# 滑坡学

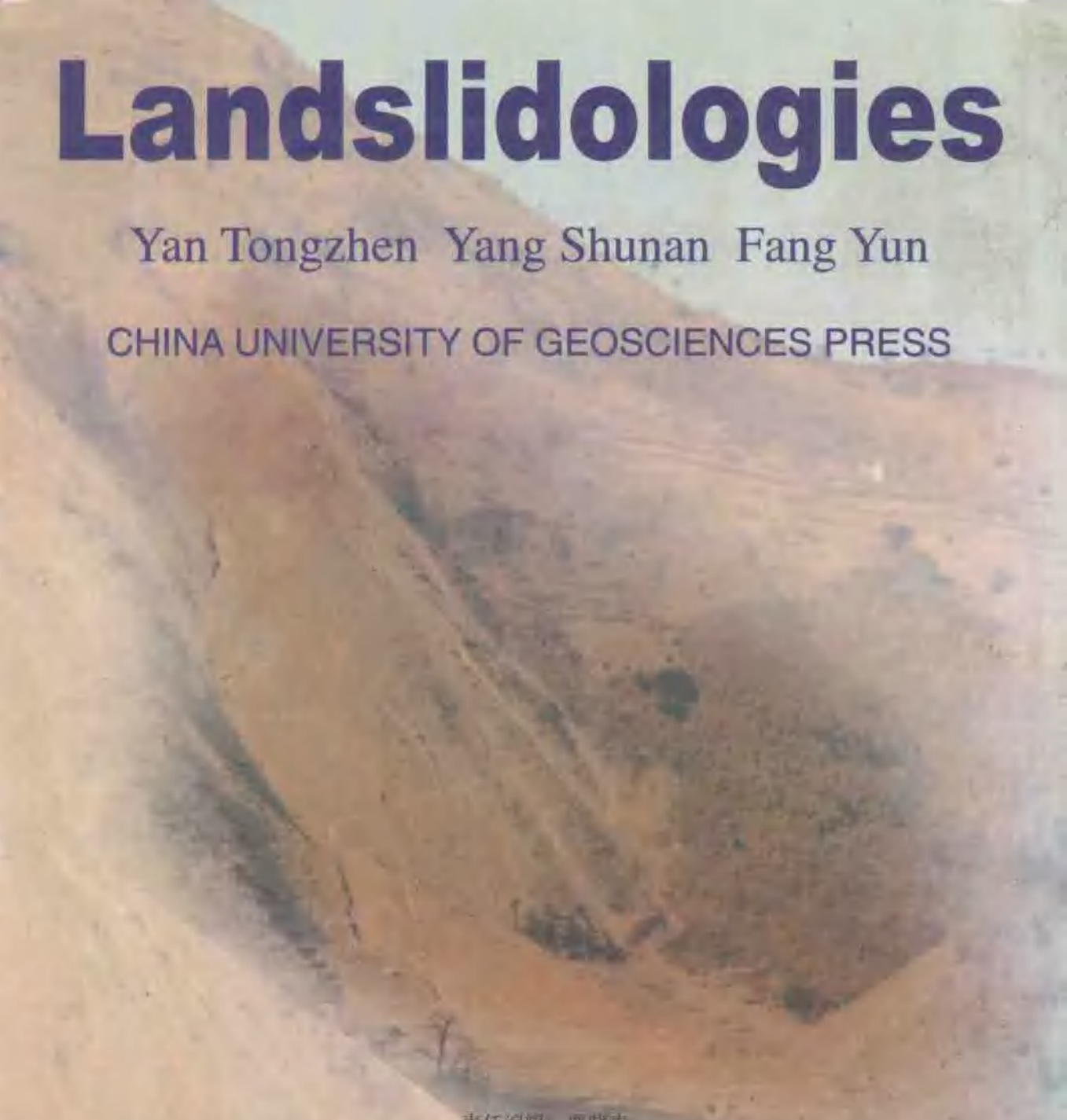
晏同珍　杨顺安　方　云　著

中国地质大学出版社

# Landslidologies

Yan Tongzhen Yang Shunan Fang Yun

CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES PRESS



责任编辑：贾晓青
封面设计：田剑云

定价：25.00元

ISBN 7-5625-1401-1

9 787562 514015 >

# 滑　坡　学

晏同珍　杨顺安　方　云　著

中国地质大学出版社

（鄂）新登字 12 号
**图书在版编目（CIP）数据**

滑坡学/晏同珍，杨顺安，方云著．—武汉：中国地质大学出版社，2000.3
ISBN 7-5625-1401-1

Ⅰ．滑…
Ⅱ．①晏…②杨…③方…
Ⅲ．滑坡-理论、方法研究
Ⅳ．P642

滑坡学　　晏同珍　杨顺安　方　云　著

责任编辑：贾晓青　　责任校对：熊华珍

出版发行：中国地质大学出版社（武汉市洪山区鲁磨路 31 号）　　邮编：430074
电话：(027)87482760　传真：87481537　E-mail：cbo @ cug.edu.cn

经　　销：全国新华书店

开本：787 毫米×1092 毫米 1/16　　字数：380 千字　印张：14.625
版次：2000 年 3 月第 1 版　　印次：2000 年 3 月第 1 次印刷
印刷：中国地质大学印刷厂　　印数：1—500 册

ISBN 7-5625-1401-1/P・508　　定价：25.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

# 绪　言

本书主体是人们熟知的滑坡学问题，它相当于1997年在希腊首都雅典召开的“国际工程地质与环境学术讨论会”(International Symposium on Engineering Geology and the Environment) 所包含的整体内容；或更相当于1996年在挪威的特伦汗（Trondheim）召开的“第七届国际滑坡学术讨论会”所包括的大部分内容。显然，本书主体包括七个部分，它们是：勘察滑坡学、防治滑坡学、预测滑坡学、理论滑坡学（一、二、三）以及区域滑坡学。

作为学术问题，重点落脚是斜坡。从哲学上看，“哪里有斜坡，哪里就有斜坡移动——滑坡”。

中国是一个多山国，她需要建立起自己的滑坡学学科体系；其他多山国也不例外。联合国教科文组织（UNESCO）1993年建议：英、汉、法、德、西（班牙）、俄六国文字，可作为世界滑坡报告的国际交流样版。本书或可起到样版作用？人们可拭目以待！但愿“滑坡学”(Landslidologies) 不负众望；但愿她在可持续发展方面添砖加瓦。

当今多山国家发展常遇到斜坡岩土体位移之灾，监测、预测、规划、防治耗费人力、财力和时间。如何加快防灾减灾进程，降低人力、财力耗费并达到合理开发斜坡和保护环境的目的，是人们所探求的。当代科学技术进步，其特点可概括为：高度综合与高度分解，这是科学学科发展的必然趋势。“环境地学”与“滑坡学”两门学科就是其中的具体实例。前者由环境科学及地球科学综合发展而成；后者由工程地质学、岩土工程和土木工程学等部分分解后发展而成。总的目标是为了减灾、防灾和环境保护。据R. W. Kates等1985年统计，全球由于自然灾害所造成的经济损失每年约为400亿美元，若考虑人类诱发灾害造成者，其经济损失将会成倍增长。至于滑坡灾害所造成的经济损失，近20年来重点承灾国家为意、日、美、俄、印（度）、中、捷及奥（地利）、瑞（士）等，每年各国平均损失达15～20亿美元，即其总和平均每年可达120～160亿美元。如果滑坡灾害的防治或减灾水平能有所提高，那将是对人类的极大贡献。

滑坡学学科建立之先驱是前苏联 Е. П. Емельянова 博士（1972，1986），她提出了滑坡学（Оползневедение）学科的主要内容及理论体系，为滑坡学之后继工作确立了基础。

图0－1示出滑坡学及其分支学科，其中图0－1b中划分出滑坡学六个分支。下面针对勘测滑坡学（图0－1b中1）和比较滑坡学（图0－1b中5）稍加讨论。

勘测滑坡学是滑坡学的基本分支之一。勘测滑坡学的基础包括地质勘测与制图、室内实验测试、区域规划制图、勘探勘测以及针对滑坡群的遥感图像解译。勘测滑坡学必须发展勘测方法和技术手段。在区域规划制图方面，可利用红外信息及其图像以改善较小比例尺规划图的精度，提高其宏观决策的效能；在滑坡位移调查和监测方面，可以引入全球定位系统（GPS），诸如热红外动态热能聚集-消散过程监测扫描，以及卫星碳氢化合物的勘探技术、层析成像技术（CT）的发展，融地震、测井、遥感方法为一体，将大大促进勘测滑坡学的发展。



此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

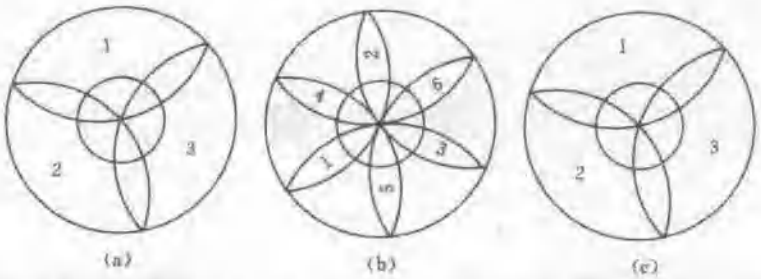



图 0-1　工程地质学，滑坡学，环境地学与有关学科的关系及其分支学科

(a)：* 大圆—工程地质学；小圆—专门工程地质学：1—区域工程地质学；2—工程动力地质学；3—地质学（引自迪尔曼、谢尔盖也夫、洪巴柯娃，1989）；(b)：大圆—滑坡学；小圆—部门滑坡学：1—勘测滑坡学；2—防治滑坡学；3—理论滑坡学；4—预测滑坡学；5—比较滑坡学；6—区域滑坡学；(c)：大圆—环境地学；小圆—现代基础理论方法：1—土木工程学；2—岩土工程；3—岩土体力学

A. Heim（海姆）在“比较”中最早发现：某些巨型滑坡的架空坡斜率较低，其滑坡总能量却很高，水平位移距离也很大。表 0-1 列出 20 例此类滑坡，涉及不同国家及地理区，甚至月球及火星。围绕解释架空坡斜率随坡体增大而减小，出现不少假说和理论。已有的假设和理论可以解决某些具体问题，如有效孔隙压力说，滑坡规模控制机理说，摩擦融熔机理说等，但未能解决普遍性问题。有关文献列出许多巨型且前锋无阻的滑坡实例，是较好的统计规律研究成果，但并未涉及巨型滑坡形成机理，仍感不足。

易滑动理论是在高势能滑坡危险组合模式研究基础上发展起来的，可以将其定义为覆盖地球壳层或岩石圈中全部有滑动倾向的易滑地层岩组和易滑构造带的原理。对于岩石圈此理论可以概括全部滑动领域，尤其是始发地震的走滑断层。其他如变质杂岩之滑动构造、逆掩推覆体（逆向滑动）以及类侏罗山式沉积盖层之浮褶带（隔挡式、隔槽式褶皱-滑脱构造）等造山滑动带。断裂构造与滑坡构造两者的共同特征是断层面和滑动面。其两面上弹性应变能量可以高度集中并可释放或调整。当易滑动理论引入巨型高能远程滑坡时，我们可以发现含碳酸盐岩土，当其成层结构近似水平且属薄层厚层交互过渡时，其天然斜坡易于形成上述巨型滑坡，如表 0-1 所列。其形成机理是形成上述巨型滑坡始发之时，其滑床之上的滑动带碳酸盐岩土中 Ca（Mg）$CO_3$ 可因摩擦升温（约 800℃）而分解出 $CO_2$，或石膏分解出部分水气化（约 120℃），即如 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ + 热 = $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O + 1.5H_2O\uparrow$（水气化）。这类分解出的 $CO_2$ 或水气化封存于滑带且无法消散，于是就形成气垫，而造成高能远程滑坡。看来，学理性问题可用化学能得以阐明。

易滑动理论用于滑坡灾害系统非线性动力学预测研究，已取得经受实践检验的初步成果。另一方面，易滑动理论与滑坡非线性动力学研究又有着高度统一的理论基石：开放的易滑坡系统，与易滑动环境有着力学的、能量的以及化学的各种耦合作用；系统演化总是要趋向于一种吸引子态式消耗最小能量。处于不稳定吸引子态时，一经外部触发，体系状态就会发生突变，易滑坡系统会向新的稳定吸引子态演化。也正是在此时，易滑动系统的稳定性难以判断。与非线性动力学研究不同的是，易滑动理论能从复杂的易滑动环境系统中捕捉蕴含着参

* 国立莫斯科大学地质系主任、工程地学教授 B. T. Trofimov，1991 年 3 月 16 日在中国地质大学（武汉）讲学笔记（晏同珍记录）。

表 0-1 巨型高能远程滑坡物理数据

| 滑坡名称 | 序号 | 所在星球 | 环境 | 时代 | 岩性 | 体积 ($m^3$) | 最大垂直距离 (m) | 最大水平距离 (m) | 落高 (m) | 总能量 (J) | 总斜率 | 资料来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 黄龙西村 | 1 | 中国 | 一般山区 | 1963 年 | 黄土类土 | $3.9\times10^5$ | 175 | 565 | 105 | $1.0\times10^{12}$ | 0.31 | 晏同珍，1984 |
| 劳伦斯河 (Lawrence River) | 2 | 新西兰 | 一般山区 | 1000±260 年前 | 坑积岩 | $1.0\times10^7$ | 500 | 1 900 | 400 | $1.0\times10^{14}$ | 0.22 | 怀特霍斯，1984 |
| Vaiont | 3 | 意大利 | 地震区 | 1963 年 10 月 9 日 | 薄层泥灰岩 marl | $2.6\times10^8$ | 240 | 700 | 400 | | 0.34 | Miller，1964<br>晏同珍，1993 |
| 查南 | 4 | 中国 | 一般山区 | 史前 | 粘性土、砂性土 | $7.0\times10^7$ | 200 | 1 200 | 160 | $1.7\times10^{21}$ | 0.170 | 晏同珍，1976<br>方玉树，1992 |
| 西勒山 | 5 | 中国 | 一般山区 | 1983 年 | 黄土泥岩 | $5.0\times10^7$ | 300 | 1 600 | 82 | $2.4\times10^{14}$ | 0.187 | 方玉树，1992 |
| 戈尔多 (Goldau) | 6 | 瑞士 | 一般山区 | 1806 年 | 沥青泥灰岩 | $3.75\times10^7$ | 400 | 2 040 | 320 | $2.5\times10^{14}$ | 0.20 | 海姆(Heim)，1919 |
| 富兰克 (Frank) | 7 | 加拿大 | 一般山区 | 1935 年 | 碳酸盐岩 | $3.1\times10^7$ | 760 | 3 500 | 608 | $3.2\times10^{14}$ | 0.22 | 克鲁登等 1978 |
| Flims | 8 | 瑞士 | 顺层 | 更新世早期/武木间冰期 | 泥质灰岩 | $1.2\times10^{10}$ | 1 540 | 12 000 | 1 000 | $6.79\times10^{13}$ | 0.13 | A. Heim，1921<br>T. Z. Yan，1985 |
| 龙羊 | 9 | 中国 | 一般山区 | 3000 年前至 1300 年前 | 半成岩 ($Q_{1-2}$) 粘性土、砂性土 $CaCO_3$ 胶结 | $8.5\times10^7$ | 340 | 1 700 | 200 | $3.4\times10^{14}$ | 0.20 | 晏同珍，1976<br>方玉树，1992 |
| 禄劝 | 10 | 中国 | 一般山区 | 1965 年 | 玄武岩 | $2.5\times10^8$ | 1 000 | 6 000 | 800 | $1.0\times10^{15}$ | 0.17 | 谷振德，1979<br>武汉岩土所，1981 |
| 汪什科 | 11 | 中国 | 一般山区 | 史前 | 粘性土、砂性土 | $1.2\times10^8$ | 400 | 2 250 | 320 | $6.0\times10^{14}$ | 0.18 | 方玉树，1992 |
| 查纳 | 12 | 中国 | 一般山区 | 1943 年 | 粘性土、砂性土同(9) | $1.6\times10^8$ | 465 | 3 359 | 210 | $1.2\times10^{15}$ | 0.14 | 晏同珍，1976<br>方玉树，1992 |
| 阿波罗 17 号 (Apollo 17) | 13 | 月球 | | | 月岩 | $2.0\times10^8$ | <1980 估 1600 | 9 900 | 1 280 | $1.6\times10^{15}$ | 0.16 | 哈瓦尔德，1973 |
| 黑鹰 (Blackhawk) | 14 | 美国 | 一般山区 | 史前 | 大理岩、片麻岩、砂岩 | $2.8\times10^8$ | 1 220 | 9 144 | 976 | $6.8\times10^{15}$ | 0.13 | 谢德格尔，1973 |
| 圣海伦斯 (St. Helens) | 15 | 美国 | 火山区 | 1980 年 | 英安岩、辉石安山岩、橄榄玄武岩、水、气、冰 | $2.8\times10^9$ | 2 070 | 23 000 | 1 656 | $1.3\times10^{17}$ | 0.09 | 可依特，(Coight) 1983 |
| 赛德马雷 (Saidmareh) | 16 | 伊朗 | 一般山区 | 史前 | 硫酸盐岩 | $2.0\times10^{10}$ | 1 320 | 16 500 | 1 056 | $4.9\times10^{17}$ | 0.08 | 马杰 (Mudge)，1965<br>可依特等，1978 |
| 戴恩·格拉路斯 (Deyen Glarus) | 17 | 瑞士 | 一般山区 | | 灰岩 | $8.0\times10^8$ | 594 | 5 400 | 475 | $8.8\times10^{15}$ | 0.11 | 海姆，1919<br>晏同珍，1985 |

续表 0-1

| 滑坡名称 | 序号 | 所在国或星球 | 环境 | 时代 | 岩性 | 体积 ($m^3$) | 最大垂直距离 (m) | 最大水平距离 (m) | 落高 (m) | 总能量 (J) | 总坡率 | 资料来源 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 崔俄可夫斯基 (Tsiakovsky) | 18 | 月球 | | | 月岩 | $1.2\times10^{15}$ | 420 | 7 000 | 336 | $1.4\times10^{19}$ | 0.06 | 盖斯特 (Guest), 1971 |
| 冈吉斯-查斯玛 (Gangis Chasma) | 19 | 火星 | | | 火岩 | $1.0\times10^{14}$ | 2 000 | 60 000 | 1 600 | $1.5\times10^{18}$ | 0.03 | 鲁奇塔 (Lucchitta), 1978 |
| 新滩 | 20 | 中国 | 长江三峡 | 1985 年 | 页岩、砂岩、石灰岩崩积-坡积物 | $3.2\times10^{7}$ | 840 | 2 450 | | | 0.34 | 晏同珍, 1988 骆培云等, 1985 |

与系统演化的全部动态变量的各种痕迹或前兆，用以预测易滑动系统发展趋势。然而实践中，若非线性动力学系统建模参量选取是以易滑动理论为基础加以确定时，易滑动理论与非线性动力学系统预测结果可望达到统一。从这一特点看，非线性动力学系统研究成为易滑动理论的一种重要研究方法。

基于易滑动理论，笔者曾于新滩滑坡发生前两年预测到该滑坡系统的不稳定性：1983 年 5 月 26 日至 31 日笔者参加湖北省科委受省政府委托在宜昌组织召开的“新滩黄崖地区稳定性调查研究报告评审会议”，应邀出席的有长江流域规划办公室、水电部以及省属有关单位和高校、科研单位的专家。经现场踏勘后讨论，出现两派意见：一为小滑坡无大滑可能；二为上下两部分是整体大滑坡，泉水流量及其物理变化有异常（水化学场测定数据少，未予总结），不能排除其大滑可能性。笔者及夏其发、骆培云主张后者，于远忠等大力支持。两年零 12 天后不幸言中。所幸是因两种意见对立，争论激烈，会议建议启用三峡工程中新滩镇之移民费，于就近设计库水位高程之上建新舍，为 1985 年大滑坡前新滩镇居民迁新居创造了条件。所以言中，就在于捕捉到参与趋近临界状态的复杂易滑坡系统的全部动态参量中的关键“痕迹”——泉水流量及物理特征异常。周翠英博士等从非线性动力学观点出发，以滑坡时间序列数据，包括位移、应力和地下水流量三类参量为基础，研究该易滑动系统相空间及其吸引子动力学特征，基于建立的非线性动力学模型预测新滩滑坡确定性时间尺度，得到可预测时限为 1.8 年即 1 年 10 个月。与前述 2 年零 12 天较接近。由此可见，易滑动理论与非线性动力学研究达到统一。据全球部分巨型滑坡统计资料知，其斜坡架空率均甚低，一般不超过 10°甚或为反倾，这是不能为高势能物理机制所驱动的；而在易滑动理论中引入化学能量概念，问题则可迎刃而解。因此易滑动理论特别强调化学势能作用，这与以往包括非线性动力学的物理学分析是有区别的。有关易滑动系统化学势能作用机理仍是未来若干年滑坡学研究的重点课题。

对于滑坡的预测及防灾，广义而言，它必须首先基于监测。岩崩、滑坡监测与分析在文献中得到很好论证，预测及动力学分析研究尚待后继，即其非线性动力学物理数学模型尚待研究。对某单一点或若干点预测也许并不“成熟”。就某工程区域而言，某区划性观测必须先行，其空间区划图比例尺可采用 1∶5 万或 1∶1 万～1∶20 万。《全球降水与气候变迁》中强调，全球气温上升，大气候变迁对于降水分布也可能发生作用。此种变迁已由古气候学研究记录下来。监测及预测气候尺度的降水演化之各种方法已由古气候学者、水文学者及卫星气

象学者和气候建模学者做过评论。未来大气降水会增加，滑坡山崩会越来越多。

对付一切灾害都应以防为主，以治为辅，要把防灾意识强化到工程实践的各个环节之中，从重大工程的选址、铁路选线、开挖方案选择、适当保护措施的实施到长期的水、土、植被管理，都不可离开以防为主的策略。

治理虽然体现了人类在自然灾害面前主观能动性的提高，但经济代价沉重。以 1995 年 6 月 10 日湖北省巴东县新城区发生的滑坡为例，滑坡面积仅数千平方米，方量也只数万方，却造成 5 人丧生，7 人受伤，直接经济损失严重。而滑坡发生的主要原因是生活污水排放未管理好。

治理滑坡的方法，简言之：提高阻抗力和降低驱动力。须着重提两点：一是要把重点放在排水上；二是要注意岩土的易风化矿物组合。对易风化岩土的斜坡，及时采取坡面防护措施乃属极其必要。其方法主要有铺草皮、填塞裂隙、喷浆抹面，以减缓风化作用的进程。对待某些潜在现实的巨型移动体，则宜在斜坡稳定性的空、时预测基础上，做出选择工程场地或轴线的绕避方案。由于斜坡变形破坏的机理不同，故其加固的原理方法措施也可能各异，针对其机理予以相应的加固或防治措施，有待下一步展开研究。

合著者

1998 年 10 月

# 目　录


绪　论　滑坡基本概念与演化律 …… (1)
第一章　勘察滑坡学 …… (5)
　第一节　概述 …… (5)
　第二节　滑坡术语 …… (6)
　第三节　滑坡的野外鉴别 …… (9)
　第四节　滑坡勘察 …… (14)
　第五节　滑坡试验 …… (24)
　第六节　滑坡动态监测 …… (31)
　第七节　滑坡遥感技术的应用 …… (35)
第二章　防治滑坡学 …… (39)
　第一节　概述 …… (39)
　第二节　滑坡防治及预防处理工程 …… (42)
　第三节　滑坡预防工程——垂直钻孔群排水 …… (48)
　第四节　滑坡治理理论 …… (51)
　第五节　滑坡治理工程 …… (58)
第三章　预测滑坡学 …… (83)
　第一节　滑坡时空预测的基础 …… (83)
　第二节　滑坡时空预测理论 …… (98)
第四章　理论滑坡学（一） …… (121)
　第一节　滑坡构造力学 …… (121)
　第二节　滑坡机理 …… (128)
　第三节　易滑动理论与高势能滑坡 …… (135)
　第四节　滑坡分类 …… (136)
第五章　理论滑坡学（二） …… (143)
　第一节　概述 …… (143)
　第二节　斜坡岩体形变与应力场的宏观特征 …… (144)
　第三节　孕破（滑）源形变特征与古应力场微观研究 …… (149)
　第四节　斜坡岩体孕破（滑）源机理的岩石力学试验论证 …… (155)
　第五节　斜坡岩体孕破（滑）源机理预测研究 …… (163)
　第六节　应用实例 …… (165)
　第七节　结论 …… (172)
第六章　理论滑坡学（三） …… (174)
　第一节　概述 …… (174)
　第二节　易滑坡地层和地质构造 …… (175)
　第三节　错落性质 …… (187)

第七章　区域滑坡学……（190）
第一节　区域滑坡动力学规律……（190）
第二节　区域滑坡学分析……（198）
第三节　滑坡丛集性与再生性……（208）
主要参考文献……（222）



此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

# 绪论　滑坡基本概念与演化律

## 一、若干名词术语和概念

为了便于问题讨论，在此对几个重要名词术语和概念加以理解实属必要。

1. 滑坡（Slide，Slip，Landslide）

凡岩土体依附于其自身软弱结构面（带）作水平位移分量较大的斜坡移动现象，包括其过程和结果，可视其为滑坡。我们约定还应具有“相当规模”，即指运用现代施工机具与方法难以将其滑体全部剥离或剥离时影响其周围斜坡向不稳定方向发展。

2. 滑动（Sliding）

移动体依附面（带）及位移特点与滑坡大体类似，但规模却较小，易于廉价清除且不影响其周围斜坡稳定状态。但“滑动”有时也用以说明滑坡位移动态。

3. 错落（Quasislide，Quasiglide）

相当于“假”、“类”或“准”滑坡，它与滑坡的区别是移动体底界并不存在明显连续的滑面或滑动带，且其垂直位移分量较大。其发生条件往往是动体为松弛、风化或倾倒岩土巨厚块体，底界为相对软弱或坚实地层或其中具不同成因的天然、人为孔洞（如可溶岩土的溶蚀孔洞、有机岩自燃残留孔洞以及隧洞等）。这是一种与滑坡极易混淆的独立块体移动类型。但是，在一定条件下错落有可能演化为滑坡。

4. “软弱”地质结构带（Weak geostructural band）

指地质体结构面之间所包含不同成因的相对软弱带或薄层，如风化充填的泥质薄层，沉积成因的有机质、膏盐质、泥灰质、粘土质及砂质夹层，构造运动成因的层间错动带、断层泥、糜棱岩、碎屑带，蚀变成因的粘土夹层、铁镁质细脉以及滑坡滑动带，等等。当这些带或薄夹层的厚度接近于零时，就是我们所熟知的地质结构面。适宜产状的地质结构面（带）是各类滑坡发生的重要条件。

5. 人工结构面（带）（Artificial structural surface or band）

指人工土（如矿山弃、排土，道路、水工填筑土等）内部不同成分、结构，不同密实度的接触面（带）或其底面与天然斜坡地表面（或稍加人工处理）的接触带。这种结构面（带）的成因主要是人为的，但反而并不为人们所意识、所重视，只有当人工土发生相当规模且有工程意义的“破坏”时，人们才不得不回头去做检验性研究，了解该土的成分、结构、夯填密度、含水量、边坡率以及基底处理验算方法是否合理，等等。显然，人工堆弃土虽未加夯填，但由于其自身重力的沉落压实作用，仍可形成不同深度的类层状结构。

采用快速施工法卸除地面岩土而导致其斜坡地质体内形成的卸荷裂隙面及其回弹下限面（带），以及爆炸影响半径的底界面，也可视其为人工结构面（带）。但这种面（带）常可与地质体内先存的某些结构面（带）相一致，亦易为人们所忽略。人工结构面（带）也是其相应岩土斜坡发生滑坡的重要条件。

6. 风化面（Weathering surface）

指风化壳或岩土体内部不同风化程度和深度的分界面或其与未风化岩土之间的分界底面。分界面确定的依据常常采用物理指标，但矿物蚀变及地下水化学指标也许能更好地配合说明不同界面的确切位置与相应的潜在滑动面。

7. 滑坡地层或易滑地层（Strata prone to slide）

指常见的主要易于形成滑坡的特定地层及其岩土体组合。滑坡地层考虑了天然岩土体共生组合特征，包含有软弱结构面（带）、人工结构面（带）、风化面（带）等。

8. 剥蚀基面（Basic level of denudation）

指自然界沟谷、河流侵蚀、湖海磨蚀、地下水溶蚀以及其他类型的基准面。此处我们约定用以专指滑坡发生时，当时当地剥蚀基面之高程，以别于地貌学中所指的入海河流理论最终侵蚀基准面、最低溶蚀面等。剥蚀基面是控制自然滑坡的底界面。

9. 人工基准面（Artificial base level）

指临时、短期或长期使用的不同工程基底设计施工高程面。如矿山露采边帮阶段台阶面及最终境界高程面；道路路基面、堆填土的底界面、渠道底面以及水库各阶段的设计回水面等。人工基准面是当今“工程滑坡”之底界面。例如设计回水面是水库潜在滑坡的底界面。

10. 滑坡基准面（Base level of slide）

指滑坡前缘滑出口的平均高程面。滑坡基准面一般不可能低于剥蚀基面或人工基准面。

上述名词术语，可在国内外有关文献中见到，并广泛引用。但因理解不同，使用紊乱，对比不便，故此提出加以共同理解并限定其含义。这里的理解与前人稍有不同，但只要无损于原有基本含义，应视其为可取。有的术语在文献中未见提及，这里提出乃基于需要。据报导，当今人类采矿及线状工程建设，其搬运及堆积岩土能力已可与现代河流搬运及沉积作用相比拟。世界范围统计资料表明：高达70%的滑坡不同程度地与人类工程经济活动有关（R.K. 巴兰丁，1978）。我国某些滑坡集中发生区段，概略统计表明，五六十年代人工引起的滑坡竟达其总体的80%以上，且往往是由于勘测设计过程中未予揭示，而于施工期导致非初生（老、古）滑坡的“复活”。可见人工活动介入后，滑坡发生和演化的自然规律已大为改观，速率已大多加快。显然，岩土可变性，其强度衰减性是其结构面、裂隙度和矿物性质以及其暴露面的函数。在适宜的地温、地压或常温常压下，通过在裂隙、结构面间运移的地下水溶液及气体化学作用而使某些造岩矿物蚀变、风化，转变为次生粘土矿物，结构面（带）强度因而降低，最终导致斜坡趋向于不稳定。因而，适当引入并建立人工基准面、人工结构带及滑坡地层概念是必要的。

## 二、滑坡发生和演化及其地貌形态特征与基本规律

我们在此只概略讨论滑坡发生和演化及其地貌特征与基本规律的某些主要方面。

### （一）滑坡发生及其地貌

1. 天然初生滑坡或次生滑坡

如果组成斜坡的地层或岩土体，存在产状适宜的软弱结构面（带）或风化面，而剥蚀基面或人工基准面与这些地质结构面（带）的高程接近或一致，在当地地表水流、地下水流冲蚀、磨蚀、潜蚀、溶蚀作用的影响下，就有可能产生天然初生滑坡或次生滑坡，特别是顺层面滑坡。初生滑坡的地貌特征为人所共知：圈椅形，前缘伸出于低洼处或水体中，边岸线凸入水体，或使得河流过水断面宽度压缩，甚至在河谷纵剖面上形成不正常“裂点”或跌水。后

缘滑壁和滑坡台地等一系列滑坡要素明显，且与当地地质构造断崖和河成或其他成因阶地的位置和高程不相称。

如果这种软弱结构面（带）或风化面连续很长，将有可能在河流或湖、海岸边形成条带状分布的自然滑坡群。例如黄河龙羊峡上游拉平至曲沟河段右岸的新、老、古巨型滑坡群，通过卫片立体像对的镜下观察，即可发现其中之一是查纳滑坡地貌特征，可以通过航片立体像对予以判读。

2. 工程滑坡

如果上述软弱结构面、带与人工基准面接近或一致，将可能在该基准面上形成一系列工程滑坡及次生滑坡。例如铁路路基面附近滑坡群（如葡萄园近区、阳平关近区等）；露天煤矿的滑坡群（如东北某露采边帮、陕西某露采的非工作帮以及云南小龙潭褐煤露采边帮及希腊褐煤露采边帮等）。

3. 人工岩土滑坡系列

如果人工结构带与某种侵蚀基准面或人工基准面接近，则有可能形成人工岩土滑坡系列，如路堤滑坡，水库路堤或土坝滑坡等。

初生滑坡易于识别，但却难以预测；非初生滑坡则相反，即不易于识别，但其演变却能遵守特定的规律。

**（二）滑坡演化及其地貌形态特征**

非初生滑坡由于经历过较长时段的剥蚀夷平与堆积演化，故其原有诸要素均有不同程度的“退化”，例如，滑坡壁变得低缓、周界不清等。不过我们仍可据其某些关键要素加以详查，论证非初生滑坡是否存在。

1. 双沟同源

即坡面水流追踪原滑坡左右侧周界裂缝或剪裂带作自下而上向源侵蚀，发育而形成的冲沟，其两冲沟源头于滑壁下侧陷落洼地处会合之谓。表流之所以能沿原滑坡左右侧集中发育成冲沟，并于洼地会合，乃基于左右侧周界裂缝及后界均为扰动岩土与滑床接触的薄弱带，易于冲蚀成沟谷。双沟同源是非初生滑坡的一个重要且较广泛的地貌特征。但是，由于滑坡形成时间早迟不一，其两侧岩土扰动破碎程度各异，双沟发育程度往往并不相同。例如一沟已到源，而另一沟尚未到源，或双沟距“源”尚有不同的小距离，等等。室内判读双沟同源的滑坡地貌，可借助于精度较高的地形等高线图。

2. 断头沟

冲沟沿滑坡前缘之放射状直立裂缝发育，其源头于滑体中上部遇较密实岩土或滑壁而骤然中断之谓。此种断头沟可以是一条或数条，大体向滑壁方向收敛或相互平行。断头沟也可以与同源双沟共生。

3. 滑坡台阶

由于滑面倾斜缓、陡不一，滑速不同，滑坡移动过程中造成滑体之内的平台和陡坎。这种台阶的数量、高程及其长度和宽度，多取决于滑坡的规模大小，且与当地不同成因的阶地显然不协调，难以对比。

4. 通过室内地形等高线图读图，可以判断预定工作区的某些重要地貌特征，而解译出滑坡个体或群体分布概略轮廓

此种读图若能配合适当比例尺的航片判读及必须的实地调查验证，则可收到较好的效果。原有滑坡演化及其形态特征的判读与识别，其意义在于避免人工开发利用时的盲目性，造成

次生滑坡或整体复活。

### （三）滑坡分解及其地貌形态特征

滑坡分解是滑坡进一步演化的结果，亦即滑坡退化与消亡的趋向，例如对应于高阶地侵蚀、磨蚀期形成的古滑坡可以剥蚀殆尽，而其残留体反映出滑床的凹陷形态，貌似冰斗。但是其演化过程则相当复杂。

#### 1. 分解基础

分解基础是上述断头沟、同源双沟、台阶裂缝以及初生、次生滑坡的块断作用。次生滑坡的滑动主轴可以与原滑坡轴一致，也可与其成各种角度相交。滑坡轴代表滑坡体总位移的合力或轨迹线，一般是顺其位移方向找出一最高点和最低点连结成一直线求得。不过滑坡轴线往往并非直线，故宜采用向量几何作图法求得。可参见勘测滑坡学有关部分。

#### 2. 趋向与规律

滑坡分解由初生次生滑坡的多次活动所完成。在新构造上升运动显著及河谷、沟谷剧烈下切的地区，常于初生滑坡上再生一个或多个次生滑坡。当次生滑坡将原滑坡轴或某些主要素加以改变，并使后者分裂成若干块断时，即达到原滑坡的分割解体。在一定自然条件下，单一个体滑坡有分解为非单一的多个滑动块体的趋势；人工作用的影响也可具同等效应。故在适宜条件下，滑坡分解是某些滑坡地质体演化的基本趋向或规律。其分解的基本条件除易滑地层包括其中的软弱结构带在剖面上有足够厚度和数量外，尚需有滑坡体侧及前缘侵蚀基准面的断续变化或人工基准面的存在。

#### 3. 滑坡分解的地貌特征

滑坡分解的地貌形态可以典型化图表示出。某古滑坡发生于更新世末期，于全新世初由于河流的侧向侵蚀而产生次生滑坡Ⅱ，于近代由于体侧冲沟下切又出现次生滑坡Ⅲ，由于近年前缘开挖而复活，产生向人工基准面形成的临空对滑的次生滑坡Ⅳ。其演化过程可以看出具有先后四次滑动与相对稳定的旋回期，而使得滑坡结构及其地貌特征复杂化。

#### 4. 意义

滑坡演化和分解乃至消亡作用，不仅可在土体滑坡而且也可在岩体滑坡中进行。滑坡分解的工程意义是可利用其各部分块体分化特征，将原有大滑坡分而治之。

### （四）滑坡反向演化及其地貌形态特征

滑坡反向演化即滑坡的逐步后退式或左右式发展，亦即滑坡的包容、联合与扩大。

#### 1. 后退式反向演化

熟知的后退式或牵引式滑坡是滑坡逆滑向退却扩大的简单形式，其后缘裂缝及滑壁台坎发展次序是由低向高越来越新。这种反向演化速率往往迅速，不长时段即可完成。

#### 2. 多向式反向演化

正交于滑向、向原滑坡左、右侧发展的横向形式以及兼有横向形式和纵向形式的反向演化，则少为人们所重视。演化基础是古侵蚀期的古滑坡，与现代剥蚀基面或人工基准面不一定有直接关系，但与其坡体水文地质结构及地下水动态关系较明显。其地貌特征是古滑坡体为新扩大的滑坡体的组成部分，新、古滑坡壁等的形态要素均以新、旧两套平行配置。

#### 3. 意义

滑坡反向演化是某些滑坡的发展演进规律，自然及人为作用均可使之激发。这种演进规律告诉人们，对于某些已有的“小滑坡”不可等闲视之。

# 第一章　勘察滑坡学

## 第一节　概　述

滑坡是山体变形中数量多、规模大、危害严重、性质比较复杂而又具有一定规律性的自然地质灾害。滑坡产生于特定的地质环境，是在以重力为主的自然营力作用下或在人类工程活动影响下发生发展的斜坡变形运动。滑坡产生后将在地表形成环状后壁、台阶、垄状前缘等特定的滑坡构造形迹和滑坡地貌。正确认识滑坡的发生发展规律和内外影响因素，对滑坡防治有重要的意义。勘察滑坡学的目的在于正确查明滑坡的要素、性质、类型和范围，滑动产生的条件及成因，滑坡的历史、现状及将来的发展趋势，为滑坡稳定性评价和滑坡防治工程设计提供可靠的依据。

滑坡也是斜坡地貌演变的一种动力表现，它具有独特的地貌特征和发育演变过程，在不同的发育阶段又有不同的外貌和滑坡构造形迹。滑坡的发育过程受滑坡区的地层岩性和岩体构造格架的控制。外貌形态是滑坡的外在表现。因此，在滑坡区进行地质调查和测绘，根据滑坡的外貌形态和滑坡构造正确识别滑坡，是滑坡勘察的首要任务。

滑坡发育地区或潜在滑坡地区的工程地质测绘，除了用以研究滑坡发生地点分布特征外，还直接为工程建设选址和斜坡稳定性分析服务。反映环境条件的工程地质测绘图件主要包括如下内容：岩土体的工程性质、水文地质条件、地貌条件以及动力地质现象。对于滑坡地区而言，重点应该是反映某些与工程密切相关的自然动力地质现象，例如活动性断层、潜在滑坡、泥石流等。

滑坡的发生发展与地下水的活动有着密切的关系。特别是一些大型滑坡，地下水非常丰富，构成滑坡活动的主要因素。因此在滑坡勘察中要重视滑坡区水文地质条件的调查，要着重查明滑坡体内地下水的埋藏和排泄条件。在地下水排泄不良时，会造成滑动带附近地下水动水压力的积蓄，从而导致滑坡运动。

滑坡勘察中使用的一般技术和手段，与其他工程地质问题的勘察是相同的。现代科学技术的发展更新，为滑坡勘察提供了更多行之有效的新方法手段，地球物理勘探技术与钻探的有机结合，可以进行三维空间的综合分析，为滑坡防治提供全方位的信息，并可缩短勘探周期，节省勘探费用。

滑坡监测的主要目的是为了了解滑坡的发生演变的动态过程，及时捕捉临滑特征信息，为滑坡稳定性分析和预测预报提供准确可靠的依据；同时监测结果也可以用来检验防治工程的效果。随着电子技术和计算机技术的发展，近十年来国内外的滑坡监测技术和监测仪器设备不断发展与完善，监测内容更加丰富。GPS 全球定位系统、近景摄影测量、自动遥测技术、地音监测技术的应用，使斜坡变形监测已发展到一个相当高的水平。

一般滑坡都具有移动量大和多次滑动的特点，滑带土的原状结构因剪切变形已受扰动破

坏，因此滑带土的残余强度值对滑坡稳定性评价和防治工程设计有重要影响。室内各种试验方法和原位剪切试验方法的选择，必须根据滑坡的性质、滑带土的结构、滑坡目前的稳定状态和今后的发展趋势来决定，以便尽量模拟滑坡的实际状态。

利用遥感技术可以不直接接触目标而收集信息，进行滑坡识别、分类和判释，这对于穿越和通视条件较差的地区是一种有效的测绘手段。应用遥感拍摄的航片，能客观地反映滑坡体的光学和几何特征，并可提供在一定深度下的某些透视信息。航片是滑坡表层景观现象的综合缩影。滑坡在地貌上有明显特征，由于山坡地形突然变凹，在色调上有明显差异，可以直接从航片上判释，对滑坡进行区域性工程地质测绘和专门问题研究时，应充分利用航空像片和卫星像片等遥感影像资料进行判释，以减少野外工作量和提高图件质量。在有条件时，应搜集不同时期的航片进行对比分析，以便了解其发展变化。

## 第二节　滑坡术语

从地质灾害的角度来看，滑坡给世界各国带来的损失可能仅次于地震。在欧洲的阿尔卑斯山系国家，如意大利、奥地利、瑞士、捷克、斯洛伐克以及英国和俄罗斯，都是滑坡灾害比较严重的国家。在南北美洲，美国、加拿大、智利等国滑坡分布也很广泛。在亚洲，日本、印度和中国都是滑坡比较多的国家。这些国家的工程地质学家在滑坡防治的研究领域进行了大量的工作，取得了丰硕的成果。为了使各国的滑坡研究工作者之间便于进行交流，联合国教科文组织（UNESCO，1990，1991，1993）世界滑坡工作组以英文为基础，制定了英、汉、法、德、西（班牙）、俄六国文字的统一滑坡术语。这些滑坡术语是滑坡报告和有关滑坡的运动速度、成因、地质条件、活动性等研究中使用的基本术语。多国文字滑坡术语汇编最近也由加拿大 BITECH 出版公司正式出版。国际统一的滑坡术语可分为两类：一类涉及滑坡运动特征；另一类涉及滑坡特征的度量。现将有关的滑坡术语简列如下。

1. 滑坡特征（图 1-1）

（1）冠（Crown）：邻近主断壁最高处仍停留于原地的未滑动体。

（2）主断壁（Main scarp）：在滑坡上缘由于滑体脱离未扰动体而形成的一个陡壁。

（3）顶（Top）：滑移体和主断壁之间的最高接触点。

（4）头（Head）：沿滑移体和主断壁间接触部位的滑坡上部。

（5）次断壁（Minor scarp）：由于滑体内差异运动在滑移体上形成的陡壁。

（6）主滑体（Main body）：覆盖在主断壁和破坏面趾之间的滑移体部分。

（7）足（foot）：滑越破坏面趾并覆盖在原始地面上的滑坡部分。

（8）趾尖（Tip）：滑坡趾距滑坡顶最远的点。

（9）趾（Toe）：滑移体下部距主断壁最远的曲线状边缘。

（10）破坏面（Surface of rupture）：滑移体之下的主断壁面的延伸部分。

（11）破坏面趾（Toe of surface of rupture）：破坏面下部与原始地面的交线（有时被覆盖）。

（12）滑覆面（Surface of separation）：原始地面被滑坡足所覆盖的部分。

（13）滑移体（Displaced material）：由于滑坡运动从边坡的原始位置滑移了的物质。

（14）减损带（Zone of depletion）：滑移体位于原始地面之下的区域。

（15）加积带（Zone of accumulation）：滑移体位于原始地面之上的区域。

（16）减损坳陷（Depletion）：由主断壁、减损体和原始地面所界定的空间体积。



此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com