



普通高等教育“十二五”规划教材  
高等职业院校重点建设专业系列教材

# 地质灾害防治技术

主 编 杨绍平 闫宗平  
主 审 阳光辉



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

普通高等教育“十二五”规划教材  
高等职业院校重点建设专业系列教材

---

# 地质灾害防治技术

主 编 杨绍平 闫宗平  
副主编 李学明 李 叶 张 德  
赵 娜 代绍述  
主 审 阳光辉



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书主要介绍与工程建设活动有密切关系的地质灾害知识,旨在使读者了解常见的地质灾害形成机理、调查和评价过程、对应的防治措施以及地质灾害危险性评估和治理工程预算编制,以便在工程活动中利用这些知识,保证工程活动的安全进行以及工程建筑物的正常运营。本书共分为6个项目,内容包括:崩塌的调查与防治、滑坡的调查与防治、泥石流的调查与防治、地面变形地质灾害的调查与防治、地质灾害危险性评估、地灾治理工程预算编制。

本书面向土木工程、水文与工程地质、岩土工程及相关专业在校学生和现场施工人员,既可作为职业技术学院的教学用书,也可以作为自学考试、岗位技术培训的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

地质灾害防治技术 / 杨绍平, 闫宗平主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 6

普通高等教育“十二五”规划教材 高等职业院校重点建设专业系列教材

ISBN 978-7-5170-3294-6

I. ①地… II. ①杨… ②闫… III. ①地质—自然灾害—灾害防治—高等教育—教材 IV. ①P694

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第131258号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 高等职业院校重点建设专业系列教材 <b>地质灾害防治技术</b>
作 者	主编 杨绍平 闫宗平 主审 阳光辉
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.5印张 438千字
版 次	2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	<b>42.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言

有史以来，地质灾害给人类带来了重大的伤亡和痛苦及财产的损失。地质灾害是世界性的重大问题，不分地域和政治界限，几乎所有的国家和地区都遭受到它的破坏和威胁。许多事例表明，目前人类在科学技术上要完全阻止地质灾害的发生是很难办到的，但它产生的灾难、导致的重大损失不是不可避免的。经验证明，人类已经有了一定的知识，无论是对灾害成因与危害的认识，还是对减轻灾害损失的技术方法的掌握运用，都已达到了相当高的水平，只要通过有效的合作，运用得当，就可能把人类面临地质灾害的危险极大程度地降低。

本书全面介绍了崩塌、滑坡、泥石流和地面变形地质灾害的认识、调查和评价，总结了对应治理措施，同时对地质灾害危险性评估和地灾治理工程预算编制也进行了系统的总结，力求做到内容新颖，既有较强的实用性，同时具有一定的专业深度。本教材由四川水利职业技术学院杨绍平担任第一主编，四川水利职业技术学院闫宗平担任第二主编，四川省地质工程勘察院阳光辉担任主审；具体编写分工为：前言、项目1由杨绍平编写，项目2由张德编写，项目3由赵娜编写，项目4由闫宗平编写，项目5由李叶编写，项目6由李学明编写；代绍述参加了部分章节的修订工作，主要对书中的工程项目案例和图形部分内容进行了编写。本书在编写过程中，得到四川水利职业技术学院资源环境工程系、建筑工程系等部门老师的大力支持和帮助，在此深表感谢。

本书编写主要由四川水利职业技术学院、四川省水利水电勘测设计研究院、四川矿产机电技师学院专兼职老师共同完成，同时还参考和吸收了国内外其他院校的研究与教学成果，书中还参考和引用了国内不同院校不同时期编写的部分材料，在此一并表示衷心的感谢。本书在编著与写作的过程中，还得到了成都理工大学、西南交通大学、四川省水利水电勘测设计研究院、四川省地质工程勘察院、中国电建集团成都勘测设计研究院、成都勘察测绘设计研究院、四川省交通运输厅交通勘察设计研究院、四川省乐山市水利电力建筑勘察设计院、四川省达州市水利电力建筑勘察设计院等单位专家的指

导和审核，同时也得到了众多同仁的热情帮助。在此，谨对上述各位专家、同仁及有关单位以及引用文献的作者们致以最诚挚的谢意！由于编者水平所限，书中难免有疏漏与不足之处，敬请读者予以批评、指正。

**编者**

2015年5月

## 前言

项目 1 崩塌的调查与防治 .....	1
任务 1.1 认识崩塌 .....	1
任务 1.2 崩塌调查 .....	11
任务 1.3 崩塌评价 .....	18
任务 1.4 崩塌治理措施 .....	21
项目小结 .....	39
项目 2 滑坡的调查与防治 .....	41
任务 2.1 认识滑坡 .....	42
任务 2.2 滑坡调查 .....	69
任务 2.3 滑坡评价 .....	81
任务 2.4 滑坡防治措施 .....	89
项目小结 .....	112
项目 3 泥石流的调查与防治 .....	114
任务 3.1 认识泥石流 .....	115
任务 3.2 泥石流调查 .....	133
任务 3.3 泥石流评价 .....	142
任务 3.4 泥石流治理措施 .....	146
项目小结 .....	155
项目 4 地面变形地质灾害的调查与防治 .....	157
任务 4.1 地面塌陷 .....	157
任务 4.2 地裂缝 .....	176
任务 4.3 地面沉降 .....	192
项目小结 .....	207
项目 5 地质灾害危险性评估 .....	209
任务 5.1 地质灾害危险性评估 .....	210
任务 5.2 规划区地质灾害危险性评估 .....	220
任务 5.3 建设场地地质灾害危险性评估 .....	223



任务 5.4 矿山地质灾害危险性评估 .....	225
任务 5.5 地质灾害危险性评估成果 .....	229
项目小结 .....	235
<b>项目 6 地灾治理工程预算编制 .....</b>	<b>236</b>
任务 6.1 地质灾害治理工程费用的组成 .....	236
任务 6.2 项目划分 .....	242
任务 6.3 基础单价的编制 .....	258
任务 6.4 工程单价分析 .....	269
任务 6.5 地质灾害治理工程预算编制 .....	277
任务 6.6 施工预算书 .....	280
项目小结 .....	285
参考文献 .....	287

# 项目 1 崩塌的调查与防治

## 【项目背景】

1980年6月3日，湖北省远安县盐池河磷矿突然发生了一场巨大的岩石崩塌（岩崩又称山崩，见图1.1）。山崩时，标高839m的鹰嘴崖部分山体从700m标高处俯冲到500m标高的谷地。在山谷中乱石块覆盖面积南北长560m，东西宽400m，石块加泥土厚度30m，崩塌堆积的体积共100万 $\text{m}^3$ ，最大岩块逾2700t重。顷刻之间，盐池河上筑起一座高达38m的堤坝，构成了一座天然湖泊。乱石块把磷矿的5层大楼掀倒、掩埋，死亡284人，还毁坏了该矿的设备和财产，损失十分惨重。



图 1.1 湖北远安盐池河磷矿巨型崩塌

## 任务 1.1 认识崩塌

崩塌是陡坡上的岩体或土体在重力作用下开裂并向临空面方向倾倒，产生断裂向下坠落、翻滚的现象。崩塌的岩体（或土体）顺坡猛烈地跳跃、滚动、相互撞击，最后堆积于坡脚。在自然界中，斜坡上已经出现变形、开裂，但尚未崩落的岩土体，对人们的生产、生活构成了威胁，常被称为危崖。因为方音的差异，“危崖”又常误称为“危岩”。

陡坡上被直立裂缝分割的岩土体，因根部空虚，折断压碎或局部滑移，失去稳定，突然脱离母体向下倾倒、翻滚，这一地质现象称为崩塌。它和典型滑坡有以下4点不同：

- (1) 滑坡运动多数是缓慢的，而崩塌运动快，发生猛烈。
- (2) 滑坡多数沿固定的面或带运动，而崩塌不沿固定的面或带运动。



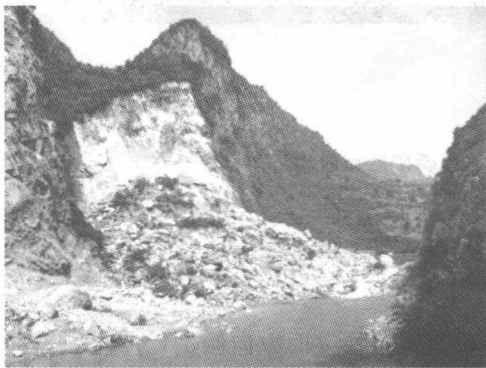
(3) 滑坡发生后,多数仍保持原来的相对整体性,而崩塌体的完整性完全被破坏。

(4) 一般而言,滑坡的水平位移大于垂直位移,而崩塌体正相反。

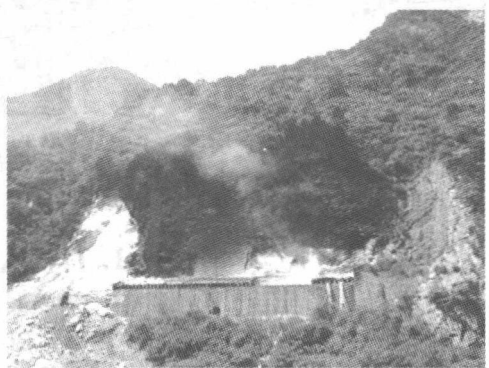
崩塌是斜坡破坏的一种形式,它对房屋、道路等建筑物常带来威胁,酿成人身安全事故。尤其对交通线路的危害最严重,我国宝成、成昆、襄渝铁路和川藏公路沿线崩塌灾害常影响线路正常运营。图 1.2 所示为汶川地震引发绵阳至北川公路边坡崩塌,严重影响了抗震救灾工作。图 1.3 所示为宝成线甘肃省陇南徽县车站,由汶川地震引发的 1 号崩塌体堵断了嘉陵江,上下游水位相差 10m [见图 1.3 (a)], 3 号崩塌体砸坏了火车车头,引起燃烧,致两人受伤 [见图 1.3 (b)]。



图 1.2 汶川地震引发的公路边坡崩塌



(a)



(b)

图 1.3 汶川地震引发的铁路边坡崩塌

### 1.1.1 崩塌的形成条件和影响因素

崩塌是长期地壳运动和地质作用的结果,崩塌的形成,受各种条件的控制。崩塌的形成条件和影响因素很多,主要有地形地貌条件、岩性条件、地质构造条件以及风化作用的影响、降雨和地下水的影响,还有地震的影响等,现说明如下。

### 1.1.1.1 地形地貌条件

(1) 崩塌一般发生在江河湖海、冲沟岸坡、高陡的山坡和人工斜坡上，地形坡度往往大于  $45^\circ$ ，尤其是大于  $60^\circ$  的陡坡。

(2) 峡谷陡坡是崩塌密集发生的地段，因为峡谷岸坡陡峻，卸荷裂隙发育，易于崩塌。

(3) 山区河谷凹岸也是崩塌较集中分布的地段，因河曲凹岸遭受侵蚀，易于造成崩塌。

(4) 冲沟岸坡和山坡陡崖岩体直立，不稳定岩体较多，时有崩塌发生。

(5) 丘陵和分水岭地段崩塌较少，原因是地形相对平缓，高差较小，如果开挖高边坡也会产生崩塌。

表 1.1 所列为宝成铁路凤州工务段辖区 57 个崩塌落石工点的边坡坡度的统计结果。

表 1.1 崩塌落石与边坡坡度统计表

边坡坡度	$<45^\circ$	$45^\circ\sim 50^\circ$	$50^\circ\sim 60^\circ$	$60^\circ\sim 70^\circ$	$70^\circ\sim 80^\circ$	$80^\circ\sim 90^\circ$
崩塌落石次数	14	11	7	17	6	2
百分比/%	24.6	19.3	12.3	29.8	10.5	3.5

### 1.1.1.2 岩性条件

崩塌多发生在厚层坚硬脆性岩体中。石灰岩、砂岩、石英岩等厚层硬脆性岩石易形成高陡斜坡，其前缘由于卸荷裂隙的发育，形成陡而深的张裂缝，并与其他结构面组合，逐渐发展贯通，在触发因素作用下发生崩塌（见图 1.4）。由缓倾角软硬相间岩层组合而成的陡坡，软弱岩层易风化剥蚀而内凹，坚硬岩层抗风化能力强而凸出，失去支撑的部分常发生崩塌（见图 1.5）。岩浆岩构成的坡体常常被多组节理、裂隙、片理所切割，或被后期的岩墙、岩脉所穿插，容易发生崩塌。变质岩构成的坡体往往节理、劈理极为发育，容易发生崩塌。

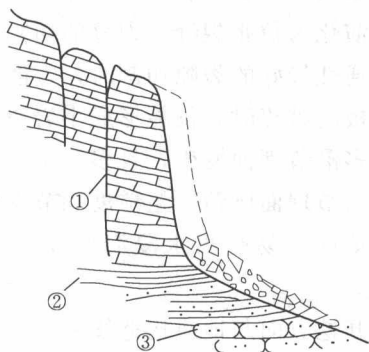


图 1.4 坚硬岩层高陡斜坡卸荷裂隙导致崩塌

①—石灰岩；②—页岩；③—砂岩

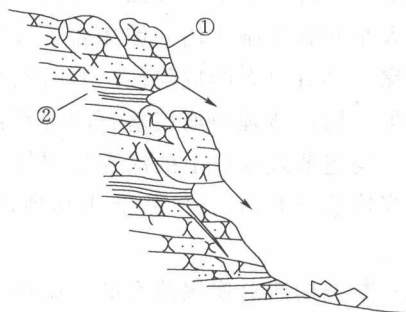


图 1.5 软硬岩层互层陡坡崩塌

①—砂岩；②—页岩

如果按沉积岩、岩浆岩、变质岩三大岩类考虑，岩性对崩塌落石的控制规律如下：

### 1. 沉积岩

如河谷陡坡由软硬相间岩层组成且较软岩层分布高度与水位变化相一致时, 软岩易于被河水冲刷破坏, 上部岩体常发生大规模崩塌。

河岸坡脚由可溶性岩石(石灰岩)组成时, 由于河流长期的冲蚀和溶解作用, 可溶岩常被掏空, 易于形成岸边大崩塌。

巨厚的完整岩层如夹有薄层页岩, 当岩层倾向临空面时, 陡峻的边坡可能发生大规模的滑移式崩塌。

产状水平的软硬相间岩石组成的陡边坡, 因差异性的风化, 可能发生小型崩塌和落石。

### 2. 岩浆岩

当垂直节理(如柱状节理)发育并有倾向线路的构造裂面时, 易产生大型崩塌。

岩浆岩中有晚期的岩脉、岩墙穿插时, 岩体中形成不规则的接触面, 这些接触面往往是岩体中的薄弱面, 它们和其他结构面组合在一起, 为崩塌落石提供了有利条件。

### 3. 变质岩

正变质岩的情况与岩浆岩类似。对副变质岩, 在动力变质的片岩、板岩和千枚岩组成的边坡上常有褶曲发育, 故弧形结构面较多, 当其倾向临空面时, 多发生沿弧形结构面的滑移式崩塌。此类岩石片理面及构造结构面很发育, 把岩石切割成大小不等的岩块, 故常发生大小各异的崩塌落石。表 1.2 所列为某铁路边坡 100 个崩塌工点的岩性统计。

表 1.2 岩性与崩塌落石的关系

岩 性	花岗岩	灰岩、砾岩、砂岩	辉长—辉绿岩	厚板岩	千枚岩	页岩
崩塌落石工点数	39	38	11	6	4	2
百分比/%	39	39	11	6	4	2

#### 1.1.1.3 地质构造条件

(1) 构造节理和成岩节理对崩塌的形成影响很大。硬脆性岩体中往往发育两组或两组以上的陡倾节理, 其中与坡面平行的一组节理常演化为拉张裂缝。裂缝的切割密度对崩塌块体的大小起着控制作用。坡体岩石被稀疏但贯通性较好的裂隙切割时, 常能形成较大规模的崩塌, 具有更大的危险性。岩石裂隙密集而极度破碎时, 仅能形成小岩块, 在坡脚形成倒石堆。构造节理与崩塌落石的关系: ①崩塌多沿节理面发生, 且多属于滑移式崩塌和落石; ②构造节理面以上的潜在崩塌体的稳定性与节理面倾角、粗糙度和节理的充填物有关; ③当构造节理面中有黏土或其他风化物充填时, 易受雨水浸润而软化, 更有利于崩塌。

(2) 断裂构造对崩塌落石的控制作用: ①当开挖方向与地质构造线平行时易产生崩塌落石; ②在几组断裂线交汇的峡谷区, 往往形成大型崩塌; ③断层密集分布区岩层破碎, 高边坡地段崩塌落石频频发生。

(3) 褶曲对崩塌落石的控制作用: 褶皱核部岩层常强烈弯曲, 岩层破碎, 形成各种潜在崩塌体, 它们在重力或其他外力作用下, 可能产生各种类型的崩塌落石, 其规模主要取

决于褶皱轴向与临空面坡向的夹角。当褶皱轴向垂直于坡面方向,多产生落石或小型崩塌。当褶皱轴向与临空面平行时,高陡边坡可能产生大崩塌,褶皱两翼为单斜岩层,当岩层倾向临空面时,易产生滑移式崩塌,特别是岩层内有软弱夹层,岩体两侧又有构造节理切割时,陡边坡可能产生大型崩塌。褶皱核部由于岩层强烈弯曲,岩石破碎,地表水渗入,易于产生崩塌,其规模主要取决于褶皱轴向与临空面走向的夹角。

(4) 当建筑物的延伸方向和区域构造线一致,而且采用深挖方案时,崩塌较多。

#### 1.1.1.4 风化作用对崩塌的影响

由于风化作用能使斜坡前缘各种成因的裂隙加深、加宽,对崩塌的发生起着催化作用。此外,在干旱、半干旱气候区,由于物理风化强烈,导致岩石机械破碎而发生崩塌。高寒山区的冰劈作用也有利于崩塌的形成。

#### 1.1.1.5 降雨和地下水对崩塌的影响

(1) 崩塌有 80% 发生在雨季,特别是雨中和雨后不久;连续降雨时间越长,暴雨强度越大,崩塌次数就越多;阴雨连绵天气比短促的暴雨天气崩塌数量多;长期大雨比连绵细雨时崩塌数量多。

(2) 边坡和山坡中的地下水往往可以直接从大气降水中得到补给,使其流量大大增加,地下水和雨水联合作用,进一步促进了崩塌的发生。

#### 1.1.1.6 温度对崩塌的影响

温度变化对崩塌的发育有特殊的作用,主要有以下 3 点:

(1) 构成坡体的地层都是由不同的导热性和膨胀系数的各种矿物所组成,这些矿物晶体的膨胀系数各有差异,引起温度变化的热源也不同。例如,由太阳辐射引起的日温变化、季节温差变化,以及年温差变化,主要是作用在坡的坡面上,而火山、地下煤层自燃等热源主要是作用于坡体的内部。这些作用的差异,都会使坡体处于受热不均匀状态,尤其是收缩应力的交替作用,更加快了坡体的风化过程,这种作用对软质岩体和裂缝中的充填特别显著。

(2) 处在坡体上的块体,在温度变化过程中所产生的热胀冷缩效应,始终保持朝着坡下位移的总体趋势。

(3) 温度变化对裂缝中水的影响非常明显。水由液态变为固态,其体积将增大 9.1%,1L 水所产生的膨胀力可达 6MPa。充满裂缝的水凝结成冰之后,会对坡体产生“冰劈作用”,这无疑加快了崩塌的发育。

#### 1.1.1.7 地震对崩塌的影响

地震时由于地壳强烈震动,边坡岩体各种结构面的强度会降低;同时,因有水平地震力作用,边坡岩体的稳定性会大大降低,导致崩塌的发生。山区的大地震都伴随有大量崩塌的产生,汶川地震就诱发了大量崩塌,毁坏了房屋和公路。

### 1.1.2 湖北远安盐池河磷矿崩塌成因探讨

湖北省远安县境内的盐池河磷矿灾难性崩塌,是崩塌形成诸条件制约的典型事例。

### 1. 岩性条件

该磷矿位于一峡谷中，岩层为上震旦统灯影组 ( $Z_6dn$ ) 厚层块状白云岩及上震旦统陡山沱组 ( $Z_6d$ ) 含磷矿层的薄至中厚层白云岩、白云质泥岩及砂质页岩。

### 2. 地质构造条件

该磷矿岩层中发育有两组垂直节理，使山顶部的灯影组白云岩三面临空。

### 3. 强降雨的影响

1980年6月8—10日连续两天大雨的触发，使山体顶部前缘厚层白云岩沿层面滑出形成崩塌，体积约100万 $m^3$ ，造成生命财产的严重损失。

### 4. 地下采矿的影响

除地质基础因素外，地下磷矿层的开采是上覆山体变形崩塌的最主要的人为因素。这是因为：磷矿层赋存在崩塌山体下部，在谷坡底部出露。该矿采用房柱采矿法及全面空场采矿法，1979年7月采用大规模爆破房间矿柱的放顶管理方法，加速了上覆山体及地表的变形过程。采空区上部地表和崩塌山体中先后出现10条地表裂缝。裂缝产生的地方都分布在采空区与非采空区对应的边界部位。说明地表裂缝的形成与地下采矿有着直接的关系。后来裂缝不断发展，在降雨激发之下，终于形成了严重的崩塌灾害。

在发现山体裂缝后，该矿曾对裂缝的发展情况进行了设点简易监测，虽已掌握一些实际资料，但不重视分析监测资料，没有密切注意裂缝的发展趋势，因而不能正确、及时预报，也是造成这次灾难性崩塌的主要教训之一。

## 1.1.3 崩塌的运动特征

崩塌块体的运动与滑坡有很大的差别，几乎不存在滑移现象。崩塌体从地面开裂→向临空面倾倒→瞬间撕裂脱离母体，坠落高速运动，整个运动过程表现出自由落体、滚动、跳跃、碰撞和推动等多种方式并存的复合过程（图1.6）。运动中由于跳跃、碰撞使大的岩土块碎裂、解体成小块。

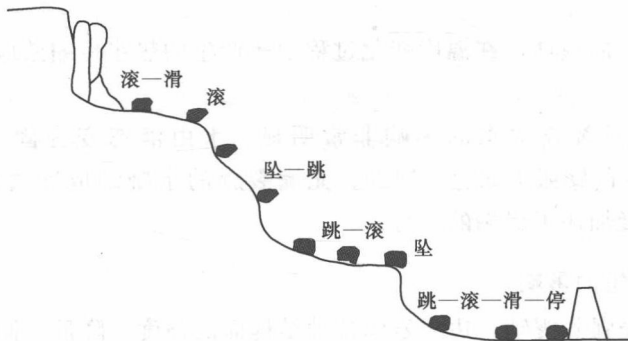


图 1.6 崩塌的运动特征

由于崩塌块体运动过程十分复杂，块体间的相互作用和能量传递至今难以测定，速度和坡面阻力系数也难以准确给出，所以很难建立公式进行计算。在实际工作中，根据大量调查、统计资料和经验，可作以下定性分析：

(1) 崩塌块体落地以后的坡面在  $25^\circ$  以下, 坡面上为草皮、灌木丛和凹凸不平的地形, 崩塌块体在此斜坡上做减速运动。

(2) 崩塌块体落地以后的地面坡度在  $25^\circ \sim 30^\circ$  内, 坡面覆盖物、形态和特征与上述基本相同, 崩塌块体在此斜坡上接近匀速运动。

(3) 崩塌块体落地以后的地面坡度在  $30^\circ$  以上, 坡面覆盖物、形态和特征与上述基本相同, 崩塌块体在此斜坡上做加速运动。

应用上述基础知识, 可对高陡危险斜坡发生崩塌的可能性和危险区范围, 作出初步分析判断。

### 1.1.4 崩塌的分类

崩塌发生的地质条件及诱发因素是多样的, 崩塌有不同的运动形式及特点。分类的依据不同, 可以有不同的崩塌分类方案。

#### 1.1.4.1 常见的崩塌分类方案

根据崩塌的破坏方式、体积、组成物质、发生机理和运动方式等, 崩塌的常见分类方案见表 1.3。

表 1.3 崩塌的常见分类方案

分类依据	类型	特征简述
破坏方式	坠落式	悬空的岩土块体呈悬臂梁受力状态而发生断裂, 以自由落体方式脱离母体 (见图 1.7)
	倾倒式	斜坡上的岩土体受力发生弯曲, 最终断裂、倾倒而脱离母体
体积 /万 $m^3$	山崩	大于 1000
	特大型	100~1000
	大型	10~100
	中型	1~10
	小型	0.1~1
	落石	小于 0.1
组成物质	岩崩	崩塌块体为岩质
	土崩	崩塌块体为土质
发生机理	崩塌	大规模整体性运动, 范围大
	坠落	个别岩土块体的运动, 范围小
	剥落	岩屑崩落后所暴露出的坡面依然不稳定的, 又称撒落、散落、碎落
运动方式	跳跃式	崩塌块体碰撞地面后呈跳跃方式运动
	滚动式	崩塌块体顺坡面呈滚动方式运动
	滑动式	崩塌块体顺坡面呈滑动方式运动
	复合式	崩塌块体在坡面上呈现多种方式运动, 如跳滚式、滚滑式、跳滑式等



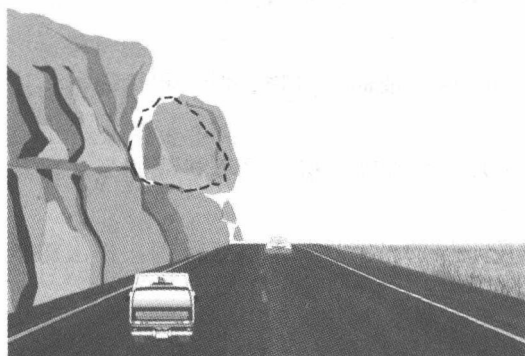


图 1.7 坠落式崩塌

### 1.1.4.2 按起始运动形式分类

崩塌的产生是潜在崩塌体长期蠕动位移和不稳定因素积累的结果。崩塌体的大小、物质组成、结构构造、活动方式、运动途径、堆积情况、破坏能力等虽然千差万别，但是，从潜在崩塌体的蠕动位移到突爆崩塌的发展过程都遵循一定的基本模式。根据崩塌体的起始运动形式，把崩塌分为倾倒式崩塌、滑移式崩塌、错断式崩塌、拉裂式崩塌和鼓胀式崩塌。各类崩塌的特征见表 1.4。

表 1.4

各类崩塌的特征

类型	主要特征						
	岩性	结构面	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	黄土、石灰岩及其他直立岩层	多为垂直节理、柱状节理、直立岩层面	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	静水压力、动水压力、地震力、重力
滑移式崩塌	多为软硬相间的岩层，如石灰岩夹薄层页岩	有倾向临空方向的结构面（可能是平面、楔形或弧形）	陡坡通常大于 $45^\circ$	可组合成各种形状，如板状、楔形、圆柱状等	滑移面主要受剪切力作用	滑移	重力、静水压力、动水压力
鼓胀式崩塌	直立的黄土、黏土或坚硬岩石下有较厚软岩层	上部为垂直节理、柱状节理，下部为近水平的结构面	陡坡	岩体高大	下部软岩受垂直挤压	鼓胀，伴有下沉、滑移、倾斜	重力，水的软化作用
拉裂式崩塌	多见于软硬相间的岩层	多为风化裂缝和重力拉张裂缝	上部突出的悬臂	上部硬岩层以悬臂梁形式突出来	拉张	拉裂	重力
错断式崩塌	坚硬岩石、黄土	垂直裂隙发育，通常无倾向临空面的结构	大于 $45^\circ$ 的陡坡	多为板状、长柱状	自重引起的剪切力	错断	重力

#### 1. 倾倒式崩塌

在河流的峡谷区、岩溶区、冲沟地段及其他陡坡上，常见到在巨大而直立的岩体内，垂直节理或裂缝将岩体分割开来。这类岩块高而窄，横向稳定性差，失稳时岩体以坡脚的

某一点为转点，发生转动性倾倒。这种崩塌模式由以下几种原因形成：

(1) 长期冲刷淘蚀直立岩体的坡脚，由于偏压，使直立岩体产生倾倒蠕变，最后导致倾倒式崩塌。

(2) 当附加特殊水平力（地震力、静水压力、动水压力、冻胀力和根劈力等）时，块体可倾倒破坏。

(3) 当坡脚由软岩组成时，雨水软化坡脚产生偏压，引起崩塌。

(4) 直立岩体在长期重力作用下，产生弯折也能导致这类崩塌。

## 2. 滑移式崩塌

在某些陡坡上，在不稳定岩体下部有向对坡下倾斜的光滑结构面或软弱面。在开始时块体滑移，块体重心一经滑出陡坡，就会突然产生崩塌。这类崩塌产生的原因，除重力外，连续大雨渗入岩体裂缝，产生静水压力和动水压力以及雨水软化软弱面，都是岩体滑移的主要原因；在某些条件下，地震也可能引起这类崩塌。这类崩塌实际上是滑坡向崩塌转化的一种形式。

## 3. 鼓胀式崩塌

当陡坡上不稳定岩体下有较厚的软弱岩层，或不稳定岩体本身就是松软岩层，而且有长大节理把坡体分割开，在连续大雨或地下水补给的情况下，下伏的较厚软弱层或松散岩层会被软化。上部块体在重力作用下，当压应力超过软岩天然状态下的无侧限抗压强度时，软岩将被挤出，向外鼓胀。随着鼓胀的不断发展，不稳定块体将为断地下沉和外移，同时发生倾斜。一旦重心移出坡外，崩塌即会产生。因此，下部较厚的软弱岩层能否向外鼓胀，是这类崩塌能否产生的关键。

## 4. 拉裂式崩塌

当陡坡由软硬相间的岩层组成时，由于风化、河流冲刷淘蚀和人为开挖等作用，使上部坚硬岩层常以悬臂梁式凸出来。在重力的长期作用下，拉应力进一步集中在尚未产生节理裂隙的部位。一旦拉应力大于这部分块体的抗拉强度时，拉裂缝就会迅速向下发展，凸出的岩体就会突然向下崩落。除上述作用外，震动、根劈和寒冷地区的冰劈作用等，都会促进这类崩塌的形成。

## 5. 错断式崩塌

陡坡上的长柱状和板状的不稳定岩体，在某些因素作用下，因不稳定块体重量的增加或因其下部断面减小，都可能使长柱状或板状不稳定岩体的下部被剪断，从而发生错断式崩塌（见图 1.8）。一旦岩体下部因自重所产生的剪应力超过了岩石的抗剪强度，崩塌将迅速产生。

错断式崩塌通常有以下几种形成原因：

(1) 由于地壳上升，河流下切作用加强，使垂直节理裂隙不断加深。因此，长柱状和板状岩体的自重不断增加。

(2) 在冲刷和其他风化剥蚀营力的作用下岩体下部的断面不断减小，从而导致岩体被剪断。

(3) 由于人工开挖边坡过高、过陡，使下面岩体被剪断，产生崩塌。

从上述 5 种崩塌发展模式看，崩塌体所处的地质条件以及崩塌的诱发因素是多种多样

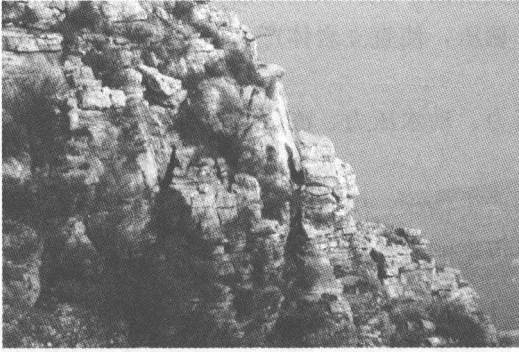


图 1.8 错断式崩塌

的，但是，崩塌体刚失稳时的运动形式则是有规律可循的。大量调查证明，崩塌基本上就是倾倒、滑移、鼓胀、拉裂、错断 5 种。崩塌能否产生就在于这 5 种初始变形能否形成和发展。

### 1.1.5 崩塌的危害

(1) 大型崩塌造成人员的伤亡。例如，2014 年 7 月 17 日 14 时 45 分左右，国道 213 线 K774+600m 处（四川省茂县石大关乡超限站附近）突发山体垮塌，塌方方量逾 3000m<sup>3</sup>，造成长逾 100m 的道路被阻

断，致使 13 辆车被砸，10 人死亡，22 人受伤。

(2) 崩塌掩埋公路、摧毁建筑物和民房。例如，1987 年 9 月 1 日凌晨，重庆市巫溪县城南龙山发生大崩塌，摧毁县电力公司 6 层宿舍楼一栋，私人旅舍两家，民房 20 余户，掩埋公路干线逾 70m，直接经济损失 270 万元左右。

(3) 崩塌致使铁路运输中断，造成严重的经济损失。例如，1992 年 5 月，宝成线 190km 处发生大崩塌，造成运输中断长逾 30d，抢险费用 1000 多万元；由于断道给四川省和成都市造成的间接损失达数亿元。

(4) 为整治崩塌落石增加大量基建投资。在居民点、建筑场地、工矿区、交通线上，为保证建筑物稳定和人身安全，需要对崩塌工点进行整治，整治一个大型崩塌工点，往往需要数十万、百余万甚至上千万元的投资。

### 1.1.6 崩塌体的识别判断

根据定义，陡坡上的岩体或土体在重力或其他外力作用下，突然向下崩落，崩落的岩（土）体顺坡向猛烈地翻滚、跳跃、相互撞击，最后堆积于坡脚的物质均可判为崩塌体。

地形地貌特征：崩塌山体的坡度一般在 55°以上，且高差一般大于 30m，坡体呈孤立山嘴、山峰或凹形陡坡。

块体结构特征：崩塌体坡脚有块石大小相差悬殊、结构零乱的堆积物，又称倒石锥，崩塌体前缘小型崩塌、坠落不断发生。坡体内部裂隙发育，尤其是垂直和平行斜坡延伸方向的陡倾裂缝发育，或顺裂隙、软弱带发育，坡体上部拉张裂缝发育，裂缝不断加长、加宽，速度突增，裂缝即将可能贯通，使之与母体（山体）形成分离之势。

### 1.1.7 崩塌临发前兆

崩塌发生前可能会出现以下征兆：

- (1) 崩塌处的裂缝逐渐扩大，危岩体的前缘有掉块、坠落现象，小崩小塌不断发生。
- (2) 坡顶出现新的破裂形迹，嗅到异常气味。
- (3) 不时偶闻岩石的撕裂摩擦错碎声。
- (4) 出现热、氦气，地下水质、水量等异常。