

河北省地质矿产勘查开发局科研成果

震后地质灾害特征 与防治研究——以汶川地震灾区为例

刘志刚 邢忠信 王孟科 刘明辰 雒国忠 等编著
孟凡杰 王润涛 曾令海 夏华宗 王建辉

ZHENHOU DIZHI

ZAIHAI TEZHENG YU FANGZHI YANJIU
YI WENCHUAN DIZHEN ZAIQU WEILI

地质出版社

河北省地质矿产勘查开发局科研成果

震后地质灾害特征与防治研究

——以汶川地震灾区为例

刘志刚	邢忠信	王孟科	刘明辰	雒国忠	等编著
孟凡杰	王润涛	曾令海	夏华宗	王建辉	
冀 广	刘和民	甄彦敏	郝文辉	高 维	
刘继生	韦 立				

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书以2008年汶川“5·12”特大地震部分重灾区为研究范围,以震后泥石流、滑坡、崩塌地质灾害为研究对象,以区域地质灾害调查资料和震后地质灾害应急勘查、治理设计与施工资料为研究依据,对比分析了地震前与地震后地质灾害的分布与发育特征,重点研究了震后地质灾害的形成条件与基本特征,评价了崩塌、滑坡的稳定性和泥石流的易发性,提出了震后地质灾害的勘查评价方法和治理措施。

本书可供从事地质灾害勘查与防治领域的科研、工程技术人员及管理工作者参考,亦可作为大专院校有关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

震后地质灾害特征与防治研究:以汶川地震灾区为例/刘志刚等编著. —北京:地质出版社,2014.8
ISBN 978-7-116-08905-1

I. ①震… II. ①刘… III. ①地震次生灾害-灾害防治-研究-汶川县 IV. ①P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第174481号

责任编辑:肖莹莹 张 诚 付庆云

责任校对:王洪强

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324589(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 82310749

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:889mm×1194mm^{1/16}

印 张:19.5 图版:4

字 数:550千字

版 次:2014年8月北京第1版

印 次:2014年8月北京第1次印刷

定 价:78.00元

书 号:ISBN 978-7-116-08905-1

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

《震后地质灾害特征与防治研究

——以汶川地震灾区为例》

编著指导委员会

主 任	刘鹤峰						
副 主 任	李春生	徐建芳	肖桂珍				
委 员	马友谊	白贵成	田文法	魏风华	吴 毅	张保江	
	赵志超	李万义	赵国通	刘仓平	田京振	侯军亮	
	刘庆民	李文广					

编著成员

主编人员	刘志刚	邢忠信	王孟科	刘明辰	雒国忠	孟凡杰	
	王润涛	曾令海	夏华宗	王建辉	冀 广	刘和民	
	甄彦敏	郝文辉	高 维	刘继生	韦 立		
参加人员	(按姓氏笔画为序)	万 凯	于孝民	马利涛	马艳军		
尹丽军	王 杰	王卫东	王永波	王西房	王启星	王志普	
王现果	王美丽	付世骞	冯更辰	冯创业	田占良	田自浩	
刘 硕	刘文军	刘文涛	刘永涛	刘亚军	刘向军	刘国华	
孙冬义	孙全义	孙建虎	师明川	朱新建	汤 勇	邢化庐	
宋会图	张子乾	张广辉	张汝洲	张志刚	张进才	张保江	
张振东	张海亮	张艳春	张增勤	李 锋	李予红	李会华	
李如山	李和学	李建录	李朝政	杜 泉	杨学亮	杨宝刚	
杨春光	苏永强	苏阿娟	贡长青	范存良	郑喜珍	郑彦峰	
段保春	胡立国	赵惠梅	赵朝兵	郝舍廷	徐丹梅	徐世民	
徐永凯	徐海振	袁 烨	贾志强	贾进军	郭 巨	郭玉平	
钱 龙	高新乐	崔国树	崔爱敏	曹志民	曹起堂	曹鼎鑫	
梁国琴	黄云龙	简 明	翟 星	樊海江	魏铁柱		

《震后地质灾害特征与防治研究》

——以汶川地震灾区为例》

编写组织实施单位

主持单位：河北省地质矿产勘查开发局

承担单位：河北省地矿局第四水文工程地质大队

河北省地矿局水文工程地质勘查院

河北地矿建设工程集团公司

河北省环境地质勘查院

河北省地矿局秦皇岛矿产水文工程地质大队

参加单位：河北省地矿局第三水文工程地质大队

河北省地矿局第二地质大队

河北省地矿局第十一地质大队

河北省地矿局石家庄综合地质大队

目 录

第一篇 总 论

第一章 绪言	3
第一节 研究背景与意义	3
第二节 国内外研究现状	5
第三节 主要研究内容与思路	11
第四节 取得的主要成果	12
第五节 工作组织与编著分工	17
第二章 自然地理及地质环境概况	19
第一节 社会经济概况	19
第二节 自然地理	19
第三节 地质环境概况	22
参考文献	28

第二篇 震后地质灾害特征与防治技术

第三章 震后泥石流特征与防治技术	31
第一节 “5·12”地震前后泥石流类型及分布发育规律	31
第二节 震后泥石流形成条件和基本特征	35
第三节 震后泥石流危险性评价与发展趋势预测	44
第四节 震后泥石流勘查评价方法	45
第五节 震后泥石流灾害治理思路 and 措施	52
第六节 小结	62
参考文献	64
第四章 震后滑坡特征与防治技术	65
第一节 “5·12”地震前后滑坡的分布及发育特征	65
第二节 震后滑坡形成条件与基本特征	68
第三节 震后滑坡稳定性评价	79
第四节 震后滑坡勘查方法	89
第五节 震后滑坡治理措施	95
第六节 小结	102
参考文献	104

第五章 震后崩塌特征与防治技术	105
第一节 “5·12”地震前后崩塌的分布及发育特征	105
第二节 震后崩塌形成条件及基本特征	108
第三节 震后崩塌稳定性评价	115
第四节 震后崩塌勘查方法	131
第五节 震后崩塌治理措施	137
第六节 小结	140
参考文献	141

第三篇 典型地质灾害特征与防治实例

第六章 典型泥石流特征与防治实例	145
泥石流实例一：安县桑枣镇梓潼沟泥石流特征与治理方案	145
泥石流实例二：都江堰市龙池镇南岳村碱坪沟泥石流特征与治理方案	149
泥石流实例三：都江堰市玉堂镇龙凤村王家沟泥石流特征与治理方案	155
泥石流实例四：都江堰市虹口乡红色村干沟泥石流特征与治理方案	159
泥石流实例五：都江堰市虹口乡上坪西侧老泥石流特征与治理方案	167
泥石流实例六：都江堰市向峨乡龙竹村 3 组潜在泥石流特征及治理方案	172
泥石流实例七：平武县南坝镇杏子树沟泥石流特征与治理方案	179
泥石流实例八：彭州市龙门山镇青杠沟泥石流特征与治理方案	184
泥石流实例九：彭州市龙门山镇楼房沟泥石流特征与治理方案	189
泥石流实例十：都江堰市龙池镇磨刀沟泥石流特征与治理方案	196
泥石流实例十一：都江堰市紫坪铺镇纸厂沟泥石流特征与治理方案	200
泥石流实例十二：平武县水观乡陶坪堰泥石流特征与治理方案	206
泥石流实例十三：平武县水观乡大沟泥石流特征与治理方案	211
泥石流实例十四：平武县平通镇李家院子泥石流特征与治理方案	215
泥石流实例十五：彭州市龙门山镇香樟树沟泥石流特征与治理方案	219
第七章 典型滑坡特征与防治实例	225
滑坡实例一：平武县南坝镇赵家坟滑坡群特征与治理方案	225
滑坡实例二：平武县豆叩镇魏家湾滑坡特征与治理方案	232
滑坡实例三：平武县南坝镇魏坝滑坡特征与治理方案	236
滑坡实例四：平武县大桥中学后坡滑坡特征与治理方案	241
滑坡实例五：平武县大桥镇斩龙垭滑坡特征与治理方案	248
滑坡实例六：都江堰市虹口乡红色村塔子坪上方滑坡特征与治理方案	255
滑坡实例七：彭州市龙门山镇白水河汽车站滑坡特征与治理方案	260
滑坡实例八：平武县豆叩镇大河里滑坡特征与治理方案	266
滑坡实例九：南江县赵家碛滑坡特征与治理方案	272
滑坡实例十：都江堰市白岩山 2 号滑坡特征与治理方案	275

滑坡实例十一：安县较场坝滑坡特征与治理方案	280
第八章 典型崩塌特征与防治实例	284
崩塌实例一：南江县红四乡李家寨崩塌特征与治理方案	284
崩塌实例二：平武县小盘羊山崩塌特征与治理方案	290
崩塌实例三：彭州市葛仙山镇花园村 7 社 WY08 危岩特征与治理方案	296
崩塌实例四：大邑县西岭镇高点村 3 组崩塌特征与治理方案	299
附录 典型地质灾害照片	305
附录一 典型泥石流照片	305
附录二 典型滑坡照片	307
附录三 典型崩塌照片	310

第一篇 总论

第一章 绪 言

第一节 研究背景与意义

2008年5月12日14时28分,在四川省西部龙门山断裂带上发生了里氏8.0级汶川特大地震(以下简称“5·12”地震),灾区面积达30余万 km^2 ,其中重灾区面积达10余万 km^2 ,造成8.7万余人遇难或失踪,给灾区人民生命财产、经济社会和自然环境带来了巨大破坏。由于特殊的自然地理环境,强烈的地震触发了数以万计的崩塌、滑坡等地质灾害,据相关统计,“5·12”地震触发的次生地质灾害造成的遇难人数约占地震总遇难人数的三分之一。由地震触发的次生地质灾害数量之多、规模之大、导致损失之惨重举世罕见。不仅如此,地震后遗留的地质灾害隐患严重制约着灾区恢复重建工作的顺利开展。为此,按照经国务院批准的《四川省“5·12”特大地震灾后恢复重建地质灾害防治专项规划》,四川省安排部署了“5·12地震”极重灾区和重灾区39个县的震后地质灾害应急排查和地质灾害详细调查与区划等区域性地质灾害调查工作,并计划用两年时间对地震灾区2334处重大地质灾害隐患点进行应急勘查和工程治理。

“5·12”地震发生后,河北省国土资源厅、河北省地质矿产勘查开发局(以下简称“河北省地矿局”)紧急成立了由32名专家组成的河北援川地质灾害应急排查队,于2008年5月23日至6月16日参加了四川地震灾区地质灾害应急排查工作。同年11月,河北省国土资源厅接到四川省国土资源厅“关于请组织支援开展四川地震灾区重大地质灾害应急勘查、设计工作的函”,河北省国土资源厅和河北省地矿局对此高度重视,联合成立了领导小组,并组建了河北省援川地质灾害防治指挥部,组织河北省地矿局12支地勘单位数百名工程技术人员参加了四川地震灾区第二、三、四、五批重大地质灾害应急勘查与治理工程设计工作。这12支地勘单位分别是河北省地矿局水文工程地质勘察院、河北省环境地质勘察院、第四水文工程地质大队、河北地矿建设工程集团公司、秦皇岛矿产水文工程地质大队、第十一地质大队、第三水文工程地质大队、第二地质大队、第五地质大队、石家庄综合地质大队、保定地质工程勘察院、第一地质大队。在近两年时间里,广大工程技术人员发扬一方有难、八方支援的无私奉献精神,克服气候、环境、生活、交通、余震等诸多方面的困难,在四川省绵阳市的平武县、安县、北川县、涪城区,成都市的都江堰市、彭州市、大邑县、崇州市及巴中市的南江县等9个县(市、区)范围内完成了130个地质灾害应急勘查项目(表1-1),包括38个泥石流、45个滑坡、16个不稳定斜坡、29个崩塌和2处地面塌陷。完成的主要实物工作量见表1-2。其中有112个地质灾害应急勘查项目提交了勘查报告、治理工程可行性研究报告、初步设计报告和施工图设计报告,有18个地质灾害应急勘查项目提交了调查报告,这些成果均通过了由四川省国土资源部门组织的专家评审。

表1-1 河北承担的四川地震灾区地质灾害应急勘查项目汇总表

项目批次	工作时间 (年、月)	各县(市、区)应急勘查项目个数								合计
		平武	安县 (含北川县)	涪城	南江	都江堰	彭州	大邑	崇州	
第二批	2008.11~2009.05	15	10	0	5	0	0	0	0	30
第三批	2009.04~2009.11	9	0	0	0	18	0	0	3	30
第四批	2009.10~2010.03	20	0	0	0	8	8	4	0	40
第五批	2010.01~2010.05	0	0	4	0	11	10	5	0	30
合计		44	10	4	5	37	18	9	3	130

通过本次地质灾害应急勘查及对地震灾区地质灾害调查与应急排查等成果的研究发现,“5·12”地震对汶川地震灾区地质灾害的影响巨大,主要表现在以下方面:一是震后地质灾害数量增加很多,类型复杂,规模巨大;二是震后地质灾害的特征与形成机理较震前发生了很大变化;三是震后地质灾害的勘查技术手段、治理措施较震前也发生了变化。显然,利用传统的地质灾害认知理论、勘查技术手段与治理措施已不能完全适应地震灾区地质灾害勘查与防治工作。因此,利用震后地质灾害应急勘查与治理设计资料和地震前后区域地质灾害调查成果,开展汶川地震灾区地质灾害特征与防治研究,总结地震前后地质灾害的分布与发育特点,探讨强震对地质灾害的影响,揭示震后地质灾害的形成机理与特征,提出震后地质灾害勘查评价方法与治理措施,对于进一步做好地震灾区地质灾害勘查与防治工作,具有重要的指导意义和现实意义。

表 1-2 实物工作量统计表

序 号	项 目 名 称			单 位	完成工作量
1	工程测量	地形测量	1:10000 地形图测量	km ²	71.50
			1:2000 地形图测量	km ²	8.18
			1:500 地形图测量	km ²	30.79
			1:200 地形图测量	km ²	2.58
		断面测量	1:2000 地质剖面测量	km	22.34
			1:1000 地质剖面测量	km	73.23
			1:500 地质剖面测量	km	76.28
			1:200 地质剖面测量	km	156.70
		立面测量	1:200 工程地质立面测量	m ²	1701700
2	工程地质勘查	工程地质测绘	1:10000 工程地质测绘	km ²	71.91
			1:2000 工程地质测绘	km ²	21.26
			1:1000 工程地质测绘	km ²	34.47
			1:500 工程地质测绘	km ²	29.45
			1:200 工程地质测绘	km ²	69.48
		工程勘探	钻 孔	m/孔	7442.64/401
			探 井	m/个	806.44/225
			探 槽	m ³ /个	15539.12/1106
		工程物探	高密度电法	点	199
		采 样	岩 样	组	619
			土 样	组	908
			水 样	组	172
		原位试验	现场颗粒分析	组	176
			钻孔注水试验	台班	50
			大重度试验	组	291
3	监 测	变形监测	水平位移监测	次	1231
			垂直位移监测	次	955
		水位监测		次	213
		断面测流监测		处	2

第二节 国内外研究现状

一、汶川地震灾区地质灾害研究程度

(一) 汶川地震灾区“5·12”地震前区域地质灾害调查与区划

2006~2007年,四川省国土资源厅组织四川省有关地勘单位开展了四川省35个县(市)地质灾害调查与区划工作,其中包括本次研究区的9个县(市、区)。该项工作基本查明了汶川地震灾区震前地质灾害隐患点的类型、规模、特征、危险程度、发展趋势、危害性等,制订了地质灾害防治规划、防灾预案和避险搬迁安置工程规划。这些成果为本次研究地震前汶川地震灾区泥石流、滑坡、崩塌地质灾害的分布与发育特征提供了基础资料。

(二) 汶川地震灾区“5·12”地震地质灾害调查与研究

汶川地震发生后,众多地质工作者奔赴地震灾区对地震触发的崩塌、滑坡等地质灾害的发育规律及形成机理进行了调查研究,主要研究成果如下。

1. 航天遥感应急调查

“5·12”地震后,国土资源部、中国地质调查局紧急启动了“5·12”地震灾区次生地质灾害航天遥感快速调查工作,利用多个国家、多类型、多分辨率航天遥感数据,快速解译了川、甘、陕三省60个县(市)次生地质灾害点和隐患点,通过“一县一图一报告”的形式,及时地为灾情评估、短期避险、应急处置等抢险救灾工作和灾后重建规划提供了重要基础数据和决策依据。出版了《汶川地震灾区航天遥感应急调查》专著。

2. “5·12”地震灾区地质灾害相关研究

由成都理工大学黄润秋教授牵头组织、国内外12个研究机构的近200名学者参加编著的《汶川地震地质灾害研究》一书于2009年出版。该书较为系统的研究和阐述了汶川大地震发生的地质构造背景,地震触发的崩塌滑坡等地质灾害的发育分布规律、成因机制及影响因素,堰塞湖次生地质灾害的防治等,为今后震区地质灾害的研究、勘查治理等工作提供了较为系统的理论指导。

由中国地质调查局殷跃平博士牵头组织、众多学者参加编著的《汶川地震地质与滑坡灾害概论》一书于2009年出版。该书系统研究和阐述了龙门山地区地质构造背景与构造活动特征,综合分析了汶川地震变形、地震破裂、同震位移及空间分布规律,研究地震诱发地质灾害类型、发育过程和形成机理,为震区滑坡地质灾害的研究、勘查与治理提供了系统的理论指导。

(三) 汶川地震灾区“5·12”地震后地质灾害调查与勘查

1. 地震灾区地质灾害应急排查

“5·12”地震以后,国土资源部组织河北等8个省国土资源系统、地勘单位及有关学校、科研单位与四川省有关地勘单位共同对四川地震灾区42个县(市)开展了地质灾害应急调查排查工作,基本查明了震后地质灾害数量、分布、类型、规模、危害等基本情况。

2. 地震灾区地质灾害详查

2009~2010年,四川省国土资源厅组织相关地勘单位开展了四川省汶川“5·12”地震极重灾区、重灾区39个县(市)的震后地质灾害详细调查与区划工作。以1:5万地质灾害调查为主,工程勘查为辅,坚持“以人为本”的原则,重点对城镇、村庄、恢复重建安置区及安置点、学校、风景名胜、工矿企业、交通生命线等开展震后地质灾害详细调查。基本查明了地质灾害的类型、分布、规模、发育等特征,有针对性地提出了地质灾害防治建议及措施。这些成果为本次研究地震后汶川地震灾区地质灾害分布与发育特征、对比分析地震前与地震后地质灾害分布与发育特征的变化提供了基础资料。

3. 地震灾区地质灾害的勘查与治理

2008~2010年,四川省国土资源厅先后安排了五批地震灾区重大地质灾害应急勘查与治理项目,其中河北省地矿局承担了第二批至第五批项目中的130处重大地质灾害应急勘查与治理任务。这些项目按照相关地质灾害勘查与治理设计规范开展工作,为本次研究工作提供了依据。

二、国内外地质灾害防治现状

(一) 泥石流防治现状

国内外对泥石流的研究已有近百年的历史,对泥石流的成因类型、发生机理、流体的动、静力学特性及规律都有了一定程度的认识与掌握。我国泥石流防治主要在20世纪中期,尤其是改革开放以来,随着我国社会经济的高速发展和防灾减灾科学的进步,泥石流防治速度加快,防治技术日益成熟。泥石流防治由点上的局部治理,发展到对泥石流小流域全面的综合治理,在防灾减灾的同时,强调了生态环境的恢复和变害为利的治理原则。随着防治理论和技术的不断提高与完善,工程效果和效益愈加明显。

我国泥石流防治是根据受保护对象(如城镇、农田、工矿、铁路、公路、水利水电等)的不同,按各自不同的防护要求开展治理的,泥石流防治原则和技术既有普遍性,又有鲜明的个性特点。

城镇泥石流的防治已有几百年的历史,如甘肃省的武都县城、四川省的西昌和汉源等,早在200多年前就修建排导槽和导流挡墙等工程,对泥石流危害进行了相应的防治。随着近几十年来山区城镇规模、人口、经济的快速发展,经济实力的增强,泥石流防治资金的投入加大和技术水平的提高,城镇泥石流的防治已由下游采取简易排导拦挡等治标措施,逐步发展至对中上游地区采取一系列拦挡、封山育林工程等小流域标本兼治的治理措施,取得了较好的防治效果。

农田泥石流防治历史悠久,山区人民为了生存,往往在一些泥石流的宽浅谷地及沟口堆积扇上进行农业开发和定居,为了防治泥石流危害常采取一些低标准的防治工程。大范围的农田泥石流防治,是从兴修水利和农业学大寨开始的,通过修建梯田、削山填沟、修建截水沟渠及植树造林等,一定程度上使泥石流的形成条件得到制约。近几十年,国家在一些重大的农田泥石流防治区投入了大量的资金进行泥石流的防治,农田泥石流防治取得了较好的成效。

铁路泥石流防治始于20世纪50年代初期,为了保护铁路安全,免受泥石流的危害,相继在宝鸡—天水铁路、宝鸡—成都铁路、成都—昆明铁路、东川铁路及青藏铁路等沿线都采取了一些泥石流防治措施。由于泥石流主要是对铁路线路和桥涵造成危害,故其防治措施主要集中在铁路沿线附近,而对其中、上游的全面综合治理则很少。以往铁路部门对泥石流的治理工程,只看成是铁路主体工程的配合工程,随着泥石流活动及危害的加重,后来的勘查设计及维护运营管理中,对泥石流的治理工程也就像对待路基、桥梁、隧道等工程一样,给与了同等重视,铁路泥石流防治得到了更快的发展和提高。

公路泥石流防治是随着山区公路的建设及发展而逐步开始的,20世纪50年代,公路泥石流防治工程是作为公路主体工程的配套工程对待的,其防治工程主要是简易的排导工程和防护工程等。以后随着公路建设等级的提高,泥石流防治工程标准相应提高,采取的治理工程类型也越来越多,对泥石流的防治措施日趋完善。

矿山泥石流防治是随着矿山开发而逐步展开的。我国大多数矿山都分布在山高坡陡的山区,排放的大量废石土和矿渣被随意堆放在高陡山坡与沟谷中,在暴雨或地表洪水作用下,往往形成矿山泥石流。为了确保矿区的安全生产,矿区采取了一些泥石流防治措施,不少矿区还加强了生态环境的恢复与改善,对泥石流的防治起到了积极的作用。

泥石流对水利水电工程的危害,一是对水利水电工程本身造成的直接危害,二是大量泥沙进入库区使库容减小,从而降低水利水电工程的综合效益。目前主要是对直接危害水利水电工程的泥石流采取相应等级的工程防治措施,主要有拦挡、排导及停淤场等工程;而对于量大面广的库区泥石流危害则主要是采取植树造林、封山育林等生态环境措施。

泥石流防治的发展趋势主要有五种表现形式:

(1) 泥石流防治与资源开发相结合。如结合泥石流治理将大面积的泥石流荒滩地整理成良田、植树造林发展经济林带、泥石流输出的沙石做建材等。

(2) 泥石流防治工程的多样化、轻型化及实用化。无论是排导、拦挡还是停淤工程,其结构、建材及施工工艺等都在向多样化、轻型化及实用化发展。

(3) 泥石流防治由局部点上治理逐步向面上推广。随着社会的发展,经济实力的增强,为确保山区人民生命财产的安全和经济发展,必然要投入大量的资金进行泥石流治理,其治理也就会进入点面结合、全面防治的阶段。

(4) 泥石流防治向综合治理发展。随着经济实力的增强,防治技术水平的提高,泥石流治理不会再头疼医头、脚疼医脚,而是要求防治工程达到逐步阻止泥石流的发生、发展及危害的目的,同时还要达到改善当地环境的目的,进行小流域综合治理。

(5) 泥石流防治工程设计向规范化和标准化发展。随着人们对泥石流的成因类型、发生机理、动静力学特性及运动规律的认识与掌握,大量已建治理工程的实施及运行效果系统观测和实验,泥石流治理技术水平逐渐提高,泥石流防治工程设计规范化和标准化水平必将越来越高。

泥石流防治存在的技术问题。泥石流防治工程技术迄今还处于不断完善和探索阶段,还存在着一定的风险性。主要体现在以下几个方面:

(1) 防治对象具有隐蔽性和不确定性,工程可靠性很大程度上取决于对自然地质环境变化的取向和量的评估。

(2) 泥石流防治理论还不成熟、不完善,很多计算公式都为经验或半经验公式,其精准度还有一定的差距。

(3) 泥石流防治工程的技术水平目前尚欠成熟,且缺乏统一的安全技术标准和规范,因此可靠性较低、风险也较大。

(4) 松散物源稳定性不易确定,岩土体诸力学参数(C , φ 值的选用)变异性大,合理取值很难。

(5) 推力计算和稳定性评价的可靠性(可信度)较低。

(二) 滑坡防治现状

1928~1945年,世界各国对滑坡的研究是零星的、片断的。大多都是由单独的研究人员进行小规模滑坡研究,只有瑞典、挪威、前苏联是由国立土工研究所进行滑坡研究,并发表过一些著作和论文,其中瑞典人取得的成果最大。苏联曾于1934年和1946年召开过两次全国性滑坡会议。第二次世界大战后,随着各国经济建设的不断发展,遇到的滑坡逐渐增多,对滑坡的研究也就逐渐系统而深入。1950年美国学者K·Terzaghi发表了《滑坡机理》的论文,系统地阐述了滑坡产生的原因、过程、稳定性评价方法以及在某些工程中的表现。1952年澳大利亚—新西兰的区域性土力学会议上,所有报告几乎全与滑坡有关,即研究滑坡土的强度特性。1954年9月在瑞典的斯德哥尔摩召开全欧第一届土力学会议,主题就是滑坡稳定性问题,其中23篇报告中介绍了挪威、瑞典、英国等国家的滑坡。1958年美国公路局的滑坡委员会编写了《滑坡与工程实践》一书,是世界上第一本全面叙述滑坡防治的专著。1960年日本的高野秀夫发表了《滑坡与防治》一书,1964年3月日本正式成立滑坡协会,出版季刊《滑坡》,后又成立滑坡对策协会,出版《滑坡技术》,这是当时国际上两种关于滑坡的专门刊物。1964年前苏联又召开全国滑坡会议,出版了论文集,介绍高加索、克里米亚和西伯利亚等地的滑坡。1968年在布拉格举行第23届国际地质大会期间,酝酿成立了国际工程地质协会,同时也成立了“滑坡及其块体运动”委员会。从1977年到目前为止,国际滑坡学术讨论会定期召开。每次会议,各国专家就滑坡研究的现行方法和技术以及突出的新进展交换观点和交流经验。

我国对滑坡的系统研究是新中国成立后才开始的。1951年在西北铁道干线工程局成立“坍方流泥”小组,1956年成立坍方研究站,1959年成立坍方科学技术研究所,即西北研究所(滑坡研究室的前身)。1959~1973年期间召开滑坡防治经验交流及科研协作会议,其1959和1973年两次会议实质上是全国性学术交流会。1958年出版宝成铁路技术总结《路基设计与坍方滑坡处理》,1962年出版铁

路路基设计手册《滑坡地区路基设计》，1971年西北研究所编写了《滑坡防治》一书。1976年至今，我国出版了滑坡会议论文集《滑坡文集》13集，目的是交流我国各部门滑坡防治研究成果和防治工程经验。20世纪80年代至今，随着国民经济的大发展，对防灾减灾的要求也更高，更加重视滑坡灾害的影响。在一项大的工程开发建设前，尽可能进行灾害调查、评价和预测，尽可能事先避开，或采取预防措施，防止和减少灾害的发生。研究和治理由点发展到点、线、面的综合预测和防灾，与此同时，对高速远程危害大的滑坡也进行了较深入的研究。经过近50年的研究，我国科技人员基本掌握了滑坡的形成条件、类型、分布规律、作用因素和运动的机理，在滑坡发生时间和预报上取得了突破性进展，形成了由治理为主到预防为主理论体系，对滑坡的研究也由定性研究向定量研究过渡。

目前，国内外对滑坡防治的办法基本是相同的，总的看来有以下几种办法：

- (1) 对大型而复杂的滑坡或很多滑坡集中地段，尽量采用避开其危害的办法；
- (2) 排除地表水，修建截排水工程；
- (3) 疏干排除地下水和降低地下水位；
- (4) 支挡滑动体；
- (5) 改变滑动面（带）土体的性质；
- (6) 清除滑动体、回填压脚等。

由于各国的具体条件不同，在防治滑坡的办法上也有所差异和侧重。在欧美各国，以改变滑坡体外形和水平钻孔排地下水为主，故对减轻、加载的位置和防治钻孔的堵塞研究较好。美国和日本新近发展了非开挖型管道放置方法（直径100~500mm），用于浅部水平排水，在这方面，他们处于明显的领先地位。日本由于年降雨量大和钢材较多，故钢管桩研究得也较好。我国由于滑坡规模大，故对大截面挖孔钢筋混凝土抗滑桩研究得较深入，并有不少成功的实例。对于中小型滑坡大部分是用挡土墙与排水相结合的方法。目前，各国的研究表明，对于大型滑块，深部大规模排水仍是一种最有效的整治手段。垂直大孔径（1.5~2.0m）密集型（5~7m间距）的垂直排水孔和水平廊道相结合的方法是一种新的更有效的地下排水方法，在西欧一些国家得到了应用。对于移栽加固滑坡，即“削头压脚”加固滑坡的工作量较大，因而，在过去几年中，西欧国家采用化学工业方法制作地质复合材料，以“压脚”原理治理滑坡有了新的进展，该方法的整治费用仅是传统方法的一半。在阻止、加固的具体措施上，西欧国家主要采用锚固，而东欧国家侧重于使用抗滑桩加固方法，美国和加拿大则很少采用阻止、加固措施整治滑坡。我国为增大挖孔桩的抗滑力，近年来已试验成功排架桩等新的型式。

“5·12”地震后滑坡治理应用的方法比较全面，一般滑坡治理都应用了截排水工程，下滑力较小的滑坡多在前缘修建挡土墙或回填压脚，下滑力较大的滑坡多采用抗滑桩进行治理。

（三）崩塌防治现状

目前，国内外学术界及工程界对危岩体这种地质灾害类型科学内涵的界定存在一定的差异，主要有“落石”、“危岩”、“崩塌”和“坠覆体”。从危岩的发育机理和失稳模式来看，这些术语都具有一定的相似性，强调了同一个问题的不同侧面，“崩塌”和“落石”是指危岩体灾变过程的动力行为和运动途径的表现形式，“危岩”则指尚未发生灾变的危岩体的形成机理及其稳定状态；“坠覆体”由中国勘察大师崔政权于1992年提出，主要指坠溃作用及其堆积。

我国是一个地质灾害频繁发生的国家，滑坡、泥石流及危岩崩塌是我国三大主要地质灾害类型，横断山区、三峡库区、天山、云贵高原周边地区都是危岩崩塌集中分布的地区。随着西部大开发进程的不断加速，山区地质灾害问题日益凸显。危岩崩塌灾害已经成为地质灾害研究的热点和难点。

在长期的危岩崩塌勘查、监测、设计和治理的过程中，在危岩崩塌的发育阶段特征、发育环境影响因素、防治措施等方面积累了丰富的资料和经验。地质、交通及相关科研单位在区域性地质灾害研究中也取得了较多的实用性成果，从地质环境、模型试验、数值模拟及防治技术方面等进行深入研究，取得了丰硕的成果。危岩体是边坡工程研究中的一部分，其研究遵循边坡工程的学科体系。边坡工程研究的理论需要多种学科的相互结合，相互渗透，包括数学、工程力学、工程地质学、岩土力学

及计算机仿真技术、岩土工程测试技术等手段。

1. 危岩体失稳模式及分类的研究现状

危岩的失稳模式即危岩的破坏模式，是稳定性研究及治理措施研究的基础。迄今，对危岩及其失稳模式分类尚未统一，从不同角度出发存在多种方案。

曾廉（1990）按照软弱面的特性、形状及其崩塌发生的原因将崩塌划分为7类。具体为：

- (1) 顺断层或风化夹层的崩塌；
- (2) 沿完整节理面（层理面、片理面）的崩塌；
- (3) X节理切割的V字形崩塌；
- (4) 多组节理崩塌；
- (5) 风化层或覆盖层沿较完整基岩面的崩塌；
- (6) 沿垂直节理产生的崩塌；
- (7) 探头崩塌。

日本的山田冈二按规模将崩塌划分为边坡表层崩塌（岩石崩落、表土崩落）、坡肩崩落、坡面体崩落（岩石崩塌、沉积层崩塌）。在此基础上，按形态、地质条件和崩塌形式进一步分为落石型、滑坡型和流动型。山田把崩塌的范围概括的很广，即除滑坡外斜坡的各种破坏类型均称崩塌。

胡厚田（1989）按照崩塌发生时的运动规律和受力状况，把崩塌分为倾倒式、滑移式、鼓胀式、拉裂式和错断式崩塌。并指出可能存在的一些过渡类型如鼓胀-滑移式、鼓胀-倾倒式等。这种分类反映了崩塌形成、发展的几个基本途径。各类崩塌在岩性、结构面特征、地貌、崩塌体形状、岩体受力状况、起始运动形式和主要失稳因素等都有不同特点。表1-3中列举了各类崩塌的7个方面的特征，其中岩体受力状态和起始运动形式是分类的主要依据，因为受力状态和起始运动形式决定崩塌发展的模式，同时二者也是这7个方面特征共同形成的必然结果。

表 1-3 崩塌分类说明表

主要特征	岩 性	结构面特征	地 貌	崩塌体形状	受力状态	起始运动形式	失稳主要因素
倾倒式崩塌	石灰岩及其他直立岩层	多为垂直节理、柱状节理、垂直岩层面	峡谷、直立岸坡、悬崖等	板状、长柱状	主要受倾覆力矩作用	倾倒	水压力、地震力、重力
滑移式崩塌	多为软硬相间的岩层	有倾向临空面的结构面	坡度通常大于 55°	可能组合成各种形状	滑移面主要受力为剪切力	滑移	重力、水压力
鼓胀式崩塌	坚硬岩层下有较软岩层	下部为近水平的结构面	陡坡	上部岩体高大	垂直挤压	鼓胀、伴有下沉	重力、水的软化作用
错断式崩塌	坚硬岩层	垂直节理发育、通常无倾向临空面的结构面	坡度大于 45°	板状、长柱状	自重引起的剪切力	错断	重力
拉裂式崩塌	多见于软硬相间的岩层	多为风化裂隙或重力拉张裂隙	上部突出悬崖	上部硬岩层以悬臂梁形式突出	拉张	拉裂	重力

孙云志（1994）将危岩失稳模式分为滑移和倾倒两大类。

旷镇国（1995）研究重庆渝中区危岩崩塌时，对危岩的破坏做了全面的归纳，按危岩最终破坏时的受力状态和破坏机制将危岩失稳模式划分为：拉断-坠落、剪切-坠落或崩落、压碎-崩落、倾倒-崩塌。

张启华（1998）认为危岩有8种破坏模式：蠕滑体滑移失稳、整体压陷倾斜崩塌、滑移倾斜交错或同步、裂隙段屈曲变形破坏、上下滑出破坏、倾斜-滑移破坏、倾斜-隐裂缝开裂-崩塌、倾斜-滑移-隐裂缝开裂-崩塌或滑坡。

陈明东（1999）根据受力模式分为板梁旋滑移和悬臂压杆破坏两类。