

三峡工程蓄水后荆江河段 设计水位的计算与确定

雷国平, 尹书冉, 黄召彪

(长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 分析了三峡工程蓄水后影响枯水位变化的主要因素, 采用1982—2002年水文资料对荆江河段设计水位进行计算, 参照水沙数学模型所得预测值, 并利用蓄水以来的荆江河段枯水位对其进行复核, 得到的设计水位偏于安全, 既体现了蓄水后的影响, 又反映了设计水位的变化趋势。

关键词: 三峡工程; 荆江河段; 通航设计水位

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)12-0125-05

Calculation and determination of designed water stage at Jingjiang reach of the Yangtze River after impoundment of Three Gorges project

LEI Guo-ping, YIN Shu-ran, HUANG Zhao-biao

(Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China)

Abstract: This paper analyzes main factors influencing the low water level after the impoundment of the Three Gorges project, calculates the designed stage of Jingjiang reach according to the hydrological data during year 1982 and 2002, and checks the stage referencing the predicted value obtained from the water-sand mathematical model and according to the low stage of Jingjiang reach after the impoundment, we get the designed stage which is relatively safe and which reflects not only the impact of the impoundment, but also the variation trend of the designed stage.

Keywords: the Three Gorges project; Jingjiang reach; navigable designed water stage

河流上修建水库以后, 改变了水库下游河道的来水来沙条件, 破坏了水库修建以前河流的冲淤状态, 下游河道将承受长时期的“清水”冲刷, 使得下游河床上的泥沙不断进入水流中, 从而触发了水库下游河流的再造床过程, 引起水库下游河道河床冲刷下切、河床组成粗化、断面形态调整、纵剖面调整、河型转化等多种调整现象。而枢纽下游河床调整历时较长, 大致需经历冲刷阶段、回淤阶段、平衡(或接近平衡)共3个阶段。三峡水库修建以后, 历经不同蓄水阶段, 枯水期流量增加以及下游河床调整, 使荆江河段枯水位

发生了显著变化。

设计最低通航水位(简称设计水位)是确定枯水期航道通航标准水深的起算水位, 是航道工程建设中重要的考虑参数。荆江河段设计最低通航水位影响航道整治目标、整治标准的确定, 关乎荆江河段航道整治工程的设计方案, 因此设计水位需准确、可靠, 能够反映当前和未来一个时期的水文情势特征和河床演变趋势。《内河通航标准》规定, 确定设计水位需采用连续的长系列水文资料, 时间不短于20 a。因此在确定设计水位时, 不能完全取用三峡蓄水后的短期水位资料而

收稿日期: 2014-10-08

作者简介: 雷国平(1977—), 男, 高级工程师, 从事航道工程相关的设计、科研工作。

割裂河段长期以来的演变特征,也不能忽略河床的变化速度和变化趋势,因此对于处在河床调整的坝下游河床,设计水位的确定存在一定的难度。

国内学者对这一问题也多有研究,如:李聪^[1]、刘晓帆^[2]分别采用蓄水后短系列的水文资料计算了长江中游和嘉陵江桐子壕电站下游的通航设计水位,李聪利用1981—2002年水文资料对短系列设计水位进行修正。曹民雄^[3]认为水沙数值模拟可以反映水位下降趋势,是确定坝下游设计水位最好的方法,但河床冲刷下切复杂,存在不确定性,推荐计算、分析相结合确定设计水位。本文以《内河通航标准》中设计水位计算的相关规定为基础,参照水沙数学模型得出设计水位预测值,并利用蓄水以来的最枯水位复核,反映出荆江河段河道特性以及三峡蓄水后河床冲淤的新变化。

1 设计水位计算

《内河通航标准》要求计算设计水位所选用的水文资料具有一致性和代表性,水文资料的一致性主要是近期连续资料系列,取用年限不短于20 a;水文资料的一致性主要是基本站资料不具有良好的一致性或工程河段的水文条件受人类活动和自然因素影响发生明显变化时,应选取变化后有代表性的水文资料。

目前荆江河段使用的航行基面是由71基面经3次修订得到(航行基面为沿程设计水位连线)。71基面是根据20世纪50—60年代水文资料,首先计算汉口站设计水位,其次建立汉口站水位与宜昌、沙市、监利等站的水位相关关系,然后根据此相关关系以及汉口站设计水位,计算得到宜昌—汉口区间内各站的设计水位。1971年以后,下荆江因进一步受到两个人工裁弯的影响,枝城至石首河段的水面线发生了明显变化,于是在1973年7月调整了枝城、沙市、郝穴、新厂、石首等站的设计最低通航水位。后由于1972年沙洲子自然裁弯的影响,沙市水位继续降低,1973年修订值仍感偏高,同时考虑到宜昌葛洲坝大江截

流后对长江中游水面线发生变化的影响,于1981年7月再次修订汉口到宜昌航行基面,称之为82基面^[4]。

上、下荆江经历了长达20 a的河道调整过程,上游各站的水位均有明显下降,葛洲坝枢纽的影响也逐渐减缓。多种变化的综合效应逐步减弱,使河道趋于稳定。至20世纪90年代,河道经过自身调整,已建立新的平衡,枯水位平稳。采用1981—2002年水文资料,根据综合历时曲线法计算得到这一时期保证率为98%的荆江河段设计水位(简称“设计水位计算值”)。设计水位计算值与82基面相比,枝城—沙市站有明显降低,监利站有所升高(表1)。

表1 各水文站设计最低通航水位计算值 m

站点	里程/km	82基面/m	98%保证率计算(03基面)/m
枝城	59	37.429	37.264
沙市	146	31.558	31.018
监利	302	23.058	23.729

2 三峡蓄水后设计水位预测

武汉大学根据长河段一维水沙数值模拟计算结果得到荆江河段不同时期各站的水位流量关系,由1981—2002年的水文系列代表未来的来水情况,采用综合历时曲线法得到各站设计流量,通过数模得出的水位流量关系计算各站的设计水位。

175 m蓄水后,水库调节作用明显增强,初期各站设计水位均有抬升。175 m蓄水10 a以后,由于上游建库对下游各站设计流量影响不大,同时河床继续冲刷下切,设计水位回落。随着175 m蓄水的继续运行,河床的持续冲刷使各站设计水位不断降低(图1)^[5]。

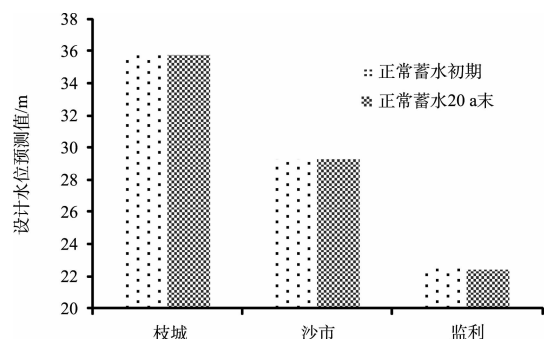


图1 三峡水库正常蓄水后不同时期设计水位预测值比较

3 三峡蓄水后枯水位变化

分析 20 世纪 70—90 年代的水文资料, 长江中游各站设计水位的变化与最枯水位的变化是一致的, 因此蓄水以来历年最枯水位可作为确定设计水位的重要依据。

3.1 影响枯水位变化的主要因素

1) 三峡蓄水后枯水流量变化。

三峡水库蓄水运用后, 长江上游来水偏枯, 2003—2010 年, 宜昌站年均径流量为 3 967 亿 m^3 , 较 1956—2002 年减少了 360 亿 m^3 , 减幅 8.4%, 换算成流量, 年均流量则减少了 1 140 m^3/s ^[6], 见图 2。

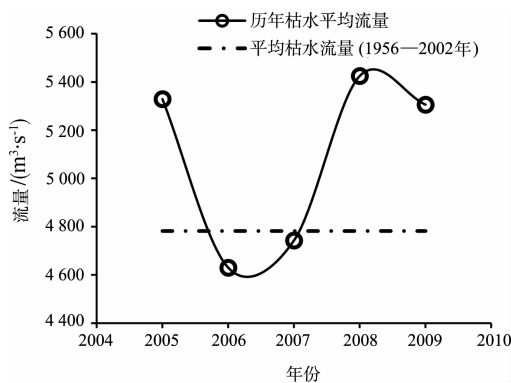


图 2 三峡水库蓄水前后宜昌实测流量特征值比较

从枯水平均流量来看, 蓄水后绝对多数年份大于蓄水前, 维持在 5 300 m^3/s 左右, 即使是来水严重偏枯的 2006 年, 径流量减少了约 35%, 但最小流量 (3 890 m^3/s) 仍较蓄水前 (2 820 m^3/s) 有大幅度提高。根据三峡水库优化调度方案, 1—2 月三峡水库下泄流量按 6 000 m^3/s 左右控制。

2) 三峡蓄水后沿程冲淤变化。

荆江河段各水位测站历年的最枯水位实测值在一定程度上反映了河段地形变化。三峡水库初期蓄水期 (2006 年 10 月—2008 年 10 月) 宜昌至湖口河段河床略有冲刷, 平滩河槽冲刷量仅为 0.240 亿 m^3 ; 三峡水库 175 m 试验性蓄水以来, 坝下游宜昌至湖口河床冲刷强度有所增大, 2008 年 10 月—2010 年 10 月平滩河槽总冲刷量为 3.385 亿 m^3 。从冲淤纵向总体分布来看, 坝下游河段荆江冲刷量最多, 上荆江、下荆江冲刷量分别为 2.25 亿、2.71 亿 m^3 。三峡建库后荆江河道河

床冲刷量明显增大, 呈现滩槽均冲的状态, 从总体看冲刷主要集中在枯水河槽, 上荆江枯水河槽以上的滩地部分冲刷占总冲刷量的比例从蓄水前 1.6% 提高至蓄水后 19.4%, 下荆江枯水河槽以上的滩地部分冲刷也占了整个平滩河槽冲刷量的 36%^[7]。

枢纽通常位于山区河流向平原河流的过渡段, 按照河床组成, 其下游河道一般可以分为卵石夹沙河床和沙质河床两种河道类型。长江三峡水库下游宜昌至大埠街河段基本属于卵石夹沙河床, 大埠街以下河段为沙质河床。由于其卵石夹沙河段河床组成特点, 三峡建库后, 江口以上河段河床迅速粗化, 限制了泥沙的起动, 又增加了床面阻力, 以形成抗冲保护层的方式来达到新的平衡状态。对于坝下游的沙质河床而言, 无法像卵石夹沙河床那样形成不动的抗冲保护层, 建库以后距坝较近的河段, 将全部表现为冲刷状态; 距坝较远的沙质河段, 只要上游河段有足够的泥沙补给, 其淤积特性将会延续, 但终将转为冲刷。沙市站中值粒径蓄水初期一度增大, 随后又逐渐减小, 反映了上游区间河段粗颗粒泥沙补给量先增大随后减小的过程; 监利站的中值粒径为总体增大^[8]。

3) 三口分流分沙。

20 世纪 60 年代三口分流分沙比有较大幅度的下降, 之后下降趋势逐渐减缓。三峡蓄水以来, 受河道冲刷影响, 干流水位下降, 加之三口洪道淤积, 三口洪道的分流作用进一步减弱, 荆江三口处于逐步萎缩的状态。

4) 荆江河段下边界水位变化。

长江干流水位的下降将会增加洞庭湖的出湖流量, 荆江河道下边界水位变化受到洞庭湖区顶托作用, 水位、流量关系较为散乱。

5) 电站日调节造成的水位变化。

电站日调节下泄非恒定流在传播过程中不断衰减, 波动影响逐渐减弱, 直至消失, 其传播距离与流量、水深、河道形态等因素均有关系。枝城因距坝较远, 其水位与葛洲坝出流的相关关系不如宜昌站明显, 但仍随着流量波动而波动, 只

是存在一定滞后性。沙市、监利水位变化与葛洲坝枢纽小时流量没有明显相应关系。因此，可以认为沙市站已不受日调节波动影响^[5]。

3.2 三峡蓄水以来荆江河段枯水位变化

枯水期流量增加与河床冲刷两者的综合作用明显影响了枯水位的变化。从枝城、沙市、监利水文站三峡蓄水以来历年最枯水位变化来看，枝城站最枯水位逐年升高，这是由于枝城站位于卵石夹沙河段，三峡蓄水后床面快速粗化，遏制河床进一步的冲刷下切，枯水流量增加，枯水位相应增加；沙市—藕池口河段为中细沙河床，随着三峡蓄水后冲刷下移，河床下切，枯水期流量的增加没有使水位升高，沙市站的最枯水位表现为先增加后减小；三峡蓄水以来监利站冲刷幅度较小，三口分流较蓄水前减少，监利站的枯水位变化总体表现出升高的趋势，见图3。

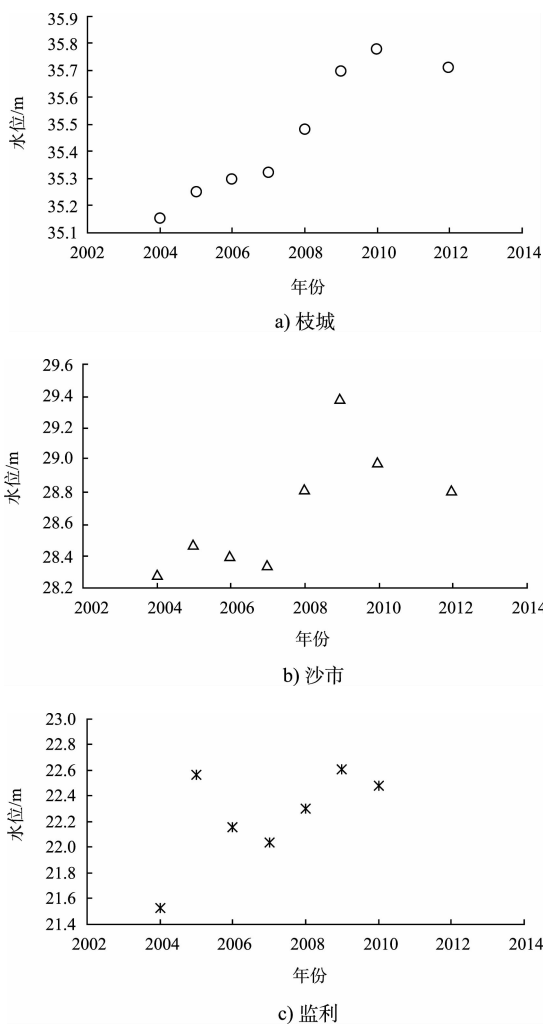


图3 各水文站历年最枯水位变化

根据三峡蓄水前荆江河段水位的变化值以及相对应的冲淤量，建立了二者之间的相关关系。沙市站水位变化与荆江河段的冲淤量呈正相关，当荆江河段处于淤积时水位增加，而处于冲刷时水位下降；监利站受下游站点城陵矶水位顶托的影响，数据点较为分散，但水位变化与荆江河段的冲淤量也呈正相关^[9]；随着上游泥沙补给减少，河床进一步冲刷，沙市站枯水位还会下降，监利站枯水位也将转为下降趋势。

4 设计水位综合确定

三峡水库进入正常蓄水阶段，下泄流量趋于稳定，到三峡正常蓄水 20 a 末，荆江河段冲刷趋缓。根据设计水位预测值（正常蓄水 10 a 末、15 a 末、20 a 末），三峡蓄水后枝城站的设计水位保持不变。近年来，枝江—江口水位下降的幅度不大，下降速率较缓，结合荆江航道整治工程，如果对河床进行大面积开挖，可能会加剧宜昌水位的下降，因此枝江、江口水道设计水位取 175 m 蓄水以来最低水位。

根据设计水位预测值，受河床持续冲刷影响，沙市与监利站设计水位表现为持续降低。沙市站的设计水位预测值（20 a 末）所对应的设计流量与 2011 年最枯水位的对应流量相当，而预测值高于当前的最枯水位，今后沙市—藕池口河段河床还会进一步冲刷下切，该河段设计水位取为综合历时曲线法计算值较为合理。因此该河段设计水位取为综合历时曲线法计算值较为合理。

监利站设计水位预测值（20 a 末）所对应的设计流量与 2011 年最枯水位所对应的流量相当，而预测值也与最枯水位值接近，而随着上游泥沙补给的减弱，藕池口以下河段未来将会出现较大幅度的冲刷，设计水位选用计算值将更为安全。利用水位相关关系，根据主要测站设计水位，推得荆江河段沿程设计水位值（图4）。

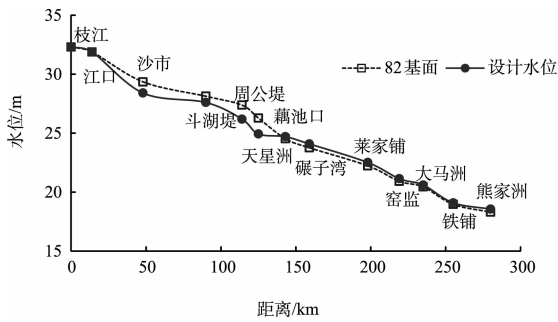


图 4 设计水位综合比较

5 结论

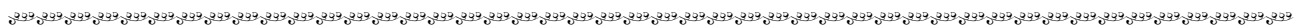
1) 采用 1981—2002 年水文资料, 根据综合历时曲线法计算得到设计水位值, 反映了上、下荆江经历了长达 20 a 的河床调整过程, 建立新平衡后的枯水位特性。设计水位研究结果在枝城站、沙市站低于 82 基面, 在监利站高于 82 基面。

2) 82 基面在实际应用过程中进行过多次修正, 本文参照设计水位预测值, 反映了河床未来冲刷下切趋势, 并由蓄水以来的最枯水位进行复核, 突出了设计水位的时效性, 提高了可靠度, 在研究过程中, 体现了设计水位受多因素影响的复杂情况。研究成果可作为荆江河段航道整治工程设计水位的确定依据。

参考文献:

- [1] 李聪, 邓金运, 韩剑桥. 三峡水库蓄水后长江中游航道设计水位变化研究[J]. 水运工程, 2013(5): 88-93.
- [2] 刘晓帆, 曹树涛, 李家世. 电站下游航道设计最低通航水位推算方法[J]. 水运工程, 2013(6): 131-135.
- [3] 曹民雄, 庞雪松. 电站泄流对坝下游航道影响研究进展[J]. 水利水运工程学报, 2011(2): 36-41.
- [4] 荣天富, 王大斌. 略谈长江干流航行基面及其有关问题[J]. 水运工程, 1994(8): 27-30.
- [5] 武汉大学. 三峡蓄水后长江中下游一维水沙数值模拟研究[R]. 武汉: 武汉大学, 2009.
- [6] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 三峡水库蓄水后长江中游汉口—湖口段设计水位专题研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2011.
- [7] 许全喜. 三峡水库蓄水以来水库淤积和坝下冲刷研究[J]. 人民长江, 2012(4): 1-6.
- [8] 长江航道规划设计研究院. 长江中游荆江河段航道整治工程(3.5 m)工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2012.
- [9] 郭小虎, 李义天, 邓金运, 等. 枝城—城陵矶河段冲刷量分析[J]. 水力发电学报, 2011(10): 101-107.

(本文编辑 武亚庆)



(上接第 124 页)

4 结语

生态航道是航道整治的大趋势, 生态挡土墙在航道整治工程中应用前景广阔。目前国内虽然对生态挡土墙技术进行了相关研究, 但该技术应用于航道工程中并不多, 这与航道工程的复杂性有关。生态挡土墙应用于航道工程中, 不仅要考虑结构的稳定性, 还要考虑外部的水环境和泥沙环境, 有技术问题需要改进。首先是结构的稳定性问题: 在复杂条件下, 和普通挡土墙以及陆地上的生态挡土墙相比, 生态挡土墙结构更为复杂, 因此如何保证结构的稳定还有待进一步研究; 绿化技术也有不足: 有足够的土质时, 一般结构的

强度和排水性能较差, 而当结构的强度和稳定性较好时, 往往生物生长环境不好。

参考文献:

- [1] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] 张岳 杨杰. 生态挡土墙的特点及适用范围探讨[J]. 企业科技与发展, 2011(24): 28-30.
- [3] 袁东进. 土工格室加筋路堤机理及沉降计算方法的研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [4] 徐芳, 岳红艳. 生态型护岸及其发展前景[J]. 重庆交通学院学报, 2005, 24(10): 148-150.

(本文编辑 郭雪珍)