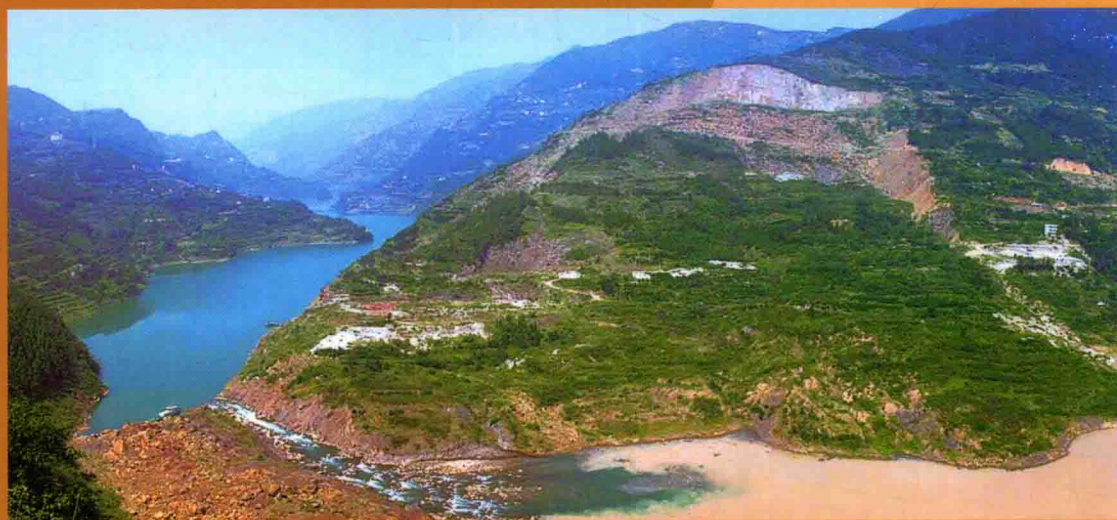


三峡库区

滑坡复活机理及 稳定性评价方法

王世梅 陈 勇 田东方 谈云志 著



科学出版社

三峡库区滑坡复活机理及 稳定性评价方法

王世梅 陈 勇 田东方 谈云志 著

科 学 出 版 社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229,010-64034315,13501151303

内 容 简 介

水库蓄水诱发三峡库区大量滑坡变形,对库区人民生命财产及航运安全产生巨大威胁。水库滑坡不同于其他滑坡,库水位变动及降雨对滑坡的作用过程是关键。本书基于非饱和土力学原理,以降雨-库水位变动耦合作用下滑坡演化力学过程为主线,采用野外调查、室内外试验、物理模拟、数值模拟及理论分析等综合手段,针对降雨及水库蓄水诱发滑坡复活机理及稳定性预测评价方法展开了系统研究。提出了基于库水诱发机理的水库滑坡分类体系,构建了降雨及库水位耦合作用下滑坡渗流和变形演化过程的数值模拟方法,构建了三峡库区重涉水滑坡空间预测评价系统。

本书可供从事地质工程、水利水电工程、交通工程及环境工程等方面的科技人员、生产人员及相关高校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

三峡库区滑坡复活机理及稳定性评价方法/王世梅等著. —北京:科学出版社,2017.

ISBN 978-7-03-052086-9

I. ①三… II. ①王… III. ①三峡水利工程-滑坡-稳定性-综合评价
IV. ①P642.22 ②TV632

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 050281 号

责任编辑:孙寓明 杨光华/责任校对:董艳辉

责任印制:彭超/封面设计:苏波

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉中科兴业印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16

2017年9月第 一 版 印张:20 1/2 彩插:4

2017年9月第一次印刷 字数:528 000

定价:142.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

三峡工程是目前全球最大的水利水电工程,复杂的地质环境、大量的滑坡分布以及大幅度的周期性水位变动,使三峡库区水库蓄水诱发滑坡灾害问题成为国内外关注的焦点。据水库蓄水前的查证数据,长江两岸分布的滑坡总数多达 5000 余处,其中巨型和大型滑坡 300 余处,涉水滑坡 2000 余处。这些滑坡经过长期的历史演变和应力调整,很多已经进入了“休眠”状态,但随着三峡水库的蓄水和调度运行,坝前水位在 145~175 m 波动,库水位周期性变动为新滑坡的产生和古滑坡的复活提供了新的动力,特别是水库的防洪调度运行期正好也是三峡库区的暴雨发生期,在库水和暴雨的共同作用下,有些“休眠”的滑坡很有可能被“唤醒”,从而引发重大灾难。自 2003 年 135 m 开始蓄水之后,三峡库区地质灾害频繁发生,其中千将坪滑坡造成了大量人员伤亡和重大财产损失。据不完全统计,自三峡水库蓄水至 2013 年期间,已经发生明显变形的滑坡多达 500 余处。由此可见,水库蓄水诱发滑坡灾害问题已经成为直接影响三峡工程安全运营和库区人民生命财产安全的重大社会问题。为此,国家先后分三期投入 100 多亿巨资开展了三峡库区滑坡灾害研究和治理工作。

自 2000 年以来,课题组紧密围绕三峡库区滑坡灾害防治的重大需求,针对水库蓄水诱发滑坡机理及预测评价这一关键科学问题,在国土资源部三峡地质灾害防治工作指挥部、国家自然科学基金委员会、国家重点基础研究计划(973 计划)项目等 30 余项课题资助下,历时 15 年,专注于考虑降雨及库水位变动这一特定条件,以降雨-库水周期性作用下滑坡演化力学过程为主线,采用野外调查、室内试验、物理模拟、数值模拟及理论分析等综合手段,对水库蓄水诱发滑坡复活机理、滑坡复活判据及空间预测评价开展了系统研究,在仪器设备、室内试验、理论及数值方法等方面取得了一系列成果。主要有:①自主研发了考虑降雨及库水共同作用的滑坡物理模型试验平台、考虑应力状态的土水特征曲线试验装置、开展非饱和渗透特性的试验装置及考虑库水循环作用的室内力学试验装置;②在系列非饱和土力学试验基础上,构建了考虑应力状态、应力路径的土水特征曲线数学模型、非饱和土渗透性函数及非饱和土本构模型;③建立了考虑降雨及库水共同作用的多场耦合物理力学模型及其数值模拟方法,解决了地表水、壤中水、地下水“三水”转换及多相流耦合传输问题;④分析了库水及降雨作用于滑坡的力学机制,揭示了库水位变动及降雨过程诱发滑坡复活的机理,提出了基于复活机理的滑坡分类方法;⑤对三峡库区重大涉水滑坡进行了稳定性评价和复活判据研究,建立了滑坡空间预测模型、复活判据及滑坡动态空间预测评价系统。

本书是在对上述研究成果进行系统整理、提炼、加工后撰写而成的。参与研究的课题组成员有刘德富教授、郑宏教授、王世梅教授、肖诗荣教授、张业明研究员、易武教授、谈云志教授、张振华教授、童富果教授、陈勇博士、田东方博士、黄海峰博士、胡志宇博士以及学生郑俊、秦洪斌、邹良超、赵代鹏、赵文静、廖瑞祥、李小伟、万佳、徐飞飞、郭飞、王力、占清华、曾刚等。

本书共分 10 章。第 1 章介绍三峡工程概况、库区滑坡概况及水库蓄水对库岸滑坡的影

响,概述当前基于非饱和土理论的滑坡稳定性评价方法;第2章介绍三峡库区气象、水文、地质地貌等基本条件,总结库岸滑坡发育分布规律及影响因素,统计分析滑坡岩土体参数特征;第3章分析归纳三峡库区几种典型滑坡地质模型、变形特征及其影响因素,采用数值分析方法分析计算降雨及库水位变动对典型滑坡的影响规律并揭示其作用机理;提出基于库水及降雨诱发机理的滑坡分类方法;第4章针对典型降雨型滑坡、浮托减重型滑坡和动水压力型复活机理,构建考虑降雨和库水条件的滑坡物理模型试验系统,通过物理模型试验进一步揭示和验证降雨型和水库型滑坡的滑坡复活机理;第5章介绍土水特征曲线的基本概念,阐述土水特征曲线的试验仪器、试验方法,重点介绍在固结压力作用下、干湿循环条件下土水特征曲线的试验方法及土水特征曲线函数表达式的构建与模型优化;第6章介绍非饱和渗流基本控制方程及其相关概念,重点阐述非饱和渗透性函数的确定方法;第7章介绍非饱和土力学强度和变形的理论,重点阐述非饱和土强度的试验方法及成果、基于非饱和土变形试验构建的非饱和土弹塑性本构模型,以及库水周期循环作用下滑坡土体变形特征;第8章介绍非饱和渗流及坡面径流的相关理论,重点阐述构建坡面径流与坡体渗流整体求解模型的相关内容,对地表不同排水沟布置方案的排水效果进行数值模拟;第9章基于非饱和土弹塑性本构模型建立非饱和土滑坡稳定性分析数值模拟方法,分析不同渗流条件下滑坡体的应力场和位移场分布规律,对降雨和库水位变动条件下的滑坡稳定性演变过程进行数值模拟;第10章介绍单体滑坡稳定性评价及复活工况预测的基本方法,对库区319个重大涉水滑坡进行稳定性计算和复活工况预测,借助ArcGIS、谷歌地球等平台和技术建立三峡库区重大涉水滑坡空间数据库系统,实现滑坡空间信息的查询定位、统计分析、三维展示及不同工况条件下1:5万滑坡空间预测评价图编制。

其中第1章、第2章、第3章由王世梅和张国栋撰写,第4章由王世梅和谈云志共同撰写,第5章由王世梅和陈勇共同撰写,第6章由王世梅撰写,第7章、第9章由陈勇撰写,第8章由田东方撰写,第10章由王世梅和黄海峰共同撰写。全书由王世梅统稿。

在课题研究过程中,刘德富教授作为课题主要负责人从课题立项、研究思路、研究方法及成果提炼全过程、全方位给予了精心指导,才使得课题能够顺利完成并取得高质量研究成果,在本书完成之际,全体作者在此表达深深的敬意和衷心的感谢!

课题研究工作在项目资助、资料收集、技术服务等方面始终得到了三峡库区地质灾害防治工作指挥部黄学斌教授、徐开祥教授、程温鸣教授、杨建英高工、霍志涛高工等的大力支持和热情帮助,在此表达诚挚的感谢!

本书的出版得到了湖北长江三峡滑坡野外科学观测研究站及湖北省地质灾害防治研究中心的经费资助,在此表示衷心的感谢!

作 者

2016年12月

目 录

第1章 绪言	1
1.1 三峡工程与库岸滑坡	1
1.1.1 三峡工程概况	1
1.1.2 库岸滑坡概况	4
1.2 降雨及水库蓄水对滑坡的影响	6
1.3 非饱和土理论在滑坡稳定性分析中的应用	7
1.3.1 非饱和土边坡稳定性分析方法	7
1.3.2 非饱和土边坡稳定性影响因素	8
1.3.3 非饱和土力学相关理论研究	9
1.3.4 有待进一步研究的问题	11
参考文献	12
第2章 三峡库区地质环境及滑坡分布特征	17
2.1 三峡库区地理地质背景	17
2.1.1 气象水文	17
2.1.2 地形地貌	19
2.1.3 地层岩性	20
2.1.4 岸坡结构类型	23
2.1.5 地质构造	24
2.1.6 库区地下水	24
2.1.7 新构造活动特征及地震	28
2.2 三峡库区滑坡发育分布特征	31
2.2.1 滑坡发育类型统计	31
2.2.2 滑坡发育影响因素	33
2.2.3 大型涉水滑坡统计	36
参考文献	37
第3章 三峡库区滑坡复活机理及滑坡分类	39
3.1 三峡库区典型滑坡地质条件及变形特征	39
3.1.1 秭归县树坪滑坡	40
3.1.2 秭归县木鱼包滑坡	43
3.1.3 奉节县生基包滑坡	47

3.1.4 秭归白家包滑坡·····	51
3.1.5 云阳黄泥巴磴坎滑坡·····	55
3.2 库水位变动及降雨对滑坡变形影响规律·····	57
3.2.1 水与滑坡岩土体相互作用效应·····	57
3.2.2 库水位升降对滑坡稳定性影响规律·····	59
3.2.3 降雨对滑坡稳定性的影响·····	63
3.3 基于库水及降雨诱发机理的滑坡分类·····	68
3.3.1 基本思想·····	68
3.3.2 分类方案·····	68
3.4 三峡库区重大涉水滑坡地质模型及类型确定·····	70
参考文献·····	74
第4章 降雨及库水诱发滑坡机理的物理模型试验验证 ·····	75
4.1 物理模型试验系统·····	75
4.1.1 模型试验架·····	75
4.1.2 数据采集系统·····	78
4.1.3 人工降雨模拟系统·····	82
4.1.4 非接触式位移测量系统·····	82
4.1.5 物理量量测系统·····	82
4.2 相似材料试验·····	84
4.2.1 第一套相似材料试验·····	84
4.2.2 第二套相似材料试验·····	86
4.3 降雨对滑坡渗流场影响的模型试验·····	89
4.3.1 模型试验材料·····	89
4.3.2 模型试验过程·····	89
4.3.3 试验结果·····	91
4.3.4 分析与讨论·····	93
4.4 浮托减重型滑坡模型试验·····	94
4.4.1 模型制作·····	94
4.4.2 试验方案·····	98
4.4.3 试验结果·····	98
4.4.4 分析与讨论·····	101
4.5 动水压力型滑坡模型试验·····	103
4.5.1 模型制作·····	103
4.5.2 试验方案·····	105
4.5.3 试验结果·····	106
4.5.4 分析与讨论·····	109
参考文献·····	110

第 5 章 土水特征曲线及其数学模型	112
5.1 基本理论	112
5.1.1 非饱和土中的吸力	112
5.1.2 土水特征曲线	117
5.2 常规条件下土水特征曲线试验	119
5.2.1 试验仪器	119
5.2.2 试验土样	119
5.2.3 试验方法	120
5.2.4 试验结果与分析	120
5.2.5 参数的物理意义	122
5.3 固结压力作用下土水特征曲线试验	123
5.3.1 试验概述	123
5.3.2 试验设备与试验方法	123
5.3.3 试验试样	124
5.3.4 试验结果与分析	124
5.3.5 函数拟合参数与固结压力的关系	126
5.4 干湿循环条件下土水特征曲线试验	127
5.4.1 试验仪器	128
5.4.2 试验方案及试验结果	129
5.4.3 干湿循环影响规律	132
5.5 土水特征曲线数学模型优化	133
5.5.1 国内外模型简述	133
5.5.2 优化模型——Sigmoidal 半对数函数	134
参考文献	139
第 6 章 非饱和土的渗透性函数	141
6.1 渗透系数	141
6.2 非饱和土渗流基本理论	142
6.2.1 土水势	142
6.2.2 达西定律	143
6.2.3 土壤水分运动基本方程	144
6.3 一种确定 V-G 模型参数的数值模拟反演法	144
6.3.1 一维垂直入渗非饱和土渗透试验仪	144
6.3.2 一维垂直非饱和土渗透试验	145
6.3.3 V-G 参数反演	147
6.4 确定非饱和土渗透性函数的一种新方法	151
6.4.1 非饱和土渗透系数表达式的推导	151
6.4.2 非饱和土渗透系数表达式适用性探讨	154

6.5 考虑固结压力影响的非饱和土渗透性函数	160
参考文献	162
第7章 滑坡岩土体非饱和力学特性试验	165
7.1 滑坡土体非饱和抗剪强度试验	165
7.1.1 非饱和土的有效应力原理和强度理论	165
7.1.2 非饱和土的抗剪强度参数量测方法	169
7.1.3 非饱和土三轴试验	171
7.1.4 非饱和土直剪试验	174
7.1.5 试验研究总结	178
7.2 非饱和土本构模型参数试验	178
7.2.1 饱和土的修正剑桥模型简介	180
7.2.2 非饱和土的 Barcelona 模型简介	181
7.2.3 Barcelona 模型修正及探讨	186
7.2.4 试验设备及方案	189
7.2.5 试验结果及模型参数	193
7.3 周期荷载作用下土的力学特性试验	196
7.3.1 试验土样及试验方案	197
7.3.2 试验结果及分析	199
7.3.3 试验结果的模型预测与对比	204
参考文献	208
第8章 坡面径流与坡体渗流整体求解模型及有限元模拟	211
8.1 非饱和土渗流基本理论	212
8.1.1 研究进展	212
8.1.2 非饱和土壤水运动基本方程	213
8.2 坡面径流研究进展及基本理论	217
8.2.1 研究进展	217
8.2.2 坡面径流基本理论	218
8.3 坡面径流与坡体渗流整体求解模型	221
8.3.1 研究进展	221
8.3.2 降雨入渗基本理论	223
8.3.3 整体求解模型	227
8.4 地表排水沟排水数值模拟及分析	239
8.4.1 排水沟排水数值模型	240
8.4.2 地表排水沟排水数值模拟	241
8.5 讨论	246
参考文献	246

第 9 章 基于非饱和土理论的滑坡稳定性数值模拟方法	250
9.1 非饱和土的普遍弹塑性模型的本构方程	250
9.1.1 非饱和土的弹性本构模型	250
9.1.2 非饱和土的屈服条件和破坏条件	251
9.1.3 非饱和土的流动法则	252
9.1.4 硬化定律	252
9.1.5 加卸载准则	254
9.1.6 非饱和土的普遍弹塑性本构方程推导	254
9.2 非饱和土 Barcelona 弹塑性模型的本构方程	256
9.2.1 非饱和土 Barcelona 模型的本构方程	257
9.2.2 非饱和土本构关系的验证	258
9.3 基于非饱和土弹塑性模型的有限元模拟程序	260
9.3.1 程序组成	260
9.3.2 程序主体结构及计算原理	260
9.4 非饱和土边坡稳定性分析方法	262
9.4.1 基于有限元的二维边坡稳定性分析方法	262
9.4.2 三维边坡稳定性分析方法	266
9.4.3 三维非饱和土边坡稳定性分析方法	268
9.5 非饱和土边坡三维稳定性分析算例	269
9.5.1 算例 I	269
9.5.2 算例 II	273
9.5.3 三维稳定性分析方法与二维方法的对比	275
9.6 影响非饱和土边坡稳定性的主要因素	277
9.6.1 吸力分布对非饱和土边坡稳定性的影响	278
9.6.2 地下水位线位置对非饱和土边坡稳定性的影响	280
9.6.3 滑面位置对非饱和土边坡稳定性的影响	281
9.6.4 强度参数对非饱和土边坡稳定性的影响	282
9.7 三维非饱和土滑坡稳定性分析的工程实例	283
9.7.1 泄滩滑坡概况	283
9.7.2 滑坡三维计算模型	285
9.7.3 库水位波动条件下的孔压分布规律	286
9.7.4 三维滑坡稳定性随库水位升降的变化规律	289
参考文献	294
第 10 章 三峡库区重大涉水滑坡稳定性评价及空间预测	295
10.1 滑坡稳定性评价与复活工况预测	295
10.1.1 单体滑坡稳定性评价与复活工况预测基本方法	295
10.1.2 典型滑坡稳定性评价与复活工况预测	298

10.2	三峡库区重大涉水滑坡动态空间预测系统.....	301
10.2.1	系统建设目标.....	302
10.2.2	空间数据库建设.....	302
10.2.3	系统建设.....	306
10.2.4	空间预测评价图编制.....	313
	参考文献.....	314
	附图	

第 1 章 绪 言

1.1 三峡工程与库岸滑坡

1.1.1 三峡工程概况

1. 长江流域水能资源状况*

长江三峡水利枢纽工程是当今世界规模最大的水利枢纽工程,具有防洪、发电、航运、旅游、抗旱补水、保护生态、净化环境、开发移民、南水北调等巨大综合效益。长江发源于青藏高原唐古拉山脉主峰格拉丹冬雪山的西南侧,向东流经青海、四川、西藏、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海 11 个省(自治区、直辖市),全长 6 300 余千米,是中国第一大河,流域面积达 180 万 km^2 ,约占中国大陆面积的 1/5。湖北宜昌以上为上游,长约 4 500 km;宜昌至江西鄱阳湖湖口为中游,长约 950 km;湖口至长江入海口为下游,长约 850 km。长江水系庞大,水量丰沛,多年平均年径流量约 9 560 亿 m^3 。其中三峡坝址处年径流量约 4 510 亿 m^3 ,约占流域总径流量的 50%。长江流域水能资源丰富,全流域理论蕴藏年发电量 2.433 6 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,技术可开发年发电量 1.187 9 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,经济可开发年发电量 1.049 8 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,分别占全国水力资源总量的 40%、48%和 59.9%。长江流域的水力资源主要集中于上游高山峡谷地区,其中三峡河段水量丰富,落差集中,适合修建大型的水利枢纽。长江流域内河航运发达,干流中下游通航条件优越,素有“黄金水道”之称。然而,在葛洲坝水利枢纽和三峡水利枢纽兴建以前,宜昌以上长江干流航道的通航等级不高,部分河段不能全天候通航,影响长江上游地区经济的快速发展。长江流域自然资源丰富,经济基础雄厚,长江中下游平原地区频繁发生大规模洪水灾害,一直是长江流域的心腹之患。因此,治理和开发长江,采取可靠的措施和对策避免毁灭性的洪水灾害发生,保障流域经济的持续发展和社会繁荣,一直是新中国成立后政府高度重视、关注和研究的问题。

2. 长江三峡水利枢纽规划设计方案^[1]

为全面综合治理与开发长江,中国政府相关部门展开了大规模的勘测、规划、科研和论证工作。通过全面规划和反复论证,认为长江三峡水利枢纽是综合治理与开发长江的关键性工程。1992 年 4 月 3 日,第七届全国人民代表大会第五次会议审议并通过了《关于兴建长江三峡工程的决议》。从此,三峡工程由论证阶段走向实施阶段。1994 年 12 月 14 日,三峡工程正式开工。

* 长江流域水能资源分布及特点解析[R/OL]. 中国行业研究网. <http://www.chinairn.com>. [2013-01-27].

根据长江三峡水利枢纽规划设计方案^[1],三峡水利枢纽主要由大坝、水电站和通航建筑物三部分组成。大坝坝顶高程 185 m,最大坝高 181 m,大坝轴线全长 2 309.47 m。三峡水电站的最终总装机容量为 2 250 万 kW,多年平均发电量为 882 亿 kW·h,是世界上规模最大的水电站。三峡水库正常蓄水位高程 175 m,汛期防洪限制水位高程 145 m,总库容 393 亿 m³,其中防洪库容 221.5 亿 m³。相应于三峡水库正常蓄水位,三峡水库末端位于重庆市江津区牛角滩,全长 663 km,水库总面积达 1 084 km²,其中水库淹没的陆地面积达 632 km²。

三峡枢纽工程建设采用“一级开发,一次建成,分期蓄水,连续移民”方案。即从三峡枢纽坝址到重庆之间的长江干流水力资源以三峡工程一级枢纽开发,不分为若干梯级枢纽开发;三峡水利枢纽按最终运行规模一次建成,不采用分期建设方案。根据统一规划,水库蓄水位分期进行,围堰挡水发电期 135 m 为一期,初期运行期 156 m 为二期,最终正常蓄水位 175 m 为三期,移民按照工程建设和水库蓄水进程连续进行。三峡枢纽工程分三个阶段进行施工,自 1993 年开始的准备工程算起,总工期 17 年。第一阶段(1993~1997 年)为施工准备期及一期工程,以实现大江截流为目标;第二阶段(1998~2003 年)为二期工程,以实现水库初期蓄水 135 m,首批机组投产发电和双线五级船闸通航为目标;第三阶段(2004~2009 年)为三期工程,以实现左右岸电站 26 台机组全部发电和枢纽主体工程完建为目标。

3. 三峡水利枢纽工程综合效益^[2]

根据长江流域综合利用规划,兴建三峡工程的主要任务是调蓄长江上游洪水,防止长江中下游地区,特别是荆江两岸发生毁灭性洪水灾害;开发长江三峡河段水能资源,向华中、华东及其他地区提供强大的电力;改善长江干流上游宜昌至重庆河段以及中下游河段的通航条件。因此,三峡工程是具有防洪、发电、航运等综合效益的多目标开发工程。2003 年 6 月,三峡水库蓄水至 135 m,三峡枢纽进入围堰挡水期;2006 年 10 月,三峡水库蓄水至 156 m,枢纽进入初期运行期;2010 年 10 月,三峡水库试验性蓄水至 175 m,枢纽进入正常运行阶段。随着水库蓄水位的抬高,三峡水库调节库容逐步增加,三峡工程综合效益得以充分体现。除初步设计中的防洪、发电、航运三大主要效益外,抗旱、补水也已经成为三峡工程的主要效益,同时三峡工程对生态的改善作用也日趋显现。

三峡工程初步设计正常运行期的防洪能力为:遇 100 年一遇及以下洪水,按控制沙市水位 44.5 m 进行补偿调节,相应控制补偿枝城泄量为 56 700 m³/s,使荆江地区防洪标准在不分洪条件下达到 100 年一遇;遇 100 年一遇以上至 1 000 年一遇洪水,按相应控制补偿枝城最大流量不超过 80 000 m³/s 进行补偿调节,配合采取分洪措施控制沙市水位 45.0 m,保证荆江河段行洪安全,避免南北两岸干堤溃决发生毁灭性灾害;兼顾城陵矶附近地区的防洪要求,减少该地区的分蓄洪量。三峡工程的兴建,显著增强了长江中下游的防洪能力,荆江河段的防洪标准由十年一遇提高到百年一遇。2003~2010 年,三峡枢纽累计拦蓄洪水 324.38 亿 m³。

三峡水电站最大输电半径为 1 000 km,机组所发电能主要送往华东、华中和广东等地区(图 1.1.1)。三峡电站的建成促进了全国电力联网的形成,对取得地区之间的错峰效益、水电站群之间的电力补偿调节效益和水电火电容量交换效益,保证电力的可靠性和稳定性发挥了积极的作用(图 1.1.2)。

长江重庆至宜昌河段全长 660 km,落差约 120 m,水流湍急,碍航险滩多,航道条件差,通

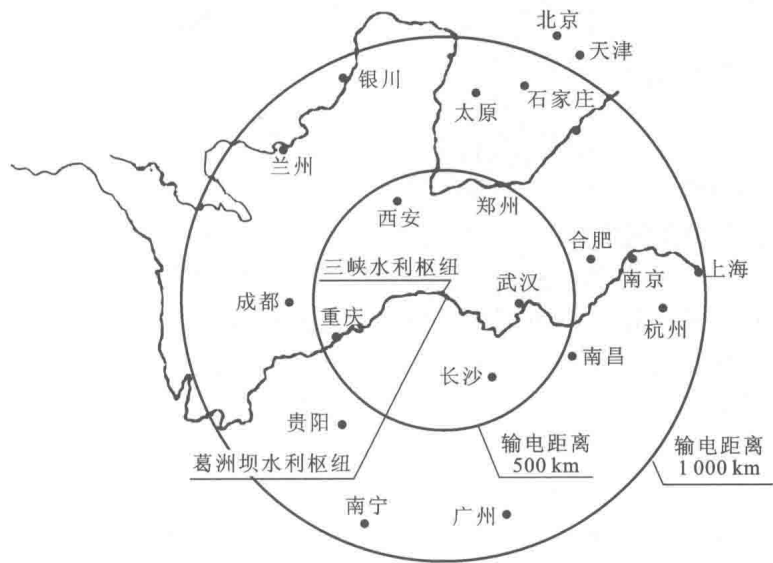


图 1.1.1 三峡水电站发电受益区示意图

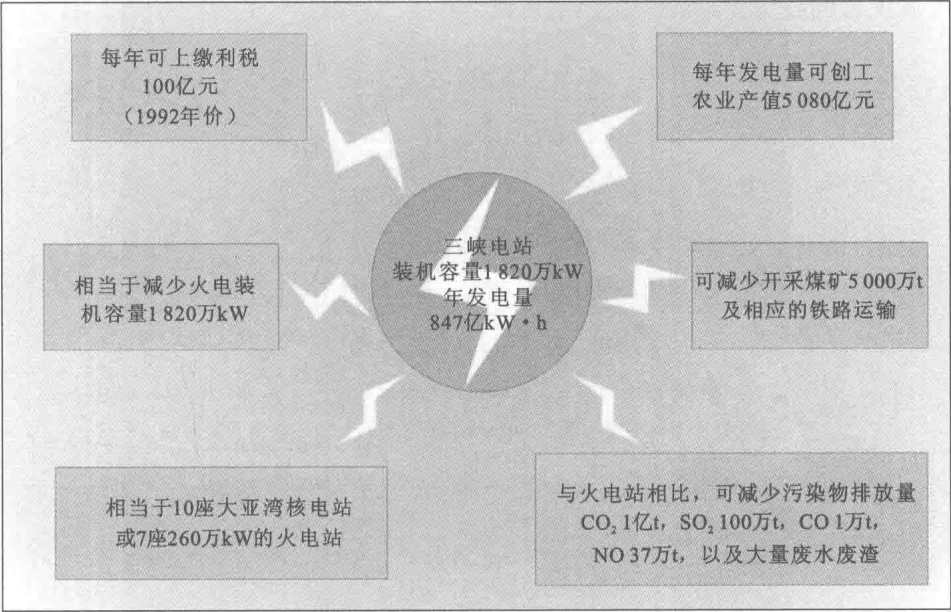


图 1.1.2 三峡水电站主要效益

航能力低。兴建三峡工程,渠化了重庆以下川江航道,淹没了险滩,改善了水流条件,航运条件得到了根本改善,航道通过能力大幅提高,运输成本明显降低,还可增加中游的枯水流量,具有十分显著的航运效益,促进了沿江经济的快速发展。

长江天然来水具有季节性特征,时空分布不均,枯水期与丰水期十分明显。每年 11 月至次年 4 月是枯水期,长江中游浅区船舶吃水最低控制在 2.7 m;其他时间为丰水期,能满足船舶按定额吨位受载。此外,随着经济发展,长江中下游地区的生产生活用水也日益增加。按照设计,三峡工程的一项重要功能是调节长江水量季节分布,通过蓄丰补枯,优化和调整长江水

资源的时空分布,保障长江中下游地区的生产和生活用水需求。

1.1.2 库岸滑坡概况

三峡工程在充分发挥防洪、抗旱、发电、航运、补水等综合效益的同时,也对三峡库区岸坡地质灾害产生较大影响。世界各国百年来的建坝实践表明,大型水库蓄水初期,是库岸边坡的不稳定期和再造期,是地质灾害的集中发生期^[3]。三峡库区属地质灾害多发地区,在三峡工程开工以前的 20 世纪 50~80 年代,国家相关部门对三峡水库库岸稳定性进行了全面调查和勘察,据水库蓄水前的查证数据,三峡水库两岸分布的滑坡总数多达 5 000 余处,涉水滑坡 2 000 余处,体积大于 100 万 m^3 的重大涉水滑坡有 300 余处(图 1.1.3)。这些滑坡经过长期的历史演变和应力调整,很多已经进入了“休眠”状态,暂时是稳定的。三峡工程水库蓄水分期进行,2003 年蓄水至 135 m 水位,2006 年蓄水至 156 m 水位,2010 年蓄水至 175 m 水位。随着三峡水库的蓄水和调度运行,坝前水位在 145~175 m 周期性变动,库岸水环境发生巨大改变,为新滑坡的产生和古滑坡的复活提供了新的动力,特别是水库的防洪调度运行期正好也是三峡库区的暴雨发生期,在库水和暴雨的共同作用下,有些“休眠”的滑坡很有可能被唤醒,从而发生巨大灾难。复杂的地质环境、大量的滑坡分布以及大幅度的周期性水位变动,使三峡库区水库蓄水诱发滑坡灾害问题成为国内外关注的焦点。

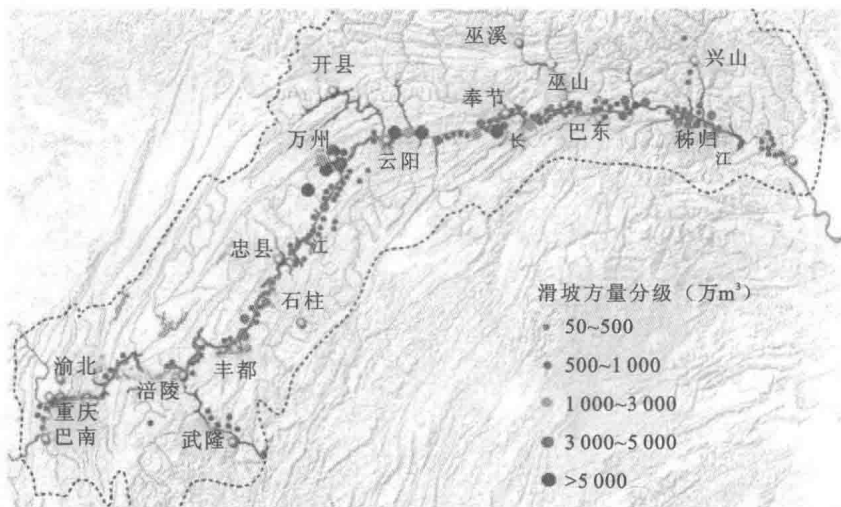


图 1.1.3 三峡库区滑坡分布图

自 2003 年 135 m 开始蓄水以来,历经 135 m、156 m、175 m 等蓄水阶段,在库水位周期性变动与降雨联合作用下,三峡库区滑坡地质灾害频繁发生。据不完全统计,自三峡水库蓄水以来,已经发生明显变形的滑坡多达 500 余处,累计变形达 100 mm 以上的滑坡有 48 处,变形达到 1 000 mm 以上的滑坡达 10 余处。水库蓄水后先后发生失稳破坏的滑坡有:秭归县千将坪滑坡(图 1.1.4)、杉树槽滑坡(图 1.1.5);巫山县龚家坊滑坡(图 1.1.6)、川主村滑坡、红岩子滑坡(图 1.1.7);奉节县黄连树滑坡和曾家棚滑坡、万州区塘角 1 号滑坡等。其中千将坪滑坡造成了 24 人死亡和重大财产损失^[4]。由此可见,水库蓄水诱发滑坡灾害问题已经成为直接影响三峡工程安全运营和库区人民生命财产安全的重大问题。为此,国家已投入 100 多亿元巨资开展了三峡库区滑坡灾害研究和治理工作。

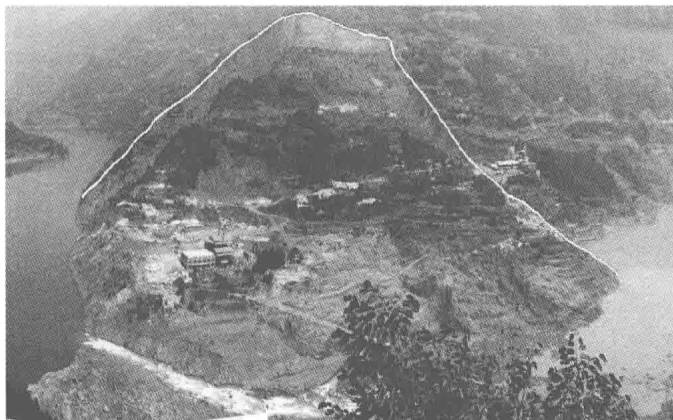


图 1.1.4 三峡库区秭归县千将坪滑坡

2003 年 6 月 20 日三峡水库开始蓄水,7 月 13 日发生千将坪滑坡,致 24 人死亡,民房及厂房被毁,阻断长江支流青干河,形成堰塞湖



图 1.1.5 三峡库区秭归县杉树槽滑坡

2014 年 9 月 2 日秭归县沙镇溪镇大岭电站发生杉树槽岩质滑坡,造成大岭电站被埋、G348 国道长约 200 m 滑入锣鼓洞河水位下



图 1.1.6 三峡库区巫山县龚家坊滑坡(人民网)

2008 年 11 月 23 日,长江北岸龚家坊发生大面积滑塌,2009 年 5 月 18 日,该处再次发生滑移型崩塌事故,两次滑塌都严重威胁长江航道的运行安全



图 1.1.7 三峡库区巫山县红岩子滑坡

2015 年 6 月 24 日巫山宁江红岩子滑坡事件已导致 2 人死亡, 4 人受伤, 滑坡产生涌浪已累计造成停靠在江对岸 1 艘海巡艇沉没, 9 艘小渔船和 7 艘自用船翻沉, 17 艘船只事前已接到主管部门通知, 均无作业人员

1.2 降雨及水库蓄水对滑坡的影响

国内外大量研究表明, 降雨或库水位变化是诱发滑坡的主要外在因素。据国家科学技术委员会全国重大自然灾害综合研究组 1993 年的统计资料, 滑坡发生频次最多的月份与暴雨频次最多的月份相一致, 具有以 7 月为对称轴的正态分布规律, 因此, 滑坡发生与暴雨频次具有良好的一致性。1982 年的川东大暴雨期间, 仅云阳县境内就发生了鸡扒子和天宝等十余处大中型滑坡; 1975 年 8 月上旬, 湖北省秭归县降雨 300 mm, 诱发的具有严重危害的滑坡高达 876 处; 1998 年重庆市区范围内连续遭受了 9 次大暴雨和特大暴雨的袭击, 引发大小地质灾害达 27 896 处, 其中滑坡占 80% 以上, 据不完全统计, 其直接经济损失达 9.7 亿元, 间接损失不计其数^[5]。《中国典型滑坡》^[6]一书中列举了 90 多个滑坡实例, 其中有 95% 以上的滑坡都与降雨有着密切关系。国外因降雨诱发的滑坡灾害也十分严重, 如在日本 1981 年和 1982 年统计的 198 处滑坡灾害中, 与降雨有关的滑坡就达 195 处, 占总数的 98%^[5]。据资料记载, 国内外与水库蓄水有关的重大滑坡事件时有发生。如三峡水库在 2003 年 6 月 1 日开始蓄水, 7 月 13 日凌晨, 距大坝 40 余 km 的湖北省秭归县千将坪便发生 2 400 余万 m³ 的特大山体滑坡, 造成 14 人死亡, 10 人失踪, 1 200 多人无家可归, 直接经济损失达数千万元^[4]; 1959 年意大利建成的高达 262 m 的瓦依昂拱坝, 当水库水位达到 700 m 高程时, 大坝上游近坝左岸于 1963 年 10 月 9 日夜突然发生了体积约 2.4 亿 m³ 的超巨型滑坡, 快速下滑体激发的涌浪过坝时超出坝顶 100 m, 强劲的过坝水流一举冲毁了坝下游数千米之内的 5 座市镇, 死亡近 3 000 人, 酿成了震惊世界的惨痛事件^[7]。四川的宝珠寺水库, 坝高 132 m, 库容 25.5 亿 m³, 1998 年蓄水至正常水位, 1999 年出现超 1 万 m³ 滑坡 11 处, 其中营盘乡滑坡体积为 2 000 万 m³, 老滑坡复活 7 处, 新生滑坡 4 处^[8]; 湖南的风滩、柘溪、东江、白渔潭等大型水库, 均在蓄水后出现较多的滑坡^[9]。

上述事实充分说明, 水是影响滑坡最活跃、最积极的因素, 正因为如此, 降雨和水库蓄水如何对滑坡产生影响一直成为滑坡机理研究和预测的重要课题, 并受到国际滑坡学界的高度重