

# 三峡水库蓄水后对库区岸坡地貌过程的影响

徐永辉<sup>1,2</sup>, 杨达源<sup>1</sup>, 陈可锋<sup>3</sup>, 周彬<sup>1</sup>, 任雪梅<sup>1</sup>

(1. 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093;

2. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210097; 3. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

**摘要:** 长江三峡水库蓄水后, 因库区水位周期性涨落, 引起水动力条件明显改变, 导致地下水和库水共同作用于岸坡表面和岩土介质, 对岩土体产生物理、化学和力学作用, 对松散堆积物岸坡和基岩岸坡产生不同的影响, 地貌动力作用由在基岩风化剥蚀基础上以重力作用为主变为在库水和地下水作用下以蠕动、滑移、崩塌、侵蚀、冲蚀作用等为主, 进而引起岸坡变形, 使岸坡地貌过程发生一系列变化, 岸坡将经历一个地貌改造—再造的长期过程。

**关键词:** 三峡水库; 岸坡; 地貌过程; 影响

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2006)05-0023-03

**中图分类号:** P931.1, TV697

## Influence of the Three-Gorges Reservoir on Geomorphic Process on Bank Slope of the Yangtze River

XU Yong-hui<sup>1,2</sup>, YANG Da-yuan<sup>1</sup>, CHEN Ke-feng<sup>3</sup>, ZHOU Bin<sup>1</sup>, REN Xue-mei<sup>1</sup>

(1. Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093,

Jiangsu Province, China; 2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097,

Jiangsu Province, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, Jiangsu Province, China)

**Abstract:** After the completion of the Three Gorges reservoir, a series of changes in fluvial geomorphology processes will inevitably occur on bank slope of the reservoir. Two parallel permanent fluctuating belts will form on bank slope, and thus the power of reservoir water will fluctuate with changed water level. Changes in groundwater and reservoir water may affect bank slope surface and rock medium. The changes have physical, chemical and mechanics effects on rock materials, and influence loose deposits and rocky bank slope, differently. The major geomorphic processes may shift from gravitational geomorphic processes to creep, slide, collapse, erosion and washing processes, which transforms bank slope in turn. The geomorphic transformation and re-transformation processes on bank slope will last for a long time.

**Keywords:** the Three Gorges reservoir; bank slope; geomorphic process; influence

长江三峡河段水能蕴藏丰富, 又是沟通西南与华中、华东地区的重要通航水道, 历来受到研究者的重视, 其中三峡及其临近河段岸坡是重要研究内容之一。以往对三峡及其临近河段岸坡的研究主要集中在崩塌、滑坡等岸坡稳定性及其治理等方面<sup>[1-5]</sup>, 而对库岸地貌过程研究较少, 尤其是对三峡水库蓄水后库岸地貌过程的影响研究就更少。长江三峡工程是目前世界上在建的最大水利工程之一, 大坝坝顶高程185 m, 干流库长667 km, 支流库长4 000 km, 水库蓄水达 $3.93 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。大坝建成后, 大坝上下水动力条件改变较大, 导致局部侵蚀基准面的出现<sup>[6]</sup>, 塑造岸坡的动力地貌条件将随之改变, 库岸必定要经历一个地貌改造—再造过程。本文在前人研究基础上, 从

地貌分类和蓄水后库区岸坡动力条件的改变入手, 研究三峡库区蓄水后对库区岸坡不同类型地貌过程的影响。

根据三峡工程方案, 为使水库长期保持绝大部分有效库容, 三峡水库将采取“蓄清排浑”的运行方式, 即在每年6—9月长江上游来沙量最大之前, 将库水位降至145 m, 并在汛期开闸前放水排沙; 而在汛期后则关闭闸门, 将库水位升至175 m, 拦蓄清水以发挥水库效益<sup>[7]</sup>。因此, 库区水位冬季保持在175 m, 夏季保持145 m, 在库区两岸形成2条平行的水位季节性消落带<sup>[8]</sup>, 致使部分库岸周期性出没于水中, 加之在排水和洪水时水位骤降, 河流水动力条件改变更大, 库岸岩土体边坡条件受到不同程度的改变, 可能

诱导局部边坡失稳,引起库岸山体崩塌和滑坡,影响库岸地貌过程。

## 1 岸坡地貌分类

长江三峡水库蓄水后,周期性涨落的库水对不同地貌类型、不同质地的岸坡产生不同程度的影响。三峡库区以奉节为界,分东西两大地貌单元,奉节以东为侵蚀中山峡谷,以强烈侵蚀为主,兼有溶蚀,形成不同宽度相间的窄谷及中高山夹中低山丘陵的地形、地貌,山顶高程在 1 000~2 000 m。奉节以西为川东侵蚀剥蚀低山丘陵平行岭谷区,以较弱侵蚀为主,兼有微弱剥蚀,形成不同宽度相间的宽谷及低山夹中低山的地形、地貌,两岸岸坡低缓,河谷较为开阔。

长达 5 000 km 的长江三峡工程水库干支流,库区回水长度在 1 km 以上的支流有 173 条,回水河段总长 1 840 km,跨越不同的地貌和大地构造单元,由结晶岩、碳酸盐岩、碎屑岩等岩类和松散堆积物组成了多种岸坡结构类型,干流及主要支流水库岸中松散堆积物岸坡长 140.5 km,占总长的 4.69%,层状碎屑岩岸坡长 2 368.6 km,占总长的 79.06%;层状碳酸盐岩岸坡长 454.5 km,占总长的 15.18%;结晶岩岸坡长 32 km,占总长的 1.07%<sup>[9]</sup>。

## 2 蓄水后岸坡地貌动力作用的变化

修筑大坝前,三峡库区所在河段岸坡的地貌动力作用主要是在基岩风化剥蚀的基础上以重力地貌作用为主。蓄水后,库区水流流速与自然河道水流流速相比减小,河流的纵向侵蚀能力下降。但是由于水位周期性涨落,导致库岸岸坡周期性出没与水中,水库水补给地下水,引起地下水位上升。岸坡地下水主要有 4 种类型:松散堆积层空隙水、碎屑岩类裂隙水、碳酸盐岩岩溶水和结晶岩空隙裂隙水,按水动力类型可分为潜水和承压水。承压水主要赋存于含水层和隔水层相间成层的岩体中。库岸地下水也随之周期性变化,使地下水和库水共同作用于岩土介质中和岸坡表面,对岩土体产生物理、化学和力学作用。物理作用主要是软化和泥化岩土体中断层带物质和软弱夹层物质,从而降低岩土体的强度;化学作用主要是通过水-岩土体离子交换、溶解、水化等作用改变岩土体的结构而降低强度;力学作用主要是通过空隙静水压力和空隙动力水压作用对岩土体的力学性质改变。空隙静水压力减小岩土体中法向应力而降低岩土体强度,空隙动力压力对岩土体产生推力而降低岸坡的稳定系数<sup>[10]</sup>。由于塑造地貌过程的水动力改变,加之岩土类型及其组合、边坡形态、结构形式与临空面

的关系都将随之改变,使该岸坡上的动力作用发生了重大变化,直接影响岸坡的地貌过程。

三峡水库蓄水以后,库面水域变得更加开阔,例如巫山新县城一带长江库面将增至 400~1 400 m,大宁河库面增宽至 600~1 500 m。区内最大风速 > 17 m/s,特别是夏季大风,占 20~30 d。由于山谷风的作用以及库水的流动对库岸引起冲刷作用,使库岸后移,并使河谷深切,使岸坡变高变陡,库水冲刷坡脚,切断滑动面而使之临空,失去底部支撑,斜坡的稳定平衡遭受破坏,产生崩塌与滑坡。当库水位到达 150 m 或 180 m 时,库区两岸大多数岸坡淹没深度可达 50~100 m,水的作用力对边坡的影响范围很大。在每年 6—9 月长江上游来沙量最大之前,将库水位降至 145 m,水库水位突降,由水的冲刷作用而形成的具有临空面的岩石所受到的浮托力则迅速减小,滑坡体所受到的抗滑阻力也迅速减小,从而引起局部崩塌和滑坡。

在库水的动水压力和静水压力增大引起的崩塌和滑坡,由于库水水位的突然降低,库岸内地下水水位高于库水位,地下水由滑坡体排出,较大的水深和水力梯度形成较大的动水压力,加大了沿地下渗流方向的滑动力,从而引起局部老滑坡的复活和新滑坡的产生。但是,如果滑坡体地下水排出较慢,地下水水位下降严重滞后于库水位,会形成较大的静水压力,也会增大下滑力,引起局部崩塌和滑坡发生。

## 3 蓄水后对岸坡地貌过程的影响

由于松散堆积物岸坡和岩石岸坡的物质组成、结构存在很大差异,水位上升后,不同类型的岸坡在库水和地下水的作用下,将产生不同的影响,影响的程度和速度也将不同,对岸坡塑造的方式也不同。

### 3.1 松散堆积物岸坡

松散堆积物岸坡依据结构可分为冲洪积沙砾土岸坡,崩、滑堆积质岸坡或碎石(土)岸坡,厚层残积碎(块)石(土)岸坡<sup>[9]</sup>。

由于结构松散,粘结力小,透水性强,岩相复杂多变,形成时间和成因各不相同的松散堆积物在很短的距离内交错堆积在下伏基岩之上,导致不同层次间渗透性、富水性的差异,形成不规则的上层滞水或多水层带状水,松散堆积层与下伏基岩的透水性差异很大,基岩顶面易构成隔水顶板,相对隔水层的顶面易形成滑面,与基岩顶面接触部分的物质在库水和地下水的长期浸泡下,强度降低而易产生滑移,在滑移过程中坡体在岩土块的撞击力和滑移惯性力的作用下很容易解体,形成滑坡碎屑流<sup>[11]</sup>。在库水冲刷侵蚀

作用下,堆积体临江部分被掏空,前缘临空,当抗滑力不足以抵抗下滑力时,失去支撑而向下滑动。尤其是库水位接近各种软弱结构面的高程时,在地下水的作用下,软弱结构面软化导致滑坡的发生和发展(附图1a)。蓄水后,松散堆积物岸坡周期性浸泡在库水中,或部分浸泡在库水中,吸水膨胀,加之波浪的侵蚀,导致古滑坡,或古倒石堆前缘发生了错落或古滑坡或古倒石堆再发生滑移,老滑坡复活,直至产生坍塌、坍塌或滑坡。坍塌主要发生在河流冲积层分布地段,坍塌按其起始运动方式分为滑塌式和坠落式2种,库区冲积层分布范围小,呈狭长条带沿江分布,厚度不大。

### 3.2 岩质岸坡

岩质岸坡由层状碎屑岩岸、层状碳酸盐岩岸、结晶岩岸坡等组成,软硬相间的层状碎屑岩和有软弱基座的局部碳酸盐岩库岸,变形相对强烈。

蓄水前,岩质岸坡受风化作用、地下水作用等因素作用,岸坡基底泥岩或泥质砂岩软硬夹层的风化、软化、崩解,形成风化穴、软弱基座,在上伏岩体自重等外载荷作用下发生压缩流变及临空方向的剪切流变,坡体上缘基地部位产生部分张裂隙,陡倾角裂隙带进一步拉张,逐渐形成危岩体<sup>[12]</sup>,为水位上升后岸坡形变创造了条件。

蓄水后,岸坡岩体周期性出没与库水中,引起岸坡岩体物理力学性质发生改变,在库水静压力、浮托力和动水压力等作用下,岩体底部的潜在滑动面浸水软化、泥化,空隙压力增大(附图1b),抗剪强度降低。同时原来岩体阻滑的前缘部位,受库水浮托,降低了阻滑力,引起岸坡沿软弱滑动面顺层活动。由于层状岩层具有软硬相间的结构,尤其是顺向坡,较强的构造应力作用使软硬岩层相互错动,软硬岩层接触面上产生应力差,使得岩层内部发育有多组构造裂隙,破坏了岩体的完整性,有利于地下水的活动。

在部分岸坡地段,临江部分被长江切割临空,两侧发育深切冲沟,后缘坡度很大,形成三面临空地带。受风化作用等外营力的作用,岸坡逐步松动变形,岸坡岩体连续性、完整性不断遭受破坏,稳定性、力学强度不断下降,易发生岩体顺层滑坡部位,尤其在库水位迅速下降时,岩体内空隙水来不及随库水下降而排出,岩体内仍保持很高的浸润面。随着地下水坡降的增大,而形成渗透压力,这时库水对岸坡的挤压力消失,导致抗滑力减少,下滑力增加,易引起岸坡滑坡<sup>[13]</sup>。依据岩层走向等可分位倾外层状岸坡、平缓(及软弱基座)层状岸坡、倾内层状岸坡,碳酸盐岩区具软弱基座的岸坡段是崩塌、滑坡的密集地带。滑坡以其发育的岩类分为基岩滑坡和堆积层滑坡,基岩滑

坡按滑动面与滑床基岩产状的关系,分为顺层滑坡和切层滑坡。

岸坡崩塌、滑坡的发育强度受岩性、地质构造和岸坡结构等条件的控制,多分布在秭归树平—巴东黄腊石、巫山老鼠错—大湾、黄瓜树—刘家屋场、奉节白衣庵—云阳茂河岭、云阳宝塔—兴隆滩、万县市一带、万县大溪口—狮耳冲、忠县庙上一丰都陈家吊崖等支流主要分布在香溪河、归州河、青干河、草堂河、梅溪河和乌江岸,这些地段的岸坡水位上升后,将诱发和加速滑坡的形成。尤其在水位波动时,在每年的11月至翌年3月,汛前大幅缓慢消落,坝前水位从175 m降至防洪限制水位145 m,促使稳定性较差的岸坡变形产生滑移。水位波动较大的时段,小幅度快速消落,即汛期一次洪峰后库水位骤降,引起边坡失稳,产生滑坡等。

## 4 结 论

三峡水库蓄水后,以前出露的岸坡岩土体周期性出没于水中,引起水动力条件明显改变,导致地下水和库水共同作用于岸坡表面和岩土介质,对岩土体产生物理、化学和力学作用,对松散堆积物岸坡和基岩岸坡产生不同的影响。岩石和土体经水的浸泡后,其强度普遍降低,且吸水性越强,强度降低越大。页岩、黏土岩、含有机质的黏土等,亲水性很强,在库水的浸泡作用下发生物理、化学、力学性质变化,特别是有软硬夹层的岩体,会软化、泥化。当岩体的软弱层、结构面、松散堆积层与基岩接触带土体受水浸泡时,其抗剪强度普遍下降,当斜坡体下滑力超过支撑力时,斜坡体失去平衡,产生变形位移现象,将会发生崩塌和滑坡,抗剪强度降低,破坏库岸斜坡,导致老滑坡复活新滑坡产生,松散堆积物岸坡产生坍塌,岩石岸坡产生崩落等。加速坍塌、崩塌、滑坡的过程,地貌动力作用由在基岩风化剥蚀基础上以重力作用为主变为在库水和地下水作用下以蠕动、滑移、崩塌、侵蚀、冲蚀作用等为主,进而引起岸坡变形,对于松散堆积岸坡的改造时间较短,而对于基岩质岸坡的改造时间则较长,表现为缓慢长期的岸坡演化过程,使岸坡地貌过程发生一系列变化,岸坡将经历一个地貌改造一再造的长期过程。

### [参 考 文 献]

- [1] 柴宗新. 对不同岸坡类型的侵蚀及其防治进行了研究[J]. 灾害学, 1996, 11(3): 27—31.
- [2] 段文磊, 彭严波, 肖华. 三峡库尾上游河段河床边界组成[J]. 人民长江, 2000, 31(9): 1—3.

## 4.2 良好的生态效益

古运河两岸生态墙建成后,也将大大美化城市环境,一改往日放眼望去尽是单调的混凝土堤坝为茵茵绿草的视觉效果,也将为镇江这座历史名城增添一处靓丽的景点。另外,生态墙还可以稀释、分解、吸收、固定大气中的有害、有毒气体,能把有毒的硝酸盐氧化为有用的盐类,将二氧化碳转化为氧气,所优选的部分植被还能分泌特殊的杀菌素,杀死某些细菌,从而有益于城市居民的身心健康。

### [参 考 文 献]

- [1] 周明涛,许文年,叶建军,等. 云南小湾水电站边坡治理研究[J]. 水土保持通报,2005,25(2):76—80.
- [2] 许文年. 清江隔河岩电厂高陡混凝土边坡绿化技术研究[J]. 水利水电技术,2003,34(6):43—47.
- [3] [日]财团法人,都市绿化技术开发机构 编著. 谭琦,姜洪涛 译. 屋顶、墙面绿化技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004,4:51—68.
- [4] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2003. 123—128.
- [5] 蒋永明. 园林绿化树种手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002,9:290—294.
- [6] 叶建军,周明涛,许文年,等. 谈喷射护坡绿化技术[J]. 水土保持研究,2004,11(2):194—196.
- [7] 《土壤学》编写组. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,1992. 86—95.
- [8] 昆明市草坪协会. 云南草坪[M]. 昆明:云南科技出版社,2001. 120—138.
- [9] 杨京平. 生态恢复工程技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002. 56—58.
- [10] 章恒江. 岩质坡面喷混快速绿化新技术[J]. 国外公路,2000,20(5):30—32.
- [11] 胡广录. 水土保持工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002. 94—95.
- [12] 王礼先. 水土保持工程学[M]. 北京:中国林业出版社,2000. 121—123.
- [13] Wu T H, Mckinell W P, Swanston D N. Strength of tree roots and landslide on Prince of Wales Island, Alaska [J]. Canadian Geotechnical Journal 1979, 16(1): 19—33.
- [14] Shewbridge S E, Sitar N. Deformation characteristics of reinforced sand in direct shear[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 115(8): 1134—1147.
- (上接第25页)
- [3] 徐永年,梁志勇,王向东,等. 长江九江河段河床演变与崩岸问题研究[J]. 泥沙研究,2001,25(4):41—46.
- [4] 王文俊. 三峡库区干流崩塌、滑坡的发育特征及危险评价[J]. 灾害学,2002,17(4):54—59.
- [5] 马逸麟,梅丽辉,刘益辉. 江西省长江岸带崩塌及影响因素分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(3):61—65.
- [5] 石豫川,冯文凯,王学武,等. 库水作用下公路土质岸坡稳定性影响因素综合评判[J]. 灾害学,2005,20(4):33—38.
- [6] 陆中臣. 流域地貌系统[M]. 大连:大连出版社,1991. 93—96.
- [7] 杨达源,李徐生,冯立梅,等. 长江三峡库区崩塌滑坡的初步研究[J]. 地质力学学报,2002,8(2):173—178.
- [8] 袁中友,唐晓春. 蓄水和水位变动对三峡库区崩塌滑坡的影响及对策[J]. 热带地理,2003,23(2):30—34.
- [9] 长江水利委员会. 三峡工程地质研究[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,1997. 79—96.
- [10] 刘树人,穆桂春,刁承泰. 三峡水库建成后对长江河床演变影响的预测与对策[J]. 地球信息科学,2003,5(1):1—4.
- [11] 刘春,姜德义,任松. 三峡库区消落带典型地质灾害成因分析[J]. 中国矿业,2004,13(10):53—55.
- [12] 苏爱军,刘红星,孙云志,等. 三峡库区水平层状滑坡成因研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2004,28(3):427—430.
- [13] 王珪,李述靖,王学佑,等. 长江三峡库区崩滑地质灾害的形成与分布规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2000,11(2):24—29.