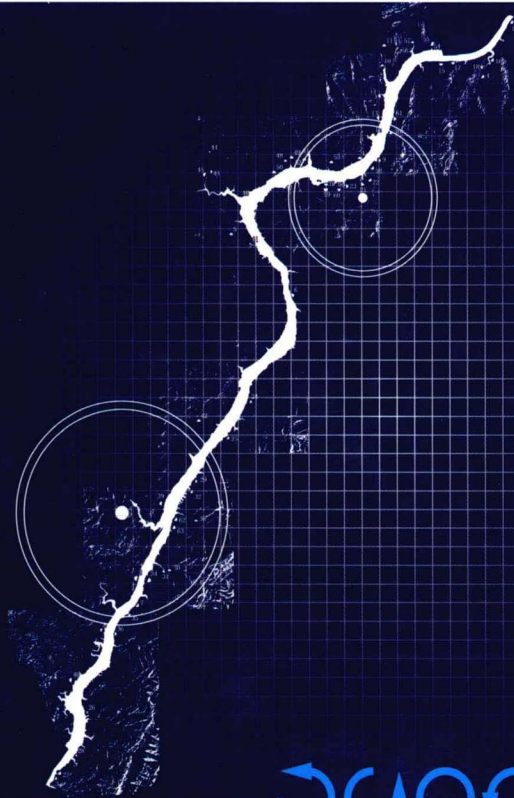


长江三峡库区 蓄水后滑坡危险性预测研究

——以重庆市万州区库岸为例

乔建平◎主编



科学出版社



利 07DFA21150, 2009DFB20190)
利 技支撑计划项目 (2011BAK12B01)

长江三峡库区蓄水后滑坡危险性预测研究 ——以重庆市万州区库岸为例

乔建平 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书选择三峡库区重庆市万州区 80km 长的库岸段作为研究区,采用滑坡发育环境宏观形态分析法,研究区域滑坡蓄水前后的易发性、危险性区划,对典型滑坡(16 处)蓄水前后的稳定性进行评价,开展重点滑坡(晒网坝滑坡)库水位调节影响计算、室内水库滑坡模拟试验、重点滑坡动态变形监测等,点面结合,从区域空间的评价到具体滑坡点和实验室的分析,对研究区蓄水后滑坡发育的宏观和微观趋势进行危险性预测。

本书可供高校、科研院所相关专业的师生、生产单位的工程技术人员等参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

长江三峡库区蓄水后滑坡危险性预测研究——以重庆市万州区库岸为例 / 乔建平主编. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-034415-1

I. ①长… II. ①乔… III. ①三峡工程-滑坡-预测-研究 IV. ①P642.22
②TV632.719

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 105424 号

责任编辑: 韩 鹏 张井飞 王淑云 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 东方人华

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>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 6 月第一次印刷 印张: 18 4/3

字数: 430 000

定价: 118.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

举世瞩目的三峡工程于 2010 年 10 月正式蓄水至 175m，达到标准设计蓄水位。作为三峡工程库区三大问题（移民、水环境污染、地质灾害）之一，地质灾害是否会在蓄水后进一步加剧，已成为国家、各级政府以及库区广大民众十分关注的后三峡问题。根据国家发展战略需求，开展三峡库区蓄水后库岸滑坡危险性预测研究十分必要。

鉴于此，本书主要介绍了水库滑坡危险性预测的理论和方法，对研究示范区蓄水后滑坡发育的宏观和微观趋势进行了危险性预测。全书共 60 余万字，由中外滑坡专家共同编写完成。全书由乔建平主编，共分为 13 章；第 1 章由乔建平编写，主要介绍三峡工程的概况，开展研究工作的背景以及选择研究区的由来；第 2 章由杨宗佑、乔建平编写，主要介绍研究区全区环境与滑坡分布概况；第 3 章由杨宗佑编写，主要介绍采用类型统计法，建立研究区库岸斜坡类型与滑坡类型的相关性；第 4 章由乔建平编写，主要介绍采用宏观形态分析法，论述研究区库岸滑坡的分布规律和发育特征；第 5 章由王萌编写，主要介绍采用贡献权重叠加法，划分库岸区在蓄水前的空间滑坡易发区域；第 6 章由乔建平、黄栋编写，主要介绍采用极限平衡法，计算库岸区 16 处典型滑坡蓄水前的稳定性；第 7 章由王萌编写，主要介绍采用修正后的无限边坡稳定性算法，划分预测库岸区蓄水及放水条件下的空间滑坡危险区域；第 8 章由黄栋编写，主要介绍采用极限平衡法，预测库岸区 16 处典型滑坡蓄水后的稳定性；第 9 章由朱大勇编写，主要介绍采用临界滑动场理论方法，预测重点滑坡（晒网坝滑坡）蓄水及泄水条件下的稳定性发展趋势；第 10 章由黄栋、东畑郁生（日本）、卡洛斯（哥伦比亚）编写，主要介绍采用室内滑坡模拟实验方法，研究在库水位变化条件下斜坡变形的规律；第 11 章由田宏岭、黄栋、西江俊作（日本）、王林、内村太郎（日本）编写，主要介绍通过重点滑坡（晒网坝滑坡）监测，分析在库水位变化条件下的变形特点；第 12 章由田宏岭编写，主要介绍开发自主研发的库岸滑坡预警软件系统；第 13 章由乔建平编写，主要介绍通过现场实地抽样、专业监测及群测群防监测数据分析，检验预测结论的可靠性。

本研究得到科技部国际合作项目（2007DFA21150，2009DFB20190）、科技部“十二五”重点科技支撑计划项目（2011BAK12B01）共同资助，经历四年的努力而完成。在本书依托项目的研究过程中，曾得到国务院三峡工程建设办公室规划司、重庆市万州区地质环境监测站、重庆市气象局等部门的大力帮助和支持，并提供了丰富的相关资料，在此表示由衷的感谢！

编 者

2012 年 3 月

目 录

前言	
第1章 绪言	1
1.1 三峡工程及水库滑坡	1
1.1.1 三峡工程概况	1
1.1.2 三峡水库滑坡概况	3
1.2 三峡水库蓄水调度	6
1.3 研究区	7
1.4 水库滑坡及预测研究动态	9
1.4.1 水库滑坡研究	9
1.4.2 水库滑坡预测研究	11
1.5 水库滑坡研究方法	13
第2章 万州区域环境与区域滑坡分布	15
2.1 万州区基本概况	15
2.2 地形地貌	15
2.3 地质构造	17
2.3.1 万县弧形构造	17
2.3.2 北北东向及其伴随构造	17
2.3.3 地层岩性	18
2.4 气象水文	20
2.5 新构造运动与地震	21
2.6 区域滑坡分布	21
2.6.1 滑坡分布基本概况	21
2.6.2 滑坡的时间分布	24
2.6.3 滑坡的空间分布	25
第3章 库岸斜坡类型与滑坡发育	31
3.1 库岸斜坡类型划分	31
3.1.1 库区河道概况	31
3.1.2 蓄水斜坡分类原则与含水岩组划分	33
3.1.3 蓄水斜坡的水文地质结构分类	34
3.2 库岸斜坡类型与滑坡	41
3.2.1 三峡库区库岸斜坡形成演化	41
3.2.2 地貌演化与滑坡成因关系	45

3.3 库岸变形破坏类型	50
3.3.1 岸坡类型与变形破坏特点	51
3.3.2 库岸破坏类型	52
第4章 库岸滑坡分布及发育特点	55
4.1 库岸区域滑坡分布	55
4.1.1 滑坡分布的空间	55
4.1.2 滑坡分布的流域	59
4.1.3 滑坡分布的岸坡	60
4.1.4 滑坡分布的河谷	62
4.1.5 滑坡分布的地层岩性	64
4.1.6 滑坡分布的特点	66
4.2 库岸区典型滑坡特征	67
4.2.1 滑坡与坡形	72
4.2.2 滑坡与坡体结构	73
4.2.3 滑坡地质模型	76
4.3 重点滑坡(晒网坝)变形特征	79
4.3.1 滑坡基本概况	79
4.3.2 滑坡蓄水期变形特征	80
第5章 天然状态下库岸区滑坡易发性区划	90
5.1 库岸滑坡易发性区划	90
5.1.1 研究区位置	90
5.1.2 评价体系的建立	91
5.1.3 评价模型及方法	91
5.2 本底因素贡献率评价及权重分配	106
5.2.1 贡献率评价	106
5.2.2 贡献权重	106
5.3 易发性评价模型及易发性分区	110
5.4 检验结果与结论	112
第6章 天然状态下库岸典型滑坡稳定性	114
6.1 计算参数选取	114
6.1.1 综合统计平均值	114
6.1.2 实验值	114
6.1.3 反算值	114
6.1.4 计算采用值	115
6.2 计算方法	116
6.2.1 计算模型	116
6.2.2 计算工况	117
6.2.3 计算结果	117

6.3 相关性分析	124
6.3.1 滑坡稳定性与坡形的相关性	124
6.3.2 滑坡稳定性与地质模型的相关性	125
6.3.3 滑坡稳定性与坡形和滑坡地质模型比较相关性	126
第7章 蓄水后库岸区域滑坡空间危险性预测	128
7.1 预测模型	128
7.1.1 不受库水位影响的岸坡稳定性计算模型	128
7.1.2 受库水位影响的岸坡稳定性计算模型	129
7.1.3 处于库水位以下的岸坡稳定性计算模型	131
7.2 蓄水期滑坡危险性预测	131
7.2.1 145m 蓄水库岸区滑坡危险性预测	132
7.2.2 155m 蓄水库岸区滑坡危险性预测	136
7.2.3 165m 蓄水库岸区滑坡危险性预测	138
7.2.4 175m 蓄水库岸区滑坡危险性预测	140
7.3 泄水期滑坡危险性预测	143
7.3.1 水位由 175m 降至 165m 库岸区滑坡危险性预测	143
7.3.2 水位由 175m 降至 155m 库岸区滑坡危险性预测	144
7.3.3 水位由 175m 降至 145m 库岸区滑坡危险性预测	145
7.4 危险性预测	151
第8章 蓄水后典型滑坡稳定性与危险性预测	153
8.1 库水位变化条件下滑坡稳定性分析的理论	153
8.1.1 渗流-应力场耦合分析	153
8.1.2 库岸滑坡稳定性分析	158
8.2 库水位变化下滑坡稳定性计算与分析	162
8.2.1 浸润线的确定	162
8.2.2 库水位变化作用下的极限平衡法	163
8.2.3 库岸区滑坡稳定性分析	166
8.3 危险性预测	171
第9章 蓄水后重点滑坡(晒网坝)稳定性与危险性预测	173
9.1 临界滑动场的基本理论	173
9.1.1 边坡稳定性分析的极限平衡条分法及存在的主要问题	173
9.1.2 边坡临界滑动场理论与数值模拟方法	175
9.2 基于临界滑动场的晒网坝滑坡稳定性	181
9.2.1 计算结果分析	181
9.2.2 与 GEO-SLOPE 计算结果的比较	184
9.2.3 结果分析	185
9.3 库水位下降条件下滑坡稳定性分析	186
9.3.1 三峡库区 175m 正常蓄水位时的运行情况	186

9.3.2	岩土饱和-非饱和渗流理论	186
9.3.3	库水位下降的渗流计算	187
9.3.4	滑坡稳定性分析	190
9.3.5	结果分析	192
9.4	危险性预测	192
第 10 章	库水位变化条件下的滑坡模拟实验及破坏模式预测	193
10.1	岩土体参数的选取	193
10.1.1	岩土体的物理力学参数	193
10.1.2	实验数据的可靠性检验	194
10.1.3	体积重心优化法	197
10.1.4	岩土体量化研究	200
10.1.5	结果分析	205
10.2	库岸滑坡（非饱和土）破坏机理	206
10.2.1	非饱和土强度理论	206
10.2.2	试验研究	210
10.2.3	试验结果及分析	212
10.2.4	结果分析	213
10.3	库岸滑坡破坏机制模拟	213
10.3.1	相似理论	214
10.3.2	相似模型尺寸	215
10.3.3	相似材料	215
10.3.4	试验模型及过程	224
10.3.5	模型试验量测系统	227
10.3.6	监测仪器的布设	229
10.3.7	摄影量测系统	230
10.3.8	试验现象及结果	231
10.3.9	结果分析	238
第 11 章	库岸滑坡蓄水期变形监测	239
11.1	滑坡监测系统	239
11.1.1	滑坡监测原理和方法	239
11.1.2	滑坡监测内容	240
11.1.3	滑坡监测方法技术现状	240
11.1.4	滑坡监测技术方法的热点与趋势	240
11.1.5	滑坡灾害监测方案设计原则	241
11.2	重点滑坡（晒网坝）监测方案	242
11.2.1	滑坡位置	242
11.2.2	监测点设置	243
11.2.3	监测方法	243

11.2.4	监测内容	243
11.2.5	监测设备	244
11.2.6	设备安装	247
11.3	滑坡监测数据分析	248
11.3.1	降雨对滑坡变形的影响	248
11.3.2	库水位对滑坡变形影响	249
11.3.3	结果分析与预测	251
第 12 章	库岸滑坡危险性预警系统	253
12.1	滑坡预警方法	253
12.1.1	滑坡易发性区划	253
12.1.2	降雨滑坡预警	253
12.1.3	预警结果分级	254
12.2	系统设计	254
12.2.1	总体设计思路	254
12.2.2	功能模块设置	255
12.2.3	栅格数据与属性数据的数据库存储策略	258
12.3	软件系统安装及界面	261
12.3.1	配置地图服务器	261
12.3.2	滑坡区划与预警客户端	266
第 13 章	滑坡危险性预测检验	273
13.1	区域滑坡危险性预测检验	274
13.1.1	验证方法	274
13.1.2	检验分析	274
13.2	典型、重点滑坡危险性预测检验	274
13.2.1	验证方法	274
13.2.2	检验分析	275
13.3	检验评价	282
参考文献		283

第 1 章 绪 言

1.1 三峡工程及水库滑坡

1.1.1 三峡工程概况

长江是中国的第一大河流，全长约 6300km，流域面积约 180 万 km^2 。长江水资源十分丰富，可开发的水能蕴藏量约 1.97 亿 kW，内河运量占全国的约 80%。修建三峡工程是中国几代人的企盼。三峡工程是一项大型水利枢纽工程，是开发和治理长江的关键性骨干工程，也是迄今为止世界水利建设史上最大的工程。三峡工程于 1994 年正式开工建设，包括三峡枢纽工程、三峡输变电工程和三峡移民工程三大部分，采取“一级开发、一次建成、分期蓄水、连续移民”的建设方案，到 2009 年底，已经基本完成工程建设和移民搬迁安置任务，建设期共 17 年。三峡工程具有巨大的防洪、发电、航运、供水等综合效益，是造福人民的重大水电工程，对建设长江经济带、加快中国现代化建设步伐、提高综合国力有着十分重大的战略意义。

三峡枢纽工程坝址位于湖北省宜昌市三斗坪，下距葛洲坝工程 38km。三峡枢纽工程主要包括一座混凝土重力式大坝、泄水闸，一座堤后式水电站，一座永久性通航船闸和一架升船机。三峡枢纽工程建筑由大坝、水电站厂房和通航建筑物等组成。大坝坝顶轴线全长 2309m，最大坝高 181m（坝基新鲜花岗岩岩面高程 4m），大坝坝顶高程 185m，设计正常蓄水位高程为 175m（相对吴淞基面，以下均同），初期蓄水位 156m，汛期防洪限制水位 145m，枯季消落最低水位 155m，相应的总库容、防洪库容和兴利库容分别为 393 亿 m^3 、221.5 亿 m^3 和 165 亿 m^3 。水库水面面积 1045 km^2 ，水库长度 663km，末端止于重庆市江津区羊角滩。

三峡水电站的水轮发电机总装机容量为 2250 万 kW，其中左岸机组 14 台，右岸机组 12 台，地下电站 6 台，共计装机 32 台，每台容量为 70 万 kW；另有 2 台 5 万 kW 机组。每年发电量可达 1000 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。通航建筑物位于左岸，包括一条双线五级船闸和一座垂直直升船机。三峡工程双线五级连续梯级船闸的每级闸室净空尺寸为长 280m，宽 34m，上、下游闸门顶槛上水深 5m，为当今世界上最大型船闸之一。五级船闸线路总长 6442m，其中上游引航道长 2113m，船闸主体段长 1607m，下游引航道长 2722m，船闸可通过万吨级船队。升船机为单线 1 级垂直直升船机，承船厢有效尺寸为 120m $\times$ 18m $\times$ 3.5m，可通过 1 条 3000 吨级的客货轮；另设施工期临时通航船闸 1 座，闸室有效尺寸为 240m $\times$ 24m $\times$ 4m。

三峡水电站地处全国电网中心，它的建成发电对促成全国大区间电力系统联网，实现更大范围内的水电、火电相互调剂和水电跨流域调剂，发挥了举足轻重的作用。三峡输变

电工程包括 91 个单项工程和相关二次系统工程,建设规模为 500kV 交流变电,总容量 2275 万 kW,500kV 交流输电线路 6519km;正负 500kV 直流输电线路 2965km,直流换流站容量 1800 万 kW。经过建设,三峡—常州、三峡—广州、三峡—上海三个 500kV 直流输电工程以三峡电站为首端,由 15 回 500kV 输电线路向东、西、南、北四个方向辐射,覆盖了湖北、湖南、河南、江西、重庆、江苏、浙江、安徽、上海、广东 10 个省市。三峡电站建成后每年的发电量,折算为固体能源,相当于 5000 万吨标准煤^①。

三峡水库为河谷水库,干流库岸长 580~667km,水库面积 1084km²,干支流库岸总长度约 5300km。三峡库区地跨湖北省和重庆市,地形地质条件复杂,加之受暴雨等因素的影响,历史上就是地质灾害的多发区。其地质灾害类型主要是滑坡、崩塌、泥石流。历史记载的大型崩塌、滑坡就有 10 余处之多,中小型崩塌、滑坡更是频发不断。从 1982 年到三峡工程建设开始的前 12 年内,长江三峡库区两岸发生严重的滑坡、崩塌、泥石流近百处,规模较大的有数十处,给当地经济、社会造成较大影响。

三峡地区较系统的地质研究,可追溯到 20 世纪 20 年代,而全面系统的大规模工程地质勘察则始于 1955 年。50 多年来,水利部长江水利委员会不间断地在该地区进行了各个设计阶段的勘察研究,1956~1963 年原地质矿产部三峡水文工程地质大队曾承担过三峡工程的主要地质勘察工作。此外,来自全国地质、地理、地震等相关专业的 40 多个生产、科研和教学单位的上百位专家学者及数以千计的地质工作者参加了三峡工程的地质勘察研究工作。1956~1960 年,苏联政府曾派遣过许多著名的地质专家参与三峡工程的地质研究;1979 年以后,先后又有美国、瑞典、加拿大、意大利、捷克、法国、日本、奥地利、原南斯拉夫、德国、韩国、希腊、俄罗斯、芬兰、厄瓜多尔、中国台湾、中国香港等国家和地区的政府机构、私人公司的知名专家学者和世界银行专家组参与了三峡工程有关地质问题的技术咨询、考察与交流。

在三峡工程初步设计阶段的补充勘察阶段,水利部、国土资源部、中国科学院、建设部及湖北、四川两省的有关单位,对库岸稳定性及库区环境工程地质问题开展了多学科、多手段、多层次的协同攻关研究,取得了一系列成果。1992 年 4 月 3 日,全国人大七届五次会议通过了《关于兴建长江三峡工程的决议》后,长江水利委员会先后在库区各县建立了地质工作站,具体指导各县解决在移民工程建设过程中所遇到的地质问题;国土资源部专门成立了三峡库区地质灾害防治工作指挥部,具体承担三峡库区地质灾害防治与应急处理的有关工作。

1982 年和 1985 年,长江干流段先后发生了云阳鸡扒子和秭归新滩两次大滑坡,引起了人们对三峡工程水库库岸稳定性问题的关注。在已有工作的基础上,长江水利委员会及国内有关部门从生产和科研的不同角度,对库岸稳定性及库区其他环境工程地质问题开展了多学科、多手段、多层次的协同攻关研究。1989 年 5 月,水利部长江流域规划办公室编制了《长江三峡水利枢纽可行性研究专题报告》。报告中根据库岸岸坡的岩性及其组合,岸坡结构类型及坡形,坡体变形破坏程度,现有崩塌、滑坡体的稳定性及水库运行期间的可能变化,将库岸分为稳定条件好、较好、较差和差四类。

^① 1 吨标准煤=29 270MJ。

国家“七五”科技攻关第16项“地震与地质”课题中的“长江三峡工程库岸稳定性专题”由地质矿产部成都水文地质工程地质中心、成都地质学院、水利部长江水利委员会勘测总队共同主持。参加专题攻关研究的工程技术人员、研究员、教授和教师、职工达2000余人。1993年12月提出了《长江三峡工程库岸稳定性研究》报告，并出版了专著《长江三峡工程库岸稳定性》。

1992年12月，水利部长江水利委员会编制了《长江三峡水利枢纽初步设计报告（枢纽工程）》；1995~1997年，长江水利委员会综合勘测局取得了《长江三峡工程库区库岸稳态及崩、滑体专论》、《长江三峡工程库区库岸稳态及崩、滑体专论插图集》、《长江三峡工程库区崩滑体档案（长江干流、长江支流）》、《长江三峡工程库区滑坡泥石流流预报3S工程可行性论证报告》和《长江三峡工程库区崩、滑体预警选点报告》等专项成果。

1992~2001年，在国务院三峡工程建设委员会原移民开发局的主持下，由长江水利委员会负责，开展了库区13座县（市）城新址、140余座集镇新址分初勘和详勘两个阶段的地质论证工作，编制了《长江三峡工程库区淹没处理及移民安置规划和崩滑体处理总体规划报告》；由国土资源部中国地质环境监测院负责，编制了《三峡工程库区地质灾害监测预警工程建设规划报告》，规划对三峡库区受蓄水影响的1302处崩滑体采取分类监测方法，有重点地实施监测预警工作；对三峡库区急需开展的21处崩滑体工程治理项目，布置开展了专题地质勘察和防治工程设计工作，并实施了9个崩滑体治理工程项目。对三峡库区危害巨大、影响面广的湖北省巴东黄土坡滑坡、重庆市云阳县西城滑坡、万州区和平广场滑坡、万州区关塘口滑坡等四大滑坡布置开展了补充地质勘察与防治工程可行性研究设计工作。

2001年7月以来，在由国土资源部牵头，国家发展和改革委员会、财政部、国务院三峡办、建设部、水利部、监察部、审计署、气象局、三峡总公司，以及重庆市、湖北省人民政府等参加的三峡库区地质灾害防治工作领导小组领导下，统一协调，推进三峡库区的地质灾害防治工作。由国土资源部负责，编制了《三峡库区地质灾害防治总体规划》等一系列综合和专项规划与设计，并组织湖北省、重庆市系统开展了三峡库区二期、三期地质灾害防治工作；由国务院三峡办负责，在三峡库区地质灾害防治工作领导小组的统一领导下，组织编制了《三峡库区三期地质灾害防治（高切坡防护）规划》等多项规划与设计，并组织湖北省、重庆市移民局等，开展了三峡库区三期高切坡防护工程建设与监测预警等工作。

三峡库区地质灾害防治自三峡工程论证及可研阶段起，至今投入资金已达100多亿元。其历时、投资、数量、规模、复杂程度、防治水平、防治能力、防治成果和防治效益，均达到世界前列。在前期论证、规划、调查、勘察、设计、施工、监理、施工期监测、工程管理等各领域均取得了丰富的成果和不同程度的创新，有力地推动了我国地质灾害防治科学的发展，有力地保证了当地人民群众的生命财产安全，满足了三峡工程按期或提前蓄水的需要。

1.1.2 三峡水库滑坡概况

长江三峡库区沿江两岸多为中、低山地形，滑坡灾害发生频繁，尤其是大、中型滑坡

发育。这些滑坡灾害数量多、分布广、规模大，对当地的经济建设和人民生命财产造成严重的危害。

三峡工程库区地质灾害的主要类型是滑坡和崩塌（以下简称崩滑体）。目前已查出库区两岸崩滑体 2490 余处，此外，尚有大小泥石流沟 90 余条。三峡水库干、支流库岸总长约 5300km，蓄水后水库塌岸也将引发地质灾害。1982 年以来，库区两岸发生滑坡、崩塌、泥石流多达 70 多处，规模较大的 40 余处，据不完全统计，致死约 400 人，损失严重。

2001 年 7 月 17 日，朱镕基总理在三峡工程移民暨对口支援工作会议上强调指出，“三峡工程是一个整体，防治地质灾害和生态环境建设，是三峡工程密不可分的组成部分”、“加强对崩滑体等地质灾害的监测和治理，是关系到库区人民生命财产安全和子孙后代的大事，刻不容缓，必须在水库蓄水前抓紧治理。特别是对那些在蓄水后可能产生滑坡的崩滑体，要集中力量，抢先治理”、“对治理工程项目，要快调查、快规划、快立项、快审批、快实施，做到科学论证，简化程序，加快进行”。

截至 2001 年 10 月，库区各县（市、区）政府上报地质灾害点 6977 处，其中 4429 处地质灾害点在库区范围以外，2548 处地质灾害点在库区范围内。在库区范围内的 2548 处地质灾害点中，有崩滑体 2490 处，泥石流 47 处，塌陷 6 处，地裂缝 5 处。在地域上，2490 处崩滑体分为两部分：一部分前缘分布在 175m 回水线以下，受水库蓄水影响，共 1627 处；另一部分前缘位于 175m 回水线以上，主要分布在移民迁建区内，共 863 处。

三峡库区崩塌、滑坡防治的总体任务是：对库区范围内 2490 处崩塌、滑坡进行分类防治，其中工程治理并监测预警的 615 处，搬迁避让并监测预警的 553 处，只进行监测预报的 744 处，不需防治的 578 处。需完成的任务是：对受坝前 135m 水位影响的和位于移民迁建区急需防治的崩滑体 957 处进行防治，其中工程治理并监测预警的 197 处，搬迁避让并监测预警的 232 处，只进行监测预警的 152 处，不需防治的 376 处。

三峡水库正常蓄水位为 145 ~ 175m，水位变幅高达 30m。水库蓄水后，因水库季节性或年际性水位变化，对库岸进行反复冲刷、浸泡。尤其是在水库水位调节期，水位的突然升降，使库岸所受各种水力条件的影响，由此容易引起崩塌和滑坡。如 2007 年 3 月库水位自 156m 调节至 151m 后，重庆市万州区库岸段相继发生 6 处滑坡，受灾 70 余户，房屋建筑严重破坏，形成新的移民区，给当地政府抢险救灾造成新的压力。156m 水位线以下的原库岸多数有基岩出露，水位升高后对其侵蚀破坏作用有限。受地下水影响，松散坡积层中产生滑坡的数量、规模以及范围也是有限的。但当水位线上升到 175m 后，库区部分库岸段的多数松散坡积物组成的岸坡将直接受到水体侵蚀，发生滑坡的概率也会明显加大。虽然通过二、三期地质灾害应急治理，城镇区的滑坡及库岸已得到有效保护，但广大农村的后靠迁建移民区，尤其是 175 ~ 200m 范围的库岸区可能成为新生滑坡的危险地带，涉及的新移民建筑和受威胁的人数都可能随之增多。例如，2008 年三峡水库进行 175m 蓄水试验以来，三峡库区重庆段有 13 个区县共发生 150 多处地质灾害，崩滑体总体积超过 4500 万 m^3 ，影响居民 9000 多人，损毁土地 2000 多亩^①，导致

^① 1 亩 $\approx$ 666.67 m^2 。

经济损失约 5 亿元。

三峡库区蓄水后的“后三峡期间”，因蓄水影响诱发的大型滑坡有：

1) 2008 年 11 月，随着三峡库区开始试验性蓄水，云阳县故陵镇凉水井诱发大型滑坡。该滑坡位于长江右岸，滑坡体长 250 ~ 370m，宽 200 ~ 370m，平均厚度约 35m，总体积约 360 万 m^3 。2009 年 3 月该滑坡变形进一步加剧，险情涉及的 11 户 55 名村民进行了临时疏散转移。

2) 2009 年 3 月，巫山县巫峡镇龙江村李家坡发生滑坡，滑坡体横宽 800 多米，纵长为 350m，面积为达到 0.35 km^2 。险情危及龙江村 64 户 221 名居民生命财产安全，受损房屋面积约 19 000 m^2 ，滑坡体上的建筑大部分已成危房，受损耕地面积达 520 亩。

3) 2009 年 10 月，随着江水位上升，巫山县曲尺乡塔坪发生滑坡，滑坡体积达 3080 万 m^3 ，临江部分超过百万立方米的滑体加剧变形。在整个滑坡的重压下，建在 160 ~ 176m 处的多根抗滑桩被拉裂，变形严重。

2010 年 10 月 26 日，三峡工程正式达到 175m 正常蓄水位，目前水库水位仍在 174.6m 以上。

自三峡库区 175m 满库蓄水后，10 月 21 日前库区 2400 余处涉水滑坡体运行稳定，未收到险情报告。21 日后主要报告有两处滑坡体：

1) 10 月 21 日，巫山望霞危岩滑坡体发生滑坡，滑坡土石方约 3 万 m^3 。三峡集团公司表示，此危岩滑坡高程为 1200m 左右，主要是下面多个煤洞长期挖煤挖空了下面山体所致，与三峡蓄水没有关系，不影响长江航运。

2) 11 月 1 日，巫山县抱龙镇青石村发生滑坡险情。该滑坡为一古滑坡，距离长江干流尚有 1km，不直接影响长江航道安全。之后，该滑坡变形仍在持续。

由于目前库区蓄水后滑坡危险性预测和区划的基础研究工作深度不够、量化分析程度有限，库岸涉水危险性评价多限于坝岸研究，而对涉水滑坡的危险性预测和区划研究较少。目前，各地针对已发生的城镇人口密集区滑坡做了大量勘测及监测工作，但大尺度（1 : 1 万）潜在发生滑坡库岸段的危险性评价研究缺少，难以指导政府部门开展防灾减灾工作。如近期万州区库岸段相继发生的滑坡中，个别是已知的，其余是未预测的，这些突发滑坡事件给地方政府工作造成很多不便。乔建平（2009c）在“三峡库区重点滑坡段危险度区划及预测预报研究”中，将传统地学与 GIS 技术、RS 技术、人工智能技术、二次软件开发技术等相结合，完成了云阳—巫山段岸区长 100km、面积 4416 km^2 的 1 : 5 万比例尺的三维可视化滑坡危险性预测图件，完成了 1 : 1 万比例尺的开县城区三维可视化滑坡危险性区划，成为三峡库区目前比例尺最大（已有部门完成 1 : 25 万和 1 : 50 万比例尺图件）、应用性强的研究成果。经现场检验可靠率超过 85%。交国务院三峡办、重庆市土房局、重庆市气象局、开县国土资源局、城建局应用，给予了肯定和良好评价，认为成果可以直接为部门规划使用，并对三峡库区滑坡减灾防灾、预警预报具有使用价值。在此基础上，进一步开展三峡库区蓄水后库岸滑坡危险性预测研究，采用大尺度、精细地面空间标准划分危险库岸段和安全库岸段，是十分重要的。

1.2 三峡水库蓄水调度

当三峡工程按蓄水位 175m 运行时，水库岸线长度为 5927km，淹没面积为 1045km²，其中陆域面积 600 km²；高程 177m 对接近 $P=5\%$ 回水线以下的淹没面积为 1084 km²，其中陆域面积 632km²。水库回水末端定为水库各频率洪水的回水水面线与同频率洪水的天然水面线之差值等于或小于 0.3m 的位置。据此，干流 $P=20\%$ 洪水回水末端在距坝址 574km 的大塘坝，回水水位为 180.7m，天然水位为 180.4m； $P=5\%$ 洪水回水末端在距坝址 580km 的弹子田，回水水位为 186.0m，天然水位为 185.7m； $P=1\%$ 洪水回水末端在距坝址 594km 的生基塘，回水水位为 192.8m，天然水位为 192.5m。各支流的回水末端也是按回水水位比同频率洪水天然水位高 0.2~0.3m 确定。

三峡水库初设阶段对坝址洪水静库容调洪成果进行复核计算，提出了频率洪水 1%、2%、5%、20% 的干流回水曲线成果（表 1.1）。

表 1.1 三峡 175~145~155m 方案干流回水曲线成果表

断面		距坝里程 /km	天然水位/m				回水水位/m			
编号	名称		1%	2%	5%	20%	1%	2%	5%	20%
1	三斗坪	0	77.0	75.9	74.2	71.1	175.0	175.0	175.0	175.0
6	香溪	31.1	93.8	92.8	90.4	86.7				
13	巴东县	72.5	108.2	106.9	104.4	100.6	175.1			
23	巫山县	124.2	128.8	127.0	124.0	118.7	175.3	175.2	175.1	175.1
30	奉节县	162.2	137.3	135.4	132.1	126.3	175.4	175.3	175.2	
39	新津口	218.7	140.7	138.8	135.5	130.0				
40	云阳县	223.7	141.2	139.4	136.0	130.5				
44	双江镇	248.4	142.7	140.8	137.6	132.2				
50	万州区	281.3	144.7	142.8	139.8	134.6				
67	忠县	310.3	153.4	151.6	149.0	144.4	175.5	175.4	175.3	
79	丰都县	429.0	157.9	156.4	154.1	150.0	175.6	175.5		
85	盐汉溪	454.6	163.9	162.3	160.0	155.9	175.8	175.6	175.4	175.2
91	郭家咀	479.4	168.8	167.2	164.9	160.9	160.9	176.0	175.6	175.3
102	长寿县	527.0	180.9	179.0	176.6	172.3	172.3	182.1	177.6	175.6
108	下刘家坪	555.0		183.4	181.2	177.0	177.0		181.8	177.6

续表

断面		距坝里程 /km	天然水位/m				回水水位/m			
编号	名称		1%	2%	5%	20%	1%	2%	5%	20%
110	木洞	565.7	186.7	185.2	183.0	178.8	178.8	187.4	183.5	179.3
112	大塘坝	573.9		186.7	184.5	180.4	180.4		185.0	180.7
113	弹子田	579.6	189.5	187.9	185.7	181.5	181.5	190.0	186.0	181.8
114	广阳坝	583.8	190.0	188.5	186.3	182.1	182.1	190.5	186.6	182.4
117	生基塘	593.5	192.5	190.8	188.5	184.0	184.0	192.8	188.8	184.3
118	寸滩	596.7	193.1	191.5	189.2	184.8	184.8	193.4	189.5	185.1
120	重庆	603.7	194.2	192.5	190.1	185.8	185.8	194.5	190.3	186.0

1.3 研究区

本书选择重庆市万州区库岸为水库滑坡危险性预测研究区，对该段 80km 长的库岸段进行蓄水后的滑坡危险性预测研究。据统计，万州区（面积约 3400km²）有滑坡崩塌 1168 处，占三峡地区的 16.8%，是全库区滑坡崩塌数量最多、分布密度最大的滑坡重灾区（图 1.1）。该区的滑坡资料较丰富，基础条件好，进行示范研究能够得到准确验证，研究成果的理论和实用价值更高。万州区库岸段沿库区长 80km，占全库区长度的 12.5%，是库区库岸段最长的区域。该库岸段具有长江三峡地区奉节以上川江段典型的地貌、地层岩性、坡岸结构等特点，研究库区蓄水后滑坡发育规律，预测可能出现的危险性，具有一定代表性。经有关部门查明，沿江库岸已发育了 16 处正在活动的滑坡，这些滑坡都直接与人民生命财产相关。万州区沿江主要以侏罗系的沙溪庙组和遂宁组地层为主，其岩性为一套紫红色砂、泥质岩，为库区典型的易滑地层，且沿江 156m 高程线以上广泛分布了松散的第四系坡积层，在遇水条件下这些物质构成的斜坡极易变形破坏。例如，2007 年 3 月库水位降低 5m 后，4 月 1 日又遇降雨影响，万州区库岸的晒网坝、大地螃、武陵镇苦仔坪等相继发生 6 处滑坡，新建移民住房破坏严重，成为危房。有的滑坡体上水塘漏水、水田拉裂、道路毁坏等，成为三峡库区典型的水库滑坡破坏区域。其中晒网坝滑坡的破坏程度远远超过了预期，造成滑坡体上数十户移民二次移民搬迁，引起国务院和当地各级政府的高度重视。由于晒网坝滑坡的重要性、复杂性和不确定性，其成为研究区的重点滑坡。

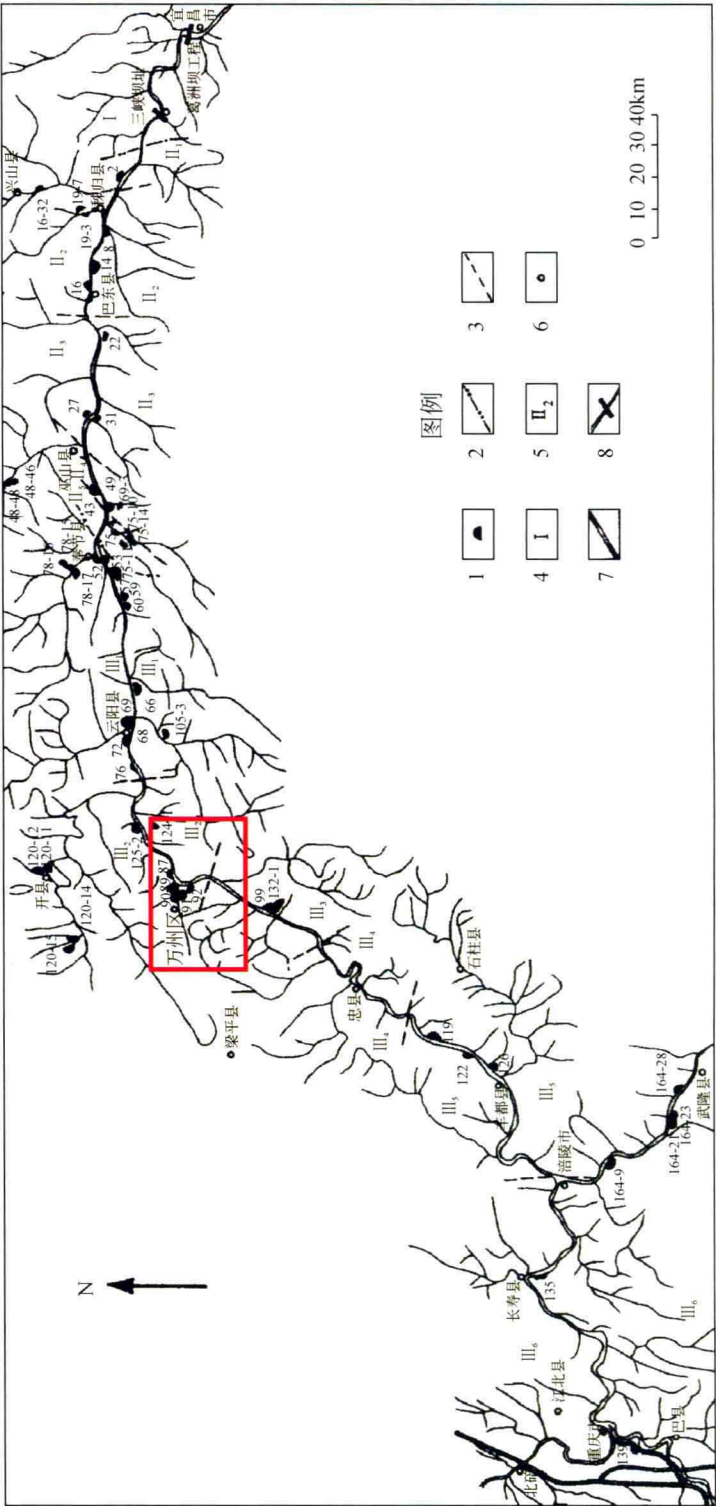


图1.1 三峡库区工程地质分区及大型崩塌、滑坡分区图

1.大型崩塌、滑坡体；2.工程地质亚段分界线；3.工程地质亚段代号；4.工程地质亚段代号；5.工程地质亚段代号；6.主要城镇；7.铁路线；8.大型水利枢纽；
图中数字为崩塌、滑坡的编号