

MECHANICS DESCRIPTION AND DISASTER
MITIGATION OF GEOMORPHOLOGICAL
PROCESSES (ROCK COLLAPSE)

重力地貌过程

力学描述与减灾（岩石崩塌）

陈洪凯 著



科学出版社

重力地貌过程力学描述与减灾 (岩石崩塌)

陈洪凯 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对岩石崩塌重力地貌过程的力学描述及其减灾重大科技问题进行系统论理,其中危岩断裂破坏理论、危岩破坏激振动力学、边坡地貌演化危岩分析法、落石运动力学和危岩稳定性分析等给出了岩石崩塌重力地貌过程完备的力学描述,实现了崩塌重力地貌全过程力学刻画。着眼于岩石崩塌重力地貌过程控制的减灾需求,从岩石崩塌灾害常态治理、应急防治、应急安全警报三方面构建了岩石崩塌减灾技术体系,建立了每种技术的优化设计方法,并给出了丰富的工程应用范例。

本书对从事重力地貌、山区公路铁路、城镇矿山地质减灾的研究、教学及工程技术与管理人員具有一定的参考借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

重力地貌过程力学描述与减灾. 岩石崩塌/陈洪凯著. —北京: 科学出版社, 2019.6

ISBN 978-7-03-059913-1

I. ①重… II. ①陈… III. ①岩土力学 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018) 第 270371 号

责任编辑: 赵敬伟 孔晓慧 / 责任校对: 邹慧卿
责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 耕者工作室

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>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 6 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2019 年 6 月第一次印刷 印张: 22 1/2 插页: 8

字数: 453 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

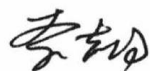
谨以此书献给我的导师

李吉均院士 朱可善教授

鲜学福院士 哈秋龄教授！

序 一

岩石崩塌属于一种典型的重力地貌类型，在地貌学里主要从地形、岩性、构造甚至生物作用角度分析其成因问题，并将岩石崩塌视为一种普通的地貌现象和地貌过程。岩石崩塌在我国山区广泛发育。该书作者陈洪凯教授具备自然地理和岩土工程学科背景，长期致力于重力地貌过程减灾研究与工程实践，依托其三十余年的研究成果，计划编撰出版专著《重力地貌过程力学描述与减灾（岩石崩塌）》，包括岩石崩塌、泥石流、库岸滑坡三部分，是地貌学科之幸事。该书是作者从普通的地貌现象中捕捉到的重要科学信息，引入断裂力学、损伤力学、运动学、动力学、振动力学、结构工程学等理论方法，进行岩石崩塌重力地貌过程力学描述，构建危岩断裂破坏理论、危岩破坏激振动力学、边坡地貌演化危岩分析法、落石运动学和危岩稳定性分析等系列新理论、新原理，实现了经典岩石崩塌重力地貌全过程力学刻画，是解决地貌学应用于工程实践学科盲点的典型案例。从岩石崩塌重力地貌过程控制角度，研发新技术，提出新方法，将岩石崩塌减灾落到实处，并取得了显著的经济效益和社会效益。该书从岩石崩塌的形成、演化到控制，力学思路与力学行为贯穿始终，一气呵成，学术思想新颖，找到了推动经典地貌学量化研究及精准减灾应用的关键科学路径，具有重要的学术价值，实用性强，陈洪凯教授团队堪称我国优秀的应用地貌学研究团队。本人乐以为序，并向从事地貌学与教学的科技工作者推荐分享。

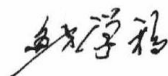


中国科学院院士/兰州大学教授

2018年8月18日

序 二

我国是岩石崩塌灾害高发区，严重威胁着山区公路铁路、城镇矿山、居民生命财产安全及基础设施和营运安全，也是震时战时应急救援救援必须面对的重大地质灾害。该书作者陈洪凯教授从地貌演化角度，对崩塌源危岩的形成、破坏、崩落运动及灾害控制全过程进行了持续深入系统研究，从危岩断裂破坏理论、危岩破坏激振动力学、边坡地貌演化危岩分析法、落石运动学和危岩稳定性分析等方面给出了岩石崩塌重力地貌过程完备的力学描述，为有效防治岩石崩塌灾害提供了理论依据。进一步，着眼于岩石崩塌重力地貌过程控制，研发了系列新技术，提出了新方法，从岩石崩塌灾害常态治理、应急防治、应急安全警报三方面构建了岩石崩塌减灾技术体系，为有效防治岩石崩塌灾害提供了技术支持，并大量应用于工程实践，取得了良好的经济效益和社会效益，军事效益显著。该书将地貌学和岩土工程学有机融合，基础理论扎实，防治技术先进，是地质减灾领域一部突破性佳作，具有重要的学术价值和工程实用性，是陈洪凯教授及其团队科研成果的良好浓缩，表明该团队堪称优秀。本人乐以为序，并向从事地质灾害防治、震时战时应急救援救援的广大科技工作者推荐分享。



中国工程院院士/重庆大学教授

2018年8月20日

前 言

我国是一个多山的国家,山地丘陵占国土总面积三分之二以上,崩塌、滑坡、泥石流等重力地貌过程 (gravity geomorphological process) 发育,也是我国致灾作用强烈的地质灾害 (geological disaster)。为了充分发挥地貌学在地质减灾领域的学科优势,推动重力地貌学理论研究新进展,深入系统开展重力地貌过程力学描述及其减灾研究,地貌科学工作者责无旁贷。团队基于 30 余年的研究积淀,计划编撰出版《重力地貌过程力学描述与减灾》系列专著,包括岩石崩塌、泥石流、库岸滑坡三部分。本书聚焦岩石崩塌 (rock collapse) 重力地貌过程。

岩石崩塌具有识别难度大、分布范围广、出现频率高、致灾作用强等特点,是“崩滑流”减灾研究中难度最大、进展最缓慢的环节。尤其是近 30 年来,在全球性地质活动程度加剧、极端强降雨频繁出现的宏观地学背景下,我国岩石崩塌灾害进入高发期,严重威胁着城镇矿山居民生命财产安全、山区公路铁路及水运交通基础设施与营运安全,也是震时战时应急救援必须面对的重大灾害地貌过程及地质灾害类型。近十年来,我国平均每年产生崩塌灾害 2600 次以上,直接经济损失超过 120 亿元,如:2017 年 6 月 24 日 6:00 左右,四川阿坝茂县叠溪镇新磨村发生山体高位崩塌,造成 120 余人被掩埋,80 人死亡,岷江支流松坪沟河道堵塞长度 2km,直接经济损失 5.4 亿元;2017 年 8 月 28 日约 10:40,贵州毕节纳雍张家湾镇普洒社区大树脚组发生特大型山体崩塌,造成 26 人死亡,直接经济损失 5748.6 万元;2009 年 6 月 5 日 15:00 左右,重庆武隆铁矿乡鸡尾山发生特大型山体崩塌,导致 80 余人死亡。

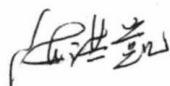
本书中的危岩断裂破坏理论、危岩破坏激振动力学、边坡地貌演化危岩分析法、落石运动力学、危岩稳定性分析等理论研究成果给出了岩石崩塌重力地貌过程完备的力学描述,实现了经典崩塌重力地貌全过程力学刻画,解决了地貌学应用于工程实践的科学盲点。本书着眼于岩石崩塌重力地貌过程控制的减灾需求,从岩石崩塌灾害常态治理、应急防治、实时安全警报三方面构建了岩石崩塌减灾技术体系。本书是断裂力学、损伤力学、运动学、动力学、振动力学、结构工程学等力学原理在地貌学研究中深度融合的典型示例,广泛应用于三峡库区、川藏公路、汶川地震区等 2000 余个岩石崩塌减灾工程实践中,产生直接经济效益近 100 亿元,成功解除了长江三峡巫峡航道望霞危岩禁航险情 (2011 年 10 月 21 日),并支撑武警交通部队应急救援工作,体现了该成果的重要军事意义。

团队在从事岩石崩塌重力地貌过程力学描述与减灾研究和实践中,长期得到

兰州大学李吉均院士、陈发虎院士，中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所崔鹏院士，重庆大学鲜学福院士，中国人民解放军总参谋部周丰峻院士，中国人民解放军陆军勤务学院郑颖人院士，山东科技大学宋振骥院士，华中科技大学张勇传院士，水利部长江水利委员会郑守仁院士，中国地质环境监测院刘传正研究员，西南交通大学何川教授、胡卸文教授，中山大学刘希林教授，三峡大学李建林教授、彭辉教授，重庆大学阴可教授，华东交通大学郑明新教授，西南大学王建力教授，重庆市地质矿产勘查开发局刘东升教授，重庆交通科研设计院有限公司柴贺军研究员，枣庄学院曹胜强书记、李东校长、明清河副校长、孙晋选处长、王满堂院长等的大力支持和鼓励，在此一并致以诚挚的感谢！

本书的出版得到枣庄学院高层次人才引进（陈洪凯）、重庆市“两江学者”特聘教授（陈洪凯，道路与铁道工程）、重庆市首席专家工作室（陈洪凯，水利工程）、湖北省“楚天学者”特聘教授（陈洪凯，工程力学）等专项经费的资助。

本书共 10 章，第 1、6、7、9 章由陈洪凯撰写，第 2 章由陈洪凯、黄达、邓华锋撰写，第 3 章由陈洪凯、王智、董平和王圣娟撰写，第 4 章由陈洪凯、王圣娟和何潇撰写，第 5 章由陈洪凯和何思明撰写，第 8 章由陈洪凯和程华撰写，第 10 章由陈洪凯、王全才和林雨撰写。陈洪凯团队的唐红梅、叶四桥、李明、王蓉、易朋莹、胡明、姜克春、王林峰、曹卫文、张瑞刚、张景昱、梁丹、陈斯祺、吴亚华、赵春红、秦鑫、廖方、杨志永、郭科萱、易臻彦、王群、刘宽、周奕辰等 50 余位研究生和老师先后参与了相关工作。



2019 年 3 月 25 日

目 录

序一	
序二	
前言	
第 1 章	绪论 1
第 2 章	危岩断裂破坏理论 10
2.1	危岩主控结构面变形与损伤特性 10
2.1.1	锯齿状岩体结构面剪切变形演化与强度准则 10
2.1.2	危岩主控结构面损伤模型 25
2.1.3	危岩主控结构面疲劳断裂寿命计算方法 32
2.2	危岩断裂破坏机制 38
2.2.1	砂岩 I 型断裂韧度及其与强度参数的相关性 38
2.2.2	拉剪应力条件下岩体裂隙扩展机制 46
2.3	危岩滑动断裂破坏与解体机制 53
2.3.1	望霞危岩破坏模式 53
2.3.2	望霞危岩力学模型 53
2.3.3	望霞危岩破坏力学解译 56
第 3 章	危岩破坏激振动力学 62
3.1	危岩破坏弹冲动力参数 62
3.1.1	危岩破坏力学模型 62
3.1.2	危岩破坏弹冲动力参数 64
3.2	危岩聚集体破坏振动方程 67
3.2.1	危岩破坏振动力学模型 67
3.2.2	方程求解 69
3.2.3	模型验证 73
3.3	危岩破坏激振效应 78
3.3.1	危岩破坏激振效应模型试验 78
3.3.2	危岩破坏激振信号局部与细节信息特征 84
3.3.3	危岩破坏激振信号概率统计特征 90
3.3.4	危岩破坏激振信号频域特性 96
3.3.5	激振作用下危岩损伤特性 101

3.4	危岩激振解体机制	106
3.4.1	甄子岩危岩座裂破坏特征	106
3.4.2	甄子岩危岩解体模型试验	110
3.4.3	危岩崩落解体力学机制	129
第 4 章	边坡地貌演化危岩分析法	140
4.1	危岩链式崩塌演化模式	140
4.1.1	陡坡地貌形迹	140
4.1.2	链式崩塌演化机制	140
4.1.3	危岩崩塌演绎模式	144
4.2	危岩崩塌力学	146
4.2.1	岩质陡坡危岩块之间的作用力	147
4.2.2	荷载作用下危岩块挠度	149
4.2.3	危岩块崩落判据	151
4.3	灰岩边坡危岩座裂演化模式	152
4.3.1	甄子岩地质地貌条件	153
4.3.2	灰岩地区危岩座裂破坏机制	154
4.3.3	灰岩边坡座裂演化模式	156
4.4	危岩链式崩塌实例解译	159
4.4.1	巫峡岸坡危岩崩塌	159
4.4.2	四面山危岩崩塌	163
4.4.3	羊叉河危岩崩塌	173
第 5 章	落石运动力学	183
5.1	落石运动路径	183
5.1.1	落石运动路径典型案例	183
5.1.2	落石运动路径计算方法	186
5.2	落石冲击力地貌形迹法	193
5.2.1	法(正)向冲击力计算	194
5.2.2	切向冲击力计算	195
5.3	滚石坡面法向冲击力	196
5.3.1	滚石坡面冲击特性	196
5.3.2	滚石对坡面法向冲击的数值模拟	198
5.3.3	计算结果与敏感度的对比分析	201
第 6 章	危岩稳定性分析	206
6.1	荷载类型及其组合	206
6.1.1	重力及地震力	206

6.1.2	裂隙水压力	207
6.1.3	荷载组合	212
6.2	主控结构面抗剪强度参数	212
6.2.1	规范法	212
6.2.2	贯通率法	213
6.2.3	规范法与贯通率法的比较	214
6.3	危岩稳定性极限平衡分析法	215
6.3.1	危岩稳定性评价标准	215
6.3.2	危岩稳定系数计算方法	215
6.3.3	算例分析	221
6.4	危岩稳定性断裂力学分析法	222
6.4.1	滑塌式危岩断裂稳定性分析	222
6.4.2	倾倒式危岩断裂稳定性分析	226
6.4.3	坠落式危岩断裂稳定性分析	230
6.5	危岩稳定性激振劣化作用	233
6.5.1	危岩崩落激振模型	233
6.5.2	激振波正入射条件下主控结构面受力分析	234
6.5.3	激振作用下危岩断裂稳定性分析	236
第 7 章	岩石崩塌灾害常态治理	241
7.1	危岩支撑技术	241
7.1.1	危岩支撑条件	241
7.1.2	危岩支撑技术分类	241
7.2	危岩锚固技术	245
7.2.1	滑塌式危岩锚固计算	245
7.2.2	倾倒式危岩锚固计算	247
7.2.3	坠落式危岩锚固计算	249
7.3	危岩基座膨胀型支撑	250
7.3.1	膨胀型支撑工作原理	250
7.3.2	膨胀型支撑结构设计内容	251
7.4	落石速排结构	252
7.4.1	落石速排结构构造	252
7.4.2	落石速排结构原理	254
7.4.3	落石速排结构实施方式	254
7.5	加筋拦石墙	255
7.5.1	拦石墙传力机制	255

7.5.2	拦石土堤厚度计算	256
7.5.3	拦石墙计算方法	257
7.5.4	实例分析	257
第 8 章	岩石崩塌灾害应急防治	260
8.1	落石消能棚洞	260
8.1.1	落石消能棚洞技术内涵	260
8.1.2	落石消能棚洞实施步骤	262
8.1.3	落石消能棚洞工作原理	263
8.1.4	棚洞结构抗冲切特性	263
8.2	危岩自锚型锚杆	267
8.2.1	自锚型应急锚杆结构形式	268
8.2.2	锚杆抗剪强度计算	269
8.2.3	自锚型锚杆工作原理	272
8.3	危岩应急锚固螺栓	272
8.3.1	危岩应急锚固螺栓技术内涵	272
8.3.2	危岩应急锚固螺栓技术实施步骤	275
8.3.3	危岩应急锚固螺栓工作原理	276
第 9 章	崩塌灾害应急安全警报	277
9.1	危岩崩塌信号	277
9.2	危岩应力采集	277
9.2.1	危岩应力采集传感器	277
9.2.2	钻孔应力传感器	280
9.2.3	压电型钻孔应力传感器	281
9.3	崩塌灾害应急安全警报系统	284
9.3.1	崩塌灾害应急安全警报方法与设备	284
9.3.2	崩塌灾害预警效果试验验证	287
第 10 章	工程实例	290
10.1	太白岩危岩防治工程	290
10.1.1	太白岩危岩形成环境	293
10.1.2	稳定性分析	297
10.1.3	工程治理方案设计	299
10.1.4	工程治理施工要点	313
10.2	望霞危岩防治工程	316
10.2.1	危岩形态	316
10.2.2	危岩结构特征	317

10.2.3	危岩基座特征	318
10.2.4	危岩水文地质条件	318
10.2.5	危岩破坏模式	318
10.2.6	望霞危岩形成环境	319
10.2.7	工程治理方案	321
10.3	老虎嘴崩塌灾害防治工程	324
10.3.1	老虎嘴滑塌形成环境	325
10.3.2	工程治理方案	328
10.4	应用效益分析	332
参考文献		334
彩图		

第1章 绪 论

岩石崩塌 (rock collapse) 是我国主要重力地貌过程 (gravity geomorphological process), 也是典型的地质灾害 (geological disaster), 具有识别难度大、分布范围广、出现频率高、致灾作用强等特点, 是“崩滑流”减灾研究中难度最大、进展最缓慢的环节。尤其是近三十年来, 在全球性地质活动程度加剧、极端强降雨频繁出现的宏观地学背景下, 我国岩石崩塌灾害进入高发期, 严重威胁着山区城镇矿山居民生命财产安全、公路铁路及水运交通基础设施与营运安全, 也是震时战时应急救援必须面对的重大灾害地貌过程及地质灾害类型。原国土资源部发布的全国地质灾害通报表明, 近五年来, 我国平均每年产生崩塌灾害 2300 次以上, 如 2015 年发生 3217 次, 占地质灾害发生总数的 42%, 直接经济损失超过 20 亿元。部分岩石崩塌灾害典型案例如表 1.1 所示。岩石崩塌重力地貌过程减灾涉及多学科, 其减灾理念如图 1.1 所示。

表 1.1 岩石崩塌灾害典型案例

序号	名称	爆发时间	灾害事件描述	灾情
1	湖北宜昌滚石坠落事件	2017-10-15	2017 年 10 月 15 日上午 9 时 45 分, 湖北省宜昌市夷陵区三峡人家风景区发生一起滚石坠落事件	3 名台湾省游客当场死亡
2	重庆奉节危岩崩塌	2017-10-04	2017 年 10 月 4 日凌晨, 重庆市奉节县红土乡野茶村 9 社发生危岩崩塌	6 人死亡
3	贵州纳雍 “8·28” 山体崩塌	2017-08-28	2017 年 8 月 28 日约 10 时 40 分, 贵州省毕节市纳雍县张家湾镇普洒社区桥边组发生山体滑坡地质灾害, 崩塌山体距离灾害地垂直落差约 200m, 崩塌岩体约 $6 \times 10^5 \text{m}^3$	35 人死亡, 直接经济损失 5748.6 万元
4	广西三江山体滑坡	2017-07-12	2017 年 7 月 12 日 17 时, 广西柳州市三江县城往三江动车站公路段发生崩塌地质灾害, 方量约 3000m^3	1 人死亡, 掩埋 8 辆汽车
5	四川茂县 “6·24” 特大山体崩塌灾害	2017-06-24	2017 年 6 月 24 日 6 时左右, 四川省阿坝藏族羌族自治州茂县叠溪镇新磨村发生山体高位崩塌, 方量约 $8 \times 10^6 \text{m}^3$	80 人死亡, 40 余户农房、120 余人被掩埋, 岷江支流松坪沟河道堵塞 2km, 直接经济损失 5.4 亿元

续表

序号	名称	爆发时间	灾害事件描述	灾情
6	陕西白河县山体崩塌	2017-04-17	2017 年 4 月 17 日 11 时 58 分, 因强降雨导致陕西省白河县茅坪镇茅坪社区三组发生山体崩塌	6 人死亡
7	甘肃陇南崩塌灾害	2016-10-02	2016 年 10 月 2 日 7 时 30 分, 甘肃省陇南市武都区城关镇北山路边坡发生崩塌, 方量约 $8 \times 10^6 \text{m}^3$	4 人死亡, 毁坏房屋 9 间
8	广西桂林景区岩石崩塌事故	2015-03-19	2015 年 3 月 19 日, 广西桂林市叠彩山景区发生山体崩塌事故	7 人遇难, 25 人受伤, 其中有 8 名台湾省游客
9	山西吉县山体崩塌	2014-04-06	2014 年 4 月 6 日 2 时 20 分, 山西省吉县吉昌镇西关村柏浪沟发生山体崩塌, 体积约 2000m^3	7 人死亡, 掩埋现浇二楼楼房 2 户 8 间, 8 人被埋
10	云南昭通巨石崩塌	2013-07-05	2013 年 7 月 5 日 5 时左右, 云南省昭通市盐津县盐井镇高桥村黄葛村民被“轰隆隆”的一阵巨响从睡梦中惊醒, 村民何某家依山而建的两层小楼瞬间就被垮塌的巨石掩埋, 塌方量约 1200m^3	9 人被埋死亡
11	贵州凯里龙场镇山体崩塌	2013-02-18	2013 年 2 月 18 日, 贵州省凯里市龙场镇鱼洞村平地煤矿处岔河百余米高的山体发生崩塌, 高度约 100m, 宽度约 30m, 崩塌量约 5400m^3	5 人被埋, 6 个工棚被埋压
12	越南中北部采石场巨石崩塌	2011-04-01	2011 年 4 月 1 日, 越南中北部又安河 (Nghe An) 一处采石场发生岩石崩塌, 质量达几百吨, 大量人员被压在乱石堆下	18 人死亡
13	陕西榆林山体崩塌	2010-03-10	2010 年 3 月 10 日 1 时 3 分左右, 陕西省榆林市子洲县双湖峪镇双湖峪村石沟发生山体崩塌, 体积约 $9 \times 10^4 \text{m}^3$	27 人死亡, 十多户住户房屋被压埋
14	山西中阳县茅火梁煤矿崩塌	2009-11-16	2009 年 11 月 16 日, 山西省吕梁市中阳县张子山乡张家咀村茅火梁发生黄土崩塌, 崩塌山体底部因茅火梁煤矿开采挖空, 地表裂隙发育, 导致地表黄土坐落式崩塌	23 人被埋
15	四川汉源县山体崩塌	2009-08-06	2009 年 8 月 6 日 23 时 30 分, 四川省汉源县顺河乡猴子岩处左岸省道 306 线 K73+000—K73+300 处发生山体崩塌, 水平断面宽达 330m 的山体, 从约 160m 的垂直高度崩滑至大渡河, 近 $4 \times 10^5 \text{m}^3$ 山石冲击到大渡河内形成巨大水浪冲击对岸山体, 形成大渡河上罕见的堰塞湖灾害	31 人死亡, 省道 306 线完全中断

续表

序号	名称	爆发时间	灾害事件描述	灾情
16	国道 213 线都汶路彻底关大桥崩塌灾害	2009-07-25	2009 年 7 月 25 日, 国道 213 线都汶路 K44+200 彻底关大桥处发生突发性崩塌灾害, 其中一块质量约 90t 的巨石直接砸断了桥墩, 造成桥墩倾倒, 拉垮近 60m 桥面	6 人死亡, 2 辆货车坠入岷江, 经济损失超过 1 亿元
17	重庆武隆鸡尾山崩滑灾害	2009-06-05	2009 年 6 月 5 日, 重庆市武隆铁矿乡鸡尾山发生崩滑灾害, 产生约 $7 \times 10^6 \text{m}^3$ 的崩塌堆积物, 其中 $3 \times 10^6 \text{m}^3$ 的崩塌体快速涌进山谷, 借助于气垫效应, 崩塌体沿沟向前高速运动近 1000m	80 余人遇难
18	云南威信县山体崩塌	2009-04-26	2009 年 4 月 26 日, 云南省威信县麟凤乡麟凤村和扎西镇小坝村公路岩体边坡相继发生突发性山体崩塌	36 人死亡
19	广西桂林大河乡金鸡岭白面山岩崩塌	2009-03-05	2009 年 3 月 5 日, 广西桂林大河乡金鸡岭白面山发生崩塌灾害, 高约 60m 的三角形山体突然崩塌, 体积约 1000m^3	4 人死亡
20	广西河池凤山—巴马二级公路突发性山体崩塌	2008-11-23	2008 年 11 月 23 日, 广西河池凤山—巴马二级公路发生山体崩塌, 崩塌区域为岩溶峰丛洼地地貌, 地形为陡崖; 崩塌岩体上部裂隙为泥质充填, 岩体完整性差, 岩层面、坡面及裂缝面的组合对岩体稳定不利; 岩体风化作用强烈, 岩体卸荷使裂隙扩张, 在持续强降雨作用下, 岩体失稳脱离母体形成崩塌, 塌方 $2 \times 10^4 \text{m}^3$	6 人死亡, 掩埋 13 间房屋、4 辆车
21	重庆至涪陵高速公路 K42+400 崩塌灾害	2007-11-25	2007 年 11 月 25 日, 重庆至涪陵高速公路 K42+400 发生崩塌灾害, 泥岩和砂岩互层, 倾角 40° 左右, 公路开挖切坡, 砂岩露头位于边坡表面, 其下部泥岩长期蠕变位移, 砂岩层突发性失稳, 体积 4000m^3	直接经济损失 3000 多万元
22	国道 318 线高阳寨崩塌灾害	2007-11-20	2007 年 11 月 20 日 8 时 40 分, 宜万铁路湖北巴东县木龙河段高阳寨隧道进口处发生岩崩, 崩塌体堆积物方量约 3000m^3	31 人死亡

续表

序号	名称	爆发时间	灾害事件描述	灾情
23	国道 319 线重庆彭水段山体崩塌	2007-04-04	2007 年 4 月 4 日, 重庆彭水县城郊路段山体崩塌, 造成 30m 缺口, 5000t 巨石将公路路面连同路基全部砸到了下面的陡坡和奔流的乌江, 落在公路内侧的一块石头就有近 1000m ³	交通及国防通信光缆中断一个月, 直接经济损失 1 亿元左右
24	山西太原襄汾溃坝和娄烦尖山铁矿崩滑灾害	2006-07-08	2006 年 7 月 8 日 5 时 10 分左右, 山西省太原市娄烦县太原钢铁集团尖山铁矿发生了土坡滑坡事件。在不到两个月的时间里就相继发生了襄汾溃坝和娄烦尖山铁矿崩滑灾害	314 人死亡
25	四川省甘孜藏族自治州康定县时济乡时桥头东岸崩塌	2006-06-18	2006 年 6 月 18 日 1 时 50 分左右, 约有 120m ³ 岩石塌落	11 人死亡, 直接经济损失约 2000 万元
26	甬台温高速公路山体崩塌	2005-11-22	2005 年 11 月 22 日, 甬台温高速公路发生山体崩塌, 路段为台口式路堑, 高 40~50m; 事故发生在高速公路南侧的边坡, 崩塌石方量达 15000m ³ , 形成了一个长 65m、宽约 40m 的锥形堆积体, 大量乱石倾覆在高速公路双向车道上	交通中断 5 个月, 经济损失约 9000 万元
27	贵州纳雍山体崩塌	2004-12-03	贵州省纳雍县鬃岭镇左家营村位于半山坡, 四周全是煤矿, 2004 年 12 月 3 日 3 时 30 分, 岩脚组 40m 高的陡崖突然崩塌, 产生 3000 多立方米崩塌体高速滑动	65 人死亡, 95 间房屋倒塌
28	四川广安岩石崩塌	2004-09-19	2004 年 9 月 19 日, 四川省广安市彭家乡滑滩村二组伍家寨岩一巨石突然脱落山体, 坠下 90m 左右落至唐家院子	5 人死亡, 砸烂 6 间房屋
29	广西百色凌云县东合乡山体崩塌	2004-06-16	2004 年 6 月 16 日, 广西百色市凌云县东合乡老山坡因强降雨的连续侵扰发生岩石崩塌	7 人死亡
30	贵州兴义特大岩体崩塌	2004-05-29	2004 年 5 月 29 日, 贵州省兴义市雄武乡岩体发生崩塌, 约 6×10 ⁵ m ³ 崩塌岩石直接冲向村寨	10 人死亡, 毁坏农户房舍 38 户 228 间, 直接经济损失超过 500 万元