

# 图解法和卡丘金法库岸塌岸分析对比研究

卢欣

(江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029)

**摘要:**分析库水冲蚀、浪蚀作用下库岸的塌岸类型及其主要因素,对其主要破坏方式进行预测,利用图解法和卡丘金法分别对该库岸的20个剖面塌岸宽度进行计算情况。计算结果表明,通过卡丘金法计算得到的库岸塌岸宽度与实际情况相差很大,而图解法的计算结果符合实际情况。对于实际工程,可以灵活分析和运用。

**关键词:**库岸塌岸;图解法;卡丘金法

**中图分类号:**TV223 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2017)02-0084-04

## 1 工程地质概况

某库岸为河谷型阶地地貌,库岸总长约1 901 m。该区主要的地形地貌形态是河谷平坝地貌,平坝主要以I级阶地和II级阶地、高漫滩为主构成,远离边岸的西部为丘陵斜坡,西部低山斜坡坡顶高程为266.00 m(黄海高程,下同),为最高点,斜坡坡向东西向,坡度约为 $9^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

勘察区主要座落于I级阶地上,该I级阶地的地势较平坦,其范围为燕子窝至七家湾,南至姚湖村。该区村落密布,人口稠密,土地肥沃,燕窝镇行政机关、工厂、学校均位于阶地上。高漫滩较II级阶地相比,高差为8.00~15.00 m,接触形式为迭瓦式。在I级阶地的前缘,其坡角范围为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ,地形比较陡,由于崩塌的发生,某些地方高度已经达到15.00~18.00 m,地形几乎呈垂直状。分布在长江边上的阶地前缘的河漫滩宽度各不相同,宽度最短处为30.00 m,最长处达到600.00 m,河漫滩高程为151.00~169.00 m,高差达到18.00 m。

### 1.1 地层岩性

经工程地质测绘及钻探,在勘察区范围内,地层组成形式为第四系侏罗系上统遂宁组(J3sn)、冲洪积层、残坡积及人工填土层。在I级阶地上,第四系河流相冲积层大面积分布,上部分布为土层,主要有粉质粘土、粉土,下部分布为石层,主要为砂卵石层,其层状分布结构

清晰,上覆粉质粘土、粉土层,厚约8.00~27.30 m,下伏砂卵石层,本次未揭穿该层,据前期资料可知,该层厚度约为9.00~20.00 m。

### 1.2 地质构造

场区岩层走向基本与长江平行,倾向南东,倾向范围为 $110^{\circ} \sim 140^{\circ}$ ,倾角范围为 $9^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ,倾角由西向东逐渐变缓,构成向长江方向微呈弧形的单斜岩层。

根据钻孔勘察结果显示,在勘察区内,尚没有发现有断层构造,在遂宁组砂岩内,发现部分裂隙发育明显,主要发育有4组裂隙:

I组裂隙,其倾向为 $21^{\circ} \sim 41^{\circ}$ ,倾角为 $74^{\circ} \sim 84^{\circ}$ ,断裂面相对比较平直,呈现闭合~微张的形状,裂隙中发现有褐色铁质浸染;

II组裂隙,其倾向为 $350^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ,倾角为 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ,断裂面相对比较平直,呈张开形状,裂隙中无充填;

III组裂隙,其倾角为 $124^{\circ} \sim 140^{\circ}$ ,倾向为 $75^{\circ} \sim 85^{\circ}$ ,断裂面相对比较平直,呈现张开形状,裂隙中有泥质充填,裂隙率为1.15;

IV组裂隙,其倾向为 $160^{\circ} \sim 170^{\circ}$ ,倾角为 $80^{\circ} \sim 88^{\circ}$ ,断裂面相对比较平直,呈现闭合形状,裂隙中无充填物质,裂隙率为2。

### 1.3 岸坡结构类型

该段库岸上部结构为土层,下部结构为石层,其中最上部为覆盖层,覆盖层主要为人工杂填土,覆盖层的厚度变化范围为13.50~39.50 m。地表基岩主要在库岸南北两端间段出露。根据岸坡物质组成成分及其结

构特征,库岸岸坡结构类型为土质岸坡。

#### 1.4 不良地质现象

由于库岸主要由粉砂土及粉质粘土、粉土组成,抗江水浪蚀的能力弱,岸坡区无任何的生态防护林,每次洪水过后,均有崩坡发生,阶地水土流失严重,岸坡再造速度明显。洛碛南面调查区的溪沟密集,已把原平坦的阶地侵蚀得支离破碎,面目全非。据访问,60年来岸坡后退了15 m左右,阶地上的溪沟岸坡后退10 m左右;特别是近20年来,岸坡上生态林毁坏,岸坡上开垦种地;由于当地经济发展迅速,近十几年以来,江面上船也越来越多、船也越来越大、船的行驶速度也越来越快,因此,江水产生的大浪频次越来越高,大浪会对岸坡频繁冲蚀,这将导致常有崩塌情况发生,加快了库岸的再造。

#### 1.5 人类工程活动

该段库岸长度大,人类工程活动分布不均,人类工程主要分布于洛碛镇,主要为城镇建筑活动,除移民复建码头为再建工程外,目前无较大的人类工程活动,人类工程活动不强烈。

## 2 塌岸类型及主要影响因素

### 2.1 塌岸类型

根据岸坡的工程地质条件与变形机理<sup>[1-3]</sup>,库岸塌岸的主要类型为侵蚀剥蚀型。由于库水的升高和降低,库水位会对岸坡产生冲蚀和浪蚀作用,岸坡经过长时间的冲刷会逐渐后退,但这一现象对库岸影响不大,变化缓慢,规模较小,且过程是长期的。

### 2.2 主要影响因素

#### 2.2.1 地形地貌条件

地形地貌条件与河岸塌岸密切相关,地形越陡,切割越强,越容易坍塌,尤其在土质库岸分布区。一般情况下,相对于缓坡型土质库岸,陡坡型土质库岸比其更易产生塌岸,库岸再造也会更强烈。

#### 2.2.2 库岸类型

一般情况下,与岩质库岸相比,土质库岸更易产生塌岸和库岸再造。库岸为岩土混合岸坡时,土质岸坡地段比岩质岸坡段更易产生滑塌型塌岸以及更容易进行库岸再造。

#### 2.2.3 库岸岩土结构及其物理力学性质

物理力学性质、易滑面形状、接触面坡度以及岩土结构类型的不同,也将会决定塌岸形成不同的型式。

#### 2.2.4 库岸地下水状况

地下水越丰富,补给、径流、排泄对库岸的作用越强

烈,库岸越易产生塌陷。由于地下水在运动过程中,既带走了土体的细颗粒,这将会架空上部土体,又降低了土体强度,降低了土体的稳定性,促进了库岸的再造。

#### 2.2.5 库水的运行状况

水库蓄水后,库水位将在45.00~65.00 m之间变化,水库在水位波动的影响下,其岩土体会受到干湿循环作用,物理学强度将降低,在波浪冲刷和动水压力作用下,岩土体容易发生崩解作用,库岸易发生坍塌。

## 3 塌岸破坏方式预测

### 3.1 图解法预测塌岸宽度

#### 3.1.1 图解法原理简述

根据地质概况,利用不同土层水下、水位的变动幅度、水上稳定坡角,自现枯水位起,将不同的库水位条件下(即枯水位以下、枯水位~65.00 m、65.00 m以上)相应土层的稳定坡角首尾相连,最终库岸再造边界线的确定取各段稳定坡角的连线,进而可以得到库岸再造的最终宽度与高程<sup>[4,5]</sup>。

#### 3.1.2 各岩土层稳定坡角取值

根据库岸再造原理的预测,确定最终的库岸再造宽度与高程,在不同的水位条件下,首先应取得各岩土层的稳定坡角,稳定坡角的取值要合理。各类坡角参数的取值见表1。

表1 岸坡坡角采用值

序号	土体名称	水上稳定坡角( $\beta$ )	水位变动带稳定坡角( $\alpha$ )	水下稳定坡角( $\alpha_1$ )
1	粉砂土	18°	10°	6°
2	粉土	22°	16°	10°
3	粉质粘土	22°	16°	10°
4	砂石土	30°	20°	16°
5	人工填土	30°	22°	18°

根据上述各土层库岸塌岸的岸坡坡角,在各剖面上图解,塌岸宽度、高程值见表2。

### 3.2 卡丘金公式计算法

卡丘金法是卡丘金于1949年所提出的库岸最终塌岸预测宽度计算方法。它适用于自然岸坡较陡,且由松软匀质土体如黄土、砂土、砂质粘土等组成的库岸的塌岸预测。卡丘金法的实质是依据高低水位变幅带岸坡长期稳定坡角,根据几何关系采用图解法求解得到塌岸预测宽度。

表2 图解法预测塌岸结果 m

剖面号	塌岸宽度	塌岸影响高程
20-20	29.18	72.27
19-19	25.53	69.40
18-18左	23.35	67.92
17-17左	33.08	69.20
18-18右	29.81	69.04
17-17右	29.57	69.47
16-16左	12.97	68.29
15-15左	25.03	68.68
16-16右	1.69	65.23
15-15右	18.95	70.35
14-14	10.08	65.48
13-13	21.67	68.98
12-12	19.50	68.71
11-11	27.97	67.65
10-10	17.93	68.65
9-9	35.24	70.66
8-8	47.51	76.93
7-7	45.51	74.75
6-6	34.23	68.91
5-5	32.65	72.07
4-4	17.48	70.41
3-3	56.53	77.93
2-2	24.59	72.95
1-1	28.74	72.89

采取卡丘金法对土质库岸塌岸宽度进行预测,水库水位发生变化后,岸坡的土体应力也将会发生改变,这会破坏自然平衡条件,岸坡的稳定性和形状发生变化,特别是在长达近10个月的水库水位下降期,土体中的水难以排除,形成动态水压力滞后而产生塌岸<sup>[6,7]</sup>。塌岸预测采用卡丘金法对库岸最终塌岸预测宽度进行计算,其计算简图见图1、公式如下:

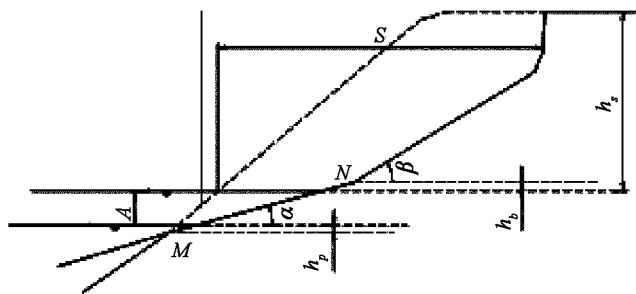


图1 卡丘金方法预测塌岸图解

卡丘金法计算公式:

$$S = N[(A + h_p + h_b) / \tan \alpha + (h_s - h_b) / \tan \beta - (A + h_p) / \tan \gamma] \quad (1)$$

式中: S—最终塌岸宽度(m);

N—与土体有关的系数,取0.8;

A—水库水位变化幅度(m);

h<sub>p</sub>—波浪影响深度(m),取2倍波高;

h<sub>b</sub>—浪爬高度(m), h<sub>b</sub> = 3.2K · h · tanα;

β—岸坡水上稳定坡角(°);

γ—原始岸坡坡角(°);

α—水库水位变化和波浪影响所涉及范围内,形成均一磨蚀浅滩坡角(°);

h<sub>s</sub>—正常高水位以上坡高(m);

h—浪高,取0.5 m;

K—岸坡粗糙系数,取0.6;

各库岸最终塌岸宽度见表3。

表3 卡丘金法库岸塌岸宽度结果

剖面号	A/m	N	h <sub>p</sub> /m	h <sub>b</sub> /m	h <sub>s</sub> /m	α/°	β/°	γ/°	S/m
20-20					7.4			19	26.54
19-19					4.5			37	52.34
18-18左					4.0			20	22.94
17-17左					3.0			21	23.81
18-18右					4.4			25	35.79
17-17右					4.3			25	35.60
16-16左					3.4			17	11.29
15-15左					1.3			16	2.80
16-16右					3.5			33	46.10
15-15右					5.5			36	53.33
14-14					0.7			18	9.80
13-13					4.0			20	22.94
12-12	24	0.8	1	0.28	3.7	16	22	19	19.21
11-11					2.0			24	29.01
10-10					3.7			18	15.74
9-9					5.3			32	48.46
8-8					12.6			20	50.51
7-7					9.8			37	54.47
6-6					3.5			35	40.07
5-5					6.7			22	33.74
4-4					5.1			19	21.99
3-3					13.6			28	59.29
2-2					8.0			30	51.17
1-1					7.1			15	53.28

#### 4 塌岸预测结果对比

在库岸工程地质剖面的基础上,根据塌岸预测方法,以各断面典型剖面为依据,结合各库岸段地质剖面,预测塌岸宽度,根据表面绘制,以两者之间综合取值作为最终塌岸宽度见表4。

表4 库岸最终塌岸宽度结果对比分析 m

剖面号	图解法	卡丘金法	综合取值
20-20	29.18	26.54	29.18
19-19	25.53	52.34	25.53
18-18左	23.35	22.94	23.35
17-17左	33.08	23.81	33.08
18-18右	29.81	35.79	29.81
17-17右	29.57	35.60	29.57
16-16左	12.97	11.29	12.97
15-15左	25.03	2.80	25.03
16-16右	1.69	46.10	1.69
15-15右	18.95	53.33	18.95
14-14	10.08	9.80	10.08
13-13	21.67	22.94	21.67
12-12	19.50	19.21	19.50
11-11	27.97	29.01	27.97
10-10	17.93	15.74	17.93
9-9	35.24	48.46	35.24
8-8	47.51	50.51	47.51
7-7	45.51	54.47	45.51
6-6	34.23	40.07	34.23
5-5	32.65	33.74	32.65
4-4	17.48	21.99	17.48
3-3	56.53	59.29	56.53
2-2	24.59	51.17	24.59
1-1	28.74	53.28	28.74

从表4可知,对比图解法和卡丘金法,将该塌岸宽度计算结果与实际情况相对比,采用图解法的计算结果更准确。卡丘金法作为常用的库岸再造预测方法之一,其原理多采用半经验性、半定量的模式,简化了水文地质条件的影响,没有反映出波浪对库岸的流-固耦合效应。而在此工程案例中,土质岸坡的自然坡角接近于临界稳定坡角,出现图解极其难收敛的情况,预测结果与实际存在较大的误差。因此对于库岸最终塌岸宽度综

合取值为图解法的计算结果,这样与实际情况更符合。从图解法的计算结果可以看出,库岸两端再造程度相对较高,中间部分再造程度相对较低。

## 5 结论

利用图解法和卡丘金法分别对库岸塌岸宽度进行计算,分析结果表明卡丘金法计算的结果与实际相差很大,而图解法计算结果相对准确。

库岸段均有库岸再造,只是各段各剖面再造高程、宽度、程度不一,可见库岸两端再造高程相对较高,再造程度轻微~强烈;中间部分再造高程相对较低,再造程度多为轻微。在库水的冲蚀、浪蚀作用下,塌岸形式为冲蚀、剥蚀塌岸,该类型塌岸是一个长期过程,其规模不大,破坏强烈,但居民区距阶地前缘陡坎较近,对陡坎后缘的居民区影响较大。

### 参考文献:

- [1] 贾建红,周传波,侯炳坤.基于修正的两段法对某电站水库松散堆积体库岸塌岸预测[J].安全环境与工程,2016,23(5):0050~0054.
- [2] 张景顺,张世殊,周光明.平缓细粒土岸坡水库塌岸机理研究[J].工程地质学报,2016,28(3):0752~0759.
- [3] 肖志勇,邓华锋,李建林.库水位间歇性下降对堆积体滑坡稳定性的影响[J].长江科学院院报,2016,33(8):114~119.
- [4] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [5] 徐开礼,朱志澄.构造地质学[M].北京:地质出版社,1984.
- [6] 张俊,殷坤龙,王佳佳.三峡库区万州区滑坡灾害易发性评价研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(2):0284~0297.
- [7] 中华人民共和国行业标准编写组.建筑边坡工程技术规范(GB50330-2001)[S].重庆:重庆建设委员会,2002.

编辑:张绍付

## Comparative study on the analysis of Graph method and Kachugin method to bank collapse

LU Xin

(Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** This paper analyzes the main types and factors of bank collapse under the effect on water erosion and corrosion, forecasts the main way of destruction, calculates and analyzes the width of 20 sections of the bank by using the Graph method and Kachugin method respectively. The results show that the width of bank collapse was calculated by using Kachugin method has a great difference with reality, however, the results by graph method conforms with reality. So it can be flexibly analyzed and applied for practice engineering.

**Key words:** Bank collapse; Graph method; Kachugin method

翻译:郭庆冰