

三峡库区重庆市万州区塌岸现状调查

吉 锋¹, 葛 华¹, 刘汉超¹, 王学武²

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059 2. 四川省交通厅公路水运质量监督站, 四川 成都 610041)

摘 要: 水库塌岸是影响三峡水库工程成败的重大地质问题。通过对三峡库区重庆市万州区当前蓄水位下的塌岸现状进行地质调查, 查清塌岸段工程地质条件, 总结概括了各塌岸类型和特点, 同时调查统计了相关的塌岸预测参数。这些工作不但对万州区塌岸预测防治工作提供了地质基础, 还可为库区其他地区的塌岸调查防治工作提供良好借鉴。

关键词: 工程地质; 三峡库区; 塌岸调查; 万州区

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

三峡水库建成后, 库岸地质环境条件将发生较大改变, 各类松散堆积层和软岩组成的库岸, 受库水浸泡、风浪冲击、水流侵蚀和干湿交替的长期作用, 必将不同程度地产生塌岸, 同时可能促使大批古滑坡复活, 甚至产生新的崩塌和滑坡, 对就地后靠的城镇、居民点和重要的道路、桥梁、港口等建筑物均可能造成不同程度的危害。可以说, 水库塌岸是影响三峡水库工程成败的重大地质问题^[1]。鉴于此, 开展对库区塌岸的地质调查, 查清三峡库区塌岸工程地质条件, 调查初期蓄水后的塌岸现状, 建立概化塌岸地质模型, 调查统计相关的塌岸预测参数, 则作为整个三峡库区塌岸防治的基础性工作而显得意义重大。

万州区地处重庆东大门, 位于三峡库区腹心地带, 三峡水库建成后将成为库区第二大港口城市, 同时也是三峡移民迁建的重点城市。由于所处的特定地质环境, 万州也将不同程度地存在水库塌岸问题。针对水库塌岸的库岸防护工作, 对保障移民城镇的正常迁建和促进地区经济发展都具有举足轻重的作用。因此, 开展对万州区的塌岸现状调查研究工作不但对本地区的塌岸防治十分重要, 同时也可作为库区其他地区的塌岸调查防治工作提供良好借鉴。

1 环境地质条件概述

万州属亚热带暖湿气候区, 气候温和, 雨量充沛, 年均降雨量 1 191.3 mm, 多年最大降雨量 1 635.7 mm, 是库区有名的暴雨中心。长江流经主城区段长达 15 km, 平均流量 10 800~ 15 900 m³/s, 经城区汇入长江的主要支流有苕溪河、龙宝河、五桥河, 以及较小型的李家沟、大河沟和驷马桥沟等, 其中苕溪河汇水面积最大。随着三峡水库的蓄水运行, 整个万州区的水域面积将增大三分之一。

万州位于川东盆地长江河谷地带, 总体上属构造-侵蚀、剥蚀低山丘陵地貌, 主要地貌单元有侵蚀堆积河漫滩、阶地和构造剥蚀低山丘陵两种。该区出露的地层有侏罗系中统上沙溪庙组第二段、第三段 (J₂s²、J₂s³) 和侏罗系上统遂宁组 (J₃s) 部分层位, 以及不同成因类型的第四系松散堆积层。岩性主要为紫红色泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩与紫灰、灰绿色长石石英砂岩等。第四系包括人工堆积物、河流冲积物、残坡积、崩坡积和滑坡堆积等, 一般厚度 1~6 m, 局部可达 10 m 以上, 自本次塌岸现状调查的初期蓄水高程 135~260 m 间均有分布。万州地处川

收稿日期 (Received date): 2006- 10- 03; 改回日期 (Accepted): 2007- 01- 03.

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (编号 40102026) 资助。[Supported by National Science Foundation of China (40102026).]

作者简介 (Biography): 吉峰 (1981-), 男, 博士研究生, 地质工程专业, 主要从事水文地质工程方面的研究, jiefen@163.com. [Ji Fen (1981), male, doctor candidate]

东褶皱束万县复向斜北东段近轴部, 万县向斜轴以 NE60°斜穿万州城区, 轴部出现于天子城 – 磨刀溪一带, 因此该区地层极为平缓, 岩层产状均近水平。本区第四系以来地壳运动缓慢且具间歇性, 无明显差异性活动, 仅在中更新世 0.2~0.3 Ma 期间新构造运动较为活跃, 现代地壳活动较为稳定。

2 塌岸现状调查研究

2.1 调查范围

水库塌岸的危害性主要表现在城镇所在岸坡的失稳, 加之三峡库区移民的就地后靠式搬迁模式, 使得城镇库岸的塌岸防护工作更加重要。所以, 本着“以人为本”的原则, 此次塌岸调查研究也重点针对万州三峡库区三期地质灾害防治规划中拟防治的已建和拟建城镇库岸 34 段, 总长 58.53 km^[2], 同时兼顾其他在水库初期蓄水情况下确已发生塌岸的库岸段。万州区塌岸调查的主要库岸段概况详见表 1。

2.2 塌岸段分布情况及塌岸特征

经塌岸现状的野外实地调查, 在现状 139 m 水

表 1 万州区塌岸调查库岸概况表

Table 1 The general situation of reservoir bank with geological survey in Wanzhou

分区编号	名 称	河流名称及岸别	长度 (m)	位 置
1	黄柏乡新集镇库岸	长江右岸	1 000	黄柏乡黄柏溪 – 高石咀
2	大周溪库岸	左岸	1 320	大周镇杨家磴 – 桑树坪
		右岸	1 110	大周镇大石盘 – 高石咀
3	大周库岸	长江左岸	2 450	大周镇永生桥 – 土地盘
4	小周段库岸	长江左岸	445	黄柏乡中坝子
5	枇杷坪库岸	长江左岸	1 370	天城区枇杷坪和尚桥 – 支农桥
6	高粱镇库岸	芭溪河左岸	870	高粱镇
7	铺垭段库岸	长江左岸	2 480	天城区史家院子 – 外坝
8	向家坪库岸	长江右岸	2 100	向家坪乡罗家坝 – 苏家院子
9	万三桥库岸	芭溪河右岸	1 100	龙宝区万三桥 – 灯盏窝
10	芭溪河库岸	芭溪河左岸	3 300	大地坪 – 万县中学
11	芭溪河库岸	芭溪河左岸	730	天城区沙河子
12	芭溪河库岸	芭溪河左岸	2 100	天城区老虎路 – 草街子
13	菜地沟库岸	芭溪河右岸	900	龙宝区万二村灯盏窝 – 油房院子
14	云盘 – 拦池沟库岸	芭溪河右岸	1 500	龙宝区云盘 – 拦池沟
15	云盘 – 鸽子沟库岸	芭溪河右岸	850	龙宝区云盘 – 鸽子沟
16	鞍子坝库岸	长江左岸	1 200	和平广场 – 体育场
17	南山 – 密溪沟库岸	长江右岸	600	
18	南山 – 密溪沟库岸	长江右岸	2 100	江南新区大沙坝 – 高围子
19	南山 – 密溪沟库岸	长江右岸	1 300	陈家坝 – 下湾
20	密溪沟库岸	长江右岸	5 400	磨盘砦 – 风包岭
21	密溪沟 – 塘角村库岸	长江右岸	4 000	密溪沟 – 晒网坝
22	箭楼库岸	长江左岸	2 100	龙宝区道落湾 – 鹰嘴岩
23	川东制革厂库岸	长江左岸	1 550	龙宝区千斤磅 – 鸽子岩
24	新田镇库岸	长江右岸	1 700	乌烟沟 – 谭绍溪
25	新田镇码头库岸	长江右岸	750	新田镇螺丝湾 – 寨包
26	新田镇老集镇库岸	小溪左岸	1 100	新田镇老集镇
27	溪口乡新集镇库岸	长江右岸	1 440	溪口乡蒲家村土地梁 – 方家岭
28	溪口乡旧集镇库岸	长江右岸	1 100	溪口乡其林村老井旁 – 土地梁
29	燕山乡竹鸡包库岸	长江右岸	590	燕山乡燕义村溪沟 – 复兴场
30	小河坝库岸	长江左岸	1 880	让渡镇明镜桥 – 罗家湾
31	新乡镇 (1 段) 库岸	长江右岸	1 650	新乡镇寨子村李家咀 – 荒角咀
	新乡镇 (2 段) 库岸	长江右岸	1 175	新乡镇三水村瓦屋 – 新集镇
32	新乡新集镇库岸	长江右岸	1 320	新乡镇万顺村黄角咀 – 黄角树脚
33	武陵库岸	长江左岸	2 100	武陵镇夏家湾 – 红沙咀
34	长坪乡库岸	长江右岸	1 850	长坪乡外河 – 玉家河

位下,万州区 34个拟规划防治库岸段发生显著塌岸的有 9段,自上游至下游分别是:长坪乡库岸、燕山乡竹鸡包库岸、南山-密溪沟库岸、南山-密溪沟库岸、南山-密溪沟库岸、密溪沟-塘角村库岸、铺亚库岸、大周库岸、小周库岸;在万州区的 34个拟规划防治库岸段范围之外,还发现有 8处塌岸

较严重的库岸段。各库岸段的具体分布位置及塌岸段地质特征分别详见图 1 表 2。

表 2中塌岸段编号与表 1和图 1中的编号对应;岸坡结构及坡形分类参见文献 [3];塌岸高度和宽度分别指江水位线与岸坡坡面线交点至塌岸后缘边界的水平距离和垂直距离。

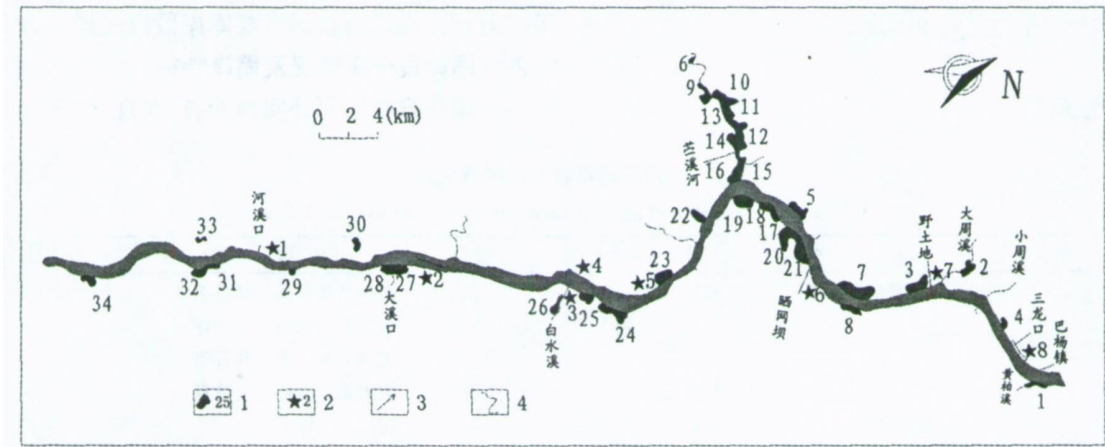


图 1 万州区库岸塌岸调查段分布图

Fig 1 The distribution map of reservoir bank collapse with geological survey in Wanzhou

1- 拟规划防治库岸段及编号; 2- 拟规划防治库岸段之外塌岸段及编号; 3- 长江流向; 4- 长江小支流及冲沟

表 2 万州区库岸塌岸现状特征表

Table 2 The properties relating to existing state of reservoir bank collapse occurred in Wanzhou

塌岸段编号	岸坡结构及岩性	塌岸形态特征及规模					塌岸量 (m ³)
		坡形	塌岸高度 (m)	塌岸宽度 (m)	塌岸后缘 高程 (m)	沿江长 (m)	
34	土质岸坡; 褐黄色砂质粘土, 稍密	凹型	1.5	0.3~1.5	140~141	50	80
29	土质岸坡; 黄褐色粉质粘土, 稍密	直线型	5	5	144	45	527
19	土质岸坡; 灰褐色粉质粘土, 较密	直线型	1.0	0.5~1	140	15	15
18	土质岸坡; 表层为砂石、混凝土块等人工堆积物, 其下为灰褐色粉质粘土, 稍密	凹型	0.3	11	139.3	60	198
17	岩质岸坡; 紫红色强风化泥岩	凸型	4	3	143	100	667
21	土质岸坡; 黄褐色细砂土, 稍密	直线型	4	3	143	20	150
7	土质岸坡; 黄褐-灰褐色细砂、粉细砂, 稍密	凸型	3~4	3~5	143	200	1 060
3	土质岸坡; 灰褐色砂质粘土, 较密	凸型	1.7~2	3~4	141	25	22
4	土质岸坡; 黄褐色细砂、砂质粘土, 较密	直线型	3~5	4~5	142~144	300	1 500
★1	土质岸坡; 黄褐色细砂、砂质粘土, 稍密	直线型	10~12	4~7	151	2 200	58 960
★2	土质岸坡; 黄褐色细砂、砂质粘土, 较密	直线型	7	6	146	44	875
★3	土质岸坡; 黄褐色细砂、砂质粘土, 较密	直线型	3	4~5	142	225	2 160
★4	土质岸坡; 黄褐色细砂、砂质粘土, 较密	直线型	8~9	5~6	147~148	720	10 062
★5	岩质岸坡; 强风化薄层紫红色泥岩与灰白色泥质粉砂岩互层	凸型	4	1.5	143	20	120
★6	土质岸坡; 灰黄-黄褐色细砂、粉细砂, 稍密	直线型	5~9	6~10	144~148	1 100	18 667
★7	土质岸坡; 灰黄-黄褐色细砂、粉细砂, 稍密	直线型	3	12	142	46	727
★8	土质岸坡; 灰褐色细砂、砂质粘土, 较密	直线型	3~6	8~12	142~145	100	2 205

从表 2 可以看出, 现状 139 m 蓄水位下发生显著塌岸的 17 段库岸中, 由灰黄色 - 黄褐色粉质粘土、粉细砂、细砂等组成的土质库岸占绝大多数, 有 15 段, 沿江分布长度共计 5 150 m; 岩质库岸塌岸仅两段, 且均由强风化紫红色泥岩构成, 沿江分布长共计 120 m; 塌岸的后缘高程一般均 < 150 m, 仅塌岸规模最大的 ★1 岸段达 151 m。发生塌岸的土质岸坡中, 塌岸宽度一般 3~5 m, 最小 0.3~0.5 m, 最宽可达 11~12 m, 塌岸高度一般 3~7 m, 最小 0.3 m, 最大可达 10~12 m, 尤以构成长江一级阶地物质的黄褐色细砂、砂质粘土类库岸塌岸最为严重, 如 ★1、★6、★4 等土质库岸。发生塌岸的岩质库岸塌岸规模较之土质库岸相对要小, 塌岸宽度一般 < 3 m, 塌岸高度一般 4 m。据塌岸的现状调查还可知, 万州老城区分布的芭溪河沿岸库岸段, 由于三峡二期地质灾害防治工程及城市建设库岸防护工程的实施, 目前基本无塌岸发生。

2.3 发现的塌岸类型及特点

现状水位下发生塌岸的库岸按其岩土物质组成的不同, 可分为土质库岸和岩质库岸两大类。土质库岸因土体强度、抗冲刷能力等较之岩质库岸相对较小, 其塌岸规模一般比岩质库岸塌岸规模大, 在土质库岸中发现的塌岸类型也较岩质库岸多。按照库岸发生塌岸的变形破坏特征, 进一步可将本次塌岸现状调查发现的土质库岸塌岸类型概括为: 冲磨蚀型、坍塌后退型、冲刷浪坎型、滑移型四种类型^[4]; 岩质库岸塌岸只有软化崩解这一种类型。在 2.2 节所述现状 139 m 蓄水位下发生显著塌岸的 17 段库岸中, 产生冲磨蚀型塌岸的有 18 3 号库岸; 坍塌后退型塌岸的有 34 29 19 21 7 ★1 ★3 ★4 ★7 号库岸; 冲刷浪坎型塌岸的有 ★2 ★6 ★8 号库岸; 4 号库岸大部产生滑移型塌岸, 但局部还有冲磨蚀型塌岸发生; 17 ★5 号库岸塌岸为泥岩软化崩解型。下面将各种塌岸类型的发生条件及基本特点简述如下。

1. 冲磨蚀型

岸坡表层土体在库水、风浪等的长期侵蚀、磨蚀下被水流运移带走, 从而引起的岸坡缓慢后退。此种塌岸类型一般发生在地形坡度较缓的土质岸坡, 以及岩质岸坡上部的残坡积层和强风化带中, 再造具有缓慢性及持久性, 岸坡形态改变程度小, 塌岸规模一般较小 (图 2)。万州区大部分以粉质粘土和粉

质粘土混碎石为主的库岸均有冲磨蚀型塌岸发生, 只是规模程度大小各不相同。值得一提的是, 万州主城区大部分库岸 (如鞍子坝库岸等) 在 150 m 高程以下直至江边, 均做了干砌条石、浆砌砼预制块等护岸工程, 有效防止了这些库岸段此类塌岸的大规模发生。此外, 有些岸段在水位变动带附近保留有移民搬迁砍伐树木后残余的树根, 对抵抗岸坡的冲磨蚀型塌岸破坏起有利作用。

2. 坍塌后退型

岸坡在水流波浪的冲刷、侧蚀作用下, 坡脚首先被软化并进而掏蚀成凹槽状空腔, 岸坡上部土体失去支撑发生下错、倾倒, 在水流的进一步作用下逐渐解体, 坍塌后退型塌岸是此次万州区塌岸现状调查发现的塌岸规模最大, 分布岸线最长的一种塌岸类型。

3. 冲刷浪坎型

库岸受水流冲刷、浪蚀作用, 岸坡土体自水边开始产生高差较小的破坏, 随着水位及波浪的下移, 又会对下级土体产生类似破坏, 随着破坏的不断扩展, 引发上部土体小范围崩塌, 最终岸坡形态表现为坎阶型。这种塌岸破坏高度与风浪爬高以及汛枯季水位变动带间有较明显的对应关系, 若某一水位持续时间较长且风浪作用又较强, 则仍会造成岸坡上部土体较大规模的坍塌, 塌落物质还会掩盖在下一级坎阶上 (图 5)。此类型塌岸主要发生在前缘坡度较陡的以粉细砂、细砂、砂质粘土为主的土质库岸。当库岸主要由长江二级阶地上部粉细砂层构成, 且 139 m 库水位也正好作用于该层位时则较易发生此种塌岸。

4. 滑移型

该种类型塌岸主要是指在库水、地下水、自重以及其他因素的作用下, 岸坡土体沿某一软弱结构面 (带) 而产生一定规模的滑移变形破坏现象。主要发生在地形较陡且下伏基岩面较陡的土质岸坡、含有软弱夹层并切脚的顺向岩质岸坡段及地形较陡的老滑坡地段。据野外塌岸现场调查可知, 万州区此类型塌岸主要发生在地形较陡的碎块石岸坡以及原滑坡堆积岸坡, 滑移型塌岸发生后, 岸坡后缘呈弧形



图 2 大周库岸段冲磨蚀型塌岸

Fig 2 Abrasion occurred in Dazhou bank



图 5 ★8库岸段冲刷浪坎型塌岸

Fig 5 Step shape by way of scouring effect occurred in ★8 bank



图 3 ★7库岸段坍塌后退型塌岸

Fig 3 Collapse and recession occurred in ★7 bank



图 6 小周库岸段滑移型塌岸

Fig 6 Bank slope slide in Xiaozhou bank



图 4 长坪乡库岸段坍塌后退型塌岸前缘浪蚀空腔

Fig 4 Abrasion cavity in the toe of bank slope in Changping town bank



图 7 ★5库岸段强风化泥岩软化崩解型塌岸

Fig 7 Strong weathering mudstone being softened and disintegrated through alternation of wetting and drying caused by water up and down in ★5 bank

或圈椅状(图 6)。目前发生此类型塌岸的岸段也比较少, 可以说在初期蓄水前及时完成的三峡库区二期滑坡崩塌等地质灾害治理工程功不可没, 也充分说明库区二期地质灾害防治取得了较好的治理效果。

5. (泥岩) 软化崩解型

此塌岸类型主要发生在坡度较陡的紫红色强风化泥岩岸坡中。塌岸破坏主要表现为: 在水位变动及风浪的作用下, 紫红色强风化泥岩受干湿交替变化、风浪冲刷发生软化崩解, 从而致使岸坡发生解体破坏(图 7)。在本次塌岸调查中发现的该种塌岸一般规模都较小, 发生的库岸段也较少。

2. 4 调查统计的塌岸预测参数

现阶段, 预测水库塌岸或水库边岸再造范围和规模的方法一般有: 类比图解法、卡丘金法、佐洛塔廖夫法等^[5]。在这些塌岸预测方法中, 常用到的塌岸预测参数主要有水下稳定坡角、水位变幅带坡角和水上稳定坡角, 为便于今后进一步的塌岸范围预测工作, 此次塌岸现状调查还在野外实地测量统计了相应的各塌岸预测参数, 如表 3 所示。

从表 3 可以看出, 第四系松散堆积物岸坡的各塌岸预测参数均小于岩质岸坡的塌岸预测参数, 强风化泥岩的小于强风化砂岩的, 可见各类岩土性质、强度和抗冲刷性能对塌岸的变形破坏发展起控制作用, 并决定了最终塌岸平衡剖面的形成。

表 3 各类岩土岸坡塌岸预测参数野外实测统计值

Table 3 The parameters measured in field to predict soil or rock bank collapse and recession

地层岩性	水下稳定坡角 (°)	水位变幅带坡角 (°)	水上稳定坡角 (°)
粘土、粉质粘土含细砂 (Q ^{al+pl})	11° ~ 16°	13° ~ 16°	22° ~ 26°
碎石质粘土 (Q ^{al+pl})	12° ~ 14°	14° ~ 16°	25° ~ 28°
碎石土 (Q ^{el+dl})	15° ~ 18°	16° ~ 18°	26° ~ 32°
碎块石土 (Q ^{el+dl} 、Q ^{del} 、Q ^{ml})	14° ~ 18°	14° ~ 18°	28° ~ 32°
强风化砂岩 (J _{2s})	24° ~ 38°	28° ~ 32°	50° ~ 55°
强风化泥岩 (J _{2s})	——	16° ~ 18°	32° ~ 40°
泥灰岩、灰岩 (T _{2b})	——	26° ~ 32°	35° ~ 42°
强风化泥岩、泥质粉砂岩 (T _{2b})	——	28° ~ 30°	30° ~ 45°

3 结语

水库塌岸的实质, 是库岸土体在河流水文动态发生变化, 并在波浪对岸壁的冲刷、掏蚀等作用下, 改变了它的物理、力学及水理性质, 使其失去原有的稳定平衡条件, 进而发生坍塌、滑移等变形并逐渐形成水下浅滩的地质过程^[6]。只有查清了塌岸段工程地质条件, 摸清各种塌岸类型的产生条件和变形破坏特点, 才能使塌岸预测和防治工作有的放矢的进行。正因如此, 本次塌岸现状调查研究不但对万州区塌岸预测防治工作提供了地质基础, 还可为库区其他地区的塌岸调查防治工作提供良好借鉴。

参考文献 (Reference)

[1] Changjiang Water Resources Commission of Ministry of Water Resources P. R. C. The planning outline on the prevention of reservoir bank collapse occurring to the town and city in Three Gorges Reservoir area[R]. 2001. [水利部长江水利委员会. 长江三峡库区城镇塌岸处理规划工作大纲[R]. 2001.]

[2] The Ministry of Land and Resources P. R. C. The General Planning on Prevention and Control of the Geological Hazards in the Area of Three Gorges Reservoir [R]. Beijing 2001. [国土资源部. 三峡库区地质灾害防治总体规划[R]. 北京: 2001.]

[3] Command of Geologic Hazard Control in the Area of Three Gorges Reservoir: The technical requirements of geological survey applying to preventing landslide and reservoir bank collapse project in TGR area[R]. 2002. [三峡库区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区崩塌滑坡与塌岸地质灾害防治工程地质勘查技术要求[R]. 2004.]

[4] Liu Hongxing, Xia jinwu. Main deformation failure patterns of bank slope in the middle-lower stream of the Yangtze river and counter-measures[J]. Yangtze River, 2002, 33(6): 8~ 10 [刘红星、夏金梧. 长江中下游岸坡变形破坏的主要型式及处理[J]. 人民长江, 2002, 33(6): 8~ 10]

[5] Tang Huiming. Study on reservoir bank collapse and its engineering protection in the Three Gorges Project[J]. Journal of Ezhou University, 2003 10(4): 1~ 6 [唐辉明. 长江三峡工程水库塌岸研究[J]. 鄂州大学学报, 2003 10(4): 1~ 6]

[6] Institute of Geology Study, Chinese Academy of Sciences. Water Resources and Hydroelectric Engineering Geology [M]. Beijing Science Press 1974. 423~ 424 [中科院地质研究所. 水利水电工程地质[M]. 北京: 科学出版社, 1974. 423~ 424]

The Geological Survey on Existing State of Reservoir Bank Collapse Occurred in Wanzhou Chongqing

JI Fen¹, GE Hua¹, LU Hanchao¹, WANG Xuwu²

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059, China;

2. The Highway & Water Carriage Quality Monitoring Station of Sichuan Provincial Communications Department, Chengdu 610041, China)

Abstract Reservoir bank collapse is an import geological problem which should have an effect on Three Gorges Reservoir Project. The geological engineering conditions of bank being collapsed are obtained clearly and the styles and properties of various reservoir bank collapse are generalized through geological survey on existing state of reservoir bank collapse occurred in Wanzhou, Chongqing. Furthermore, we investigated and measured the relational parameters to predict soil or rock bank collapse and recession in field. All of this work can not only give a geological foundation for the prediction and prevention of reservoir bank collapse in Wanzhou region, Chongqing but also offer good reference to the survey and prevention about reservoir bank collapse in other reservoir area.

Key words engineering geology, the Area of Three Gorges Reservoir, geological survey on reservoir bank collapse, Wanzhou Region, Chongqing