

# 小盘河水库库区黄土塌岸分析预测及库岸稳定性评价

周延国 吴国宏 杨金林

(岩土工程事业部地质工程院)

**[摘要]** 塌岸现象是影响黄土地区水库环境地质的重要问题之一。针对陇东黄土高原东部的小盘河水库工程库区黄土塌岸问题,通过总结黄土地区塌岸的形成过程和塌岸的具体表现形式,分析了黄土地区黄土岸坡塌岸机制。文章阐述了塌岸预测的目的、分析了影响库岸边坡稳定性的主要因素、采用卡丘金公式及图解法对水库塌岸宽度进行了预测。根据塌岸预测最终宽度,对水库库岸分类分段进行了稳定性评价,为水库淤积处理、工程移民安置、库区开发建设提供了借鉴。

**[关键词]** 黄土 塌岸 机制分析 预测 稳定性评价

## 1 引言

塌岸问题是水库区主要环境地质与工程地质问题之一,水库塌岸对水库工程影响重大,尤其是在黄土大片覆盖的黄河流域中游地区,黄土塌岸直接影响着水库正常运行、移民安置、库区生态环境治理、交通通讯等工程和设施的安全。通过黄土岸坡塌岸破坏机制分析,研究塌岸主要影响因素及参数的敏感性,采用预测评价方法对岸坡塌岸宽度进行预测,为改善库区生态环境及库区塌岸防护提供技术支持,具有重要的科学意义。

## 2 基本地质条件

小盘河水库工程位于泾河的一级支流蒲河下游,下距蒲河与泾河汇合口约14 km,距离庆阳市约50 km。小盘河水库工程总库容约3311万 $m^3$ ,属于中型水库,正常蓄水位982 m,水库大坝最大坝高约40 m,拟采用混凝土重力坝和均质土坝的组合坝型。

工程区位于陇东黄土高原东部,在地貌单元上属黄土高原沟壑区。区内沟谷密布,岸坡陡立,地形连绵起伏。黄土塬、梁、峁等黄土地貌形态交错分布。除河道岸坡局部有基岩裸露外,大部分为第四系黄土所覆盖,上覆土层厚度100~300 m。自然边坡:黄土 $30^\circ\sim 50^\circ$ ,基岩 $50^\circ\sim 80^\circ$ ,河谷表现为“U”型不对称谷。

根据甘肃省区域地质志,本区地层分区属于陇东区庆阳小区。区域内主要出露白垩系下统( $K_1$ )泥灰岩、砂质泥岩、砂岩和第四系地层。

### (1) 白垩系下统泾川组( $K_{1j}$ )

该组地层为区内第四系地层的基底,岩性为青灰色泥灰岩、泥岩、灰黄色细~中砂状砂岩。岩层产状为 $5^\circ\sim 40^\circ/SE\angle 5^\circ\sim 20^\circ$ ,下坝址左坝肩岩层倾角局部大于 $10^\circ$ ,但小于 $20^\circ$ ,其余基岩出露部位岩层倾角均小于 $10^\circ$ ,较为平缓。

### (2) 第四系(Q)

第四系地层在坝址区分布较广泛,按其成因分述如下:

①第四系下更新统午城黄土( $Q_{1w}$ ):两岸均有分布,主要分布在泾川组基岩之上。岩性为褐黄色重粉质壤土局部含薄层褐红色粉质粘土,含有少量钙质结核,呈坚硬~硬塑状。

②第四系中更新统离石黄土( $Q_{2l}$ ):一般伏于 $Q_3$  m 马兰黄土层之下,呈灰褐色、灰色,均质,结构密实,孔洞不发育,新鲜面上可见有白色钙质斑点或丝状物分布,垂直裂隙较发育,一般含钙质结核,在库区陡壁底部有少量出露,底部发育不等厚度的砾石层。

③第四系上更新统马兰黄土( $Q_{3m}$ ):主要分布在黄土塬顶部。岩性主要为灰色、浅灰黄色粉质壤土,质地较均一、结构疏松,常具大孔隙及垂直节

**作者简介:**周延国(1980—),山东省聊城人,高级工程师,从事水利水电工程地质勘察工作。

理等。

④第四系全新统冲积物( $Q_4^{al}$ ):物质组成主要为浅黄色粉质壤土和砂砾石,厚度差别较大,5~15 m,分别堆积在沿线河床、漫滩、I级阶地。<sup>[1]</sup>

### 3 库岸类型分类

水库区基岩地层主要为白垩系泾川组( $K_{1j}$ )泥灰岩、砂质砂质泥岩夹灰黄色细~中砂状砂岩,地质构造不发育,基岩地层较平缓。区内午城和离石黄土分布广泛,一般覆盖于基岩之上。根据水库区地形地貌、地层结构与库水的组合关系,可分A类:基岩~黄土库岸和B类:黄土库岸两类。

A类基岩-黄土库岸:该类岸坡一般黄土覆盖于基岩之上,基岩岸坡坡度较陡,约 $50^\circ$ ,局部近直立;上部黄土岸坡坡度一般 $25^\circ\sim 40^\circ$ 。天然状态下岸坡稳定,蓄水后岸坡可能存在塌岸问题。根据基岩出露高程与正常蓄水位的关系可分为两类,A1类为基岩出露高程低于正常蓄水位,A2类为基岩出露高程高于正常蓄水位。

A1基岩-黄土库岸:基岩出露高程低于正常蓄水位,基岩岸坡较陡,约 $50^\circ$ ,局部近直立,岸坡稳定性较好。上部为午城或离石黄土,岸坡坡度一般 $30^\circ\sim 40^\circ$ 。该类岸坡的黄土受库水影响存在塌岸问题。该类岸坡约占水库库岸的4%。

A2基岩-黄土库岸:基岩出露高程高于正常蓄水位,岸坡稳定性较好。蓄水后库水直接冲刷基岩,黄土受库水位影响较小。基本不存在塌岸问题。该类岸坡约占水库库岸的53%。

B类:黄土库岸:库区分布广泛,左右岸均有分布。该类岸坡主要由黄土组成,蓄水后存在黄土塌岸问题,属不稳定岸坡。该类库岸约占水库库岸的43%。

## 4 库区塌岸影响因素分析以及塌岸预测方法

### 4.1 库区塌岸影响因素分析

水库塌岸作用的诱发及影响因素的作用强度和延续性的因素等是多种多样的。其中波浪的冲刷磨蚀能力与库岸岩土体的抗冲刷能力是决定塌岸作用发生发展的最本质因素。但在一定的自然条件下,塌岸作用的强度与延续性还跟许多间接因素有密切的关系。进行库岸稳定性评价,必须考虑与之相关的各种因素,真实而科学地评价库岸岸坡的稳定性状况。

### 4.2 库区塌岸预测方法

前苏联学者卡丘金通过对大量初期资料的研究,特别是塌岸中的速度与波高、岩性及岸高关系,提出了与波能、岩性及时间有关的岸坡塌岸速度计算经验公式(1)。卡丘金的方法考虑了塌岸后形成的浅滩并非全部为磨蚀的,其中一部分为由未被波浪搬运走的岸壁破坏产物中粗颗粒堆积形成,卡丘金通过该公式计算库岸的冲刷量,再根据冲刷量与堆积量的关系绘制库岸再造剖面<sup>[2]</sup>。后来人们根据其基本原理和方法提出了简化的卡丘金图解法,见图1。

本次选取长期预测的E. F.卡丘金公式法(图2)进行岸坡塌岸的初步预测评价,并结合工程类比,最终确定塌岸的宽度。

E. F.卡丘金计算公式如下:

$$S_t = N[(A+h_p+h_B)ctg\alpha + (H-h_B)ctg\beta - (B+h_p)ctg\gamma] \quad (1)$$

式中: $S_t$ —塌岸宽度(m);

$A$ —库水位变化幅度(m);

$H$ —正常蓄水位以上岸坡高度(m);

$\gamma$ —原始岸坡坡角(度);

$\alpha$ —水下浅滩坡角(度);

$\beta$ —水上稳定坡角(度);

$h_B$ —波浪爬高(m),取0.1~0.8倍浪高;

$h_p$ —波浪影响深度(m),相当于1~2倍浪高;

$B$ —正常高水位与最低水位之差(m);

$N$ —与组成岸边坡的土粒有关的系数, $N$ 值的大小是根据组成岸边坡的物质结构来确定的,对典型黄土来说,一般取1.0。

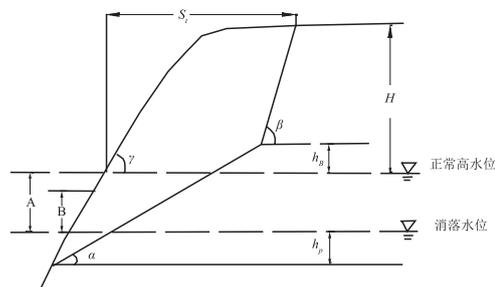


图1 卡秋金公式法的图解示意图

(1)水下浅滩稳定坡角 $\alpha$

水下浅滩坡角( $\alpha$ )的大小不仅与岩性有关,还与浪高有关。据E. F.卡丘金提出的不同种类滨海浅滩水下稳定坡角关系曲线图查得:粉土为 $2.0^\circ\sim 4.5^\circ$ ,粉质粘土 $3.5^\circ\sim 6.7^\circ$ ,半胶结粘土 $6^\circ\sim 8^\circ$ ,砂砾石层 $10^\circ\sim 25^\circ$ 。小盘河库区河流阶地堆积物主要

为 $Q_1$ 、 $Q_2$ 黄土,岩性以中、重粉质壤土为主,综合考虑地层特征,黄土水下稳定坡角取值如下:黄土 $\alpha$ 取 $6^\circ\sim 8^\circ$ 。

### (2)水上稳定坡角( $\beta$ )

水库区岸坡下部基岩稳定性较好,上部黄土,强度较高,自然坡度可达 $65^\circ$ 以上。据小浪底水库资料,黄土类粉土和粉质粘土 $\beta$ 为 $50^\circ\sim 60^\circ$ 。综合考虑库区黄土特征,参考小浪底水库塌岸资料,小盘河水库黄土 $\beta$ 取 $50^\circ\sim 60^\circ$ 。

根据上述黄土塌岸计算方法及参数选取标准,对库区规模较大、影响到村镇居民点、耕地果园的主要塌岸地段进行分析计算,据计算结果统计,水库区两岸塌岸总长度约3 km,总塌岸量约 $500\times 10^4\text{m}^3$ ,水库区塌岸主要集中在下坝址~刘家河的库首河段,其它库段塌岸零星分布。

## 5 库岸稳定性分段评价

依据库区地形地貌、岩土体工程地质特征、地质构造、岸坡结构类型等因素,结合水库塌岸分级、滑坡等变形破坏体的稳定性分析,可将水库区库岸分为不稳定库岸段、次稳定库岸段、基本稳定库岸段和稳定库岸段。

水库回水约16 km,水库蓄水后,在库水作用下,会发生一定库岸再造,通过对库区岸坡稳定性调查,根据地形地貌、岸坡地质结构等特征,可将库岸大体分为六段。

### (1)下坝址~下孟河段

该段河流弯曲,长约1300 m,河水面高程957 m~958.1 m,正常蓄水位982 m时,库水位升高23 m~24 m。水库左岸:上坝址轴线上游约300 m、下游约150 m范围属于黄土岸坡,岸坡类型为B类,为不稳定库岸段,计算塌岸宽度约130 m;下坝址上游约500 m范围库段岸坡类型属基岩-黄土库岸A2类,为稳定库岸;其余库段属基岩-黄土库岸A1类,为不稳定库岸。水库右岸:上坝址轴线上游约400 m、下游约200 m范围属于基岩-黄土岸坡,岸坡类型为A2类,为稳定库岸;其余库段属于黄土岸坡B类,正常蓄水位时塌岸较严重,塌岸宽度110 m~140 m,属于不稳定库段。

在水库运行过程中,该段为黄土塌岸的主要区域,也是库区固体径流物质的主要来源之一。

### (2)下孟—刘家河段

该段河流弯曲,长约2680 m,河水面高程为

958.1 m~962.3 m,正常蓄水位982 m时,库水位升高19 m~23 m。水库左岸:岸坡类型属于基岩-黄土性库岸A2类,库水对库岸影响较小,库岸稳定。水库右岸:岸坡类型属于黄土库岸B类,计算塌岸宽度50 m~90 m,属于不稳定库段。

### (3)刘家河—庄子洼段

该段长约1500 m,河水面高程为962.3 m~969.2 m,正常蓄水位982 m时,库水位升高11 m~19 m。该段库岸属于基岩-黄土性库岸A2类,水库蓄水对库岸影响较小,库岸稳定。

### (4)庄子洼—下河社段

该段长约1800 m,河水面高程为968.7 m~969.6 m,正常蓄水位982 m时,库水位升高11 m~12 m。该段右岸阶地发育,高出河水面3 m~8 m,正常蓄水位时,将被淹没。水库左岸:属于基岩-黄土性库岸A2类,库水对库岸影响较小,库岸稳定;水库右岸:属于黄土库岸B类,经计算,塌岸宽度小于10 m,属不稳定岸坡,但塌岸宽度较小。

### (5)下河社—小坪段

该段长5900 m,河谷呈“U”型,河流弯曲。该段河水面高程为969.8 m~979 m,正常蓄水位982 m时,库水位升高2 m~11 m,根据计算该段仅零星地段存在小规模轻微塌岸,对库岸影响较小,但该段浸没问题比较严重。

### (6)小坪—库尾

该段位于库尾,河谷呈“U”型,河谷宽度65 m~100 m。河水面高程为979 m~982 m,两岸阶地发育,阶地一般高出河水面8 m~10 m。正常蓄水位982 m时,库水位升高仅1~2 m,对库岸影响较小,仅零星地段存在小规模轻微塌岸,岸坡整体稳定性好,属稳定库岸。

总体来看,水库蓄水后,近坝段岸坡在库水及风浪作用下会形成库岸再造,对库容形成淤积,应加强排沙排淤措施。远坝段岸坡相对稳定,受水库影响相对较小。从环境地质角度,对塌岸发展的最终宽度、稳定时间历程进行预测,可为水库工程移民安置、库区开发建设提供了借鉴。

### 参考文献

- [1] 周延国,等.甘肃庆阳小盘河水库工程可行性研究阶段工程地质勘察报告[R].郑州:黄河勘测规划设计有限公司,2012.
- [2] 彭士标,等.水力发电工程地质手册[M].北京:中国水利水电出版社,2011.