	下盘

通过图 1.1 不难发现,汶川地震诱发大型滑坡的分布主要受控于发震断裂的展布情况,其主要沿汶川地震地表破裂面呈带状分布。具体地讲,汶川地震大型滑坡有以下分布规律。

1. 距离效应

图 1.2 为根据表 1.1 得到的离映秀—北川断裂不同距离范围内大型滑坡分布数目统计图。表 1.1 中的距离是指各滑坡滑源区中心点到映秀—北川断裂地表破裂面的垂直距离。如图 1.2 所示,大型滑坡的分布随其离映秀—北川断裂的距离呈急剧衰减的趋势,大型滑坡数目(N)与距离映秀—北川断裂的距离(D_r)满足如下对数关系,即

$$N=-14.019\lg D_r+32.935 \quad R^2=0.760 \quad (1.1)$$

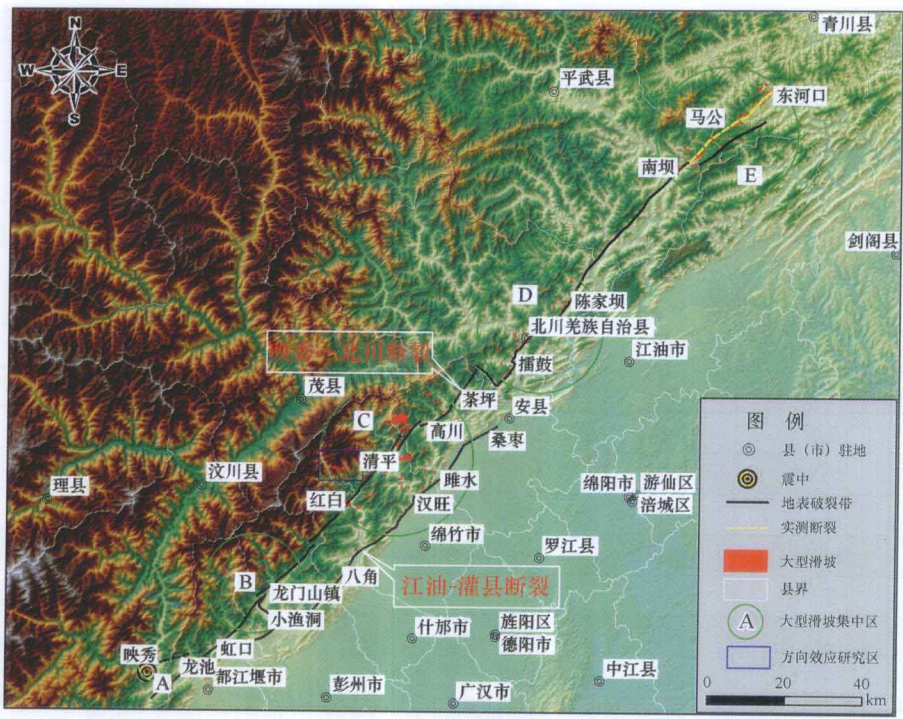


图 1.1 汶川地震大型滑坡平面分布图

Fig. 1.1 Distribution of large-scale landslides induced by the Wenchuan earthquake

(注：图中的 112 处滑坡来源于震后 ALOS、Aster 卫星影像及航空影像解译结果，其面积均大于 50 000m²。图中用黑色粗线表示的地表破裂带数据来源于四川省地震局，用黄色虚线表示的地表破裂带数据为作者根据现场调查及相关资料对地表破裂的补充)

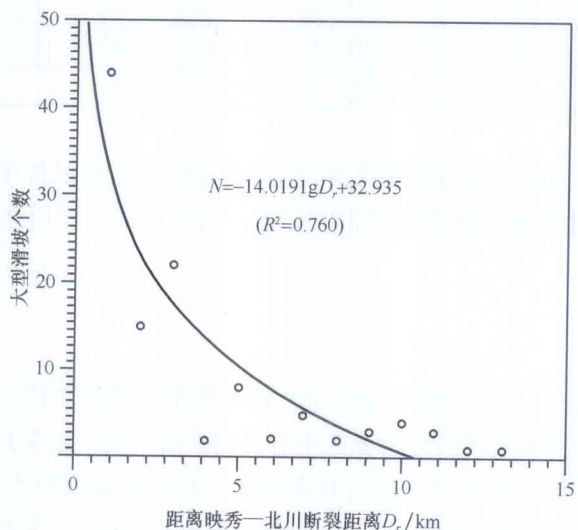


图 1.2 离映秀—北川断裂不同距离范围内大型滑坡分布数目的统计图

Fig. 1.2 Empirical relationship between distance from the Yingxiu—Beichuan fault and number of large-scale landslides

表 1.2 汶川地震区大型滑坡数目与离断层距离关系统计

Table 1.2 Statistical data showing number, distance and corresponding percentage in the Wenchuan earthquake area

距离/km	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
滑坡数目	44	15	22	2	8	2	5	2	3	4	3	1	1
所占比例/%	39.3	13.4	19.6	1.8	7.1	1.8	4.5	1.8	2.7	3.6	2.7	0.9	0.9

从表 1.2 和图 1.3 可以看出,在所统计的 112 处大型滑坡中,有 44 处位于离中央断裂 1km 范围之内,占总数的 39.3%; 15 处位于离中央断裂 2km 范围之内,占总数的 13.4%; 22 处位于离中央断裂 3km 范围之内,占总数的 19.6%。超过 70% 的滑坡位于离中央断裂 3km 以内, 80% 以上的滑坡位于离中央断裂 5km 以内。大型滑坡离映秀—北川断裂的最远距离为 13km。

值得指出的是,以上所统计的距离一般是指滑坡滑源区中心离映秀—北川断裂的垂直距离。但映秀—北川断裂在其 NE 端尤其是进入青川境内后,就散开成多束分支断裂。现场调查结果表明,在青川县窝前至东河口段大型滑坡的产生与映秀—北川断裂次级断裂(图 1.1 中的实测断裂)关系更为密切。因此,在距离统计时,青川窝前至东河口段是以图 1.1 中实测断裂(黄线)作为依据,其余地段以四川省地震局给出的地表破裂带(图 1.1 中的黑线)为依据。事实上,从图 1.1 可以看出,在红白镇至茶坪乡段滑坡的发生可能还受前山断裂的影响,因为其位于前山断裂——江油—灌县断裂的上盘,但很难分清各滑坡的发生究竟与哪条断裂的关系更密切,所以在距离统计时还只能以映秀—北川断裂为依据。同样,在青川县的窝前至东河口段滑坡的发生也可能与另一分支断裂(即图 1.1 中黑线标示的)的活动有关,但

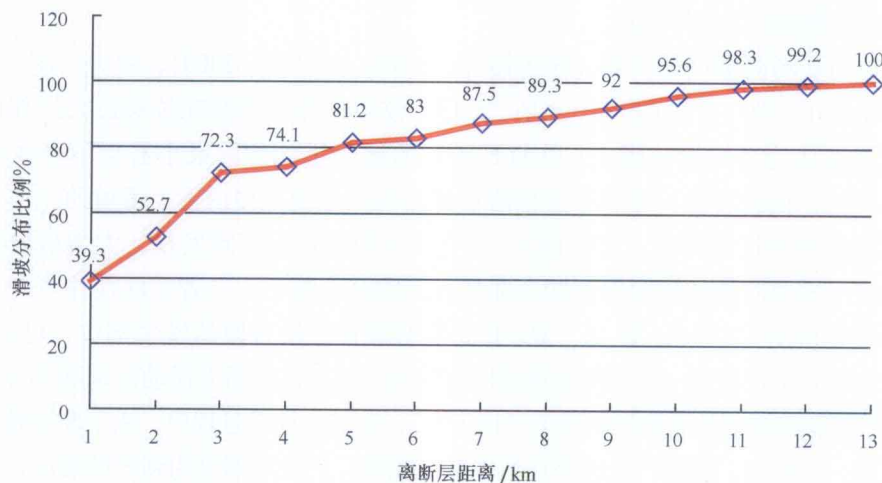


图 1.3 汶川地震区内不同断层距离内大型滑坡的统计图

Fig. 1.3 Relationship between distance from fault and percentage of large-scale landslides