

边坡地质灾害的预测预报

胡厚田 韩会增 编著
吕小平 程谦恭

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 提 要

近十几年来作者在边坡地质灾害的预测预报方面开展了一系列研究,在理论应用上有所创新。在郑州、柳州、成都各铁路局应用中取得了较显著的社会效益和经济效益。本书是在此基础上编著而成。全书共五章,第一章边坡地质灾害及其特征,阐述了边坡地质灾害崩塌、滑坡、坍塌的环境条件、影响因素、形成机理、分类及其特征;第二、三、四章是本书的重点,分别详细阐述崩塌、滑坡、坍塌等边坡地质灾害的预测预报方法;第五章铁路边坡数据库系统,对铁路边坡地质灾害的数据库管理系统做了介绍,其中包括边坡地质灾害工点稳定性排序。内容较丰富,联系实际,实用性较强。

本书可供设计、施工、运营各部门的工程地质及相关的工程技术人员参考,也可作为有关研究生、本科生参考教材。

前 言

我国山区铁路较多,共有 40 000 多公里,约占全国运营铁路的三分之二。据 1981 年统计,全国约 50 条山区铁路,共有数千次崩塌落石、滑坡、塌方等边坡地质灾害发生,每年都有发生边坡地质灾害造成的中断行车事故。如原西安铁路局略阳—上西坝段线路总长 135 km,1981 年雨季共发生边坡地质灾害 59 处;为整治边坡地质灾害,接长明洞 31 处、改建隧道 3 处、修建抗滑挡墙及抗滑桩 25 处,整治费用高达亿元以上。因此,进行边坡地质灾害的预测预报研究就显得十分必要。

近十年来铁路系统在边坡地质灾害的预测预报方面开展了一系列研究,并取得了许多可喜的成果。如作者在“滑坡崩塌区段预测及稳定度评判的数学地质方法”、“黔桂线崩塌落石预测的研究”、“汛期铁路土质边坡塌方灾害的预测”等研究中所取得的成果,在理论上和应用上都有所创新,在郑州、柳州、成都各铁路局中应用取得了显著的社会效益和经济效益。

本书是作者在上述成果的基础上撰写而成,内容上反映了当前该领域的先进水平。本书共五章,划分为三个部分。第一部分即第一章边坡地质灾害及其特征,阐述了边坡地质灾害的定义及崩塌、滑坡、坍塌等边坡灾害的环境条件、影响因素、形成机理、分类及其特征。第二部分是本书的重点,包括第二、三、四章,分别详细地阐述了崩塌、滑坡、坍塌等边坡地质灾害的预测预报方法。第三部分即第五章铁路边坡数据库系统,对铁路边坡地质灾害的数据库管理系统做了介绍,其中包括边坡地质灾害工点稳定性排序。第一章和第二章胡厚田撰写,第三章程谦恭撰写,第四章韩会增撰写,第五章吕小平撰写,全书由胡厚田审校定稿。

本书得到国家自然科学基金(49872087)和西南交通大学学科建设基金资助,在此表示感谢。

作 者

2000 年 4 月

目 录

第一章 边坡地质灾害及其特征

1.1 边坡地质灾害概述	1
1.2 崩塌、落石的形成及基本特征	2
1.3 滑坡的形成及基本特征	7
1.4 坍塌的形成及基本特征	12

第二章 崩塌落石的综合预测预报方法

2.1 崩塌区段预测的信息量统计方法	14
2.2 崩塌稳定度的模糊综合评判方法	21
2.3 崩塌稳定度的综合评分方法	25
2.4 崩塌的中长期预报	30
2.5 崩塌的近期预报	36

第三章 滑坡预测预报

3.1 滑坡时空预测预报的概念及研究意义	42
3.2 滑坡空间预测原理及方法	44
3.3 滑坡空间预测制图技术	48
3.4 滑坡时间预报原理及方法	58

第四章 土质边坡坍塌预测的研究

4.1 坍塌的抗洪雨量法预测	77
4.2 坍塌的警戒雨量法预测	81
4.3 坍塌的判别分析预测	85
4.4 坍塌的模糊综合评判预测	95
4.5 坍塌的灰色聚类预测	101

第五章 铁路边坡数据管理与稳定性评价系统

5.1 边坡的数据管理	106
5.2 岩石边坡的因素构成和稳定性权重体系	109
5.3 边坡稳定性综合排序	116
5.4 基于层次权重的稳定性模糊综合评判	117
5.5 应用举例	118

参考文献	120
------------	-----

第一章

边坡地质灾害及其特征

1.1 边坡地质灾害概述

边坡地质灾害包括人工边坡工程中的地质灾害,也包括天然边坡中的地质灾害。边坡岩体在重力、构造力、地震力以及各种外营力的长期作用下,都有一个向下滑落的趋势,这个趋势受到岩体本身抗剪切、抗破坏力的阻抗,一旦岩体阻抗力小于向下滑落的破坏力时,就会产生各种地质现象,并可能造成灾害。下面就人工边坡工程中的地质灾害和天然边坡中的地质灾害两方面加以叙述。

1.1.1 人工边坡工程中的地质灾害

山区的铁路、公路、水渠、水库、矿山和城镇等的建设,都有大量边坡工程,由于边坡岩体地质条件不良,加之有各种外营力的长期作用,常有崩塌、滑坡、坍塌、风化剥蚀等地质现象产生,并给人类带来不同程度的严重灾害。

铁路和公路沿线滑坡、崩塌、坍塌等地质灾害分布广泛,全国铁路沿线的滑坡有千余处,每年发生崩塌、落石数千处。如宝成线宝鸡—上西坝段共 347 km,从 1954 年开始施工,1957 年底竣工,施工期间共发生滑坡、崩塌、坍塌等大小地质灾害 2 136 处,整治费用高达 8 200 万元。交付运营以后地质灾害仍然不断发生,仅 1958 年至 1962 年中断行车累计达 1 705 小时,从 1958 年至 1982 年二十多年里,宝上段共发生塌方约 281.1 万立方米,中断行车 4 608 小时,整治费用高达 12 880 万元,平均每公里增加投资 37.12 万元。

水库、水渠区的滑坡、崩塌、坍塌的分布也十分广泛,如成都龙泉山两翼的水渠滑坡众多。据 1981 年调查,龙泉山西翼南端渠道长约 58 km,滑坡 147 处,沿渠滑动长 5.359 km;东翼南端渠道长 90 km,滑坡 115 处,沿渠滑动长 3.17 km。水库滑坡在世界范围内也屡有发生,1963 年意大利瓦依昂水库滑坡的体积达 2.7~3.0 亿立方米,造成巨大灾害;1978 年我国塘岩光水库滑坡也造成巨大灾害。

我国重庆市和渡口,由于城市建设都产生大量滑坡,因而给人类生命财产也都造成重大损失。

陕西渭北由耀县、铜川、白水、合阳至韩城长约 183 km 的带形煤矿区,自 1950 年以来,由于大规模开发地下煤炭资源以及地面进行大量工程建设,极大地改变和破坏了矿区自然环境的平衡状态,产生滑坡 150 多个,造成了严重的滑坡灾害。

1980 年 6 月,湖北省盐池河磷矿发生灾难性大崩塌,高 160 m,体积达 100 万立方米的山体突然崩落,冲击气浪将四层大楼抛至对岸撞碎,崩落的土石冲向对岸,造成建筑物毁坏,有 284 人丧生。甘肃孔山和金川等露天矿边坡也都有大量的地质灾害发生。

1.1.2 天然边坡的地质灾害

天然边坡由于长期在外营力的作用下,特别是在长期大暴雨的作用下,容易产生滑坡和崩塌。如四川省 1981 年由于特大暴雨,全省发生 60 000 多处滑坡。这些滑坡主要分布在川北、川西地区,其中滑坡密集分布的有旺苍、广元、南江、苍溪、巴中、仪陇、盐亭、剑阁、南部、三台、射洪、中江以及龙泉山南部诸县区,造成重大灾害损失的滑坡有 47 000 处,有数十万人民受灾,使 60 000 人无家可归,毁坏了大量耕地和森林,是建国以来四川省滑坡灾害较严重的一年,这 60 000 多处滑坡有很大一部分是发生在天然山坡上。

1983 年 3 月 7 日 17 时 46 分,甘肃省东乡县洒勒山天然山坡发生大型高速滑坡,滑坡南北长 1.6 km,东西长 0.8 km,滑坡体平均厚 30 m,滑坡体体积约 4 100 万立方米,滑坡历时不足 1 分钟,滑速每秒达 30 余米。滑坡发生后,四个生产队 84 户农民有 71 户被埋,237 人丧生,公路被推断,距滑坡后缘约 1.6 km 的巴谢河被堵塞,水库被淤填,有 3 000 多亩耕地被毁。

再如,1988 年 1 月 10 日 18 时 37 分,伴随着一串惊天动地的“霹雳”响声,位于四川盆地东部边缘的巫溪县下堡乡中阳村发生一次大型崩塌,约有 765 万立方米的石块和泥土,从千米高的山顶以排山倒海之势倾泻而下,填平了西溪河谷,冲上对岸 50 多米高的山坡,巨大的冲击气浪和铺天盖地的飞砂走石,摧毁埋没了两岸的房屋和田地,崩塌体的堆积面积达 64 万平方米,有 11 人丧生,7 人受伤,15 人下落不明,造成了重大灾害。

从上述大量调查资料可以看出,边坡地质灾害是严重的,其中主要有滑坡、崩塌、坍塌和风化剥落四种,又以滑坡、崩塌、坍塌三种地质灾害对人类威胁较大,是本书阐述的重点。

1.2 崩塌、落石的形成及基本特征

1.2.1 崩塌、落石及其形成条件和影响因素

1. 崩塌、落石的定义

陡坡上的岩体或土体在重力或有其它外力作用下,突然向下崩落的现象叫做崩塌。崩落的岩体(或土体)顺坡猛烈地翻滚、跳跃、相互撞击,最后堆积于坡脚。它和滑坡有以下几点区别:① 滑坡运动速度多数缓慢,而崩塌发生猛烈,运动速度快;② 滑坡多沿固定的面或带运动,而崩塌不沿固定的面和带;③ 滑坡多保持原来的相对完整性,而崩塌体完全被破坏;④ 滑坡水平位移大于垂直位移,而崩塌正相反。

落石是陡坡上的个别岩石块体在重力或其它外力作用下,突然向下滚落的现象。

2. 崩塌、落石的形成条件和影响因素

崩塌、落石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,以及降雨和地下水的影响;还有地震的影响、风化作用和人为因素的影响等。现说明如下:

(1) 地形地貌条件

① 崩塌、落石多发生在海、湖、河、冲沟岸坡、高陡的山坡和人工坡上,地形坡度通常大于 45° 。

② 峡谷陡坡是崩塌、落石密集发生的地段,因为峡谷岸坡新构造运动强烈,高差从数十米到数百米,岸坡陡峻,坡度在 $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 以上,卸荷裂缝发育,基岩裸露,崩塌、落石常密集分布。

③ 山区河谷凹岸也是崩塌、落石较集中分布的地段,因河曲凹岸遭受冲刷,山坡较陡,易于造成崩塌、落石发生。

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、落石发生。

⑤ 丘陵和分水岭地段崩塌、落石较少,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、落石。

(2) 岩性条件

① 崩塌、落石绝大多数发生在岩性较坚硬的基岩区,因为只有较坚硬的岩石才可能形成高陡的边坡地形。

② 在沉积岩区,当河谷陡坡由软硬相间岩层组成时,如果软岩层分布高度与河水位一致时,因软岩易被河水冲刷,上部岩体常发生大崩塌;当河岸坡脚由可溶性岩组成时,由于河流长期的冲蚀和溶解作用,易于形成岸坡岩体大崩塌;当巨厚层、完整坚硬的岩层夹有薄层页岩,且岩层倾向临空面时,陡峻边坡可能发生大型滑移式崩塌;褶皱发育的高陡页岩和泥岩边坡,常有小型崩塌、落石。

③ 在岩浆岩区,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;当岩浆岩中有晚期岩脉、岩墙穿插时,在岩体中形成不规则的软弱接触面,它们和其它构造结构面组合在一起,为崩塌落石发生提供了条件。

④ 在变质岩区,正变质岩区与岩浆岩区类似,副变质岩区有以下情况:动力变质的片岩、板岩和千枚岩边坡上常有褶皱发育,故弧形结构面较多,当其倾向临空面时,多发生滑移式崩塌落石;此类岩石不仅片理发育,而且各种构造结构面也很发育,把岩体切割成大小不等的岩块,为崩塌、落石发生提供了条件。

(3) 地质构造条件

① 断裂构造对崩塌落石的控制作用。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,崩塌落石较多。

大断层交汇的峡谷区常有大型崩塌产生;断层密集区岩层破碎,高陡边坡地段崩塌、落石频频发生。

② 褶皱对崩塌落石的控制作用。褶皱核部由于岩层强烈弯曲,岩石破碎,地表水渗入,易于产生崩塌落石,其规模主要取决于褶皱轴向与临空面走向的夹角。当褶皱轴向与临空面走向平行时,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,易于产生滑移式崩塌、落石。

③ 构造节理与崩塌、落石的关系。沿构造节理常发生滑移式崩塌、落石；构造节理面以上的潜在崩塌体的稳定性与节理倾角的大小有关，与节理面的粗糙度和充填物有关，当有粘土或其它风化物充填时，易受水浸润软化，促进了崩塌、落石产生。

(4) 降雨和地下水对崩塌、落石的影响

① 降雨对崩塌落石的影响。崩塌、落石有 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、落石次数越多；阴雨连绵天气较短促的暴雨天气崩塌、落石多；长期大雨比连绵细雨时崩塌、落石多。

② 地下水对崩塌、落石的影响。边坡和山坡中的地下水往往可以直接从大气降水补给，使其流量大大增加，地下水和雨水联合作用，更进一步促进了崩塌、落石发生，主要表现在以下四个方面：充满裂隙中的水及其流动，对潜在崩塌体产生静水压力和动水压力；产生向上的浮托力；岩体和充填物由于水的浸泡，抗剪强度大大降低；充满裂隙的水，使不稳定岩体和稳定岩体之间的侧向摩擦力减小。

(5) 地震对崩塌、落石的影响

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、落石的发生。山区的大地震都伴随有大量崩塌、落石的产生。

(6) 风化作用的影响

① 在边坡坡度、高度相同时，岩石风化程度越高，其强度越低，发生崩塌、落石的可能性越大。

② 边坡岩体的差异性风化使岩体悬空，可能导致崩塌、落石的产生。

③ 充填在结构面里的风化产物，可能使岩体失稳。

④ 高陡人工边坡如果切割原山坡的风化壳，可能引起风化壳沿完整岩体发生崩塌。

⑤ 生长在陡边坡岩体裂缝中的树木，促进崩塌、落石的产生。

(7) 人为因素的影响

① 建筑物未避开严重的崩塌、落石地段，致使崩塌、落石不断发生。

② 边坡设计过高过陡，产生崩塌落石。

③ 不适宜的采用大爆破，导致崩塌、落石产生。

④ 施工程序不当，导致崩塌、落石产生，如边坡自下而上的开挖。

1.2.2 崩塌的形成机理

崩塌的规模大小、物质组成、结构构造、活动方式、运动途径、堆积情况、破坏能力等千差万别，但其形成机理是有规律的，常见的有五种。

1. 倾倒—崩塌

在河流的峡谷区、岩溶区、冲沟地段及其它陡坡上，常见巨大而直立的岩体，以垂直节理或裂缝与稳定岩体分开，其断面形式如图 1-1 所示。这类岩体的特点是高而窄，横向稳定性差，失稳时岩体以

图 1-1 倾倒—崩塌

坡脚的某一点为转点,发生转动性倾倒,这种崩塌模式的产生有多种途径: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,最后导致倾倒地崩塌;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,岩体可倾倒地破坏;③ 当坡脚由软岩组成时,雨水软化坡脚,产生偏压,引起这类崩塌;④ 直立岩体在长期重力作用下,产生弯折也能导致这种崩塌。

2. 滑移—崩塌

在某些陡坡上,在不稳定岩体下部有向坡下倾斜的光滑结构面或软弱面,其形式有三种情况,如图 1-2 所示。

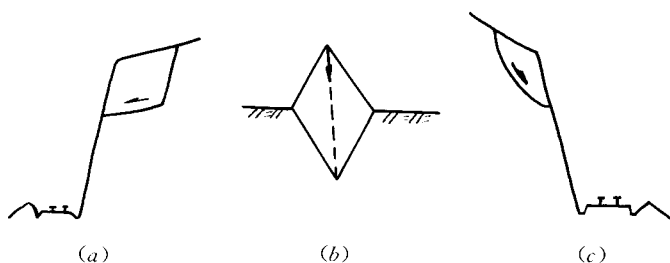


图 1-2 滑移—崩塌

这种崩塌能否产生,关键在开始时的滑移,岩体重心一经滑出陡坡,突然崩塌就会产生。这类崩塌产生的原因,除重力之外,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诱因;在某些条件下,地震也可能引起这类崩塌。

3. 鼓胀—崩塌

当陡坡上不稳定岩体之下有较厚的软弱岩层,或不稳定岩体本身就是松软岩层,而且有长大节理把不稳定岩体和稳定岩体分开,在有连续大雨或有地下水补给的情况下,下部较厚的软弱层或松软岩层被软化。在上部岩体的重力作用下,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,发生向外鼓胀,随着鼓胀的不断发展,不稳定岩体将不断地下沉和外移,同时,发生倾斜,一旦重心移出坡外,崩塌即会产生,如图 1-3 所示。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。

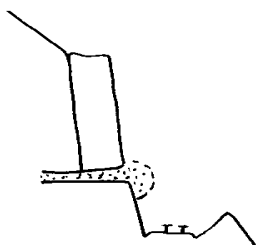


图 1-3 鼓胀—崩塌

4. 拉裂—崩塌

当陡坡由软硬相间的岩层组成时,由于风化作用或河流的冲刷淘蚀作用,上部坚硬岩层在断面上常以悬臂梁形式突出出来,如图 1-4 所示。图中 AB 面上剪力弯矩最大,在 A 点附近呈受拉应力最大。所以,在长期重力作用下, A 点附近的节理会逐渐扩大发展。因此,拉应力更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岩石的抗拉强度时,拉裂缝就会迅速向下发展,突出的岩体就

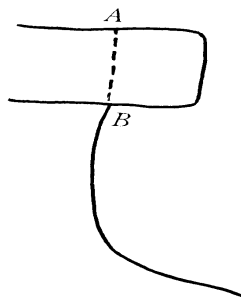


图 1-4 拉裂—崩塌

会突然地向下崩落。除重力长期作用之外,震动、各种风化作用,特别是根劈和寒冷地区的冰劈作用等,都会促进这类崩塌的发展。

5. 错断—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,或因不稳定岩体的重量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,其破坏形式如图 1-5 所示。这种崩塌在于岩体下部因自重所产生的剪应力是否超过岩石的抗剪强度,一旦超过,崩塌将迅速产生。通常有以下几种途径: 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 在冲刷和其它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。

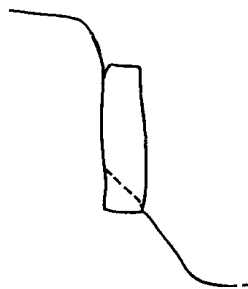


图 1-5 错断—崩塌

1.2.3 崩塌的分类

1. 国内外崩塌分类概况

前苏联尼·米·罗依尼什维里 1960 年在《铁路防治崩塌建筑物》一书中,把崩塌分为,山坡崩塌和岸边崩塌两大类,而把铁路沿线常见的山坡崩塌按其物理特征划分为: ① 岩体或石块的崩塌; ② 土体崩塌; ③ 混合性崩塌。日本的山田刚二等按地质情况,即主要按崩塌组成物质,把崖崩划分为: ① 崩积土崩塌; ② 表层土崩塌; ③ 沉积土崩塌; ④ 基岩崩塌。

1959 年我国铁道部宝成线的总结中,按崩塌发生的原因把崩塌分为: ① 断层崩塌; ② 节理裂隙崩塌; ③ 风化碎石崩塌; ④ 硬软岩接触带崩塌。

上述崩塌的分类都是按崩塌体的物质组成和产生原因划分的,尚未从崩塌的运动规律方面加以考虑。

2. 崩塌的分类和说明

崩塌体的地质环境及崩塌的诱发因素是多种多样的,但是,崩塌的运动形式和形成机理是有规律可循的,作者根据崩塌的形成机理,把崩塌划分为 5 类: 即倾倒地崩塌、滑移式崩塌、鼓胀式崩塌、拉裂式崩塌、错断式崩塌。下面表 1-1 分述。

表 1-1 崩塌分类说明表

主要特征类型	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
倾倒地崩塌	黄土,石灰岩及其它直立岩层	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	有倾向临空面的结构面(可能是平面、楔形或弧形)	陡坡通常大于 45°	可能组合成各种形状,如板状、楔形、圆柱状等	滑移面主要受剪切力	滑 移	重力,静水压力,动水压力

续表 1-1

主要特征类型	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
鼓胀式崩塌	直立的黄土、粘土或坚硬岩石下有较厚软岩层	上部垂直节理、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	多为风化裂隙和重力拉张裂隙	上部突出的悬崖	上部硬岩层以悬臂梁形式突出	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° 的陡坡	多为板状、长柱状	自重引起的剪切力	错断	重力

这个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、结构面特性、地貌、崩塌体形状、岩体受力状态、起始运动形式和失稳因素等方面都有不同特点。表 1-1 列举了各类崩塌的这些特征,其中岩体受力状态和起始运动形式是分类的主要依据。上述 5 类是基本类型,在某些条件下,还可能出现一些过渡类型,如鼓胀—滑移式崩塌,鼓胀—倾倒地式崩塌等中间类型。

1.3 滑坡的形成及基本特征

1.3.1 滑坡及其形成条件

人工边坡或天然边坡上的岩土体在重力作用下,沿软弱面或软弱带均有向下滑动的趋势,一旦下滑力大于抗滑力时,岩土体就产生向下的滑移,这种现象称为滑坡。滑坡的速度有快有慢,有的滑坡时滑时停,速度缓慢,每月仅几厘米;有的速度很快,每秒几十米。滑坡的体积有大有小,小的只百余立方米,大的可达百万、千万立方米,甚至高达数亿立方米。就有铁路沿线突然发生的大型滑坡常给国民经济带来巨大损失。如 1992 年在宝成线 190 km 发生的大型岩石滑坡,导致长期的崩塌、落石,使宝成线中断行车 30 余天,抢险和整治费用高达两千多万元,间接损失高达数亿元。可见,滑坡对铁路运输的危害是严重的。因此,了解滑坡的形成条件和影响因素,掌握它的发生、发展规律,对滑坡进行有效的预测是非常重要的。

滑坡的形成条件和影响因素主要有地形地貌条件、岩性条件、地质构造条件、水文地质条件和人为因素等的影响。现把滑坡的形成条件和影响因素,阐述如下:

(1) 地形地貌条件

① 宽谷的重力堆积坡常是滑移坡,是已经产生的古滑坡堆积地形,在人为或自然因素作用下,时常复活,是不稳定的山坡。

② 峡谷缓坡地段,往往表示各种重力堆积地貌、水流重力堆积地貌及岩堆、古滑坡、古错落、洪积扇地貌等,当线路以挖方形式通过时,常出现老滑坡复活或出现新滑坡。

③ 山间盆地边缘区、起伏平缓的丘陵地貌是岩石滑坡和粘性土滑坡集中分布的地貌单元。

④ 凸形山坡或凸形山嘴,在岩层倾向临空面时,可产生层面岩石滑坡;有断层通过时,可产生构造面破碎岩石滑坡。

⑤ 单面山缓坡区常产生构造面破碎岩石滑坡。

⑥ 线状延伸的断层崖下的崩积、坡积地形常分布有堆积土滑坡。

⑦ 容易汇集地表水、地下水的山间缓坡地段,滑坡较多。

⑧ 易受水流冲刷和淘蚀的山区河流凹岸,滑坡较多。

⑨ 黄土地区高阶地的前缘坡脚,易受水浸湿而强度降低的地段,滑坡较多。

(2) 地层岩性条件

① 粘性土岩组,包括第四系冲积、湖积和残积粘土,上第三系至第四系更新统的杂色粘土区,滑坡较多。

② 堆积土岩组,包括第四系坡、崩积为主的松散堆积物,滑坡较多。

③ 砂页岩岩组,页岩夹层是该岩组的特点,包括中生界、古生界的各有关地层,滑坡分布较多。

④ 含煤砂页岩岩组,夹有煤层或炭质页岩是该岩组的特点,包括三迭系、二迭系、石炭系等有关地层,易产生滑坡。

⑤ 变质岩岩组,包括板岩、千枚岩、片岩等变质岩区,滑坡较多。

⑥ 黄土岩组,含不同成因的第四系黄土。

(3) 地质构造条件

① 活动性强的大断裂带及不同构造单元的交接带,滑坡较多。

② 断层破碎带有利于地表水、地下水活动,易于形成滑坡。

③ 褶曲轴部岩层较破碎,滑坡分布较集中。

④ 与区域主要构造线平行的铁路线,滑坡分布较多。

⑤ 逆断层上盘是断裂构造活动中移动距离大、变形严重的一盘,层间错动多,顺层滑坡较发育。

⑥ 各种结构面形成上陡下缓的组合形式,易于产生岩石滑坡。

⑦ 地震震级高的地区,滑坡较多。

(4) 水文地质条件

① 松散堆积层下为不透水的基岩面时,由于大量地下水沿基岩面活动,降低了土的强度,这是堆积层滑坡分布广泛的重要原因。

② 山坡岩体中的地下水如果具有稳定的储水构造(如断层破碎带水)补给的话,易于产生滑坡。

③ 堆积山坡下部,如果有汇集地下水的埋藏基岩古沟槽时,易于产生大型堆积层滑坡。

④ 当地表水渗入顺坡岩体之后,沿下部相对不透水的软弱岩层(如软弱夹层)流动时,易于形成顺层滑坡。

⑤ 黄土层中的砂层和砂卵石层通常富含地下水,其上部的黄土体常沿此层滑动。

⑥ 河、湖、水库水位的大涨大落,由于动水压力的变化,易于形成岸边滑坡。

⑦ 坡体上部的地表水大量渗入,易于引起滑坡。

(5) 人为因素影响

① 在边坡的中上部堆置弃土或修建房屋,增加荷载,促进滑坡产生。

- ② 在边坡下部切坡,使支撑减弱,易于形成滑坡。
- ③ 破坏山坡地表覆盖层及植被,加速岩体风化,使大量地表水下渗,可能引起滑坡。
- ④ 人工渠道、稻田渗漏及大量排泄生活用水,都能促进滑坡产生。
- ⑤ 人为的大爆破、机械振动,可能引起滑坡。

1.3.2 滑坡的分类

国内外学者从不同的观点和研究目的出发,对滑坡进行了各种各样的分类,现将常用的滑坡分类列成表 1-2。

表 1-2 常见的滑坡分类

序号	分类原则	滑坡分类
I	按滑动的性质划分	1. 牵引式滑坡 2. 推动式滑坡 3. 混合式滑坡
II	按滑动面和地质特征的关系划分	1. 均质滑坡 2. 顺层滑坡 3. 切层滑坡
III	按组成滑体的物质划分	1. 粘性土滑坡 2. 黄土滑坡 3. 堆填土滑坡 4. 堆积土滑坡 5. 破碎岩石滑坡 6. 岩石滑坡
IV	按主滑面成因划分	1. 堆积面滑坡 2. 层面滑坡 3. 构造面滑坡 4. 同生面滑坡
V	按滑体厚度划分	1. 巨厚层滑坡(>50 m) 2. 厚层滑坡(20~50 m) 3. 中层滑坡(6~20 m) 4. 浅层滑坡(<6 m)

1.3.3 各类滑坡的特征

根据铁道部推荐的分类方法,滑坡应按其组成物质分类。下面是各类滑坡的特征。

1. 粘性土滑坡

主要是指第三纪至第四纪各种成因的粘土、砂粘土、粘砂土滑坡。如常见的膨胀土滑坡和坡积、残积粘土滑坡等。

(1) 膨胀土滑坡 膨胀土属于粘性土范围,所以膨胀土滑坡具有一般粘性土滑坡的特征。从外形看,有弧形的滑坡裂缝,有明显的滑床和滑体。在低矮的边坡上常为横展式滑坡,即滑坡横宽大于纵长;在高大斜边上多为纵长式滑坡。从地貌条件看,膨胀土滑坡多发育在沟间垄岗或丘陵缓坡地段。膨胀土滑坡的滑动面(带)有明显的擦痕,滑带土厚度小,多数仅几厘米,多呈软塑状。膨胀土滑坡有以下规律:

① 牵引性。从滑坡的力学特征上看，膨胀土滑坡多属于牵引式滑坡（图 1-6）。

② 沿软弱结构面滑动性。膨胀土中由于存在着裂隙软弱面、风化软弱面及构造软弱面，在滑坡发育过程中，沿这些软弱面逐渐破坏，最后连通形成滑动面，使滑体沿它产生向下的滑动。



图 1-6 膨胀土牵引式滑坡

③ 浅层性。膨胀土滑坡厚度不大，据统计厚度小于 6 m 的约占 80%，如安康膨胀土滑坡，厚度在 0.5~6 m 的滑坡占 82%，厚度大于 6 m 的仅占 18%。

④ 多次滑动性。膨胀土滑坡由于具有牵引性，所以一旦滑动，就会逐步牵引发展，形成一次、二次、三次或更多次滑动。

⑤ 成群分布。我国襄渝线、焦柳线、成昆线和太焦线的膨胀土滑坡都有成群分布的特点，这主要是受膨胀土中的软弱夹层分布规律的控制，同时与地形地貌条件和区域气候条件密切相关。

⑥ 具有明显的季节性。膨胀土滑坡具有明显的季节性和间歇性，在雨季滑坡最活跃，发展速度快；在春融季节也有一定发展，旱季边坡较稳定。

(2) 坡积、残积粘土滑坡 坡积、残积粘土层主要分布在我国南方，包括碳酸盐岩类、中、酸性岩类及某些变质岩类的风化壳及其坡积层。坡积、残积粘土滑坡的特点是滑床坡度与地表坡度较陡，多在 10 余度至 20 余度，滑坡壁较陡在 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，滑坡前缘通常有反翘现象，滑体内地下水较丰富，前缘常见水泉湿地。滑坡体厚度不等，当风化壳深度达 10~20 m 时，滑坡厚度可以是中层的。

2. 黄土滑坡

黄土滑坡可以发生在不同时期、不同成因的黄土层中，其最大特点是具有群体性，在强烈活动的中、新生代断陷盆地的边缘，基底构造复杂，岩层褶皱强烈，地形切割深度大，黄土滑坡多密集分布；在黄土高原水文网发育、沟谷密集区，由于河流侧向侵蚀，黄土滑坡沿河成线状密集分布；黄土塬边是地形的转折处，坡度突然变大，地下水水力坡度突然增大，塬边具有双层水文地质结构，上部为透水层，下部为相对隔水层，所以，塬边滑坡分布较多。此外，黄土滑坡的群体性分布与第四纪以来活动断裂带、强地震中心的分布情况有关。黄土滑坡按其厚度可划分为巨厚层滑坡(>50 m)、厚层滑坡(20~50 m)、中层滑坡(6~20 m)、浅层滑坡(<6 m)，其特点分述如下：

(1) 厚层及巨厚层黄土滑坡 这类黄土滑坡多发生在具有多层古土壤和钙质结核层的老黄土之中，其底部常有冲积层。通常滑坡壁高数十米，滑壁坡度多在 70° 以上，滑壁下形成带状封闭洼地；滑动面上部切穿新黄土层、老黄土及其下的冲积层；中部多沿基岩顶面、冲积层顶面和层间软弱面滑动，黄土区的基岩多为第三纪红层和古老的变质岩系地层；滑坡前缘翘起部

分多穿过冲积层和黄土层(图 1-7)。滑体厚度在 20~100 m 左右,此类滑坡地下水较丰富,在滑坡后壁和前缘往往有泉水出露。

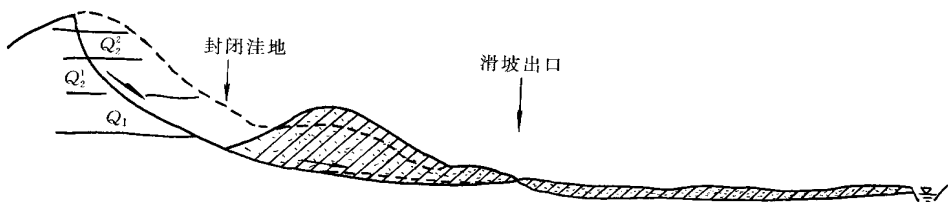


图 1-7 巨厚层黄土滑坡

(2) 中层黄土滑坡 滑壁高 20 m 至数十米左右,滑壁坡度在 $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$,滑坡体多由新黄土、老黄土、砂砾卵石层及其间的砂粘土组成。滑动面上部切断土层,有时切入部分砂砾卵石层;中部常沿砂粘土或沿砂砾卵石层及基岩顶面滑动,滑坡体厚 20 m 左右。滑动面上部倾角陡,中部为弧形,下部平直,如图 1-8 所示。这类滑坡地下水通常不发育,滑带土多为软塑状态。

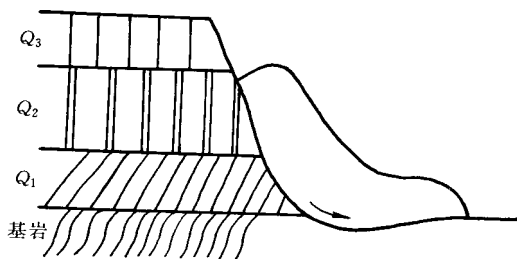


图 1-8 中层黄土滑坡

(3) 浅层黄土滑 多产生在新黄土之中,滑动面多位于不同时期不同成因类型黄土的接触面处,通常滑体规模小、质地均匀、厚度小于 6 m。这类滑坡产生原因多数是由于黄土物质松散,并有陷穴、节理、裂隙发育,大气降水易于渗入,浸泡软化黄土,使其产生滑动。

3. 堆填土滑坡

这类滑坡多为路堤边坡滑坡,或路堤和弃土沿老地面、倾斜基岩面滑动的滑坡。这类滑坡之所以产生,通常是路堤填料不良、夯填不实、排水不畅、基底处理不当、路堤过高过陡等原因造成。

4. 堆积土滑坡

所谓的堆积土是除上述的粘性土、黄土、堆填土之外,还包括其余所有的第四纪堆积物,常见的有洪积坡积为主的砾石土、坡积残积为主的碎石土、崩积坡积或滑坡堆积为主的碎块石土等。这类滑坡的滑动面多沿基岩顶面、不同时代及成因的堆积物分界面滑动,有的可能沿堆积物内部相对软弱带滑动。滑动带多为破碎的页岩或千枚岩风化而成的粘土夹层构成,而且常是饱和或潮湿的,表明地下水较丰富。这类滑坡在发展严重时,滑坡主裂缝、滑坡两侧的滑动

裂缝及前缘的裂缝连通一起。当滑坡主裂缝首先在边坡或山坡中部出现,并且主裂缝以外逐渐向上发展一些弧形裂缝,裂缝宽度、长度、错距都越向上越小,则表明滑坡是牵引式滑坡。如果相反,滑坡最上部的主裂缝首先出现,而且其发展最快,宽度、长度、错距也最大,则表明是推动式滑坡。

5. 破碎岩石滑坡

边坡岩体有的由于地质构造的强烈挤压和外营力的长期作用,岩石破碎、岩层产状紊乱,但仍大致保持原岩体的结构特征,这种岩体产生的滑坡就是破碎岩石滑坡,滑坡由碎块石组成。滑动面较陡,上部滑动面通常在 $45^{\circ}\sim 65^{\circ}$,中部在 $20^{\circ}\sim 45^{\circ}$,出口处滑面较平缓;从整个滑动面来看不平顺,有一定起伏。滑带通常是由风化的粘土或砂粘土充填,无明显的含水层,但滑带的含水量较高。如宝成线 1992 年在 190 km 发生的滑坡就属于此类的破碎千枚岩滑坡。

6. 岩石滑坡

易产生完整岩石滑坡的岩石类型通常有:半成岩的各种沉积岩;页岩、泥岩、泥灰岩、凝灰岩、煤系岩层等软岩;砂岩、石灰岩、喷出岩等硬岩;软硬岩相互组合的岩组;千枚岩、片岩、板岩等变质岩。

岩石滑坡按滑动面类型可划分为:岩石层面滑坡和追踪构造节理滑坡。岩石层面滑坡也叫顺层滑坡,这种滑坡的滑坡壁较陡,通常在 70° 以上,多沿断层面和构造节理面发展;滑动面主要沿较软弱的岩层面,通常是沿层间错动面发展,并且常有泥质充填;滑坡出口处的滑动面常追踪缓倾的构造节理面发展,如图 1-9 所示。这类滑坡视岩层倾角的大小不同,其滑动速度也不同。岩层倾角小的,滑动速度缓慢的滑坡,其滑带常有较厚的粘泥状软岩夹层;岩层倾角大的,滑动速度快的滑坡的滑带多是软硬互层中的某一软弱夹层,常为层间错动面。追踪构造节理的岩石滑坡,多发生在凸坡或河流陡岸地段,滑动面较陡,常为折线形。

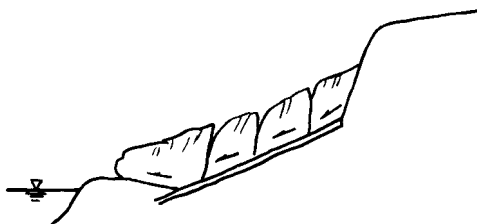


图 1-9 层面岩石滑坡

1.4 坍塌的形成及基本特征

1.4.1 坍塌及其形成条件

1. 坍塌的概念

边坡地质灾害除上述典型的滑坡、崩塌落石外,在土质(包括各种成因堆积土)边坡上,还

有一些过渡的地质灾害类型,如铁路现场常遇到的溜坍、堆塌、滑塌等,不同的人对这些病害内涵有不同的理解,因此,有必要在本节中加以说明。

溜坍 边坡上松散的表层土体,由于大量雨水的渗入、浸润,以致饱和,从而使得土颗粒间的连接大大减弱,土强度显著降低,甚至土体成为流动状态,产生顺坡流动,这种破坏现象称作溜坍,类似坡面泥石流。

堆塌 较陡的松散土质边坡,通常在重力和雨水作用下,由于强度显著降低,边坡坡度大于潮湿状态下的天然休止角,土体向下坍塌,直到坡度达到天然休止角时为止,这种现象叫堆塌。

滑塌 边坡上的土体由于受水浸润,强度降低,顺坡向下坍塌,这种破坏现象称作滑塌。它和浅层滑坡不同,不沿固定的面或带向下滑动,而沿相对软弱的部分向下坍塌,这种相对软弱的部分可能是不规则的面,下次再失稳,可以沿着另外的不规则的面向下坍塌。

通常把上述土质边坡的三种现象统称为坍塌,或塌方。本书第四章中所说的坍塌或塌方包括上述三种地质现象。

2. 坍塌的形成条件

坍塌的形成必须具备下列两个条件:① 松散的土质边坡,坡度较大,一般大于潮湿状态下天然休止角,平均坡度在 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 以上;② 有较丰富的雨水、地表水或地下水水源。

1.4.2 坍塌的基本特征

坍塌现象的基本特征主要有以下几点:① 坍塌发生后土体堆于坡脚,整体性完全被破坏;② 坍塌裂缝逐次向边坡上方发展,最外一条裂缝受边坡坡度控制,一般自坡脚以上平均坡度在 $1:1.5$ 范围之内;③ 每次坍塌均不按固定的面移动,而是按新的不规则的面移动,一直坍塌至潮湿土层稳定安息角为止;④ 坍塌体下缘均在临空面以上;⑤ 雨水、坡面水和地下水是诱发坍塌的重要原因,其中 90% 以上直接由降雨引起;⑥ 坍塌体厚度不大,通常小于 6 m 。