

基于黄土及缓倾角岩层库岸的塌岸分析研究

谢承平 李文雅

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南郑州 450003

摘要: 通过详细分析库区地形地貌、库岸地层岩性和地质结构、以及水文地质条件; 对本库区库岸划分了典型的库岸结构类型。并根据不同的库岸结构类型, 主要采用卡丘金法和图解法, 对岸坡塌岸进行分析, 并结合库岸地质结构、根据塌岸宽度, 总体对库岸类型分类。

关键词: 黄土; 缓倾角岩层; 塌岸; 卡丘金

引言

大型水库和水电站蓄水后, 往往库区回水长, 水面宽阔。随着水库运行, 库水位高程亦会波动, 当在库水波动范围内, 岸坡为覆盖层时, 在库水作用下, 库岸将发生滑塌。塌岸的宽度与岸坡的地层岩性结构、库区运行水位变幅范围、库区风速、库水波浪高度等因速有关。其中岸坡的地形地貌和地质结构对塌岸宽度的影响很大, 根据库水位变幅范围内, 不同的库岸地质结构, 采用适宜的分析方法和参数, 进行库区岸坡塌岸分析。

一、库区地形地貌

工程区位于黄土高原区, 形成侵蚀-剥蚀中低山地貌, 受长期外营力作用, 黄土遭受严重侵蚀, 在河流两侧与基岩山地之间形成黄土塬, 在河流及其支流两侧形成黄土梁、黄土峁。黄土塬主要分布在河流两岸, 塬面较平, 边缘发育有深切的沟谷, 黄土梁、峁主要发育在河流两岸的丘陵地带。

水库区干流河段全长约52km左右, 河水面落差49.5m, 河谷底宽一般80m ~ 120m。基岩地层主要为二叠系、三叠系的砂岩、泥岩。

第四纪以来, 由于本区大面积间歇性抬升, 在河流及其主要支流的河谷发育河漫滩及 I ~ V 级阶地, 除 I 级阶地为堆积级阶地外, 其它均为基座阶地, 基座之上广泛分布砂卵砾石层和第四系黄土类土。

河漫滩: 呈带状断续分布于河谷两岸, 滩面高出常水位 1m ~ 4m, 宽度一般为 3m ~ 15m, 最宽可达 30m, 局部存在河心滩。

I 级阶地: 堆积阶地, 形态清晰, 断续分布于河流两岸; 阶面高出常水位 3m ~ 10m, 阶地堆积物主要为全新统粉砂及砂壤土。

II 级阶地: 侵蚀堆积阶地, 呈不连续的带状分布于

河流及其支流的凸岸, 阶面狭窄, 形态不清晰, 基座高出常水位 5m ~ 16m, 上覆 Q_3 的黄土类土及厚度不等的底砾层。

III 级阶地: 基座高出常水位 10m ~ 30m, 阶面高出正常水位 40m ~ 60m。组成物质上部为更新统的黄土类土; 下部分布的不连续底砾层。

IV 级阶地: 侵蚀堆积阶地, 阶面受侵蚀破坏后, 形态不清晰; 阶面高出正常水位 60m ~ 80m, 基座高出常水位 50m ~ 70m, 上覆 Q_2 的黄土类土, 其底部分布有厚度不等的半胶结砂砾石层。

V 级阶地: 侵蚀堆积阶地, 沿河流两岸均有分布, 侵蚀切割严重, 呈梁峁地形。

二、黄土及岩层情况

工程区属华北地层区, 基岩地层主要为二叠系、三叠系陆相碎屑岩, 第四系黄土广泛分布于河流两岸。

二叠系石千峰组 (P_2sh): 以棕红、紫红、暗紫红色泥岩为主, 夹黄绿色砂岩和少量泥灰岩。

三叠系铜川组 (T_2^1): 为一套以灰白色长石砂岩为主, 夹灰紫色、暗紫色泥质粉砂岩, 可分为两个岩性段。

第四系地层在水库区内广泛分布, 与下伏前三系地层呈角度不整合接触。

中更新统 Q_2^{med} : 老黄土层主要分布在黄土塬及部分黄土台塬地带, 岩性可以分为两段。

中更新统 Q_2^{altpl} : 分布于河流及其支流的 III 级阶地及其以上各级阶地基座之上。

上更新统 Q_3^{med} : 主要分布在黄土塬及两岸黄土梁、峁及黄土台等地带, 厚度一般 10m ~ 30m, 为浅黄色或灰黄色黄土, 结构较疏松, 具大空隙, 底部有 1 层 ~ 2 层浅棕红色古土壤层。

上更新统 Q_3^{altpl} : 分布于河流及其支流的 II 级和 III 级阶地的表部, 厚度一般 2m ~ 8m, 在高阶地分布较厚,

可达10m ~ 30m。

全新统 Q_4^{al+pl} ：为河流冲积、洪积堆积物，分布于河床、漫滩、I级阶地等处。主要由砂卵石、砂、壤土组成，河床、漫滩、I级阶地沉积物具二元结构，上部为粉细砂、壤土，下部为含砾中粗砂层。

三、水文地质

水库区沟、谷深切，地形陡峻，地表径流条件良好，因而本区地下水具有含水不丰、坡降大、埋藏深的基本特征。根据地下水的赋存条件及运移特征，可将区内的地下水划分为基岩裂隙水和松散堆积层孔隙潜水两种类型。

四、库岸结构类型

(一) 库岸形态

库区河道总体流向为由北向南，平面形态多弯曲摆动，局部有顺直段，弯曲段多呈“凹凸”不对称状，凹、凸岸沿河交替出现。凸岸多发育河漫滩及阶地，地形较平缓；凹岸岸坡较陡，坡度一般 $30^\circ \sim 70^\circ$ ，局部陡立。

(二) 沿河库水位主要影响阶地

上游库尾至库首坝址区，通过测绘调查地形地貌，库区两岸各级阶地均有断续分布。根据库尾至库首蓄水高程与原河道水位雍高关系，则按库水位沿河主要影响不同等级阶地进行分别考虑。

(三) 地层结构与岸坡的组合关系

水库区基岩地层主要为二叠系、三叠系陆相碎屑岩，主要为砂岩、粉砂岩、泥岩等。断层、褶皱不发育，基岩地层为近水平产状。部分库段临河形成基岩陡壁；沿河形成的河流阶地不对称、断续分布，仅在河流转弯的凸岸发育较完整，河流阶地堆积物主要为冲洪积黄土类土，底部分布厚度不等的砂砾石层。根据水库岸坡地形地貌、地层结构以及库水位影响岸坡岩土类别，可分为A类基岩库岸、B类基岩~黄土库岸、C类黄土库岸三类库岸类型。在干流主河道，其中A类又可分为A1、A2、A3三个亚类。B类又可分为B1、B2、B3三个亚类，C类黄土库岸。支流、支沟库岸多陡峻，阶地发育不全，细分亚类较为繁琐，区别不明显，故在支流支沟不再划分亚类。

五、岸坡塌岸预测分析

(一) 塌岸影响因素

塌岸的影响因素很多，主要因素如：

1. 地形地貌

地形地貌对水库塌岸有重要的影响，包含岸坡坡度、坡高、坡形及植被发育状况等，同时对塌岸起算点有影响，一般岸高坡陡，凸岸或被冲沟切割成半岛地形的塌岸较为严重。

2. 地层岩性

不同岩性的岸坡具有不同的抗冲蚀能力和抗剪强度。岩性对塌岸的速度、类型和范围具有控制性作用，松散层组成的岸坡较易产生塌岸，而半胶结的砂砾石层组成的岸坡和砂岩、粉砂岩、泥岩组成的基岩岸坡，基本不产生塌岸。

3. 水库运行方式

对塌岸的影响主要为水库水位的变化速度和变化高低。枢纽高低库水位变化频繁，水位变化幅度较大，岸坡黄土受库水位波动影响大，规模和强度变化大，持续时间长，水下稳定坡角较缓。

4. 风浪作用

风浪作用是水库黄土塌岸发生发展，特别是浅滩形成的主要外力。主河道相较支沟，岸宽浪高，波浪作用强，塌岸较支沟严重。

5. 其它因素

通常，地形地貌特征是塌岸发生发展的重要因素之一，影响塌岸的其它因素，还有地形地貌、地震和冰冻作用。

(二) 塌岸预测方法

水库塌岸预测的目的是对水库运行后的最终塌岸宽度进行分析预测，评价塌岸对工程水库运行、对塌岸区和周边环境的影响，并提出防治措施。根据水库运行特点和库岸结构类型，选取长期预测的E.F.卡丘金公式法（见图1）和图解法进行岸坡塌岸的初步预测评价；根据两种方法对库岸结构的适宜性，并结合工程类比，最终确定塌岸的宽度。

1. 公式法

前苏联学者卡丘金于1949年提出该法。卡丘金法适用于由松软沉积层（如黄土、砂土、砂质粘土、粘土等）组成的库岸，卡丘金法适合于水库塌岸的长期预测，不适合于分期蓄水而需要进行分期塌岸预测的情形。

卡丘金长期塌岸预测示意图如图1所示。

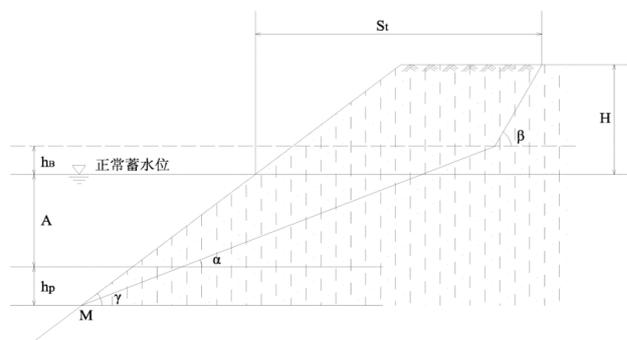


图1 卡丘金长期塌岸预测示意图

卡丘金长期塌岸预测计算公式见式1:

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

式中:

S_t — 最终塌岸宽度 (m);

A — 库水位变幅 (m), 设计低水位与高水位之差 (一般取死水位与正常蓄水位之差);

N — 与土的颗粒大小有关的系数, 粘土取 $N=1.0$, 壤土取 $N=0.8$, 黄土取 $N=0.6$, 砂土取 $N=0.5$, 砂卵石取 $N=0.4$;

H — 正常蓄水位以上岸坡高度 (m);

α — 水位变动带浅滩稳定坡角 ($^\circ$), 依据图2取值;

β — 岸坡水上稳定坡角 ($^\circ$), 一般依据工程区实测结果取值;

γ — 原始岸坡坡度 ($^\circ$);

h_p — 波浪冲刷深度 (m), 见式2;

$$h_p = 0.64 \times \alpha \times \sin h \quad (8.1 \times h) \quad (式2)$$

h_B — 波浪爬高 (m), 见式3;

$$h_B = 3.2 \times K \times h \times \tan \alpha \quad (式3)$$

K — 被冲蚀的岸坡表面糙度有关的系数; 一般砂质岸坡 $K=0.55 \sim 0.75$;

砾石质岸坡 $K=0.85 \sim 0.9$; 混凝土 $K=1$; 抛石 $K=0.775$;

h — 浪高 (m), 按安德列杨诺夫公式计算, 见式4;

$$h = 0.0208 \times W^{4/5} \times L^{1/3} \quad (式4)$$

W — 风速 (m/s);

L — 吹程 (km)。

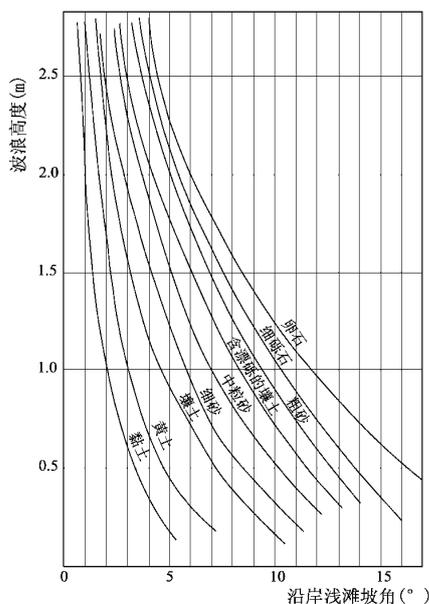


图2 不同波浪高度时各类土的浅滩稳定坡角

2.图解法

卡丘金法适用于由松软沉积层组成的库岸, 库岸为黄土~基岩结构时, 基岩面随地形抬升形成坡度, 在岸坡山体内最高水位线与基岩面相交。此时, 卡丘金法已不适用, 采用图解法计算塌岸宽度更为合理。

六、总体库岸分类结果

依据水库区地形地貌、地层岩性、地质构造、岸坡结构类型等因素, 结合水库塌岸分级、滑坡、崩塌等变形破坏体的稳定性分析, 可将水库区库岸分为稳定库段、基本稳定库段、次稳定库段和不稳定库段。

稳定库段: 主要指基岩库岸, 崩塌、滑坡等变形破坏体不发育, 该类库岸岩面高程高于正常蓄水位, 主要有二叠系、三叠系近水平状的砂岩、粉砂岩、泥岩地层, 地质构造不发育, 天然岸坡稳定性较好。

基本稳定库段: 库岸以基岩-黄土岸坡为主, 崩塌、滑坡等变形破坏体不发育, 具二元结构, 基岩面出露高程高, 上覆黄土厚度薄。且库水位高程主要与较陡的岩质岸坡相交, 局部岩质岸坡覆盖少量薄层黄土出现滑塌, 岸坡整体稳定。

次稳定库段: 库岸主要为基岩-黄土岸坡, 无大的崩塌、滑坡等变形破坏体发育, 具二元结构, 水位稍高于阶地基座基岩面, 上覆黄土厚度较薄。

不稳定库段: 库岸同样为基岩-黄土岸坡, 或上覆均为黄土的土质岸坡; 崩塌、滑坡等变形破坏体较发育。水位高于基岩面, 主要影响覆盖黄土。

参考文献

- [1] 卢功臣. 陕北地区黄土库岸塌岸分析预测——以XX水库为例[J]. 资源环境与工程, 2019, 33(3): 392-395, 415.
- [2] 王仁槐, 寇学文. 某水库库岸稳定性预测[J]. 科技创新与应用, 2024, (19): 82-85.
- [3] 石永磊. 水库库岸稳定与塌岸预测研究[J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48(11): 43-46, 56.
- [4] 王龙. 基于卡丘金法和两段法对金沙江上游某拟建大桥塌岸预测分析[J]. 成都大学学报, 2021, 40(3): 324-327
- [5] 张引平等. 陕北黄土水库蓄水后岸坡稳定性分析与塌岸预测[J]. 西北水电, 2022, (1): 42-46.52
- [6] 郭凯等. 庆阳黄土区茨子沟水库蓄水前后的塌岸评价[J]. 地下水, 2021, 43(5): 168-169