

中国典型滑坡

中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会 编
中国地质学会工程地质专业委员会

科学出版社

中国典型滑坡

中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会
中国地质学会工程地质专业委员会 编

科学出版社

1988

内 容 简 介

本书中的滑坡实例选自 1986 年召开的“中国典型滑坡实例学术讨论会”。它集中反映了我国 30 多年来发生的具有代表性的典型滑坡。

本书包括：自然边坡方面的滑坡实例 15 篇；矿山边坡滑坡实例 14 篇；水库库岸及谷岸边坡滑坡实例 19 篇；铁路边坡滑坡实例 6 篇。这些论文对各种类型滑坡的地质条件、影响因素、滑动机制和防治措施等进行了较全面的论述。在此基础上，本书还综述了我国的滑坡地质灾害、滑坡研究的发展及滑坡的主要类型。

本书资料新颖、内容丰富，对滑坡研究及滑坡工程防治具有一定的参考价值。

本书可供从事水利水电、矿山、城建、交通和国防工程建设的广大工程技术人员以及高等院校有关专业师生参考。

中 国 典 型 滑 坡

中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会 编
中国地质学会工程地质专业委员会
责任编辑 周文辅 吴寅泰

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1988 年 7 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1988 年 7 月第一次印刷 印张：23 1/2

印数：0001—1,140 字数：542,000

ISBN 7-03-000442-6/P·75

定价：8.90 元

前 言

中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员成立暨中国典型滑坡实例学术讨论会于1986年6月19日至27日在宜昌市召开。

这次学术讨论会共收到论文近80篇,大多数论文反映了我国30年来所发生的具代表性的典型滑坡实例。它涉及自然滑坡、矿山滑坡、水库库岸及谷岸滑坡,以及铁路滑坡等方面,比较详细地论述了滑坡的工程地质及水文地质条件、滑坡前后各种条件的变化及滑坡的前兆现象、影响滑坡的主要因素,以及滑坡的处理和加固。

从我国滑坡研究及工程实践来看,所取得的重要进展有如下几方面:

1. 普遍重视对斜坡变形破坏机制的研究。结合物理模拟和数值模拟方法,提出多种滑坡地质模型及力学模型,为建立我国的滑坡模型和滑坡分类打下了良好基础。

2. 目前有关工程部门都十分重视滑坡的变形监测及预报工作。一些重大的水电及矿山工程都建立了滑坡监测系统。新滩滑坡的成功预报更增强了滑坡预测预报工作的信心,防止再次出现盐池河山崩那样的地质灾害。

3. 滑坡工程实践表明,地面工程活动(切坡开挖、加载、超量爆破及水库蓄水等)和地下开挖是滑坡发生的主要人为因素。为保证边坡的稳定性,提出了许多有效的防治措施,总结了许多宝贵的经验,为边坡的稳定性评价和滑坡防治提供了依据。

我国国土辽阔、山地多、地质条件及地形地貌条件极为复杂,露天开采的规模及范围亦不断扩大,各种滑坡地质灾害时有发生,对国民经济建设有重大的影响。滑坡典型实例的分析及新滩滑坡的成功预报进一步使人们认识到加强滑坡勘测等基础地质工作的重要性。一切理论研究都应建立在对滑坡原型、地质环境和外界影响因素的充分认识的基础上。为此,应该不断探索新的勘测方法,并在滑坡勘测工作中推广应用。在滑坡的研究方面,今后应加强如下几方面的基础理论研究工作:(1)边坡变形破坏机制及物理模拟和数值模拟研究;(2)边坡变形监测及其分析预报的研究;(3)边坡变形与环境因素间的敏感性分析研究;(4)与边坡稳定性有关的岩石力学、滑坡动力学和运动学的研究。为了更好地推动和发展边坡稳定性评价及滑坡研究工作,应该提倡和加强各学科间的横向联系和相互渗透,并扩大与其它邻近学科的联系,更好地为滑坡研究工作服务,这是今后边坡稳定性研究及滑坡研究工作的方向。可以肯定,我国广大科学工作者及工程技术人员对滑坡研究及其防治将会不断做出新的贡献。

本书的出版得到中国科学院地质研究所全力支持。姚宝魁负责本书的组稿及审订工作;古迅、许兵、张年学、刘竹华、徐嘉谟担负了部分论文的审订工作;阎学文、孙桂英为本书绘制图件及贴字,在此表示衷心的感谢!

孙广忠

“中国典型滑坡学术讨论会”组织单位

中国岩石力学与工程学会地面岩石工程专业委员会

中国地质学会工程地质专业委员会

“中国典型滑坡学术讨论会”支持单位

中国科学院地质研究所

湖北省科委西陵峡岩崩调查处

长江流域规划办公室三峡区域地质勘测大队

葛洲坝水电学院

“中国典型滑坡学术讨论会”组织委员会

主 任	孙广忠
副主任	傅冰骏 王兰生
组 委	孙广忠 傅冰骏 廖国华
	许 兵 曾昭民 魏廷亮
	王兰生 周叔举 陆业海
	姚宝魁
秘书长	姚宝魁

《中国典型滑坡》编辑委员会

主 编	孙广忠
编 委	孙广忠 姚宝魁 傅冰骏
	许 兵 廖国华 王兰生
	周叔举

目 录

√中国滑坡地质灾害及其研究·····	孙广忠 姚宝魁 (1)
--------------------	---------------

第一部分 自然边坡

白灰厂滑坡及其变形破坏机制研究·····	姚宝魁 孙玉科 (13)
马头嘴滑坡及其运动机制·····	刘恒一 (22)
嘿社滑坡的初步调查·····	余培厚 (27)
高速超大型洒勒山滑坡及其研究·····	苏伯苓 (33)
石家坡多冲程剧动式高速滑坡·····	胡广韬 (39)
铜街子新华乡滑坡群研究·····	王治华 孔祥怡 (45)
秭归盐关滑坡形成机制及稳定性评价·····	李明生 徐卫亚 林肖荣 张玉琪 (52)
云阳县高阳梨树滑坡的发展趋势·····	王麟祥 (59)
白衣庵滑坡的滑动机制及变形趋势·····	汪发武 (63)
韩城电厂滑坡及其成因分析·····	古 迅 (68)
天宝滑坡特征与成因·····	王天国 李崇顺 (77)
沙岭滑坡的特征与成因分析·····	刘兴德 刘宗华 (83)
宜昌盐池河磷矿山崩及其崩塌破坏机制·····	姚宝魁 孙玉科 (89)
阳泉市盂县挠狮村滑坡·····	于 根 武承焯 曹振宗 张礼奎 (99)
阳泉矿区采动滑坡的成因及机理探讨·····	于 根 (102)

第二部分 矿山边坡

金川露天矿上盘西区滑坡倾倒滑移复合破坏类型的研究·····	许 兵 李毓瑞 (109)
抚顺西露天矿滑坡·····	吴 江 (117)
白银露天矿一采场边坡研究和滑坡预报·····	成 岗 (122)
攀钢石灰石矿H ₂ 滑坡·····	王济群 (128)
小龙潭露天矿西北帮滑坡工程地质分析·····	何栋伟 (133)
海州露天煤矿滑坡及其防治·····	郭增涛 项永承 傅自厚 (137)
哈密三道岭露天矿非工作帮滑坡·····	李忠孝 米宝印 (144)
前河露天矿边坡滑坡防治问题的探讨·····	王泰书 李全荣 (151)
平庄西露天煤矿滑坡实例与探测研究·····	王广强 (157)
义马北露天矿滑坡与防治·····	陈景基 江智明 纪玉石 (161)
大冶铁矿象鼻山北帮边坡变形破坏及滑坡预报·····	陈英放 孙再南 (167)
大冶铁矿狮子山北帮西口 1 号滑坡体滑坡实例分析·····	张 弭 董为靖 周美良 熊传治 (172)
吕合露天煤矿边坡失稳的研究·····	吴吉元 肖拯民 (179)

红旗岭露天矿边坡倾倒-滑移体的特征	卢世宗 亓 孟 金世源 王德军 (185)
-------------------------	-----------------------

第三部分 河岸及库岸边坡

新滩滑坡与临阵预报	骆培云 (191)
新滩滑坡研究	薛果夫 吕贵芳 任 江 (200)
新滩滑坡发育特征和起动、滑动及制动机制的初步研究	王兰生等 (211)
新滩链子崖地段斜坡变形的研究	于远忠 (218)
查纳半成岩巨型滑坡	吴其伟 王成华 (225)
天生桥滑坡	夏其发 陆家佑 (231)
半岩性土高速滑坡形成机制及龙羊峡库岸滑坡评价	庆祖荫 (237)
资水敷溪口坝址右岸边坡的蠕变倾倒破坏	王耕夫 (244)
大目溪水电站珍山渠段滑坡分析	章永良 (251)
李家峡坝前岩质滑坡的特征与稳定性的研究	何启标 赵定成 (256)
刘家峡水库苏州崖坍滑体稳定性评价与决策	李仲春 高尧基 (267)
黄腊石滑坡	吕贵芳 (272)
清河水库溢洪道滑坡	刘学智 (278)
滩坑水电站自然边坡破坏模式调查及左岸溢洪道边坡稳定性评价	
.....	陆兆溱 周创兵 (284)
葛洲坝二江电厂深挖基坑边坡岩体变形研究及其工程处理	徐瑞春 (290)
柘溪水库塘岩光滑坡	金德镰 王耕夫 (301)
潘家口水库猴山边坡稳定分析	罗光福 濮家骧 罗玉静 (308)
黄河上游岩质滑坡	曹树祥 白国安 (315)
鸡扒子滑坡——长江三峡地区老滑坡复活的一个实例	李玉生 (323)

第四部分 铁路边坡

铁西滑坡发生发展规律与整治工程实践	胡余道 (329)
观音山高边坡岩体开裂的地质分析	林清华 (336)
施溶溪滑坡整治	闵顺南 徐凤鹤 袁建国 (342)
太焦铁路牛晶坪地区滑坡实例及特征研究	王松龄 (348)
武都滑坡发生发展及其预测	曲 焰 (355)
赵家塘滑坡的研究与整治	潘裕德 (361)

TYPICAL SLOPES IN CHINA

CONTENTS

Landslide Geology Disaster and Landslide Investigation in China	
.....	<i>Sun Guangzhong & Yao Baokui</i> (1)

THEME I NATURAL SLOPE

Baihuichang Landslide and the Study on Deformation and Failure Mechanism of the Landslide	<i>Yao Baokui & Sun Yuke</i> (13)
Matouzhui Landslide and Its Movement Mechanism	<i>Liu Henryi</i> (22)
The Preliminary Investigation of Heishe Landslide	<i>Yu Peihou</i> (27)
High Speed and Super Large Scale Saleshan Landslide and Its Study	<i>Shu Boling</i> (33)
Mutiple Stroke and Violent Motion and High Speed Landslide in Shijiapo	<i>Hu Guangtao</i> (39)
The Studies of Landslide Group of Tongjiezi Xinghuaxiang	<i>Wang Zhihua & Kong Xiangyi</i> (45)
Formation Mechanism and Its Stability Evaluation of the Yanguan Landslide in Ziguai County	<i>Li Mingsheng, Xu Weiya, Lin Xiaorong & Zhang Yuqi</i> (52)
The Progressive Tendency of Lishu Landslide of Gaoyang, Yunyang County	<i>Wang Linxiang</i> (59)
The Motive Mechanism and Deformation Tendency of Baiyi'an Landslide	<i>Wang Fawu</i> (63)
Landslide of Hancheng Power Plant and Analysis of Its Cause of Formation	<i>Gu Xun</i> (68)
Tiaobao Landslide's Characteristic and Cause of Formation	<i>Wang Tianguo & Li Chongshun</i> (77)
Shaling Landslide's Character and Analysis of Its Cause of Formation	<i>Liu Xingde & Liu Zonghua</i> (83)
Landslide of Yanchihe Phosphate Mine in Yichang and Its Collapse Failure Mechanism	<i>Yao Baokui & Sun Yuke</i> (89)
Landslide at Raoshi Village of Yuxian County of Yangquan City	<i>Yu Geng, Wu Chengwei, Chao Zhengzong & Zhang Likui</i> (99)
The Research of Cause of Formation and Mechanism of Landslide Effected Underground Mining in Yangquan Mine Area	<i>Yu Geng</i> (102)

THEME II SLOPE OF OPEN MINE

Northwest Wall Landslide of Jingchuan Open Mine and the Studies of Deformation and Failure Mechanism With Toppling Sliding Characteristic	
.....	<i>Xu Bing & Li Yurui</i> (109)

Fushun Western Open Mine Landslides	<i>Wu Jiang</i> (117)
The Studies of Slope Stability of I Open Pit at Baiying Open Mine and the Forecast of Landslide	<i>Cheng Gang</i> (122)
H ₂ Landslide of Limestone Open Mine of Panzhihua Steel and Iron Company...	<i>Wang Jiqun</i> (128)
Engineering Geological Analysis of Landslide at Xiaolongtan Open Mine Pit's Northwest Slope.....	<i>He Dongwei</i> (133)
Haizhou Open Coal Mine Landslide and Its Prevention and Control	<i>Guo Zhengtao, Xiang Yongcheng & Fu Zihou</i> (137)
Sandaoling Open Mine's Unworking Wall Landslide in Hami	<i>Li Zhongxiao & Mi Baoyin</i> (144)
The Investigation of Prevention of Qianhe Open Mine's Landslide	<i>Wang Taishu & Li Quanrong</i> (151)
Landslides of Pingzhuang Western Open Coal Mine and Its Studies of in Situ Measurement and Test.....	<i>Wang Guangqiang</i> (157)
Yima Northern Open Mine's Landslide and its Prevention and Control	<i>Cheng Jingji, Jiang Zhiming & Ji Yushi</i> (161)
The Deformation Failure and the Prevention of Landslide in Daye Open Iron Mine's Xiangbishan Northern Wall.....	<i>Cheng Yingfang & Sun Zhainan</i> (167)
The Stability Analysis of I Landslide at Daye Open Iron Mine's Shizishan Nor- thern Wall.....	<i>Zhang Mi, Dong Weiqing, Zhou Meiliang & Xiong Chuanzhi</i> (172)
The Studies of Deformation and Failure of the Slope in Lühe Open Coal Mine	<i>Wu Jiyan & Xiao Zhengmin</i> (179)
The Characteristics of Toppling-Sliding Body of the Slope at Hongqiling Open Mine.....	<i>Lu Shizong, Da He, Jin Shiyun & Wang Dejun</i> (185)

THEME III SLOPE OF THE RIVER BANK AND RESERVOIR BANK

Xintan Landslide and the Urgent Forecast Before the Landslide	<i>Luo Peiyun</i> (191)
The Studies of Xintan Landslide.....	<i>Xue Guofu, Lü Guifang & Ren Jiang</i> (200)
The Preliminary Studies of Xintan Landslide's Development Characteristic and the Mechanism of the Starting and Motioning and Stopping	<i>Wang Lansheng et al.</i> (211)
The Studies on Deformation of Lianziya Slope in Xintan Region	<i>Yu Yuanzhong</i> (218)
The Largest Landslide of Half-Rock and Half-Soil in Chana	<i>Wu Qiwei & Wang Chenghua</i> (225)
Tianshengqiao landslide.....	<i>Xia Qifa & Lu Jiayou</i> (231)
The Formation Mechanism of Half-Rocky Soil's High Speed Landslide and Sta- bility Evaluation of Reservoir Band Landslide in Longyang Gorge	<i>Qing Zuyin</i> (237)
Loose Slope of Creep and Toppling Rock Mass of the Right Bank at Fuxikou Dam Site of the Zishui River	<i>Wang Gengfu</i> (244)
The Analysis of Landslide of Zhengshan Canal Region in Damuxi Hydro-Ele- ctric Power Station.....	<i>Zhang Yongliang</i> (251)

Rocky Landslide's Characteristic and Stability Evaluation in the Front of Lijiaxia Dam.....	<i>He Qibiao & Zhao Dingcheng</i> (256)
The Stability Evaluation and Decision of Suzhouya Landslide in Liujiaxia Reservoir Region.....	<i>Li Zhongchun & Gao Yaoji</i> (267)
Huanglashi Landslide.....	<i>Lü Guifang</i> (272)
Spillway Landslide of the Reservoir on Qinghe River	<i>Liu Xuezhi</i> (278)
The Investigation of Natural Slope's Failure Model in Tankeng Hydro-Electric Power Station Region and the Stability Evaluation of Spillway Slope on Its Left Bank.....	<i>Lu Zhaoqin & Zhou Chuangbing</i> (284)
The Studies of Rock Mass Deformation of Deep-Digging Base Pit Slope of II Rever and Its Engineering Treatment Measure in Gezhoubu Hydro-Electric Power Station.....	<i>Xu Ruichun</i> (290)
Tangyanguang Landslide of Zhexi Reservoir.....	<i>Jin Delian & Wang Gengfu</i> (301)
The Stability Analysis of Houshan Slope in Panjiakou Reservoir	<i>Luo Guangfu, Pu Jialiu & Luo Yujing</i> (308)
Rocky Landslides Upper Reaches of Huanghe River	<i>Chao Shuxiang & Bai Guoan</i> (315)
Jipazi Landslide— An Example of the Reviviscent Old Landslide in the Three Gorges Region of Changjiang River.....	<i>Li Yusheng</i> (323)

THEME IV RAILWAY SLOPE

Tiexi Landslide's Happening and Developing Regularity and Engineer Practice of Its Control.....	<i>Hu Yudao</i> (329)
The Geological Analysis of Rock Mass Splitting of Guanyinshan High Slope... ..	<i>Lin Qinghua</i> (338)
Shirongxi Landslide's Control.....	<i>Ming Shunnan, Xu Fenghe & Yuan Jianguo</i> (342)
Niujingping Region Landslides of Taiyuan-Jiaozuo Railway and the Studies of Its Characteristic	<i>Wang Songling</i> (348)
Wudu Landslide's Happening and Developing and Stability Forecast	<i>Qu Yan</i> (355)
The Studies and Control of Zhaojiatang Landslide.....	<i>Pan Yude</i> (361)

中国滑坡地质灾害及其研究

孙广忠 姚宝魁

(中国科学院地质研究所)

随着国民经济及各项建设事业的蓬勃发展,我国的滑坡事故愈来愈多,给各项建设事业带来严重的影响,因此引起人们广泛的重视。

滑坡是一种常见的山区地质灾害。我国是一个多山的国家,从而也是滑坡广泛分布的国家,每年特别是每年雨季都要发生若干滑坡,它几乎遍及全国各省区,特别是我国西南地区,滑坡更为频繁。据不完全统计,西南地区发生的滑坡约占全国滑坡次数的一半以上,而我国已受到滑坡灾害威胁和可能受到滑坡威胁的地区约占全国陆地面积的 $1/5$ 至 $1/4$ 。由此可见,对滑坡进行研究及防治具有重要意义。

滑坡按其自然类别或与工程的关系可以分为自然边坡、水库库岸或岸坡边坡、矿山边坡、路堑边坡四类。库岸或岸坡边坡本质上亦是属于自然边坡类型,其差别仅是因为建库或处于岸坡部位。矿山边坡及铁路边坡则属人工边坡或受人工开挖影响的边坡。

滑坡与人类活动有着密切的关系。首先它是一种自然灾害,对人民的生命财产能够造成直接的危害,而人类的活动(诸如建设水库及人工开挖等)又促成、加剧滑坡的发生和发展。由于滑坡与人类活动的密切关系,我国十分重视对滑坡的研究及防治工作,取得了显著的成绩。长江三峡地区新滩滑坡的成功预报,使新滩镇 1300 余人幸免遇难,无一伤亡,财产的损失亦降低到最低限度。这标志着我国的滑坡研究及防治已经达到一个新的水平。

近 30 年来,我国在滑坡研究方面取得了显著的进展,经历从定性到定量,从一般的滑坡形态分类到滑坡机制研究方面的发展过程,且建立了我国典型的滑坡地质模型。岩体工程地质力学理论与方法的创立则为边坡稳定性研究提供了理论基础,而我国发生的大量滑坡又为滑坡研究提供了丰富的工程实践。这就有可能使我们能够对影响边坡稳定性的各种因素进行比较系统的分析,且对滑坡的类型从滑坡的滑动破坏机制及变形和运动形态上进行分类。在影响边坡稳定性或促成边坡滑动的诸因素中,不良的工程地质条件及岩体结构条件是主要内因。大量的滑坡表明,滑坡体的边界总是受地质结构面的控制;白灰厂滑坡及葛洲坝二江基坑边坡的变形则是受不良岩体介质结构的影响,使其能够沿很平缓的粘土岩滑面或泥化夹层滑面产生滑动、葛洲坝二江基坑上游边坡逆岩层倾向的滑移及兰家火山露天矿大理岩边坡坡面上预裂钻孔逆岩层倾向的错动,均说明地应力对边坡岩体变形的重要作用。当然,不良的水文地质条件,边坡岩体的不良水理性质是影响边坡稳定性的最主要的地质因素之一,绝大多数滑坡都是由于降雨或水的作用而触发的。在非地质因素中,影响边坡稳定性的主要是大量降雨、人为的切坡脚开挖、边坡下部地下开采以及大爆破等诸因素的影响。在这些因素中大量降雨尤为明显,往往对滑坡的

发生起到触发作用。

大量的滑坡使我们能够从滑坡机制方面对滑坡进行分类,就目前我国滑坡情况来看,大致可以分为如下 9 种类型:(1)楔形体滑坡,(2)圆弧面滑坡,(3)顺层面滑动的滑坡,(4)倾倒变形破坏边坡,(5)溃屈破坏边坡,(6)复合型滑坡,(7)开裂变形边坡,(8)堆积层滑坡,(9)崩坍碎屑流型滑坡。滑坡类型的归纳和分类不但有利于对滑坡机制的认识及边坡稳定性评价,而且有利于典型滑坡地质模型的建立,指导边坡稳定性评价及滑坡工程实践。

在滑坡治理方面我国亦积累了丰富的经验,不但对不利于边坡稳定性的各种触发因素进行有效的控制,而且十分重视边坡的加固处理技术。在露天边坡方面不但采用了抗滑桩、锚索、抗滑挡墙等传统的边坡加固方法,而且创造了扰动滑动面的麻面爆破技术,对稳定边坡在一定条件下受到显著的效果。抗滑桩的尺寸亦扩大到 $3.5 \times 4.5\text{m}$,且在湖南施溶溪铁路滑坡段首先采用了椅式桩墙加固技术,在滑坡治理方面收到较好的效果。

对滑坡进行研究的目的在于避免或尽可能降低滑坡地质灾害对人民生命财产的危害及对工程建设的可能影响,这不但要求我们对滑坡进行有效的治理,而且要求我们根据对滑坡地质类型及其变形破坏规律的认识,对滑坡变形和稳定性的发展趋势作出可靠的预测预报。在这方面既有成功的经验,亦有沉痛的教训。湖北盐池河磷矿山体崩坍使 284 人死亡,矿山工业及民用建筑全部被摧毁,而新滩巨型滑坡和白银厂有色金属公司一采坑滑坡的准确的临阵预报则收到非常好的效果,为滑坡预报提供了宝贵的经验。金川露天矿上盘一区边坡倾倒变形破坏机制的判别及其稳定性预测,刘家峡水电站库岸苏州崖边坡滑体的稳定性评价及其发展趋势的成功预测,对金川露天矿及刘家峡水电站的生产、建设及运营都起到积极作用,为滑坡研究及滑坡的预测预报积累了宝贵的经验。

一、滑坡地质灾害

我国是多山国家,不但发生的滑坡较多,且滑坡的类型比较齐全。由于滑坡的发生,常常给人民的生命财产造成比较严重的损失,给工程建设带来了很大的影响。

我国的滑坡事故中,自然滑坡占相当大的比重,造成的灾害亦相当严重。甘肃东乡洒勒山是一个典型实例。洒勒山滑坡总体积约 $4 \times 10^7\text{m}^3$,滑坡堆积物覆盖面积约 2km^2 以上,主滑体最大厚度达 150m,滑距约 1500m,滑坡发生仅数十秒钟,三个村庄便荡然无存,死亡 237 人,滑坡冲入河谷,越过巴谢河,填没“九二”水库,王家水库跃进水渠被淤塞,冲毁 3000 余亩农田。盐池河磷矿山体滑移崩坍亦造成灾难性后果。滑移崩坍体约 $1 \times 10^6\text{m}^3$,直冲盐池河谷,埋没整个盐池河磷矿的工业及民用建筑,死亡 284 人,迫使矿山关闭。1965 年 11 月 22 日云南禄劝滑坡规模更大,滑坡沿烂泥沟发育,滑体范围长 6—7km,宽 1.8—2.7km,面积约 12km^2 ,滑坡体落差达 1000m,冲入普福河,在普福河上游形成堰塞湖,滑坡的结果使老深多、白占斗、坝塘、电塘等村庄被毁,上普福、出水平、撒角海等几个村庄严重破坏。1982 年 7 月四川万县地区普降特大暴雨,诱发大量的滑坡,据不完全统计,云阳县发生两万多处滑坡、崩坍,并形成数百处较大规模的地面裂缝,有的地面裂缝长达几华里。忠县在此期间形成的滑坡及崩坍多达三万余处,其中大中型滑坡 30 余处。这次暴雨诱发滑坡造成重大的灾害,仅云阳县因滑坡毁坏房屋就有数万间,滑坡面积

5 亩以上的数千处, 50 亩以上的 106 处, $1 \times 10^7 \text{m}^3$ 以上的大型及巨型滑坡 10 余处。同期发生的四川石柱县沙岭滑坡, 滑坡体积达 $1 \times 10^7 \text{m}^3$, 使 50 余户农民受灾, 毁地 1000 余亩, 滑坡前缘坠于河床, 形成一个蓄水量 $2 \times 10^6 \text{m}^3$ 的水库, 改变了滑坡区附近的生态及地质环境。石家坡滑坡不但规模大, 滑动速度快, 受对岸阻挡被反冲回弹, 并沿河谷运动折向本岸后再次冲向对岸, 最终在河水的冲击下形成泥石流。滑坡体碎屑岩块在河谷两岸反复回弹且向河谷下游流动, 在距滑坡下游 600 余米处, 使与滑坡处在河谷同一侧但与滑坡处隔着一个山头的农户被埋没, 13 人无一幸免, 这种情况在以往的滑坡灾害中尚属罕见。

露天矿边坡的稳定性问题亦日趋严重, 直接影响到矿山的生产与安全。据 10 个大型金属露天矿山的统计, 不稳定或具潜在滑坡危险性的边坡约占边坡总长度的 20%, 个别露天矿甚至高达 33%, 且随着露天矿向深部的开采, 边坡的稳定条件将愈来愈恶化。矿山的生产实践表明, 露天边坡的失稳破坏贯穿于露天生产的始终, 新疆哈密三道岭露天煤矿、平庄西露天矿以及义马北露天矿等, 虽然尚处于初期开挖阶段, 采深都比较小, 但都发生了比较明显的滑坡。抚顺西露天矿自 1914 年投产以来, 至 1985 年共发生滑坡近 60 次, 为处理滑坡, 共削坡减载剥离岩石近一亿立方米; 滑坡造成了多次重大事故, 1959 年底板凝灰岩顺层滑坡使矿山的主要提升运输系统西大卷停运, 工程处理历时三年, 耗资 2000 余万元; 1964 年南帮西部发生滑坡使矿山机修厂滑落毁坏; 1979 年露天矿西端帮发生大滑坡, 掩埋西大卷提升系统, 再度使矿山停产; 露天矿西北帮的滑坡及与其相邻地区的地面变形, 严重地影响抚顺石油一厂工业建筑物的稳定, 成为长期争论但又必须予以解决的疑难问题。海州露天矿虽然是解放后兴建的矿山, 自 1953 年以来共发生滑坡 60 次左右, 1977 年 $\nabla 86$ 站至 $\nabla 38$ 站滑坡, 切断了加固边坡的 100 根钢轨抗滑桩, 使运输系统中断。攀钢把关河石灰石矿为山坡露天矿, 由于采用不合理的开采顺序, 拦腰切坡脚开采, 致使上部 $5 \times 10^6 \text{m}^3$ 滑坡体急速下滑, 使矿山生产停顿, 造成不必要的损失。金川露天矿边坡的变形破坏成为矿山生产过程中存在的重要问题, 迫使运输坑线改道, 且因边坡变形严重, 不得不提前二个中段闭坑停产。

由于水利水电建设的迅速发展, 水库库岸及岸坡滑坡频繁发生并酿成重大灾害。湖南柘溪水电站塘岩光滑坡滑入水库, 造成 21m 高的涌浪; 新滩滑坡虽然进行了成功的预报, 无一直接伤亡, 但位于滑坡体上的新滩镇毁于一旦, $2.6 \times 10^6 \text{m}^3$ 的滑体推入长江后激起 54m 高的涌浪, 上游 5.5km 处的香溪镇岸边涌浪浪迹高度仍达 7m, 15km 处的秭归县城为 1m 左右, 余浪涌进香溪河口以上 2km 处还打翻木船四只。下游涌浪在 2km 处为 10m, 10km 处为 2m, 至三斗坪坝址为 1m 左右。1982 年云阳鸡扒子滑坡, 滑坡体 $1.5 \times 10^7 \text{m}^3$, 近 $1.8 \times 10^6 \text{m}^3$ 涌入长江, 使滑坡前缘长江北岸枯水岸线向江中推进了 50 余米, 长江河床淤高 30 余米, 造成三道急流, 600m 长的急流险滩, 严重威胁长江航运的安全。新滩对岸的链子崖岸坡开裂变形体, 约 $2.0-2.5 \times 10^6 \text{m}^3$ 的危岩体一旦涌入长江, 将进一步恶化长江的航运条件, 构成潜在的威胁。巴东对岸的黄腊石滑坡与巴东县城隔长江相对, 如果再次复活涌入长江, 其涌浪将直接威胁巴东县城的安全。

由于 1963 年瓦依昂滑坡造成灾难性后果, 我国的水电建设都非常重视库岸滑坡问题, 特别是对近坝库岸边坡稳定性评价更为慎重。天生桥水电站坝址开挖过程中发生滑坡造成的人员伤亡及设备损失, 更引起了对滑坡灾害及其稳定性评价的重视。目前我国

对所有在建或拟建的大中型水电站,诸如龙羊峡水电站、李家峡水电站、二滩、三峡及小浪底水电站等的库岸边坡,特别是近坝库岸边坡都进行了比较详细的研究与论证。

路堑滑坡是另一种主要的滑坡地质灾害,尤以铁路路堑滑坡的危害更大,严重地危及铁路的正常运营及安全。特别是我国西南地区的宝成铁路、成渝铁路及成昆铁路,路堑边坡造成的滑坡灾害相当严重。1981年雨季宝成铁路宝鸡至广元段共发生滑坡289处,方量 $1.79 \times 10^6 \text{m}^3$,使该段铁路37个区间断道32处,中断行车两个月,抢建工程费达2.56亿元。1980年成昆铁路铁西滑坡,滑坡体达 $2.20 \times 10^6 \text{m}^3$,滑坡体掩埋铁路涵洞、路基,堵塞铁西隧洞进洞口,摧毁隧洞洞口附近的扳道房和看守房,堆积在路基上的滑体厚度达14m,越过铁路外侧达30m,掩埋铁路长达160m,中断行车40天。襄渝铁路安康附近的赵家塘滑坡1973年复活,使位于滑体上的旗杆沟隧道及石庙沟车站路基遭到破坏,危及通车安全,不得不采取综合整治措施。除上述滑坡外,成渝铁路的铁路路堑滑坡地质灾害亦相当严重,经常在雨季因产生滑坡而中断运行,严重影响铁路的安全。陇海铁路的滑坡灾害虽然不及宝成、成昆等线那样严重,但葡萄园等滑坡的发生一度亦带来严重的影响,使铁路的运行较长时间中断。显然,路堑边坡滑坡是山区铁路运营及影响铁路安全的普遍地质灾害。

二、滑坡研究

边坡稳定性研究是从生产实践中提出来的重要研究课题,我国发生的大量滑坡不但丰富了滑坡工程实践的内容,亦推动了滑坡或边坡稳定性研究工作。从50年代初期开始,在大量滑坡工程实践的基础上,对边坡岩体的稳定性进行了比较系统、比较广泛的研究,取得了一定的进展。回顾我国边坡稳定性研究或滑坡研究工作的发展状况,大致经历了三个发展阶段。50年代特别是50年代初期,滑坡或边坡失稳虽然屡有发生,但从总体上看,大型滑坡并不太多,特别是我国解放后兴建的一系列露天矿山,开挖深度浅,边坡稳定性问题及其对生产和安全的影响并不太突出。在此期间,我国的边坡稳定性研究工作尚处于建立队伍的初期发展阶段。研究工作的重点侧重于滑坡历史资料的分析及滑坡形态分类,探讨不同类型边坡的稳定分析方法及相应的变形破坏机制。在此期间,边坡的稳定性分析多借用土力学理论,而很少考虑岩体的结构特性及岩体中的地质结构面,特别是较弱结构面对边坡岩体稳定性的影响。自60年代开始,由于我国边坡工程实践的不断发展,滑坡事故日益增多,从而比较强调和重视边坡的工程地质工作,即边坡的工程地质条件及岩体结构特性对边坡稳定性影响的研究。中国科学院地质研究所工程地质室提出的岩体结构理论及相应的边坡岩体稳定性分析的岩体工程地质力学方法,对边坡稳定性研究或滑坡分析是一个具有创见性的重要发展。该分析方法的本质在于以岩体结构理论为基础,强调岩体中结构面特别是软弱结构面对边坡岩体变形及边坡失稳破坏的控制作用,运用赤平投影及实体比例投影的作图方法,确定边坡潜在不稳定块体可能的几何形态或滑动边界,并用与现场滑坡条件相应的滑面岩体强度指标,定量地分析、评价边坡的稳定状态。目前,这种分析方法在我国的边坡工程设计及边坡稳定性分析中已经获得广泛的应用。70年代,我国边坡稳定性研究的发展主要在于不断地丰富和完善岩体工程地质力学的分析原理与方法。在此期间,边坡工程的加固,现场原位岩体力学试验及岩体力学特

性的研究,以及包括数值模拟及物理模拟在内的研究边坡稳定性的各种实验方法及技术得到较快的发展,且更加重视边坡的变形破坏机制的研究,在边坡稳定性分析及评价中强调进行综合分析评价。

自1981年以来,我国的边坡研究工作又进入一个新的时期,其主要特点是在我国大量滑坡工程实践的基础上建立了我国岩质边坡变形破坏的典型地质模型,并提出了以岩体板裂结构理论为基础的边坡岩体溃屈破坏模型;强调了边坡岩体变形的动态监测在边坡稳定分析与评价中的作用。事实上,我国对诸如新滩滑坡及白银露天边坡的成功预报,都是以边坡岩体变形的动态监测资料为基础的。在此期间,比较重视滑坡滑面强度指标的反分析,提出在评价边坡工作状态时应建立并区别边坡的稳定性及安全性这样两个既相互联系,而又存在明显区别的不同概念,强调在边坡稳定性评价与分析中应该考虑岩体中初始地应力场作用图式及露天坑形状对边坡稳定性的影响。在工程实践中,不但应该利用露天矿的初始应力(地应力)对边坡变形破坏特征进行总体评价,而且应该利用地应力作用下滑动面上实际存在的应力状态进行定量的稳定性分析,这种分析方法与单纯只考虑岩体自重应力作用相比较,无疑更加符合实际情况,分析结果亦更加可靠。

三、影响边坡稳定性的主要因素

滑坡工程实践表明,影响边坡稳定性的因素是相当复杂的,从总的来说分为地质因素及非地质因素两类,前者是滑坡发生的地质基础或物质基础条件,后者则为滑坡的发生提供了外动力因素或触发条件。影响边坡稳定状态的地质因素包括边坡岩体的结构特性、岩体介质结构特性、地下水状态或水文地质条件及地应力等;非地质因素包括大气降雨、大爆破、坡脚切层开挖以及边坡下面地下开采等。

岩体的结构特性对边坡的稳定性影响是显而易见的。一般来说,岩体分为整体结构、块状结构、厚层状结构、中薄层状结构、镶嵌结构、层状碎裂结构、碎裂结构、散体结构、松软结构。滑坡多发生在层状碎裂结构、碎裂结构及散体结构,比较完整的岩体虽然亦发生较多的滑坡,但多为受构造条件控制的块裂体边坡或受软弱层面控制的层状结构边坡。新滩滑坡是典型的松散堆积层滑坡,而宝成铁路观音山花岗岩边坡开裂变形体及长江三峡链子崖岸坡开裂变形体则为典型的受地质构造结构面控制和制约的块裂体边坡。应该特别指出的是,岩体结构对边坡稳定性的影响在于地质结构面特别是软弱结构面对边坡岩体稳定性的控制作用,它们构成滑坡体的滑动面及构成滑坡体的切割面。有些滑坡体虽然不存在大型地质结构面,但总是沿着规模较小的结构面追踪发展,显示了岩体结构的影响及构造的控制作用。

岩体介质结构指的是具不同力学特性及不同变形特性、不同结构类型的岩体的空间分布组合特性。显然,对边坡的稳定性来说,即便组成边坡的岩体组成相同,但是如果其组合形式不同,边坡的稳定状态是完全不同的。大量的滑坡工程实践表明,软硬相间的边坡岩体介质结构对滑坡的发生有至关重要的影响。岩体介质结构影响的典型实例是盐池河山崩,崩坍山体为厚层状结构的白云岩,虽然从岩体结构的观点来看是稳定的,但在盐池河山体介质结构条件下对崩坍山体的灾难性崩坍失稳却是一个不利因素。因其本身稳定,在峡谷形成过程中不形成缓坡而形成高100m左右、坡角近 85° 左右的陡崖;在地

下开采条件下诱导的地表变形不取从峡谷岸坡逐渐变形失稳的形式,而取地表裂缝切割崩坍山体整体失稳的形式。由此可以看出,岩体结构对山体稳定性的双重作用,应该具体分析岩体介质结构的作用与影响。

边坡地下水状态对边坡稳定状态的影响是显而易见的。其作用主要有:(1)降低岩体特别是滑面岩体的强度,对于软弱岩体,强度软化系数一般仅为0.5—0.7左右;(2)地下水的静水压力一方面降低了滑面上的有效法向应力,从而降低了滑面上的抗滑力,另一方面切割面中的静水压力又增加了滑坡体的下滑力,从而使边坡的稳定条件恶化。云阳县鸡扒子滑坡的发生明显地受地下水的控制作用。滑坡的发生,是因为西侧石板沟被小型崩坍堵塞,在其上形成积水塘后,大量降雨无法沿石板沟直接下泄,而变为沿滑面泥岩渗透,改变了滑坡体的水文地质条件,从而产生急剧的大规模的滑动。滑坡西部近石板沟的滑体部分呈现饱水塑流状态,充分显示地下水的作用及影响。

我国大多数滑坡都是以地面大量降雨下渗引起地下水状态的变化为直接诱导因素。除1982年7月四川云阳、忠县因暴雨发生大量滑坡外,白灰厂滑坡、攀钢把关河石灰石矿滑坡、海州露天矿等大型滑坡都是发生在大量连续降雨之后,且滑坡体的变形与降雨量之间存在明显的对应关系。暴雨触发滑坡以1982年四川万县地区云阳等县最为典型。1982年7月中下旬上述地区降雨量为600—700mm左右,占全年降雨量的60—70%,且降雨主要集中在15—17日、19—23日、26—30日三个降雨过程,最大降雨过程降雨量达350—420mm,最大日降雨量为283mm,一小时最大降雨量为42.3mm,超过历史降雨纪录,结果诱发了全地区数万处滑坡。鸡扒子滑坡、天宝滑坡、梨树滑坡、沙岭滑坡等大型滑坡均是在暴雨期间发生的。阜新海州露天矿下盘切断100根抗滑桩的第39号滑坡、大冶露天矿狮子山滑坡均是发生在连续降雨超过100mm之后。武都滑坡变形与降雨关系的分析表明,月降雨小于100mm时滑坡体基本上无变形,100—300mm/月时,变形为5—20mm,月降雨大于400mm时,边坡变形可达50—100mm左右,充分显示了边坡变形与降雨之间的关系。

地应力对边坡稳定性的影响逐渐引起人们的重视。金川露天矿边坡的变形破坏充分说明了地应力对边坡岩体变形破坏的总体控制作用。矿区地应力实际量测表明,在近似垂直于露天坑长轴的方向存在大于岩体垂直自重应力两倍左右的区域性构造应力场,在该区域构造应力场的作用下,边坡岩体虽然都比较破碎,稳定性都比较差,而露天坑的西端帮边坡岩体更差,为第四纪松散或弱胶结,强度低,成岩差。然而,在这种条件下,虽然上下盘边坡均产生了明显的变形破坏,而西端帮却能保持完整无损,其主要原因是因为露天坑形式与构造应力作用方向的有利组合。

爆破震动尤其是大爆破在一定条件下亦常常会诱发滑坡的发生或加剧边坡的变形。金川露天矿上盘西区边坡破坏变形与建矿初期的762t炸药的松动大爆破有着极为密切的关系,大爆破后在原露天设计境界线外侧50m便产生数条大裂缝,这些裂缝及其以后的进一步发展为边坡提供了良好的切割条件,且大爆破对边坡岩体起到松动破坏作用,降低了边坡的稳定条件,加剧边坡岩体变形的发展。攀钢石灰石矿H₂滑坡固然与切层开挖滑坡脚有关,但用120t炸药大爆破滑坡脚亦是不可忽视的重要因素。对于露天矿山,日常的生产爆破药量亦都有数吨甚至数十吨,频繁的爆破震动效应无疑会对边坡的稳定性带来十分不利的影响,这可能是露天矿边坡变形比较普遍,不稳定或潜在不稳定边坡占

有相当大比率的主要原因之一。

边坡坡脚切层开挖是边坡变形造成滑坡的重要原因。鸡扒子滑坡固然与大量雨水渗透诱导有关,但滑坡前缘切层开挖坡脚亦是十分重要的因素。因长期的江水冲刷和采石在滑坡前缘形成高达40余米的江边陡坎,为滑坡提供了良好的前缘滑面出露及临空条件。攀钢石灰石矿滑坡亦是切层爆破坡脚后引起的。铁路路堑滑坡,如宝成铁路观音山滑坡、铁西滑坡及武都滑坡等都是因为坡脚切层开挖而形成的。观音山边坡表现得十分清楚。宝成铁路观音山车站位于清姜河右岸半山腰,系劈山填沟修建,路堑边坡高达百余米,且边坡上部有30m左右高的陡崖,路基开挖深度达30m左右。铁西滑坡位于成昆铁路铁西车站内,滑坡的发生是因为路基切层开挖坡脚,且滑坡体前缘石灰石采石场的开挖,导致滑坡体从长120m,高40—50m的露天采石场边坡下部剪出,剪出口高出铁路路基10m左右。武都滑坡的发生亦与坡脚开挖有直接关系。基于上述原因,我国西南铁路建设曾总结出用隧洞代替路基大开挖,以及在隧洞开挖中采用“早进晚出”的经验,尽可能避免路堑边坡及隧洞洞口边坡对铁路运营的影响。前河露天矿滑坡主要是因为露天矿切层开挖影响到露天矿上部自然边坡的稳定性而形成滑坡。

我国的若干滑坡都与地下的人为开采活动有关。盐池河山崩是在边坡下部开挖磷矿层的结果,采幅宽度2m左右,且因采用不合理的全面放顶的地压管理方法,使上覆山体形成与地下采空范围相对应的地面切割裂缝,最终导致山体滑移崩坍。阳泉矿区的地表滑坡及链子崖岸坡山体的开裂变形及危岩的形成亦与地下长期的采煤活动有关,在边坡下部形成了大量的采空区。白灰厂滑坡的复活及近期活动亦和地下采煤形成大量的采空区有密切的关系,在边坡上形成下沉裂缝,坍陷坑等,扰动了边坡岩体,破坏了其完整性,且为地表水的渗入提供了良好的通道。

上述为影响边坡变形及导致滑坡的主要地质因素及非地质诱导因素。应该强调指出的是,滑坡形成的条件及影响因素是非常复杂的,绝非是单因素影响的结果,而是在各种因素作用下的综合效应。显然,在上述诸因素中,地质因素是产生滑坡的基础,非地质因素是诱导或触发条件,加速滑坡的发展过程。因此,在滑坡分析及边坡稳定性评价时,应该把握住主要的地质因素,而对各种诱导或触发因素进行具体的分析。)

四、滑坡的主要类型

典型滑坡地质模型的建立对滑坡的分类及稳定性评价是非常有益的,因为边坡地质模型是反映影响边坡稳定状态的各种地质因素的综合体现,而边坡的变形破坏方式集中反映了地质模型的主要特点。因此,在工程实践中可以根据边坡地质模型把握边坡变形破坏的形式,预报边坡变形的发展趋势及可能的破坏方式。无疑,典型滑坡地质模型的建立对滑坡工程实践及边坡稳定性评价具有重要的指导意义。然而,从另一方面来看,滑坡的发生都具复杂的条件,每一个滑坡又都具其特点,不能完全一一比较,典型滑坡地质模型很难概括全面,这就要求我们不但从地质基础上,而且要求从滑体及滑床形态,滑体的变形破坏方式,乃至滑坡的运动形态对滑坡进行分类,这种分类事实上并不像地质模型那样,而要求能反映滑坡的最主要的特点。