

# 关于三峡水库消落带地貌变化之思考

张信宝

(中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 与国内外特大型水库相比, 三峡水库消落带具有常年水位变幅大, 干流航运繁忙, 波浪大和良田沃土多的特点。三峡水库蓄水后, 消落带坡地地貌变化的发生是必然的, 形成的稳定坡地类型有淤积滩涂坡地、稳定石质坡地和稳定土质坡地 3 种, 其地貌演化过程可分为强烈侵蚀期、基本稳定期和淤积填平期。水库蓄水后, 消落带坡地土壤的流失势必影响消落带坡地的植被建设。鉴于目前我国三峡水库消落带坡地地貌演化的相关研究严重不足, 已开展的生态环境修复重大科研项目, 均没有重视水库蓄水后消落带坡地地貌的变化, 也没有安排地貌演化的相关内容, 作者从坡地地貌演化的角度, 对三峡水库消落带生态环境的研究、治理工作和水库运行方案的调整提出了相关建议。

**关键词:** 三峡水库; 消落带; 地貌变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0001-04

中图分类号: P431.1

## Thinking about Geomorphologic Evolution of Slopes in Hydro-fluctuation Belt of Three Gorges Reservoir

ZHANG Xin-bao

(Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** Compared with other large reservoirs in China and abroad, the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir is characterized with high annual hydro-fluctuation, heavy waves caused by busy shipping in the main stream and a large area of fertilized cultivated land. After filling of a reservoir, great geomorphologic changes should occur on the bank slope and final stable slopes has following three types: silting beach slopes, eroded bedrock slopes and eroded earth slopes. Geomorphologic evolution processes on bank slopes of the hydro-fluctuation belt can be divided into three stages of severe erosion, general stable and gradual silting up. Vegetation mediation on the bank slopes should be seriously affected by soil losses during the geomorphologic evolution processes after reservoir filling. Little researches have been done on geomorphologic evolution of the bank slopes in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir. Little attention has been paid to the geomorphologic evolution of the bank slopes in the existing key research projects on ecology and environment remediation in the hydro-fluctuation belt of the Three Gorges Reservoir. From the view of the geomorphologic evolution of the bank slopes, suggestions on research and remediation of the ecology and environment in the hydro-fluctuation belt and on adjustment of reservoir operation scheme are also proposed.

**Keywords:** Three Gorges Reservoir; fluctuation belt; geomorphologic evolution

长江三峡工程规模宏大, 举世瞩目, 兼有发电、防洪和航运等功能。水库坝高 185 m, 冬季枯水季节 175 m 高水位运行, 夏季洪水季节以 145 m 防洪限制低水位运行。三峡工程竣工蓄水至 175 m 之后, 库区水位最大变幅可达 30 m, 两岸海拔 145~175 m 坡地的生态环境将发生很大变化, 会出现库岸长 2 996 km, 面积约 300 km<sup>2</sup> 的水库消落带<sup>[1]</sup>。工程单位和

当地政府都非常重视消落带的景观生态、环境污染和土地利用问题, 期望水库蓄水后出现景观生态良好, 土地合理开发利用和能够净化水库环境的消落带。

三峡水库消落带的景观生态变化、生态修复、土地利用和地质灾害一直是学术界的研究热点, 相关文献不胜枚举<sup>[2-15]</sup>。中央有关部委、三峡总公司和重庆、湖北两省市均设立相关科研项目开展研究。

笔者最近有幸涉足三峡水库库区水土流失研究,查阅了有关消落带生态修复和土地利用的一些文献<sup>[2-15]</sup>,对正在开展的有关三峡消落带生态修复的一些重大科研项目也有所了解,发现有关三峡水库消落带地貌变化的研究鲜有报道<sup>[16-17]</sup>。已开展的有关消落带生态修复的重大科研项目,均没有重视水库蓄水后消落带坡地地貌发生的巨大变化,也没有安排地貌变化的相关内容。消落带的生态修复和土地利用的规划和治理对水库蓄水后消落带坡地地貌变化也重视不够。

笔者通过近 2 a 对水库蓄水后 145 ~ 165 m 消落带坡地的地貌和植被变化的观察,认识到水库蓄水后消落带坡地地貌发生巨大变化。坡地地貌是消落带生态系统的下垫面基础。笔者对现在开展的有关消落带生态修复的科研项目和规划治理工作没有重视水库蓄水后的地貌变化深感忧虑,草成此文以期引起学术界和有关方面对三峡水库蓄水后地貌变化的重视,将三峡水库消落带的生态修复和土地利用建立在坚实的下垫面基础上。

## 1 三峡水库消落带的特点

水库运行出现消落带是正常的,和国内外大型水

库相比(表 1)<sup>[18-25]</sup>,三峡水库的消落带具有以下的特点。

(1) 常年水位变幅大。三峡水库为河道型水库,库容/坝高比小,为了保证能发电出力和足够的防洪库容及“蓄清排浑”运行方式的需要,冬季枯水季节的三峡水库 175 m 高水位运行,夏季洪水季节 145 m 防洪限制低水位运行,常年水位变幅 30 m。

(2) 干流航运繁忙。三峡水库为河道型水库,干流库面窄,水面平均宽度仅 1 576 m。三峡长江干流是重要的航运通道,航运繁忙,大型船舶形成的波浪强烈拍击库岸。

(3) 消落带良田沃土众多。长江三峡河谷地带气候温暖湿润,紫色土土壤肥沃,又有舟楫航运之便,人口密集,农事发达,除极陡坡地外,其余土地几皆垦之。三峡工程建设前,175 m 高程以下的淹没区,人口密度多大于 400 人/km<sup>2</sup>,土地垦殖率多高于 50%。

三峡水库是国内外航运最繁忙的大水位变幅水库。国外特大型水库多修建于人口稀少的地区,淹没区农田不多;国内大部分大型水库,如二滩、龚嘴、刘家峡和龙羊峡水库,淹没区农田也不多。修建于 20 世纪 50—60 年代的新安江水库淹没区农田相对较多,但也远少于三峡水库,土地垦殖率低于 30%。

表 1 国内外部分大型水库的功能、水位变幅与环境特征

水库名称	水系	蓄水年份	坝高/m	库容/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	功能	水位变幅/m	库区环境
三峡	中国长江	2006	181.0	393.0	防洪、发电、航运	175 ~ 145	人口密集的亚热带中低山河谷
二滩	中国雅砻江	1998	240.0	58.0	发电	1 200 ~ 1 185	人口较少的中高山深切干旱河谷
龚嘴	中国大渡河	1970	85.6	3.1	发电	528 ~ 520	人口较少的中高山深切干旱河谷
新安江	中国钱塘江	1959	105.0	216.3	发电、防洪、灌溉	108 ~ 106.5	人口较多的亚热带丘陵低山
龙羊峡	中国黄河	1986	178.0	276.3	发电、防洪、防凌、灌溉	2 581.1 ~ 2 531.7	人口稀少的干旱高原盆地
刘家峡	中国黄河	1974	147.0	57.0	发电、防洪、灌溉	1 728.9 ~ 1 712.2 (实际运行水位)	人口稀少的干旱高原盆地
胡佛	美国科罗拉多河	1936	221.0	348.5	供水、发电、灌溉、防洪	373.51(1 983.7) ~ 330.35(1 856.4)	人口非常稀少的沙漠地带
阿斯旺	埃及尼罗河	1970	111.0	1 620.0	灌溉、发电、航运	173.0 ~ 72.8	人口稀少的干旱高原
伊泰普	巴西和巴拉圭的界河巴拉那河	1981	196.0	290.0	发电、旅游	220 ~ 219 [水位变幅一般 < 1 m/a;历史最大变幅 (199911—200002)为 5 m]。	人口稀少的亚热带高原

## 2 三峡水库消落带稳定坡地类型

根据岩土组成,蓄水前的消落带坡地的类型可分为土质、石质和“土+石”复合型3种。土质坡地的岩土组成,主要为冲积物和崩坡积物;石质坡地,主要为中生代紫色砂页岩和石灰岩,湖北境内有少量花岗岩和古生代沉积岩;“土+石”复合型坡地主要为基岩上覆残坡积物、冲积物和风化土等松散堆积物。4.69%的消落带库岸为土质坡地<sup>[26]</sup>,其余为石质和“土+石”复合型坡地。坡度大于35°极陡坡地多为石质坡地,小于35°坡地多为“土+石”复合型坡地。

水库蓄水后,消落带原有陆生植被死亡,根系腐烂,固结作用消失;坡地岩土长期浸泡,重量增加,强度降低。库岸坡地的地下水位由于水库蓄水升高,坡体稳定性降低,库水位快速下降时,坡体内的孔隙水来不及随水位下降而排出,水压力增大,稳定性急剧降低,易于失稳。在风和船舶航行产生的波浪的长期拍击下,土质库岸易遭侵蚀,特别是没有植物根系固结的土质库岸,松散堆积物被分解为单个的岩土颗粒。在库水位周期性涨落引起的地下水水位变动,波浪的拍岸侵蚀和蓄水后岩土强度降低的共同作用下,消落带坡地地貌发生变化是必然的。消落带坡地地貌变化的方式主要有以下两种:一是水力侵蚀,坡地径流或拍岸波浪侵蚀消落带坡地表层土壤;二是重力侵蚀,消落带坡地岩土失去重力稳定,发生滑坡、崩塌等块体运动。多年周期性的水位变化和荡涤侵蚀后,消落带坡地易侵蚀的土壤侵蚀殆尽,易滑塌的岩土滑塌殆尽,逐渐形成长期稳定的坡地类型。

水库消落带稳定坡地类型有3种。(1)淤积滩涂坡地。坡地由淤积的松散泥沙颗粒组成,坡地坡度取决于泥沙颗粒的粒度,粒度越粗,坡度越来越大。淤泥质滩涂的坡度均小于1%<sup>[27-28]</sup>,砂砾质滩涂的坡度多小于5%。滩涂坡地分布于低水位线的库岸、离岸岛屿,和高低水位之间的平坦台地。三峡水库的淤积滩涂多为淤泥质,坡度小于1%;库尾淤积泥沙较粗,滩涂坡度也大于下游。一些支流汇口的砂砾质冲积扇滩地,坡度大于1%,可达5%,甚至更大。(2)石质坡地。坡地由坚硬的岩石组成,坡体不但整体稳定,也能抵抗波浪侵蚀,坡地坡度不一,可几近垂直。侵蚀石质坡地分布于高低水位之间。石质山区的水库,侵蚀石质坡地是消落带稳定坡地的主要类型。如同其它石质山区的水库,侵蚀石质坡地也是三峡水库消落带稳定坡地的主要类型。(3)土质坡地。坡地由块状的土体组成,高水位线以下数米内的土体有植物根系的固结,坡体整体稳定,也能抵抗轻微波浪的

侵蚀,坡地坡度不一,可几近垂直。一些水位变幅不大,波浪侵蚀轻微的水库,胶结较好的半成岩土状地层也可组成高陡的消落带坡地,如黄河上游的龙羊峡、刘家峡水库和黄土高原一些水库的第三纪半成岩地层和黄土组成的消落带岸坡。没有植物根系固结的土质岸坡的稳定型较石质坡地为差,易发生崩塌、滑坡。三峡水库水位变幅大,拍岸波浪侵蚀强烈,不可能保存没有植物根系固结的高陡土质岸坡,植物根系固结的土质岸坡分布于175 m高程以下数米内的消落带。

## 3 三峡水库消落带坡地貌变化过程

三峡水库蓄水后的消落带坡地地貌变化可划分为强烈侵蚀期、基本稳定期和淤积填平期3个阶段(详见图1)。

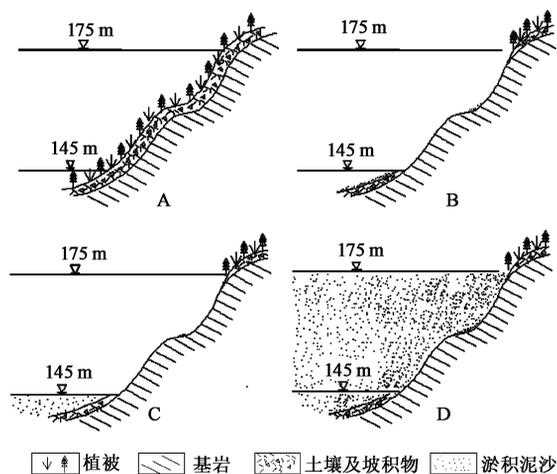


图1 蓄水后的三峡水库消落带“土+石”复合型坡地地貌变化示意图

A 蓄水前;B 强烈侵蚀期末;C 基本稳定期末;D 淤积填平期末

(1)强烈侵蚀期。由于库水位大变幅周期性变化和强烈的波浪拍岸掏蚀,消落带坡地侵蚀强烈。坡度大于淤积滩涂坡度的土质和“土+石”复合型坡地,各种松散堆积物如同粘在上的腐肉,在水力侵蚀和滑坡、崩塌等重力侵蚀的作用下被侵蚀殆尽,下伏基岩出露。175 m高程以下数米内的植物根系固结较好的土质岸坡,能抗击波浪的掏蚀得以保存。石质坡地抗水力侵蚀性能较好,但部分坡地可能发生滑坡、崩塌等重力侵蚀现象。坡度小于淤积滩涂坡度的145~175 m高程之间的台地顶面和145 m高程附近的库岸有泥沙淤积发生。

(2)基本稳定期。通过多年的强烈侵蚀,消落带坡地的松散堆积物被侵蚀殆尽,绝大部分石质坡地十分稳定,坡地水力侵蚀和重力侵蚀都比较轻微,145~175 m高程之间的平坦台地泥沙淤积,消落带坡地

地貌基本稳定。由于泥沙淤积,水库 145 m 高程附近的边滩和江心洲逐渐发育。

(3) 淤积填平期。除中央深槽外的 145 m 高程以下的水库库容基本淤满后,145 m 高程以上的库容也将逐渐被淤满填平。这一期间,边滩以上的消落带坡地稳定,高差逐渐变小。根据长江上游龚嘴、二滩等大型水库消落带的地貌变化过程,结合三峡水库的实际情况,我们初步认为,三峡水库消落带的强烈侵蚀期的历时约 10 a 或稍长,水位变幅较小和不受航运影响的支流库尾历时较长。基本稳定期约数十年,淤积填平期约数百年。

## 4 建议

从消落带坡地地貌变化的角度,对三峡水库消落带生态环境的研究和治理工作和水库运行方案调整提出如下建议,以供讨论。

(1) 调整现有消落带生态修复科研项目研究目标和相关研究内容。鉴于水库蓄水后消落带坡地出现强烈的侵蚀,大部分坡地的土壤将被侵蚀殆尽,基岩裸露不可避免,利用植物保护这部分消落带土壤的良好愿望是不可能实现的实际,现有科研项目应突出 175 m 高程上下的护岸植被建设的目标,强化相关研究内容;摈弃水深大于数米消落带的植被建设的目标和相关研究内容;增加消落带坡地地貌变化的研究内容。

(2) 尽快立项开展消落带地貌变化的研究。鉴于地貌变化是三峡水库消落生态修复和土地利用的基础和研究滞后的实际,尽快立项开展消落带地貌变化的研究,监测蓄水后消落带坡地地貌变化过程,阐明变化规律,揭示时空变化格局,编制消落带基本稳定期地貌图,为消落带生态修复和土地利用规划奠定坚实的下垫面基础。

(3) 依据基本稳定期的坡地地貌,开展消落带生态修复和土地利用的规划和治理工作。除 175 m 高程左右的护岸植被外,可考虑将 145 m 高程一线的滩涂、沙洲和 145 ~ 175 m 高程之间的淤积平坦台地,利用为夏季低水位运行期的季节性草场或农田。

(4) 尽快开展调整水库运行方案的研究。立项开展高水位小变幅工程运行方案的研究,调整现行的工程运行方案,减少防洪库容。水位变幅越小,消落带坡地的侵蚀越轻微,地貌和景观的变化越少,消落带的其它生态环境问题也相对容易解决。三峡水库现行的工程运行方案制定于 20 世纪 80 年代末期,20 a 来长江上游生态环境明显改善,又修建了一批新的水库,水文状况发生了新

的变化。金沙江的溪落渡、向家坝电站工程已经截流,建成后将大大减轻三峡水库的防洪负担。天气预报特别是暴雨预报的精度提高,更有可能根据上下游和暴雨洪水流量的精准预报,及时调整水库水位满足防洪需要。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 苏维词. 三峡库区消落带的生态环境问题及其调控[J]. 长江科学院院报, 2004, 21(2): 32-34.
- [2] 陈国阶. 对长江三峡工程生态环境问题的探讨[J]. 科技导报, 1987(1): 4-9.
- [3] 陈国阶. 三峡工程对生态与环境的影响和对策[J]. 中国科学院院刊, 1991(4): 297-304.
- [4] 陈国阶. 三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京: 科学出版社, 1995, 337.
- [5] 陈国阶. 三峡库区发展态势与问题[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(2): 107-112.
- [6] 翁立达, 敖良桂. 长江三峡工程生态与环境保护回顾[J]. 人民长江, 2003, 34(8): 40-42.
- [7] 刁承泰, 黄京鸿. 三峡库区水位涨落带土地资源的初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(1): 75-80.
- [8] 周彬, 董杰, 葛兆帅, 等. 三峡库区生态环境与可持续发展对策研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1503-1506.
- [9] 涂建军, 陈治谏, 陈国阶, 等. 三峡库区消落带土地整理利用[J]. 山地学报, 2002, 20(6): 712-717.
- [10] 陈昌齐, 叶元十, 刘方贵, 等. 三峡水库重庆库区消落带渔业利用初步研究[J]. 国土与自然资源研究, 2000(1): 51-54.
- [11] 黄川, 谢红勇, 龙良碧. 三峡湖岸消落带生态系统重建模式的研究[J]. 重庆教育学院学报, 2003, 16(3): 63-66.
- [12] 刘宗群. 三峡水库水文涨落带的景观生态分析及其对策[J]. 重庆环境科, 1993(2): 24-28.
- [13] 杜榕桓, 刘新民, 袁建模, 等. 长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1990: 207.
- [14] 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.
- [15] 田一德, 汪小莲. 三峡水库库岸崩滑体处理问题初探[J]. 人民长江, 1999, 30(11): 6-7.
- [16] 徐永辉, 杨达源, 陈可锋, 等. 三峡水库蓄水后对库区岸坡地貌过程的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5): 23-25.
- [17] 张奇华, 丁秀丽, 张杰, 等. 三峡库区奉节河段库岸蓄水再造研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 1007-1012.
- [18] 蹇德平. 二滩水电站经济运行方式初探[J]. 四川水力发电, 2006, 25(2): 6-8.

有足够的风险承受能力,政府政策的扶持作用至关重要。一方面,政策制定时应考虑如何提高农户承担风险的能力,另一方面,在退耕还林工程已经取得部分生态效益的时候,保障农户的经济收益是退耕还林政策持续的关键。应注重发展农村后续产业,保障农户的长远经济收益。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Wu J J, Adams R M, Kling C L, et al. From microlevel decisions to landscape changes: An assessment of agricultural conservation policies [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2004, 86 (1): 26-41.
- [2] 陈秀容. 尼爪哇岛农业土地利用的演变: 市场、人口和政策对土地利用影响的实例研究[J]. *人文地理*, 1995, 10 (3): 68-70.
- [3] Bekele Shiferaw, Stein T Holden. Policy instruments for sustainable and management: the case of highland smallholders in Ethiopia [J]. *Agricultural Economics*, 2000, 22: 217-232.
- [4] 石敏俊,程淑兰,张巧云. 中国北方沙漠化地区生态中间的环境政策研究: 基于 Bio-economic Model [J]. *自然资源学报*, 2006, 21 (3): 465-472.
- [5] 钟太洋,黄贤金,翟文侠. “退耕还林”政策驱动下的农户土地转用决策及土地利用变化影响研究: 基于江西省丰城市农户问卷调查的一个分析[J]. *亚热带水土保持*, 2006, 18 (3): 8-11.
- [6] 王兵,侯君岐,韩锁昌. 退耕还林地区农户退耕意愿研究: 对陕西省农户的实证研究[J]. *林业经济问题*, 2007, 27 (2): 185-188.
- [7] 陈美球,肖鹤亮,何维佳,等. 耕地流转农户行为影响因素的实证分析[J]. *自然资源学报*, 2008, 23 (3): 369-374.
- [8] 张笑寒. 农户土地入股决策行为及其区域差异: 基于江苏省的农户调查[J]. *中国土地科学*, 2008, 22 (4): 67-72.
- [9] 柯水发,张铁珍. 农户参与退耕还林意愿影响因素实证分析[J]. *中国土地科学*, 2008, 22 (7): 27-33.
- [10] 钟太洋,黄贤金,马其芳. 区域兼业农户水土保持行为特征及决策模型研究[J]. *水土保持通报*, 2005, 25 (6): 96-100.
- [11] 雷敏,曹明明,郝静. 米脂县退耕还林的综合效益评价与政策取向[J]. *水土保持通报*, 2007, 27 (3): 151-156.

#### (上接第4页)

- [19] 顾大勤. 龚嘴水库调度[J]. *四川水力发电*, 1995, 14 (3): 76-80.
- [20] 周文华,张庚然. 新安江水电站工程概况[J]. *大坝与安全*, 1993 (3): 12-15.
- [21] 王义民,黄强,朱教新,等. 龙羊峡水库长期低水位运行原因分析及抬高水位对策研究[J]. *水利水电技术*, 2003, 34 (5): 53-56.
- [22] 黄永健,毛继新,黄金池. 刘家峡水电站运行水位与坝前及洮河淤积的研究[J]. *水利水电技术*, 1997, 28 (6): 2-7.
- [23] Dewey Ken. Lake Mead Elevation at Hoover Dam Continues to Fall [EB/OL]. [2007-10-31]. [www.hprcc.unl.edu/nebraska/Lake-Mead-2007.html](http://www.hprcc.unl.edu/nebraska/Lake-Mead-2007.html). 2009-06-06.
- [24] 史大桢,潘家铮,魏廷璋. 埃及阿斯旺高坝工程考察报告[J]. *人民长江*, 1987, 18 (6): 1-10.
- [25] Thomazl S, Pagioro1 T, Bini T, et al. Effect of reservoir drawdown on biomass of three species of aquatic macrophytes in a large sub-tropical reservoir (Itaipu, Brazil) [M]. *Hydrobiologia*, 2006, 570: 53-59.
- [26] 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: 294.
- [27] 任美镔. 中国淤泥质潮滩沉积研究的若干问题[J]. *热带海洋*, 1985 (4): 6-14.
- [28] 时钟,陈吉余,虞志英. 中国淤泥质潮滩沉积研究的进展[J]. *地球科学进展*, 1996, 11 (6): 555-561.