

商真平
甄习春

魏玉虎
张建良

姚兰兰
宋云力

等编著

滑坡防治技术

理论探讨与工程实践



H
UAPO FANGZHI JISHU
LILUN TANTAO YU
GONGCHENG SHIJIAN



黄河水利出版社

滑坡防治技术理论探讨与 工程实践

商真平 魏玉虎 姚兰兰 等编著
甄习春 张建良 宋云力

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书共分为两部分:上篇为理论探讨,主要从滑坡的分类、形成与危害,国内滑坡的分布概况,河南省滑坡发育特征,国内外滑坡灾害防治技术与进展等方面对滑坡地质灾害及防治进行了充分说明;下篇为工程实践,主要以作者亲身主持并参与治理的河南省信阳市新县新集镇向阳新村滑坡应急勘查治理工程为例,从花岗岩地区滑坡概况与发育特征、滑坡勘查、治理工程设计、施工组织设计、防治工程施工、工程监理、工程竣工资料整编等几个方面详细说明了滑坡勘查方法与采用的手段,设计依据、设计计算方法,防治方案比选与确定,施工程序,抗滑桩及土钉墙等分项防治工程施工的全过程,以及工程材料的整编等,并对滑坡防治工程的治理效果、效益等进行了分析判定。

本书可供铁路、公路、矿山、水利、国土资源及城建等部门从事滑坡和高边坡勘查、设计、施工、监理、监测预报的工作者参考,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

滑坡防治技术理论探讨与工程实践/商真平等编著.
郑州:黄河水利出版社,2009.7
ISBN 978-7-80734-679-1

I. 滑… II. 商… III. 滑坡-防治 IV. P642.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 116485 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:12.75

字数:290 千字

印数:1—1 300

版次:2009 年 7 月第 1 版

印次:2009 年 7 月第 1 次印刷

定价:29.00 元

《滑坡防治技术理论探讨与工程实践》 编委会

顾 问 杨昌生

编著人员 商真平 魏玉虎 姚兰兰 甄习春
张建良 宋云力 刑永强 齐登红
赵承勇 郭玉娟 董珂 陈全礼
何牧 董伟 王萍 莫德国
朱洪生

前 言

崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害是危害人类安全的自然灾害,尤其是滑坡灾害,在我国分布广,危害大,严重威胁人民群众的生命和财产安全。自 20 世纪 90 年代开始,我国逐步加强了地质灾害防治工作,对地质灾害的研究程度也愈来愈高。特别是中华人民共和国国务院令第 394 号《地质灾害防治条例》颁布后,我国地质灾害防治工作明显加强,防灾减灾取得一定成效,在地质灾害勘查、设计、施工及应急治理等方面的研究有了突飞猛进的发展。但是,由于一些基层干部对地质灾害的有关知识和法律认识还不深,广大群众缺乏地质灾害防治知识,在斜坡、沟谷中随意切坡开挖、改变河道、弃土堵沟、修建池塘等,这些不合理的人为工程活动引发了大量的地质灾害,给人民群众的生命和财产造成了重大损失或安全隐患。目前,我国每年因地质灾害造成的人员伤亡和财产损失仍然十分严重。

河南地质构造复杂,自然地质作用、人类工程经济活动较强烈,滑坡等地质灾害较发育,具有分布范围广、规模小、数量多、损失大等特点,是我国地质灾害多发的省份之一。根据初步统计,2001~2005 年全省共发生突发性地质灾害 612 起,其中滑坡 257 起,直接经济损失 32 049.37 万元,共造成 38 人伤亡(其中死亡 29 人)、11 人失踪。为做好全省地质灾害防治工作,减轻地质灾害损失,自 1999 年开始,由国家、省财政出资,先后开展了山区、丘陵地区 65 个县(市)地质灾害调查与区划工作,用了 8 年时间,全部完成了我省地质灾害普查工作,基本查明了全省地质灾害的类型、规模、分布特征、危害性。同时,自 2000 年起,我省先后完成部、省级重大地质灾害治理项目近 10 个,正在开展的重大地质灾害治理项目 5 个,已列入治理计划、拟在 2~3 年内完成的省级重大地质灾害治理项目近 30 个。我省地质灾害防治工作进入了一个新阶段。

作为水文地质、工程地质、环境地质技术工作者,作者近年来一直从事河南省地质灾害调查、勘查和地质灾害防治工作,多年来的实际工作经历使我们对全省滑坡地质灾害的分布特征、发育规律、灾害的诱发因素以及治理工程等有了一定程度的研究,在滑坡治理工程方面积累了一定的经验。

为了与众多的从事相关滑坡地质灾害调查、勘查、设计与治理的技术研究人员共同交流滑坡地质灾害的防治技术,提高我省在滑坡地质灾害治理上的技术水平,使从事地质灾害防治工程的技术研究人员能够更好地认识和了解滑坡地质灾害,以便更好地进行灾害防治工程的勘查、设计与治理,本书从滑坡灾害的分类、特征及形成机理入手,阐述了我国和河南省滑坡灾害的基本概况与分布特征,初步总结与阐述了国内外滑坡灾害防治技术研究成果。同时,以河南省信阳市新县新集镇向阳新村滑坡防治工程为实例,对滑坡发生的地质条件、机理、稳定性评价,防治方案比选,主要工程措施和防治效果等作了系统的分析,对滑坡治理工程的勘查、设计、施工、监测及监理等进行了总结,以便为从事滑坡灾害防治的技术人员和管理者提供较为翔实的范例和参考。本书可供铁路、公路、矿山、水利、

国土资源及城建部门从事滑坡和高边坡勘查、设计、施工、监测预报和管理的技术人员及高等院校师生参考。

本书的出版,得到了中国有色金属工业西安勘察设计研究院谭炳炎教授级高级工程师、王庆国高级工程师和河南省信阳工程地质勘察院院长谌伟博士以及河南省第一地质工程院豫龙岩土工程有限责任公司等单位和个人的大力支持,在此向他们表示衷心的感谢。

作 者

2009 年 1 月

目 录

前 言

上篇 理论探讨

第一章 滑坡的分类、形成与危害	(1)
第一节 地质灾害的分类	(1)
第二节 滑坡的定义与分类	(2)
第三节 滑坡的形成	(5)
第四节 滑坡的危害	(10)
第五节 滑坡监测与防治	(12)
第二章 中国滑坡分布概况	(19)
第一节 地质灾害概述	(19)
第二节 滑坡规模	(19)
第三节 滑坡类型	(20)
第四节 滑坡分布与地形坡度	(20)
第五节 滑坡诱发因素	(21)
第六节 重大滑坡灾害实例	(21)
第三章 河南滑坡发育特征	(24)
第一节 地质环境概况	(24)
第二节 地质灾害类型及分布特征	(26)
第三节 地质灾害发育程度分区	(27)
第四节 地质灾害灾情	(27)
第五节 地质灾害潜在危害	(27)
第六节 特大型地质灾害隐患点	(28)
第七节 河南省各市地质灾害概况	(28)
第八节 滑坡灾害发育特征	(61)
第四章 国内外滑坡灾害防治技术与进展	(68)
第一节 滑坡灾害空间预测研究现状	(68)
第二节 滑坡灾害风险评价研究	(70)
第三节 滑坡监测技术研究	(71)
第四节 滑坡灾害预警预报研究	(73)
第五节 滑坡治理技术研究	(76)

下篇 工程实践

第五章 滑坡概况	(84)
第一节 自然地理与地质	(84)
第二节 滑坡特征	(92)
第六章 滑坡勘查	(96)
第一节 勘查工作执行规范及技术标准	(96)
第二节 勘查方法及方案	(96)
第三节 滑坡区的工程地质和水文地质条件	(107)
第七章 治理工程设计	(117)
第一节 治理工程布置原则	(117)
第二节 总体工程布置	(117)
第三节 工程设计	(121)
第八章 施工组织设计	(135)
第一节 施工依据	(135)
第二节 施工组织方案	(135)
第三节 施工总体部署	(136)
第四节 工期计划及保障措施	(138)
第五节 工程质量	(140)
第六节 工程安全	(142)
第七节 施工环境保护、水土保持和文物保护等措施和方案	(145)
第八节 文明施工保证措施及创建文明工地的规划	(145)
第九节 劳动卫生保障措施	(146)
第九章 工程施工	(147)
第一节 工程量完成情况	(147)
第二节 各分项工程施工	(148)
第三节 施工过程中滑坡体稳定性监测	(163)
第十章 工程监理	(165)
第一节 监理工作依据	(165)
第二节 监理工作目标及监理工作程序	(165)
第三节 监理规划及监理工作制度	(167)
第四节 监理工作内容及组织机构	(167)
第五节 施工质量控制	(168)
第六节 施工进度控制	(185)
第七节 监理效果	(186)
第八节 滑坡治理工程效益分析	(187)
第十一章 工程竣工资料整编	(189)
第一节 治理工程可行性研究报告	(189)

第二节	滑坡勘察报告	(189)
第三节	施工图说明书	(189)
第四节	治理工程总体设计书	(190)
第五节	治理工程竣工报告	(190)
第六节	监理报告	(190)
第七节	监测报告	(191)
结 语		(192)
参考文献		(194)

上篇 理论探讨

第一章 滑坡的分类、形成与危害

第一节 地质灾害的分类

地质灾害是指因自然因素或人为活动引发的危害人民群众的生命和财产安全的与地质作用有关的灾害。地质灾害的形成是致灾地质作用与受灾对象(人、物)相遭遇的结果。没有致灾的地质作用,地质灾害无法发生;而若致灾的地质作用遇不到有价值的受灾对象,造不成损失,也不能称为灾害。致灾作用是主导因素,受灾对象是被动客体。地质灾害的类型常按致灾地质作用的性质和其他特点进行划分,而灾害的大小则以受灾对象的损失(规模、价值)大小加以评估。

按致灾地质作用的性质和发生处所进行划分,常见地质灾害共有 12 类 49 种。它们分别是:

- (1) 地壳活动灾害,如地震、火山喷发、断层错动等;
- (2) 斜坡岩土体运动灾害,如崩塌、滑坡、泥石流等;
- (3) 地面变形灾害,如地面塌陷、地面沉降、地面开裂(地裂缝)等;
- (4) 矿山与地下工程灾害,如煤层自燃、洞井塌方、冒顶、偏帮、鼓底、岩爆、高温、突水、瓦斯爆炸等;
- (5) 城市地质灾害,如建筑地基与基坑变形、垃圾堆积等;
- (6) 河、湖、水库灾害,如塌岸、淤积、渗漏、浸没、溃决等;
- (7) 海岸带灾害,如海平面升降、海水入侵、海崖侵蚀、海港淤积、风暴潮等;
- (8) 海洋地质灾害,如水下滑坡、潮流沙坝、浅层气害等;
- (9) 特殊岩土灾害,如黄土湿陷、膨胀土胀缩、冻土冻融、沙土液化、淤泥触变等;
- (10) 土地退化灾害,如水土流失、土地沙漠化、盐碱化、潜育化、沼泽化等;
- (11) 水土污染与地球化学异常灾害,如地下水水质污染、农田土地污染、地方病等;
- (12) 水源枯竭灾害,如河水漏失、泉水干涸、地下含水层疏干(地下水位超常下降)等。

常见地质灾害有山体崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等。

第二节 滑坡的定义与分类

一、滑坡的定义

滑坡是指斜坡上的土体或岩体,受河流冲刷、地下水活动、地震及人工切坡等因素的影响,在重力作用下,沿着一定的软弱面或者软弱带,整体或分散地顺坡向下滑动的自然现象,俗称“走山”、“垮山”、“地滑”、“土溜”等。《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T 0218—2006)中指明,滑坡泛指已经发生的滑坡和可能以滑坡形式破坏的不稳定斜坡和变形体。

二、滑坡的分类

我国铁道、水利等部门主要根据滑坡物质组成、滑动面通过岩层情况、滑体厚度、滑动力学性质、形成原因、活动性、滑体规模、滑坡运动状态、岩体结构等方面对滑坡进行分类,如表 1-1 所示。

表 1-1 滑坡分类方法

划分依据	类型	特征说明
滑坡物质组成	堆积层滑坡	各种不同性质的堆积层(包括坡积、洪积和残积)体内滑动,或沿基岩面的滑动,其中坡积层的滑动可能性大
	黄土滑坡	不同时期的黄土层中的滑坡,多群集出现,常见于高阶地前缘斜坡上,或黄土层沿下伏第三纪岩层滑动
	黏性土滑坡	黏性土本身变形滑动,或沿其他土层的接触面或沿基岩接触面滑动
	岩层滑坡	较弱岩层组合物的滑坡,或沿同类基岩面,或沿不同岩层接触面以及较完整的基岩面滑动
	特殊滑坡	融冻滑坡、灵敏土滑坡、隘落滑坡、液化滑坡
滑动面通过岩层情况	同类土滑坡	也称均质滑坡,发生在层理不明显的均质黏性土或黄土中,滑动面均匀光滑
	顺层滑坡	沿层面或裂隙面滑动,或沿坡积体与基岩界面及其岩间不整合面等滑动,大都分布在顺倾向岩层的山坡上
	切层滑坡	滑动面与岩层面相切,常沿倾向山外的一组断裂面发生,滑坡床多呈折线状,多分布在逆倾向岩层的山坡上
滑体厚度	浅层滑坡	滑坡体厚度在 6 m 以内
	中层滑坡	滑坡体厚度在 6 ~ 20 m
	深层滑坡	滑坡体厚度在 20 ~ 50 m
	巨厚层滑坡	滑坡体厚度超过 50 m
滑动力学性质	推移式滑坡	上部岩层滑动,挤压下部产生变形,滑动速度较快,多具楔形环谷外貌,滑体表面波状起伏,多见于有堆积物分布的斜坡地段
	牵引式滑坡	下部先滑,使上部失去支撑而变形滑动,一般速度较慢,多具上小下大的塔式外貌,横向张性裂隙发育,表现多呈阶梯状或陡坎状,常形成沼泽地

续表 1-1

划分依据	类型	特征说明
形成原因	工程滑坡	(1)工程新滑坡:由于开挖山体所形成的滑坡 (2)工程复活古滑坡:久已存在的滑坡,由于开挖引起重新活动
	自然滑坡	(1)老滑坡:坡体上有高大树木,残留部分环谷、断壁擦痕 (2)新滑坡:外貌清晰,断壁新鲜
活动性	活滑坡	发生后仍在继续活动的滑坡,后壁及两侧有新鲜擦痕,体内有开裂、鼓起或前缘有挤出等形变,其上偶有旧房遗址,幼小树木歪斜生长等
	死滑坡	发生后已停止发展,一般情况下不可能重新活动,坡体上植被较茂盛,常有居民
滑体规模	小型滑坡	小于 3 万 m^3
	中型滑坡	3 万 ~ 50 万 m^3
	大型滑坡	50 万 ~ 300 万 m^3
	巨型滑坡	300 万 m^3 以上
滑坡运动状态	缓慢式滑坡	滑坡移动缓慢,移动有连续的和间歇的
	崩塌性滑坡	滑坡的发生是急速的、骤然的,破坏在短时间内完成
岩体结构	块状岩体滑坡	包括岩浆岩和厚层岩滑坡,滑坡体为块状结构类型,岩体被不连续的节理裂隙切割,呈大块状,滑面为断层面、节理面和层面
	层状岩体滑坡	包括薄层状和层状岩坡,滑坡体为层状结构类型,岩体呈板状、层状,层理面极为发育,滑面为层面、断层
	碎裂岩体滑坡	滑坡体为碎裂结构体,岩体呈中小碎块,发育多组不规则节理,但原始结构基本格架未破坏,滑面为断层和层面
	松散岩体滑坡	包括黄土、黏土、碎石土、剧风化破碎岩滑坡,滑坡体为散体结构类型岩体,松散土为未胶结土,碎石土和剧风化岩断层破碎岩等破坏了原结构,滑面一般情况下为圆弧状

国土资源部 2006 年 9 月发布实施的《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T 0218—2006)在对滑坡进行分类时主要考虑了以下两方面的因素:

(1)根据滑坡体物质组成和结构形式等主要因素进行分类,如表 1-2 所示。

表 1-2 根据滑坡体物质组成和结构形式等主要因素分类

类型	亚类	特征描述
堆积层(土质)滑坡	滑坡堆积体滑坡	由前期滑坡形成的块碎石堆积体,沿下伏基岩或体内滑动
	崩塌堆积体滑坡	由前期崩塌等形成的块碎石堆积体,沿下伏基岩或体内滑动
	崩滑堆积体滑坡	由前期崩滑形成的块碎石堆积体,沿下伏基岩或体内滑动
	黄土滑坡	由黄土构成,大多发生在黄土中,或沿下伏基岩面滑动
	黏土滑坡	由具有特殊性质的黏土构成,如昔格达组、成都黏土等
	残坡积层滑坡	由基岩风化壳、残坡积土等构成,通常为浅表层滑动
	人工填土滑坡	由人工开挖堆填弃渣构成,次生滑坡

续表 1-2

类型	亚类	特征描述
岩质滑坡	近水平层状滑坡	由基岩构成,沿缓倾岩层或裂隙滑动,滑动面倾角小于 10°
	顺层滑坡	由基岩构成,沿顺坡岩层滑动
	切层滑坡	由基岩构成,常沿倾向山外的软弱面滑动,滑动面与岩层层面相切,且滑动面倾角大于岩层倾角
	逆层滑坡	由基岩构成,沿倾向坡外的软弱面滑动,岩层倾向山内,滑动面与岩层层面相反
	楔体滑坡	在花岗岩、厚层灰岩等整体结构岩体中,沿多组软弱面切割成的楔形体滑动
变形体	危岩体	由基岩构成,受多组软弱面控制,存在潜在崩滑面,已发生局部变形破坏
	堆积层变形体	由堆积体构成,以蠕滑变形为主,滑动面不明显

(2) 滑坡按其他因素分类如表 1-3 所示。

表 1-3 滑坡按其他因素分类

有关因素	名称类别	特征说明
滑体厚度	浅层滑坡	
	中层滑坡	
	深层滑坡	
	超深层滑坡	
运动形式	推移式滑坡	上部岩层滑动,挤压下部产生变形,滑动速度较快,滑体表面波状起伏,多见于有堆积物分布的斜坡地段
	牵引式滑坡	下部先滑,使上部失去支撑而变形滑动,一般速度较慢,多具上小下大的塔式外貌,横向张性裂隙发育,表面多呈阶梯状或陡坎状
发生原因	工程滑坡	由于施工或加载等人类工程活动引起的滑坡,还可细分为: (1) 工程新滑坡: 由于开挖坡体或建筑物加载所形成的滑坡; (2) 工程复活古滑坡: 原已存在的滑坡,由于工程扰动引起复活的滑坡
	自然滑坡	由于自然地质作用产生的滑坡,按其发生的相对时代可分为古滑坡、老滑坡、新滑坡
现今稳定程度	活动滑坡	发生后仍继续活动的滑坡,后壁及两侧有新鲜擦痕,滑体内有开裂、鼓起或前缘有挤出等变形迹象
	不活动滑坡	发生后已停止发展,一般情况下不可能重新活动,坡体上植被茂盛,常有老建筑
发生年代	新滑坡	现今正在发生滑动的滑坡
	老滑坡	全新世以来发生滑动,现今整体稳定的滑坡
	古滑坡	全新世以前发生滑动的滑坡,现今整体稳定的滑坡
滑体体积	小型滑坡	$< 10 \text{ 万 m}^3$
	中型滑坡	$10 \text{ 万} \sim 100 \text{ 万 m}^3$
	大型滑坡	$100 \text{ 万} \sim 1\,000 \text{ 万 m}^3$
	特大型滑坡	$1\,000 \text{ 万} \sim 10\,000 \text{ 万 m}^3$
	巨型滑坡	$> 10\,000 \text{ 万 m}^3$

第三节 滑坡的形成

一、形成机理

滑坡的形成机理揭示了滑坡从孕育、发展直至死亡的全过程,认识滑坡的形成机理是开展滑坡灾害预测预报和进行防治的基础。开展滑坡的形成机理研究在揭示滑坡运动过程的同时,对滑坡的稳定性评价、滑坡预报、滑速、滑距、滑坡防治等也有重要的意义。

在国外,太沙基(Terzaghi, 1950)是从土力学方面研究滑坡的形成机理的开拓者,他主要从滑带土孔隙水压力的变化来揭示滑坡的形成机理,同时也注意到了地质条件的控制作用。之后,赫佛利(Haefeli, 1965)、摩根斯顿(Mogenstern, 1971)、伏斯列夫(Hvorslev, 1951)等定量地研究了孔隙水压力对土体强度的影响;斯开普敦(Skempton, 1966)关于黏性土的残余强度理论和捷尔-斯捷潘尼扬(Ter-Sterpanian, 1975)关于土体蠕变过程的研究把滑坡形成机理的研究进一步推向深入。

在国内,许多工程地质学家、土力学家以及滑坡防治专家对滑坡形成的条件和作用因素、滑坡的受力状态、滑带土的强度变化规律、滑坡的破坏模式及发育阶段等问题进行了多方面的探索和研究,例如:徐邦栋等以滑动带成因和形态为主结合滑动特征,阐述了我国铁路建设中常见的沿已有软弱构造带(面)滑动的滑坡、因下伏软岩挤出形成的错落性滑坡、沿新生弧形面滑动的滑坡、胀缩土滑坡、黄土崩塌性滑坡等的发生机理和变化过程;晏同珍根据滑坡发生的初始条件、原因及滑动方式,概括了滑坡形成的8种机理,即流变倾覆、应力释放平移、震动崩落及震动液化平推、潜蚀陷落、地层悬浮一下陷、高位能飞越、孔隙水压浮动、切蚀一加载等;卢肇钧从应力状态和应力路径、应变、孔隙水压力、加荷速率、受力时间、土体不均匀性和不等向性等方面阐述了土体的破坏机理;张倬元、王兰生等从滑坡体的地质结构和受力过程出发提出了5种滑坡破坏模式;胡广韬提出滑坡滑动的“临床弹性冲动效应”机理;徐峻岭提出滑坡滑动的“闸门效应”;王兰生提出“平卧支撑拱”的作用机制;王思敬、王效宁提出“结构释能”机理;刘光代提出“牵引推动式”机制;高根树提出了两类大型(“斜坡牵引失稳产生次生高能滑体与先失稳滑体发生碰撞,经过能量传递调整获得高速”和“滑体下覆岩土体内形成低摩擦次生滑动面使滑体的高速滑动维持较长一段时间”)高速滑坡滑动机理;廖小平、徐峻岭、郑静提出了“冲击碰撞作用机理和连续可变的块体运动理论”;王家鼎研究了强震作用下低角度黄土斜坡滑移的复合机理、地震诱发高速黄土滑坡的机理、饱和黄土蠕动液化机理、灌溉诱发高速黄土滑坡的运动机理;唐静等提出了后部岩(土)体的楔劈作用以及弹射冲击波作用是突发性高速滑坡形成及发展的重要机理。

虽然有众多的学者在从事滑坡机理研究,但由于多种原因,目前国内对滑坡机理全面、系统的研究还不够完善。同时,针对特定地区、特定滑坡进行的机理研究成果很难在另一地区、另一滑坡体上应用,即使是类似滑坡体,其应用也存在很多困难。

二、滑坡变形与内外营力的关系

滑坡之所以能发展并形成最终破坏,总是和一定的内外营力对斜坡的改造作用相联系的,这些作用对滑坡稳定性造成的影响有的是可逆的,有的是不可逆的。它们主要通过以下几方面来改变滑坡的稳定性:

(1)改变斜坡的外形,实际上是改变了坡体的临空状况及应力场。属于这方面的作用包括流水、海、湖(包括人工湖泊)的蚀淤,泥石流的侵蚀刨蚀和堆填以及人工开挖、堆放等。

(2)改变坡体岩体的结构特征和力学性质,即降低斜坡的抗变形、抗破坏能力。属于这方面的作用包括风化作用、冻融作用和地下水的的作用等不可逆因素以及水的浸湿软化作用等可逆因素。

(3)改变坡体、岩体的应力状况。属于这方面的作用包括地下水动水压力和空(孔)隙水压力的作用、区域构造应力场的变化、地震力、人工爆破震动力以及开挖坡体、工程荷载等。这些动力如果已使斜坡造成变形或破坏,其影响为不可逆的,否则为可逆的。

在影响某一滑坡稳定性的诸多因素中,往往可以确定起关键性作用的主导因素,这些因素是在斜坡演变历史中不断降低斜坡稳定性的动力因素。某些可逆因素,如降水、洪水、地震及气温的变化等,可以使已接近失稳状态的斜坡突然破坏,称为触发或诱发因素。

各种动力因素对滑坡的作用又往往集中在坡体的某些部位、某些面或某些带中,构成动力作用集中或活跃面(带)。坡体中的这些活跃面(带)与斜坡中的软弱结构面(带)和应力集中带一样,对坡体的演变起着极为重要的作用,一些原来并非最薄弱的部位,由于它是某种动力作用的长期活跃带,随着作用的进展,它甚至可成为斜坡演变的控制带,则该动力因素为导致坡体稳定性不断下降的主导因素。

(一)滑坡主导因素

1. 岩土地质类型

结构松散,抗剪强度和抗风化能力低,在水作用下易发生变化的松散覆盖层、黄土、黏土、页岩、泥岩、煤系地层、凝灰岩、片岩、板岩、千枚岩等是产生滑坡的内在物质基础。岩土力学强度较弱与较坚硬岩层互层结构的碎屑岩组亦利于滑坡的形成。

2. 地质构造及岩土结构

岩层中的各种节理、裂隙、层理面、岩性界面、断裂发育的斜坡,平行和垂直的陡倾构造面及顺坡缓倾的结构面是产生滑坡的内在地质环境条件。

3. 地形地貌

相对高差较大,山体坡角陡,即坡角大于 10° 、小于 45° 、下陡中缓上陡、上部成环状的坡形是产生山体滑坡的内在地貌环境条件。特别是在斜坡向与岩层结构面倾向一致时易于滑坡的形成。

4. 地下水作用

地下水使岩土软化、降低岩土的抗剪和黏结强度,产生动水和孔隙水压力,潜蚀岩土,增大岩土容重,对透水岩石产生浮托力等是产生滑坡的水文地质条件。

(二) 滑坡诱发因素

1. 大气降水与滑坡关系的研究

大量的统计资料表明,大多数的滑坡是发生在降雨期间或降雨之后,一个地区的滑坡发育程度有随降雨量增多而增强的规律。

钟立勋在“中国重大地质灾害实例分析”一文中所列举的 27 例我国重大地质灾害中有 15 例是由于暴雨引起的。《中国典型滑坡》一书中列举的 90 多个滑坡实例,有 95% 以上的滑坡都与降雨或地下水渗流有密切关系,其中相当一部分滑坡发生在雨季。

国内外一些学者从不同的角度或方面对降雨与滑坡灾害进行研究,取得了不少成果。

在国外,山田刚二等通过对山阴干线小田—田仪间 403 km、404 km 附近的滑坡研究,并结合日有效雨量、滑坡位移速率、地下水压力随时间变化曲线开展滑坡灾害预警预报工作之间的统计关系,发现这些地区的一次降雨量超过 250 ~ 300 mm 时,降雨与滑坡之间存在很好的对应关系。根据此关系,对每个地区绘制了危险图,图中划分了滑坡产生的 4 个危险等级,一定的降雨量以及以前的降雨历时过程,可以对应图中不同的危险等级区,以绘制降雨量与滑坡危险性等级图为依据进行滑坡灾害发生时间的预测预报。Rahardjo 通过对 1995 年 2 月因持续降雨在新加坡南洋理工大学校园发生的 20 多个浅层滑坡进行研究,并采用数值模拟技术模拟了由于不同的降雨模式而导致孔隙水压力的变化,得出前期雨量对边坡失稳起着重要作用的结论。

在国内,曲焰通过长期观测,发现滑坡蠕变滑动与降雨量具有明显的关系,并经过回归分析建立了蠕变位移(y)与月降雨量(x)的指数函数关系。李明华以四川北部 1981 年暴雨滑坡为例,分析了该地区滑坡发生的地质地貌和降雨条件,得出了不同地质地貌条件下触发滑坡的降雨量不同,同时通过统计该区域不同地貌区触发滑坡的累计雨量和日降雨量的结果,得出了不同地貌区触发不同数量滑坡时的降雨参数,认为降雨诱发的滑坡是降雨的三个基本变量(降雨量、降雨强度、降雨时间)综合作用的结果,并利用阈值分析了典型滑坡降雨诱发的概率。殷坤龙、张桂荣、谢剑明等在浙江省开展的地质灾害预警预报中,对浙江省降雨型滑坡进行了研究,将浙江省分为台风区和非台风区两个区域,分别确定了适合区域滑坡灾害预测预报的有效降雨量临界值和当日雨强临界值,并结合浙江省地质灾害发生的地质条件,建立了区域地质—气象信息耦合的地质灾害预测预报模型。

国内外在滑坡与临界雨强关系的研究方面也取得了不少的成果。

Brand, Au 等在详细分析了 1963 ~ 1983 年的滑坡数目与 1 ~ 30 d 的累积降雨关系之后,认为香港地区的日均滑坡数量、滑坡伤亡人数与前期降雨量之间基本无关系可循,结论是香港地区的绝大多数滑坡是短时高强度的降雨引发的。70 mm/h 的降雨强度被看做是可能发生滑坡的临界雨强,若降雨强度超过 100 mm/d,滑坡失稳数量显著增加。Malone 等指出预警系统控制的临界降雨强度不适于大型深层滑坡(深度大于 5 m),这类滑坡明显与前期降雨量有关。Pun 等重新评定了以 Brand 的结果为依据建立的滑坡预警系统的有效性,得出的结论为:① 75 mm/h 降雨强度不宜作为有居民的山坡地区的临界雨强;② 滑坡发生概率与 15 d 前降雨量有关,相关程度随滑坡规模而变。Murry 和 Olsen 建议 70 mm/h 的降雨强度可以作为巴布亚新几内亚滑坡发生的有效标准,在 24 h 降雨量超过 125 mm 时滑坡大量发生;在日本累积降雨量超过 150 ~ 200 mm,或每小时降雨量超

过 20 ~ 30 mm 时,大量滑坡将会受降雨影响而发生滑动;美国 SarzBertlto 和 Alameda 认为在过程降雨量累积超过 180 ~ 250 mm 时为滑坡发生的临界值;加拿大滑坡发生的临界累积雨量值超过 250 mm;巴西滑坡发生的临界累积雨量值为 250 ~ 300 mm。

在国内,三峡库区滑坡研究认为,当降雨强度大于 6 mm/h,日降雨量大于 30 mm,一次降水过程累积降雨量大于 100 mm 时,即可能使浅层堆积体出现初滑迹象。柳源通过对中国几个重要暴雨滑坡集中取得的临界暴雨强度进行研究,得出四川盆地洪成分布区临界暴雨强度可确定为 200 mm/d,陕南则大致为 70 mm/d,鄂西为 100 mm/d,且前期降雨对滑坡滑动是否有明显影响取决于滑体的岩土性质、滑坡形成机制等多种因素,不可一概而论。文宝萍等通过对陕南地区典型滑坡的数值模拟得出临界暴雨强度为 75 mm/d。但需指出的是,这一地区的暴雨滑坡与前期雨量有较为明显的关系,这一点与四川盆地的暴雨滑坡是不一样的。

综观上述研究成果,均从降雨历时、降雨量、降雨强度及降雨形式等方面进行分析,得出的成果具有特定的应用范围,一般适用于本区域或相类似的地区。另外,对于不同物质组成的滑坡体,降雨过程对其影响也不同,这是因为不同的地质地貌条件渗透性和排泄能力不同,因此不能一概而论。

2. 沟谷、河流、湖泊、海洋水的作用

岸坡的形态、岩土类型、组成结构及地质构造条件、风化程度等,是影响库岸再造的内因。不同物质组成与结构的岩土边坡具有不同的抗剪强度和抗冲刷能力,它们决定着最终库岸再造的范围、作用强度和再造类型。而库水的涨落、水文地质条件的改变以及地震等因素则是库岸再造的外因,尤其是库水涨落、水文地质条件的改变不仅会导致岩土抗剪强度降低,而且会引起岩土自重及动、静水压力的变化,从而影响岸坡的稳定。地震的影响也是显而易见的,它是诱发大规模岸坡失稳的重要因素之一。

就水库蓄后影响库岸再造的外界因素而言,无疑是河水位变化所导致的一系列作用,它主要表现在以下几个方面:

(1) 水的长期浸泡作用。如前所述,特别对于细粒土来说,饱水强度远远低于天然含水时的强度。当岩(土)体强度逐渐降低,并达到一定程度时,岸坡将产生坍塌,甚至整体滑移型破坏。

(2) 水波浪的冲刷作用。受其影响岸坡一般产生侵蚀—剥蚀型再造。岩质岸坡一般表现为全风化带、强风化带岸体受冲刷后,产生剥落;土质岸坡则表现为波浪顺坡面回落,牵动表层土层并将其带入库中或造成坍塌。

(3) 水涨落对水文地质参数的改变效应。库水的涨落导致岩(土)体中水文地质条件改变,也即使岸坡中的地下水静、动水压力发生突变,这对覆盖层深厚且透水性较差的土质库段影响较大,易发生整体滑移失稳。

(4) 地表水、地下水的联合作用。暴雨期间,来自库岸流域内的地表水、地下水使土体饱水、富水、自重加大,一方面表现为水土流失,另一方面则起到肢解岸坡岩土的作用,对各种类型库岸再造的发生均有一定的影响。

3. 人为工程活动破坏坡体平衡作用

(1) 开挖坡脚与增加荷载。由于建筑、填方、倾倒、筑堤等引起边坡超载。另外,边坡