

三峡水库蓄水对汉江堤防安全的威胁及防御对策

李义天, 邓金运, 甘富万

武汉大学水资源与水电工程国家重点实验室, 武汉 430072

[摘要] 三峡水库汛后蓄水, 每年 10 月份下泄流量大为减小, 汉口水位较目前显著降低, 将加重汉江秋季洪水对汉江堤防及武汉地区防洪安全的威胁。本文在对三峡水库蓄水后汉口水位下降分析的基础上, 探讨了三峡蓄水对汉江堤防安全的威胁, 并提出了相应的防御对策。

[关键词] 三峡水库蓄水; 汉江; 堤防; 对策

[中图分类号] TV871, TV85

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)12-0045-05

Threat on Bank of Hanjiang River due to the Impounding Water of TGP and Its Countermeasures

LI Yitian, DENG Jinyun, GAN Fuwan

State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract: Due to the impounding water of the Three Gorges Project (TGP), the discharge in downstream river will greatly decrease, and the water level at Hankou will also decrease, which is dangerous to the safety of the bank of Hanjiang River and the flood control in Wuhan area. Based on the analysis of the decrease of the water level at Hankou, the threat to the bank of Hanjiang River due to the impoundment of TGP is studied, and the countermeasures are proposed in this paper.

Key Words: impounding water of TGP; Hanjiang River; bank; countermeasure

CLC Numbers: TV871, TV85

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)12-0045-05

收稿日期: 2007-04-28

基金项目: 国家重点基础研究发展(973 计划)项目(2003CB415203), 国家自然科学基金项目(05050920)

作者简介: 李义天, 武汉市东湖南路 8 号武汉大学水利水电学院, 教授, 研究方向为河流泥沙; E-mail: ylti@whu.edu.cn

- Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(6): 637-643.
- [11] 李国英. 维持黄河健康生命 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005: 148-155, 282-286.
- LI Guoying. Managing the health life in the Yellow River [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2005: 148-155, 282-286.
- [12] 李国英. 基于空间尺度的黄河调水调沙[J]. 人民黄河, 2004, 26(2): 1-4.
- LI Guo-ying. Regulating water and sediment basing on special scale in the Yellow River [J]. Yellow River, 2004, 26(2): 1-4.
- [13] 岳德军, 侯素珍, 赵业安. 黄河下游输沙水量研究[J]. 人民黄河, 1996, 18(8): 32-33.
- YUE De-jun, HOU Su-zhen, ZHAO Ye-an. Research of transporting-sediment water capacity in the Yellow River downstream[J]. Yellow River, 1996, 18(8): 32-33.
- [14] 胡春宏, 陈建国, 戴清. 黄河下游不同水沙过程与河床形态

调整的响应关系[R]. 中国水利水电科学研究院, 2006: 55-91.

HU Chunhong, CHEN Jianguo, Dai Qing. The respond relation between water-sediment course and riverbed adjusting in the Yellow River downstream[R]. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2006: 55-91.

- [15] 姚文艺, 李勇, 张原锋, 等. 维持黄河下游河槽排洪输沙基本功能的关键技术研究 [R]. 黄河水利科学研究院, 2006: 185-240.

YAO Wenyi, LI yong, ZHANG Yuanfeng, et al. Key technical research of managing the basic function of pushing flood and transporting sediment in the Yellow River downstream [R]. Yellow River Institute of Hydraulic Research, 2006: 185-240.

(责任编辑 赵佳)

0 引言

汉江来水是武汉洪水的重要组成部分。汉江流域秋季北方冷空气势力增强,受上游山地阻滞,停滞日久而易形成 9~10 月的秋季洪水,使汉江中下游洪涝灾害较为严重。汉江堤防没有经过大规模的整治,堤基差、堤身单薄,多为沙性堤,不少堤段处在迎流顶冲处,汛期险情较多。据史料记载^[1],1822~1966 年间,汉江干堤和主要支堤溃决 73 次,平均 2 年一溃。丹江口水库修建后,下游汛期防洪形势有所缓和,但由于清水下泄、河床冲刷,汉江的堤防安全问题仍然比较突出。2005 年汉江秋汛,汉口水位明显偏低,汉川站的水位为 30 m 以上,与汉口水位落差超过 8 m,平均流速接近 4 m/s,武汉龙王庙附近水域流速则超过 5 m/s。如此大的落差和流速,对汉江堤岸造成严重冲刷,仅杜家台闸以下汉江干流出现险滩、崩岸、散漫共计 21 处,严重威胁堤防安全^[2]。

随着三峡水库正式蓄水、南水北调中线工程即将建成运用,人类重大工程活动将对汉江的堤防安全和整个地区的防洪形势产生直接或间接的影响。作为长江中游防洪体系中的龙头,三峡水库拥有 221 亿 m^3 的防洪库容,其蓄水运用后,荆江地区汛期防洪形势将发生根本变化,可以避免荆江大堤溃决后洪水取捷径直趋武汉的威胁^[3]。但由于三峡水库汛后蓄水,每年 10 月份下泄流量大为减小,汉口水位较目前显著下降,将加重汉江秋季洪水对汉江堤防及武汉地区防洪安全的威胁。南水北调中线工程将从丹江口水库调水至严重缺水的京津华北地区,同时为保证汉江下游航运、生态等需要,再从长江干流引水济汉。根据最新的规划方案,丹江口水库年均调水量为 82 亿~198 亿 m^3 ,平均流量约为 500 m^3/s 。而引江济汉工程引水设计流量初拟为^[4] 500 m^3/s 。由于南水北调引水和引江济汉的相互补偿,对汉江中下游的流量过程影响不大,但引江济汉从长江干流分走水量,将使汉口水位进一步下降,间接增加了汉江堤防的防洪压力。目前对三峡蓄水后由于干流流量变化、水位下降对汉江堤防安全影响的研究尚少,缺乏深入的认识。本文在对三峡蓄水后汉口水位下降分析的基础上,探讨了三峡水库蓄水对汉江堤防的影响,并有针对性地提出了防御对策,可为三峡建库后武汉地区的防洪治理提供参考。本文中有关长江中游及汉江流域的地理位置示意图见图 1,该图资料参考文献^[5]。

1 三峡水库蓄水后汉口水位下降

三峡水库 175 m 蓄水运用后,汛期 6~9 月为满足排沙及防洪需要,坝前水位维持在防洪限制水位



图 1 长江中游及汉江流域示意图

Fig. 1 Sketch map of the middle Yangtze River and Hanjiang River

145 m,下泄流量与天然状况基本一致,仅当入库流量超过下游河道安全泄量(枝城为 56 700 m^3/s)时,水库拦洪蓄水;汛末由于水库蓄水,下泄流量自 10 月初大幅度减少,出库月平均流量由建库前的 18 500 m^3/s 降至 10 800 m^3/s ,枯水期 12 月至次年 4 月为满足发电和航运,水库下泄流量略有增加。

根据已有研究成果^[6],三峡水库蓄水初期,武汉河段冲淤变化不大,汉口的水位与建库前相比变化很小。图 2 给出了不同时期汉口水位流量关系的变化,由图 2 可知,汉口水位流量关系一直比较稳定,三峡建库后 2003~2007 年汉口流量关系与建库前相比变化不大。三峡水库每年汛后 10 月初开始拦蓄来流,下泄流量大为减少,10 月份月平均流量较蓄水前减少 8 000 m^3/s 左右。同时考虑到引江济汉工程引水流量 500 m^3/s ,假设宜昌以下其他支流来流不变,则汉口流量在三峡水库蓄水期将减少 8 500 m^3/s 。汉口站 10 月份的平均流量约为 25 000 m^3/s ,可由图 2 中水位流量关系查得由于流量减少而造成的汉口水位下降约为 3 m。

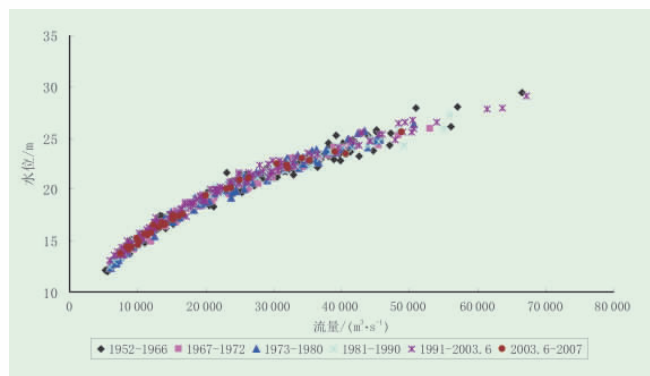


图 2 汉口水位流量关系变化

Fig. 2 Relationship between water level and discharge at Hankou station

随着三峡水库拦蓄水沙, 整个长江中下游河段将发生长时期和长距离的河床冲刷。多家单位对下游河床冲刷进行了模拟计算, 计算结果定性基本一致, 定量上存在一定差异。根据长江科学院数学模型计算结果^[6], 长江中下游河道冲刷自上而下发展, 并经历了冲刷—平衡—回淤的过程, 水库运用初期排沙比在 30% 左右, 水库下泄的不饱和水流首先从临近坝下游的河

段补充泥沙, 河床发生剧烈冲刷, 粗化较快, 促使冲刷下移。对于长江中下游的沙质河床, 河床冲刷幅度较大, 冲刷逐渐向下游发展。其中城陵矶—武汉河段是在三峡建库后预计 40~50 年左右开始剧烈冲刷, 最大冲刷强度出现在蓄水后的 50 年末, 最大冲刷量为 14.69 亿 t。当武汉河段达到最大冲刷量时, 汉口水位下降数据^[6]如表 1 所示。

表 1 三峡蓄水后汉口水位最大下降值

Table 1 Maximal water level drop at Hankou station after impoundment of TGP

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	7 500	10 000	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000
水位下降值/m	0.77	0.81	0.54	0.31	0.20	0.15	0.10

由表可知, 由于河床冲刷, 20 000 m^3/s 流量下, 汉口水位最大下降 0.54 m。综合考虑汛后蓄水期流量减少及河床冲刷的影响, 三峡水库正常蓄水运用后, 每年 10 月份汉口水位的下降值将达 3.5 m 以上。

2 汉口水位下降对汉江堤防的威胁

2.1 汉江秋汛及对堤防的影响

2.1.1 汉江 10 月份来水特征

受汉江流域地形和气候的影响, 汉江主要降雨发生在每年 7~10 月份, 其中 10 月份是汉江的秋汛。根据仙桃站 1960~2000 年(缺 1968~1970 年, 下同)的实测水文资料, 汉江多年最大流量为 14 600 m^3/s (1964 年 10 月 9 日), 最小流量为 189 m^3/s (2000 年 5 月 19 日), 平均流量为 1 350 m^3/s ; 10 月份的最大流量为 14 600 m^3/s (1964 年 10 月 9 日), 最小流量为 456 m^3/s (1997 年 10 月 29 日), 平均流量为 1 950 m^3/s 。由此可见, 汉江来水 10 月份较大, 不仅年最大流量在 10 月份发生, 而且 10 月份的平均流量高达多年平均流量的近 1.5 倍。

表 2 1960~2000 年最大洪峰流量出现在 10 月份的统计值
Table 2 Years when peak discharge appears in October (1960~2000)

年份	当年最大流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	出现日期
1961	6 100	10 月 22 日
1964	14 000	10 月 14 日
1971	8 390	10 月 6 日
1974	10 800	10 月 7 日
1975	11 900	10 月 6 日
1983	13 500	10 月 6 日
1984	11 700	10 月 1 日
1996	10 400	11 月 6 日
合计次数		8 次

2.1.2 汉江秋汛大水发生的可能性

表 2 统计了汉江仙桃站年最大洪峰流量发生在 10 月份的年份统计, 为方便起见, 将发生在 1996 年 11 月初的一次也统计在内。由表可知, 汉江年最大洪峰流量出现在 10 月份的可能性较大, 在总计 37 年的统计系列中, 共 8 次, 占统计年份的 22%。

2.1.3 汉江秋汛对堤防的影响

图 3 给出了汉川站与汉口站汛期月平均水位差变化。由图可知, 上述两站 10 月份水位差在整个汛期最大, 多年平均达 1.9 m。这主要是由于主汛期长江流量较大、水位较高、对汉江顶托作用强而使得汉江比降较小, 10 月份长江干流来水减少, 水位回落使得汉江比降增加。汉江中下游河段具有入汇流河段的特点, 河道演变与汉江出口处的汉口水位变化关系密切。汉江汛期 6~8 月受长江干流来水顶托作用, 使得河道流速减小、输沙能力降低, 河道处于淤积状态; 10 月份及枯期, 长江干流对汉江的顶托作用减弱, 河道处于冲刷状态。特别是汛后 10 月份遇丹江口水库以下唐河、白河秋季暴雨, 汉江中下游极易发生秋汛大水, 河道内流速、比降

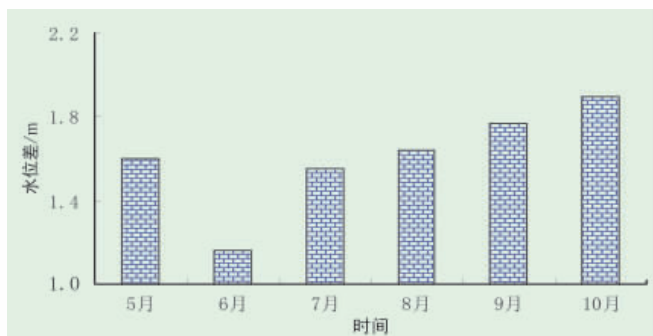


图 3 汉川与汉口汛期平均水位差 (1977~2006 年)

Fig. 3 Average water level difference between Hanchuan and Hankou station in flood periods

均较大,造床作用明显。

汉江中游属于多汊游荡型河道,水流分汊,主流摆动频繁,洲滩演变剧烈;下游属于蜿蜒型河道,河道完全受堤防约束,存在较多迎流顶冲的险工河段,同时堤防自身基础较差,防洪标准不高^[7]。由于10月份长江干流汉口水位较低,加之汉江平均流量较大,汉江中下游河道普遍发生冲刷,对堤防的稳定和安全易产生不利影响。尤其当汉江发生秋汛大水时,洪峰流量更大,流速增大较多,对洲滩演变、河势变化及堤防安全等带来更为不利的影响。汉江实际发生的几次秋汛大洪水如1983,1984,2003,2005年洪水,均造成了不同程度的堤

防裂缝、散浸、脱坡等,甚至发生了较大范围的崩岸,如1984年10月大水,汉川发生大范围崩岸19处,其中新河镇汪家河在采取挂柳、沉笼措施后,原滩岸仍全部被冲走,冲去近一半堤身,几乎溃口;2003年9月洪水期间,杜家台闸以下汉江干流发生管涌、闸险、崩岸、裂缝、散浸等46处,汛后整治资金高达600多万元;2005年汉江秋汛,与前述1983,2003年秋季洪水相比,汉口水位更低(见表3),汉江比降及相应的流速更大,对堤防的威胁也更为严重,沿江各市洲滩民垸受灾人口92.7万、农田5.83万 hm^2 ,水利设施水毁0.86亿元,各类直接经济损失^[1]7.72亿元。

表3 汉江2005,2003,1983年秋季洪水水位比较
Table 3 Comparison of the flood levels between 2005, 2003 and 1983

位置	2005年10月洪水		2003年9月洪水		1983年10月洪水	
	时间	洪峰水位/m	时间	洪峰水位/m	时间	洪峰水位/m
杜家台闸前	2005-10-06T16	34.91	2003-09-07T23	35.44	1983-10-11T5	35.49
汉口	2005-10-06T18	21.90	2003-09-08T4	23.85	1983-10-11T3	25.00

2.2 三峡水库蓄水期汉口水位下降对汉江堤防的威胁

如前所述,汉江秋季洪水的主要特征是流速大、河道冲刷剧烈,堤防安全问题十分突出。一般年份,与蓄水前相比,三峡水库蓄水后由于蓄水期干流流量减少、汉口水位下降较多,将进一步增大目前已经较大的比降和流速;当遇汉江秋汛大水年份时,上述流速增加值将会更大。这里以表3中2005年杜家台闸前和汉口站水位为基准,根据三峡水库蓄水运用不同时期汉口水位下降值,粗略地估计了三峡水库蓄水初期和中后期汉江流速的可能变化。杜家台闸距汉口约90 km,目前其间的水面平均比降为1.44%。三峡水库蓄水初期,武汉河段冲淤变化不大,水库汛后蓄水造成下泄流量减少,汉口水位下降3 m,汉江水面平均比降将进一步增大到1.78%,据此估算,汉江平均流速将达4.6 m/s左右。当三峡水库蓄水运用至中后期,汉口水位累计下降3.54 m,汉江水面比降将进一步增大至1.84%,平均流速将接近5.0 m/s。而对河口龙王庙附近河段来说,由于汉口水位降落较大,其局部流速增加将会更大。由此可见,三峡水库蓄水期汉江如此大的流速势必对其河势变化及堤防安全产生严重威胁,汉江中下游及武汉市的防洪形势将较三峡水库蓄水前更为严峻。不仅如此,汉江流速变化及河床冲刷还可能对汉江下游航运、取水口作业、地下水位变化以及生态环境等造成不利影响,具体影响的范围和程度尚值得进一步地深入研究。

3 防御对策

为了应对三峡水库汛后蓄水期汉口水位下降与汉江秋汛叠加而出现的对汉江堤防的威胁,主要对策如下。

3.1 放缓三峡水库汛后蓄水进度

三峡蓄水后汉江堤防防洪形势严峻的主要原因是水库蓄水期下泄流量减小较多,造成汉口水位下降,并与汉江秋汛叠加而造成汉江流速过大,危及堤防安全。因此,通过优化三峡水库现有调度方式,将水库蓄水时间提前到9月份,并将水库蓄水速度减缓,可望能使上述问题得到缓解,同时还可以一举多得。首先,三峡水库提前蓄水是将来上游大量水电开发后的必然选择,根据已有研究^[8],三峡水库汛后提前蓄水能兼顾防洪、发电、航运目标,水库综合效益更大;其次,水库蓄水速度放缓,在保证水库蓄满的前提下,将下泄流量减小的影响分散到更长的时间,可使得汛后蓄水期汉口水位下降较小,将其对汉江堤防的不利影响减至最小;同时,为减小汉江秋汛的流速,对丹江口水库调度规则、引江济汉的调水过程也应进行必要的调整和优化。

3.2 汉江中下游河道渠化

汉江中下游是一条通航河流。内河航运以其运量大、不占用土地、无污染、节约能源、符合我国经济社会可持续发展的要求,在流域经济发展中也扮演了极其重要的角色^[9]。天然情况下,水流分汊,主流摆动频繁,滩险众多,通航条件较差。丹江口水库修建后,汉江中

下游航道得到了较大的改善。目前丹江口至襄樊可通行 100~150 t 级船队,襄樊-涇河口可通航 150~300 t 级船队,涇河口以下为 300~500 t 级船队^[10]。三峡水库蓄水后汛后汉口水位下降而造成汉江流速过大,不仅对堤防和防洪安全带来不利影响,而且也影响到汉江航运的发展。为了解决该问题,可在汉江中下游干流修建低水头的梯级航电枢纽,渠化河道,结合汉江上游大型水库如丹江口水库的优化调度,不仅可以减缓汉江流速,而且将进一步改善汉江航道、提高航道等级、促进航运事业的发展。

3.3 加固堤防

作为一种补充和应急手段,堤防的加固和老堤改造是防治汉江流速加大而造成防洪危害的重要途径之一。通过不断提高堤防标准、加固堤防,同时根据不同的堤防隐患,采取相应的整治措施进行病险堤防改造,能够保障汉江流域及武汉市的防洪安全。

4 结论

本文在对三峡水库蓄水后汉口水位下降分析基础上,探讨了三峡水库蓄水对汉江堤防安全的威胁,得到了如下认识。

1) 汉江堤防标准不高,汛期险情较多。三峡水库蓄水前,由于 10 月份长江干流汉口水位偏低,汉江中下游比降较大,河道普遍发生冲刷,尤其是秋汛大水时,流速增加较多,对堤防安全更为不利。

2) 三峡水库蓄水后,由于汛后蓄水期流量减少以及武汉河段河床冲刷,10 月份汉口水位的下降值将达 3.5 m 以上,造成汉江流速过大,将进一步加重对汉江堤防及武汉地区防洪安全的威胁。

3) 为了应对三峡水库蓄水对汉江堤防的威胁,建议通过三峡水库优化调度、放缓水库蓄水速度以减少汉口水位下降的影响,同时在汉江中下游修建梯级航电枢纽、渠化河道、减小流速。作为补充和应急手段,还应不断提高堤防标准、加高加固堤防。

参考文献(References)

- [1] 洪庆余. 中国江河防洪丛书. 长江卷[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
HONG Qingyu. Series of flood control of rivers in China: Volume of the Yangtze River [M]. Beijing: China Hydraulic and Hydropower Press, 1998.
- [2] 湖北省防汛抗旱指挥部办公室. 以人为本科科学防控迎战汉江“05·10”大洪水[J]. 中国防汛抗旱, 2006(2): 29-32.
Office of Flood Control and Drought Defense of Hubei Province. Challenge of the “05.10” flood of Hanjiang River [J]. China Flood and Drought Management, 2006(2): 29-32.
- [3] 郑守仁. 三峡工程与长江开发及保护[J]. 科技导报, 2005, 23(10): 4-7.
ZHENG Shouren. Three gorges project and development, protection of Yangtze River [J]. Science and Technology Review, 2005, 23(10): 4-7.
- [4] 水利部长江水利委员会. 汉江丹江口水库可调水量研究[R]. 南水北调中线工程规划专题报告, 2001.
Changjiang Water Resource Commission. Research on the diversion discharge from Danjiangkou Reservoir of Hanjiang River[R]. Report of the plan of the Diversion Project from South to North in Control Line Scheme, 2001.
- [5] 周建军, 林秉南, 张仁. 关于兴建江汉排洪通道缓解长江和汉江洪水的设想[J]. 水利学报, 2000(11): 84-88.
ZHOU Jianjun, LIN Bingnan, ZHANG Ren. A diversion canal for mitigating the floods in middle reach of Yangtze River and lower reach of Han River [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(11): 84-88.
- [6] 长江科学院. 三峡水库下游一维数模冲淤计算分析 [R]//三峡工程泥沙研究第七卷. 北京: 知识产权出版社, 2002.
Yangtze River Scientific Research Institute. Analysis and computation about riverbed erosion process downstream Three Gorge reservoir by 1-D numerical model[R]//Sediment research of Three Gorge Project. Beijing: Intellectual Property Press, 2002, 7.
- [7] 毛红梅, 白亮, 童辉. 汉江碾盘山-仙桃河道近期演变规律分析[J]. 人民长江, 2006, 37(12): 102-104.
MAO Hongmei, BAI Liang, TONG Hui. Analysis on the evolution rules of the reach from Nianpanshan to Xiantao of Hanjiang River [J]. Yangtze River, 2006, 37 (12): 102-104.
- [8] 李义天, 邓金运, 陈建, 等. 三峡水库汛后提前蓄水研究[R]. 武汉大学科研报告, 2005.
LI Yitian, DENG Jinyun, CHEN Jian, et al. Study on impounding water ahead of schedule of the Three Gorges Reservoir[R]. Report of Wuhan University, 2005.
- [9] 李义天, 邓金运, 甘富万. 长江航道建设新的机遇和挑战及对策[J]. 科技导报, 2007, 25(3): 39-44.
LI Yitian, DENG Jinyun, GAN Fuwan. Opportunity and challenge of the navigable channel regulation in the Yangtze River and its countermeasure [J]. Science and Technology Review, 2007, 25(3): 39-44.
- [10] 殷瑞兰. 南水北调中线工程与汉江中下游经济发展[J]. 长江科学院院报, 1995, 12(2): 8-13.
YIN Ruilan. Influence of diversion Project from South to North in control line Scheme to economic development in middle and lower reaches of Hanjiang River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1995, 12(2): 8-13.

(责任编辑 赵佳)