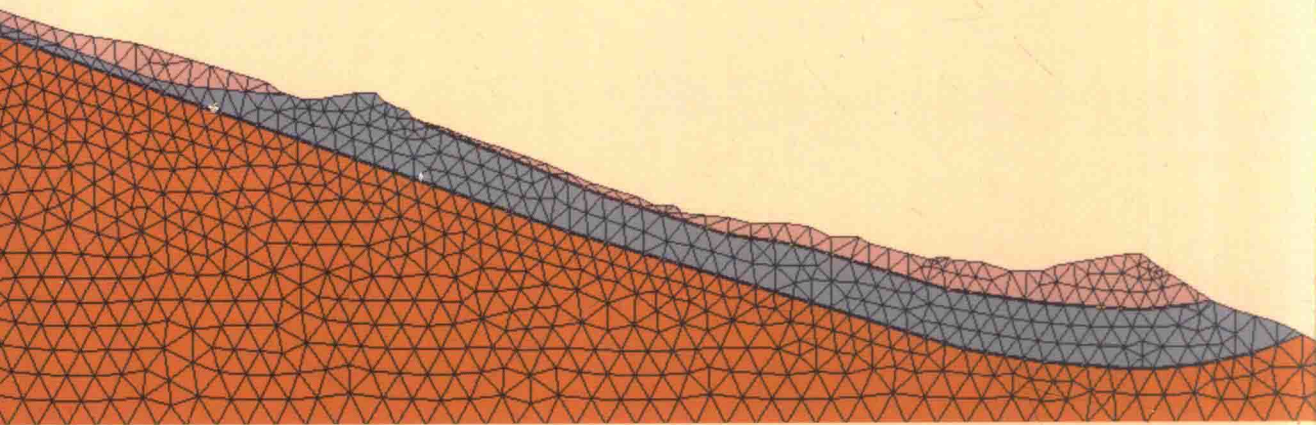




TEDA SHUNCENG YANZHI SHUIKU HUAPO YANJIU

特大顺层岩质水库 滑坡研究

肖诗荣 刘德富 张国栋 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

国家自然科学基金面上项目 (41272310 号)

三峡大学土木工程学科建设项目

三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心项目

特大顺层岩质水库 滑坡研究

肖诗荣 刘德富 张国栋 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以三峡水库 2003 年蓄水以来变形破坏的千将坪滑坡、藕塘滑坡、凉水井滑坡为例,对三峡库区的典型特大顺层岩质水库滑坡进行了系统研究。通过工程地质研究、物理模型实验研究和数值实验研究,探讨了这类滑坡的地质模型、变形机理、库水响应特征、空间预测模型及临滑变形特征等。

本书可供从事国土资源、水利水电、交通、矿山、国防工程等部门地质工程和岩土技术人员及高等院校有关师生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

特大顺层岩质水库滑坡研究 / 肖诗荣, 刘德富, 张国栋著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-5170-3968-6

I. ①特… II. ①肖… ②刘… ③张… III. ①三峡水利工程—水库—岩质滑坡—研究 IV. ①TV697.3
②P642.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第302606号

书 名	特大顺层岩质水库滑坡研究
作 者	肖诗荣 刘德富 张国栋 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 21.75 印张 519 千字 2 插页
版 次	2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	68.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



序言

XUYAN

世界上最早研究顺层岩质水库滑坡是从1963年10月意大利瓦伊昂滑坡的发生开始的,中国水利史上最早关注和研究水库顺层滑坡始于1961年3月湖南柘溪水库的塘岩光滑坡,三峡工程最早立项研究顺层岩质水库岸坡(滑坡)是1982年7月云阳鸡扒子滑坡发生之后(国家“七五”公关项目),而2003年7月的千将坪滑坡是三峡库区第一个滑动失稳的特大顺层岩质水库滑坡。上述著名的水库顺层滑坡都造成了巨大的生命和财产损失,激发了工程界和学术界的巨大研究兴趣和使命感。

千将坪滑坡发生后,国土资源部三峡库区地质灾害防治工作指挥部委托三峡大学进行研究,研究滑坡的发生机理及其预测预报模型、条件和判据。三峡大学拥有“三峡大学教育部三峡库区地质灾害重点实验室”和“湖北省长江三峡滑坡国家野外科学观测研究站”两个国家和部级研究机构,拥有一批从事水库滑坡研究的科研团队,具备从事滑坡灾害机理、预测预报及防治研究专门的试验场所、试验设备和相关分析计算软件,具有多年从事滑坡机理研究、滑坡治理及预测预报研究的经历,取得了一定的较有影响的研究成果。

2012年,本课题组肖诗荣博士获批国家自然科学基金面上项目“靠椅状顺层岩质水库滑坡机理及空间预测模型研究”(基金号41202317),对三峡库区的其他典型顺层岩质滑坡进行研究,如奉节藕塘滑坡、云阳凉水井滑坡等,进一步研究顺层岩质滑坡滑动机理和空间预测模型。

本书就是以三峡库区千将坪滑坡及其他滑坡为典型代表的特大顺层岩质水库滑坡的研究总结。通过工程地质研究、物理和数值模拟研究,对顺层岩质滑坡的地质模型、滑动机理及预测预报模型和条件进行了较深入的研究,提出了一些新观点、新方法和新结论。

国土资源部三峡库区地质灾害防治工作指挥部为本课题研究提供了强有力的工作和技术支撑,没有他们的支持和指导,完成本课题研究是不可想象的,在此致以崇高的敬意和衷心的感谢。

长江水利委员会三峡勘测研究院为本课题研究提供了现场工作支持和部分技术资料，衷心感谢三峡勘测研究院对三峡大学及课题组的支持。

原三峡大学土木水电学院院长、现上海交通大学教授罗先启是千将坪滑坡研究课题的主要负责人之一，从课题的立项、现场和实验室研究到课题结题验收各个环节无不凝聚着他的心血，本书的出版得到了罗教授的大力支持，在此深表谢意。

中科院武汉岩土所郑宏教授、武汉大学姜清辉教授为本项目的完成提供了部分技术方法支持及滑坡运动学模拟计算，中国地质大学（北京）文宝萍教授对千将坪滑坡滑带进行了深入系统的研究，课题的完成凝聚着他们的心血，在此深表谢意。

北京科技大学姜福兴教授、长江科学院姜小兰教授指导和参与了千将坪滑坡物理模型试验，对他们的忠于事业、探索求真和精诚合作精神致以崇高的敬意。

课题组程圣国教授、王世梅教授、谭健民高级工程师、胡志宇讲师在千将坪滑坡现场进行了艰苦的勘查试验工作，张振华博士、王志俭博士、曹玲博士、冯强博士为千将坪滑坡研究做了大量的数值计算分析工作，并参与了相关章节的编写，在此表示感谢。

在课题研究和本书的撰写、编辑出版过程中还得到了很多同事和朋友们的支持和帮助，在此一并表示感谢。

研究生卢树盛、管宏飞、宋桂林、明成涛、陈德乾、胡志强、沈健、于文静、王祥宇参与了课题研究工作及本书的编写工作，在此表示感谢。

作者

2015年6月20日



目录

MULU

序言

第1章 绪论	1
1.1 项目立项背景	1
1.1.1 千将坪滑坡概况	1
1.1.2 三峡库区特大顺层岩质滑坡发育及分布概况	2
1.2 立项意义	2
1.3 研究历史与现状	5
1.3.1 水库型滑坡	5
1.3.2 特大顺层岩质水库滑坡研究现状	9
1.3.3 滑坡预测预报	11
1.4 研究方法与技术路线	14
1.5 研究内容及课题设置	15
1.5.1 项目主要研究内容	15
1.5.2 项目课题设置	15
第2章 千将坪滑坡地质力学模型	17
2.1 滑坡运动过程及特征	17
2.1.1 滑坡变形破坏过程	17
2.1.2 滑坡规模	19
2.1.3 滑动方向	19
2.1.4 滑距	19
2.1.5 滑速	19
2.1.6 滑坡涌浪	20
2.2 区域地理地质背景	22
2.2.1 自然地理	22
2.2.2 区域构造与地震背景	22
2.3 滑坡区基本地质条件	24
2.3.1 地形地貌	24
2.3.2 地层岩性	26
2.3.3 地质构造	27

2.3.4 水文地质	34
2.3.5 岩体风化	34
2.4 滑坡边界条件及物质组成	35
2.4.1 滑坡边界及其形成的岩体结构面特征	35
2.4.2 滑坡物质组成	38
2.5 滑坡变形特征及滑坡结构分区	40
2.5.1 滑坡变形形迹	40
2.5.2 滑坡结构分区	41
2.6 滑带及牵引区软弱带形成年代	42
2.6.1 测试方法与试样	43
2.6.2 测试结果	44
2.6.3 基于测年结果的滑带、牵引区软弱带成因及滑坡性质	45
2.7 滑坡岩土物理力学性质及其变化规律	46
2.7.1 概述	46
2.7.2 滑坡岩石常规物理力学试验	46
2.7.3 顺层滑带化学及矿物成分分析	46
2.7.4 顺层滑带土及其原型(层间剪切带)物理力学试验	48
2.7.5 前缘切层滑带物理力学实验	54
2.7.6 滑带抗剪强度参数反分析	54
2.7.7 千将坪滑坡物理力学参数建议值	55
2.8 滑坡形成机制及滑动机理工程地质分析	57
2.8.1 滑坡致滑因素及其影响机理分析	57
2.8.2 滑坡形成机制	59
2.8.3 滑坡高速失稳机理	60
2.9 小结	64
第3章 千将坪滑坡滑带物理力学试验研究	65
3.1 千将坪滑坡层间剪切错动泥化带非饱和三轴固结不排水试验	65
3.1.1 试样制备	65
3.1.2 试验仪器设备	65
3.1.3 试验方案及结果	65
3.2 千将坪滑坡层间剪切错动泥化带干湿循环试验(DWC)	66
3.2.1 试验方案	66
3.2.2 试验结果及分析	67
3.3 千将坪滑坡层间剪切错动泥化带恒荷载试验(DL试验)	69
3.3.1 试样制备、试验仪器设备、试验方案	69
3.3.2 试验成果与分析	70
3.4 千将坪滑坡层间剪切错动泥化带蠕变试验(CREEP试验)	73

3.4.1 蠕变试验仪器	73
3.4.2 蠕变试验步骤	74
3.4.3 蠕变试验内容	74
3.4.4 蠕变试验结果及分析	75
3.4.5 蠕变模型拟合	78
3.4.6 小结	80
3.5 千将坪滑坡区与影响区层间剪切错动泥化带现场直剪试验	80
3.5.1 概述	80
3.5.2 试验部位	82
3.5.3 原位大剪试验	83
3.5.4 千将坪滑坡原位大剪试验结果分析	87
3.6 小结	88
第4章 千将坪滑坡滑带土软化模型试验研究	89
4.1 滑带软化试验方案的论证与设计	89
4.1.1 试验目的	89
4.1.2 参考标准	89
4.1.3 试验中的问题探讨	89
4.1.4 试验方案	95
4.2 试验结果与软化模型建立	98
4.2.1 滑带土天然物理性质参数	98
4.2.2 浸泡条件下滑带土软化试验结果	99
4.2.3 滑带软化模型建立	112
4.2.4 浸泡条件下滑带土软化规律	113
4.2.5 浸泡条件下滑带土黏土矿物分析结果	114
4.3 滑带土软化机理	116
4.3.1 磨圆作用——水物理化学作用对土颗粒的改造	116
4.3.2 介离作用——黏土颗粒表面的离子交换与吸附	120
4.3.3 润滑作用——黏土矿物晶体结构层间的离子交换与吸附	121
4.3.4 浸泡条件下滑带土黏土矿物的转化对抗剪强度的影响	125
4.3.5 滑带软化对千将坪滑坡的影响	127
4.4 小结	127
第5章 降雨及库水耦合作用下千将坪滑坡饱和—非饱和、非稳定渗流场研究	130
5.1 引言	130
5.2 饱和—非饱和渗流基本理论和分析方法研究	131
5.2.1 达西定律	131
5.2.2 土—水特征曲线	131
5.2.3 渗透性函数	132

5.2.4	控制方程	132
5.2.5	若干技术问题	133
5.3	千将坪滑坡岩土渗透试验研究	135
5.3.1	千将坪滑坡水文地质条件及材料分区	135
5.3.2	千将坪滑坡岩土体渗透特性	136
5.3.3	千将坪滑坡岩土渗透特性成果	139
5.4	千将坪滑坡渗流场数值计算成果	142
5.4.1	计算网格及定解条件	142
5.4.2	水库蓄水对渗流场的影响	144
5.4.3	降雨对千将坪滑坡渗流场的影响	144
5.4.4	水库蓄水与降雨耦合条件下的千将坪滑坡渗流场特性	148
5.5	小结	150
第 6 章	千将坪滑坡变形失稳机制数值模拟	152
6.1	概述	152
6.1.1	研究目的	152
6.1.2	研究内容	152
6.1.3	技术路线	153
6.2	千将坪滑坡有限元分析	153
6.2.1	千将坪滑坡二维有限元分析研究	154
6.2.2	千将坪滑坡三维有限元分析研究	162
6.3	千将坪滑坡三维极限平衡分析	176
6.3.1	三维极限平衡分析原理	176
6.3.2	千将坪滑坡三维极限平衡分析模型、计算参数及条件	178
6.3.3	计算结果与分析	179
6.4	千将坪滑坡动力学过程仿真研究	180
6.4.1	非连续变形分析方法	180
6.4.2	非连续变形分析计算程序简介	182
6.4.3	计算模型和计算参数	183
6.4.4	计算结果及分析	184
6.5	千将坪滑坡变形失稳机制分析	187
6.5.1	千将坪滑坡变形破坏机制分析	187
6.5.2	千将坪滑坡运动机制分析	188
6.6	小结	188
第 7 章	千将坪滑坡物理模型模拟研究	191
7.1	引言	191
7.2	滑坡模型试验理论	191
7.2.1	相似理论	191

7.2.2	相似定理	193
7.2.3	相似准则的导出方法	200
7.3	试验目的与模型设计	201
7.3.1	试验目的	201
7.3.2	模型设计	201
7.4	荷载及加载方式与荷载施加步骤	204
7.4.1	荷载及加载方式	204
7.4.2	荷载施加步骤	204
7.5	模型量测	205
7.5.1	百分表位移量测	205
7.5.2	摄影量测	205
7.5.3	微震量测	206
7.6	试验结果及分析	211
7.6.1	百分表位移量测结果	211
7.6.2	摄影量测结果	214
7.6.3	微震监测结果	217
7.7	小结	227
第8章	千将坪滑坡与世界同类典型滑坡比较研究	228
8.1	引言	228
8.2	千将坪滑坡与其同类典型滑坡的比较研究	228
8.2.1	意大利瓦依昂滑坡	228
8.2.2	湖南柘溪水库塘岩光滑坡	230
8.2.3	三峡库区鸡扒子滑坡	232
8.2.4	三峡库区千将坪滑坡与其同类典型滑坡比较研究	235
8.3	特大顺层岩质水库滑坡易滑地质结构模型	238
8.4	特大顺层岩质水库滑坡短期及临滑变形特征研究	239
8.5	小结	240
第9章	特大顺层岩质水库滑坡空间预测模型研究	241
9.1	顺层岩质滑坡样本统计及影响因素分析	241
9.1.1	顺层岩质滑坡样本统计	241
9.1.2	顺层岩质滑坡影响因素分析	245
9.2	滑坡空间预测模型评价理论及方法	248
9.2.1	方法介绍	248
9.2.2	方法选择	250
9.2.3	Logistic 回归模型	251
9.2.4	基于改进的非线性主成分分析的回归分析法	254
9.3	顺层岩质滑坡空间预测模型的建立	256

9.3.1	顺层岩质滑坡影响因子的选择	256
9.3.2	Logistic 回归模型的建立	257
9.3.3	非线性主成分回归分析模型的建立	258
9.4	顺层岩质滑坡空间预测模型应用与评价	261
9.4.1	模型应用	262
9.4.2	模型评价	269
9.5	小结	270
第 10 章	三峡库区藕塘滑坡库水响应特征及稳定性预测评价	271
10.1	藕塘滑坡工程地质概况及滑坡基本特征	271
10.1.1	自然地理	271
10.1.2	地貌特征	271
10.1.3	滑坡构造背景及物质组成	272
10.1.4	滑带土特征	275
10.1.5	滑床的基本特征	275
10.1.6	滑坡水文地质	275
10.2	藕塘滑坡变形分析	276
10.2.1	滑坡变形概况	276
10.2.2	滑坡变形分析	277
10.3	藕塘滑坡变形机理	280
10.3.1	滑坡影响因素	280
10.3.2	滑坡形成机制及变形机理	281
10.4	藕塘滑坡稳定性预测评价	283
10.4.1	ABAQUS 软件介绍	284
10.4.2	模型的建立	284
10.4.3	参数的选取	286
10.4.4	预测工况	286
10.4.5	东部较严重变形区稳定性预测评价	287
10.4.6	西部较严重变形区稳定性预测评价	290
10.4.7	滑坡中部滑体稳定性预测评价	292
10.4.8	滑坡稳定性综合预测评价	295
第 11 章	三峡库区凉水井滑坡库水响应特征及预测评价	296
11.1	引言	296
11.2	滑坡区地质概况	296
11.3	滑坡地质模型	297
11.3.1	地质模型一	297
11.3.2	对地质模型一的质疑	299
11.3.3	地质模型二	299

11.3.4 滑坡形成机制	300
11.4 滑坡变形特征及变形机理	301
11.4.1 滑坡变形监测概述	301
11.4.2 滑坡变形特征	301
11.4.3 滑坡影响因素及变形机理分析	304
11.4.4 滑坡变形数值模拟	305
11.5 滑坡稳定性预测评价	317
11.5.1 滑坡稳定性数值预测评价	317
11.5.2 滑坡稳定性综合预测评价	326
11.6 小结	327
第 12 章 研究结论与展望	329
12.1 主要研究结论	329
12.2 展望	331
参考文献	332

第 1 章 绪 论

1.1 项目立项背景

1.1.1 千将坪滑坡概况

2003 年 7 月 13 日零时 20 分，湖北省秭归县沙镇溪镇千将坪村二组和四组山体突然下滑，造成房屋倒塌、厂房摧毁、交通中断、青干河堵塞，经济损失惨重。沙镇溪镇金属硅厂、页岩砖厂、装卸运输公司、建筑公司四家企业毁于一旦。据当地政府统计，千将坪村二组、四组村民 129 户房屋被毁，连同被毁企业的职工共 1200 人无家可归。到 7 月 20 日上午已有 14 人死亡，10 人失踪。滑坡失稳后，巨大的涌浪和爬坡浪对沙镇溪镇镇址下游造成较大的冲击，使青干河水质浑浊，数条停泊在码头的渔船被毁，山林植被局部破坏，土地使用价值降低。

千将坪滑坡位于长江南岸支流青干河左岸（见图 1.1）、秭归县沙镇溪镇千将坪村向东南倾斜的斜坡上，斜坡坡度自上而下为 $30^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ，接近河边地带又变陡。滑坡发育在侏罗系中一下统聂家山组碎屑岩中，岩性为中一厚层粉砂岩夹粉沙质泥岩、页岩，岩层倾向与斜坡坡向基本一致，上陡下缓，倾角 $30^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ，构成顺向坡。

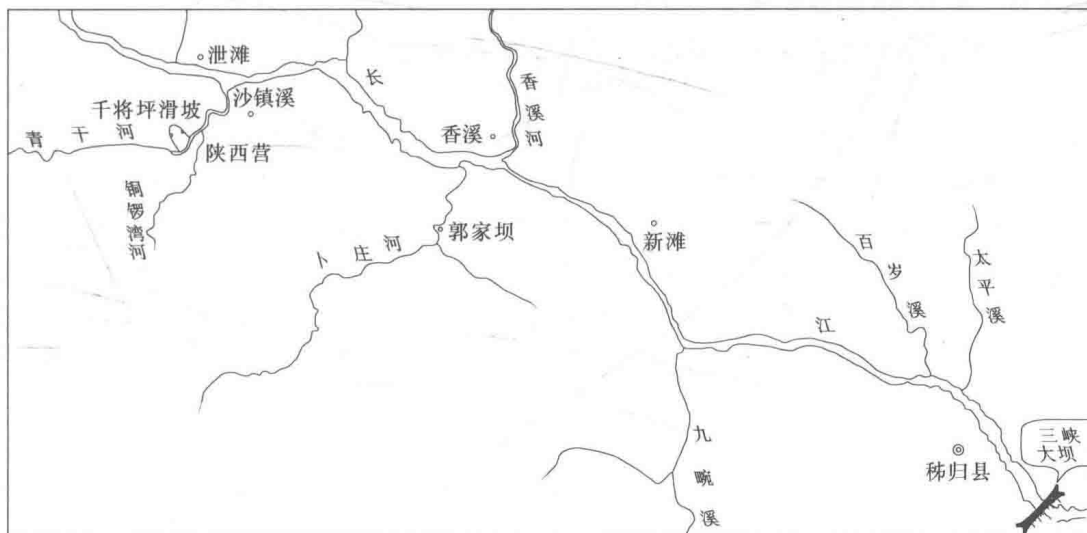


图 1.1 秭归县沙镇溪镇千将坪滑坡地理位置

滑坡整体滑动后，后缘形成明显的层面滑壁，左右两侧形成高陡的剪切滑壁（见图 1.2）。



图 1.2 秭归县沙镇溪镇千将坪滑坡远眺图

滑坡规模：宽度一般 410~480m，最宽 521m，最大长度为 1205m，滑坡平面面积 0.52km²；滑坡厚度中后部 20~30m，中前部 40~50m，最大厚度 59m，滑坡体积为 1542 万 m³。

滑坡边界：以中后部顺层层间剪切错动带及前缘近水平裂隙型断层带（含岩桥）联合构成底滑面，以走向 SE 的陡倾角裂隙型断层形成侧向切割边界，以青干河岸坡为临空面构成千将坪滑坡的边界。

滑坡物质组成：滑坡主要由块裂岩体组成，在滑坡表部局部见有松散堆积块体及原地表崩坡积物。

滑坡发生在强降雨（6 月 21 日至 7 月 11 日，沙镇溪地区总降雨量为 162.7mm）及三峡水库第一期 135m 高程蓄水 1 个月后。

1.1.2 三峡库区特大顺层岩质滑坡发育及分布概况

三峡水库库区干流长 690km，干支流库岸总长约 3000km，顺向坡段干支流长 665km，占库岸总长的 22.2%，占干流岸坡总长 25%。经调查，三峡库区方量大于 100 万方的特大顺层岩质滑坡总数约 70 个。图 1.3 为三峡库区顺层岩质滑坡分布图，图中可知该类滑坡主要集中分布在秭归卡子湾至巴东西壤坡、巫山唤香坪至奉节花莲树、奉节百换坪至云阳狮子碑一带等干流河段；而在万州、忠县及重庆主城区巴南区也有分布，但分布较少。支流库区滑坡主要集中分布在香溪河、青干河、大溪河及梅溪河，特别是大溪河和梅溪河段顺层岩质滑坡尤为发育。

1.2 立项意义

（1）千将坪滑坡在三峡库区的研究意义。

千将坪滑坡是三峡水库初期蓄水发生的第一个特大水库型顺层岩质滑坡，事前历次库岸勘查与研究均未发现该处为滑坡或潜在不稳定岸坡，该滑坡具有隐蔽性、突发性、规模大、损失惨重的特点。

千将坪滑坡的地形地貌、物质组成及结构构造在三峡库区具有典型代表性。千将坪滑

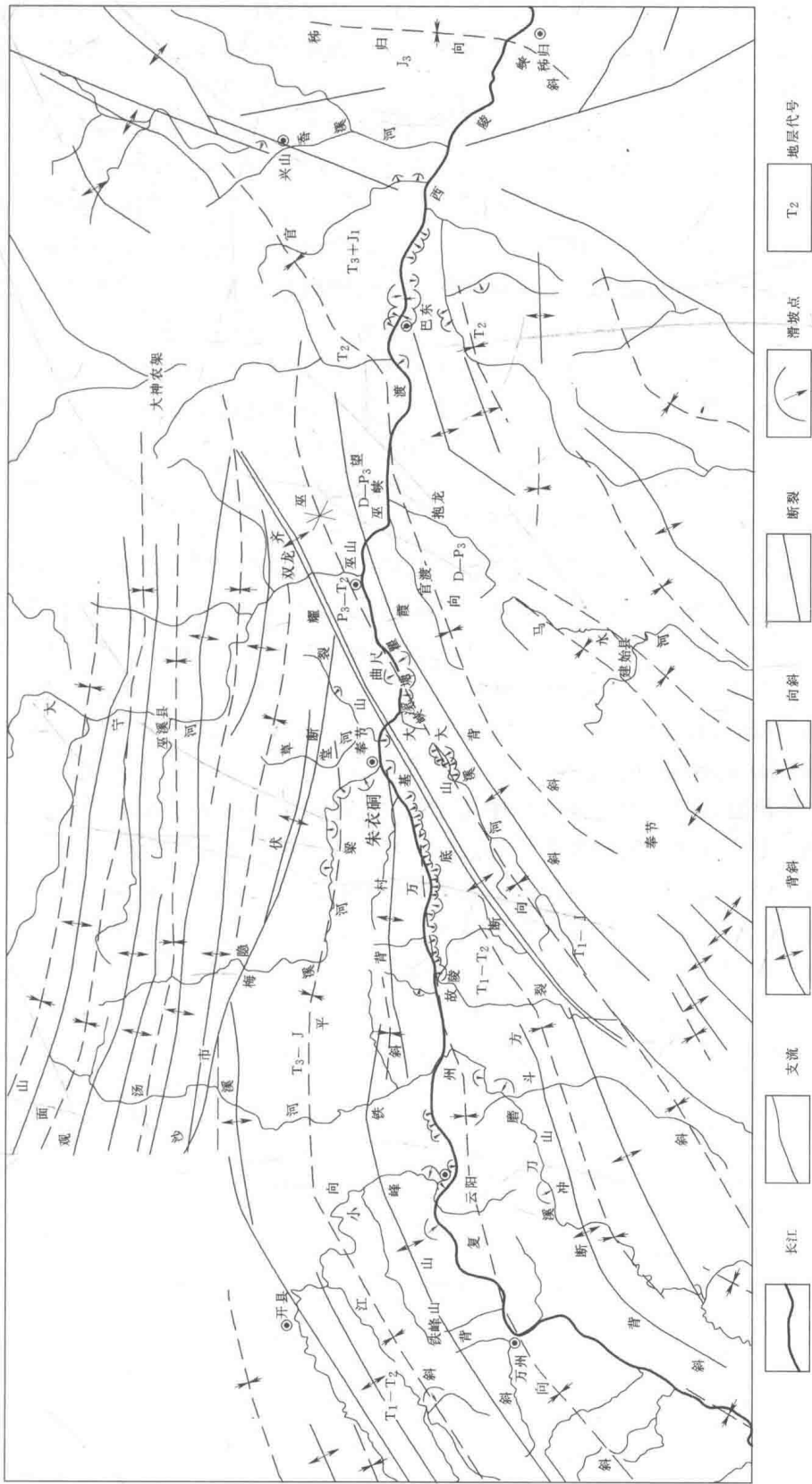


图 1.3 三峡库区顺层岩质滑坡分布图

坡发生时,恰逢雨季及三峡水库第一期蓄水,因此,降雨和库水作用可能是该滑坡的主要诱因,其诱发因素在三峡库区具有普遍存在性。三峡水库还要完成至正常高水位 175m 的蓄水,水库水位还要继续升高 40m;此外,水库建成后还要不断经历 145~175m 的升降调度。在未来的水库蓄水和运行过程中,还会出现多少个“千将坪滑坡”,这都是受到普遍关注的问题。因此,深入研究千将坪滑坡,研究千将坪滑坡的形成与破坏机制,研究“千将坪类”典型滑坡——特大顺层岩质水库滑坡的预报判据,对于预测、预防三峡库区水库型滑坡具有十分重要意义,对于自 1963 年意大利瓦依昂滑坡发生以来受到高度重视的世界水电建设地质环境问题的深入研究和保护人类生命财产具有十分重大意义。

(2) 千将坪滑坡研究对世界水电建设的重要意义。

1961 年 3 月 6 日,湖南省资水拓溪水库蓄水初期,近坝库区右岸发生体积 165 m^3 的高速滑坡,最大滑速达 25 m/s ,滑坡体高速滑落水库,激起巨大涌浪。涌浪漫过坝顶,造成重大损失,死亡 40 余人。这是我国第一例由于水库蓄水触发产生的大型滑坡。水库位于基岩峡谷区,滑坡区位于大坝上游右岸 1550m 处的塘岩光,塘岩光上、下游 3km 的河段库岸为上陡下缓、前缘临空的顺向坡。

瓦依昂水库滑坡事件是滑坡研究史上的重要里程碑。该滑坡为上陡下缓、前缘近水平的顺向坡。在 1960 年初次蓄水至 645m 高程时滑坡前缘首先出现一个小崩塌,同时在上部平台上发生裂缝。于是降低水位,对滑坡的稳定性进行各种调查。1963 年第二次蓄水时,从正常水位下降之后, 2.4 亿 m^3 的滑体以 $15 \sim 30 \text{ m/s}$ 速度突然滑入水库,淤积体高出库水面 150m,涌浪高达 260m,下泄洪水流速高达 280 km/h 。溢出的水流袭击了与 Piave 河汇合处的 Longarone 镇,造成 3000 余人死亡的灾难性后果。

瓦依昂水库滑坡这一巨大的惨痛事件发生之后,世界上一些先进国家(地区)已从历史的沉痛教训中醒悟过来,将地质灾害防治与工程地质环境保护列为政府最关注的问题之一。意大利立即成立了全国性的滑坡防治委员会,并在罗马大学、都灵大学和意大利结构模型试验研究所分别建立了研究中心和试验室;瑞士洛桑科技大学由政府 and 电力部门资助成立了研究阿尔卑斯山区崩塌、滑坡灾害的试验中心;日本自 1963 年开始成立了日本滑坡学会;至今已有 4 个分会,拥有会员 2000 余人,并在新泻大学建立了积雪地区地质灾害研究中心,京都大学建立了防灾研究所,日本科技厅设立了防灾研究中心等;香港地区的地质工作者的中心任务被明确为防治地质灾害和保护地质环境;美国地质调查所将地质灾害调查研究列在基本任务之首;1988 年联合国倡导开展的“减轻自然灾害 10 年”活动中,地质灾害防治和保护地质环境占有重要地位;1989 年国家计委根据我国国民经济和社会发展规划,并着眼于本世纪末和 21 世纪初经济发展的需要,已将环境保护和控制重大自然灾害列为国家 9 大重点研究领域之一。

尽管国际社会重视滑坡灾害的研究与治理,水电建设也加强了水库滑坡的调查研究,甚至还有一些水库顺向岸坡的专门研究,但对类似瓦依昂水库滑坡和塘岩光水库滑坡机理的研究仍不够深入系统,没有建立这类隐蔽性、突发性、大规模、惨重损失的滑坡相应的预测预报模型及监测模型,对水库滑坡灾害预防与治理的指导不够,以致后来一直都有类似水库滑坡的发生,并且损失巨大,见于文献报道、影响较大的就是 2003 年三峡水库蓄水初期发生的千将坪滑坡了。

因此,深入研究千将坪滑坡机理、建立特大顺层岩质水库滑坡的预测预报模型对于世界水电建设的顺利进行、保护自然环境和人类生命财产具有十分重大的意义。

1.3 研究历史与现状

1.3.1 水库型滑坡

(1) 研究简史。

自1961年湖南柘溪塘岩光滑坡发生以来,特别是1963年意大利瓦依昂水库发生特大水库滑坡灾难以来,全世界开始关注和重视水库型滑坡,加强了水库型滑坡的调查、机理研究、预测预报研究。瓦依昂滑坡发生以来,欧洲和美洲的许多高校和研究机构一直没有停顿地研究该滑坡的地质结构、诱发机理、形成历史等。国内许多学者也致力于水库蓄水对滑坡的影响研究。长江三峡工程自1956年开始勘探的初期,就注意到了库岸稳定性问题的重要性,从长江三峡工程水库岸坡稳定研究历史可以见证大型特大型水库工程对水库型滑坡的重视。

三峡工程水库岸坡稳定研究大致可分为六个阶段。

1) 第一阶段从1957—1965年,早期的研究主要在地矿部系统进行,偏重于库区的工程地质测绘和对已发现的个别滑坡进行调查,虽不够深入和全面,但已注意到建库前后库区岸坡可能存在的一些问题。随后长江委、中科院、交通部等单位也参与了库区工作。例如王士天1958年对碚石至重庆的塌岸工程地质进行过调查;胡海涛、刘广润最早(1959年)论述了三峡水库工程地质条件,并把库岸再造作为重要的工程地质问题之一提了出来;地质部三峡大队在1959年和北京地质学院的师生联合组队,对水库干流和主要支流进行过库岸稳定性调查,编写了1:10万三峡水库工程地质测绘报告。在此之后至1975年还进行过几次类似的调查。

2) 第二阶段是从1965—1980年,在初期的调查之后,就开始了近坝地段的个别重点滑坡崩塌的调研工作:1965年地质部三峡工作处对链子崖进行了1:2000的工程地质测绘;1968年开展了长期监测和勘探试验工作,与此同时,水电部长办也开始了对新滩滑坡1:2000的工程地质测绘,随后也逐渐进行了一些勘探、试验研究与观测(1977年)工作。这一阶段主要的研究重点集中在新滩与链子崖两处,做了较深入的工作,为新滩滑坡的复活滑动准确预报打下了良好的基础。除此以外,库区其余地段的研究工作也开展起来,发现了数十处滑坡与崩塌。但对多数的滑坡与崩塌的认识还不深入,主要是调查了解地质背景、滑坡地形地貌、结构与性状等,对滑坡的形成机制和稳定性评价,还没有做深入的工作。

3) 第三阶段是1980—1986年,随着改革开放政策的实施,国家建设对能源的需求增长,三峡工程逐渐提到议事日程上来,对三峡库区的研究也活跃起来。同时更由于这一时期在这个区域发生了一系列重大的崩塌、滑坡事件,加深了人们对库区环境地质问题及其重要性的认识。例如1980年盐池河崩塌造成了严重的生命和财产损失。1982年7月川东地区暴雨,造成鸡扒子等大型滑坡复活,严重妨碍长江航运。1985年6月新滩滑坡重新大滑动摧毁了新滩镇,对航运造成威胁,以及黄蜡石滑坡开始出现活动等。这一系列事件