

中国长江三峡集团公司科技图书出版基金资助

# 三峡水库库岸斜坡 变形时变特征

童广勤 胡兴娥 / 主编

中国三峡出版传媒  
中国三峡出版社



# 三峡水库库岸斜坡变形时变特征

童广勤 胡兴娥 等编著

(节选版)

中国三峡出版传媒  
中国三峡出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

三峡水库库岸斜坡变形时变特征 / 童广勤 胡兴娥编著. —北京: 中国三峡出版社, 2016. 7

ISBN 978 - 7 - 80223 - 928 - 9

I. ①泄… II. ①樊… III. ①三峡水库库岸斜坡变形时变特征 IV. ①TV74  
②TV651.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 140125 号

责任编辑: 王 杨

中国三峡出版社出版发行

(北京市西城区西廊下胡同 51 号 100034)

电话: (010) 66116828 66116228

<http://www.zgsxcbs.cn>

E-mail: sanxiaz@sina.com

北京市十月印刷有限公司印刷 新华书店经销

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25.75

字数: 192 千字

ISBN 978 - 7 - 80223 - 928 - 9 定价: 128.00 元

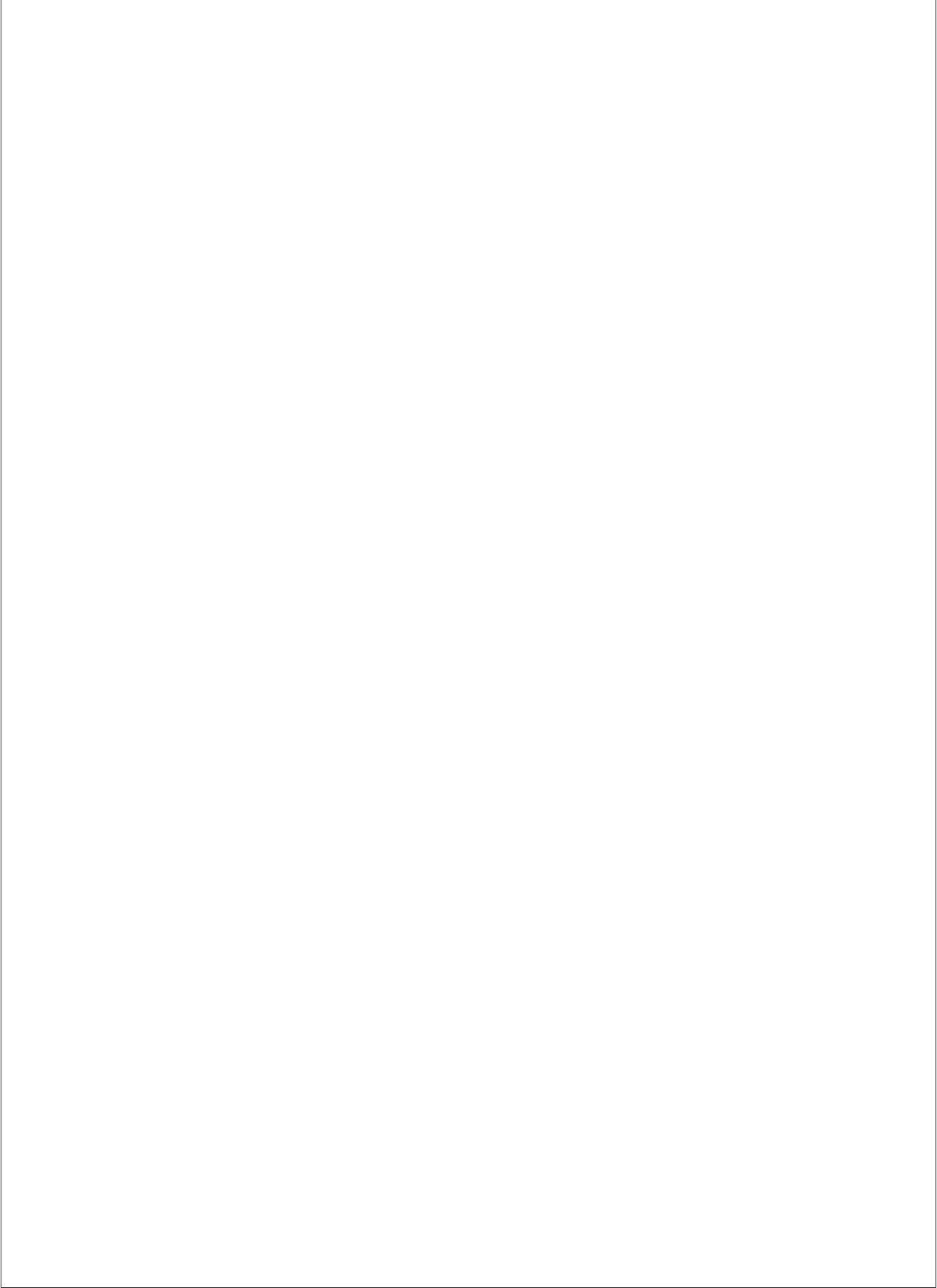
# 《三峡水库库岸斜坡变形时变特征》

## 编 委 会

主 编：童广勤 胡兴娥

参 编：刘 星 向 欣 童 航 马增翼

冉瑞飞 汪文元



# 前 言

根据国内外资料统计分析，无论是岩质库岸还是土质库岸，均会因水库蓄水导致其稳定性不同程度的恶化乃至失稳。如法国的马尔帕塞（Malpasset）薄拱坝、意大利的瓦依昂（Vajont）水库、美国大古力水库、北美洲 206 座土石坝工程等；国内如凤滩、柘溪、东江、白渔潭等大型水库，均在水库蓄水后出现较多的岸坡变形破坏事件。上述因蓄水后引起岸坡变形或失稳的问题引起了世界各国水利工作者的高度重视，甚至成为确定工程建设规模或决定工程能否建设的重要因素。

三峡水库自 2003 年 6 月蓄水以来，至 2014 年 12 月已成功蓄水到 175m 并正常运行 2 年，三峡库首河段水位较蓄水前提升 110m 左右，水位年变幅达 30m。据调查表明，三峡库岸斜坡体内地下水位的大幅度升高，导致其地下水渗流场发生了相当大的变化；同时，斜坡岩土体的物理力学性能因“水-岩”作用而降低。上述原因引起了库岸斜坡稳定状态的调整，除塌岸外，一些大中型滑坡也出现了较明显的变形迹象，如干流上的野猫面、砚包、老蛇窝、树坪、白水河、范家坪、大坪、黄腊石等，支流上的八字门、卡子湾、三门洞等均有明显变形。

水库斜坡库岸变形演化是个复杂而漫长的过程，尽管国内外就三峡水库库岸稳定问题开展了大量研究工作，但定量化评价水库蓄水影响库岸的范围、方式、程度、时限以及其时变的趋势，尤其是蓄水后水库岸坡变形的活动程度与蓄水前相比，其活跃性程度如何？强多少？目前还没有统一的评价指标和分级评价体系，使地质灾害活跃程度评价缺乏工作的程序及依据。

鉴于上述库岸斜坡变形的事实，并得益于本书作者们工作关系的缘

故，本书作者们历经 30 年，对三峡水库坝址-牛口河段库岸斜坡工程地质条件进行了深入研究，对水库自 1980 年以来至 2014 年 12 月库岸斜坡变形进行了翔实调查，基于数理统计与工程地质分析原理，分析了斜坡变形随水库蓄水、降雨的时空分布的关系与演化过程，根据其变形的外观表征与水库、降雨耦合的时空联系，将其影响因素分为外动力因素、内在因素及其他因素，并模拟了斜坡变形随外界因素变化的响应时变过程。在上述研究工作的基础上，对水库区域性地质灾害活动程度评价的指标如点密度、地形改变率、面积比进行了对比研究，提出了活跃性强度指数概念，并建立了基于活跃性强度指数的水库地质灾害活动程度评价体系，对三峡水库蓄水至今的水库库岸斜坡的地质灾害活动进行了评价并划分为 5 个阶段；最后，对典型滑坡变形过程进行剖析，具体分析水库斜坡变形时变过程，并根据时变曲线特征将水库斜坡变形分类。

提请读者注意的是，书中许多研究内容只是一个初步探索或研究的边界条件，比较粗糙，例如因三峡库水地质灾害防治工作的实施，部分因水库蓄水而可能变形的斜坡得以提高了稳定系数而未变形，因此变形斜坡受到人类工程活动的干扰，导致其调查与统计存在一定误差。因此，下阶段有必要对已经实施治理工程的斜坡逐个分析在蓄水条件下变形的可能性等，按工程实施的时间及当时的蓄水阶段纳入相应阶段的数据库，力求还原水库斜坡变形在非人类干扰条件下的时变过程。

本书对水库地质灾害活跃性评价体系研究时，其以三峡库区已经发生的地质灾害活跃程度为背景进行阶段划分与标准体系的建立，此阶段与评价体系的建立是符合三峡水库的；但其地质灾害活跃性的上下峰值是否为水库库岸斜坡变形的标准极值，还有待与其他水库库岸斜坡变形的数据进行对比，进一步完善此体系并推广到水库库岸斜坡变形的一般性规律。

总之，本书的出版，作者们只希望为水库斜坡变形的研究起到一个“抛砖引玉”的作用，其后续需要更多专家、学者和工程师深入探究，并结合具体工程实践，进一步完善。

本书研究得到三峡集团枢纽建设运行管理局、中国地质大学（武

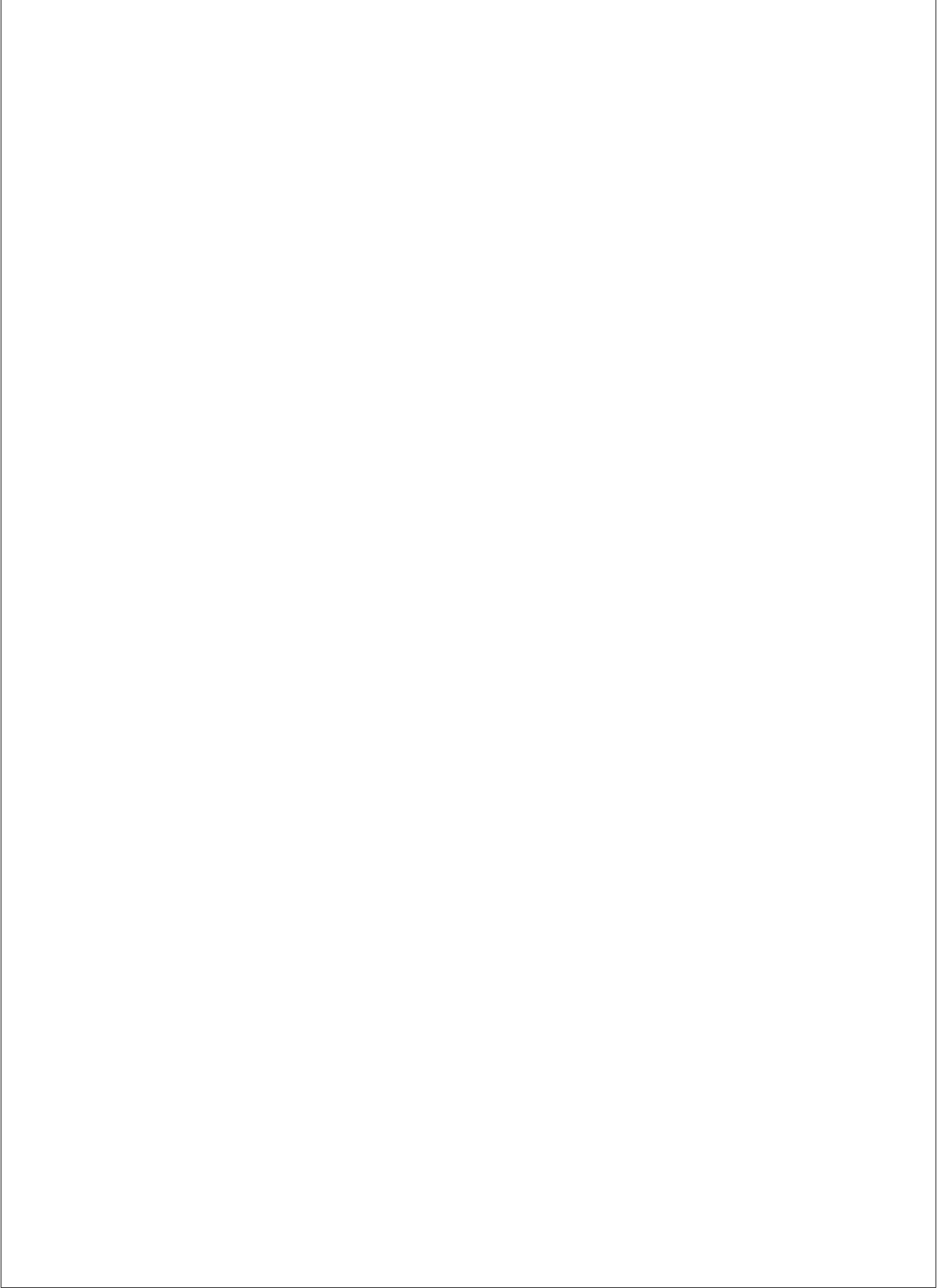


汉)、哈尔滨工业大学、三峡大学、长江设计院及湖北秭归地灾防治中心的多位教授和领导的支持与关心，三峡集团对本书的出版给予资助，在此一并表示感谢。

限于作者水平，书中难免存在疏误之处，敬请广大读者批评指正。

著者

2017年3月8日



# 目 录

1 绪 论 .....	1
1. 1 问题的提出 .....	1
1. 2 水库库岸斜坡变形机理 .....	4
1. 3 地质灾害风险评价 .....	7
1. 4 斜坡变形时变演化 .....	9
1. 5 三峡库区库岸研究 .....	11
2 库岸斜坡类型及发育特征 .....	14
2. 1 研究区范围 .....	14
2. 2 气象水文 .....	14
2. 3 区域地质背景 .....	15
2. 3. 1 地形地貌 .....	15
2. 3. 2 地层岩性 .....	16
2. 3. 3 地质构造 .....	16
2. 3. 4 水文地质 .....	20
2. 4 库岸斜坡类型 .....	21
2. 5 斜坡变形方式与发育特征 .....	25
2. 5. 1 斜坡变形方式 .....	25
2. 5. 2 发育特征 .....	26

<b>3 水库岸坡变形规律分析</b> .....	38
3.1 水库蓄水过程 30 .....	38
3.2 蓄水前水库岸坡变形本底研究 .....	39
3.3 139m 蓄水对库岸变形的影响 .....	42
3.3.1 岸坡变形的地质表征 .....	42
3.3.2 岸坡变形特征分析 .....	44
3.4 156m 蓄水对库岸变形的影响 .....	47
3.4.1 岸坡变形的地质表征 .....	47
3.4.2 库岸岸坡变形特征分析 .....	50
3.5 175m 试验性蓄水对库岸变形的影响 .....	53
3.5.1 岸坡变形的地质表征 .....	54
3.5.2 岸坡变形特征分析 .....	58
3.6 岸坡变形时空分布特征 .....	64
3.6.1 岸坡变形的阶段性规律分析 .....	64
3.6.2 岸坡变形的时间分布特征 .....	67
3.6.3 岸坡变形的空间分布特征 .....	69
3.6.4 蓄水与岸坡变形的关联效应 .....	69
<b>4 岸坡变形影响因素与过程</b> .....	74
4.1 内在因素的影响 .....	74
4.1.1 地形地貌 .....	74
4.1.2 岩石性质及组合特征 .....	75
4.1.3 岩体结构和地质构造 .....	76
4.1.4 岩石风化 .....	77
4.1.5 水作用下岩体物理力学特性 .....	78
4.2 外动力因素的诱发作用 .....	81

4. 2. 1 大气降雨 .....	81
4. 2. 2 水库蓄水 .....	83
4. 2. 3 人类活动 .....	86
4. 3 其它因素 .....	87
4. 4 岸坡变形机制 .....	89
4. 4. 1 塌岸 .....	89
4. 4. 2 滑坡 .....	90
4. 5 斜坡变形过程数值模拟 .....	96
4. 5. 1 FLAC3D 基本原理 .....	97
4. 5. 2 工程地质条件 .....	98
4. 5. 3 斜坡变形数值模拟 .....	98
5 地质灾害活跃性评价研究 .....	102
5. 1 活跃性强度评价指标 .....	102
5. 1. 1 点密度 .....	103
5. 1. 2 面积比 .....	103
5. 1. 3 地形改变率 .....	104
5. 1. 4 活跃性强度指数 .....	104
5. 2 趋势预测方法 .....	104
5. 2. 1 灰色~Markov 链法 .....	104
5. 2. 2 灰色~周期延长法 .....	106
5. 2. 3 频谱分析法 .....	107
5. 3 趋势预测模型 .....	109
5. 4 预测结果分析 .....	114
5. 5 评价等级分类体系 .....	115
5. 5. 1 聚类分析原理 .....	115

5. 5. 2 等级分类体系 .....	117
5. 6 地质灾害活跃性阶段划分与评价 .....	121
<b>6 岸坡变形时变过程分析 .....</b>	<b>125</b>
6. 1 斜坡变形时变过程类型 .....	125
6. 2 卧沙溪滑坡变形时变过程 .....	127
6. 2. 1 滑坡基本特征 .....	127
6. 2. 2 滑坡变形监测 .....	128
6. 2. 3 变形分析 .....	128
6. 2. 4 滑坡变形机理与影响因素分析 .....	131
6. 3 卡子湾滑坡变形时变过程 .....	133
6. 3. 1 滑坡基本特征 .....	133
6. 3. 2 滑坡变形监测 .....	133
6. 3. 3 变形分析 .....	133
6. 3. 4 滑坡变形机理与影响因素分析 .....	136
<b>7 结论 .....</b>	<b>137</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>144</b>

# 1 绪 论

## 1.1 问题的提出

根据国内外资料统计分析,无论是岩质库岸还是土质库岸,均会因水库蓄水导致其稳定性不同程度地恶化乃至变形或失稳。如法国的马尔帕塞(Malpasset)薄拱坝,1959年(蓄水后5年)由于左坝头沿片麻岩中的绢云母页岩发生滑动,导致坝体破裂而失事;意大利的瓦依昂(Vajont)水库,1963年10月9日晚(蓄水后3年),大坝附近2亿多立方米的山体迅速下滑填满水库,造成2600人死亡<sup>[1]</sup>;1942~1953年,美国大古力水库运行5年时间内,引发了约500处岸坡失稳<sup>[2]</sup>;据美国陆军工程师团Middlebrooks T. A.对北美洲206座土石坝工程发生的事故调查,在大坝设计寿命内共计发生400余起事故,事故类型分为洪水漫顶、渗透破坏、滑坡和沿管道渗漏等,其中水库斜坡变形破坏事件约100起,约占事故总数的25%<sup>[3]</sup>;国内如凤滩、柘溪、东江、白渔潭等大型水库,均在蓄水后出现较多的库岸斜坡变形、破坏事件<sup>[4]</sup>。上述因蓄水引起的水库库岸斜坡变形(或失稳)的问题引起了决策者与工程师的极大重视,甚至成为决策工程成立与否及建设规模极为重要的依据之一,水库库岸斜坡稳定及防护与水坝主体工程研究亦处于同等的重要地位。

水库蓄水后,因地质环境变化而导致库岸斜坡岩土体的物理化学性质与水动力等条件变化是诱发(或新生)地质灾害,如滑坡、塌岸、崩落等的重要原因。就河道型水库岸坡而言,水库蓄水前,岸坡岩土体历经长江水流的作用,基本处于一种动态平衡状态,并形成与之相适应的稳定坡形;然而,随着水库的蓄水,

水库蓄水位达到岸坡历史上或相当长时间内不受江水影响的地带，岸坡受库水长期浸泡、风浪冲击、库水位周期性的涨落产生的侵蚀与干湿交替的影响，涉水岸坡岩土体产生劣化效应，黏聚力及抗剪强度降低；另外，水库蓄水必然引起的库岸斜坡体内地下水渗流场及压力的变化。上述情况的产生不可避免地打破了既有涉水库岸动态平衡状态，可能诱发大规模的岸坡变形或破坏，如塌岸、滑坡、崩塌等。

三峡库区山高谷深，地势险峻，暴雨洪水频繁，自古以来就是崩塌、滑坡等地质灾害多发区域。地质灾害发生的强度、频度和密度之大由来已久。据国土资源部 2003 年调查统计资料，三峡库区两岸在海拔 600 米以下范围内，已发生的崩塌、滑坡达 4664 处。仅 1982 年至 2002 年的 20 年间，三峡库区所在江段就发生重大崩塌、滑坡 73 处（年平均 3.6 处），如云阳鸡扒子滑体（1982 年）、秭归新滩滑坡（1985 年）、秭归县马家坝滑坡（1986 年）、巴东县城二道沟东侧滑坡（1995 年）及三道沟西侧滑坡、巴东白岩沟西侧山体滑坡与鲁家湾冲沟泥石流（1998 年）、重庆巴南麻柳咀滑坡（1998 年）、云阳凡水村滑波（1998 年）、巫山锁龙村滑坡（1998 年）、巫山县老城区登龙街滑坡（1999 年）等，不仅造成巨大经济损失，而且给当地人民生活带来严重困难。

三峡工程水库正常蓄水位 175m，高于建坝前坝址水位约 110m 左右，水位年变幅度 30m，其必然导致水库库岸斜坡地下水位的大幅度升高，相应的地下水渗流场也会发生相当大的变化及库岸岩土体物理力学性能的降低，从而引起库岸稳定状态的调整。除塌岸外，一些大中型滑坡也出现了较明显的变形迹象，如干流上的野猫面、砚包、老蛇窝、树坪、白水河、范家坪、大坪、黄腊石等，支流上的八字门、卡子湾、三门洞等均有明显变形。2003 年，三峡库水位抬升至 135m 后不久在三峡库区就发生了自新滩滑坡后最大的滑坡——千将坪大型顺层岩质滑坡。三峡水库蓄水引发库岸斜坡变形或破坏的严重后果，主要体现在三个方面：其一，大量的岩土体物质进入水库，减少有效库容，降低水库有效寿命；其二，若斜坡失稳呈高速进入水库，其形成的涌浪或可危及大坝本身安全、航道及水电站的正常运行（见表 1-1）；其三，库岸失稳危及库区城镇、交通设施的安全运营和库区人民生命财产的安全。与三峡大坝兴建随之而来的是库区新建了大量新城镇，这些新建城镇均位于 182~350m 高程左右，且大部分临近水库，其在一定程度上扰动了原有地质环境的平衡状态。如奉节新县城所在的宝塔坪至三马山沿库岸地带，云阳新县城所在的双江镇，万州市的五桥、周家坝新区、丰都新县城所



在的名山镇，长寿新迁区的黄角湾小区等，均存在不同程度的岸坡稳定问题。库区道路交通一般在 182~190m 高程左右，岸坡的变形破坏危及交通的安全。

表 1-1 三峡库区主要滑坡涌浪统计表

滑坡名称	影响地点	首浪高度 (m)			
		1/8 体积入江		1/11 体积入江	
		135 水位	175 水位	135 水位	175 水位
黄腊石	巴东	38~75	33~65	38~50	33~50
作揖沱	巴东	20~44.8	9.8~38	17	8.4
曹家湾	巫山	49~61	35~50	41	30
向家湾	巫山	40~50	34~41	42	34
茨草沱	奉节	25~44	8.4~38	41	21.6
裂口山	云阳	14	10	15	12
洞子	万州	8.2	4	7.5	6.9
涪陵王爷庙	长寿	7.4	3.6	6.3	3.0

当前，尽管国内外就三峡水库库岸稳定问题开展了大量研究工作，但对水库蓄水影响库岸的范围、方式、程度、时限以及其时变的趋势，尤其是蓄水后水库岸坡变形的活动程度与蓄水前相比，其活跃程度如何，强多少？目前还没有定性的评价指标和分级评价体系，使得水库蓄水库岸斜坡变形导致的地质灾害活跃程度评价缺乏工作的程序及依据<sup>[5]</sup>。

三峡库区库首段淹没水位最深，与大坝距离近，一旦产生大型滑坡或库岸斜坡失稳，将对大坝建设营运产生不可估量的影响，甚至造成工程不能发挥正常效益；尤其是该段还包含了黄腊石滑坡、新滩滑坡与链子崖危岩体、黄土坡滑坡等几个重点、活动性的大型滑坡与危岩体，必须予以高度重视。

本书以三峡库区库首段斜坡为研究对象，具体为三峡水库坝址到秭归牛口河段及两岸第一分水岭区间受三峡库水影响的岸坡，在详细阐述库首段斜坡灾害发育特征、库岸斜坡类型等的基础上，利用工程地质分析原理及统计分析方法，研究水库蓄水后库首段岸坡变形（或破坏）随水库水位运行的发生规律及时变趋势，建立库水作用下河道型水库岸坡变形评价指标及分类体系，对影响时限进行预测研究并合理评价蓄水对水库岸坡的影响。

## 1.2 水库库岸斜坡变形机理

自 1964 年缪勒 (L. Müller) 先生发表了第一篇有关瓦依昂滑坡的文献, 尤其是 1985 年召开的大坝失事国际研讨会, 缪勒<sup>[6]</sup>分析了滑坡的形成机制、滑坡高速的原因及水库滑坡的监测与预报等问题以来, 国内外工程师与技术人员开始高度关注水库蓄水引发的库岸稳定性问题, 并分别从不同的角度进行了多方位研究。

20 世纪中叶, 前苏联 A. M. O. Bynhnkob<sup>[7]</sup>提出了“WRI” (水—岩相互作用) 的概念, 该概念本质亦指岩土体与地下水在共生环境条件下, 两者之间会连续发生“物化”反应, 其状态也会不断调整 and 变化以适应环境。

国内, 随着中国经济的高速发展, 对能源的需求日益增大, 作为清洁能源的首选——水电开发得到高度重视, 水电工程建设与建设规模与速度得到了极大提高, 但随之而来产生了一系列问题, 尤其是库区斜坡稳定性问题备受关注。当前, 对于水库库岸斜坡的时变研究, 主要从以下几个方面进行与开展: 其一, 水库斜坡变形的机制; 其二, 斜坡变形与水库蓄水的关联性, 降雨与斜坡变形的关联研究亦包含其中; 其三, 对于水库蓄水引发的区域性斜坡变形评价, 如风险与灾情的评估。上述研究内容, 其实质是对水库斜坡变形的全过程的研究, 亦按照变形机理、变形影响因素 (主要关心的问题是水) 与变形的时限及演化进程这一思路在进行。

从水库蓄水影响上来讲, 王思敬等<sup>[8]</sup>对水岩作用进行过深入研究, 认为水岩相互作用主要有以下几种: 岩土软化、渗压效应、渗透潜蚀、水力冲刷与岩土失水固结、干裂和崩解等。王士天<sup>[9]</sup>等对水—岩 (土) 相互作用及其环境效应开展了研究, 其研究表明在水库的建设和运行过程中, 由水—岩 (土) 相互作用导致的突变地质作用强度高、时间长; 水—岩 (土) 相互作用效应主要为软化、泥化、潜蚀、孔隙水压力或悬浮减重及动水压力作用, 其结果是导致库岸地带发生塌岸和滑坡, 但遗憾的是其未对水岩作用的影响进行定量分析。

基于上述水—岩 (土) 作用效应, 库水对岸坡土体产生的浸泡软化作用、流水作用、浪蚀作用、浮力减重和动水压力作用等, 不同程度地降低了岸坡的稳定性, 已成为地质灾害界在水对滑坡作用中的一个共同认识。魏进兵<sup>[10]</sup>对水位涨落诱发水库滑坡的机制进行了研究, 认为库水位对滑坡稳定性的影响主要体现在滑坡体有效应力和滑坡滑带土抗剪度的降低及渗透压力的增加。

Griffiths. D. V<sup>[11]</sup>认为水库蓄水产生的浮托效应是重要的,其降低了斜坡阻滑段的抗力,从而导致斜坡稳定性下降而变形失稳。刘才华<sup>[12]</sup>和朱冬林<sup>[13]</sup>等则认为水位骤降产生的动水压力是斜坡稳定性降低的重要原因。吴敏杰<sup>[14]</sup>刚开展对特大型水库运行期间库岸斜坡所处地质环境恶化效应的研究。马水山等<sup>[15]</sup>则发现水库蓄水对岸坡地质环境影响的水力学效应、材料力学效应与化学效应;仵彦卿<sup>[16]</sup>根据水对岩土体产生的影响和作用将之划分为力学层面、物理学层面与化学层面等三方面,并研究了其对岩石本身的强度和性质的影响;刘厚成、唐红梅<sup>[17-19]</sup>等亦将库水对岸坡的效应分为化学性质、物理性质和水力劣化三个方面;谢守益等<sup>[20]</sup>、廖红建等<sup>[21]</sup>、林峰等<sup>[22]</sup>、钟声辉等<sup>[23]</sup>、Fabio Luino<sup>[24]</sup>等从动水压力、孔隙水压力、浮托力等不同角度对库岸斜坡在蓄水条件下的稳定及影响机理开展了研究。唐辉明<sup>[25]</sup>在分析三峡库区塌岸特征的基础上,总结了近期库区塌岸治理工程治理的若干关键技术问题,研究了河道型水库塌岸预测。尚羽等<sup>[26]</sup>认为蓄水对斜坡坡脚的侵蚀崩塌是诱导斜坡变形破坏的原因。白建光<sup>[27]</sup>等对三峡水库塌岸演化开展了研究,水下波蚀浅滩及与堆积浅滩边坡形态主要取决于岸坡物质成分而非水位波动。杨达源<sup>[28]</sup>等通过对长江三峡库岸带崩滑灾害的预测与预防的研究,认为三峡水库蓄水后,库区水位的大幅度上涨及水位变动带(消落带)的形成等一系列因素,将导致原谷坡地貌过程发生较大的变化;童广勤<sup>[29]</sup>等根据刚体极限平衡理论,以准超载法为基础,推导了改进的传递系数法的递推公式及累计求和表达式。

受库水位等水环境影响的斜坡变形机理是一个亟待解决的复杂工程问题,传统的土力学理论的研究方法已现不足,非饱和土力学理论与研究方法的介入成为必然。在长江三峡库区,斜坡表层的膨胀土、残积土等非饱和黏性土的力学性质极易受到外界水环境变化的影响。例如在库水位的上升、下降过程中,大多数的非饱和土体都会出现因胀缩交替、蠕变不断而产生大量裂隙的现象。与坡体稳定性相关联的土体抗剪强度在这一干湿交替动态循环过程中,是否随之变化以及如何变化是人们关心的另一个问题;另外,在库水位上升过程中,非饱和土斜坡吸力降低,含水量上升,土体膨胀,将诱发失稳。在其他工程方面也有很多类似的情况,如地基隆起、路基开裂等。这些工程问题的解决依赖人们对非饱和土变形与吸力路径、含水率之间的关系,以及对抗剪强度特性的进一步认识。

龚壁卫<sup>[30]</sup>等采用直剪试验测试了膨胀土在“干—湿”循环过程中的抗剪强度,其成果显示水-土特征曲线与含水率的变化路径有关,相同的吸力具有不同的强度

贡献。杨和平<sup>[31]</sup>采用常规直剪试验测试了膨胀土击实土样经干缩湿胀饱水后的抗剪强度,结果与上述结论类同。莫伟伟<sup>[32]</sup>通过对蓄水前后滑坡的饱和与非饱和渗流与应力耦合的分析,建立了等效连续介质有限元计算模型,并对水位涨落及降雨条件下库岸滑坡水岩作用机理及稳定性进行了分析。武涛<sup>[33]</sup>通过数值分析,对周期性水位波动作用下库岸滑坡稳定性进行了分析。罗红明<sup>[34]</sup>等提出了土水特征曲线的多项式约束优化模型和采用饱和-非饱和渗流数值模型,计算了库水位波动下地下水渗流场,探讨了库水位上升和下降对库岸滑坡稳定性的影响。唐辉明<sup>[35]</sup>等采用核磁共振(NMR)技术反演水文地质参数,基于非饱和土强度理论,对现有滑坡剩余推力法进行改进,对库水位下降条件下岸坡稳定性进行研究,认为在库水位下降过程中会出现稳定性系数达到极小值的现象。

对水库岸坡稳定影响的另一重要因素为气象因素,如大气降雨等,其单独或与水库蓄水的耦合、叠加效应甚大。近年来,全球气温逐渐升高、气候异常等导致各种地质灾害活动频繁,如1995年6月,美国Madison在16h降水量达775mm,因此诱发产生约1000处滑坡<sup>[36-56]</sup>,并形成地质灾害链。研究表明,地质灾害链具有相当的突发性、爆发性和难以预报等特点,通常诱发大规模灾难性事件,已引起科技界的重视<sup>[57-61]</sup>。降雨诱发滑坡被国内外滑坡领域研究者所认同,研究表明<sup>[62-65]</sup>,90%的滑坡由降雨诱发,降水是地质灾害发生的重要诱因,暴雨尤其是大暴雨及特大暴雨与滑坡的关系非常密切,相关系数达0.8以上<sup>[66]</sup>。李媛等<sup>[67]</sup>通过对滑坡与降水关系研究,认为暴雨诱发滑坡是普遍的现象,但对各种诱发因素的影响大小没有进行深入的研究。

目前针对降雨诱发滑坡的研究主要有两种方法:其一是利用统计学手段确定区域诱发滑坡的经验阈值的方法,在世界许多地区得到应用<sup>[68]</sup>。如在日本把前期累积降雨量不小于150mm或每小时降雨强度不小于20mm定义为滑坡临界降雨阈值;美国和加拿大分别把前期累积降雨量不小于180mm和250mm定为滑坡发生的临界值;中国香港则把前期累积降雨量不小于350mm且日降雨量大于100mm、小时降雨量大于40mm定义为滑坡临界降雨阈值;巴西则把前期累积降雨量250~300mm定为滑坡发生的临界值<sup>[69]</sup>。在中国,李晓<sup>[70]</sup>研究了斜坡表面侵蚀及滑坡灾害的临界降水强度及变化规律。杜榕恒<sup>[71]</sup>研究了三峡库区暴雨触发滑坡的临界降雨阈值,但目前三峡库区还没有完善的降雨诱发滑坡的经验阈值。其二是研究降雨、径流和入渗的关系,如美国Keefe<sup>[72]</sup>等、意大利Crosta、Angeli、英国Huchison、哥伦比亚Terlin及新加坡Rehardjo等人,通过非饱和土力学,通过对

降雨、径流和入渗的关系以及水对斜坡岩土体作用效应的定量研究,开展了滑坡启动时的临界含水量、临界孔隙水压和临界降雨量值的研究。美国 Iverson、El Kadi & Torika、荷兰 Bagaard & Asch、意大利 Angeli、英国 Barton & Thomas、Wilkinson、中国香港 Sun 与 Ng 等人,通过室内实验、现场监测及理论分析,对降雨条件下的在岩土体的渗透特性、入渗过程及相应孔隙水压力进行了研究,建立了包括饱和稳定流、非稳定流及非饱和土水流等模型在内的多种降雨入渗水文地质模型。

水库蓄水与大气降雨,本质都是以水为介质,对库岸斜坡产生影响,但两者对斜坡稳定性影响的机理与权重是不同的。刘广润<sup>[73]</sup>等认为降雨是三峡库区斜坡变形或破坏的最重要的也是最普遍的诱发因素,其对斜坡的影响主要受控于降雨强度、降雨历时、斜坡岩土体透水性及其原始含水状况。通过水库滑坡现象与环境因素关系的研究,李宪中等<sup>[74]</sup>认为水库蓄水周期性波动大于降雨对斜坡稳定性的影响,而许文年<sup>[75]</sup>等认为斜坡岩土体的凝聚力对滑坡稳定的影响较小。

总体而言,水库库岸斜坡变形或破坏的产生,其主要原因为以下两个方面:一是斜坡岩土体含水量的改变,从而改变其物理力学特性。由于斜坡岩土体的毛细管压力,在水库水位变化或降雨时,随着时间延续,土体饱和区和非饱和区的含水量亦随之变化,斜坡岩土体的物理力学参数也在不断发生变化;二是水库水位变化对斜坡体内的孔隙水压力亦有较大影响,水库水位变化将改变斜坡体的渗流场,从而引起与之相关联的动静水压的变化,从而降低了斜坡的稳定性,导致斜坡变形破坏的发生。

### 1.3 地质灾害风险评估

毫无疑问,地质灾害风险评估与管理已成为国际减灾防灾战略的重要组成部分<sup>[76-77]</sup>,尤其是 21 世纪以来,地质灾害风险评估与管理方面可靠、成熟的经验与技术方法得到了广泛推广与应用<sup>[78-81]</sup>。当前,国际上滑坡风险评估指南已经出版至第 3~4 版<sup>[82-84]</sup>,国际著名学者 Hungr<sup>[85]</sup>和 Cardinali<sup>[86]</sup>等已对地质灾害活动强度后评价的相关问题开展了重点研究;国内相关研究已经开展,在地质灾害风险评估与管理方法的系统研究方面也有大量探索研究<sup>[87-92]</sup>。1980 年以来,中国内地学者开展了一系列自然灾害风险方面的研究工作,虽取得相当进展,但研究重点多侧重于单一灾种的风险评估,如陈报章<sup>[93]</sup>阐述了自然灾害风险评价理论与实践;

苏桂武<sup>[94]</sup>对自然灾害风险的行为主体特性与时间尺度等开展了研究；徐向阳<sup>[95]</sup>等对湖南省城市洪水灾害的成因进行研究，并建议采取针对成因的洪灾的防治策略；王绍玉<sup>[96]</sup>等建立了城市灾害风险模型；史培军<sup>[97-102]</sup>等以城市脆弱性水平指数为依据，对灾害风险划分为高、较高、中等、较低和低风险 5 个等级；许世远<sup>[103-107]</sup>则根据沿海城市自然灾害的特点，建议采用综合性的风险评估与管理模式。

随着上述开创性工作的开展，中国灾害风险评估得以迅猛发展，尤其是地质灾害风险评估方面。地质灾害风险评估包括灾害易损性评估、风险性评估和灾害风险管理三个方面，迄今已经历了 30 多年的发展，目前已成为完善土地利用规划和限制灾害影响区发展的强有力工具，也是减少地质灾害导致的潜在人员伤亡最为有效和经济的方式。伴随着地质灾害风险评估理论框架和技术方法的进步，3S（即 GIS、GPS 和 KS）技术、数值模拟计算等先进的技术手段已得到广泛的应用。石菊松等<sup>[108]</sup>认为灾害风险评估是对灾害的自然属性和社会属性的综合分析，风险评估中的难点与不确定性主要来源于灾害的自然属性，也即灾害成灾机理所导致的时间、空间预测不确定性和社会属性；张梁、罗元华等<sup>[109]</sup>在分析地质灾害的自然属性和社会属性特征时，提出了地质灾害评估的理论基础与方法，建立了危险性评价、易损性评价、破坏损失评价和防治工程评价为中心地质灾害灾情评估体系；王秀英<sup>[110]</sup>对地震滑坡与地震动峰值加速度（PGA）、峰值速度（PGV）和 Arias 强度（Ia）的关系进行了比较系统地分析研究，在此基础上建立了地震滑坡灾害评估的单因素和综合评估模型，形成从区域地震滑坡分布评估到具体场点滑坡危险性判定比较完整的评估体系；王启亮<sup>[111]</sup>对一次地震过程中滑坡潜在滑移距离及扩展范围进行了计算，从而对风险分析中滑坡到达承灾体概率这一因子进行了量化研究；乔建平等<sup>[112]</sup>通过对滑坡风险研究的类型按照目标分类法对灾害风险类型进行划分，根据风险类型之间的内在关系建立了风险层次链和实际应用的方法。

尽管如此，在地质灾害风险评估与管理过程中还存在许多问题，目前地质灾害风险管理缺少标准化的技术路线和流程，限制了地质灾害风险管理的通适性<sup>[113]</sup>，大量工程技术人员与学者都在努力研究探索，希冀不断改进、优化、完善其程式与流程<sup>[114-119]</sup>，一个最重要的途径是通过对地质灾害实际发生的调查、分析以改进与完善滑坡风险评估指南。

## 1.4 斜坡变形时变演化

鉴于水库斜坡变形事件的重要性,1952年,美国陆军师团对北美洲206座土石坝事故进行了研究<sup>[3]</sup>,按水库设计寿命100年计,对其间发生的斜坡变形事件按蓄水时间进行排列,如图1-1。从图中可知,蓄水0~5年为斜坡变形的高峰时期,同时,斜坡变形随蓄水时间的延续呈衰减态势,此结论或可为水库斜坡区域性变形早期最重要的研究成果之一。

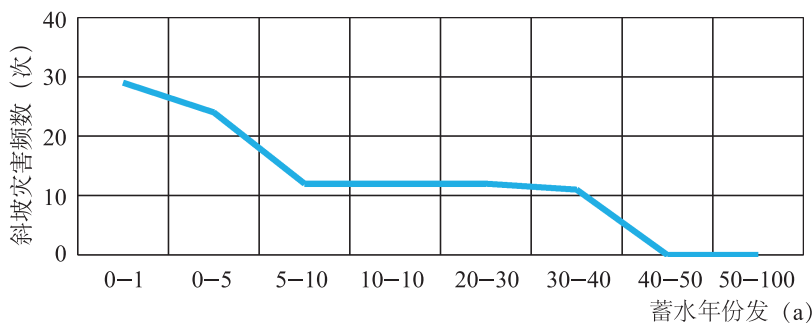


图 1-1 北美洲 206 座水库斜坡变形事件与蓄水年份关系

在国内,许多学者亦开展了水库蓄水斜坡变形及其导致的地质灾害发展趋势及其减灾对策的研究,其工作主要从两方面展开:

其一,通过对水库(或三峡水库)前期139m蓄水的斜坡变形的调查,以139m阶段蓄水表现的斜坡变形规律来预测其未来趋势。如童广勤<sup>[1]</sup>等在三峡水库蓄水后的地质灾害发生情况调查的基础上,对地质体受库水影响的时间、空间特征进行了分析,概化、预测了三峡水库蓄水影响的趋势,并提出用地质灾害活跃性强度指数的概念来评价地质灾害发生的程度,认为水库蓄水5~8年,斜坡变形导致的地质灾害会渐趋平稳;彭涛<sup>[120]</sup>认为三峡水库蓄水后,库岸地质灾害和人为诱发的地质灾害将相对增加,并呈现出阶段性;张业明<sup>[121]</sup>等通过对新生变形滑坡和岸坡的调查,对滑坡变形对三峡水库蓄水的响应进行了研究,认为三峡水库蓄水一个月左右为滑坡和岸坡变形失稳的高峰时间段;张信宝等<sup>[122]</sup>在研究库岸消落带的地貌演化的基础上,将蓄水后库岸斜坡变形活动的变化分为加剧期、强烈期、减弱期与准稳定态,并认为加剧期即相当于消落带的强烈侵蚀期历时长10年左右;黄润秋<sup>[123]</sup>通过对汶川地震引发的次生地质灾害的研究,认为相关区域的地质灾害可能的持续时间为20~25年,在这段时间内,以4~5年一个高峰为周期,呈

震荡式的衰减下降,并最终恢复到震前的水平;刘传正等<sup>[124]</sup>提出了地质灾害寿命的概念,并将其划分为孕育、发展、发生、稳定等4阶段,不同灾种寿命不同,三峡新滩大型崩塌与滑坡有约500年左右的寿命周期;陶舒等<sup>[125]</sup>采用信息量法与逻辑回归模型,以水库斜坡变形导致的灾害的敏感性为标准,将其划分为极轻度、轻度、中度、高度和极高危险5个等级。黄润秋等<sup>[126]</sup>采用地震灾害敏感性模型,对芦山地震次生地质灾害空间分布进行了研究,认为距发震断层距离、地形坡度、地层岩性、距离水系距离、高程、地震峰值加速度PGA是影响地震次生地质灾害的关键因素。

其二,以突变理论为基础,研究浸水对岸坡岩土强度的影响,从浸水时间、次数等方面模拟研究水库蓄水对岩土体材料强度的影响,通过建立斜坡变形的尖点突变模型来预测其趋势。如姜永东等<sup>[127]</sup>建立边坡失稳尖点突变模型,研究了斜坡系统发生突变的条件。认为斜坡所处的内外环境的变化是导致斜坡是否变形或破坏的主要因素,其影响斜坡变形方式是快速还是慢速蠕滑。唐红梅<sup>[128]</sup>等依据系统尖点突变理论,研究了岩土体抗剪强度参数与浸泡次数间的衰减关系,以岩土体软化特征函数为出发点,建立了基于尖点突变模型的岸坡失稳的预测模型,认为三峡库区白马港岸斜坡将在未来50年左右发生突变失稳的结论。徐千军等<sup>[129]</sup>定量研究了干湿交替对岩体强度的影响,并据此分析其对边坡稳定性的影响,结果表明其对边坡的长期安全性有较大的影响。姚华彦等<sup>[130]</sup>认为,在水库水位的周期性循环中,其对库岸斜坡岩土体材料的干湿交替作用类似“疲劳作用”,对岩土材料的劣化作用比持续浸泡的影响要大。倪卫达等<sup>[131]</sup>将水致弱化效应分为干湿循环弱化及长期饱水弱化,并定量研究了水致弱化效应。刘新荣等<sup>[132]</sup>以三峡库区常见的砂岩为代表,通过试验模拟了库岸斜坡岩体在库水涨落情况下的水-岩作用过程,研究了砂岩在干湿循环变化条件下物理力学性质(如抗剪强度)的劣化特征。

从某种方面来说,对于河道型水库库岸斜坡变形,其既属于河床演变问题(河岸横向演变),又属于土力学问题(斜坡稳定)<sup>[133-136]</sup>。库岸斜坡变形失稳,其因崩塌而失落的物质或暂时堆积在坡脚近岸的河床上,对河床可起到覆盖或保护的作用,同时又改变了坡脚处河流局部的水的流态与结构,加剧了堆积物与周围河床的水沙输移。国内外许多学者<sup>[137-149]</sup>亦从河床演变的角度,对河岸土体的塌落与堆积、塌落体在河床上的冲刷与输移、河势及水流强度交互作用变化决定堆积体的搬运速度与新河岸岸坡、尔后河岸是否继续崩塌、崩塌量与崩塌时间等问题进行了研究。



值得关注的是,李典庆等<sup>[150]</sup>则考虑边坡生存的时间效应,基于统计理论研究了新建边坡和现役边坡在未来服役时间内的年失效概率,斜坡的年失效概率与边坡服役时间呈正相关,尤其是当边坡服役超过10年时,变形失稳概率急剧增大。国内目前已完工的大量斜坡工程的预警可作为方法与结论的借鉴。

## 1.5 三峡库区库岸研究

三峡工程水库库岸斜坡的研究始于1956年,当时地质部进行了库区水文地质调查。下面按工作及取得主要成果分6阶段介绍如下:

第1阶段:1956—1967年,进行过3次较系统的全库段工程地质调查和重点地段的勘测;1959年,地质部三峡队与北京地质学院又进行了1:10万库区工程地质测绘;1960年2月,成都地质学院在涪陵至重庆段做了1:10万工程地质测绘;1960年9月,长办四勘队进行了库区重点地段的淹没、坍岸工程地质调查;1966年12月至1967年3月,长办三峡区勘测大队进行了库区工程地质调查。这一阶段重点在城镇浸没与坍岸预测,初步查出了9处崩塌体和5处滑坡体,首次指出链子崖及新滩一带为危险地段,开展了链子崖的专门性地质测绘。

第2阶段:1968—1983年,工作重点逐步调整到崩塌滑坡体的勘测研究上。对离坝址最近的两处不稳定岸坡——链子崖危岩体(距坝址27km)和新滩古滑坡(距坝址26km)进行了详细的地质勘测与多学科研究。1977年,先后在链子崖、新滩、黄腊石三个崩、滑体危险地段建立形变监测网。

第3阶段:1983—1985年,根据三峡工程进一步论证的需要,加之在干流岸坡先后发生了鸡扒子滑坡(1982年)和新滩滑坡(1985年),岸坡稳定性更加受到关注,广泛调动了国内生产、教学和科研力量,使岸坡稳定性的研究大大深入了一步。

第4阶段:1986—1990年,成立了三峡工程论证地质地震专家组,由地矿部牵头,水利部和国家地震局参加。1989年,在论证的基础上进一步编制了可行性研究报告。论证及科研工作自1986年至1990年,历时5年完成。此间,三峡工程库岸稳定性被列为国家“七五”科技攻关第16项“地震与地质”课题中的一个专题。系统开展了三斗坪至重庆江津干流及主要支流库岸的调查、研究和干流典型大中型崩塌、滑坡、危岩体的勘探研究。同时,在该课题中设立了“库区拟迁建城市新址环境地质研究”(75-16-2-5)专题,对13座县(市)城新址进行了环境地

质论证工作。

第5阶段：1991—1995年（“八五”期间），1992年12月，长江委编制了《长江三峡水利枢纽初步设计报告（枢纽工程）》，认为“水库岸坡主要由坚硬—中等坚硬岩石组成，其中稳定条件好的岸坡长度占库岸总长度的93%左右，这类岸坡不论在天然情况下还是水库蓄水后，稳定性都是好的；1995年至1997年，长江水利委员会提交了《长江三峡工程库区库岸稳态及崩、滑体专论》；2000年，水利部长江水利委员会编制了《长江三峡工程库区淹没处理及移民安置规划崩滑体处理总体规划报告》；同时，国家重点科技攻关项目中的三峡工程重大技术问题研究，仍将库区地质与库岸稳定列为课题，解决了“七五”科技攻关中的遗留问题，开展了长江三峡工程地壳稳定性与库水诱发地震等问题的深入研究，特别是针对链子崖危岩体和新滩滑坡开展了长江三峡工程库区重大危险性崩塌滑坡监测方法与预报判据开展研究，取得了一些新的成果。

第6阶段：2000—2005年，在三峡水库139m蓄水后，国土资源部环境司、国土科司结合三峡水库分期蓄水，分别启动了“长江三峡库区崩滑地质灾害监测工程试验（示范）区”；国土资源部2000年科技专项计划“长江三峡库区地质灾害监测与预报”；国土资源部环境司2003年启动《三峡库区滑坡塌岸防治专题研究》，分别对塌岸预测、滑坡与防治、地质灾害防治工程效果评价、减灾效益评估和防治工程技术、地质灾害防治工程信息系统与决策支持系统进行了研究。

2005年以来，就尚未解决的有争议的重大滑坡防治决策、水库蓄水运行期间库区重大地质灾害预测评价研究、水库运行期间滑坡监测预报急需解决的监测技术研究、地质灾害防治针对性治理工程技术勘查技术研究等开展了研究。

综上所述，目前国内外对水库蓄水引发岸坡变形或破坏的研究主要集中在库岸斜坡的变形机理、水库蓄水及降雨对斜坡稳定性的影响上，主要包含库水对斜坡岩土体的软化、库水周期性加卸载对岩土体强度的影响、降雨入渗机理及影响、降雨临界阈值等；对于斜坡变形导致的地质灾害风险评估，更侧重于灾害风险区划、灾情评估（以经济财产、人口损失作评估指标），而没有（像地震震级、台风等级）明确的衡量指标和分级标准，使地质灾害活动程度评价缺乏时空对比分析依据，这成为制约地质灾害预测评价发展的主要瓶颈问题；对水库库岸斜坡变形或破坏的时变趋势开展了一系列工作，但缺乏长时间、水库蓄水全过程的实测数据作分析基础，导致分析的结果依据不充分，基本为水库蓄水某阶段抑或为局部地段的“规律”。总体而言，当前对于水库库岸斜坡变形的研究，理论与数值模拟

研究较多，对特定的时间与空间的库岸段研究较多，基于水库蓄水前后全过程、全库段纵断面的现场调查与统计分析的研究还存在不足，分析水库蓄水营运条件下斜坡变形导致的地质灾害演化趋势的定量研究等方面还很不够。

## 2 库岸斜坡类型及发育特征

### 2.1 研究区范围

三峡库区近坝段有三种提法：第一种为坝址—奉节白帝城，即广义的三峡峡谷库段，长 157.5km；第二种为坝址—巴东县的官渡口，包含了几个重点的活动性大型滑坡与危岩体，即黄腊石滑坡、新滩滑坡与链子崖危岩体，全长 85km；第三种为坝址—庙河，长 16km。20 世纪 90 年代初，在三峡工程专家论证会中，一般指的是第二种说法，据此，本书亦选取第二种说法，研究范围为其中的坝址到秭归牛口河段、两岸第一分水岭起算，河段岸线全长约 405km，面积约 470km<sup>2</sup>。

在坝址—秭归牛口沿长江长约 68km 的库首段中，三斗坪坝址至庙河，河岸线长约 16km，为结晶岩低山丘陵宽谷库段，主要由黄陵背斜核部前震旦纪结晶岩体组成；庙河—牛口，河岸线长约 52km，为碳酸盐岩夹碎屑岩中山峡谷库段。由于构造与岩性的差异，形成了峡谷和丘陵宽谷地貌，峡谷临江山顶高程 600～1200m，江面宽 300～500m，山高谷深、峭壁耸立，谷底宽 300～800m，两岸可见 I、II 级阶地零星分布。

### 2.2 气象水文

研究区属亚热带大陆性季风气候，气候温暖湿润，光照充足，雨量充沛，四季分明。由于境内山峦起伏，地势高差悬殊，长江河谷与两岸山地气候变化较大，具有河谷区气温高于山地、山地降雨量多于河谷区的立体型气候特征。

研究区全年气温较高,多年平均气温 $18^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $42^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-8.9^{\circ}\text{C}$ 。年降雨量一般 $950\sim 1590\text{mm}$ ,年平均降雨量 $1439.2\text{mm}$ ;降雨量由北向南、由低到高随海拔高度增加而增大,高程 $100\text{m}$ 以下年降雨量 $947.6\text{mm}$ ,高程 $150\text{m}$ 以上 $1028.6\text{mm}$ ,高程 $800\text{m}$ 以上 $1143.4\text{mm}$ ,高程 $1100\text{m}$ 以上 $1433.8\text{mm}$ ,高程 $1500\text{m}$ 以上 $1865.2\text{mm}$ ,高程 $1800\text{m}$ 以上 $1904.3\text{mm}$ ;降雨多集中于 $5\sim 8$ 月,年降雨日数多为 $120\sim 140$ 天,最大日降雨量 $386.0\text{mm}$ 。多年平均水面蒸发量 $800\sim 1000\text{mm}$ ,相对湿度 $77\%$ 。

境内风向一般与河流走向基本一致,多偏南风,次为偏北风,东西风较少,但在西陵峡上段长江河谷内,主导风向大都只有上风(风向上游)和下风(风向下游)。风速受山地地貌制约,一般较小,为 $1.5\sim 2.5\text{m/s}$ ,但遇恶劣天气时也出现较大风速,最大风速 $20\text{m/s}$ (1962年6月7日,西南风)。积雪厚度在河谷区一般为 $10\sim 20\text{cm}$ ,山地区厚达 $50\text{cm}$ 。年太阳辐射总量 $87\sim 100\text{kcal/cm}^2$ ,年平均日照时数 $1200\sim 1650\text{h}$ ,多集中在 $5\sim 9$ 月。

研究区内河流水系发育,长江流经巴东县破水峡进入秭归县境,横贯县境中部,于茅坪河口出境。境内河流长 $64\text{km}$ ,江面宽 $150\sim 300\text{m}$ ,流域面积 $724.4\text{km}^2$ ,流速 $1.5\sim 2.0\text{m/s}$ ,正常流量 $0.3\sim 0.5$ 万 $\text{m}^3/\text{s}$ ,多年平均流量 $1.4$ 万 $\text{m}^3/\text{s}$ ,最大流量 $7.10$ 万 $\text{m}^3/\text{s}$ (1981年7月19日归州镇锯齿梁)。县内河流主要有香溪河、青干河、九畹溪、袁水河(咤溪河)、茅坪河、龙马溪、泄滩河、童庄河等,均为长江一级支流。

## 2.3 区域地质背景

### 2.3.1 地形地貌

三峡工程库区坝址到牛口库段位于西陵峡西段,干流库长 $68\text{km}$ ,行政区划属于宜昌市秭归县,秭归县位于鄂西褶皱山地,地势西南高东北低,山峰耸立,河谷深切,相对高差一般在 $500\sim 1300\text{m}$ 之间。库区内地貌主要分为结晶岩低山丘陵宽谷段、碳酸盐岩中山峡谷段、碎屑岩中低山河谷段三种类型,其特征分述如下:

(1) 结晶岩低山丘陵宽谷段:位于庙河以东至茅坪一带,河谷开阔,临江山顶高程 $200\sim 500\text{m}$ ,为低山丘陵地貌,山丘平缓,多为浑圆状山顶,地势低缓,谷坡坡角 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,谷底宽 $500\sim 1000\text{m}$ 。主要河流为茅坪河。

(2) 碳酸盐岩中山峡谷段：位于香溪河以东一庙河之间，属西陵峡西段，为中低山峡谷地貌，河谷深切，呈 V 形，阶地不发育，山地高程 1000~1500m，著名的兵书宝剑峡、牛肝马肺峡位于其间。主要河流为九畹溪与龙马溪。

(3) 碎屑岩中低山河谷段：为西陵峡与巫峡的过渡带，位于香溪以西至牛口段，为低山区，中低山地貌，宽谷型，阶地发育。山体高程为 500~1000m，水系发育，主要河流为归州河、青干河、童庄河、泄滩河等。

近坝库段河谷两岸阶地可分为四级，Ⅲ、Ⅳ级阶地大部分已经被破坏，蓄水前，Ⅰ、Ⅱ级阶地保存相对较好，但在 139m 蓄水后大部分已被淹没。

### 2.3.2 地层岩性

研究区内地层发育齐全，自元古界至第四系均有出露。元古界崆岭群见于东部茅坪一带，震旦系和古生界呈条带状展布于东部至南部边缘，三叠系和侏罗系广泛发育于中、西、北部，白垩系仅见于九畹溪西侧周坪一带，第四系主要分布在长江及其支流的河谷地带、冲沟及缓坡处。研究区内地层岩性的划分详见表 2-1。

### 2.3.3 地质构造

三峡工程库区近坝库段位于扬子准地台中西部，该区经历了三次较强的大地构造运动，即前震旦纪的晋宁运动、侏罗纪末的燕山运动和早第三纪末的喜山运动，形成了以黄陵地块为核心的构造格架，周围展布一系列弧形褶皱：北面为大巴山台缘褶皱带，西侧为上扬子台褶皱带（即八面山台褶皱带），东侧为江汉拗陷盆地（图 2-1）。

区内新构造运动不强烈，主要表现为南津关以西的山地大面积间歇性上升，东部江汉平原相对下降，从而形成一平缓过渡带。

近坝库岸主要褶皱为轴向近南北向的黄陵背斜，走向与长江近正交。黄陵背斜核部位于三峡大坝坝址附近，由前震旦系崆岭群变质岩及侵入其间的花岗闪长岩组成，西侧边界距大坝约 16km。轴线较为平直，走向 NNE。三峡工程坝址位于黄陵背斜核部黄陵地块南端的花岗闪长岩体上，周缘沉积盖层从震旦系至第四系出露齐全。坝址至庙河库段出露前震旦系结晶岩。庙河至香溪库段在地缘上属黄陵背斜西翼，总体上为一单斜构造，出露震旦系到三叠系中统地层，岩层产状总体上较稳定，倾向 NW。

库区内规模较大、现今仍具有活动性的区域性断裂不甚发育，主要有西南缘的仙女山断裂和九湾溪断裂。

表 2-1 研究区地层岩性表

界	系	统	地层名称	岩组代号	厚度 (m)	岩性简述	
新生界	第四系	全新统		Qh	1~10	粉质黏土、粘性土、碎石土、砾石层	
		更新统		Qp	10~30	黏土夹砾石, 底部为新滩砾岩	
中生界	白垩系	下统	石门组	K1s	37~275	紫红色厚层块状砾岩	
		上统	蓬莱镇组	J <sub>3</sub> p	268~339	上部紫红色泥岩砂岩不等厚互层, 下部石英砂岩夹泥砾岩	
			遂宁组	J <sub>3</sub> c	456~574	上部紫红色泥岩、砂岩互层, 中下部紫红色砂岩夹泥岩	
		中统	上沙溪庙组	J <sub>2</sub> s	749~1087	上下部紫红色泥岩, 中部紫红色泥岩砂岩互层,	
			下沙溪庙组	J <sub>2</sub> x	721~1079	上部灰绿色砂岩夹泥岩, 下部紫红色泥岩夹砂岩	
			千佛崖组	J <sub>2</sub> q	180~450	上部黄绿色泥岩夹砂岩, 下部黄绿色泥岩、粉砂岩夹灰岩条带及透镜体	
	下统	香溪群	桐竹园组	J <sub>1</sub> t	169~203	黄绿、灰黄色砂质页岩、粉砂岩、石英砂岩为主, 夹炭质页岩、煤层	
	上统		九里岗组	J <sub>1</sub> j	0~350	黄灰、深灰色泥质粉砂岩夹炭质页岩、煤层	
	三叠系	中统	巴东组	第三段	T <sub>2</sub> b <sup>3</sup>	0~487	紫红色厚层状泥岩、粉砂岩、砂质页岩
				第二段	T <sub>2</sub> b <sup>2</sup>	0~140	灰、浅灰色中厚层状灰岩、泥灰岩夹页岩、泥岩
				第一段	T <sub>2</sub> b <sup>1</sup>	51~403	紫红色、灰绿色中厚层状粉砂岩夹泥岩、页岩
		嘉陵江组	第三段	T <sub>2</sub> j <sup>3</sup>	133~213	薄层至厚层状结晶灰岩夹溶崩角砾	
			第二段	T <sub>2</sub> j <sup>2</sup>	256~376	薄层至厚层状含燧石灰岩, 缝合线发育	
			第一段	T <sub>2</sub> j <sup>1</sup>	71~174	灰色、浅灰色薄层状灰岩	
	下统	大冶组	T <sub>1</sub> dy	476~799	中厚层灰岩, 下部为薄层含泥质灰岩、页岩		

续表

界	系	统	地层名称	岩组代号	厚度 (m)	岩性简述
上古生界	二叠系	上统	吴家坪组	P <sub>2</sub> w	57~130	灰色中厚层状块状含燧石结核灰岩、生物碎屑灰岩
			龙潭组	P <sub>2</sub> l	131	深灰色砂页岩夹煤层相变为灰色含燧石结核灰岩
		下统	茅口组	P <sub>1</sub> m	24~142	灰色、浅灰色厚层块状含燧石结核微晶灰岩
			栖霞组	P <sub>1</sub> Q	175~310	深灰色、灰黑色中厚层结晶灰岩，具沥青气味
			梁山组	P <sub>1</sub> l	0~7	粉砂质泥岩、黑色页岩夹煤层
下古生界	石炭系	中统	黄龙组	C <sub>2</sub> h	0~33	浅灰色、灰白色中厚层至块状结晶灰岩
	泥盆系	上统	写经寺组	D <sub>3</sub> x	0~63	石英砂岩页岩互层
			黄家磴组	D <sub>3</sub> h	0~38	石英砂岩夹页岩
		中统	云台观组	D <sub>2</sub> yn	8~58	灰白色厚层块状石英砂岩
	志留系	中下统	纱帽组	S <sub>1-2</sub> s	118~178	紫红色粉砂质泥岩、细砂岩夹页岩
			罗惹坪组上段	S <sub>1</sub> Lr <sup>2</sup>	534~900	黄绿色、灰绿色页岩夹泥岩、粉砂岩
			罗惹坪组下段	S <sub>1</sub> Lr <sup>1</sup>		黄绿色泥岩、钙质泥岩、粉砂质泥岩为主
			新滩组	S <sub>1</sub> x		页岩硅质岩
	奥陶系	中上统	龙马溪组	O <sub>3</sub> S <sub>1</sub> l	180~579	灰绿色页岩夹石英砂岩
			宝塔组	O <sub>2-3</sub> b	32~58	泥灰岩、龟裂灰岩
			庙坡组	O <sub>2-3</sub> m		黄绿色页岩夹泥灰岩
		下统	牯牛潭组	O <sub>2</sub> g		中厚层状灰岩与瘤状灰岩互层
			大湾组	O <sub>1</sub> d	98~397	泥质条带灰岩
			红花园组	O <sub>1</sub> h		灰岩夹生物碎屑
			南津关组	O <sub>1</sub> n		深灰色厚层块状白云质灰岩
寒武系	中上统	娄山关组	Є <sub>3</sub> O <sub>1</sub> L	212~624		灰色、浅灰色厚层白云质灰岩，含燧石结核
覃家庙组		Є <sub>2-3</sub> q	159~630	厚层白云岩、白云质灰岩、泥质条带灰岩		



续表

界	系	统	地层名称	岩组代号	厚度 (m)	岩性简述
元古界		下统	石龙洞组	$\in_{1s}$	159~195	浅灰色、深灰色中厚层状、块状白云质灰岩、泥质条带灰岩
			天河板组	$\in_{1t}$		深灰色薄层泥质条带灰岩
			石牌组	$\in_{1s}$	134~198	灰绿色、黄绿色页岩、砂岩夹灰岩
			牛蹄塘组	$\in_{1l}$		黑色炭质页岩夹粉砂岩、砂子泥岩
	震旦系	上统	灯影组	$Z_2$	198~1380	厚层白云质灰岩夹灰岩
			陡山沱组	$Z_2d$	55~124	灰岩与炭质页岩互层, 含燧石结核
		下统	南沱组	$Z_1n$	20~159	灰绿色、紫红色冰砾岩
			莲沱组	$Z_1l$	0~65	紫红色中厚层状砂砾岩、石英砂岩
前震旦系	崆岭群	小以村组	$Pt_2x$	488~685	石英片岩、片麻岩	

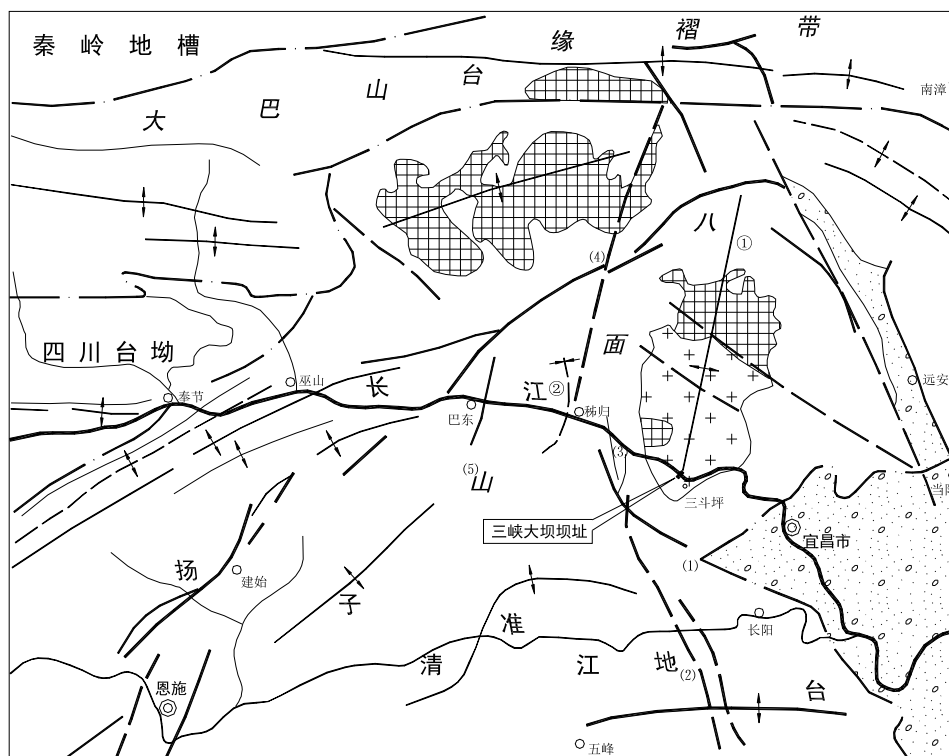


图 2-1 三峡工程库区构造纲要图

- ①黄陵背斜；②秭归向斜；(1)天阳平断裂；(2)仙女山断裂；  
(3)九湾溪断裂；(4)新华断裂；(5)牛口断裂

库区总体处于弱震环境，地震基本烈度属于Ⅵ度区范围。址坝—庙河段约16km范围处于黄陵背斜核部结晶岩基底内，历史和现今地震活动微弱；庙河—牛口河段，秭归—渔洋关地震带跨越该库段，存在水库诱发地震的条件，但震级不高。

### 2.3.4 水文地质

区内各类岩、土体富水性总体较差，渗透性差异大，非均质各向异性明显。根据地层岩性、裂隙发育程度等因素划分，区内相对隔水层主要为中、下元古界( $P_1$ )结晶岩，及志留系下统( $S_1$ )碎屑岩；相对透(含)水岩层主要为震旦系—奥陶系、志留系上统一三叠系地层，其间页岩、泥岩及煤层为层间相对隔水层，由于这些层间相对隔水层的存在，库区地下水系统呈一复杂的层状水文地质结构形态。

地下水主要有四种类型：松散堆积层孔隙水、碎屑岩裂隙水、碳酸岩盐岩溶水和结晶岩孔隙-裂隙水。

松散堆积层孔隙水：赋存于第四系松散堆积物的孔隙中。由于第四系堆积物结构松散、孔隙率大、透水性较强，因此孔隙水在岸坡上难以保存，主要分布在河漫滩及支流、冲沟的砂卵石层中。地下水直接接受大气降水补给，多以下降泉形式入汇于低洼处，最终排泄至长江。泉点多分散分布，泉水流量不大，受季节和降雨量控制。野猫面滑坡、新滩滑坡、上孝仁滑坡上多处发育此类泉水。

碎屑岩裂隙水：主要赋存于志留系、泥盆系砂页岩中。主要接受大气降水、地表水及其上部的风化岩体孔隙-裂隙水补给，水位较稳定。多以下降泉的形式出露于山坡坡脚及冲沟底部，汇入长江。在河床及漫滩，基岩裂隙水流量较稳定，受季节性变化影响较小。

碳酸岩盐岩溶水：主要赋存碳酸盐岩岩溶层组孔隙、裂隙、岩溶管道中。主要接受大气降水、地表水及其上部的基岩孔隙-裂隙水补给，水位较稳定，水量大。岩溶层组下部多存在相对隔水层，地下水多以接触全的形式出露于相对透水、隔水层交界处。由于此类泉水水位稳定、水量大，往往成为当地居民生活用水源。如在新滩滑坡西侧缘的泉水流量为1~2L/s，供给现滑坡上所有居民生活用水仍有余。

结晶岩孔隙-裂隙水：广泛分布在基岩全风化、强风化带及弱风化带的孔隙、裂隙中，主要接受大气降水补给。全风化、强风化带水位季节性变化明显，弱风化带水位相对稳定。该类地下水多以下降泉的形式沿基岩裂隙或风化分界带出露于山坡及冲沟底部，最终汇入长江。

## 2.4 库岸斜坡类型

库岸类型的划分要既能反映岸坡现状差异，又能体现水库蓄水后岸坡可能变形破坏形式的不同，应具有普遍性和合理性。现根据岸坡地层、岩性（物质组成）、地质结构及成因类型，将岸坡分为土质岸坡（Ⅰ类）、岩质岸坡（Ⅱ类）、土/岩复合岸坡（Ⅲ类）和滑坡体岸坡（Ⅳ类）四大类。其中土质岸坡（Ⅰ类）按岩性不同进一步分为回填砂岸坡（Ⅰ<sub>1</sub>）、碎石土岸坡（Ⅰ<sub>2</sub>）两个亚类；岩质岸坡（Ⅱ类）按岩性不同进一步分为花岗岩岸坡（Ⅱ<sub>1</sub>）、碎屑岩岸坡（Ⅱ<sub>2</sub>），碎屑岩岸坡（Ⅱ<sub>2</sub>）再按其形态差异分为顺向坡（Ⅱ<sub>2-1</sub>）、斜向坡（Ⅱ<sub>2-2</sub>）、逆向坡（Ⅱ<sub>2-3</sub>）三小类；土/岩复合岸坡（Ⅲ类）按岩性组合不同进一步分为回填砂/基岩岸坡（Ⅲ<sub>1</sub>）、碎石土/基岩复合岸坡（Ⅲ<sub>2</sub>）。各大类、亚类分类原则见表2-2，典型地质结构图见图2.2~图2.7。

表2-2 岸坡分类原则

大类	亚类		岩性	时代及成因
土质岸坡（Ⅰ）	回填砂	Ⅰ <sub>1</sub>	原始地形为长大冲沟，后采用花岗岩风化砂回填，厚度较大	第四系（Q）崩坡积、冲坡积、残坡积、洪坡积、人工堆积（图2-2、图2-3）
	碎石土	Ⅰ <sub>2</sub>	碎石土、块石	
岩质岸坡（Ⅱ）	结晶岩	Ⅱ <sub>1</sub>	闪长斜云花岗岩	前震旦系（P <sub>YN</sub> ）（图2-4）
	碎屑岩	顺向坡	Ⅱ <sub>2-1</sub>	寒武系（Є）、奥陶系（O）、志留系（S）、三叠系（T）、侏罗系（J）（图2-5）
		斜向坡	Ⅱ <sub>2-2</sub>	
		逆向坡	Ⅱ <sub>2-3</sub>	
土/岩复合岸坡（Ⅲ）	回填砂/基岩	Ⅲ <sub>1</sub>	上部为回填砂，下部为基岩	上部为各种成因类型的第四系（Q），下部基岩（图2-6）
	碎石土/基岩	Ⅲ <sub>2</sub>	上部为碎石土，下部为基岩	
滑坡体岸坡（Ⅳ）			碎石土、块石	第四系（Q）滑坡堆积（图2-7）

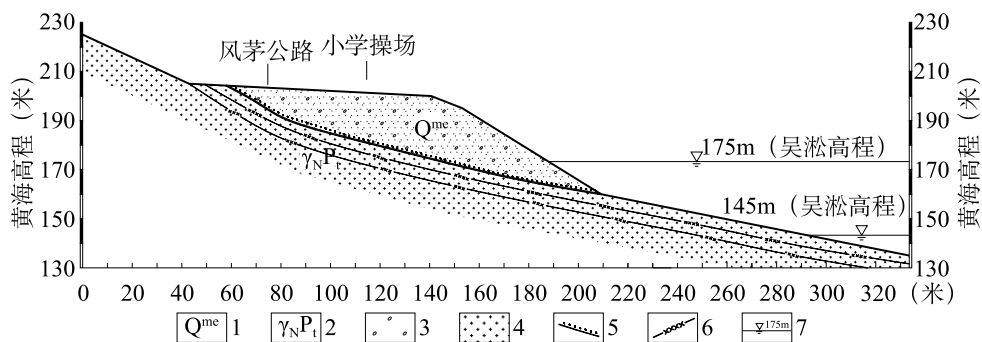


图 2-2 I<sub>1</sub>类岸坡典型地质结构图

1. 第四系人工堆积层；2. 前震旦系；3. 回填砂；4. 闪长斜云花岗岩；
5. 第四系与基岩界线；6. 全风化下限；7. 三峡水库蓄水位

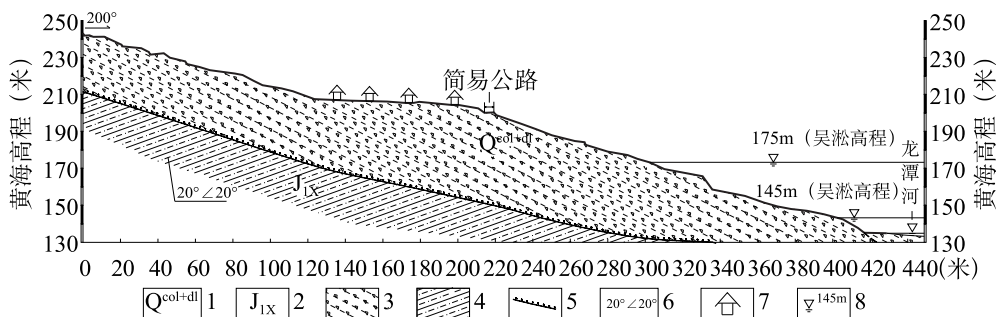


图 2-3 I<sub>2</sub>类岸坡典型地质结构图

1. 第四系崩塌积层；2. 侏罗系下统香溪组；3. 碎石土；4. 粉砂质泥岩；
5. 第四系与基岩界线；6. 岩层产状；7. 民房；8. 三峡水库蓄水位

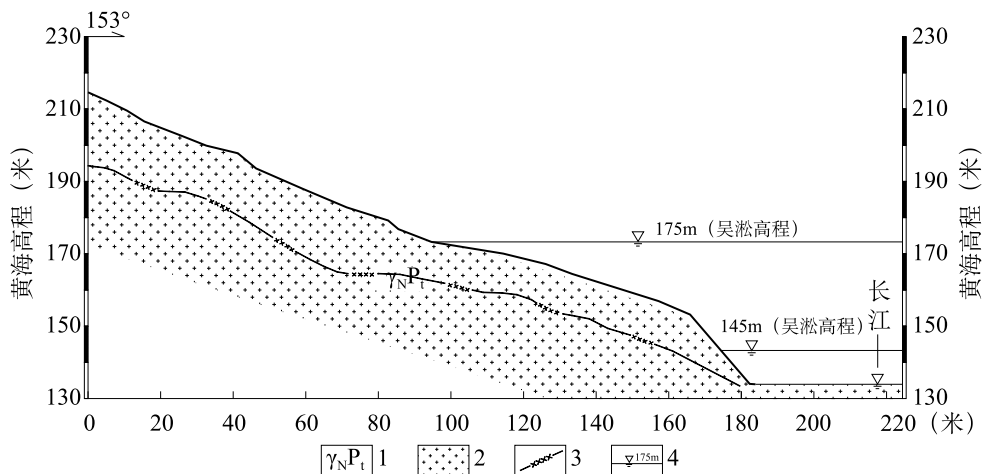


图 2-4 II<sub>1</sub>类岸坡典型地质结构图

1. 前震旦系；2. 闪长斜云花岗岩；3. 全风化下限；4. 三峡水库蓄水位

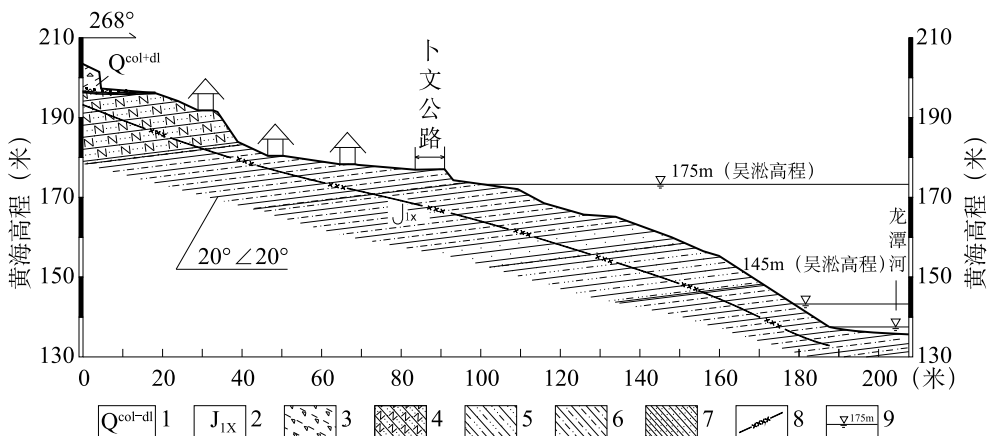


图 2-5 II<sub>2-3</sub>类岸坡典型地质结构图

1. 第四系崩坡积层; 2. 侏罗系下统香溪组; 3. 碎石土; 4. 长石石英砂岩;
5. 泥质粉砂岩; 6. 粉砂质泥岩; 7. 粉细砂岩; 8. 强风化下限; 9. 三峡水库蓄水位

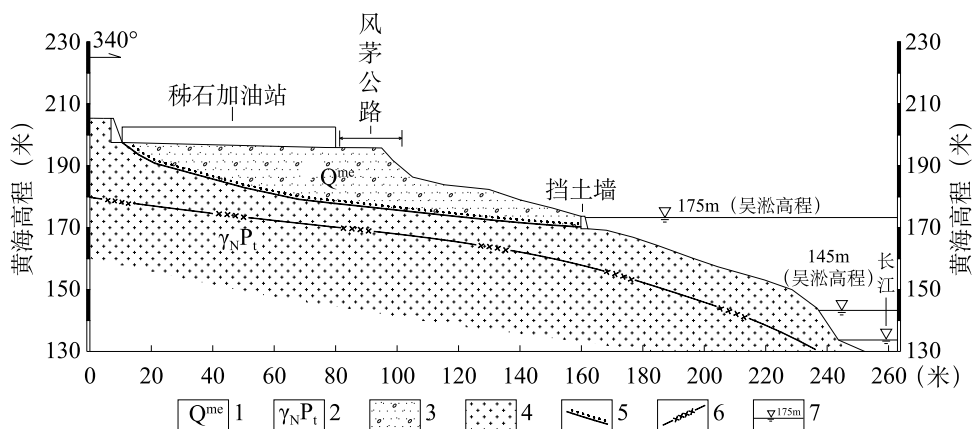


图 2-6 III<sub>1</sub>类岸坡典型地质结构图

1. 第四系人工堆积层; 2. 前震旦系; 3. 回填砂; 4. 闪长斜云花岗岩;
5. 第四系与基岩界线; 6. 全风化下限; 7. 三峡水库蓄水位

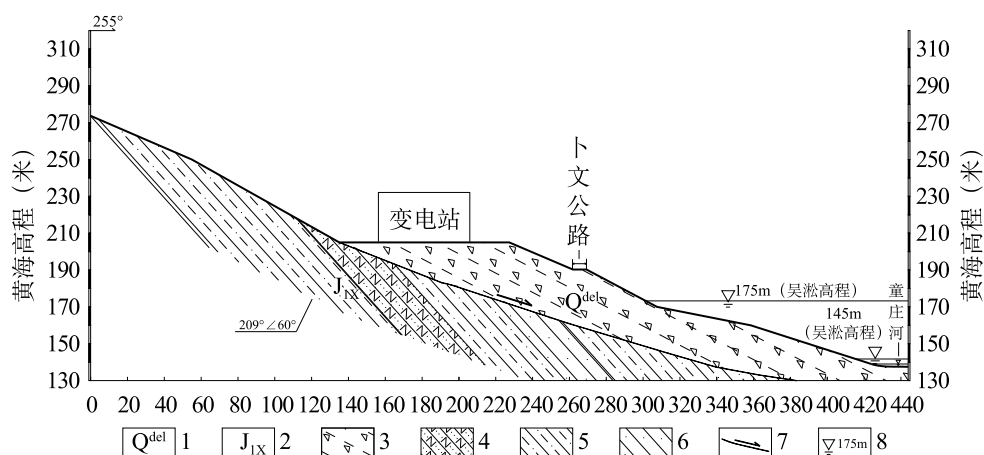


图 2-7 IV 类岸坡典型地质结构图

1. 第四系滑坡堆积层；2. 侏罗系下统香溪组；3. 碎石土；4. 长石石英砂岩；
5. 粉砂质泥岩；6. 粉细砂岩；7. 滑动面；8. 三峡水库蓄水位

根据组成库岸岩（土）体的坚硬程度与软硬差异、成层厚度与组合特征，近坝库段岩土类型可分为四个大类，即岩浆岩类、沉积岩类、变质岩类与松散土。其中庙河至坝址以下库段岸坡主要由岩浆岩类和变质岩类岩组组成，庙河至牛口以上库段主要为碳酸盐岩夹碎屑岩岸坡，松散土组成岸坡主要为几个滑坡堆积体库岸。

不同工程地质岩组组成了多种岸坡结构类型，三峡工程坝址至牛口 64km 库首段干支流水库岸坡全长 405km，可划分为四类：土质岸坡、岩质岸坡、岩土质岸坡及滑坡体岸坡，其中岩质岸坡又分结晶岩岸坡与碳酸盐岩夹碎屑岩岸坡。各类岸坡特征分述如下：

1. 土质岸坡，广泛而不连续的分布于干支流库岸，其地表宽度与厚度均有限，基座或上部边坡仍为基岩。

由松散土类组成的岸坡，全长 6.0km，占总长的 1.5%。土质岸坡由各类河流冲洪积、残坡积及崩滑堆积砾石、砂、块（碎）石、碎石土、亚黏土、黏土等组成。

## 2. 岩质岸坡

(1) 结晶岩岸坡，分布于坝址到庙河库段，库岸全长 119.2km，占总长的 29.4%。是由岩浆岩类坚硬块状花岗岩、斜长花岗岩、石英闪长岩等和变质岩类坚硬层状混合岩、片麻岩、片岩等构成的岸坡。

(2) 碳酸盐岩夹碎屑岩岸坡，分布于庙河以上大部分岸段，库岸全长约 186.8km，占总长的 46.1%。是由层状沉积岩构成的岸坡。

### 3. 土/岩复合岸坡

库岸全长约 61.74km，占总长的 15.2%。

### 4. 滑坡体岸坡

库岸全长约 31.19km，占总长的 7.7%。崩、滑点在不同岸坡段分布密度有明显差异，干流库段上的土质滑坡库岸以新滩滑坡为典型。

## 2.5 斜坡变形方式与发育特征

斜坡岩土体承受应力，就会在体积、形状或宏观连续性等方面发生某种变化。宏观连续性无显著变化者称为变形 (deformation)，否则称为破坏 (failure)<sup>[151]</sup>。发生了变形 (破坏) 或具有潜在趋势的地质体亦称为灾害地质体。研究区内的灾害地质体主要有滑坡体、危岩体、高边坡、崩滑堆积体、人工弃渣、岸坡松散松软层等，它们是坝址—牛口河段库区地质灾害的主要致灾源，产生的地质灾害类型主要有四种，即滑坡灾害、崩塌灾害、泥石流灾害、塌岸灾害等。经调查，其中尤以滑坡、塌岸为剧。

下面对研究区内的主要斜坡灾害类型塌岸和滑坡进行阐述。

### 2.5.1 斜坡变形方式

#### 1. 塌岸

水库蓄水后，库岸岩土体在波浪 (自然波浪和船行波等) 和水库蓄水位周期性涨落变化的作用下，发生坍塌导致库岸线后退的现象称为水库塌岸或库岸再造。水库塌岸本质上为侧向侵蚀、部分库段的底蚀，以及岸坡岩体块体状失稳的综合。这几种破坏型式由水库蓄水初期的侧向侵蚀、部分库段的底蚀，发展为块体状失稳，并循环往复，最终形成平衡，成为最终的塌岸断面。根据库岸的地质条件、库岸变形失稳的破坏机制，研究区塌岸总体呈三种类型，即侵蚀-剥蚀型、坍塌型、整体滑移型。

(1) 侵蚀-剥蚀型：在地表水或库水及其他外力的作用下，库岸斜坡的表面物质被逐渐剥蚀、搬运，斜坡坡面因此产生缓慢的后退现象。其主要发生于基岩岸坡的全强风化带及地形较缓的土质岸坡中，其再造过程一般比较缓慢且再造规模

较小。

(2) 坍塌型：在水库蓄水作用下，库岸斜坡下部或坡脚因被软化与被淘蚀，其上部斜坡物质失去支撑，从而导致产生斜坡局部下座或坍塌的现象。其通常发生在地形较陡的土质（岩土质复合）岸坡或基岩卸荷带内，在暴雨或水库水位剧烈变化时最易发生，极具突发性。

(3) 整体滑移型：在水库蓄水或其他因素作用下，库岸斜坡岩土体沿一定的滑动面产生整体性滑移的现象。其一般具有规模大、危害性大的双重特点，研究区古滑坡或老滑坡的复活、土质岸坡的圆弧形滑动均属这一类。

研究区内沉积岩类岸坡塌岸一般不明显，塌岸规模、速度一般较慢，主要为崩塌型塌岸。研究区内第四系堆积体分布不连续，堆积体物质成分也较复杂，主要发生侵蚀、剥蚀型塌岸，表现为在岸坡前缘江边形成小型浪坎。

2. 滑坡，所谓滑坡，亦是斜坡岩土体沿一定的滑动面基本做整体性滑移运动的过程和结果。

本书研究的滑坡为水库斜坡变形的一种类型，亦是与水库蓄水相关的，根据库水对斜坡变形的作用效应，分为浮托减重型、水压力型和劣化效应型。值得说明的是，库水对斜坡作用效应而导致其变形的产生，其作用效应是多方面的复合作用，在分类时，主要考虑何种作用起主要或主控作用<sup>[152]</sup>。

浮托减重型：此类变形斜坡体的透水性较弱，滑坡（带）呈上陡下缓，斜坡阻滑段明显。斜坡变形或破坏主要发生在水库蓄水初期或水库水位骤升时期，水库蓄水对滑坡阻滑段的浮托减重效应是滑坡变形破坏的主要因素。

水压力型：构成该类滑坡的物质一般以土质为主，透水性微弱，在库水消退（所谓骤降）时，滑坡体内孔隙水难以消散，其消散过程大大滞后于库水的消落，在滑坡体或其局部形成的动静水压力促使滑坡变形失稳。

劣化效应型：该类滑坡滑带富含如伊利石与蒙脱石等遇水易膨胀软化的黏土矿物，受水库蓄水浸泡后，滑带土极易产生劣化效应，其物理力学性质如抗剪强度  $C$ 、 $\varphi$  值等大幅度降低，从而导致滑坡变形破坏。

## 2.5.2 发育特征

根据相关调查成果，研究区范围内共发育有各类地质灾害点 437 个，其中滑坡 364 个（含不稳定斜坡 52 处）、崩塌（含危岩体）20 个、塌岸 53 段，研究区斜坡变形灾害发育与分布具有如下特点：



## 1. 具有明显的地段性与时间性

### (1) 空间分布规律

主要表现为条带性、垂直分带性和相对集中性<sup>[154]</sup>。

条带性：长江及主要支流沿岸、主要地质构造线及公路、铁路线一带滑坡发育。干流主要分布在树坪—牛口河段库岸沿线，支流库段的崩、滑体则主要分布于香溪河、归州河、青干河库岸沿线等。

垂直分带性：在相对高差大且上陡下缓的斜坡地带，滑坡具明显的垂直分带性，具有典型的上崩下滑的分布特点。

相对集中性：城镇及人口密集区、人类工程活动频繁，诱发或加剧地质灾害机会多，从而具有地质灾害相对集中的特点，如归州古镇、郭家坝镇等。

### (2) 时间分布规律

主要表现为周期性和滞后性<sup>[154]</sup>。

周期性：水是滑坡的诱发、催化剂。每年雨季，是三峡库区滑坡事件集中发生的季节；在将来，随库水从 175~145m 升降，三峡库区也将会发生大量的水库滑坡事件。滑坡体一般在旱季枯水期稳定性较好，而在雨季或洪水期稳定性变差。

滞后性：部分滑坡因其自身稳定性较好，遇雨季或在不合理的人类工程活动下没有立即产生破坏，往往滞后数月才产生变形失稳破坏。

## 2. 滑坡与地层岩性组合关系

研究区滑坡发育受控于地质构造、地层岩性和地形地貌及其组合等条件，其空间分布具明显差异特性，如研究区沿岸的秭归沙镇溪—范家坪附近等库岸段崩滑体发育数量最多，斜坡的稳定性也最差。

研究区内的长江干流库岸段，岩层发育从元古界至中生界侏罗系各地层，根据其岩性的组合关系及库岸分段，对其发育崩塌、滑坡的数量、规模等统计结果见表 2-3。

未经中国三峡出版传媒有限公司的书面许可，任何媒体及个人不得转载、摘编该节选内容。违者将被依法追究其侵权责任。

如有需要请购买原版书。

