

利用稳态坡形类比法预测基岩岸坡的库岸再造

马淑芝, 贾洪彪, 唐辉明

(中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 水库库岸再造是水利水电工程中经常遇到的工程地质问题之一。依据库岸地质结构和岩性组合, 划分出工程地质条件相近的库岸段, 与工程地质条件相类似的稳态坡形进行类比, 确定出再造后的稳态坡形的坡角大小, 从而进行库岸再造预测。利用稳态坡形类比法对三峡库区迁建新址的基岩库岸进行了再造预测, 定量预测出三峡水利枢纽工程建成蓄水后, 巫山县城新址基岩库岸最终再造带宽度在 40~166 m 之间, 预测结果可以用来指导新城的规划与建设。

关键词: 库岸再造; 稳态坡形; 类比法; 定量预测。

中图分类号: P642 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)02-0231-04

作者简介: 马淑芝(1974—), 女, 讲师, 在职博士生, 主要从事岩土工程方面的教学与研究工作。E-mail: tmgc@cug.edu.cn

水库库岸再造是水利水电工程中经常遇到的工程地质问题之一。由于水库建成蓄水后, 水动力条件发生明显的改变, 对库岸改造加剧, 使原本已经趋于稳定的岸坡不断遭到冲蚀、改造, 使原有岸坡不断后退, 这种作用不断进行下去, 最终将会使原来的岸坡改造成为适应新的库水环境的岸坡。

在水电工程地质问题的评价中, 库岸再造的预测是非常重要的, 对水电建设举足轻重。但是, 现在库岸再造预测方法基本上都是针对土质库岸再造的预测, 而适用于岩质库岸再造的预测方法还很少^[1~9]。本文结合作者在三峡库区移民迁建城镇库岸再造的预测工作介绍一种用于岩质岸坡库岸再造的方法——稳态坡形类比法。

1 岩质库岸再造的特征

岩质岸坡库岸再造过程的规律性比土质岸坡要差, 其原因是岩质岸坡结构更加复杂, 岩石性质差别更大, 库岸再造的速率差别也更大^[1,3,4,8]。但库岸再造的动力条件基本上是一样的, 都是波浪和岸流的作用。一般情况下, 其演变过程为: (1) 由于水库蓄水, 原来坡度较大的自然岸坡被淹没, 造成水下岸坡

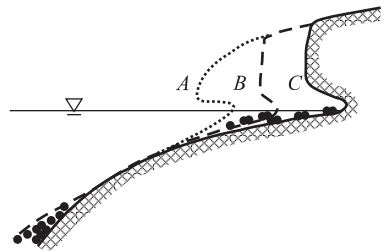


图1 岩质岸坡库岸再造过程

Fig. 1 Rebuilding process of rock bank

变陡, 同时波浪对库岸的冲蚀作用加强, 在靠近水面附近被冲蚀形成波蚀龛。波蚀龛发展到一定深度, 上部岩体则会由于失去底部支撑而崩塌形成陡崖, 库岸后退, 同时, 塌落的物质被波浪和岸流带到水库一定深度沉积(图1, A)。(2) 随着波浪冲蚀的延续, 不断形成新的波蚀龛, 出现新的塌落, 库岸不断后退, 就会在水面稍下的位置形成较平缓的波切台(图1, B)。(3) 波切台的形成对波浪产生破碎作用, 阻止了波浪对岸坡的进一步冲蚀。当波切台达到一定宽度时, 波浪强度与构成岸坡的岩石的抗冲蚀能力保持平衡, 波浪不再能够破坏岸坡, 岸坡也不再后退, 库岸再造过程基本结束(图1, C)。

但是, 由于水库水位变化较大, 因此会在最低库水位与最高库水位的高程内形成一个宽度相对较大的波切台。显然, 水库最低库水位与最高库水位高差

越大,波切台的宽度越宽,所需要的再造时间也较长。

2 稳态坡形特征

河谷,尤其是大的江河,岸坡都经过长期的冲刷、淤积过程,已经接近于平衡状态,在河流水力条件不发生明显改变的条件下,基本上会保持现有的岸坡形态。把它们称为稳态坡形。如果河流水力条件发生大的改变(如修建水库等),在新的水力条件下,岸坡会进一步改变,在无人为干涉(如不采取防护)的情况下,经过较长时间的再造,岸坡又会趋于新的平衡状态,即达到新的稳态坡形,因此对库岸再造的预测也就是确定出这种新条件下的稳态坡形。

根据对江河湖泊岸坡特征的研究,一般岸坡的稳态坡形见图 2。它大致可以划分为以下 5 段:AB. 浅滩外缘陡坡;BC. 堆积浅滩;CD. 冲蚀浅滩;DE. 波浪爬升带斜坡;EF. 水上岸坡(自然岸坡)。

3 稳态坡形类比法

稳态坡形类比法的基本原理就是库岸再造的结果是形成新水力条件下的稳态坡形,因此可以利用建库前的岸坡稳态坡形来类比库岸再造后的稳态坡形。类比的基本前提是岸坡岩体工程地质条件相似,类比的主要参数是坡角。具体的方法是用建库前岸坡稳态坡形各段的坡角作为建库后库岸再造的稳态坡形相应的坡角,用作图的方法把再造后的稳态坡形确定出来。

由于岸坡再造受岸坡结构、岩性特征影响很大,因此,在进行稳态坡形类比之前应对库岸工程地质条件进行充分的调查研究,按照制约库岸再造的一些因素(如地质结构、岩性组合、岸坡类型、人类活动等)对库岸进行合理的工程地质分段,对每一工程地质段进行稳态坡形坡角统计,确定出每一段稳态坡

形的典型剖面 and 稳定坡角。

库岸再造预测时依据库岸地质结构和岩性组合,同样划分出工程地质条件相近的库岸段,与工程地质条件相类似的稳态坡形进行类比,确定出再造后的稳态坡形的坡角大小,在此基础上,进行库岸再造预测。

4 工程实例

巫山县城是长江三峡库区淹没迁建城镇之一,迁建新址采用“后靠东移”的方案,迁建到西坪及大宁河两岸。新城址地处淮阳山字型构造西翼反射弧—大巴山弧形构造、川东褶皱带及川鄂湘黔隆起褶皱带三大构造结合部位,地质构造体系复杂,褶皱、断裂发育。基岩以三叠系嘉陵江组(T_1j)滨海相碳酸盐岩和巴东组(T_2b)陆相砂泥质岩类为主。第四系分布广泛,以残坡积、滑坡堆积碎石土、冲积粘性土、粉细砂为主。地貌形态总体属中浅切割褶皱剥蚀中低山斜坡沟谷区^①。

新址区内,未来三峡水库库岸沿长江两岸及大宁河两侧展布,长江南岸为嘉陵江组第四段(T_1j^4)浅灰色中厚层灰岩组成的顺向坡库岸;北岸为 T_2b 和 T_1j^4 组成的反向坡库岸,局部库岸段有古崩滑体碎石土及黄土分布。大宁河库岸是由 T_1j^4 和 T_2b^1 , T_2b^2 组成的斜交坡库岸。据工程地质分析,除有崩滑体和松散土体分布的库岸在水库蓄水后将产生较大规模的库岸再造外,一般岩质库岸段在水库长期营运过程中,也会引起一定程度的库岸再造,并且其达到最终稳态库岸的时间可能较长。

为进行岩质库岸再造的预测,对长江两岸及大宁河两岸现状稳态岸坡进行了系统的工程地质测绘、工程地质分段及稳态岸坡坡角统计。在稳态坡角的统计中发现波浪爬升带坡角与水上岸坡坡角较接近,不易分辨,因此放在一起统计。这样主要统计了低河漫滩、洪一库水位变幅带与自然岸坡三个带,分别对应与图 2 中的 BC 段、CD 段、DE 段和 EF 段。表 1 列出了研究区内广泛分布的 T_2b^2 基岩岸坡稳定坡角的统计值。表中 a 代表稳态坡角, l 代表稳态坡角为 a 的岸坡长度,均值 \bar{a} 是按(1)式计算得到的加权平均值。

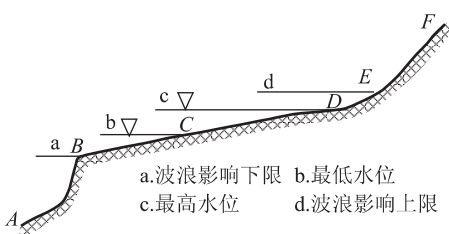


图 2 岸坡稳态坡形

Fig. 2 Stable slope shape

①王智济. 长江三峡水利枢纽库区巫山县城迁建新址工程地质论证报告. 中国地质大学, 1995.

表 1 T₂b² 基岩区坡度统计

Table 1 Statistics of rock slope gradient in T₂b²

编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{a}
河漫滩	<i>a</i>	16.26	15.64	19.29	10.78	14.43	14.75	11.76	22.61	10.3	13.24	14.9
	<i>l</i>	20	20	20	40	30	20	15	20	25	40	
洪—枯水位变幅带	<i>a</i>	18.7	16.0	22.5	13.5	20.2	19.8	18.7	15.5	21.1	17.0	18.6
	<i>l</i>	30	10	10	10	40	20	30	20	20	25	
自然岸坡	<i>a</i>	26.7	30.78	33.69	25.48	29.98	28.3	34.5	34.2	29.1	32	30.6
	<i>l</i>	35	30	30	10	25	15	20	20	30	20	

表 2 库岸最终坡角建议值

Table 2 Proposed values of final slope angle of reservoir bank

分带	堆积浅滩	冲蚀浅滩	波浪爬升带 斜坡至水上岸坡
	145 m 以下	145~175 m	175 m 以上
T ₂ b ³	破碎	15°~20°	20°~25°
	完整	25°~30°	30°~35°
T ₂ b ²	15°	15°~20°	30°~35°
T ₂ b ¹	25°~30°	30°~35°	40°~45°
T ₁ j ⁴	25°~30°	30°~40°	40°~50°

$$\bar{a} = \frac{\sum a_i}{\sum l_i} \quad (1)$$

根据统计数据,确定出稳态坡形各段的坡角(表 2)。同时把新址内岩质岸坡划分为 13 个不同的工程性质段。在此基础上,利用稳态坡形类比法就可以确定出每一工程性质段库岸再造带的宽度(表 3)。类比时,波浪爬升带斜坡取表 2 中 175 m 上的小值,水上岸坡取大值。

由表 3 所列的预测结果可以看出:三峡水利枢纽工程建成蓄水后,巫山县城新址基岩库岸最终再造带宽度在 40~166 m 之间,库岸再造问题比较严重,在新城规划和建设中应当予以足够重视。原则上讲,在此范围内应避免规划建设永久性市政建筑设施。但由于岩质岸坡再造速度相对较缓慢,可以根据岸坡的实际地质环境条件适当规划建设一些临时性的建筑。另外,由于新址内建设用地比较紧张,可以考虑对一些关键地段的岸坡采取合理的护坡,以增加城市建筑用地。

5 结论

(1)岩质岸坡的库岸再造过程是水库波浪、岸流冲蚀作用与库岸岩体抗冲蚀能力矛盾作用的结果,可以采用稳态坡形类比法定量预测库岸再造带的范

表 3 基岩库岸再造预测结果

Table 3 Predictive results of reservoir rock bank rebuilding

剖面编号	剖面位置	库岸结构	岩层时代	再造带宽度/m
1	陈家屋场	反向坡	T ₂ b ²	166
2	窑坪	反向坡	T ₂ b ²	63
3	田家包	反向坡	T ₂ b ³ /T ₂ b ²	82
4	下西坪	反向坡	T ₂ b ³ /T ₂ b ²	111
5	高唐观	反向坡	T ₂ b ³ /T ₂ b ²	123
6	北门坡西	反/顺向坡	T ₂ b ³ /T ₂ b ²	95
7	烟草公司	顺向坡	T ₂ b ²	71
8	龙门桥东	顺向坡	T ₁ j ⁴	40
9	潘家岭	顺向坡	T ₁ j ⁴	48
10	茶店子	顺向坡	T ₁ j ⁴	58
11	柏树包	顺向坡	T ₂ b ¹	56
12	菜子上坝	顺向坡	T ₂ b ¹	58
13	欧家屋场	顺向坡	T ₁ j ⁴	65

围。(2)采用稳态坡形类比法预测岩质岸坡的库岸再造,是根据工程地质类比法的原则,对不同工程性质的岸坡选择不同的稳态坡形,可以充分考虑岸坡岩体工程性质的差异,使预测结果更趋于合理、准确。

(3)进行稳态坡形类比,应对岸坡岩体工程地质条件进行充分的调查研究,对岸坡进行合理的工程地质分段,对河流稳态坡形的坡角进行系统统计。在预测中,这些工作是基础性的,不可或缺。(4)稳态坡形类比法可以进一步推广到土质岸坡库岸再造的预测中。

参考文献:

[1] 蔡鹤生,唐朝晖,周爱国.三峡水利枢纽库区巫山县城新址地质环境质量预断评价[J].工程地质学报,1998,23(3):269-274.
CAI H S, TANG Z H, ZHOU A G. Quality prejudice evaluation of geoenvironment of the new city of Wushan county in the reservoir area of the Three Gorges Project [J]. Journal of Engineering Geology, 1998, 23(3): 269-274.

[2] 殷跃平.三峡库区移民迁建地质灾害研究[J].中国地质灾害与防治学报,1998,(增):59-66.

- YIN Y P. Research on geologic hazards of relocation construction at the Three Gorges Reservoir, the Yangtze River [J]. Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1998, (suppl): 59—66.
- [3] 张咸恭, 王思敬, 张倬元, 等. 中国工程地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
ZHANG X G, WANG S J, ZHANG Z Y, et al. Engineering geology in China [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [4] 张倬元, 王士天, 王兰生, 等. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
ZHANG Z Y, WANG S T, WANG L S, et al. Analytical principle of engineering geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- [5] 蔡述明, 杜耘, 黄进良, 等. 长江中游洪涝灾害的成因与监测决策支持系统的建立[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(6): 638—642.
CAI S M, DU Y, HUANG J L, et al. Causes of flooding and water logging in middle reaches of the Yangtze River and construction of decision making support system for monitoring and evaluation of flooding and water logging hazards [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(6): 638—642.
- [6] 刘世凯, 宋春节, 袁涛, 等. 长江三峡工程库区交通工程地质环境研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 340—342.
LIU S K, SONG C J, YUAN T, et al. Research on communication engineering geology environment in the Three Gorges Reservoir Area [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(4): 340—342.
- [7] 吴永锋, 石林. 三峡工程库区公路复建工程主要地质病害及防治对策[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(4): 402—405.
WU Y F, SHI L. Major geological hazards and preservation of road rebuilding engineering in the Three Gorges Engineering reservoir area [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(4): 402—405.
- [8] 晏鄂川, 唐辉明, 杨裕云, 等. 陆浑水库坝基断层破碎带渗透稳定性评价[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(1): 80—92.
YAN E C, TANG H M, YANG Y Y, et al. A systemic evaluation of seepage stability for fracture zone in Luhundam foundation [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(1): 80—92.
- [9] 王学潮, 张辉, 刘振红, 等. 南水北调西线工程地质灾害初步研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(3): 297—303.
WANG X C, ZHANG H, LIU Z H, et al. Geological hazards about west-line project of water diversion from upper Yangtze River into upper Yellow River [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(3): 297—303.

Analogy Method with Stable Side Shape to Predict Reservoir Side Rebuilding of Rock Shore

MA Shu-zhi, JIA Hong-biao, TANG Hui-ming

(Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Reservoir side rebuilding is a major problem that often arises in hydraulic and hydroelectric engineering, but there are no effective methods to forecast quantitatively the reservoir side rebuilding of rock shore. This paper introduces the analogy method with stable slide shape that can be used to predict the final width of the shore rebuilding. The method has been applied in forecasting the reservoir side rebuilding of a new town in the reservoir area of Three Gorges Project, and has produced perfect results. Hence it can be used for the planning and building of the new town.

Key words: reservoir side rebuilding; stable side shape; analogy method; quantitative prediction.