

滑坡及其防治

[捷]R.扎留巴 V.门次尔 编著

交通部科学研究院西北研究所 译



中国建筑工业出版社

本书是根据捷克斯洛伐克1969年出版的英文本翻譯的。主要从土力学、岩石力学和工程地质学的角度討論了滑坡的发展、产生滑坡的因素、滑坡的类型和划分、野外勘测和室内分析方法、稳定性分析以及工程处理和防治等問題。

本书可供基本建設部門工程地质勘察、土建设計、基础施工等方面工程技術人員参考。

* * *

本书由交通部科学研究院西北研究所李嘉、晏同珍、褚桂棠、程鴻寿、任龙章翻譯，晏同珍校訂，并由李嘉最后审校。此外，王恭先、馬驥、譚壮丽、徐邦栋、勛国良参加了部分章节譯文的討論。

本书在譯校过程中，作了一些删节。

21165-68

Quido Záruba

Vojtěch Mencl

LANDSLIDES and THEIR CONTROL

Publishing House of the Czechoslovak

Academy of Sciences

PRAGUE-1969

* * *

滑 坡 及 其 防 治

交通部科学研究院西北研究所 译

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：7 字数：181千字

1974年7月第一版 1974年7月第一次印刷

印数：1—12,365册 定价：0.71元

統一書号：15040·3151

目 录

第一章 绪论	1
1-1 名词定义	1
1-2 滑坡的经济意义	2
第二章 从土力学与岩石力学观点讨论滑坡的发展	18
2-1 概况	18
2-2 抗剪力的变易作用对斜坡破坏发展的影响	19
2-3 应力状态对斜坡破坏发展的影响	24
2-4 地下水的影响	26
2-5 粘滞流	27
第三章 产生滑坡移动的因素	28
3-1 斜坡移动对于总降雨量的依存关系	29
第四章 滑动现象的区分	34
4-1 滑坡的地质演变及其年代	36
第五章 主要滑坡类型的地质特征	38
5-1 表层堆积物斜坡移动	38
5-1-1 坡积物蠕动	38
5-1-2 地层[末端表部]挠曲	39
5-1-3 薄层滑坡	41
5-1-4 泥石流	44
5-1-5 汉德洛伐附近的泥石流	47
5-1-6 碎屑流	58
5-1-7 砂潜蚀引起的滑坡	60
5-2 泥质岩石的滑坡	63
5-2-1 沿圆柱形滑面的滑坡	63
5-2-2 泥质岩石顺已有[结构]面的滑坡	70
5-2-3 [基底]软岩挤出引起的斜坡移动	72
5-3 坚实岩石的滑坡	82

5-3-1	沿已有[结构]面的岩石滑坡	83
5-3-2	斜坡的长期变形(重力滑坡)	88
5-3-3	岩崩	91
5-4	斜坡移动的特殊类型	94
5-4-1	融冻泥石流	95
5-4-2	灵敏粘土[滑坡]	95
5-4-3	水底滑坡	96
第六章	滑坡地质勘测	99
6-1	野外勘测	99
6-1-1	滑动区测绘	99
6-1-2	滑坡测绘中航测照片的应用	99
6-1-3	滑动斜坡的地质制图	100
6-1-4	水文地质调查	109
6-1-5	滑动面形状的确定	109
6-1-6	滑动观测	112
6-1-7	残余水平应力量测	114
6-1-8	土中电位量测	116
6-2	试验室研究	117
6-3	岩石试验	117
6-4	非粘性土与岩石碎屑	120
6-5	粘性土	121
6-5-1	矿物成分	121
6-5-2	阿氏限度	123
6-5-3	粘性土的强度	124
6-5-4	瞬间变形模量的确定	127
6-5-5	压缩作用下固结的速率	128
第七章	勘察工作解释与稳定性分析	129
7-1	勘察工作中的初步分析	129
7-2	挖方设计	130
7-2-1	滑面形状	131
7-2-2	有关各种力的大小	131
7-2-3	土和岩石强度问题	133

7-2-4	安全系数	134
7-2-5	稳定性分析	136
7-2-6	皮特桑法	139
7-2-7	比肖普法	139
7-3	滑动斜坡的稳定性	142
第八章	整治措施	145
8-1	稳定工作的进程	145
8-2	斜坡形式的处理	146
8-3	滑坡排水	147
8-3-1	地表排水	147
8-3-2	地下排水	149
8-4	种植植物以稳定滑坡	153
8-5	挡土墙及类似结构物	155
8-6	岩石锚杆	161
8-7	用桩稳定斜坡	164
8-8	土层硬化法	165
8-9	用爆破法破坏滑动面	169
第九章	斜坡破坏的预防	170
9-1	工程地质勘察的改进意见	170
9-2	建筑场地的选择	171
9-2-1	线型建筑物	171
9-2-2	城市规划	171
9-2-3	水工建筑物	172
9-3	土方工程设计	175
9-4	施工程序	177
第十章	捷克斯洛伐克境内的滑坡测绘	179
10-1	波希米亚地块滑坡的发展和分布	179
10-1-1	波希米亚白垩系建造中的滑坡	182
10-1-2	捷克-中部山脉的滑坡	184
10-1-3	第三纪北波希米亚盆地中的滑坡	188
10-2	喀尔巴阡山地区滑坡的分布与类型	190
10-2-1	喀尔巴阡山复理层地区的滑坡	190

10-2-2 第三紀火山岩綜合体邊緣的滑坡区	195
10-2-3 喀尔巴阡山前渊新第三紀綜合体的滑坡	196
10-2-4 喀尔巴阡山間洼地的滑坡	198
10-2-5 較古老地质层系中的滑坡	198
参考书目	200
中英文名词对照索引	208

第一章 绪 论

1-1 名 词 定 义

在人类活动的许多领域中，特别是土木工程中，会遇到许多自然和人工开挖的斜坡的稳定问题。当斜坡稳定性被破坏时，各种不同性质的滑动随之发生。

由一个明确的分界面与斜坡下伏的固定部位分隔开的滑动岩层，其迅速的移动，在较严密的意义上即称作滑坡（Landslides）^①。

滑动现象也包括缓慢的、长期的斜坡变形，此种变形往往并非沿一个明显的滑动面发生，而是发生在一个由一组局部的滑动面组成的密集带中。此种变形具有粘滞性移动的特性，并称之为“蠕动”。

正如其他危及人们生命财产的、无法控制的自然现象，如地震、火山活动等等一样，滑坡以及其他斜坡的移动也已引起人们的注意。有些地区滑坡极少发生，但在另一些地区却很频繁，以致成为塑造该地区形貌的一种重要因素。由于滑坡对森林的成长、耕地、交通、工程建设及建筑物造成极大的危害，所以它可能成为一个严重的经济问题。

斜坡滑动常常由人为活动所造成，例如，采伐森林、未按规定程序进行建筑施工等等。滑坡种类的多样化和互相关系的错综复杂性，以及适当的处理方法，只能通过系统的和彻底的研究才能认识清楚。

滑坡现象通常以两种不同的观点进行研究。当把滑坡当作是

① 直译为“地滑”，是崩塌、滑坡及泥石流三大类的总称，因本书所讨论的是以滑坡为主，故翻译为“滑坡”。——译者注

伴随地面刻蚀作用而产生的一种自然过程时，该现象即为地质研究的课题。地质学家研究滑动现象联系其发生原因、发展过程和形成的表面形态，把它看作是一种重要的外生剥蚀过程。工程师和工程地质学家的研究方法则十分不同：他们从建筑于其上的建筑物的安全观点来考查斜坡。所以他们力图预先确定斜坡可能滑动的倾向，以决定开挖边坡的最大角度，和探讨可靠的评定边坡稳定性的方法，以及所需要的控制和治理措施。由于铁路、公路和运河的高填和深挖的需要，而提出了边坡稳定性的定量考查。瑞典铁路上曾发生的灾难性的滑坡，迫使1914年设立了一个专门的土工委员会，该会的研究工作为一门新的科学分支——土力学，打下了基础。

研究滑坡仅能以上述两种途径相结合才能得到最好的结果。用土力学方法进行斜坡稳定性的定量计算，必须以地区的地质构造、地层细部组成及方位以及地面的地貌史的知识为基础。另一方面，地质学家要用土力学和岩石力学的方法所作出的静力分析和研究的结果，来核对他们的见解，才会得到滑动过程的成因和特性的一个较清晰图象。

综上所述，可见对滑动现象的研究，无论对工程师和地质学家都具有理论上和实践上的重要意义，因为认识了滑坡的起因、性质和发展就可以评价其危害程度，并对滑动区的控制和治理措施找出适当的解决办法。对滑坡若未能预测防患或未能详细了解，就会危及人们的工作成果和生命。

1-2 滑坡的经济意义

为了说明滑坡在经济方面的重要意义，将滑坡可能造成的损失及其危害作用的一些实例列述于下：

滑坡和斜坡移动可能威胁：

- (1) 单独房屋和全部用地。
- (2) 耕地和森林。
- (3) 采石场作业和矿床开采。

- (4) 交通线的施工和运营。
- (5) 隧道的施工。
- (6) 供水、污水、输气管道、电话及电力线路。
- (7) 海底电缆的功能(可能被水下滑坡所破坏)。
- (8) 水力工程,特别是水坝建筑。
- (9) 引水运河及闸门。
- (10) 蓄水库,由于库岸物质滑下而造成水库淤积。

滑动所造成的间接危害可举例如:滑坡堵塞了河谷,形成临时湖泊,以致因洪泛危害下游流域;或岸边滑坡在湖泊或港湾中产生危险的波浪。

(1) 在欧洲,阿尔卑斯山系的国家曾经历过许多灾难性的滑坡和岩崩,根据海姆(Heim, 1932)●所述,仅在瑞士,因滑坡灾难曾有五千多人死亡。

最早的历史记载之一,记述了公元563年一次大岩崩摧毁了莱曼湖畔的土伦屯那姆村。陷落岩石堵塞了罗纳河谷,在湖中产生了巨大的波浪,毁坏了河岸。1584年,在罗纳河谷上的土尔德阿斜坡的一次大滑坡,破坏了伊沃尔内镇,使300多人死亡(Heim, 1932)。1806年在瑞士罗斯堡斜坡的第三系砾岩滑动也造成了巨大的危害,它破坏了果尔多村,457人死亡(图1-1)。

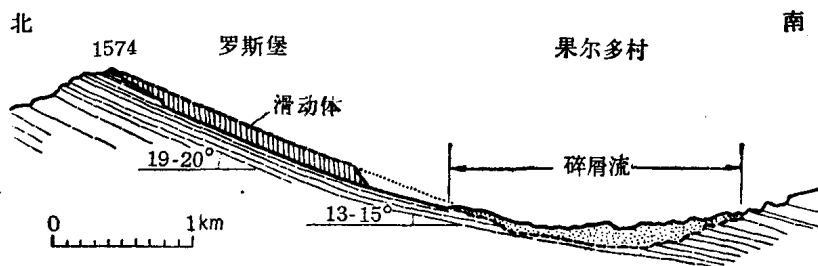


图 1-1 1806年发生的瑞士果尔多村镇的第三系砾岩顺层滑坡

● 见参考书目,下同。

在斯堪的纳维亚和加拿大的灵敏粘土地区的滑坡，常常因其惊人的突然移动而造成悲惨的后果。1893年发生在挪威的特隆赫姆以北的维尔达伦附近的滑坡（Holmsen, 1953），就是此种类型的最大滑坡之一。一层海相的灵敏粘土因水流侵蚀而裸露，此液化粘土，体积为5500立方米，在30分钟内倾泻而下流入维尔达塞文河谷。稠密的泥浆覆盖了8.5平方公里的大面积，因河谷被堵塞而形成的临时湖泊淹没了3.2平方公里，此灾难性的滑坡破坏了22个农场，111人死亡（图1-2）。

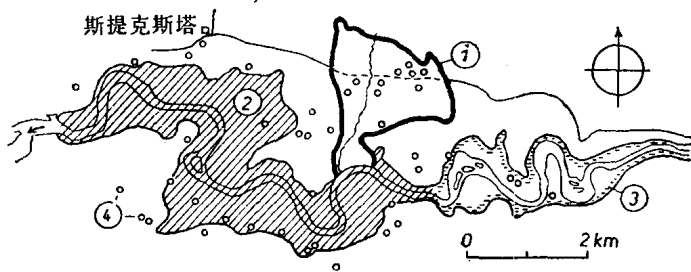


图 1-2 1893年维尔达伦大滑坡简图

1—头部滑壁区；2—填充液化粘土的维尔达塞文河谷；3—因河谷堵塞形成的临时湖；4—农场

在美洲曾发生许多大滑坡，其中一例即为1903年加拿大弗兰克镇附近龟山的古生界石灰岩的灾难性崩塌。在两分钟内崩落下4000万立方码岩石，掩埋了部分城镇、一个工厂和一长段铁路线，至少有70人死亡（McConnel, Brock, 1904）。在南美安第斯山、在喜马拉雅山和帕米尔高原上曾造成过更大的滑坡灾害。

捷克斯洛伐克境内滑坡也经常发生，并产生了相当大的危害。现将几个大滑坡略述如下。

在1820年斯塔里-斯特兰尼村（日阿特次区，西波希米亚）被破坏，包括教堂和校舍。此村落座落在上第三系粘土形成的沃尔热河谷的斜坡上，在1872、1882和1885年曾重复活动，同时岩

体部分填满了河床 (Křivanec, 1901)。

1882和1898~1900年于哈兹姆伯尔克 (波希米亚西北) 斜坡上, 克拉培村的一部分被滑动的玄武岩岩屑和白垩系泥灰岩层所破坏 (Woldřich, 1899; Stejskal, 1939)。1939年此滑坡又复活。在姆尼乔沃-赫拉迪希特 (波希米亚东北) 附近的谬日斯凯山麓砂岩堆积层和白垩系泥灰岩的一个大滑坡, 在1926年毁坏了德尼博哈村 (扎留巴, 1929) (图1-3)。1940年春天, 一次大滑坡掩埋并毁坏了波希米亚北部的豆尔尼-太泥科镇 (Keil, 1951)。

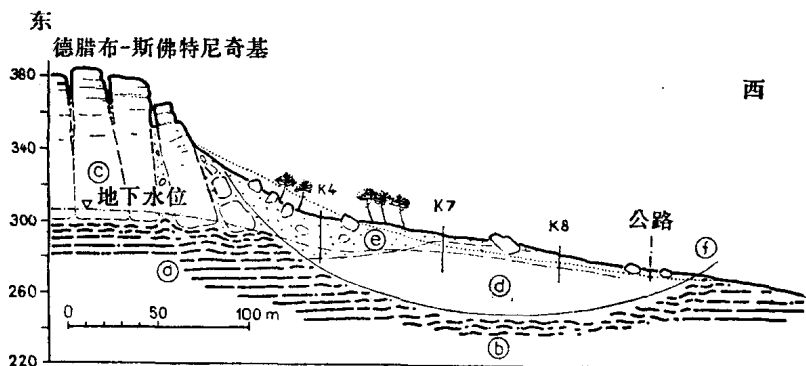


图 1-3 波希米亚的谬日斯凯山麓白垩系泥灰岩及岩屑的滑坡

a—泥灰岩(上土伦阶); b—结构扰动的泥灰岩; c—砂岩(森诺统); d—滑动的泥灰岩; e—堆积物; f—滑面露头

滑坡常常发生在摩拉维亚和斯洛伐克、喀尔巴阡山的复理层区。1920年在霍希塔耳科伐附近 (东摩拉维亚) 一次泥石流危害了两个村庄; 另外一次, 在卢沙关口的杜布科伐附近, 毁坏了哈尔博卡镇的部分地区 (扎留巴, 1938); 1962年一次大滑坡在沃拉瓦区的里奇尼察附近, 毁坏三个村镇 (图 5-7) 的部分地区。

极严重的灾害是1961年在汉德洛伐发生的一次滑坡, 毁坏了150所房屋 (见 5-1-5节), 切断了公路、上水管道和高压电线, 同时危害铁路和新建成的部分村镇。所有这些滑坡造成了极

大的损失，但由于滑动的速度较慢，所以未危及生命安全。

(2) 滑动使耕地受损失也是普遍的。地表面的不规则隆起和深裂隙使耕作困难，并且不可能使用机械。此外，由于斜坡移动以致上层肥沃土层流失，而使下层生荒地暴露，可能造成土壤条件的恶化。由于扰动剧烈，甚至也难利用为牧场，因为裂隙部分为草木所覆盖，无论对人或牲畜都是危险的。

在森林地区滑坡所造成的经济损失也是很严重的。森林的收益，无论是木材的数量和质量方面都可能降低。由于地层的扰动，工作和运输都发生困难。大的斜坡移动造成森林的全部灭绝，树木连根拔除或干枯。在湿的粘质土上造林是非常困难的，对滑坡地区，常常需用昂贵的排水措施和新的全面开垦。

在捷克斯洛伐克，对耕地和森林所造成的损害，可用受害地区的范围来说明。1961~1962年所作的滑坡登记记载了下列数字：

	滑坡的数量	面积(公顷)
波希米亚和摩拉维亚	4,792	30,264
斯洛伐克	4,372	29,136
总计	9,164	59,400

此数字中，35,000公顷(占59%)为耕地，13,500公顷(占23%)为森林^①。

(3) 滑坡危害和恶化了石场和亚粘土的采掘工作。此外，采石场位置选择不当或不负责的采掘，都可能危及整个斜坡的稳定。例如：在捷克-中部山脉，玄武岩采石场的作业由于边缘块体沉陷入下伏软弱岩石中，常招致采掘工作的困难(图1-4)。在此沉陷的块体上开辟采石场时，底部应当逐步垫高，以达到原有水准面。

① 实际上受到滑动影响的森林面积范围还要大。由于1961~1962年间调查记录的有效时间较短，所以并非全部滑坡，特别是那些交通不便的山区的滑坡，都未能统计在内。

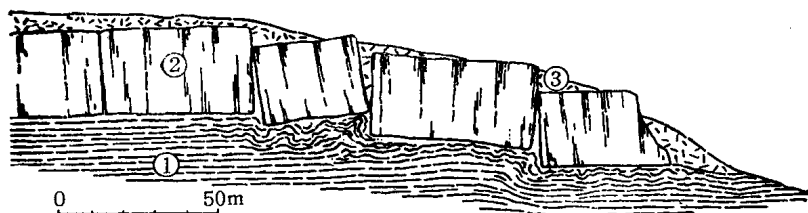


图 1-4 波希米亚西北部采石场
玄武岩流边缘块体②下沉到白垩系泥灰岩①；③堆积物

德尔热夫尼策河谷（东摩拉维亚）的一个亚粘土采坑，由于全坡面开挖而引起大的灾害。在已成坡面的下部挖掘，造成稳定性的破坏；滑壁持续向后发展，危及到距亚粘土采坑老边缘140米的一个公共建筑物。以致该建筑物基础必须加固，边坡必须进行处理（图1-5）。砖厂的工作因而被迫停顿。

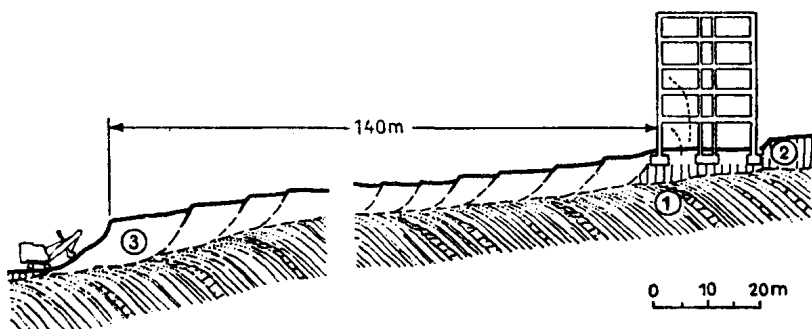


图 1-5 亚粘土采坑坡脚的错误采掘而引起的滑坡，危及建筑物的稳定性

1—复理石带的泥质頁岩及砂岩；2—坡积亚粘土及坡积物；3—經滑动破坏的亚粘土及坡积物

由于采石场的位置不当而引起灾难性的滑坡是众所周知的。拉戈-地-科莫以北的蒙特康脱山坡上开采了一个滑石片岩矿促成岩崩，毁坏了普拉尔斯镇并掩埋了两千多居民（Heim, 1932）。

1881年瑞士阿尔卑斯山的埃耳姆附近的著名滑坡，是由于开采一个做房瓦用的板岩的石场而引起的（图1-6）。在数分钟内 1000

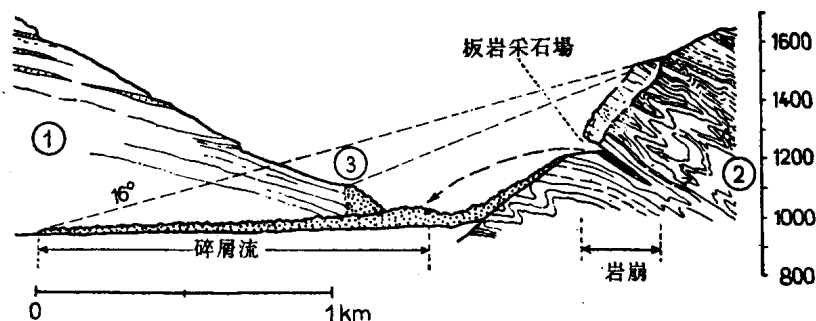


图 1-6 瑞士埃耳姆附近由于板岩采石场下部开挖坡陡所引起的岩崩

1—复理石砂岩及頁岩；2—紧密褶皱层；3—推至对面坡的碎石堆

多万立方米的岩石滑下，填塞了河谷，面积为90公顷，高达10~20米，83所房屋被毁坏，并夺去了 115 人的生命（Heim、Buss, 1881）。

（4）穿过易滑地区的公路，若在修建时斜坡的稳定性遭到破坏，也经常为天然滑坡或人为的滑坡所切断。第五章和第十章将谈到公路破坏的几个实例。滑坡造成直接和间接的两种损失：它危及或阻断交通，同时使养路费用大为增加。

滑动在铁路修建和运营过程中也造成严重问题。铁路跨越潜在的滑坡区时，设计者应避免因深挖或高填而破坏斜坡的稳定；同时施工程序必须不断适应于不利的岩石特性。当铁路线运营时，列车在危险区段应该减速。

斜坡的经常管理和维修是必要的。整治期间有时甚至要暂时使线路停止运营。例如英格兰的福克斯顿附近的海岸铁路线曾因滑坡而数度中断（Ward, 1945）。

众所周知，由于经常的滑坡移动威胁，需要高昂的维修费

用，一条铁路线不得不废弃。在波希米亚，日阿博克利凯—布热兹诺线（日阿特次区）建成六年以后（1873~1879年）不得不停用。此条位于沃尔热河谷坡上的铁路线的运输收入远不足以抵付维修费用。

露天矿的边坡移动可能给铁路造成大的危害（图1-7）。

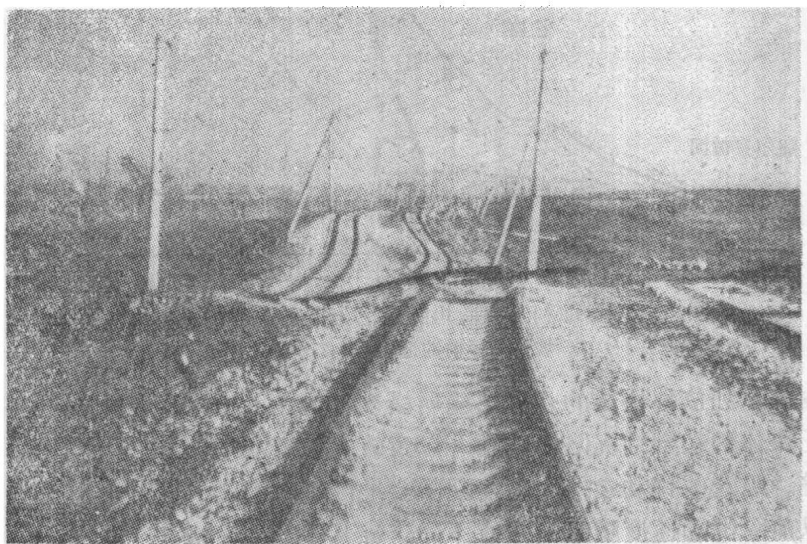


图 1-7 被滑坡切断的铁路线，保加利亚马列察-伊兹脱克褐煤盆地（Rybář 摄）

（5）滑坡也给修建隧道造成严重的困难。1875年在奥地利萨尔斯堡附近开凿阿尔卑斯山铁路线的安特斯坦隧道时（图1-8），当隧道的大部分已经成洞，最后一段正在开挖时，山坡上的绿泥片岩滑下造成隧道塌陷。原来的线路被迫废弃，只得在更靠山内开凿一座新的隧道（Wagner, 1884）。

值得注意的一次事故发生在新西兰；1878年建成的一座175米长铁路隧道不得不废弃，并在1935年改了线（Benson, 1940）。隧道修建在覆盖于劣质粘土岩层上并向海面成 15° 的倾斜角的中新统砂岩中。现已查明隧道穿过一个大滑坡的上部，同时它被分

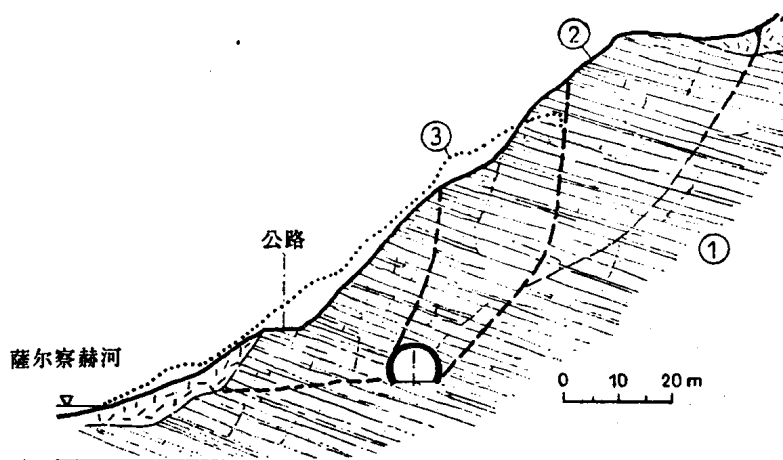


图 1-8 奥地利安特斯坦隧道上方滑动山坡的横剖面
1—綠泥片岩；2—坡体破坏前的地面线；3—隧道塌陷后的坡面线

割成单独位移块体的几道裂缝所横切（图 1-9）。地形测量证实了块体仍在继续沉陷和转动，以致轨顶标高必须不断地加以调整。除这些移动之外，还发现整个地区正在滑动。在此隧道废弃以前，滑动速度随降雨强度不同，每月达2~7厘米。

（6）各种不同类型的斜坡移动给水坝的修建造成重大损失，主要发生在开挖过程中。例如，美国哥伦比亚河上的大库利

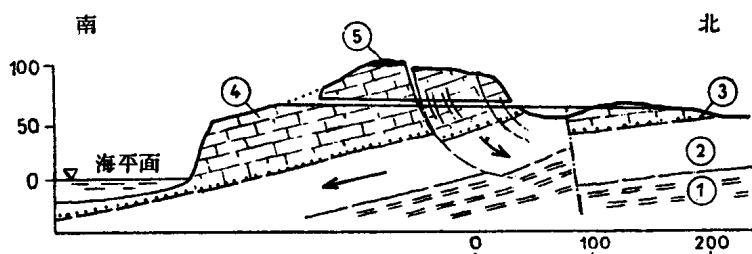


图 1-9 1935年为滑坡所破坏的新西兰铁路隧道的纵剖面图
1—海綠石劣质粘土岩（上白垩系）；2—第三系粘土岩；3—海綠石质砂层；4—脆性砂岩；5—玄武岩

水坝，在建筑中右坝肩必须予以加固，以使向坡下移动的新冲积物凝结。加里福尼亚州的圣加布利尔河上的福克·塞特水坝，在开挖基础时由于引起沿花岗岩体断层带的一个大的岩石滑坡，坝址不得不废弃（扎留巴，1934）。

在斯洛伐克，谷坡的稳定性由于开挖多欣纳水坝的基础而受到破坏。破碎的辉长闪长岩块体，开始沿向坡下成 35° 倾斜角的石炭系石墨质页岩下滑（图1-10）。幸运的是采用重型框架将松散岩石支顶在已成坝段上，从而制止了滑动，水坝的修筑才得以完成（图1-10）。

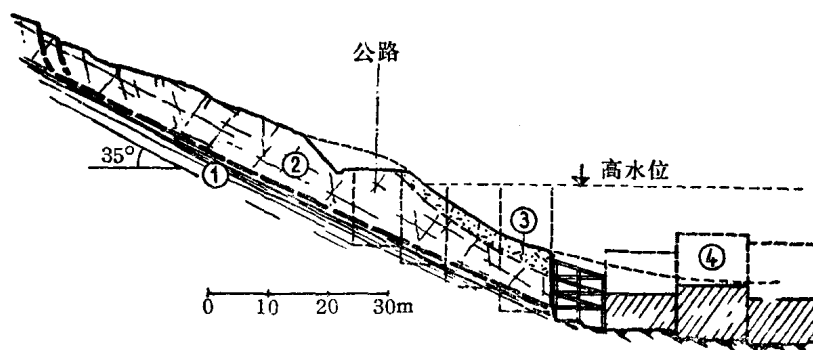


图 1-10 斯洛伐克中部重力坝肩开挖危及边坡稳定性

1—石炭系石墨质页岩；2—辉长闪长岩；3—坡积物；4—待灌筑的混凝土块体

（7）在修建航行河道与引水运河时，边坡稳定问题起着重要作用。修建运河时常常需要深挖，它可能引起范围广泛的极危险的滑坡。例如，巴拿马运河在库累布腊挖方中，曾发生大的滑坡。

在斯洛伐克，伐河的引水运河修建时，边坡滑动是一个大的不利因素，在某些地段它决定了整个工程的设计。例如，克尔普兰尼、苏卡尼、利波佛次间的引水运河的轴线（作者，1958），由于图里次低地的北部边缘上第三系冲积物的深层滑坡的影响，