

滑坡的分析与防治

[美] R.L.舒斯特 编
R.J.克利泽克

中国铁道出版社

滑坡的分析与防治

〔美〕 R.L.舒斯特 编
R.J.克利泽克

铁道部科学研究院西北研究所 译

中 国 铁 道 出 版 社

1987年·北京

内 容 简 介

本书是美国国家科学院根据国内外近二十年滑坡研究和实践资料编辑出版的一本专著。全书分九章，主要包括：斜坡移动分类；勘测方法和现场测试方法；滑坡稳定分析；以及岩、土边坡设计和工程防治等。较全面、系统地介绍了欧美国家70年代在滑坡的勘测、试验研究和整治方面的技术成果。可供地质、土建工程设计及科研人员，大专院校有关专业师生参考。

Landslides Analysis and Control
R.L.Schuster & R.J.Krizec editors
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES Washington, D.C., 1978.

滑 坡 的 分 析 与 防 治

〔美〕 R.L.舒斯特 编
R.J.克利泽克

铁道部科学研究院西北研究所 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 施以仁

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京市华东印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：17.75 插页：2 字数：437千

1987年9月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,900册 定价：4.05元

译 者 的 话

《滑坡的分析与防治》一书是美国国家科学院和运输研究部门继1958年编辑出版《滑坡与工程实践》一书之后，又经过二十年的研究和实践，组织十六位滑坡专家编写，于1978年出版的有关滑坡分析与防治方法的全面系统的一本专著。全书分九章，分别介绍滑坡的危害、滑坡防治和研究的经济意义、斜坡移动的类型和含义、滑坡的识别和勘测方法、各种现场测试设备和方法、岩土的稳定试验、滑坡的稳定性分析，以及岩、土边坡设计等。书中尽管提到其他的斜坡移动类型，如崩塌、倒塌、扩展、流动等，并阐明其含义和它们之间的一些主要区别，但仍以滑坡为主。它较全面地反映出欧美国家70年代在滑坡的勘测设计、试验研究和整治方面的技术水平，可供我国交通运输、水电、冶金、煤炭、地质、农田水利等部门从事滑坡防治的工作者参考。

这本书对60年代以来迅速发展的新技术，如航测、遥感和各种现场测试技术在滑坡上的应用都作了较多的介绍。各章均附有大量参考文献，这对我们全面了解国外滑坡防治研究的情况都是有幫助的。

本书由铁道部科学研究院西北研究所滑坡研究室组织翻译，第一章由司祥林译，王恭先校；第二章由刘光代译，司祥林、王恭先校；第三章和第四章由王恭先译，司祥林、傅传元校；第五章和第七章由马骥译，分别由王恭先和司祥林校；第六章由傅传元和马骥译，王恭先校；第八章由刘光代译，梁仁友校；第九章由梁仁友译，王恭先校。全部译稿由王恭先作统一整理校订，图件由常荣祯描绘。最后译稿由西北研究所所长李嘉与滑坡研究室主任徐邦栋进行了审定。

中国铁道出版社施以仁工程师对本书的翻译出版作了大量深入细致的工作，在此深表感谢。

由于译校者的水平限制，错误和不当之处请读者批评指正。

译 者

1984

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 本书的讨论范围.....	1
第二节 定义与限定范围.....	2
第三节 斜坡移动的经济问题.....	2
第四节 斜坡移动的有关法律 (略)	
致 谢.....	7
参考文献.....	7
第二章 斜坡移动的类型和过程	9
第一节 有关斜坡移动的名称.....	16
第二节 按物质成分定名.....	31
第三节 按大小或几何形状定名.....	32
第四节 按地质、地貌、地理或气候环境因素划分.....	33
第五节 按活动状态或活动阶段定名.....	33
第六节 名称的由来.....	34
第七节 滑坡滑移的原因.....	34
参考文献.....	38
第三章 滑坡的认识与鉴别	44
第一节 滑坡调查的地形评价.....	44
第二节 滑坡勘察的制图方法.....	55
第三节 滑坡勘察中的遥感技术.....	61
第四节 现场踏勘方法.....	88
结 语.....	96
参考文献.....	97
第四章 现场调查	99
第一节 现场调查的范围.....	99
第二节 规划调查	104
第三节 工点的地形	105
第四节 地下勘探	111
第五节 地表水和地下水	120
第六节 环境因素	124
第七节 现场试验	127
第八节 资料的相关关系	132
结 语	133
参考文献	134

第五章 现场量测设备	135
第一节 设备计划	136
第二节 地面测量	140
第三节 测斜仪	142
第四节 伸缩计和应变计	149
第五节 孔隙压力和地下水的量测	149
第六节 监测岩石噪声的系统	152
第七节 自动预报和警报系统	154
第八节 数据的处理与评价	154
第九节 实例	158
参考文献	163
第六章 岩土强度性质及其量测	165
第一节 一般原理	165
第二节 抗剪强度的实验室量测	167
第三节 某些普通土的抗剪强度特性	171
第四节 重复荷载作用下土的性状	181
参考文献	184
第七章 滑坡稳定性分析的方法	186
第一节 极限平衡分析法和变形分析法的任务	186
第二节 极限平衡分析法	187
第三节 变形分析法	201
参考文献	204
第八章 土坡的设计和施工	206
第一节 设计原则	206
第二节 安全系数	206
第三节 设计方法	207
第四节 坡脚侵蚀问题	225
参考文献	226
第九章 岩石边坡工程	228
第一节 岩石边坡设计中的重要因素	229
第二节 岩石斜坡分析的基本程序	235
第三节 边坡设计和防治措施	239
参考文献	266
编者和作者简介	270
英汉专业名词对照	272

第一章 绪 论

R. L. 舒斯特 (Schuster)

本书是美国公路研究部门第29号专门报告——《滑坡与工程实践》(*Landslides and Engineering practice*)(1.8)一书的续集。第29号专门报告系由公路研究部门滑坡调查委员会编写，于1958年出版。该书作为论述滑坡的专著，在北美及国外都博得读者的高度赞誉。由于深受欢迎，初版发行后几年内即销售一空。因而，长期以来就蓄意对原版重新修订发行或再出版一部具有价值的续集。

1972年公路研究部门组织了一个对29号专门报告——《滑坡》一书进行审订的特别工作组。此工作组的成员系由公路研究部门土与地质组内几个委员会遴选充任，其任务是：

对过去出版的第29号专门报告——《滑坡》一书原本进行审查；并在重新修订出版此书的重大意义下提出应当采取什么行动的建议。

该工作组进一步被委任担当完成其建议的协调单位。

对专门报告的原版经过多次研究之后，工作组做出如下结论：自1958年以来，由于大量新技术已经通用于滑坡及其有关工程方面，故审编本书的最佳方案，与其只作局部修订或再版，不如全部重新改编。因此，工作组决定对原版的卷本风格予以保留，但在内容上则扩编在1958年时还不可能采用的一些概念和方法。工作组在获得了具有丰富土工技术经验的作者们的惠助下达到了此目的。他们是分别来自土木工程、地质学等学术领域，并具有土力学、工程地质及航片判释等专门知识的专家。

第一节 本书的讨论范围

本书在内容编排上像第29号专门报告那样，以连贯的形式把人们对滑坡在识别、绕避、处理、工程设计或整治等方面有用的广泛的经验资料结合在一起。

这新版本引进了自第29号专门报告出版以来，在地质概念和工程原理与技术方面取得的进展，并进而论述了有关土与岩石边坡的分析与处理。例如，包括稳定性分析的新方法以及计算机技术在其中的运用。此外，还包括在1958年人们所不熟悉因而在第29号专门报告中未加注意的关于岩石斜坡工程和斜坡稳定性分析中抗剪强度指标的选择两个专题。自那时以来，这两个题目受到了大量深入的研究并逐渐得到了正确的认识。所以特在本书里作为单独章节加以阐述。

本书内容概括地划分为两部分：第一部分主要论述滑坡问题的定义与评价，包括：斜坡移动的类型和过程；滑坡的认识与鉴别；现场调查；仪器设备；和强度性质的测定等章节。第二部分论述滑坡有关问题的处理。包括土坡与岩石斜坡都适用的斜坡稳定性分析方法，设计技术和防治措施等。

虽然已力图排除不同章节中出现的雷同材料，但为了保持思路的系统性和使一些专题获

得充分地说明，也还存在某些必要的重复。我们认为这种重复较之固定不变地编排在书中的其他章节更易接受。

第二节 定义与限定范围

在第29号专门报告中，滑坡定义为形成斜坡的物质——天然的岩石、土、人工填土或这些物质的结合体向下和向外的移动。今天看来这一定义还值得进一步推敲，因为正如第二章所述，现在可把斜坡移动分为崩落、倒塌、滑动、扩展和流动五类。在本书中，滑坡专指沿特定的面或组合面产生的剪切破坏的斜坡移动。

虽然本书主要论述属于特别指定的滑坡一类斜坡破坏，但对其它四种斜坡移动也给予一定的重视。因而，本书书名使用滑坡一词有点不大确切，因为从理论上讲它并不包括上述五种基本破坏类型，然而，本书之所以决定使用这个名称，一则由于滑坡一词通用而容易识别，同时本书主要在致力于滑坡的研究。

本书继续按照第29号专门报告的通常作法，对表层蠕动未作考虑。然而，对于比较深层的蠕动状态在有关斜坡移动的讨论中作了考虑。也不包括不发生在斜坡上的沉陷和大多数主要由于水的冻结和融化所造成的移动。此外，冰崩、雪崩和处在热带及极寒气候下由于斜坡破坏现象而引起的小块体剥蚀 (*mass wasting*) 也不予考虑。虽然本书少数几个实例取自世界上其它地区，但大多数有关斜坡移动和工程技术的描述都只涉及北美地区的斜坡。

上述有可能发生的五种斜坡移动，只有滑坡能依赖一般传统的滑动楔形体或滑动圆弧方法定量地进行稳定性分析。而这些斜坡稳定性分析方法不适用于崩落、倒塌、扩展或流动类型。然而在现在已充分掌握的有关动力学知识下对于这样一些斜坡破坏发展的性质的了解，使有可能借助于定量分析或统计方法以及两者并用来合理地估价有问题地区或潜在的可疑地区。近来涉及这样一些问题的研究成果，已至少能够对于斜坡发生的扩展和流动进行粗略的定量的稳定性分析，甚至也可能对崩落和倒塌进行分析。

虽然着重论及与运输设施有关的斜坡稳定问题，但大多数的实例，同样也可适用于斜坡破坏的一切情况，如象那些与海岸线、采矿、建筑住房和农场等有关的破坏。正如埃克尔 (Eckel) 在第29号专门报告绪言中所述 (1.7, p. 2)：

不管人们用于哪一指定地区，引起滑坡的地质、地形和气候等因素的相互影响都是相同的。分析滑坡的方法，同样能应用在一切天然的或人为的场合。预防或制止滑坡的已知方法，在合乎经济条件的限度内，不受土地用途的限制。因此，尽管本书所列的典型材料范围很有限，但它将被证明对每一从事滑坡处理的工程人员都是有用的。

第三节 斜坡移动的经济问题

虽然个别的斜坡破坏一般并不像其它灾害如地震、洪水、龙卷风那样引人注目或付出高的代价。但因其分布较广，对人类造成总的经济损失或许并不小于其它任何的地质灾害。另外，在地震和洪水的同时也伴生了许多因震动或水触发而引起的滑坡灾害。

象美国或加拿大那样大的范围要确切估计滑坡的总损失是很困难的。1958年史密斯 (Smith) (1.32) 曾经指出：“美国平均每年滑坡灾害损失达到数亿美元”。这一估计在当时或许是可靠的，可是自史密斯收集的估计数字以后20年内，由于通货膨胀，在易滑地区

兴建大量工程和在工程中采用较大的挖方和填土的诸种因素，结果大大地增加了每年支出的滑坡费用。例如，对环境和政治上的考虑及改善道路的用地费用对公路路线选择的控制，今天较之20年前要大得多。因而公路规划人员往往不能避免在易滑地区建设。滑坡损失包括滑坡危害影响公路、铁路、工业设施、矿山、住宅以及其它公共的和私人的财产等各种直接的和间接的损失。直接损失是指那些设备或财产实际上遭受的损失，例如图1.1和1.3所示。间接损失是指，(a)由于滑坡影响财产贬值从而税款收入减少；(b)受滑坡危害地区的实际地产价值减少；(c)受滑坡影响农业生产和森林土地的损失；(d)因滑坡中断运输系统造成的工业生产的损失等。滑坡的间接损失是难以估计的，但是它可能比直接损失要大得多。

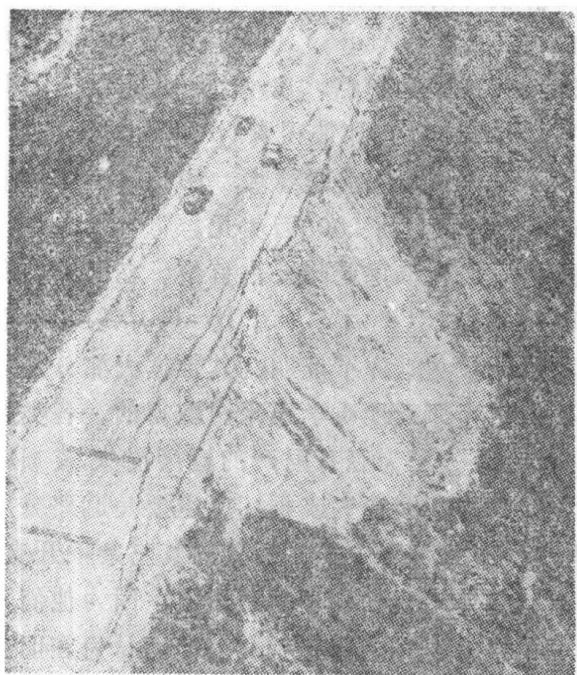


图1.1 1972年4月发生的滑坡造成田纳西州开普伯尔郡(Campbell)I-75号工段路基的破坏



图1.2 1978年10月加利福尼亚州拉古那海滨(Laguna Beach)发生滑坡毁坏的房屋和街道

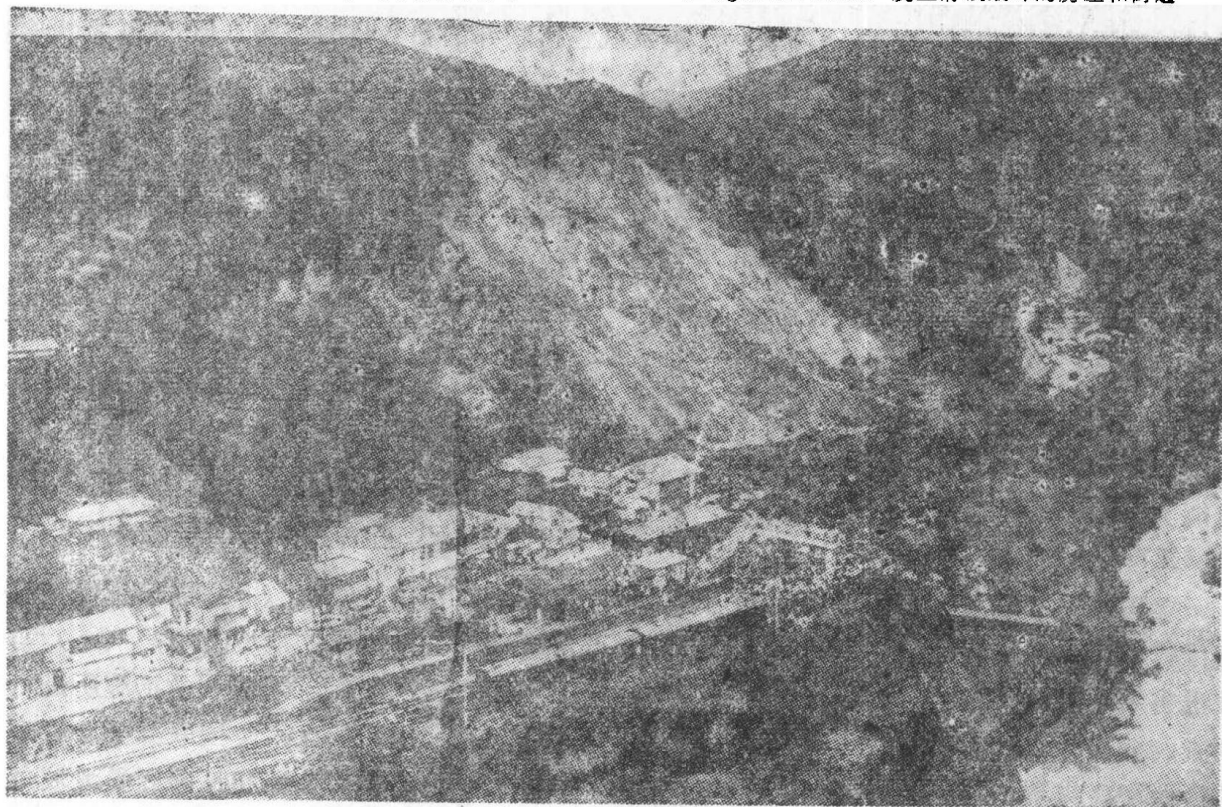


图1.3 1972年日本塞基托(Segeto)滑坡对铁路设施的破坏

1976年经克隆 (Krohn) 和斯劳森 (Slosson) (1.16) 估计, 每年美国建筑物及其场地因遭受滑坡损失达到 4 亿美元 (1971年美元)。这一估计数内不包括其它损失, 如运输设施和矿山的损失, 或间接损失。同年琼斯 (Jones) (1.13) 估计美国建筑物及其场地直接遭受到滑坡损失每年为 5 亿美元。根据上述估计数字加上间接损失和未列入建筑物的其它设备损失, 当前在美国因斜坡破坏的直接和间接损失恰当的估计每年超过十亿美元。

对于个别的滑坡灾害或在较小地理分区发生的滑坡可以给予更加确切的损失估计, 例如, 发生在美国加利福尼亚州巴洛斯、维尔多斯山 (Palos Verdes) 的葡萄牙本多滑坡 (the portuguese Bend Landslide), 估算1956至1959年间道路、房屋及其它设施因滑坡损失超过1000万美元 (1.23)。琼斯、艾姆包德 (Embody) 和彼得森 (peterson) (1.14) 指出, 在华盛顿歌兰德、库利拦水坝 (Grand Coule Dam) 的水库蓄水, 1934年至1952年间为避免和防止滑坡危害纳税人和私有财产所有者, 至少花费了2000万美元。

在美国国内各州斜坡移动损害花费较大的地区中, 加利福尼亚州要占首位。在旧金山海湾地区对斜坡移动造成损失的典型调查中, 泰勒和布腊布 (Taylor and Brabb) (1.35) 于1968至1969年冬季对海湾九个郡有关滑坡损失耗费的记录文献作了证明, 其数据大部分是从郡政府内的计划与统计人员及城镇、郡与州政府中的工程师及地质学家采访取得的。各类斜坡移动造成损失总额至少为2500万美元。其中大约900万美元为私有财产的直接损失或损坏 (主要由于市场价格的下落); 1000万美元系公共财产的直接损失或损坏 (主要是道路公用设施的修复和重建费); 大约600万美元为公共的或私人的两者中不易划分的其它杂项开支。这对于所调查的比较大的地区来说是个极大的开支。另外, 泰勒和布腊布指出, 因为他们不可能取得大量的有关斜坡移动损失的资料, 其调查数据是不完全的。于是, 他们认为在旧金山海湾地区, 1968—1969年斜坡移动损失总数, 有可能大于所估计数额2500万美元的几倍。

美国联邦公路管理局所作的调查指出, 国家公路系统内联邦财政部分关于整治较大滑坡每年耗费近达5000万美元 (1.3, 1.4), 本系统包括联邦的和各州的公路, 但不包括大多数郡、城镇的公路和街道、私营的公路和街道, 其他的政府机构如美国森林部门修建的道路。1973年联邦公路管理局管内美国主要滑坡的直接费用的分布状况见图1.4所示 (1.3)。个别地区的该项费用系根据该地区滑坡的保险金和公路建设总数两者计算的。还有, 所给出的费用额系表示单独一年的, 而特殊地区的平均年度费用额可能大大地不同于所给出的费用数额。

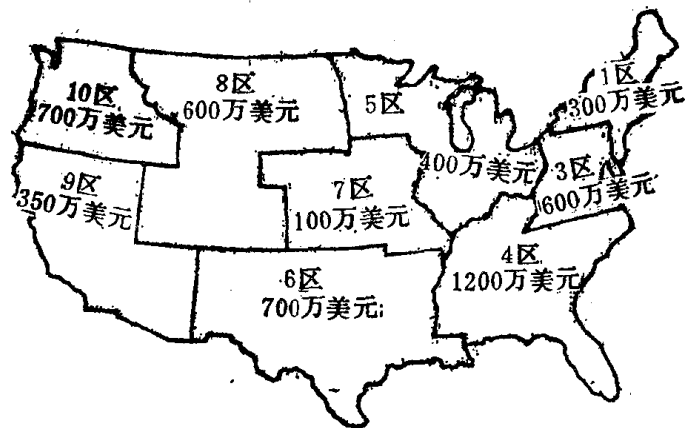


图1.4 1973年度美国联邦政府资助的公路
滑坡整治费用分布图 (1.3)

美国公路滑坡每年费用总额由于下述因素的限制难以精确计算: (a) 属于维修部门例行维修处理的较小的滑坡费用; (b) 非联邦政府资助的公路沿线的滑坡费用; (c) 与滑坡危害有关的间接费用, 如因交通被破坏和慢行, 对乘车人的不便, 采取补救措施所进行的调查、分析和设计的工程费用等。假如包括上述这些因素在内, 那么, 美国联邦公路管理局的恰西和高夫瑙 (Chassie and Goughnour) (1.3) 二人认为: 美国公路和道路因受滑坡危害每年所需费用总额按 1 亿美元估计也还是保守的。

为了作规划，已着手于斜坡移动灾害损失的各种研究。在加利福尼亚州1970—2000年各种地质灾害的预测费用的研究中，经加利福尼亚州矿山与地质局估计：整个加州在此期间内，由于斜坡移动所需的各种费用预计将达到100亿美元，也就是每年平均超过3亿美元。这个估计数字是以假定1970年加利福尼亚州斜坡破坏的损失实际保持不变作为计算依据的。图1.5(1.1)所示为一个损失估计比较图，包括斜坡移动造成的损失和其它地质灾害和城市化造成的损失。在此项研究中包括通常所说的“灾难性”地质灾害，图示表明，受斜坡移动造成的损失大于洪水灾害的损失，而不及地震灾害造成的损失。不过，在加利福尼亚州是特别容易产生地震活动的，在美国其它大部分地区和加拿大斜坡移动灾害的损失可能会大于地震灾害的损失。

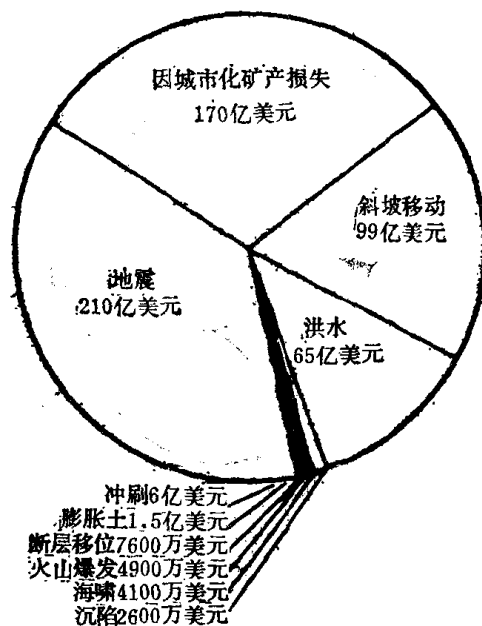


图1.5 加利福尼亚州1970—2000年因地震灾害和城市化建设造成的经济损失预测图 (1.1)

经多方面的研究说明，大多数破坏性的滑坡与人为因素有关。因而通过事先采取一些措施，如改善斜坡状态、土地使用管理、排水或径流的控制等(1.37)，是能减少其危害程度的。例如，尼尔森(Nilsen)和特纳(Turner)(1.25)指出，在加利福尼亚州康错考斯塔(Contra Costa)郡将近80%的滑坡是由于人类活动而引起的。布立格兹(Briggs)、波默罗伊(Pomeroy)和戴维斯(Davies)(1.2)指出，在宾夕法尼亚州阿利亨郡(Allegheny)90%以上的滑坡与人类活动有关。加利福尼亚州矿山与地质局研究(1.1)指出，斜坡移动估计损失的99亿美元，经采取适当的地质调查、良好的工程施工和对土地使用及其干扰方面的合法管理等各种有效的措施配合整治，能减少90%以上。

恰西和高夫璠(1.4)进一步证明这一基本概念——加强地质和土工技术的研究，就能大大减少滑坡的危害。他们指出，在纽约州通过改进土工技术，1976年以前的七年间减少滑坡的维修费用90%。斯劳森(1.31)指出，洛杉矶市附近由于1968年至1969年冬季的暴风雪影响所造成的滑坡损失，由于设计这些工点是依据最新的土工工程规范采用现代化的土工技术方法，故与1952年以前相比降低费用97%。在那时既没有土工技术规范，也并不要求作工程地质与土工技术的研究。对于加利福尼亚州，勒顿(Leighton)(1.19)估计，通过采取多种预防措施，诸如使施工前的调查、分析和设计等密切配合，且严格地遵循施工程序等，能使滑坡造成的损失减少95~99%。

除上述斜坡移动造成的经济上的损失之外，滑坡和其它类型的斜坡破坏直接造成人类生命的重大损失是值得重视的。由于灾难性的斜坡破坏而无辜死亡者，自从人类开始聚居在遭受这种灾害的地区以来，就早已有了历史记载。十六世纪西班牙征服者在玻利维亚曾记录了这样一个灾难性事例(可能是泥石流)(1.3)。根据培卓长兰其教士(Padre Calancha)的记述：人们从远处看到这次事故，“寒口——寒口”两声响，大约两个居民的村落失踪了。

“在仅仅几分钟内顿时被土吞没，除去在原来村庄的位置上升起的尘雾烟云外，再没有更多的遗迹存在了”。

在二十世纪，许多独特的斜坡破坏曾造成大量的人身死亡，或许1962年和1970年发生在

秘鲁的安第斯山脉，浩斯卡兰山坡的碎屑崩塌是人们最熟悉的灾难性破坏。1962年1月随着来自浩斯卡兰山 (Huascaran) 北峰高处冰川的冰崩而开始的碎屑崩塌，迅速地变成了冰、水、岩石和土的混合物，咆哮声响彻了整个山谷村落，吞食4000~5000人的生命 (1.5, 1.22)。八年后，一场更加惨绝的悲剧再次重演，有更多的人丧生。当时，在秘鲁海岸爆发了7.75级的地震，同时引起了浩斯卡兰山坡上另一场灾难性的碎屑崩塌 (1.5, 1.28)。大致以320km/h的平均速度下降到同一山谷并越过一个较大的区域，伤害了18000多人的生命。

在阮腊赫长村，1962年遭受碎屑崩塌破坏后，重建家园。到1970年再次被毁于崩塌，死亡2700人。1962年崩塌时一处小山脊阻挡了碎石流入杨加镇，1970年的崩塌却越过这小山脊而掩埋了整个村镇，估计17,000居民中有15,000人丧生。只有中心广场的几棵棕榈树稍和大教堂的片断残壁伸出泥泞之上，显示着这昔日繁荣而有生气的村镇所在 (1.28)。

1974年在秘鲁的安第斯山另一个较大的滑坡使约450人死亡 (1.18)，这场滑坡发生在曼特罗 (Mantaro) 河谷，滑坡体积有16亿立方米，成为有历史记录的最的一个。它曾经一时堵塞了曼特罗河，形成了一个深约170m、长达31km的湖泊。河水超越该滑坡造成的坝，造成下游巨大灾害，冲毁了近20公里的公路，三座桥梁和许多农田。

1963年10月9日，发生在意大利东北部的瓦依昂水库滑坡是欧洲历史上最大的灾难性滑坡。共约2.5亿立方米的岩石和土体滑入水库，波浪冲上对岸山坡260m高，高出坝顶至少100m的水流入下游河谷，冲毁了五个村庄，并吞没了2000~3000人的生命 (1.15, 1.17)。

日本也同样遭遇过滑坡和其它斜坡移动造成的巨大生命财产的损失。虽然日本有些斜坡破坏是由于地震触发的，但多数是台风季节的暴雨直接引起的。1974年日本建设省公布的资料及一个书面报导的数据列入表1.1，表中列举了日本自1969年至1972年四年间遭受斜坡破坏所伤亡的人数和损毁的房屋，值得特别注意的是死于斜坡破坏的人数与死于所有其他自然灾害包括地震灾害的人数间的高比率。

日本最近遭受斜坡破坏死亡的人

数与损坏的房屋统计表 表1.1

年 份	毁 坏 的 房 屋	死 亡 人 数	
		人 数	百分数*
1969	521	82	50
1970	38	27	26
1971	5205	171	54
1972	1564	239	44

* 死于斜坡破坏的人数与死于全部其它自然灾害的百分比。

北美的斜坡破坏一般没有造成大的人身伤亡，这是因为多数灾难性的斜坡破坏发生在无人居住区。即使是如此，在本世纪也曾有过几次引人瞩目的例外事例，第一次是1903年在加拿大的阿尔伯塔，富兰克煤矿城爆发的一次大滑坡伤亡了近70人 (1.21)。最近，1959年赫布根湖 (Hebgen Lake) 爆发地震，波及蒙特那 (Montana) 西南地区而触发麦迪森坎阳 (Madison Canyon) 滑坡。那次滑坡灾害，如图1.6 (1.36)，滑体有2800万立方米，并埋葬了在麦迪森河堤上露营的26个人。

可能美国中部弗吉尼亚州历史记载最严重的一次自然灾害就是1969年起因于喀米尔飓风的洪水及同时发生的泥石流 (1.38)。虽然因斜坡移动而死亡的人数未能确切查清，但据估计在弗吉尼亚州由于喀米尔飓风而死亡的150人中，基本上是由飓风引起的泥石流灾害的不幸牺牲者。

北美另有一起近期的斜坡破坏是1971年发生在加拿大的魁北克省，塞因特——吉安——文安尼城坎普伦 (Champlain) 粘土地带的泥石流 (1.34)。那次泥石流毁灭了40户人家，有31人死亡。

美国最近的一次较大的斜坡破坏灾害, 是1972年弗吉尼亚西部桑德斯 (Saunders) 的布发鲁溪 (Buffalo Creek) 拦水坝的破坏 (1.6)。大雨导致三个充满废煤渣的水池破坏, 由排泄出的水、废煤渣和淤泥组成泥石流顺流倾泻而下, 流经24km, 使125人死亡, 4000户人家流离失所。

如上所述的滑坡与其它类型的斜坡移动均可纳入主要的自然灾害。不过, 除此较大的灾害之外, 即使不太严重的斜坡破坏, 则在世界上连续不断地发生着。由于美国和加拿大没有对经常发生的斜坡破坏作系统记录, 要想查清每年由于斜坡破坏而死亡的人数是不可能的〔与日本相比, 表 (1.1)〕。但是, 经克隆和斯劳森 (1.16) 估计在美国, 由于各类滑坡活动而死亡的总人数, 每年可能超过25人, 这个数字比因地震而死亡的平均人数大。



图1.6 蒙特那西南部1959年8月21日发生的
麦迪森坎阳滑坡

致 谢

谨向所有为本书提供已出版或未出版的资料的投稿者表示衷心的感谢。没有您们这么多的惠助就不能编写此书。如将所有供稿者列出名单是不可能的, 但只列出主要供稿者名单对其他人将是不公平的。因而, 最合理和公平的办法是在这里, 向所有以数据、照片、意见和建议等形式提供资料的惠助者和合作者, 表示感谢。

同样, 也向运输研究部门的全体工作人员致谢。特别感谢土壤、地质和基础工程师约翰 W. 爵尼 (John W. Guinnee) 对本书的编写, 经常地给予赞助和鼓励, 以及米耳卓德、克拉克 (Mildred Clark) 总编辑, 他在本书的整个编辑过程中在技术上给予了鼎力协助。

参 考 文 献

- | | | | |
|-----|---|-----|--|
| 1.1 | Alfors, J. T., Burnett, J. L., and Gay, T. E., Jr. Urban Geology: Master Plan for California. California Division of Mines and Geology, Bulletin 198, 1973, 112 pp. | 1.5 | Cluff, L. S. Peru Earthquake of May 31, 1970: Engineering Geology Observations. Seismological Society of America Bulletin, Vol. 61, No. 3, June 1971, pp. 511-521. |
| 1.2 | Briggs, R. P., Pomeroy, J. S., and Davies, W. E. Landsliding in Allegheny County, Pennsylvania. U.S. Geological Survey, Circular 728, 1975, 18 pp. | 1.6 | Davies, W. E. Buffalo Creek Dam Disaster: Why it Happened. Civil Engineering, Vol. 43, No. 7, July 1973, pp. 69-72. |
| 1.3 | Chassic, R. G., and Goughnour, R. D. National Highway Landslide Experience. Highway Focus, Vol. 8, No. 1, Jan. 1976, pp. 1-9. | 1.7 | Eckel, E. B. Introduction. In Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board, Special Rept. 29, 1958, pp. 1-5. |
| 1.4 | Chassic, R. G., and Goughnour, R. D. States Intensifying Efforts to Reduce Highway Landslides. Civil Engineering, Vol. 46, No. 4, April 1976, pp. 65-66. | 1.8 | Eckel, E. B., ed. Landslides and Engineering Practice. Highway Research Board, Special Rept. 29, 1958, 232 pp. |

- 1.9 Fife, P. K. Professional Liability and the Public Interest. In *Geology, Seismicity, and Environmental Impact*, Association of Engineering Geologists, Special Publ., 1973, pp. 9-14.
- 1.10 Hadley, J. B. Landslides and Related Phenomena Accompanying the Hebgen Lake Earthquake of August 17, 1959. U.S. Geological Survey, Professional Paper 435, 1964, pp. 107-138.
- 1.11 Hays, W. V. Panel discussion. Proc., Workshop on Physical Hazards and Land Use: A Search for Reason. Department of Geology, San Jose State Univ., California, 1974, pp. 8-14.
- 1.12 Japan Ministry of Construction. Dangerous Slope Failure. Division of Erosion Control, Department of River Works, 1972, 14 pp.
- 1.13 Jones, D. E. Handout for Roundtable Discussions. National Workshop on Natural Hazards, June 30-July 2, 1976, Univ. of Colorado, Boulder, Institute of Behavioral Science, 1976.
- 1.14 Jones, F. O., Embody, D. R., and Peterson, W. L. Landslides Along the Columbia River Valley, Northeastern Washington. U.S. Geological Survey, Professional Paper 367, 1961, 98 pp.
- 1.15 Kiersch, G. A. Vaiont Reservoir Disaster. *Civil Engineering*, Vol. 34, No. 3, 1964, pp. 32-39.
- 1.16 Krohn, J. P., and Slosson, J. E. Landslide Potential in the United States. *California Geology*, Vol. 29, No. 10, Oct. 1976, pp. 224-231.
- 1.17 Lane, K. S. Stability of Reservoir Slopes. In *Failure and Breakage of Rock* (Fairhurst, C., ed.), Proc., 8th Symposium on Rock Mechanics, Univ. of Minnesota, 1966, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, 1967, pp. 321-336.
- 1.18 Lee, K. L., and Duncan, J. M. Landslide of April 25, 1974, on the Mantaro River, Peru. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1975, 72 pp.
- 1.19 Leighton, F. B. Urban Landslides: Targets for Land-Use Planning in California. In *Urban Geomorphology*, Geological Society of America, Special Paper 174, 1976, pp. 37-60.
- 1.20 Lewis, H., McDaniel, A. H., Peters, R. B., and Jacobs, D. M. Damages Due to Drainage, Runoff, Blasting, and Slides. National Cooperative Highway Research Program, Rept. 134, 1972, 23 pp.
- 1.21 McConnell, R. G., and Brock, R. W. The Great Landslide at Frank, Alberta. In *Annual Report of the Canada Department of the Interior for the Year 1902-03*, Sessional Paper 25, 1904, pp. 1-17.
- 1.22 McDowell, B. Avalanche! In *Great Adventures With National Geographic*, National Geographic Society, Washington, D.C., 1963, pp. 263-269.
- 1.23 Merriam, R. Portuguese Bend Landslide, Palos Verdes Hills, California. *Journal of Geology*, Vol. 68, No. 2, March 1960, pp. 140-153.
- 1.24 Morton, D. M., and Streitz, R. Landslides: Part Two. California Division of Mines and Geology, Mineral Information Service, Vol. 20, No. 11, 1967, pp. 135-140.
- 1.25 Nilsen, T. H., and Turner, B. L. Influence of Rainfall and Ancient Landslide Deposits on Recent Landslides (1950-71) in Urban Areas of Contra Costa County, California. U.S. Geological Survey, Bulletin 1388, 1975, 18 pp.
- 1.26 Nordin, J. G. The Portuguese Bend Landslide, Palos Verdes Hills, Los Angeles County, California. In *Landslides and Subsidence*, Resources Agency of California, 1965, pp. 56-62.
- 1.27 Patton, J. H., Jr. The Engineering Geologist and Professional Liability. In *Geology, Seismicity, and Environmental Impact*, Association of Engineering Geologists, 1973, pp. 5-8.
- 1.28 Plafker, G., Erickson, G. E., and Fernandez Concha, J. Geological Aspects of the May 31, 1970, Peru Earthquake. *Seismological Society of America Bulletin*, Vol. 61, No. 3, June 1971, pp. 543-578.
- 1.29 Pollock, J. P. Discussion. In *Landslides and Subsidence*, Resources Agency of California, 1965, pp. 74-77.
- 1.30 Sanjines, A. G. *Sintesis Historica de la Vida de la Ciudad, 1548-1948*. Primer Premio de la Alcaldia, La Paz, Bolivia, 1948, 86 pp.
- 1.31 Slosson, J. E. The Role of Engineering Geology in Urban Planning. In *The Governors' Conference on Environmental Geology*, Colorado Geological Survey, Special Publ. 1, 1969, pp. 8-15.
- 1.32 Smith, R. Economic and Legal Aspects. In *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board, Special Rept. 29, 1958, pp. 6-19.
- 1.33 Sutter, J. H., and Hecht, M. L. Landslide and Subsidence Liability. *California Continuing Education at the Bar, Berkeley*, California Practice Book 65, 1974, 240 pp.
- 1.34 Tavenas, F., Chagnon, J. Y., and La Rochelle, P. The Saint-Jean-Vianney Landslide: Observations and Eyewitnesses Accounts. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 8, No. 3, 1971, pp. 463-478.
- 1.35 Taylor, F. A., and Brabb, E. E. Distribution and Cost by Counties of Structurally Damaging Landslides in the San Francisco Bay Region, California, Winter of 1968-69. U.S. Geological Survey, Miscellaneous Field Studies Map MF-327, 1972.
- 1.36 U.S. Geological Survey. The Hebgen Lake, Montana, Earthquake of August 17, 1959. U.S. Geological Survey, Professional Paper 435, 1964, 242 pp.
- 1.37 Wiggins, J. H., Slosson, J. E., and Krohn, J. P. Natural Hazards: An Expected Building Loss Assessment. J. H. Wiggins Co., Redondo Beach, California, Draft rept. to National Science Foundation, 1977, 134 pp.
- 1.38 Williams, G. P., and Guy, H. P. Erosional and Depositional Aspects of Hurricane Camille in Virginia, 1969. U.S. Geological Survey, Professional Paper 804, 1973, 80 pp.
- 1.39 Witkind, I. J. Events on the Night of August 17, 1959: The Human Story. U.S. Geological Survey, Professional Paper 435, 1964, pp. 1-4.

PHOTOGRAPH CREDITS

- Figure 1.1 Courtesy of Tennessee Department of Transportation
 Figure 1.2 Courtesy of The Register, Santa Ana, California
 Figure 1.3 Courtesy of Japan Society of Landslide
 Figure 1.6 J. R. Stacy, U.S. Geological Survey

第二章 斜坡移动的类型和过程

D.J.伐纳斯 (Varnes)

本章较全面的评述了各类斜坡移动过程,并按照在一定程度上对它们的识别、绕避、防治和整治有关的特征,进行鉴别和分类。虽然在第29号专门报告(2.182)中提出的滑坡分类已为同行专家所公认,但自1958年该报告出版以来某些缺陷已明显暴露,特别是用各种文字发表了局部的或全面的滑坡分类的论述二十余种,并发表了许多有关斜坡移动过程的新资料。

一个明显的变动是在本章的标题和分类表中都使用了“斜坡移动”(Slope movements)这个术语,而不是用“滑坡”(Landslides)。滑坡这个术语虽被广泛使用,而且无疑地将被作为斜坡移动的几乎所有类型的总称继续使用下去,甚至包括一些很小的或没有真正滑动的现象,但在技术交流中需要审慎的和持续的努力以增进词汇的确切含意。因此,滑坡一词不再用来表示那些不产生滑动的移动。看来没有一个简单明瞭的术语能概括本章中所讨论的各种移动过程的整个范围。地貌学家将看到本章中所讨论的包括他们提到的除了沉陷或其他地面下沉形式以外的小型块体剥蚀(*mass wasting*)或块体移动(*mass movement*)。

本章扩大了29号专门报告中叙述的分类以便把土和岩石的极缓慢的均匀的移动都包括进去。这些移动在许多分类法中叫做蠕动。该分类法亦包括了逐渐认识到的倾倒破坏或倒塌破坏和扩展移动(*spreading movement*)。虽然主要由雪和冰构成的雪崩,如前一样未包括进去,但是对于那些由冻融而引起的移动特征则给予更多的注意。

斜坡移动可以用许多方法来分类,但每一种分类法,都为了一定的用途而强调其识别、绕避、防治、整治和其他用途有关的条件特征。作为鉴别和分类准则而采用了的各种标志诸如:移动的类型、物质种类、移动速率;破坏地区的地表形状和由此产生的沉积物、年代、成因,移动体被破坏的程度;滑坡的形状与地质结构有无关系,发育程度、典型实例的地理位置和活动状态等,均列属在内。

本章所提出的主要分类原则与1958年专门报告中所提出的一样,首先是移动的类型,其次是物质的种类。移动类型(定义见下面)又区分为五大类即:崩落、倒塌、滑动、扩展和流动。而第六大类为复合斜坡移动,包括前五种类型中两种或两种以上的组合形式。移动的物质种类区分为岩石和工程土两大大类。其中工程土又进一步区分为碎屑和土两类。移动和物质的各种组合情况见表2.1。简要说明见表2.2。当然,移动类型和物质种类两者随着时间、地点而变化,而且这两者皆可能存在着近似连续的过渡形式,因此,死板的分类是既不实际又非人们所期望的。我们感谢夏佩(Sharpe)(2.146)遗留的早期著作,而且借助于大量其他学者的资料加以发展。主要有斯开普顿(Skempton)和胡钦生(Hutchinson)(2.154),尼姆乔克(Nemcok),帕谢克(Pasek),和里巴尔(Rybar)(2.116),德弗雷塔斯(deFreitas)和瓦特斯(Watters)(2.37),扎留巴(Zaruba)和门次尔(Mencil)(2.193)和济辛斯基(Zischinsky)(2.194)。与美国地质调查所D.H.雷德布鲁克—霍尔(D.H.Radbruch—Hall)所作的多次讨论,无论在本章叙述的内容和形式方面都带来了重要的、有益的改进。

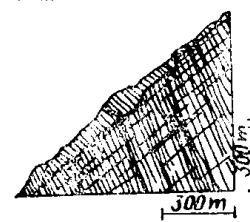
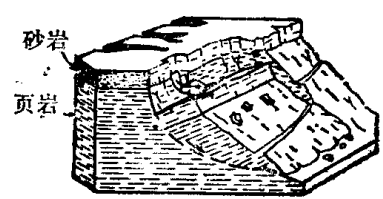
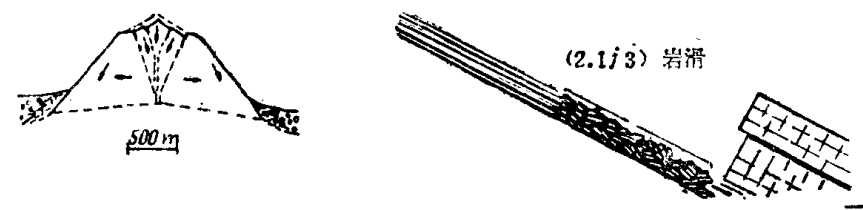
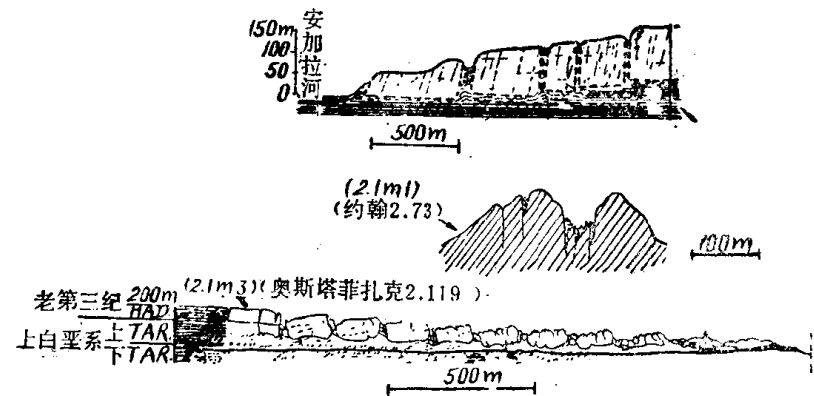
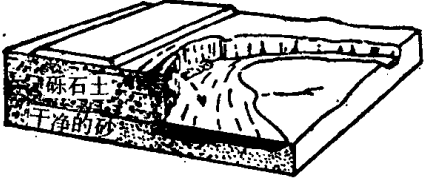
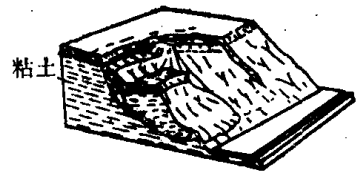
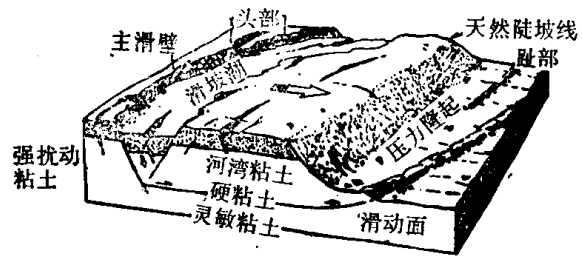
(主 要 的) 移 动 类 型	物 质	
	基	岩
I. 崩落类: 运动体大多数的行程是悬空的, 包括自由崩落、弹跳式移动和土或基岩碎块的滚动。	(2.1a) 岩崩、极快的	 a
II. 倒塌类: 由绕单元体重心以下的支点产生倾覆力矩的力系引起移动。若不防止将导致崩落或滑坡。	(2.1d1) 岩石倒塌 (迪·弗雷塔斯和瓦特斯, 2.37)	(2.1d2)  d
III. 滑动类: 移动包括沿一个面或几个面或在一个明显的或可合理推断的相对狭窄的带内剪切移动。	A. 旋转滑动 由绕单元体重心以上点产生转动力矩的力系引起移动。破裂面向上弯曲。	(2.1g) 岩石转动滑坡、极慢到中等  g
	B. 平移滑动 主要沿大致平的或起伏不大的面移动。移动常受软弱结构面, 例如断层、节理、岩层层面和层状沉积物的层间抗剪强度变化的结构控制, 或受坚硬基岩和上覆碎岩间接触面控制。	(3.1j1) (尼姆乔克, 2.115根据贝克, 2.5) (2.1j2) 块石块体滑坡 (2.1j3) 岩滑  j
IV. 侧向扩展类: 在破裂体中分布着侧向扩展的移动: A. 没有一个轮廓分明的控制基础的剪切面或塑流带 (主要在基岩内); B. 岩石或土的扩展起因于其下面物质的液化或塑流。	(2.1m2) (扎留巴和门次耳, 2.193)  m	

表 2.1

类 别 (移 动 前) *	
工 程 土	
粗 粒 为 主	细 粒 为 主
<i>b</i> 碎屑崩落	<i>c</i> 土崩落
(2.1e) 碎屑倒塌 <i>e</i> 	<i>f</i> 土倒塌
<i>h</i> 碎屑转动滑坡	(2.1i) 土的转动滑坡 <i>i</i> 
(2.1k) 碎屑滑坡, 很慢到快 <i>k</i> 	(2.1l) 土的块体滑坡 (汉森, 2.57) <i>l</i> 
<i>n</i>	(2.1o) 土侧向扩展, 很快 <i>o</i> 