

CATASTROPHIC LANDSLIDES IN CHINA

中国典型灾难性滑坡

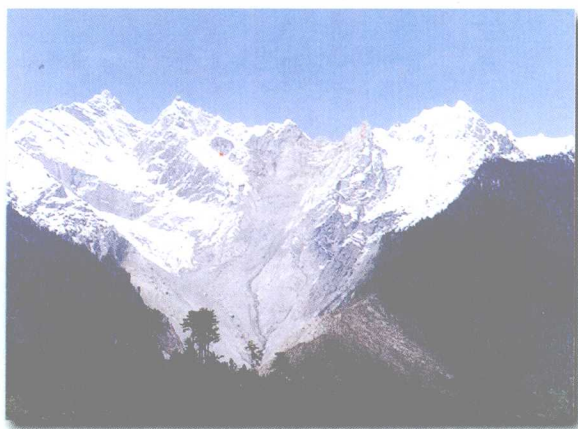
黄润秋 许 强 等 © 编著



科学出版社
www.sciencep.com

中国典型灾难性滑坡

黄润秋 许 强 等 编著



科学出版社

北 京

Catastrophic Landslides in China

R.Q. Huang Q. Xu



Science Press
Beijing

内 容 简 介

我国是一个滑坡灾害发生十分频繁且灾害损失极为严重的国家,尤其是大型灾难性滑坡,它们往往具有规模大、机理复杂、危害大、防治难度高等特点,不仅造成重大的人员伤亡,带来严重的社会影响,而且还具有很高的科学研究价值,在世界范围内都具有典型性和代表性。因此,选取一些典型的灾难性滑坡,对其进行真实的记录和系统地研究,无疑对推动我国乃至世界滑坡的研究与防治,都具有重要的理论和现实意义。

本书选取自 20 世纪以来发生在我国的 19 个灾难性滑坡为典型实例,通过现场调查和深入系统地研究,针对每个滑坡的具体特点,着重从滑坡过程实录、滑坡基本特征、滑坡成因机制以及滑坡稳定性和整治处理措施等方面,对各滑坡进行了深入、系统地分析研究。

本书可供从事国土资源、水利水电、交通、矿山、国防工程等部门地质工程和岩土工程技术人员及高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国典型灾难性滑坡/黄润秋,许强等编著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-022350-0

I. 中… II. ①黄… ②许… III. 滑坡-地质灾害-研究-中国
IV. P642.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 090773 号

责任编辑:童安齐 任加林 / 责任校对:赵 燕

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

*

2008 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 7 月第一次印刷 印张:35 1/2

印数:1—2 000 字数:720 000

定价:200.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

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

中国是一个滑坡灾害极其发育的国家，尤其是在中国的西南部地区。这个地区处于青藏高原东侧，青藏高原与四川盆地和云贵高原的过渡地带，受青藏高原第四纪以来持续隆升的影响，在青藏高原与云贵高原和四川盆地之间形成了巨大地形坡降带，构成了我国大陆地形从西向东急剧骤降的特点。在此过程中，发育于青藏高原的金沙江及其主要支流（雅砻江、大渡河、岷江）以及澜沧江、怒江等深切成谷，形成高山峡谷的地貌景观。特殊的地域地质环境，地壳内、外动力条件的强烈交织与转化，不仅导致这一地区滑坡、崩塌等地质灾害极为发育，而且往往具有规模大、机理复杂、危害大、防治难度高等特点。近一个世纪以来，我国绝大多数大型灾难性滑坡都发生在这个区域，它们在世界范围内都具有典型性和代表性。

大型灾难性滑坡不仅造成巨大的灾害损失和人员伤亡，带来极为严重的社会影响，而且典型的大型灾难性滑坡还具有很高的科学研究价值。在我们今天的现实社会仍然面临着巨大的滑坡灾害风险，而大型滑坡灾害本身的高度复杂性和不确定性使得人们对它的认识和掌控还有相当距离的情况下，对一些典型的大型灾难性滑坡开展观测、描述和分析评价，这一方面可以形成对这些滑坡的一份相对完整的历史档案，弥补历史的缺憾，为后来的研究者提供记录、阶梯和借鉴，而且，这项工作本身对我国乃至世界范围内的大型灾难性滑坡研究也是一个推动。基于此，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的老、中、青三代研究群体很早就有这个想法，编著《中国典型灾难性滑坡》一书。为实现这一目标，两年前，我们就成立了编著工作小组，明确了具体的分工。当然，只靠我们这个群体的力量还是不够的，为此，我们邀请了对这些滑坡事件有较多研究的一部分专家学者参与了编写工作。因此，这部书的完成是集体合作的成果，是老、中、青三代人共同

努力的结果,尤其是老一辈的专家,他们不顾年事已高,仍然以极大的热情和更大的付出完成了文稿的撰写。

本书在撰写风格上,我们最初的定位就是既考虑史料价值又兼顾学术价值。兼顾史料价值,是希望对每一个滑坡都尽可能地记录其基本要素、发生过程和基本特征,要保证记录的真实性和可靠性。为此,除了作者们过去的研究积累外,在编写过程中作者们对大多数滑坡又进行了现场复核,从而保证了第一手资料的准确性。

同时,我们也不希望放弃本书的学术价值,作者们对这些滑坡都有长期的研究积累,工作做得很深入、细致,研究成果也达到了一定的水平,其中许多作者对具体承担的滑坡都有多年的研究,在一定程度上反映了这些滑坡目前的研究水平。因此,我们鼓励作者们把他们的研究成果写出来,包括开展的试验研究、模拟分析评价和形成的学术观点等。我们不敢肯定每一位作者的学术观点都是正确的,也不期望每一个作者的观点都能得到读者们的认可,但是我们相信,这样做,对我国乃至世界范围内滑坡研究都具有一定的推动作用。

在本书即将付梓之际,5月12日下午2时28分,四川发生了震惊全球的“5.12”汶川大地震,震级达到8.0级。地震袭来,日月失色、山河崩溃,生灵涂炭,家园尽毁。灾情就是命令,参与本书撰写的部分作者第一时间就抵达了灾区现场,参与灾区地质灾害的应急调查、应急抢险和隐患点排查工作。在灾区工作的日日夜夜里,他们目睹了一幕幕惨烈的地震灾情,一场场悲戚的生离死别,一次次艰险的生死营救。强震诱发的大量崩塌、滑坡使山河变色,满目疮痍,原本秀美的山川已不复存在,勤劳的人民饱受灾难;无比悲伤的同时,更激发了他们作为地学工作者,尤其是地质灾害工作者的一份责任和奋发前进的动力。为此,在本书的最后,特地选编了部分作者从现场拍回的反映“5.12”汶川地震灾情的照片。

黄润秋 许 强

二〇〇八年五月二十九日

目 录

前言 (黄润秋 许强)

Preface (R.Q. Huang, Q. Xu)

第一章 中国典型灾难性滑坡概况 (黄润秋)

Chapter 1 General Review of Catastrophic Landslides

in China (R.Q. Huang) 1

1.1 概述 1

1.2 20 世纪以来中国的典型灾难性滑坡 4

1.3 中国大型滑坡发生机理 21

1.4 结论 31

主要参考文献 34

第二章 宁夏海原大地震诱发的黄土滑坡 (1920) (袁丽侠 崔星)

Chapter 2 Haiyuan Earthquake-induced Loess Landslide,

Ningxia Province (1920) (L.X. Yuan, X. Cui) 37

2.1 概述 37

2.2 黄土结构特征及其物理力学性质 38

2.3 地震诱发黄土滑坡过程 40

2.4 地震诱发黄土滑坡的分布及类型 43

2.5 地震诱发黄土滑坡形成的耦合机制 51

主要参考文献 56

第三章 四川岷江叠溪地震滑坡 (1933) (王兰生 杨立铮 李天斌 许向宁

王小群 崔杰)

Chapter 3 Diexi Earthquake-induced Landslide, Min River, Sichuan

Province (1933) (L.S. Wang, L.Z. Yang, T.B. Li, X.N. Xu, X.Q. Wang and J. Cui) 57

3.1 概述 57

3.2 叠溪地区地质环境基本特征 63

3.3 叠溪地震崩塌滑坡的主要特征 70

3.4 叠溪地震崩塌滑坡形成演化机制地质力学模拟研究简介	84
3.5 主要结论与认识	91
主要参考文献	93
第四章 黄河龙羊峡水电站坝前大型滑坡群和查纳滑坡 (1943) (张倬元 刘汉超)	
<i>Chapter 4 Large-scale Landslide Group at Longyang Hydropower</i>	
<i>Station and Chana Landslide, Qinghai Province (1943) (Z.Y. Zhang, H.C. Liu)</i>	<i>94</i>
4.1 概述	94
4.2 研究区的自然地质环境	94
4.3 黏性土的主要工程地质特性	99
4.4 滑坡发育特征	103
4.5 滑坡形成机制分析	115
4.6 滑坡高速远滑的原因及滑速滑程预测	125
4.7 库岸稳定性分析及宏观防治对策	133
4.8 结论	144
主要参考文献	145
第五章 云南禄劝县烂泥沟滑坡 (1965) (徐则民 黄润秋)	
<i>Chapter 5 Lannigou Landslide, Luquan, Yunnan Province (1965)</i>	
<i>(Z.M. Xu, R.Q. Huang)</i>	<i>146</i>
5.1 滑坡过程实录	146
5.2 滑体运动学特征	150
5.3 滑坡的工程地质特征	153
5.4 发生机制	177
5.5 结论	180
主要参考文献	181
第六章 雅砻江唐古栋滑坡 (1967) (黄润秋 徐则民)	
<i>Chapter 6 Tanggudong Landslide, Yalong River,</i>	
<i>Sichuan Province (1967) (R.Q. Huang, Z.M. Xu)</i>	<i>182</i>
6.1 滑坡过程实录	182
6.2 滑坡工程地质特征	187
6.3 滑坡发生机制	199
6.4 结论	208
主要参考文献	210

第七章 三峡库区云阳鸡扒子滑坡 (1982) (黄润秋)

Chapter 7 Jipazi Landslide, Yunyang, Yangtze River,

Chongqing City (1982) (R.Q. Huang)..... 211

- 7.1 概述 211
- 7.2 滑坡区的地质地貌概况 213
- 7.3 滑带土的力学性质 214
- 7.4 鸡扒子滑坡的形成机制 215
- 7.5 鸡扒子滑坡的整治处理 222
- 7.6 结论 223
- 主要参考文献 223

第八章 甘肃洒勒山滑坡 (1983) (张倬元 王士天)

Chapter 8 Sale Mountain Landslide, Gansu Province (1983)

(Z.Y. Zhang, S.T. Wang) 224

- 8.1 概述 224
- 8.2 自然地理和地质背景 225
- 8.3 洒勒山滑坡成因机制 233
- 8.4 滑坡的运动学与动力学研究 237
- 8.5 结论 241
- 主要参考文献 241

第九章 长江三峡新滩滑坡 (1985) (王尚庆 贺可强 胡高社)

Chapter 9 Xintan Landslide, Yangtze River, Hubei Province (1985)

(S.Q. Wang, K.Q. He and G.S. Hu) 243

- 9.1 概述 243
- 9.2 滑坡过程实录 245
- 9.3 滑坡基本特征 249
- 9.4 滑坡成因机制 250
- 9.5 滑坡监测预报 253
- 9.6 结论 259
- 主要参考文献 260

第十章 四川华蓥溪口滑坡 (1989) (黄润秋)

Chapter 10 Xikou Landslide, Huaying, Sichuan Province (1989) (R.Q. Huang) ... 261

- 10.1 概述 261
- 10.2 研究区自然地理及工程地质环境条件 263
- 10.3 滑坡 - 泥石流发育的基本特征 275

10.4	滑源区岩体结构特征研究	281
10.5	角砾岩的成因研究	287
10.6	滑坡形成机制的“概念模拟”建立	293
10.7	滑坡形成过程的全过程模拟	294
10.8	结论	305
	主要参考文献	306
第十一章 云南昭通头寨沟滑坡 (1991) (黄润秋 徐则民)		
	<i>Chapter 11 Touzhaigou Landslide, Zhaotong, Yunnan Province (1991)</i> (R.Q. Huang, Z.M. Xu)	307
11.1	概述	307
11.2	滑坡工程地质特征	307
11.3	滑坡发生机制	328
11.4	结论	339
	主要参考文献	340
第十二章 云南元阳老金山滑坡 (1996) (袁中玉 唐川)		
	<i>Chapter 12 Laojin Mountain Landslide, Yunnan Province (1996)</i> (Z.Y. Yuan, C. Tang)	341
12.1	概述	341
12.2	灾情	342
12.3	滑坡区地质环境背景	342
12.4	滑坡区社会经济活动	345
12.5	滑坡过程与机制	345
12.6	滑坡特征	346
12.7	滑坡成因分析	352
12.8	老金山滑坡的防治与减灾	353
	主要参考文献	354
第十三章 贵州印江岩口滑坡 (1996) (黄润秋 邓辉)		
	<i>Chapter 13 Yankou Landslide, Guizhou Province (1996)</i> (R.Q. Huang, H. Deng)	355
13.1	概述	355
13.2	滑坡发生过程	356
13.3	滑坡发育特征	357
13.4	滑坡形成机制分析	372
13.5	滑坡发生的全过程数值模拟	378

13.6	滑坡残留体稳定性计算与评价	392
13.7	危岩体稳定性评价及预测	396
13.8	岩口滑坡的综合治理方案	402
第十四章	西藏易贡特大山体崩塌滑坡 (2000) (许强 王士天)	
	<i>Chapter 14 Large Scale Avalanches of Yigong, Tibet (2000)</i> (Q. Xu, S.T. Wang)	406
14.1	概述	406
14.2	环境地质条件	407
14.3	易贡特大山体崩塌滑坡基本特征	409
14.4	易贡特大山体崩塌滑坡引发的灾害链	418
14.5	易贡特大山体崩塌滑坡成因机制分析	420
14.6	结论	422
	主要参考文献	423
第十五章	三峡库区千将坪滑坡 (2003) (肖诗荣 罗先启)	
	<i>Chapter 15 Qianjiangping Landslide in Three Gorges</i> <i>Reservoir Area, Hubei Province (2003) (S.R. Xiao, X.Q. Luo)</i>	424
15.1	概述	424
15.2	滑坡过程实录	425
15.3	滑坡基本地质特征	429
15.4	滑坡成因机制	435
15.5	千将坪滑坡变形破坏过程数值模拟研究	437
	主要参考文献	443
第十六章	四川宣汉县天台乡滑坡 (2004) (许强 范宣梅)	
	<i>Chapter 16 Tiantai Landslide, Sichuan Province (2004) (Q. Xu, X.M. Fan)</i>	445
16.1	概述	445
16.2	滑坡特征	446
16.3	滑坡变形破坏过程和特征	449
16.4	滑坡形成机制分析与稳定性评价	453
16.5	滑坡治理工程主要措施	465
16.6	滑坡防治效果分析	468
	主要参考文献	469
第十七章	四川丹巴滑坡 (2005) (许强 范宣梅)	
	<i>Chapter 17 Danba Landslide, Sichuan Province (2005) (Q. Xu, X.M. Fan)</i>	470
17.1	概述	470

17.2	滑坡环境地质条件	471
17.3	滑坡特征	471
17.4	丹巴滑坡监测预警与应急抢险工程	476
17.5	丹巴滑坡综合治理工程	485
	主要参考文献	489
第十八章 四川省北川县白什乡滑坡 (2007) (许强)		
	<i>Chapter 18 Baishi Landslide, Sichuan Province (2007) (Q. Xu)</i>	490
18.1	概述	490
18.2	滑坡基本特征	491
18.3	滑坡变形破坏过程及特征	493
18.4	滑坡成因机制分析	503
18.5	白什乡滑坡的预警预报	505
18.6	白什乡滑坡的应急防灾措施	506
	主要参考文献	508
第十九章 四川省达县青宁乡岩门村滑坡 (2007) (许强)		
	<i>Chapter 19 Yanmen Landslide, Sichuan Province (2007) (Q. Xu)</i>	509
19.1	概述	509
19.2	滑坡基本特征	509
19.3	岩门村滑坡的成因机制分析	520
19.4	岩门村滑坡稳定性分析	522
19.5	岩门村滑坡防治工程措施	523
	主要参考文献	524
第二十章 四川汶川大地震诱发的崩塌滑坡灾害 (2008) (黄润秋 许强 李勇 胡卸文 唐川 邓辉)		
	<i>Chapter 20 Wenchuan Earthquake-induced Landslides, Sichuan Province (2008) (R.Q. Huang, Q. Xu, Y. Li, X.W. Hu, C. Tang and H. Deng)</i>	525
20.1	概述	525
20.2	地震发生的地质构造背景	525
20.3	汶川特大地震地表破裂与变形特征	531
20.4	重特大崩滑灾害及其堵江	535
20.5	区域崩滑灾害	546
20.6	初步认识	546

第一章 中国典型灾难性滑坡概况

Chapter 1 General Review of Catastrophic Landslides in China

1.1 概 述

20 世纪初中期以来,随着世界人口的不断增长、人类活动的空间范围逐渐扩展和工程活动的规模不断加大,加之受到全球气候变化[如厄尔尼诺(El Niño)]等因素的影响,滑坡灾害发生的频率越来越高,所造成的经济损失和人员伤亡也不断加大^[1~3]。到目前为止,全球范围内凡是有人类居住和工程活动的山岭地区,几乎都有滑坡灾害发生,已成为仅次于地震的第二大地质灾害^[4,5]。在欧洲,瑞典、挪威所在的斯堪的纳维亚半岛地区(Scandinavia),占据法国东部、瑞士、奥地利及意大利北部的阿尔卑斯山地区(Alps),纵贯意大利全境的亚平宁山区(Appenines)及英国大部都是滑坡灾害的高发区^[6~10]。处于美洲板块边缘、呈南北向断续分布的落基山脉(Rocky Mountains)、马德雷山脉(Madre)及安第斯山脉(Andes)在构成美洲大陆西部屏障的同时,也在所经过的加拿大、美国西部、墨西哥、萨尔瓦多及智利等国家和地区孕育着全球最多的滑坡灾害^[3,11]。位于西太平洋第一岛链上的日本、中国台湾以及青藏高原(Tibetan Plateau)南缘喜马拉雅地区(Himalayas)的尼泊尔及印度北部也是亚洲滑坡灾害的高发区^[12~14]。

我国是亚洲,乃至是世界上滑坡灾害最为严重的地区之一,特别是 20 世纪 80 年代以来,随着经济的高速发展以及自然因素的影响,滑坡灾害呈逐年加重趋势。目前,全国范围内除山东没有发现危害严重的滑坡灾害外,其余各地均有发生,其中以西部地区(西南、西北)的云南、贵州、四川、重庆、西藏、湖北西部、湖南西部、陕西、宁夏及甘肃等省区最为严重。据初步统计,全国至少有 400 多个市、县、区、镇,10 000 多个村庄受到滑坡灾害的严重侵害,有迹可查的滑坡灾害点达到 41 万多处,总面积 $173.52 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土总面积的 18.10% (截至 2000 年); 1995 年以来,滑坡造成的年均死亡人数已连续多年超过 1000 人。严重的滑坡灾害不仅给当地居民的生命财产造成了极大损失,而且还摧毁工厂、矿山,并严重影响铁路、公路及水电站等重要基础设施的安全运营^[15~21]。

大型滑坡(Large-scale landslides)由于其巨大的势能,往往在脱离母岩后形成高速、远程以及崩→滑→流一体的复合地质灾害^[22,23]或地质灾害链,带来毁灭性破坏和重大

人员伤亡。因此,这类滑坡长期以来为各国学者所关注^[16, 24~35],如1950年9月瑞典色尔特(Surte)滑坡[体积 $400 \times 10^4 \text{m}^3$, 40余栋房屋被毁,交通中断(Jacobson B., 1952; Caldenius C., 1966; Johnson A. M. & Fleming R.W., 2001)]、1963年10月意大利瓦依昂(Vaiont)水库滑坡(体积 $2.7 \times 10^8 \text{m}^3$, 2500余人死亡)^[24]、1980年5月美国华盛顿州海伦斯(Helens)火山爆发引发的特大崩→滑→流灾害(体积高达 2.8km^3)^[3, 16]、1998年8月洪都拉斯米歇尔(Mitch)飓风强降雨诱发的厄尔百林彻(El Berrinche)深层滑坡(体积达 $600 \times 10^4 \text{m}^3$)以及2001年1~2月萨尔瓦多的群发性地震滑坡(其中, Santa Tecla滑坡方量约 $75 \times 10^4 \text{m}^3$, 造成500多人死亡(Harp E.L. & Vallance J., 2001; 日本土木工程师学会, 2001; 文献[25]))等。

中国同样是一个大型滑坡灾害极为发育的国家,其中灾难性滑坡占有突出重要的地位,尤其是在中国的西部地区,这些滑坡更是以其规模大、机理复杂、危害大等特点著称于世,在全世界范围内具有典型性和代表性,如1920年的宁夏海原地震滑坡、1933年的四川岷江叠溪滑坡、1965年云南禄劝滑坡、1967年的四川唐古栋滑坡等^[4, 15, 16]。尤其是进入20世纪80年代以来,我国大型滑坡的发生又进入了一个新的活跃期,相继发生了1982年7月的长江鸡扒子滑坡、1983年3月的甘肃洒勒山滑坡、1989年7月的四川华蓥溪口滑坡、1991年9月的云南昭通头寨沟滑坡、1996年6月的云南元阳老金山滑坡、2000年4月的西藏波密贡嘎滑坡、2004年7月的四川宣汉滑坡、2005年2月的四川丹巴滑坡等20余处大型和特大型滑坡,给人民生命和社会财产造成了重大损失。更为惊心的是:2008年5月12日四川汶川发生8.0级特大地震,触发了不同规模崩塌滑坡数万起,具有危害的6000余起,形成近百个堰塞湖,致使日月失色、山河崩溃,生灵涂炭,家园尽毁;灾害之惨重、伤亡之惨痛令世人悲哀。

本章对本书中所包含的灾难性滑坡进行了总体的描述和概略性述评,探讨了中国大陆灾难性滑坡发生的总体规律和形成机理。分析表明:中国大陆大型滑坡发育最根本的原因是有利的地形地貌和强烈的内、外动力条件(地震、降雨),约70%的大型灾难性滑坡发生在环青藏高原东侧的大陆地形第一个坡降带范围内;同时,这个地区也是世界上板内构造活动最为活跃的地区,地壳内、外动力条件强烈的交织与转化,促使高陡边坡发生强烈的动力过程,从而促进了大型滑坡灾害的发育。强震、极端气候条件和全球气候变化构成了大型滑坡发生的主要触发和诱发因素:中国南方暴雨强度达到 $200 \sim 300 \text{mm/d}$ 时就易于触发大滑坡的发生;中国西北地区春季冻结层的融化,也是大规模黄土滑坡发生的诱因;近年来全球气候变化导致气温上升、雪线上移、冰川后退、冰湖溃决,也都成为了特定地区大型灾难性滑坡发生的诱发和触发因素。

深入的机理分析表明,中国的大型滑坡通常具有复杂的成生机理。总的来看,大型滑坡发生的岩土介质主要有以下三类,即岩质滑坡、土层滑坡和松散堆积层滑坡。除了松散堆积层滑坡,前两者都涉及复杂的演化机理及过程,其典型的地质-力学模式包括滑移-拉裂-剪断“三段式”模式、“挡墙溃屈”模式、近水平岩层的“平推式”模式、反倾岩层大规模倾倒变形模式、顺倾岩层的蠕滑(-弯曲)-剪断模式

等。每一类模式都具有其对应的地质结构条件和特定的变形破坏演变过程。通常,大型岩质滑坡的发生一般都伴随有滑动面上“锁固段”的突发脆性破坏,“锁固段”在岩质边坡的变形控制和稳定性机理中具有重要的地位,也是边坡地质灾害评价与控制的关键。

表 1.1 20 世纪以来中国典型灾难性崩滑地质灾害事件

Table 1.1 Typical catastrophic landslides in China since the 20th century

滑坡名称	位 置	发生日期 / 年·月·日	方量 / $\times 10^4 \text{m}^3$	斜坡类型	诱发因素	损 失
宁夏海源地震滑坡(群)	宁夏海源	1920.12.16		黄土斜坡	海源地震	诱发 675 个大滑坡, 形成 40 余个堰塞湖; 大量村庄被毁, 死亡 10 万人
四川叠溪地震滑坡(群)	四川茂县	1933.08.25		三叠系浅变质岩	7.5 级叠溪地震	摧毁城镇、村寨, 6800 人死亡; 堰塞成湖, 后溃坝造成下游 8000 人死亡
青海查纳滑坡	青海共和	1943.02.07	25 000.0	第三系半成岩湖相地层	冻融作用	摧毁查纳村, 造成 114 人死亡
云南禄劝崩塌	云南禄劝	1965.11.22	39 000.0	二叠系峨眉山玄武岩	长期蠕变	将老深多等 5 座村庄掩埋, 死亡 444 人
四川唐古栋滑坡	四川雅江	1967.06.08	6800.0	三迭系风化砂板岩	雅砻江侧蚀+坡体长期蠕变	堵塞雅砻江 9 昼夜, 坝高 335m, 溃坝洪峰 $57\,000 \text{m}^3/\text{s}$
湖北盐池河岩崩	湖北宜昌	1980.06.03	150.0	近水平层状边坡	地下采矿	摧毁矿山, 284 人死亡
长江鸡扒子滑坡	重庆云阳	1982.07.18	1500.0	古滑坡(层状碎裂)	暴雨	毁房大量, 长江航道中断 7 天, 经济损失近 1 亿元
甘肃酒勒山滑坡	甘肃东乡	1983.03.07	3100.0	黄土盖层, 第三系泥岩	蠕变, 冻融	死亡 237 人
长江新滩滑坡	湖北秭归	1985.06.12	3000.0	古滑坡和崩积体(散体)	降雨	即时搬迁千余人
重庆中阳村滑坡	重庆巫溪	1988.01.10	765.0	石灰岩	暴雨	死亡 33 人
四川溪口滑坡	重庆华蓥	1989.07.10	150.0	强风化碳酸盐岩	暴雨	死亡 221
云南头寨滑坡	云南昭通	1991.09.23	900.0	强风化玄武岩	长期蠕变	死亡 216 人
乌江鸡冠岭岩崩	重庆武隆	1994.04.30	424.0	中-陡反倾边坡	地下采矿, 降雨	崩塌体入乌江, 形成近 10m 的水位落差, 浪高 1~5m, 断流半小时, 中断水上运输 3 个月, 直接经济损失近 1 亿元
云南老金山滑坡	云南元阳	1996.06.01	500.0	散体斜坡	采矿	逾 200 死亡、失踪

续表 1.1

滑坡名称	位 置	发生日期 / 年·月·日	方量 / $\times 10^4\text{m}^3$	斜坡类型	诱发因素	损 失
贵州岩口滑坡	贵州印江	1996.07.18	1500.0	斜顺倾石灰岩边坡	坡脚采石	堵江坝高 65m, 形成长 8km 堰塞湖, 数千人受灾, 3 人失踪
西藏易贡滑坡	西藏波密	2000.04.09	28 000.0	基岩、散体	溶雪	形成堰塞湖, 淹没库区, 溃坝产生次生洪水灾害
云南兰坪滑坡	云南兰坪	2000.09.03	2000.0	顺倾边坡	暴雨	搬迁 5000 人
长江三峡千将坪滑坡	三峡库区支流	2003.07.13	2400.0	砂泥岩顺层滑坡	水库蓄水	14 人死亡, 损失 5735 万元
四川天台滑坡	四川宣汉天台乡	2004.09.05	2500.0	缓倾角顺层砂泥岩斜坡	暴雨	搬迁 1255 人, 滑坡坝高 23m, 形成长 20km 堰塞湖, 2 万人受灾
四川丹巴滑坡	四川丹巴县	2005.02.18	220.0	堆积层滑坡	长期蠕变及人工扰动	破坏房屋, 损失 1066 万元, 威胁整个县城安全
四川“512”汶川大地震滑坡	四川汶川、北川、青川等	2008.05.12		大量基岩滑坡, 部分堆积层滑坡, 板岩、片岩、千枚岩、灰岩为主	8.0 级强震触发	产生不同规模崩塌滑坡数万起, 具有危害的 6000 余起, 形成近百个堰塞湖, 导致大量人员伤亡, 毁房无数

1.2 20 世纪以来中国的典型灾难性滑坡

1.2.1 四川岷江叠溪地震滑坡

叠溪位于四川茂县的岷江上游左岸, 距成都 249km、距茂县 56km, 东经 103° 41′、北纬 32° 01′, 是一个依山傍水修建的山区古城。叠溪是扼守川西平原通往松潘草原和青海、甘肃等省区的交通要道, 历经汉、唐、明、清等多个朝代, 民国时期隶属茂汶县。

1933 年 8 月 25 日 15 时 53 分, 叠溪发生震中烈度高达 X 度的 7.5 级强烈地震, 波及范围北至西安, 东至万县, 西抵马尔康, 南达昭通, VIII 度以上的烈度区面积达 2000km², 而 VI 以上的烈度区面积更高达 14 000km² (图 1.1)。震中区的沙湾、叠溪、较场坝、猴儿寨、龙池等地瞬间天昏地暗, 山崩江断, 群峰晃荡, 叠溪古城刹那间被西北方向山崩塌下的岩石埋葬。

由于发生在山区, 此次地震的突出特征是在广大范围内诱发了强烈的河流岸坡及沟谷斜坡的崩塌与滑坡 (图 1.2), 而这些崩滑灾害摧毁了叠溪古城、沙湾、较场坝、猴儿寨、龙池及附近的 21 个羌寨, 造成 6865 人死亡, 1925 人受伤。

斜坡崩滑形成的滑坡坝在岷江及其支流上形成不同规模的 11 个堰塞湖, 其中以叠

溪附近的大、小海子规模最大。较场坝以北岷江两岸的观音崖和银屏崖遥相对峙，地震时二者从山顶坠入岷江，形成了长800m，宽170m，高约200m的大海子拦河大坝。至今，大海子水深仍有98m，并保持 $7300 \times 10^4 \text{m}^3$ 的库容^[27]。小海子位于大海子下游，并与其首尾相接，由较场滑坡堵江形成（图1.2）。

地震后第45天，即1933年10月9日晚7时，强烈的余震引发了松平沟、白腊寨等七处海子溃决，加之岷江上游松潘地区阴雨连绵，江水暴涨，大海子滑坡坝溃决，积水倾湖而出，长驱直下，大店以上水头高达60余m，到达灌县时水头仍有12m高，都江堰洪水流量高达 $10\,200 \text{m}^3/\text{s}$ 。特大洪水消退后，江边到处是人、畜的尸体，仅茂汶一县，就死亡2500余人，加上汶川、灌县等，共造成8000余人死亡^[37]。

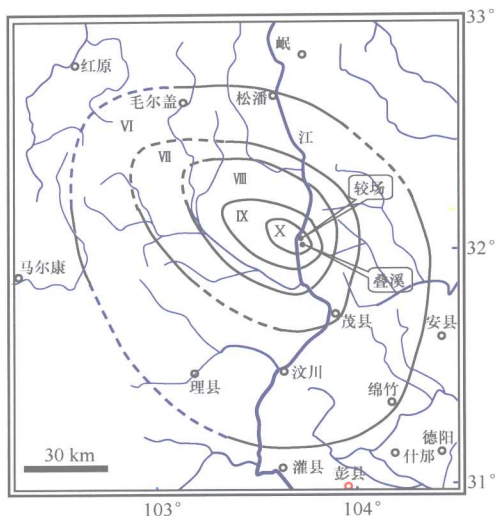


图1.1 叠溪地震等烈度线图（据四川省地震局《1933年叠溪地震》，引自文献[36]）

Fig. 1.1 Intensity contour map of Diexi earthquake

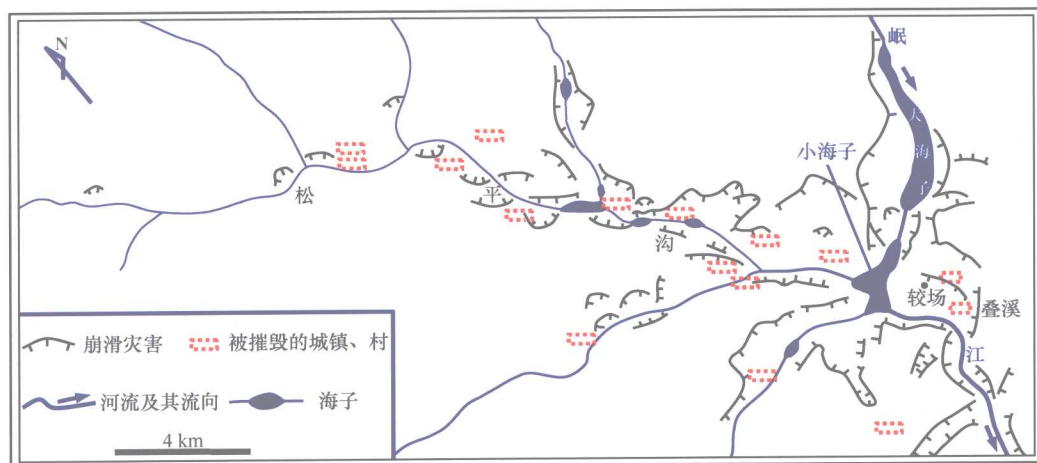


图1.2 地震在叠溪至松平沟一带诱发的崩滑灾害分布（据四川省地震局《1933年叠溪地震》^[36]）

Fig. 1.2 Landslides and rockfalls distribution induced by strong earthquake at Diexi-Songpinggou in 1933

叠溪地处松潘-甘孜地槽褶皱带、秦岭近地槽褶皱带与龙门山断裂带构成三角地带内，区域构造主要表现为一系列紧密线状弧形倒转褶皱及相伴的冲断层。区内出露基岩为泥盆系、石炭系、二叠系和三叠系浅变质岩，主要为变质砂岩、大理化灰岩、千枚岩和板岩等。

叠溪地震诱发的斜坡灾害中，以较场滑坡的规模最大。较场滑坡堆积体位于小