

福建水口水电站库区的塌岸问题^{*}

林 军

(福建省地质工程勘察院 福建福州 350002)

提 要 从环境地质角度, 对水口库区的塌岸问题, 即库岸再造现象进行监测研究, 并对塌岸发展的最终宽度、稳定时间历程进行预测, 为水电工程移民安置、库区开发建设提供借鉴。

关键词 水库塌岸 监测预测 福建水口

分类号 《中图法》TV697.2, TV632.57 **文献标识码** A

1 水库塌岸现状

福建水口水电站是我国华东地区最大的常规水电站, 总装机容量 140 万 KW。水库位于闽江干流中段, 淹没影响涉及延平、古田、尤溪、闽清四县(区)的 16 个乡镇, 89 个行政村。水库正常蓄水位高 65 m, 所围成的库区周边长 712.54 km, 7.4 万移民安置村镇大都分布于库周沿岸, 安置点库岸长 65.82 km, 以土质岸坡为主。水库从 1993 年蓄水至 1997 年末近 5 年中比较突出的坍塌岸段共 72 处, 累计长达 70.59 km, 占库区周边长的 9.91%, 主要分布于移民村镇库水波浪作用较强的土质岸坡段。这些移民安置村镇建筑物及公共设施大多紧临库周, 中间未预留足够宽的安全地带, 水库蓄水之后, 由于地形和地质因素, 导致不少地段塌岸速度快, 严重威胁着库区移民的生命财产安全和正常的生产、生活秩序。水口库区每年因塌岸造成的直接和间接经济损失可达数千万元。

2 典型再造岸段塌岸监测

2.1 塌岸监测及成果处理

为了确定水口库区自 1993 年蓄水以来的塌岸速率及变化影响因素, 我们在水口库区进行塌岸现状调查的同时, 选择了库区干流上、中、下游和支流有代表性的典型再造岸段共 12 处进行塌岸侵蚀宽度监测。监测时间从 1997 年 3 月份开始, 到 1998 年 2 月份结束, 历时一个水文年。根据一年来不同时间的观测结果, 绘制库区各典型再造岸段的塌岸累计侵蚀宽度历时曲线, 并附库水位升降历时曲线, 以便进行塌岸发展的趋势分析, (见图 1)。

图 1 中可以发现, 3~7 月份为丰水期, 库水位运行相对较低变化剧烈, 变幅达 ± 7.0 m, 库区各再造岸段塌岸历时曲线纷纷上扬, 表明岸坡变形处于相对活跃时段; 8~10 月份为平水期, 水库处于相对高水位在高程 62 m~64 m 间运行, 变幅较小, 塌岸历时曲线平缓, 表明岸坡变形处于相对平静时段; 11 月至翌年 2 月为枯水期, 水库从高水位运行开始逐渐回落, 变幅增大, 库区各再造岸段塌岸历时曲线重又出现上翘, 表明该时段岸坡变形继续向纵深方向发展。同时还可发现, 水口水库蓄水 5 年以来塌岸累计

^{*} 基金项目: 国土资源部与福建省政府共同资助项目(福建闽江水口水电站库区岸带环境地质研究)部分成果, 承蒙徐书勇教授高工指导, 特此致谢。参加本项工作的还有康一致、邓鼎兴、施文耀等同志, 在此一并致谢。

侵蚀宽度小于5.0 m的再造岸段,岸坡变形的塌岸速率目前仍处于匀速或减速度发展状态,塌岸速率监测值为0.21 m/a~0.92 m/a;塌岸累计侵蚀宽度在5.0 m~15.0 m间的再造岸段,岸坡变形的塌岸速率大多数处于加速度发展状态。监测岸坡塌岸速率最快的位于水库中下游的旧栽洋桃园,累计塌岸侵蚀宽度为11.20 m,1993~1997年平均塌岸速率为2.24m/a,目前塌岸速率监测值为3.70 m/a。黄田铁路桥西侧再造岸段,塌岸累计侵蚀宽度为17.29 m,1993~1997年平均塌岸速率为3.46 m/a,目前塌岸速率监测值为1.29 m/a,处于减速度变形发展状态。

2.2 塌岸影响因素分析

2.2.1 波浪作用强度

引起波浪的最主要因素是风,风作用于水面引起的压力差和风与水面的摩擦力迫使水面波动。风浪的规模与一定方向的风速 $W(m/s)$,风的作用时间 $t(h)$ 和风在水面的吹程 $D(km)$ 有关。这就是为什么樟湖库区、黄田库区塌岸发育的原因。那里库面水域开阔,有利于风浪的形成和作用,且岸线方向与本区次多风向近垂直,此外迎风岸较背风岸塌岸明显发育。

2.2.2 波浪作用范围

水口水库运行水位,最高为正常蓄水位高程65 m,最低为死水位高程55 m,两水位间地带是波浪作用的主要范围。波浪作用强度与波高有关,上述水库运行最高、最低水位时的波浪所及高度和深度处也同样受到波浪营力的影响。因此波浪的作用范围,应包括水库正常蓄水位高程>65 m波浪爬升的高度(hB)和死水位高程<55 m波浪荡及的极限深度(hp)。

2.2.3 库水位变化幅度

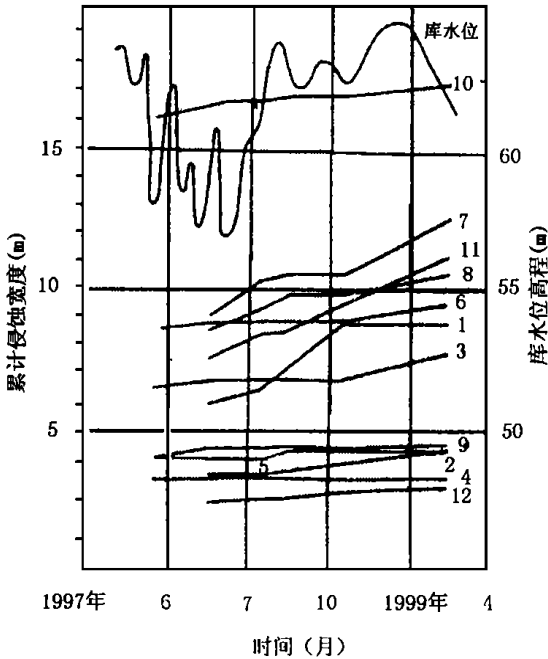
水库运用水位的变化及各种水位的持续时间,对库周塌岸影响极大。高水位时形成的浅滩,水位下降时就会受到破坏。若水位变幅不大,有利于浅滩的形成;水位变幅较大,浅滩不稳定,塌岸速度加快,并使最终塌岸的范围扩大。

2.2.4 岸坡岩土体类型

组成岸坡岩土体的类型、性质和抗冲刷能力,是决定水库塌岸速率和宽度的主要因素。坚硬较坚硬岩质岸坡,抗冲蚀能力很强,库周塌岸微弱;而那些遇水易软化、崩解的砂性土岸坡、粘性土岸坡,抗冲蚀能力很差,因而塌岸速率较快,稳定坡度较小,塌岸最终宽度较大。水口库区上、中、下游及支流代表性岸段的土体物理力学性质和湿化崩解试验成果,详见表1。说明库区干流夏道、斜溪、樟湖、黄田、旧栽洋和湾口一带的残积土、冲洪积土、素填土湿化崩解率在36.5%~100%之间,有利于库岸再造现象的发育;而库区支流西芹、西滨一带的残积粘土不易崩解,库岸再造发育的规模、程度相对较弱。

2.2.5 地形地貌因素

地形起伏、相对高度、沟谷切割状况,对塌岸的速度、宽度和塌岸后岸坡的外形影响较大。岸线形态弯曲,有利于塌岸,并加快塌岸的速度。凸岸受冲蚀比凹岸重,塌岸速度快。岸坡高度大,塌岸宽,但速度小。陡坡地段塌岸强烈,范围也相应较大。若岸坡坡度与库区天然稳定冲刷坡角相近,则不会发生塌



1. 夏道小坞桥西 2. 夏道洋坑码头 3. 南溪码头西
4. 南溪南水宫 5. 西滨尤四中 6. 樟湖第一机砖厂
7. 樟湖机砖厂接线路 8. 樟湖胡厝栏 9. 樟湖旱田峡
10. 黄田铁路桥西 11. 旧栽洋桃园 12. 旧栽洋龙王坑口

图1 典型再造岸段塌岸侵蚀宽度历时曲线图

Fig.1 Curve of erosional width variation of typical bank collapse

岸或很轻微, 这就是许多平缓土质岸坡稳定的原因。

表 1 水口库区代表性岸段土体物理力学性质一览表

Table 1 Physical and mechanical indexes of representative soils in Shuikou Reservoir

库 段		岩 性	控 制 粒 径 (mm)	不均 匀 系 数	自 然 密 度 (g/cm ³)	自 然 含 水 量 (%)	饱和度 (%)	饱和快剪		湿化崩解试验	
								内摩 擦角	凝聚力 (kPa)	经过时间 (min)	崩解率 (%)
上 游	夏 道 斜 溪	残积粉质粘土	0.0205	12.81	1.44	14.85	35.0	25	13	3.5	95.5
		残积砂砾质粉土	0.2500	111.11	1.69	18.06	55.1	25	21	1440	36.5
		冲洪积粉土	0.0255	> 25.50	1.51	23.74	53.1	28.5	17	1.5	93.8
中 游	樟 湖	残积粉质粘土	0.1030	33.23	1.40	18.53	38.7	24	13	4.0	94.7
		砂土素填土	0.2550	75.00	1.65	19.87	56.5	33	14	2.0	100
中 下 游	黄 田	残积砂质粉土	0.2750	45.83	1.67	29.12	73.2	26.5	11	1.5	95.45
	旧莪洋	残积粉质粘土	0.0350	> 35.00	1.69	25.01	68.8	28	12	120	72.73
	湾 口	残积粉质粘土	0.0180	> 18.50	1.54	28.93	61.7	25	18	3.0	94.4
支 流	西 芹 (西溪)	残积粉质粘土	0.0280	> 28.00	1.75	24.96	71.5	31	14	1440	0
	西 滨 (尤溪)	残积粉质粘土	0.0350	> 35.00	1.40	20.18	41.2			1440	0

3 库区风浪波高推测

根据水口库区闽清站气象资料¹⁾只有在弄清塌岸过程影响因素的基础上, 才有可能正确分析水库塌岸的发展趋势, 作出较为可靠的预测。根据水口库区闽清站气象资料, 全年各月以静止无风为主, 并以 NW 方向为次多风向, 定时实测最大风速为 SWW 方向 17.0 m/s, 相当于 7~8 级风力, 参见表 2。

按照前苏联学者 B. P 安德列杨诺夫经验公式, 推算风浪波高 $h(m)$ 、波长 $l(m)$:

$$h = 0.0208 W^{5/4} \cdot D^{1/3} \tag{1}$$

$$l = 0.304 W \cdot D \tag{2}$$

式中 W 为风速(m/s), D 为风的吹程(km)。水口水库塌岸较发育的夏道、樟湖、黄田库区, 库面水域宽度, 一般 1.0 km~2.0 km, 考虑到风向与岸线有一夹角, 风在水面吹程可达 3.0 km。

表 2 水口库区闽清站风向风速统计表

Table 2 Statistics of wind direction and velocity of Mingqing Station in Suikou Reservoir

项 目	一 月	二 月	三 月	四 月	五 月	六 月	七 月	八 月	九 月	十 月	十 一 月	十 二 月	全 年
次多风向	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NNW	NW	NW	NW	NW	NW	NW
平均风速(m/s)	1.4	1.4	1.5	1.5	1.3	1.3	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4
最大风速(m/s)	14	9	11	11	10	14	14	12	17	9	10	10	17
相应风向	NW	W	SE	SEE	NNE	NW	E	NW NEE	SWW	SE	NW NNW	E	SWW

1) 林军, 康一致等. 福建闽江水口水电站库区岸带环境地质研究报告. 福建省地质工程勘察院, 1998—08.

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

计算结果, 水口库区全年各月对应的最大风速, 相应的风浪波高在 0.46 m ~ 1.04 m 间, 波长在 8.22 m ~ 15.51 m 范围之内。此外船舶的涌浪作用不可忽视, 码头岸段、近岸航道涌浪作用频繁, 塌岸发育, 实测波高 0.30 m ~ 0.60 m。

4 塌岸最终宽度预测

水库塌岸预测是根据水库周边地区的工程地质条件和水库运行水位变化情况, 在水库塌岸现状调查和典型再造岸段塌岸速率监测基础上, 定量估算水库的塌岸范围, 即塌岸最终宽度和稳定时间历程。

4.1 塌岸预测模型

4.1.1 预测岸坡的原始剖面

如图 2 所示, 原始岸坡坡角为 γ , 在剖面上标出水库正常蓄水位高程 $> 65\text{ m}$ 岸坡高度 h_s 。

4.1.2 预测水下岸坡

在死水位高程 55 m 线以下, 波浪荡及深度 h_p 处, 于原始岸坡上确定一点 M 。在正常蓄水位线以上, 波浪爬升高度 h_B 处, 画一条高程线, 然后由 M 点作一坡角为 α 的斜线与该高程线交于 N 点, 则 MN 斜线段为直接遭受波浪冲蚀作用的水下磨蚀岸坡, α 为水下磨蚀休止坡角。

4.1.3 预测水上岸坡

由 N 点向上作一剖面线, 其坡角 β 相当于水上岸坡岩土体的天然稳定斜坡坡角, 可用类比法或土力学计算法确定。

完成上述步骤后, 即可由图上直接量得预测岸坡塌岸的最终宽度, 也可采用下列由几何关系确定的均质岸坡塌岸预测公式进行推算

$$S = N[(A + h_p + h_B)\text{ctg}\gamma + (h_s - h_B)\text{ctg}\beta - (A + h_p)\text{ctg}\gamma] \tag{3}$$

式中 S 为塌岸最终宽度(m); N 为折减系数, 与土颗粒大小有关, 粘土取 1.0, 砂土取 0.5; A 为库水位涨落幅度(m), 水口库区为 10 m; h_p 为波浪荡及深度(m), 相当于 1.0 ~ 2.0 倍波高; h_B 为波浪爬升高度(m), 采用 0.3 ~ 0.5 倍波高, 粘土取小值, 砂砾石取大值; α 为浅滩冲刷后水下稳定休止坡角; h_s 为正常蓄水位以上坡高(m); β 为预测岸坡的水上稳定坡角; γ 为原始岸坡坡角。

4.2 典型再造岸段预测

仍选择库区上、中、下游及支流, 有代表性的典型再造岸段共 12 处, 进行塌岸最终宽度和稳定时间历程方面的预测。

前已述及, 水口库区库水位涨落幅度 A 为 10 m, 各月最大风浪的波高推测值在 0.46 m ~ 1.04 m 之间, 涌浪实测值为 0.30 m ~ 0.60 m, 采用最大波高值 1.04 m。波浪爬升高度 h_B 取 0.5 倍波高, 即 0.52 m; 波浪荡及深度 h_p 取 1.0 倍波高, 即 1.04 m。原始岸坡坡角 γ 、坡高 h_s 、水下稳定休止坡角 α 、水上稳定坡角 β , 基本依据各岸段野外实测值。折减系数 N , 残积粘土取 1.0、砂质粘土取 0.8、冲洪积粉土取 0.7、强风化岩土取 0.5。平均塌岸速率, 按 1993 ~ 1997 年累计塌岸侵蚀宽度监测成果确定。各岸段塌岸最终宽度、稳定时间历程预测参数及结果, 详见表 3。

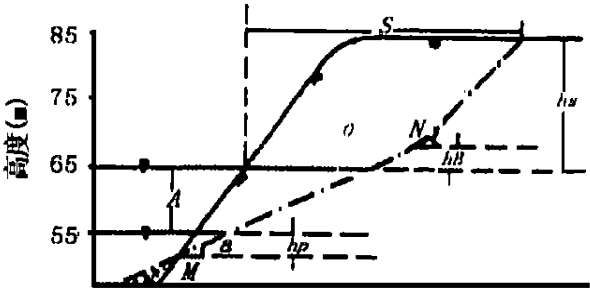


图 2 水口库区塌岸最终宽度预测模型示意图
Fig. 2 Diagram the final width of bank collapse developing in Shuikou Reservoir

表 3 典型再造岸段塌岸最终宽度预测参数结果一览表

Table3 Forecast results final width of typical bank collapse

岸 段 位 置		岸 坡 岩 性	原 始 坡 角 $\gamma(^{\circ})$	坡 高 hs/m	浪高 hB/m	浪深 hp/m	水下稳定坡角 $\alpha(^{\circ})$	水上稳定坡角 $\beta(^{\circ})$	折 减 数 N	塌岸最 终宽度 S/m	1993 \ 1997 年平均塌岸 速率(m/a)	稳定时 间历程 (a)
上 游	夏道小鸠桥西	冲洪积含砾粉土	40	7.0	0.52	1.0	10	40	0.7	41.98	1.76	23.85
	夏道洋坑码头	残积含砂粘土	45	10.0	0.52	1.0	12	40	0.9	49.05	0.88	55.73
中 游	南溪码头西	砂土素填土	35	10.0	0.52	1.0	12	30	0.6	32.95	1.56	21.22
	南溪南水宫	残积粉质粘土	30	2.0	0.52	1.0	15	30	1.0	26.51	0.69	38.42
	樟湖第一机砖厂	残积砂质粘土	40	7.0	0.52	1.0	15	35	0.8	31.31	1.90	16.48
	樟湖机砖厂接线路	残积砂质粘土	45	10.0	0.52	1.0	15	35	0.8	36.43	2.51	14.52
	樟湖胡厝栏	残积粉质粘土	50	15.0	0.52	1.0	15	40	1.0	51.03	2.13	23.96
	樟湖旱田峡	残积砂质粘土	40	8.0	0.52	1.0	12	35	0.8	41.41	0.91	45.50
中 下 游 支 流	黄田铁路桥西	残积砂质粉土	45	15.0	0.52	1.0	10	35	0.8	60.0	3.46	17.34
	旧莪洋桃园	残积粉质粘土	35	20.0	0.52	1.0	15	40	1.0	50.51	2.24	22.55
	旧莪洋龙王坑口	表部残积粉土 强 风化碎斑熔岩	30	3.0	0.52	1.0	20	50	0.5	7.31	0.62	11.80
	西滨尤四中	残积粉质粘土, 底部强风化砂岩	35	15.0	0.52	1.0	20	40	1.0	33.20	0.88	37.72

预测结果显示,库区上游夏道小鸠、洋坑一带塌岸最终宽度为 41.98 m~49.05 m,岸坡稳定时间历程 23.85 a~55.73 a(从 1993 年起算,下同);库区中上游南溪岸带,塌岸最终宽度为 26.51 m~32.95 m,岸坡稳定时间历程 21.12 a~38.42 a;库区中游樟湖岸带塌岸最终宽度为 31.31 m~51.03 m,岸坡稳定时间历程为 14.52 a~45.50 a;库区中下游黄田、旧莪洋桃园一带,塌岸最终宽度为 50.51 m~60.0 m,稳定时间历程为 17.34 a~22.55 a。旧莪洋龙王坑口强风化岩土,塌岸最终宽度可达 7.31 m,稳定时间历程为 11.80 a。支流西滨尤四中段,塌岸最终宽度为 33.20 m,稳定时间历程为 37.72 a。

5 结 论

典型库岸再造监测表明,3~7 月份丰水期,岸坡变形相对活跃;8~10 月份平水期,岸坡变形相对平静,11 月至翌年 2 月枯水期,岸坡变形继续发展。同时发现,塌岸累计侵蚀宽度<5.0 m 的岸段,塌岸速率呈匀速或减速度状态,塌岸累计侵蚀宽度在 5.0 m~15.0 m 之间的岸坡,塌岸速率大多呈加速度状态。预测结果说明,塌岸最终宽度最大值为 60.0 m,位于中下游黄田铁路桥西侧库岸段,稳定时间历程最长的为 55.73 a,位于上游夏道洋坑码头一带。平均塌岸速率,中下游段普遍大于上游及支流段;稳定时间历程,中下游段相对较短,而上游及支流段普遍偏长。

综上所述,水库塌岸无论从现状的塌岸范围、塌岸量、塌岸速率分析,还是从趋势发展的塌岸最终宽度、稳定时间历程预测,都说明库岸再造问题,对库区沿岸移民村镇、岸坡稳定和水库淤积等方面影响危害巨大。从可持续发展角度,沿岸移民村镇、农田果园、经济林地和规划区的土质岸坡,尤其是坡角 30° 以上的均应考虑库周防护措施。

参 考 文 献

- [1] 胡广韬, 杨文元. 工程地质学. 北京: 地质出版社, 1984, 291 ~ 311
- [2] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理. 北京: 地质出版社, 1994, 552 ~ 574
- [3] 欧正东. 环境地质学的理论与应用研究. 成都: 成都科技大学出版社, 1994, 1 ~ 112

作者简介 林军(1964—), 男, 工程师, 毕业于长春科技大学(原长春地质学院)水工系, 从事水文、工程、环境地质方面生产科研工作, 参加完成三项地矿部科研计划项目, 主编一部研究专著, 参与编写二部专著, 发表论文数篇。

THE PROBLEM OF RESERVOIR BANK COLLAPSE OF FUJIAN SHUIKOU ELECTRIC STATION

LIN Jun

(*Fujian Institute of Geological Engineering Exploration, Fuzhou 350002*)

Abstract Formerly, much more attention has been paid to the dam site than the reservoir area in geological study of hydroelectric project. The paper analysed and forecasted the monitoring results of reservoir bank collapse of Fujian Shuikou hydroelectric station, according to the environmental geological conditions, and also, calculated the developing greatest width and the time duration. It is used for reference of the migration and reservoir area construction. For reservoir bank collapse, whether analysis of the present erosional width, amount and velocity, or forecast of the developing greatest width and the time duration, make known its evolution and endangering degrees, on the reservoir area construction, slope stability and reservoir siltation. The towns and villages around the reservoir, farmland and orchard, economic woodland and soil slope programed, should proceed to the reservoir bank protection in a planned way, for serving sustainable developing.

Key words Reservoir bank collapse, monitor and forecast, Fujian Shuikou