

水库 Shuiku Huapo yu Fangzhi Jishu 滑坡与防治技术

王连新 马建宏 边智华 黄学才 编著

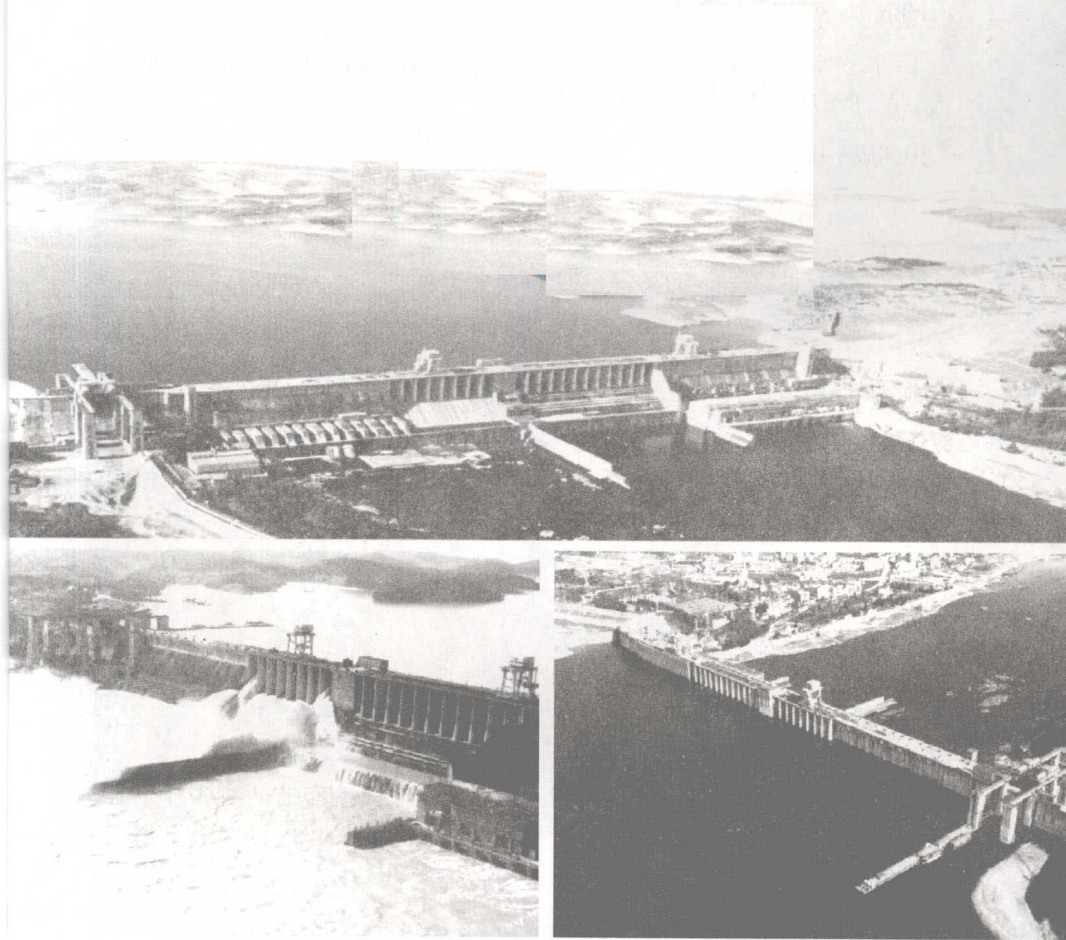


长江出版社

TV679.3
W257

水库 St u Fangzhi Jishu 滑坡与防治技术

王连新 马建宏 边智华 黄学才 编著



长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

水库滑坡与防治技术/王连新,马建宏,边智华,黄学才编著. —武汉:长江出版社,2005.3

ISBN 7-80708-039-6

I. 水… II. ①王… ②马… ③边… ④黄… III. 水库—护坡—滑坡—防治 IV. TV679.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 013711 号

水库滑坡与防治技术

王连新,马建宏,边智华,黄学才 编著

责任编辑:吴曙霞

技术编辑:王秀忠

装帧设计:刘斯佳

责任校对:李海振

出版发行:长江出版社

地址:武汉市汉口解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:通山县九宫印务有限公司

规 格:880mm×1230mm 1/32

7.5 印张 200 千字

版 次:2005 年 3 月第 1 版

2005 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-80708-039-6/TV·11

定 价:19.80 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

序

滑坡是斜坡上的岩土体沿某一界面发生剪切破坏向坡下运动的一种地质灾害。水库滑坡是与水利水电工程建设蓄水及水位运行波动密切相关的涉水滑坡。抬高蓄水位及水位波动与降雨往往是产生水库滑坡的主要诱因。库岸再造形成塌岸,往往又会加剧水库滑坡的形成和增大水库滑坡的规模。

因水库蓄水或库水位骤降导致土石坝滑坡、库岸滑坡的事例屡见不鲜。水库滑坡危害大、范围广、突发性强,高速滑坡进入库水中产生的涌浪甚至危及大坝、邻近城镇及航行船舶的安全。因此,对水库滑坡产生机理及防治措施的研究,日益为水利水电科技工作者所关注,并随水利水电事业发展而不断深化。人们在与自然界的滑坡灾害斗争中不断积累经验和研究成果,又进一步促进了滑坡防治技术的发展。

水库滑坡与一般自然滑坡相比,增加了人为因素,显得更为复杂,更为隐蔽,更难以预测。水库滑坡需充分考虑水库调度及其引起水库水位变动对滑坡稳定性的影响;在对滑坡进行稳定性分析时,往往要结合库岸再造,研究分析塌岸后滑坡稳定性变化情况;实施的水库滑坡治理工程还须论证水环境作用下的长期有效性。至今尚有不少课题需要继续深入研究、探讨。

《水库滑坡与防治技术》是一本系统介绍水库滑坡的专著,汇集了作者多年来参加长江三峡水利枢纽、清江水布垭水电站等水利水电工

程水库滑坡勘察、设计、监测工作中积累的宝贵经验和丰富研究成果；系统地介绍了对水库滑坡的认识、调查方法、水库滑坡勘察技术与判断，以及水库滑坡稳定性分析的基本理论，详细阐述了水库滑坡防治技术和方法。

本书集理论、实践经验与工程实例于一体，内容丰富、实用性强，既是水库滑坡研究和实践经验的总结，也可作为滑坡防治工程手册使用，对水利水电工程及其他行业从事滑坡防治工作的科技工作者有很好的参考价值。因此，我祝贺该书出版，并欣然命笔作序，向读者推荐。

杨光煦

2005年12月4日

(长江勘测规划设计研究院原副院长、教授级高级工程师)

前 言

滑坡同山崩、泥石流一样是山区一大自然灾害,其危害及影响程度仅次于地震,但其出现的频率和广度远远大于地震,滑坡成为人类社会和生活环境中广泛遭遇、受害最深的自然灾害之一。水库滑坡是与水库建设、水位运行波动密切相关的一种滑坡,其主要特点有:①水库滑坡较复杂、隐蔽。②水库滑坡点多、线长、面广,交通不便。③受水波动影响明显。④滑坡体上村、镇较多。⑤滑坡影响大,后果严重。水库滑坡的复杂性、隐蔽性,增加了水库滑坡的识别、稳定分析和治理的难度,因此,在滑坡防治过程中既要学习、借鉴各种滑坡的基本理论和成熟的防治方法,又要结合水库滑坡的特点,有针对性地进行研究和发展。

近年来,随着我国水利水电事业的蓬勃发展,大型水库越来越多,如长江三峡水电站水库、黄河小浪底水电站水库、金沙江溪洛渡水电站水库、金沙江向家坝水电站水库、乌江构皮滩水电站水库、乌江彭水水电站水库,等等。国家对水电站及水库建设环保和地质灾害也越来越重视,如 2002~2003 年度国家就对三峡库区滑坡治理拨款(专项资金)40 多亿元,2005~2006 年度对三峡库区滑坡治理拨款又达 60 多亿元,这使三峡库区地质灾害防治,特别是水库滑坡的防治得到了很大的改善。

水库滑坡防治是一种技术复杂、风险高、投资大、施工相对困难的地质灾害防治工程。人类在与自然界滑坡灾害斗争中不断积累经验,形成了许多成功的滑坡防治方法和技术。水利等土木工程建设的高速发展,以及所采用的新技术、新材料、新工艺的不断更新,更加丰富

和促进了滑坡防治技术的发展。本书结合作者在三峡工程、清江水布垭工程水库滑坡防治的实践经验,较系统地介绍了水库滑坡的识别、分析、判断方法以及常用的水库滑坡防治方法。全书实用性较强,可供水利水电工程及其他行业从事滑坡防治工作的技术人员参考和借鉴。

本书共分三篇 18 章,王连新同志完成第 1 篇第 1、2、5 章、第 2 篇第 1、2、7 章、第 3 篇;马建宏同志完成第 1 篇第 3 章第 1、2、3 节、第 2 篇第 3、6、8 章;边智华同志完成第 1 篇第 3 章第 4、5 节、第 2 篇第 4、5 章;黄学才同志完成第 1 篇第 4 章、第 2 篇第 9 章;李会云同志完成第 1 篇第 1 章第 2、3 节和全书参考文献检索、资料整理等工作。全书由范志强和潘霄同志参加审校,王连新统校和定稿。

本书在完成过程中得到了杨光照、刘少林、潘霄等同志的帮助。还参阅了大量的文献和资料,在此表示衷心感谢!由于水平有限,书中难免有错谬和不足之处,敬请读者批评指正。

作者

2005 年 3 月

目 录

第 1 篇 水库滑坡	1
第 1 章 绪言	1
1.1 水库滑坡概述	1
1.2 水库滑坡的危害	2
1.3 水库滑坡防治技术的发展	5
第 2 章 水库滑坡的认识与调查	6
2.1 水库滑坡的基本特征	6
2.2 水库滑坡的形成要素	8
2.3 水库滑坡的类型	11
2.4 水库滑坡调查	13
第 3 章 水库滑坡勘察	18
3.1 水库滑坡勘察任务	18
3.2 水库滑坡地质测绘	19
3.3 水库滑坡地质勘探	20
3.4 水库滑坡地质试验	23
3.5 水库滑坡位移观测	24
第 4 章 水库滑坡稳定分析与判断	26
4.1 恢复山体极限平衡状态核算	27
4.2 滑坡当前稳定程度的验算	29
4.3 动水作用下滑坡稳定计算	32
4.4 滑坡地震力作用计算	37

4.5 地下水位浸润线计算	37
第5章 水库滑坡推力计算	41
5.1 滑动面确定方法	41
5.2 滑坡计算参数选择	43
5.3 滑坡稳定安全系数选择	51
5.4 滑坡推力计算方法	56
第2篇 水库滑坡防治方法	65
第1章 防治原则与分类方法	66
1.1 水库滑坡防治原则	66
1.2 滑坡治理方法分类	66
第2章 地表水处理方法	75
2.1 地表排水处理类型	75
2.2 地表水汇流计算程序	75
2.3 截水沟设计	75
2.4 排水沟设计	81
第3章 地下水处理方法	82
3.1 概述	82
3.2 渗透系数的确定	82
3.3 滤水沟设计	84
3.4 排水隧洞设计	89
3.5 排水孔设计	92
第4章 抗滑挡土墙防治方法	95
4.1 概述	95
4.2 设计原则与程序	96
4.3 作用在抗滑挡土墙上的力系	97
4.4 抗滑挡土墙稳定计算	102
4.5 挡土墙截面强度计算	108

第 5 章 抗滑桩防治方法	112
5.1 概述	112
5.2 设计原则与程序	113
5.3 抗滑桩布置	115
5.4 抗滑桩的内力计算	117
5.5 抗滑桩结构计算	131
5.6 抗滑桩构造	134
第 6 章 锚杆(索)防治方法	136
6.1 概述	136
6.2 设计原则与程序	138
6.3 锚杆(索)布置	140
6.4 设计锚固力计算	141
6.5 锚固体长度计算	144
6.6 锚杆(索)结构设计	149
6.7 锚杆(索)的锁定荷载	152
6.8 锚杆(索)防腐设计	153
第 7 章 卸载与反压防治方法	156
7.1 概述	156
7.2 卸载与反压程序	158
7.3 卸载设计	159
7.4 反压设计	165
7.5 卸载与反压后滑坡稳定分析	178
第 8 章 注浆加固防治方法	182
8.1 概述	182
8.2 设计原则与程序	183
8.3 静压注浆加固设计	185
8.4 高压旋喷注浆加固设计	196
8.5 深层搅拌注浆加固设计	199

第9章 坡面防护方法	201
9.1 概述	201
9.2 设计原则与程序	202
9.3 植被护坡设计	204
9.4 结构护坡设计	208
第3篇 工程实例	213
第1章 概述	213
第2章 地质环境条件	214
2.1 地形地貌	214
2.2 库岸物质组成与结构	214
2.3 水文地质	216
第3章 稳定分析计算	218
3.1 计算依据与标准	218
3.2 计算工况	218
3.3 计算参数	219
3.4 计算方法	219
3.5 计算结果及分析	219
第4章 滑坡治理方案设计	221
4.1 总体设计思路	221
4.2 回填压脚设计	221
4.3 坡面护砌设计	222
4.4 排水系统设计	222
4.5 水下抛石设计	223
4.6 护脚挡土墙结构	223
4.7 治理后滑坡稳定分析	224
4.8 工程实施后效果	225
参考文献	226

第 1 篇 水库滑坡

第 1 章 绪 言

1.1 水库滑坡概述

斜坡上的岩土体沿坡内一定的软弱带(或软弱面)整体向前或向下移动的现象称为滑坡。水库滑坡是与水库建设、运行(水位经常大幅度上下变动)密切相关的。水库是人们在河道山谷、低洼地及地下含水层修建拦水坝(闸)、溢堰或隔水墙所形成的拦蓄水量、调节径流的蓄水区。水库的规模和等级按国家规范分小(2)型、小(1)型、中型、大(2)型、大(1)型,大型水库蓄水上亿立方米,绵延几百甚至上千公里,库岸曲折回肠,沿岸村、镇较多,如三峡水库是一个典型的狭长型水库,在正常蓄水位 175m 时,总库容量 393 亿 m^3 ,水库干线总长度 663km,水库两岸总共由 50 多条较大的支流汇入,干流库岸加支流库岸长度可达 5900 多 km,沿线库岸淹没涉及重庆、湖北两省市的 26 个县(市、区),需要迁建 2 座地市级城区、11 个县级城区和 114 个村镇,水位抬升引起两岸数以百万计人口的搬迁。而三峡库区沿线山高地少,寸土寸金,相对平坦之地往往是山体边坡滑移、崩塌形成的堆积体。由于在河道山谷修筑拦水坝蓄水改变了河道两岸原有的环境条件,库水位上下大幅度的波动加快或促使了这些原有古滑坡的复活或产生新的滑坡运动。

水库滑坡主要与水库水位上下波动有关,它与一般山体滑坡有许多共同点,也有其特殊性。其特殊性主要表现在以下几个方面。

(1)复杂性和隐蔽性,水库滑坡不像公路、铁路、建筑工程等建设所形成的高边坡或滑坡,坡面外露,地质条件相对清楚,而水库滑坡一般处于古滑坡体或斜坡体,植被覆盖相对较好,在库水位作用前,一般没有明显的滑动趋势或迹象。特别是很多滑坡没有明显的滑动带或滑动带非常薄,难以确认,这就更增加了水库滑坡的复杂性。

(2)水库滑坡点多、线长、面广、交通不便,据不完全统计,三峡库区范围内大小崩滑体有 2490 多处,其中直接受水库蓄水影响的崩滑体有 1627 处,大多分布在移民迁建区内,按照国家三峡库区地质灾害防治工作领导小组的统一部署,国家投资 100 多亿元,经过一期、二期、三期防治工程建设,很多与库区人民生命财产息息相关的滑坡体初步得到了防治,取得了一定成果。

(3)受水波动影响明显,水库水位的经常涨落,不断改变滑坡体的内在平衡关系,容易造成滑坡。

(4)滑坡体上村、镇较多。自古以来,人类大多依水而居,山区地少,古滑坡体稳定后相对平坦,适合人类生产活动,这样各种人为因素可能加速滑坡。

(5)滑坡影响大、后果严重。水库滑坡一般在山区,山高、坡陡、体积大,交通不便,治理困难。

由于水库滑坡的特殊性和重要性,在滑坡防治过程中既要学习、借鉴各种滑坡的基本理论、成熟的防治方法,又要结合水库滑坡的特点,有针对性地进行研究和发展。

1.2 水库滑坡的危害

滑坡同山崩、泥石流一样是山区一大自然灾害,其危害及影响程度仅次于地震,但其出现的频率和广度远远大于地震,成为人类生活和社会环境中广泛遭遇、受害最深的自然灾害之一。

很早以前我国就有“山崩堵江”、“移山湮谷”的详细记载。近 2000

年来,长江三峡地区因滑坡引起堵江断航事件达7处9次,其中公元1026年、1542年秭归新滩2次堵江,曾分别中断长江航运25年和8年之久;唐永昌元年(公元689年)华州(陕西华县)赤水南岸山坡滑动,滑移数百步,其上草木完好无损,滑坡毁坏一个30余户的村庄,赤水亦被滑坡阻断成湖;公元前10年、公元1437年、1449年、1773年岷江曾多次被滑坡所堵断,其后1933年四川叠溪地震,岷江两岸山体崩滑形成3座高达100多米的堆石坝,岷江被完全堵塞,1个多月后堆石坝溃决,高达40多米的水头顺江而下,席卷了两个村庄。

各地近年来也发生了很多危害相当严重的大型崩滑事件。如1972年6月18日香港2起重大滑坡事故(死138人、伤80人),1967年6月8日雅砻江唐古栋滑坡(6800万 m^3),1967年7月16日巫山长江南岸鲤鱼沱滑坡(180万 m^3),1980年7月3日成昆铁路铁西车站滑坡(220万 m^3),1982年7月18日云阳长江北岸鸡扒子滑坡(1916万 m^3),1983年3月7日甘肃东乡县洒勒山南麓滑坡(4000万 m^3),1985年6月12日秭归新滩滑坡(3000万 m^3),1988年1月10日长江支流巫溪下堡乡中阳村崩滑(1000万 m^3),1989年1月7日澜沧江中游某在建大型水电站左岸崩塌(10.6万 m^3),1989年7月10日华蓥山溪口滑坡(1000万 m^3),1994年4月30日重庆武隆白马鸡冠岭崩塌(325万 m^3),1996年6月10日巴东迁建县城新址二道沟滑坡(4.6万 m^3),1998年8月9日重庆巴南麻柳嘴滑坡(约 30万 m^3 山体),2001年5月1日重庆武隆县城江北西段崩塌(1.6万 m^3),2001年7月11日重庆綦江赶水瓦池村滑坡(2900万 m^3)等,而中小滑坡者更不计其数。

世界上其他国家关于水库滑坡灾害的报道也很多,1939年加拿大Montagneuse河谷发生 7600万 m^3 的历史上最大滑坡,堵塞河流形成1.5km长的水库,于1988年溃决;1952年冬天美国洛杉矶滑坡造成750万美元的损失;1963年意大利Vajont双曲拱坝库区发生体积 $2.7\text{万 m}^3\sim 3\text{万 m}^3$ 的大型滑坡,245m高的涌浪翻过267m的大坝冲向下游,席卷下游5个村庄,夺去2600多人的生命,造成数亿美元的损失;1963年秘鲁Huascaran山区因地震而触发的山体滑坡,使18000人失

去生命;1977年瑞典塔维滑坡,造成150间房屋破坏或重创,9人丧生,直接经济损失约1.5亿瑞典克郎;1999年10月墨西哥因大雨普遍引发滑坡,致使600多人丧生或失踪,20多万人无家可归。还有日本新潟县、俄罗斯的高加索和黑海沿岸、英国的南威尔士、肯尼亚中部、美国加州与新泽西州、法国南部阿尔卑斯等地滑坡均造成过不同程度的损失。

从以上事例可以看出,水库滑坡给人类带来了极大的灾难。造成的危害主要表现在以下几个方面。

(1)影响社会稳定。大面积边坡滑移不仅会造成很大的财产损失,还会影响到人们的生命安全和正常生产生活,增加居民心理负担,特别是江河周边村镇或水库新迁移民村镇附近的滑坡,甚至威胁到成百上千人的生命安全,造成局部地区的社会不稳定。

(2)阻碍经济发展。水库滑坡山体一般在经济欠发达的老、少、边、穷地区,较大规模的山体滑坡,不仅直接造成滑坡受灾地区的经济损失,还会进一步阻碍受灾地区的经济发展,2004年四川省达县特大暴雨造成的山体滑坡阻塞河流,致使大部分城区被淹,造成极大的经济损失。

(3)影响正常通航或正在通航船只的安全。历史上长江三峡地区多次发生山体滑坡造成断航,2003年湖北省秭归千家坪山体滑坡,上千万方滑坡岩土体快速滑入河中,使很多船只来不及避让而翻沉。

(4)水土保持与水库淤积也是滑坡灾害的主要方面,大量山体滑移,使山体多年表层土层滑入江中,不仅使库岸土体流失,更使江河水库淤积,影响水库正常蓄水兴利库容,长久还会使水库的功能严重减弱。

(5)水库的兴建一般可促进生态环境的改善和旅游的发展,如新安江水电站形成的千岛湖风景区、长江三峡水库形成的小三峡风景区等,但水库的兴建也引起了一定地质灾害问题,包括水库滑坡等现象,若处理不当会对库区的生态环境与旅游业的发展带来较大的影响。

近年来,随着我国水电事业的蓬勃发展,大型水库越来越多,如长江三峡水电站水库、黄河小浪底水电站水库、金沙江溪洛渡水电站水库、金沙江向家坝水电站水库、乌江构皮滩水电站水库、乌江彭水水电

站水库,等等。国家对水电站水库建设环保和地质灾害也越来越重视,三峡工程库区地质灾害(主要是滑坡治理)就引起了党中央、国务院高度重视,2002~2003 年度对三峡库区滑坡治理拨款(专项资金)40 多亿元,2005~2006 年度对三峡库区滑坡治理拨款(专项资金)又达 60 多亿元,使三峡库区地质灾害防治,特别是水库滑坡的防治得到了很大的改善。

1.3 水库滑坡防治技术的发展

水库滑坡防治是一种技术复杂、风险高、投资大、施工相对困难的地质灾害防治工程。人们在与自然界滑坡灾害斗争中不断积累经验,形成了许多成功的滑坡防治方法和技术,水利等土木工程建设的高速发展,以及所采用的新技术、新材料、新工艺的不断更新,更加丰富和促进了滑坡防治技术的发展。

我国滑坡稳定性问题研究起步较晚。解放后百废待兴,随着土木工程建设发展的需要,对建设过程中出现的边坡崩塌、滑移等开始进行研究和防治。20 世纪 50 年代,我国边坡崩塌、滑移的防治主要采用局部挖除,坡底填筑反压、地表挖沟排水、人工堆积或干砌块石料、树木抗滑桩等方法。60 年代后钢筋混凝土抗滑桩技术在我国铁路建设中使用,获得了较好效果,随后开始在成(都)昆(明)线、宝(鸡)成(都)线等土木工程建设中推广应用。钢筋混凝土抗滑桩技术较树木抗滑桩等技术在材料、工艺等方面均有质的进步,它不仅适应性强、坚固耐久、阻滑深度大、承担阻力大,而且具有桩体位置布置灵活、施工简单(可人工挖孔,也可机械成孔填筑)、对边坡扰动小、材料用量少、施工速度快等诸多优点。进入 80 年代,岩土锚固技术理论和施工设备有了新的发展,岩土锚固在土木工程中获得了广泛应用。进入 90 年代后,土工合成材料等各种新材料、新技术也在滑坡中得到应用和发展。目前,随着信息技术的快速发展,滑坡动态监测技术、遥感技术、数字化技术和三维地学研究也引起人们重视并开始应用。

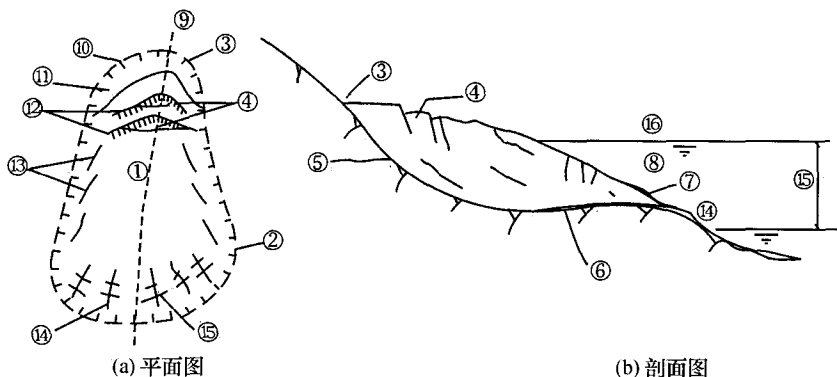
随着经济的快速发展和人们生活质量的提高,人与自然和谐相处,绿色防护技术也会越来越引起人们的重视。

第2章 水库滑坡的认识与调查

水库滑坡防治的关键是认识和鉴别滑坡体。有人说正确认识和鉴别水库滑坡,等于解决滑坡防治工作的一半。这是因为未发生滑坡前潜在变形体的隐蔽性、复杂性、多样性、广阔性,仅从表面上是难以辨别真正的滑坡体的,只有认识到潜在发展的滑坡变形体存在,并能分析变形的原因和类型,才能对症下药,找到滑坡防治的良药并进行治理,因此要做好水库滑坡的防治工作,首先要正确认识和鉴别滑坡体。

2.1 水库滑坡的基本特征

水库滑坡的基本特征是有潜在滑动的斜坡库岸和经常波动的库水位。其形态特征如图 1.2.1 所示。特征要素包括:滑坡岩土体、变动的库水位、滑坡边界、水库波动范围等。



- ①—水库滑坡体 ②—滑坡体边界 ③—滑坡破裂壁 ④—滑坡台阶与滑坡埂
 ⑤—滑动面和滑床 ⑥—滑动带 ⑦—滑坡舌 ⑧—滑动鼓丘 ⑨—滑坡主滑线
 ⑩—破裂缘 ⑪—一封闭洼地 ⑫—滑坡裂缝 ⑬—一正常蓄水位 ⑭—最低蓄水位
 ⑮—水位消落深度 ⑯—设计蓄水位

图 1.2.1 水库滑坡形态特征图