

滑坡

LANDSLIDE ANALYSIS AND CONTROL

分析与防治

四川省地理学会滑坡专业委员会

中国科学院成都地理研究所

科学技术文献出版社重庆分社

LANDSLIDE ANALYSIS AND CONTROL

滑 坡 分 析 与 防 治

四川省地理学会滑坡专业委员会
中国科学院成都地理研究所

科学技术文献出版社重庆分社

前 言

滑坡是一种重要的、常见的山地灾害；它常危及人民生命财产和各项建设事业的安全。为了认识和征服这种灾害，我国的广大科技人员对滑坡的基本特征，形成机理，运动规律，力学机制，预防治理和预测预报开展了积极、广泛的研究。同时他们迫切希望有个学术团体把大家组织起来，希望有个讲坛供他们进行学术交流，希望有个学术刊物供他们发表论著和经验。顺应这种要求，1982年3月成立了四川省地理学会滑坡专业委员会；并继第一次滑坡学术讨论会后，又于1983年元月召开了“四川省滑坡研究及防治经验交流会”。会议决定出版本文集，并约请成都地质学院张倬元、王士天，铁道部第二勘测设计院吴宗俭，西南交通大学胡厚田，中国科学院成都地理研究所丁锡祉、唐邦兴、卢鑫猷、陈自生、王录杰组成文集编审组。由四川省地理学会滑坡专业委员会和中国科学院成都地理研究所编辑、出版。

本文集共收论文29篇。为利于国际学术交流、除简短摘要外，多数论文均附英文摘要。刊出的论文大致分为两类：前一部分系具有普遍意义的理论、方法的论述；后一部分属具体滑坡点（区）的研究成果。前者涉及滑坡分类、边坡失稳模型、滑坡学理论、滑坡计算、滑坡前兆和遥感在滑坡调查中的应用。后者涉及洒勒山滑坡、渡口地区滑坡、川东暴雨滑坡、渠道滑坡和膨胀土滑坡等。

展现在我国滑坡研究、防治工作者面前的是一派生机勃勃的前景。只要我们善于总结以往的、国内外的经验和教训，加上我们不懈的努力，我们不仅有可能及时、准确地判定滑坡，而且能有效地进行防治，预测其发生的地点，预报发生的时间；一整套滑坡理论也将逐渐形成，臻于完善。我们深信，通过我国广大科技人员的共同努力，滑坡研究必然会在四化建设中发挥十分积极的作用。

文集中疏漏之处，请批评指正。

四川省地理学会滑坡专业委员会
中国科学院成都地理研究所

一九八三年十月

目 录

积极发挥滑坡专业委员会的作用	丁锡祉 (1)
斜坡岩土变形	徐邦栋 (7)
边坡稳定性研究的新课题	孙玉科 姚宝魁 (11)
滑坡学及其基本研究课题	陈自生 卢鑫樾 (24)
论滑坡时代分类与滑动历史分类	卢鑫樾 (32)
Ti—59计算器滑坡计算程序	刘树义 (40)
关于在滑坡检算中运用“反算法”的研究	吴宏祉 吴宗俭 (54)
遥感图象在滑坡调查中的应用	王治华 (61)
滑前宏观征兆的初步分析与研究	李介成 蒋能强 (66)
层状岩体边坡失稳的探讨	范继舜 (68)
东乡县洒勒山山体滑动分析	徐邦栋 (69)
西乡路堑滑坡膨胀土抗剪强度试验和指标选择的研究	赵文秀 韩会增 (77)
武都滑坡滑带特征及滑面强度	曲 焰 (87)
渡口地区滑坡调查和防治经验总结	朱桐浩 朱成豪 于锁龙 林振湖 (96)
渡口工业区昔格达组地层滑坡的特点及其整治	林振湖 (106)
渡口市某变电所滑坡特点和成因	林振湖 朱成豪 (112)
云阳县暴雨滑坡初探	王天国 刘庆培 王麟祥 (113)
云阳“82.7”暴雨与长江鸡扒子滑坡	王大郁 (123)
四川忠县“82.7”暴雨滑坡总结	肖文举 (125)
沙岭滑坡的基本特征与成因	刘兴德 (129)
狮子山滑坡群和宝鸡峡壩边渠道滑坡成因机制初探	卢鑫樾 (130)
龙泉山两翼渠道滑坡特征	冯锦华 (135)
浅析都江堰灌区的滑坡及防治对策	王成华 (144)
绵阳经编针织厂滑坡勘察与治理	周泽葛 申 彪 (152)
6901油库滑坡土力学机理浅析	张绳先 (157)
重庆凉亭变电站滑坡的长期观测与整治	范仲全 宋福林 (159)
重庆市教门厅滑坡简介	孙光明 郭唐仁 (163)
丰都庙大桥山侧滑坡	姚一江 谢修齐 杨代茂 (165)
当前滑坡研究中的几个实际问题及其解决途径维议	卢鑫樾 (167)

积极发挥滑坡专业委员会的作用*

丁 锡 社

(中国科学院成都地理研究所)

四川省地理学会滑坡专业委员会成立一年来,在促进我省滑坡研究和防治方面,在团结广大的滑坡科技人员方面都起了积极的作用。到目前为止,参加滑坡专业委员会的单位已有34个,会员人数达290人。去年3月举办了我省首届滑坡学术讨论会。今天,又举办了这次《滑坡研究及防治经验交流会》。参加这次学术交流会的有70个单位128位代表。此外,会议还特别邀请了兄弟省区(青、甘、陕、鄂、黔、皖、京等)有关单位的同志到会指导。我代表四川省地理学会、中国科学院成都地理研究所向与会的同志表示深切的谢意和热烈的欢迎。

(一)

滑坡和地震、火山喷发、台风以及特大洪灾一样,是一种自然灾害。一般说来,它往往是突发性的自然灾害。“滑坡”一词,在英美国家所指的含意比较广泛。它既包括快速的岩体(包括松散地层)的移动形式,也包括缓慢的块体移动类型。去年(1982年),我参加联合国教科文组织(UNESCO)在捷克斯洛伐克布拉格召开的“岩石圈保护”(Protetion of the Lithosphere and Component of the Environment)学术会议。在会上就讨论了“滑坡”的概念问题,但并没有得出完全一致的意见。我不知道我们这次会议(或者说滑坡专业委员会)对“滑坡”一词的含义作如何理解?当然,我们不求完全一致,但如果科学定义和含义上有不同的理解,则往往在科学讨论时容易发生不必要的争论。

另外,滑坡作为一种自然现象,有着漫长的发育历史。在许多古老的地层中都可以发现它们的踪迹。在人类的历史中,对滑坡的描述可以追溯到古代。在我国,史记和历代史书中均有滑坡的记载。不过当时人们头脑中关于滑坡的科学概念远远不如今天这样明确。因此,滑坡同崩塌、泥石流,甚至断层活动等均难以考证清楚。这在我们利用历史文献资料时,更须慎重对待。

从滑坡研究的历史来看,人们对滑坡的科学描述是同地质学、工程学、自然地理学的成长发展分不开的。大概到了十六世纪,人们才把滑坡作为一个单独的科学研究客体来描述。1512年,瑞士阿尔卑斯山区毕亚斯库镇附近的布伦诺(Breenno)河谷发生的大滑坡的灾害记载是滑坡研究历史上发现较早的一篇专门性的文献资料。

*本文系根据作者于1983年1月15日在《四川省滑坡研究及防治经验交流会》上的开幕词整理而成——编者按。

至今，被科学界公认的滑坡研究的最早的经典著作，是A. 海姆 (Heim) 于1882年发表的一篇关于瑞士阿尔卑斯山区的埃尔姆 (Elm) 附近的滑坡的文章。这一著名的滑坡，发生于1881年9月11日，是由于开采板岩而引起的。体积约1200万立方米的滑坡填塞了河谷。滑坡堆积体厚10—20米，垂直位移达610米，水平位移达1400米，移动速度为每小时160公里，复盖面积达0.6平方公里，毁坏了83所房屋，造成115人死亡。

由此看来，滑坡研究有一百年的发展历史。对滑坡的分类有了系统的研究。1938年，美国的C.F.S.夏普 (Sharpe) 总结了前人的论著。他根据滑坡的运动方式和运动速度、组成物质和含水比例对滑坡进行了综合分类。夏普把滑坡划分为缓慢流动、快速流动、滑动和沉陷四大类。去年在布拉格学术会议上讨论滑坡分类时，比较多数的科学家都同意美国科学家伐尔纳斯 (Varnes) 的分类法 (表1)。他的滑坡分类法就是夏普综合分类法的继续和发展。

表 1 斜坡移动的简略分类

运 动 类 型			物 质 类 型		
			基 岩	工 程 土	
				粗粒为主	细粒为主
崩 塌			岩石崩塌	碎屑崩塌	土 崩
堆 塌			岩石堆塌	碎屑堆塌	土 堆 塌
滑 动	转动型	少单元的	岩石转动型滑动	碎屑转动型滑动	土转动型滑动
	平移型		岩石块状滑动	碎屑块状滑动	土块滑动
			多单元的	岩石滑动	碎屑滑动
侧 向 扩 散			岩石扩散	碎屑扩散	土 扩 散
流 动			岩石流变 (深部蠕变)	碎 屑 流 (土体蠕变)	土 流
复 合 型			二类或更多类基本运动形式的复合		

引自 "Landslide Analysis and Control"

(二)

滑坡的分布很广泛。不仅可以发生在陆地，而且也可以发生在海洋底部。可以说，滑坡能够发生在世界上任何一个地方。

但滑坡也有一定的区域性分布规律，一般地说，要受下列因素的影响。

1. 构造和岩性因素。滑坡多发生在新构造运动区。新构造运动往往具有历史的继承性，因此，老的断裂带也很值得注意。此外，滑坡的分布状况受到易滑地层分布的控制 (表2)。

2. 地貌外营力因素。滑坡多发育在地貌外营力活跃地区。譬如陡坡、谷岸地区。地下水活动、气候状况、植被状况等都是影响滑坡分布的因素。

3. 诱发因素 (Triggering Mechanisms)。滑坡是坡地上的岩、土体滑动力 (Driving

Force) 胜过阻力 (*Resisting Force*) 的结果。因此, 突然性的大暴雨、人类的活动 (如水坝建筑、道路修建) 以及地震等因素都会促使滑坡的发生。

表 2 我国主要易滑地层及其与滑坡分布的关系

类 型	易 滑 地 层 名 称	主 要 分 布 地 区	滑坡发育情况
粘性土	成都粘土	成都平原	密 集
	下蜀粘土	长江中、下游	有一定数量
	红色粘土	中南、闽浙、晋西、陕北、河南	较密集
	黑色粘土	东 北	有一定数量
	新、老黄土	黄河中游、北方诸省	密 集
半成岩地层	共和组	青 海	极密集
	昔格达组	川 西	极密集
	杂色粘土岩	山 西	极密集
成岩地层	泥岩、砂页岩	西南地区、山西	密 集
	煤系地层	西南地区等地	密 集
	砂 板 岩	湖南、湖北、西藏、云南、四川等地	较密集—密集
	千 枚 岩	川西北、甘南等地	密集—极密集
	富含泥质 (或风化后富泥质) 的岩浆岩	福建等地	较密集
	其它富泥质地层	零散分布	较密集

我国四川地区就是滑坡主要分布区。四川省深受滑坡的危害。象变质岩系的滑坡、红色地层的滑坡、煤系地层的滑坡、昔格达半成岩地层的滑坡、成都粘土中的滑坡都有广泛的分布。此外, 由暴雨、地震所诱发的暴雨滑坡、地震滑坡的危害也十分严重。近两年来, 暴雨滑坡特别突出。如1981年夏季, 四川盆地西北部发生了数以万计的暴雨滑坡。1982年, 川东地区又发生了大量的暴雨滑坡。在这些地区, 滑坡作为暴雨洪水的伴生灾害, 大大加剧了灾情。1982年茂汶县周仓坪古滑坡局部复活, 几乎使岷江断流。云阳县鸡扒子滑坡体积达1000多万立方米, 其中仅有十分之一的滑坡体落入长江, 就阻碍了航运, 给经济建设带来了严重的损失。

许许多多滑坡的发生, 充分表明了摆在我们滑坡科技工作者面前的任务是艰巨而光荣的。这正是我们大有作为的场所。

由于近年来我国滑坡工作者的研究成果不断丰富, 逐渐引起了国际科学界的重视。

1980年1月14日, 联合国教科文组织 (*UNESCO*) 批准的一项岩石圈保护计划中, 要求编写《滑坡和泥石流》专著。1981年和1982年都召开了编写提纲的讨论会。预定1983年12月还要在莫斯科再次讨论。我们也参加了这项活动, 负责编写中国的滑坡和泥石流。这是一部国际权威著作, 用英、法、俄三种文字发表。

在同国际科学家的接触中, 我们发现: 他们, 特别是那些对我国友好的科学家, 都希望我们多发表一些文章, 尤其是用外文写的文章。在这里, 我建议把这次学术交流会的成果印

成专集，最好附上外文摘要，呈请有关领导机关批准，向国外发行，加强同国外的学术交流。

(三)

滑坡问题同社会主义建设的关系十分密切。例如：交通问题（铁路、公路、桥梁、航道整治等），我国的成昆铁路、宝成铁路，以及黄土高原上的交通线等等常因雨季而中断。此外，又如能源问题，水电站、采矿、石油及天然气管道等建设都会遇到滑坡。还有森林采伐，山坡利用等社会主义建设的先行项目都有滑坡的问题。当前，环境问题已成为世界性的问题。它已不再是单纯的污染问题，而是大自然的保护问题。我们要重视大自然的保护，而且要主动地保护大自然（*Environmental conservation*），不要被动地保护大自然（*Environmental protection*）。目前，滑坡问题已成为环境地貌学的一个组成部分。

全世界当前一个突出的问题是都市化（*Urbanization*）。国外有许多城市都存在滑坡问题。其中突出的有美国的洛杉矶、旧金山、南美洲的里约热内卢、中美洲的墨西哥城、日本的长崎、神户、横滨、中国的香港等地。国内的上海及其周围的长江三角洲、北京及黄淮海平原等都有滑坡问题。我们成都平原、四川盆地号称天府之国，都市群的出现要研究各种问题，其中也包括滑坡问题；例如万县市城区内的几处滑坡的出现就给万县市的发展带来一定的影响。

我国十分重视国土工作，1981年10月7日国务院正式批转了国家建委《关于开展国土整治工作的报告》。《报告》明确提出要开展考察、调查、综合考察和专题考察，摸清我国国土的状况、自然资源及其分布特点，作出科学的分析和评价，为开发、利用、治理、保护国土提供科学依据。我们滑坡工作者一定能够在国土规划和国土建设中作出应有的成果。

前面已经谈到，只有在认识自然的基础上才能谈到预测和防治。因此，滑坡的研究是在许多科学部门的密切协同下进行的。四川省地理学会成立滑坡专业委员会也就是这个目的。科学技术协会是各个学会的联合，而学会的特点就是能够把有关的专业力量自愿地组织起来，在党的领导下做出贡献。

学会的另一个重要任务就是做好科学普及工作，这是提高全民族文化水平的重要内容。今后一定要大力加强滑坡科技知识的普及工作，使滑坡研究及滑坡防治有一个更广泛、更扎实的群众基础。

(四)

滑坡的研究内容很丰富，一般地都要通过下列手段

1. 位移量测（地面变化和影响范围）
2. 地质测绘（组成物质和地质构造）
3. 滑动面判定（位置和形状）
4. 地下水调查（地下水分布及其与滑坡的关系等）
5. 土壤试验（滑动面[带]上的土壤物理性质和力学性质）
6. 水文调查（主要是降雨分布及强度和冰雪融化水，以及地表水同滑坡的关系）。

以上这些研究内容都要利用各种仪器设备，现在已有一批专门用于滑坡研究的仪器

世,有力地推动了滑坡科技水平的提高。也就是说,滑坡是一个复杂的客体。研究它需要多方面的知识,需要许多专业的密切配合,需要采用多种途径来进行专项的深入研究。研究的内容既包含诸如分布规律、形成机制、发育模式等理论性研究课题,同时也包括预测预报、量测技术和防治技术等应用性研究课题。这些课题都同四化建设有着直接的关系。

弄清了滑坡的成因,就可以采取预测预报和防治措施。同时也要科学地总结群众和实际工作中的经验,把它们从理论上加以深化是很重要的。滑坡的防治措施一般包括生物措施和工程措施两方面,采取这些措施要因地制宜。科学研究的任务就是要走在生产的前面,这也是我们这次学术交流会的内容。科学要按照本门学科的特点来为生产服务。

(五)

1982年,我应邀到日本去访问。参观了防灾研究所的滑坡研究室(M. Shima教授、K. Sassa教授和两位助教),他们每人都有各自的研究课题,年终有科学报告会。

在日本,政府部门设立滑坡研究机构的有:

1. 农、林、渔业部(省)——研究农田和林地的滑坡防治问题。
2. 建设部(省)——研究河流、公路、水坝、居民点(城镇、飞机场)所遇到的滑坡防治问题。
3. 国家铁道局——研究铁路,尤其是高架铁路、新干线建造中的滑坡防治问题。
4. 公路公司(全国性的)——研究高速公路建造中的滑坡防治问题。
5. 各级地方政府中也设立有滑坡研究机构。

日本研究滑坡的学术团体有:

1. 日本滑坡学会(*The Japan Society of Landslide*)。建立于1963年,现有会员1500多人,由地质学、地貌学、测量学、地球物理学、土木工程学、水土保持、森林、农业和其它有关滑坡的专家组成。他们来自科研单位、大专院校、国家机构或私人企业的顾问。该学会出版《滑坡》季刊等刊物,举办学术会议,组织讨论班和训练班,并参加国际学术活动。
2. 滑坡防治国家会议,由有关部门的行政负责人组成。
3. 森林保护研究协会(隶属森林保护局)为半官方组织。
4. 滑坡防治技术协议会。由有关技术单位组成。活动内容包括滑坡仪器设备的使用、修理、保护、制造等,属企业性质。

除此之外,从事滑坡研究的还有下列一些学会:

1. 日本地理学会
2. 日本地质学会
3. 日本测绘摄影学会
4. 水土保持工程学会
5. 土力学与基础工程学会
6. 日本地貌学会
7. 土木工程学会
8. 工程地质学会
9. 森林学会

(六)

以滑坡作为自己的研究对象的滑坡学正在兴起。它包含有一系列理论性研究课题和应用性研究课题。只要我们遵照“必须加强应用科学的研究,重视基础科学的研究,并且组织各方面的力量对关键性的科研项目进行攻关”的方针去办,就一定能够开创出一个滑坡研究的新局面。在这中间,我们的滑坡专业委员会必将发挥越来越大的促进作用。

“从1981年到本世纪末的20年,我国经济建设总的奋斗目标是,在不断提高经济效益的前提下,力争使全国工农业的年总产值翻两番”。为实现这一宏伟目标,让我们以蒋筑英、罗健夫两位同志为光辉榜样,埋头苦干,努力工作,为祖国的四化建设发挥我们的全部智慧和力量。

GIVE FULL PLAY TO THE LANDSLIDE COMMISSION

Ding Xizhi

(Chengdu Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

This paper reviews the history of landslide research and comments on the *status quo* of the subject. Like earthquake and volcanic eruption, etc., landslide is one of the natural disasters which often do great damage to people's life and property and the construction cause; therefore much attention and an intensive study should be given to it. The wide and regular distribution of landslide is indicated, and the basic reason why this case occurred is given. In order to more effectively serve the natural economic construction, international academic exchange and popularization of landslide knowledge should be strengthened, and landslide research should be closely combined with land management and environmental conservation.

斜坡岩土变形

徐 邦 栋

(铁道部科学研究院西北研究所)

斜坡上岩土受到重力、水、地震和人工开挖以及气候变化等的影响，经常发生变形。凡坡上岩土在以重力为主的作用下产生的向坡下移动的现象，统称为斜坡岩土滑移。这种现象，在地质条件不良的山区十分发育；在新构造运动剧烈的区段的河流冲刷岸，更为显著。

从破坏深度和破坏性质出发，可以把斜坡变形划分为许多类型：破坏在坡面，仅达自然风化所及深度的；有坡面流坍（又称坡面流泥、流石）、落石、剥落、碎落和坡面冲沟以及土爬；破坏限于因临空卸荷生成的斜坡表层松弛带内者；有坍塌，边坡滑坍；破坏深达斜坡体内者；有崩塌、错落、滑坡和岩石深层蠕动。

地质勘察要采用各种勘测手段以弄清组成斜坡岩土的地层岩性、地质构造、岩体结构类型和水文地质条件及其变化等，要查明自然的和人为的对斜坡岩体破坏的作用因素和部位；据之查出斜坡破坏的类型、性质、范围和可能的发展，从而能针对危害、病因、薄弱环节、山体平衡等等开展防治。由于滑移现象有突然发生变形急剧的（也有缓慢者），所以威胁航道、道路、厂矿、堤坝、水库、城市等安全的斜坡要早治、根治，防止造成灾害。

（一）崩塌 由具多组构造裂面相互切割或岩脉穿插的破碎岩体组成的高陡斜坡，因在近坡面处的破碎岩土先变形脱落，使上部岩体失却支顶而倒塌；或下伏为软弱岩层组成的斜坡，由于软岩揉皱致使上覆巨厚的岩体发生岩崩的现象；以及由黄土、岩堆或堆积土组成的高陡斜坡，因坡脚遭破坏而悬空，或因振动使结构破坏的大量岩土体的崩坠现象，均称作崩塌。特点是：先兆不明，发生突然，从出现迹象至崩下，十分迅速；每次崩塌都沿新的破坏面而下，且崩体多脱离崩床，堆于坡脚；崩落后不能保持体内各岩块或土块间的相对关系。

勘察崩塌的重点是测出斜坡中破碎或软弱岩土在坡体内的分布格局，岩土强度及影响强度变化的主要因素，应力分布和引起应力变化的作用因素等。

各种生产设施原则上应避开可能发生大中型崩塌的地段，特别在地震烈度高的区域内，更须躲避。治理时应按斜坡的岩土结构和病因，参考当地极限稳定山坡，对不同部位分别加固、刷坡和减重。只有基础确实稳定，方可做坚强的遮拦建筑物如碛、棚、栅栏和挡石墙等，以抗御倒塌岩土的砸击，防止土石侵入该设施正常的工作空间。

制止底部软弱或破碎岩土发生变形的措施，常按地形和地质条件分别采用各式浆砌圪工、混凝土或钢筋混凝土等刚性支墙，增强支顶作用。对位于斜坡中部被支顶的岩土、可用水泥砂浆或金属锚杆和锚索来锚固不稳定的岩体和岩块。在条件允许下，对因底部受压而揉皱导致上覆岩土崩塌者，采用减重措施。凡属可能崩塌的地段，都必须恢复植被和做好地表排水。

(二) 错落 在坡体下具有一向外缓倾斜的、由松散破碎岩土组成的底垫层时, 由于荷载增大或底垫层的强度降低而产生一种以压缩为主的变形, 使上覆岩土沿后缘某一或两组向外陡倾的裂面作整体下挫的现象, 称错落。该底垫层多依附于断层破碎带生成, 错落后称错动带。每当后缘与稳定坡体之间的下错裂缝贯通和错壁出现后, 应力也调整结束, 即完成一次错落。错落虽不似崩塌变形急剧, 但以后将根据错动带中地下水活动情况、风化情况和应力变化等不同, 可发展为崩塌、再错落、滑坡或崩塌; 也有在崩塌时因错体松散在连续大雨中作泥石流状崩溃。

错体一般由松弛岩土组成, 勘察时要重视各级错壁依附面的产状、力学性质和分布间距; 底垫层的成因与岩性、厚度与产状、地下水变化与风化、以及底垫层的强度变化、错体内裂面的组合及其结合强度等。

在产生了大中型错落地段, 由于既要平衡深部的推力, 又要防止浅部的危害, 故生产设施以避开为宜。只在具一定规模、有稳定基础的地段, 才可在增筑的、做为坡体一部分的支撑体以外修厂房和道路等设施。

整治原则以在错体后部减重和在前部支挡为主, 辅以做好地表排水, 必要时应有疏干错体前部的措施。错落向其它滑移类型转化后, 应分别按相应的类型对待。减重是在错体自身的后部、上部挖去一部分岩土, 减少错体的荷载, 并非顺斜坡刷方。

(三) 滑坡 斜坡上的岩土沿坡内一定的软弱带(或面)作整体地向前向下移动的现象, 谓之滑坡。滑动后该软弱带称滑带。它是在重力作用下或由于外形的改变、水的活动、震动等使其剪切应力大于强度, 或因振动液化、溶蚀潜蚀、自然、人为开采等使滑带的结构破坏或岩土性质改变而丧失强度, 其上覆岩(土)体则沿之滑动。滑动后常具环状后缘、月牙形凹地、滑坡台阶和垅状前垣等独特地貌。但因岩体滑坡的界面多依附体内既有的构造裂面生成, 故其后缘和分块裂缝常呈直线或折线形。防治滑坡首在找准滑带, 弄清特点。滑带生成成分两类: 其一, 系依附于倾向临空的地层结构上的分界面、岩性上不良的夹层和地下水集中浸湿带, 基本上呈平面型; 其二, 滑带的中前部系在巨厚的滑体压力作用下, 从软弱而潮湿的岩体中剪切破坏新生成的, 有呈曲面型部分。前者在粘性土中常沿胀缩土层的顶面或为上层滞水浸湿带滑动。堆填和堆积土体多沿有地下水活动的新老土接触面、不同崩坡积层间、新老洪积层间、老地面或基岩顶面等滑动; 黄土则沿富水的不同年代与成因的黄土层接触面、黄土中钙核层和沙层、或下卧的基岩顶面滑动; 岩体一般沿有裂隙水作用的层间错动带、软岩夹层、软岩顶面、不整合面、假整合面、断层带或侵入岩的接触风化带滑动。后者多为在山坡地段所见的在错落基础上发育的大滑坡, 厚层黄土堆积斜坡的崩塌性滑坡和半成岩地区于粉细砂与粘土薄互层中产生滑带的大型崩塌性滑坡。

滑坡因类型多, 每类的特点和病因不尽相同, 勘察常按特点布置。从外貌上分条、块、级、层。在定性勘察时以找滑带和界面为主, 摸清滑带、滑床和滑坡地下水以及滑坡的产生条件和发展因素。在定量勘察时系针对病因和防治措施补充勘探。

在滑坡区、群和规模过大的滑坡地段以不建生产设施为宜。防治滑坡以采用综合措施为原则, 以控制或消除主要病因的措施为主, 对次要者适当地辅以其它措施。对任何有滑动迹象的斜坡, 地表排水工作必不可少, 并应经常养护好各个排水设备。滑带富集流动的地下水时, 可用盲沟、泄水隧洞或灌注化学浆液堵水, 结合仰斜钻孔排水、集水井等措施截排滑带水; 也可采用渗水支垛、支撑渗沟或仰斜钻孔等措施疏干滑坡前部。实践证明在滑坡前部做抗滑堤、墙或桩等支挡措施易于生效, 特别对失却支撑的滑坡更为必要。对粘性土滑坡和

滑体呈塑状的，用支撑渗沟或山坡切沟疏干滑体，则常在植被茂盛后始稳定。为使滑坡岩土不侵入设施的正常空间，在条件允许时可用抗滑明洞支撑滑体，并可兼防上层滑动的危害。对在巨厚的滑体压力下挤出中、前部新滑带的滑坡，一般地下水量小，滑动主因多为失却支撑和上覆荷载过大；因此多在滑体的后部减重和前部支挡，相应的加强地表排水和疏干前部的潮湿部分等。

(四)岩石深层蠕动 斜坡岩体发展至破坏一般沿破坏带的岩土都经过蠕动变形阶段。在由柔性岩层为主组成的高陡斜坡上，或因层面过陡，在自重的长期作用下产生岩层向临空面逐渐由松弛、张裂、弯曲至倒转的现象；或邻近断层带受过挤压而紧密褶皱的岩层，因侧向卸荷由松弛产生的同样现象；或位于逆断层和层间错动带的上覆岩石，向临空面、由下而上逐次松动的现象，统称岩石深层蠕动。其特点：变形范围大且较深，在蠕动阶段变形缓慢，一旦坡脚遭破坏即可产生崩塌或大型坍塌。也有先沿体内倾向临空的一组陡立断裂带产生多级错落的。如层间充填了泥土，蠕动后可发展为顺层滑动，否则为体内岩块的转动。但属逐步过渡性变形，与完整岩体之间无明显的界面。

产生岩石深层蠕动的斜坡，常发生在残存形变应力的地段。重力和形变应力是蠕动的主要作用因素。勘察中常用硃探和钻探来了解变形范围，各个部分的变形形态及岩块架空与充填情况。

具深层蠕动的斜坡稳定度小，特别在地震烈度高的地区易于转化而急剧破坏，其规模大者，各种生产建设以避开为宜。防治原则视其转化为何种类型，按之对待。后部减重与前部支挡和加强地表排水，往往有效；特别是防止坡脚破坏和加强下部的支顶措施常属必要。

(五)坍塌及边坡滑坍 在斜坡表层松弛带中的岩土比较松散，平时湿度小，抗剪强度大，可以维持较陡的坡率；在雨水和其它水渗入后，当浸湿的岩土强度衰减到小于应力时，则产生坍塌。随着潮湿体的扩大和塌陷，引起上部岩土坍塌扩大，向内、向上、向后延伸，坍至一定缓度后才稳定，称为坍塌。坍下的岩土，一般堆于坡脚，也有在暴雨中坍下，遭雨淋稀释而坍泻似流泥、流石状。

如土中水沿松弛带内某一向外倾斜层集中浸湿时（往往为与完整体的分界面），发生沿过湿带滑动的现象谓之边坡滑坍。勘察着重找出卸载形成的松弛带范围、岩土受水后的软化程度、松散体在不同湿度下的结合力以及斜坡应力等。特别要弄清松弛带中有无水分集中的软弱带。

两者的防治均需做好地表排水工作。对坍塌：在条件允许时，刷缓边坡可求得稳定，但在坡面上需做各种类型的护坡以防止坡面破坏；无条件刷坡时，可按土推力修建各种护墙和挡墙。对边坡滑坍，常采用截断或疏干滑带水措施，但在前部按推力修支撑渗沟与抗滑挡墙相结合的措施，效果显著。

(六)落石、碎落、剥落、土爬、坡面流坍和坡面冲沟 由岩性不一或破碎程度不同的岩土组成的斜坡，因其在坡面上分布不均，在自然营力（如温差、雨淋、裂隙水的各种作用、风蚀、日照等）作用下彼此形变不一致，相对软弱而破碎者先坍落，逐次扩大。这种形变破坏，一般只到风化深度。对岩体而言：风化带裂隙裂面多，切割成大小岩块，在支顶的碎屑层脱落后就坠落，谓之落石；破碎如细碎岩屑状脱落时，称碎落；风化成片状剥皮脱落时，叫剥落。对土体而言：地表有由残坡积成因的一层土沿基岩顶面缓慢地爬动，称为土爬，更多的是指在风化作用深度内的表土爬动；在陡坡上接近大气作用的一层坡面土石，松弛后受雨水冲刷沿坡面流坍至坡下的现象，称作坡面流坍。雨水将坡面岩土冲成一行行的冲沟的现

象，谓之坡面冲沟。

对此类斜坡岩土坡面部分的破坏，勘察应着重了解：当地风化条件对各类岩土作用能及的深度，软弱破碎岩土在斜坡上的分布、以及坍落情况和危害程度。

防止此类坡面破坏的原则：(1)对易变形的部分先加固；(2)针对主要营力做护面措施；(3)选用不同措施使坍落岩土不危害生产设施的正常工作空间。具体则按危害程度选用：(1)均需做地表排水恢复坡面植被。(2)在一般碎落和剥落地段可预留清理护道；严重者，可做带骨架式的护坡。(3)在一般落石和坡面流坍地段，用格式满铺片石护坡或浆砌护坡等措施护面。(4)对裂面发育的危岩落石，可用浆砌圬工或混凝土做支、顶、镶、补及护墙加固，但基础必需稳固可靠；也可用金属锚杆、锚索固定个别大块岩石。对软硬互层岩石的落石地段，除镶、补、支、护外，有用水泥沙浆灌注和喷射胶结坡面破碎岩块的。当护面工程过大而有条件时，可修挡墙工程、如落石平台与落石坑、挡石墙及拦挡栅栏，或明硐与棚洞等。(5)对待土爬，原则上采用山坡支撑切沟以疏干土中水为主，必要时可分段清除或砌置挡墙阻止其爬动。

DEFORMATION OF ROCK AND SOIL ON THE SLOPE

Xu Bangdong

(North-West Institute, Science Research
Institute of Railway Ministry)

Abstract

The author considers that all the downslope movement phenomena of rock and soil on the slope caused mainly by gravity should be called deformation (or sliding) of rock and soil. They can be divided into many types, but collapse, descent, landslide, deep-seated rock creep, toppling, rockfall are the most common and the most damaging of all the types. The basic characteristics of above-mentioned deformation types are described, and some suggestions for prospecting and controlling them are put forward.

边坡稳定性研究的新课题

孙玉科 姚宝魁

(中国科学院地质研究所)

前 言

由于国家基本建设事业的迅速发展,各种类型的边坡工程及工程涉及的边坡问题愈来愈多,其规模亦愈来愈大。例如露天矿边坡,目前我国大型露天矿的开挖境界周长达15公里左右,最大垂直开挖深度达300余米,且随着机械化水平的提高,露天开挖的深度将进一步增加。这就带来了各种边坡的稳定问题。多年来出现了许多边坡失稳及滑坡事故,给工程的稳定性及安全带来严重的危害,从而促进和推动了对边坡稳定性及滑坡问题的研究。

三十年来,我国的边坡及滑坡研究工作,无论在理论上及工程实践上均取得了很大的发展,大致经历了三个阶段。建国初期的五十年代,由于工程涉及的边坡较少,露天开挖深度亦不大,着重研究的是边坡及滑坡类型的划分及其相应的破坏机制,探讨不同类型边坡的稳定分析方法。六十年代,由于我们自己的工程实践,开始形成并发展了我们自己的学术见解。孙玉科在《岩质边坡稳定性的工程地质研究》^[1]一文中,提出岩体结构理论和相应的岩体结构分类,以及岩质边坡稳定性的岩体结构分析方法。该方法的本质是以岩体结构理论为基础,利用赤平极射投影及实体比例投影作图方法,分析、评价边坡的稳定状态。这对岩质边坡的稳定性研究是具创造性的。七十年代,在边坡及滑坡的加固措施,岩体的力学试验及边坡的模拟试验等方面都取得了明显的进展,由于计算技术的发展,数值模拟方法在边坡稳定分析中得到普遍应用。在这期间,边坡的稳定分析更加强调利用各种方法进行综合分析及评价。

经过三十年左右的工程实践,在边坡工程方面我们已经积累了相当的经验,同时亦向我们提出了若干新的问题,这些问题主要包括如下几个方面:

1. 边坡稳定性概念的扩充问题,亦即建立新的边坡稳定性(及安全性)判据问题;
2. 建立边坡变形破坏的典型地质模型问题;
3. 边坡变形的时间效应问题。

以上三个问题的解决,无论是对边坡的稳定分析还是对边坡理论的进一步发展均具有重要的意义。目前我们虽然已经注意到上述问题,并对其中的某些方面进行了初步研究^[2],但是距解决问题相距甚远。为此,本文提出上述三个问题,作为边坡研究的新课题进行探讨。

一、边坡稳定性概念的扩充问题

边坡研究的目的在于分析、评价边坡的稳定状态,预测边坡稳定性的发展趋势,在工程

实践中具有重要的意义。为分析边坡的稳定性，发展了多种稳定分析方法，诸如圆弧滑面法、力多边形图解法、力的代数迭加法、以及毕肖普（Bishop）法和江布（Janbu）法等。上述稳定分析方法，除形式不同，滑动面的形状存在差别，以及具有不同的精度外，都视边坡为刚性块体，将其分成若干垂直分条，然后逐条块进行计算，分析、评价边坡的总体稳定性，且这种条分法都采用了边坡破坏的强度准则或强度判据，亦即视边坡的失稳或破坏为沿滑动面的滑移。这种滑动面，在岩质边坡的情况下，通常受岩体中的结构面特别是软弱结构面的制约或控制。在这种情况下，利用滑动面上的抗滑力与下滑力之比建立了边坡稳定的概念，该比值称为边坡的稳定系数。显然，稳定系数等于1时，边坡处于极限平衡状态；大于1时，边坡处于稳定的平衡状态，反之则边坡便失稳破坏。

应该指出，上述滑动面上的抗滑力与下滑力的比值，有时被称作边坡的安全系数，这是不合适的。因为边坡的稳定状态与安全虽然存在着内在的联系，但又存在着明显的区别，安全系数具有更多的工程意义，对于人工开挖的边坡则更是如此。边坡稳定性带来的安全问题，不但包括边坡本身的安全性，而且包括边坡对直接涉及的工程安全性的影响。因此，应该据此定义新的边坡安全系数。事实上，稳定的边坡对工程来说不一定是安全的，而不稳定的边坡对工程亦不一定是安全的。葛洲坝二江基坑上游边坡是稳定边坡但不是安全边坡。在地应力的作用下，岩层沿软弱夹层的层面逐层产生整体性回弹性滑移，虽然边坡不会发生总体性破坏，但其变形对机窝的基础及厂房却可能带来显著的影响，如果不采取相应的工程措施，对电厂厂房来说显然是不安全边坡。相反派登教堂建在页岩及冰碛层构成的边坡上，由于建筑物与边坡协调一致地变形，虽然在六十七年的期间内边坡以恒定的变形速度水平方向移动了15米（每年22厘米左右），垂直方向移动了3米，但这座教堂并没有受到损害（黑弗利，1967）。由此可知，不稳定的边坡或处于变形发展状态的边坡，对建筑物来说，并非都是不安全的。在这种情况下，边坡可能不稳定，但对建筑物来说却可能是安全边坡。

由此可见，采用传统的安全系数的概念，虽然可以判断边坡的稳定状态，但却不能全面地评价边坡与所涉及工程之间的相互作用及对工程稳定性的影响。因此，必须明确区分边坡的稳定性及安全性这两个不同的概念，并建立与之相应的判据。

概括地说，边坡的稳定性（稳定系数的大小）是反映边坡本身的稳定状态或稳定的程度，而并不涉及边坡对有关工程危害性的大小或危害的程度。而边坡的安全性（安全系数的大小）是反映工程对边坡稳定性的要求程度，即允许边坡的最大变形程度，允许边坡的破坏程度，以及允许边坡破坏失稳时的最大滑动速度等。显然，对于边坡的稳定性及安全性应该采用不同的判据。对边坡的稳定性评价，除强度判据以外，还必须考虑边坡的位移判据。

1. 边坡稳定性的位移判据

边坡的变形或位移是边坡稳定状态的最直观的反映，可以直接用来判断边坡的稳定状态。由于岩体的变形量测方法比较简单，又可以进行连续监测，所以在工程实践中愈来愈引起人们的注意与重视，目前正向建立位移判据，定量评价边坡稳定性的方向发展。

边坡稳定性评价的位移判据包括两方面的内容，一是最大位移判据，其次是位移变化速率判据。前者在于确定边坡失稳破坏的临界变形值，后者则需根据变形速率曲线确定临界变形速率，通常在变形速率曲线上取变形急剧变化处速率拐点的速率作为临界速率。由此，便可同根据滑面强度进行稳定分析一样，用数学表达式的形式确定边坡稳定系数。

对于临界变形，如临界变形值为 δ_0 ，实际变形为 δ ，则边坡的变形稳定系数 k 变为：

$$k_{\text{变}} = \delta_0 / \delta$$

同理，如边坡的临界变形速率为 v_0 ，实际变形速率为 v ，则边坡的变形速率稳定系数 $k_{\text{速}}$ 为：

$$k_{\text{速}} = v_0 / v$$

应该指出，边坡的临界变形速率 v_0 随边坡而异，且达到临界变形速率后至边坡最终失稳破坏所延续的时间亦不相同。盐池河山体崩坍，从变形达到每天1厘米至山体大崩坍，历时32天。意大利瓦依昂滑坡，从变形达每天1厘米到产生大滑坡，历经21天。表1列举了某些滑坡在滑动破坏前边坡岩体的变形情况。显然，对大多数滑坡来说，可以取每天10毫米的变形速度作为临界变形速度，或者作为警戒性变形速度。日本亦曾提出把滑前24小时 $v=14.4$ 毫米/天，滑前3小时 $v=144$ 毫米/天作为边坡临界速度的标准。

表1 某些滑坡滑动破坏前的变形情况

滑坡名称	滑动破坏前裂缝变形
酒埠江滑坡	滑动破坏前一个月，每天变形10毫米左右
李家河滑坡	滑动破坏前22天，平均 $v_{\text{水平}}=8.2$ 毫米/天 $v_{\text{垂直}}=9.2$ 毫米/天
盐池河山崩	山崩前32天，山体变形速率 $v=10$ 毫米/天
瓦依昂滑坡	滑动破坏前21天， $v=10$ 毫米/天 滑动破坏前1天， $v=400$ 毫米，当天 $v=800$ 毫米/天
大中川笛滑坡	滑动前1天 $v=24$ 毫米/天

利用 $k_{\text{变}}$ 及 $k_{\text{速}}$ 进行稳定评价与根据强度进行稳定评价具有相同的判断准则，即大于1时边坡处于稳定状态，等于1时为极限平衡状态，小于1时边坡不稳定。

显而易见，由于稳定分析的依据不同，在通常情况下 $k_{\text{变}}$ 、 $k_{\text{速}}$ 及 $k_{\text{强}}$ 之间虽具相关性，但并不相等，而在边坡处于极限平衡状态时，理论上它们都应等于1。位移判据的关键在于确定临界位移及临界变形速率，该值随边坡的具体条件而变化，这是边坡稳定分析中有待研究解决的重要课题。

智利楚基卡马塔露天矿，根据边坡的位移观测资料，不仅成功地分析了边坡的稳定状态，而且在边坡破坏之前大约五个星期就比较准确地预测到边坡破坏的日期，重新安排了生产系统，边坡破坏时对生产的影响减到最小，避免了人身伤亡事故及设备的损坏，收到很好的效果。

2. 安全边坡的许可位移判据

有一些工程，对边坡的变形有严格的要求，变形量不能超过工程允许的变形，当然更不能允许边坡失稳破坏。如铁路的路堑边坡对边坡的变形有严格的要求，有些露天边坡及天然边坡，因为距工业及民用建筑物很近，亦不允许边坡产生很大的变形，危及建（构）筑物的安全。在这种情况下，应以建筑物允许边坡的变形值为准，评价边坡对建筑物安全程度的影响，建立相应的安全系数的概念。

如果工程允许边坡的最大变形值为 u_0 ，边坡的实际变形为 u ，则边坡对工程的安全系数 s 为：

$$s = u_0 / u$$

显然，工程性质不同，所要求的 u_0 是不相同的。工程实践中为确保建筑物的安全，通常采取