

· 航道及通航建筑物 ·



三峡水库蓄水后长江中游航道 设计水位变化研究*

李 聪, 邓金运, 韩剑桥

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 三峡水库蓄水时间尚短, 河床处于不断冲淤调整中, 现有航行基准面与航道条件以及现有资料与设计水位确定方法的矛盾日益明显。通过对蓄水前1981—2002年资料进行时段划分的方法, 确定出设计水位修正值, 对蓄水后河床处于调整期的在实测资料基础上计算得到的设计水位进行修订, 确定出蓄水后长江中游河段各站的设计水位, 并对比分析蓄水前后设计水位值的变化规律及影响因素。

关键词: 长江中下游; 设计水位; 时段划分; 河床冲淤幅度

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)05-0088-06

Variation of design navigable water level in middle reach of the Yangtze River after impoundment of Three Gorges reservoir

LI Cong, DENG Jin-yun, HAN Jian-qiao

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

Abstract: The time for the impoundment of the Three Gorges reservoir is very short, and the scour and aggradations of the river bed are in continuous adjustment, all of which make both the inadaptability between navigable base level and navigable condition and the contradiction between available data and determining method for design water level more remarkable. Based on the hydrological data of year 1981—2002 before the reservoir, the corrections of the design water level are calculated by time division, the design water level calculated according to the observed data after reservoir is revised, and the design water level of part hydrographic stations at the middle Yangtze River are determined. This paper compares the variation of the design water level before and after the reservoir, and analyzes the course of change.

Key words: the middle Yangtze River; design water level; time division; margin of river bed's scour and aggradations

最低通航设计水位(简称设计水位)是航道尺度的重要组成部分, 是进行航道工程规划、设计、施工和维护的主要技术标准^[1]。目前长江干线航道设计水位仍是沿用20世纪70, 80年代计算确定的设计水位值, 即通常所说的71基面、82基面。三峡水库蓄水后, 河床处于不断的冲淤变化过程中, 现有航行基准面与长江干流实际通航条件发生了不同程度的偏离, 及时地确定蓄水后的

合理设计水位值对未来长江中下游航道建设与维护具有重要意义。

长期以来, 不同学者对枢纽运用后的坝下游设计水位的计算方法、影响因素等进行了分析研究。如李万松^[2]曾建议采用水文比拟法, 对比类似水电站和水文站在调流前后设计水位和流量变化情况, 根据本水文站调流前的设计水位和流量来类推调流后的设计水位和设计流量。但上述方法

收稿日期: 2012-10-26

*基金项目: 交通运输重大科技专项(2011-328-548-50)

作者简介: 李聪(1988—), 女, 硕士研究生, 从事水力学及河流动力学研究。

要求2个水电站的来流条件、调度规则、水文特点都比较接近, 而每条河流都有自身特点, 水库大小及调度方式各异, 上述方法难以广泛适用于水库蓄水后下游河段的设计水位计算中。王秀英等^[3]采用分时段固定河床地形的方法, 通过三峡水库调度计算获得下泄流量过程, 并采用水库下游一维数学模型得到的水位流量关系由设计流量推求设计水位。然而, 三峡水库运行后, 河床变形、水文过程的实际变化与预测均存在差别^[4], 上述方法获得的设计水位的合理性仍有待进一步检验和论证。众所周知, 实测资料能够反映三峡水库下游河道设计水位变化的真实情况, 在实测资料基础上计算得到的设计水位更加可靠, 也更具有说服力。但由于三峡水库蓄水时间尚短, 流量过程及河床冲淤均在不断变化, 使得按照现有方法计算设计水位可能会带来一定误差, 如何解决这一问题确定出合理的设计水位将是本文讨论的重点。

本文考虑三峡水库蓄水后坝下游河段的实际情况, 以实测资料为基础, 考虑蓄水后设计水位影响因素, 对蓄水后长江中游的设计水位进行了计算, 并采用时段划分法对各站设计水位进行了合理的修订。

1 蓄水后设计水位确定方法

GB 50139—2004《内河通航标准》(简称04标准)中规定:“不受潮汐影响和潮汐影响不明显的河段, 设计最低通航水位可采用综合历时曲线法计算确定, 也可采用保证率频率法计算确定。”两种方法均是建立在河床多年冲淤变化不大的基础上, 通过统计分析水文系列获得设计水位。保证率频率法概念清晰, 但需要二次计算, 不便于使用; 综合历时曲线法是目前国际上通用的方法, 在我国也得到较广泛的应用, 且该方法计算简单, 使用方便。但三峡水库2003年蓄水后, 下泄流量过程及河床冲淤情况都处于不断变化过程中, 蓄水后的长江中游设计水位确定方法必须合理考虑上述影响。

1.1 蓄水前后下泄流量过程差异

三峡水库的调节作用使得汛期流量削弱, 枯

期流量增加, 年内变幅减小(图1)。三峡蓄水后, 枯水期1—3月的月均流量与蓄水前相比都有了不同程度的提高, 而4—10月流量比蓄水前低, 其中10月水库蓄水降低更为明显。

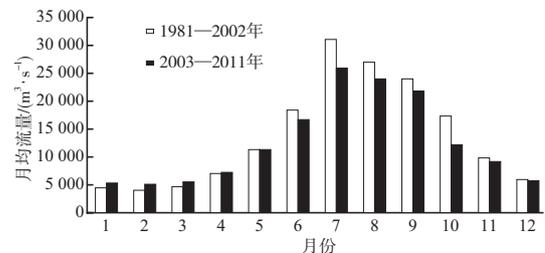


图1 蓄水前后宜昌站月均流量变化

三峡水库自2003年蓄水至今, 先后经历了135 m, 156 m, 175 m不同的蓄水阶段, 图2给出了不同时期下泄流量的变化过程。其中前两个阶段相比, 除了7月外, 蓄水水位为156 m这个阶段的各月的月均流量均低于蓄水水位为135 m时, 以汛期8月的差值最为突出, 枯期1—3月的差值不大。正常蓄水到175 m之后, 随着蓄水水位的抬高, 枯期流量开始增加, 第三阶段的1—4月的月均流量都比前两个阶段要大, 从5月开始低于前两个阶段, 直到8月流量又比前两个阶段要高, 9月比第二阶段高但低于第一阶段。这即说明, 三峡水库蓄水后, 随着蓄水水位的变化, 下泄流量也处于不断变化中, 进入175 m蓄水期后, 水库下泄流量过程趋于稳定。

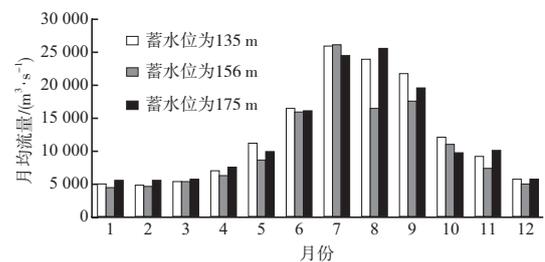


图2 宜昌站蓄水后流量过程变化

1.2 蓄水后河床冲淤变化

长江三峡工程航道泥沙原型观测资料表明^[5], 2002—2010年下游河床处于持续冲刷过程中, 且以枯水河槽变化为主, 宜枝河段、荆江河段、城汉河段枯期河槽冲淤量分别占平滩河槽总冲淤量的89.5%, 84.2%, 95%。对应三峡水库蓄水不同阶

段,图3给出了蓄水不同阶段的长江中游各河段的枯水河槽的冲淤量。从图中可以看到,蓄水不同阶段河床冲淤幅度也不同。各河段在蓄水第一阶段的冲刷幅度比后两个阶段都要大,后两个阶段相对略小。图4给出了蓄水后累积枯水冲淤量随时间的变化。从图中可以看出,蓄水后荆江河段河床冲淤变化较为明显,宜枝河段、城汉河段有冲有淤,总体表现为冲刷,冲淤变化幅度相对较小。由长江三峡工程航道泥沙原型观测资料可知^[5],2008年实验性蓄水至175 m后,荆江河段和宜枝河段2008年10月—2010年10月枯水河槽的冲刷量分别占蓄水后总的冲刷量的33.27%和28.03%,可知宜昌一城陵矶河段2008—2010年的冲淤量相对于蓄水后的总冲淤量而言幅度较小,短期内认为其冲淤幅度不大是可行的。

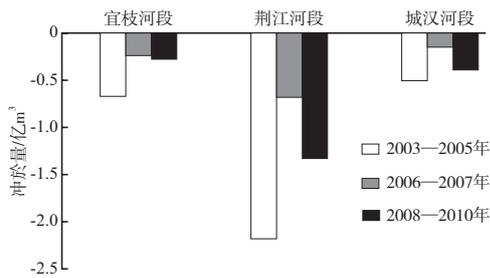


图3 蓄水不同阶段各站枯水河槽冲淤量

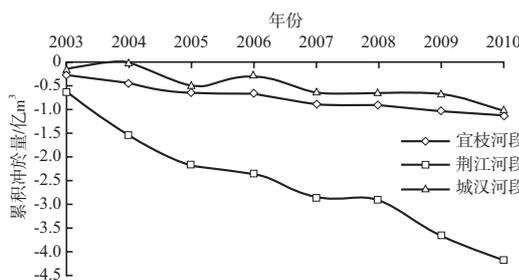


图4 各河段蓄水后枯期河槽累积冲淤量

1.3 蓄水后设计水位确定方法

如前所述,三峡水库蓄水后不同阶段,下泄流量过程及冲淤过程均存在差异。自2008年进入175 m试验性蓄水阶段以来,下泄流量过程较为稳定,而且短期内,下游河床冲淤幅度相对较小,可基本认为其满足河床冲淤变化不大的要求。在此前提下,可直接采用规范规定的综合历时曲线法,通过各站蓄水后2008—2011年的实测资料,进行长江中游沿程设计水位的计算。但同时,选

用2008—2011这一时段来确定设计水位,存在系列长度较短的问题,不符合04标准中对时段年限的规定。为了能满足三峡蓄水后设计水位确定的需求,必须考虑系列长短不同带来的设计水位计算误差,并进行合理修正。蓄水后设计水位计算过程如图5所示。值得指出的是,上述方法确定的设计水位仅能供短期使用,当河床冲刷继续发展后,应根据后期资料重复上述过程,对设计水位进行不断修正。

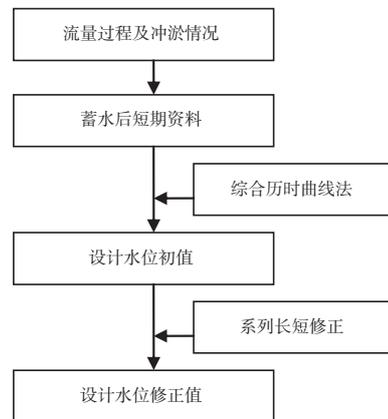


图5 蓄水后设计水位计算过程

2 系列长短对设计水位计算的影响及修正值确定

由上文分析可知,系列长短可能对设计水位的计算带来影响,这里首先分析了时段划分不同造成的设计水位计算的误差。采用三峡水库蓄水前1981—2002年实测资料,对系列长短不同的影响及长江中游沿程各站设计水位修正值进行分析。

2.1 相同长度的连续水文年系列对设计水位的影响

选取荆江河段沙市站进行研究。将沙市站1981—2002年按照连续年份划分相同的长度5年,分别计算各不同系列的设计水位值,并与1981—2002年资料计算的设计水位(简称03基面)对比,计算其差值及相对误差,如表1所示。由表可以看到,长度相同的连续水文年计算得到的设

表1 沙市站同长度的连续水文年的保证率98%设计水位

划分时段	时段长度	时段设计水位/m	差值/m	相对误差/%
1988—1992	5	29.26	-0.39	-1.34
1993—1997	5	28.65	0.22	0.77
1998—2002	5	28.50	0.37	1.27
1981—2002 (03基面) ^[6]		28.87		

注:黄海高程。

计水位值与03基面的差值有大有小, 变化范围为-0.39~0.37 m。这说明选取长度相同系列的前提下, 不同水文年对设计水位计算存在一定影响。

2.2 不同水文年对设计水位的影响

考虑不同水文年对设计水位计算的影响。根据沙市站1981—2002年资料, 1994年和1997年为小水年, 1982年、1989年和1998年是大水年, 其他各年份均为中水年。这里首先分析单独的大、中、小水年系列对设计水位的影响, 其次分析大、中、小水年相互组合的系列对设计水位的影响, 上述结果均与03基面进行对比, 结果如表2所示。由表2可知, 从单独考虑大、中、小水年份的结果来看, 只有小水年的水文划分与03基面最为接近, 只有中水年时次之, 而只含大水年的划分则与03基面的差值最大。不同水文年相组合的结果也显示, 无大水年的水文划分得到的时段设计水位与03基面最为接近, 而无小水年和无中水年的时段划分与03基面有一定的差值。这说明, 对于设计水位计算, 影响最大的是中小水年。只要系列中包括了相对较枯的中小水年, 则系列长短对设计水位计算的影响较小, 误差在可控范围之内。

表2 沙市站不同水文年系列的保证率98%设计水位

水文年类型	时段设计水位/m	差值/m	相对误差/%
只含大水年	28.62	0.25	0.86
只含中水年	28.93	-0.06	-0.21
只含小水年	28.83	0.04	0.14
无大水年	28.90	-0.03	-0.10
无中水年	28.75	0.12	0.42
无小水年	28.97	0.10	-0.34
03基面	28.87		

2.3 不同长度的中小水系列对设计水位的影响

这里进一步讨论系列中包含中小水年时, 不同系列长度对设计水位影响的范围。在1981—2002年系列中, 去除大水年, 获得一个只包含有中、小水年的系列, 选择不同的系列长度, 研究系列长短对设计水位的影响。表3给出了沙市站不同系列长度对设计水位计算结果的影响。

表3中的结果显示, 中、小水系列年在时段长

度不同时与03基面的差值各有不同, 其中最小差值0.1 m, 最大差值0.35 m, 整体范围相对较小, 且相对误差最大不超过0.15%, 说明中、小水系列年的时段长短对设计水位值的影响在可控范围之内。

表3 沙市站不同长度中、小水系列年的保证率98%设计水位

年份	时段长度	时段设计水位/m	差值/m	相对误差/%
1983—1985	3	28.70	0.17	0.60
1999—2002	4	28.52	0.35	1.20
1991—1995	5	28.77	0.10	0.36
1992—1996	5	28.65	0.22	0.77
1990—1997	8	28.77	0.10	0.36
03基面		28.87		

2.4 修正值的确定

中、小水系列年的时段长短对设计水位值的影响不大, 类似沙市站情况, 可用同样的方法计算出宜昌、监利、城陵矶、螺山和汉口站在中、小水系列年不同时段长度下的时段设计水位变化范围, 如表4所示。而枝城站蓄水后枯期水位流量关系变化不大, 且在近期内不会有趋势性变化^[7], 且蓄水后宜枝河段冲淤幅度不明显, 因为枝城站蓄水后设计水位值不需要修订, 用蓄水水位达到175 m后水库调节作用趋于稳定的2008—2011年直接确定。

可见, 各站不同长度时段的设计水位与1981—2002年长系列计算得到的设计水位(03基面)的差值绝对值小于0.4 m。从结果偏于安全的角度考虑, 可以选取最大的影响作为系列长短引发的设计水位误差的修正值, 如表5所示, 即所选修正值是使求得的蓄水后设计水位值为最小值。

3 蓄水后长江中游设计水位变化

三峡水库蓄水后长江中游各主要水文站在蓄水后2003—2011年中没有大水的年份, 都是中、小水年^[8]。而从上文分析可知, 2008—2011年, 三峡水库175 m运用, 下泄流量过程较为稳定, 且时段较短, 河床冲淤可认为变化不大, 采用其资料计算长江中游各站设计水位是合理的, 能反映蓄水后的长江中游设计水位的实际变化。

表4 长江中游各站不同长度中、小水系列年的保证率

98%设计水位					
站名	年份	时段长度	时段设计水位/m	差值/m	相对误差/%
宜昌	1986—1990	5	36.59	0.04	0.11
	1991—1997	7	36.57	0.06	0.18
	1981—1987	7	36.68	-0.05	-0.14
	1988—1997	7	36.62	0.01	0.03
	1981—1990	10	36.71	-0.08	-0.22
	03基面		36.63		
监利	1981—1982	2	21.84	-0.18	-0.85
	1994—1997	4	21.57	0.09	0.40
	1999—2002	4	21.23	0.42	1.96
	03基面		21.66		
城陵矶	1999—2001	3	17.05	0.26	1.50
	1993—1997	5	17.24	0.08	0.46
	1984—1990	7	17.53	-0.22	-1.27
	1991—1997	7	17.40	-0.09	-0.53
	1986—1995	10	17.47	-0.15	-0.88
	1984—1997	14	17.46	-0.14	-0.83
	03基面		17.31		
	1994—1997	4	16.17	0.25	1.53
	1999—2002	4	16.40	0.02	0.09
	1989—1993	5	16.34	0.08	0.47
螺山	1984—1990	7	16.05	0.37	0.25
	1991—1997	7	16.18	0.24	1.47
	1988—1997	10	16.39	0.03	0.20
	1984—1993	10	16.12	0.30	1.85
	03基面		16.42		
	1981—1982	2	11.07	0.25	2.17
	1984—1985	2	11.48	-0.16	-1.45
	1999—2002	4	11.18	0.14	1.23
汉口	1988—1992	5	11.51	-0.19	-1.68
	1993—1997	5	10.99	0.33	2.95
	1988—1994	7	11.38	-0.06	-0.54
	1991—1997	7	11.08	0.24	2.11
	1988—1997	10	11.32	0.00	0.01
	03基面		11.32		

表5 荆江河段各站修正值

站名	宜昌	沙市	监利	城陵矶	螺山	汉口
修正值/m	-0.08	0.10	-0.18	-0.22	0.02	-0.19

3.1 蓄水后设计水位值的确定

本文选取长江中游各站2008—2011年的实测水文资料来计算蓄水后的设计水位，并用时段划分法分析得到的修正值来修订设计水位值。表6中数据为所修订后的各站的设计水位值。

表6 蓄水后长江中游各站保证率为98%时设计水位 m

站名	2008—2011年值	修正值	蓄水后修订值
宜昌	36.94	-0.08	36.86
枝城	35.65	0	35.65
沙市	28.96	0.10	29.06
监利	22.35	-0.18	22.17
城陵矶	18.47	-0.22	18.25
螺山	17.11	0.02	17.13
汉口	11.90	-0.19	11.71

3.2 蓄水后前后设计水位变化规律

表7统计了蓄水前设计水位值（03基面）、数模计算值^[3]、实测资料推求值（本文计算），可以看出，与03基面相比，除沙市站外，无论数模计算值还是实测资料推求的设计水位，均有不同程度的升高；从设计水位升高幅度来看，在荆江河段数模值偏小于实测资料推求值，在冲淤强度相对较小的宜枝河段及荆江以下河段则较为接近，如在沙市站数模计算值减小0.45 m，实测资料推求值则升高0.19 m，汉口站两者均升高0.5 m左右，差别不大，这也说明了对河床冲淤强度的正确认识是制约设计水位是否合理的关键因素。而2008—2011年最低实测水位（表7）也与实测资料的推求值较为接近，与数模计算值有相对较大的偏离，以实测资料推求的设计水位更加符合实际情况。

表7 蓄水前后各方法保证率为98%设计水位比较 m

站名	03基面	数模计算	实测资料推求值	2008—2011最低水位
宜昌	36.63	37.32	36.86	36.84
枝城	35.21	35.22	35.65	35.57
沙市	28.87	28.42	29.06	28.83
监利	21.66	22.26	22.17	21.95
螺山	16.42	17.29	17.13	16.91
汉口	11.32	11.86	11.71	11.38

总之，三峡水库蓄水后，虽然坝下游河道河床受冲刷影响，同流量下水位下降明显^[9]，但流量调节使枯水流量增大，设计水位发生了不同程度的升高，通航条件向有利的方向发展。

4 结论

三峡水库蓄水后，下泄流量过程和河床冲淤

均不断变化,使得按照现有方法计算设计水位可能会带来一定误差,本文通过选用下泄流量基本稳定、冲淤幅度相对较小的2008—2011年资料确定长江中游设计水位,同时考虑系列长短的影响进行修订,能够合理确定三峡水库蓄水后长江中游设计水位。与03基面以及已有数模计算结果相比,现阶段使用2008—2011年资料所确定的长江中游设计水位较为合理,能够满足三峡水库蓄水后短期内的航道建设需求。当河床冲刷继续发展后,应根据后期资料持续进行设计水位的修正。

参考文献:

- [1] 李学. 港航工程与规划[M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.
- [2] 王秀英. 冲积河流航道整治设计参数确定方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2006.
- [3] 王秀英, 李义天, 王东胜. 水库下游非平衡河流设计最

- 低通航水位的研究[J]. 泥沙研究, 2008(12): 61-67.
- [4] 长江科学院. 三峡水库下游宜昌-大通河段冲淤-维数模计算分析[M]. 北京: 知识出版社, 2002: 115-148.
- [5] 长江航道规划设计研究院, 长江重庆航运工程勘察设计院. 长江三峡工程航道泥沙原型观测资料2010-2011年度分析报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 长江重庆航运工程勘察设计院, 2011.
- [6] 唐金武. 长江中下游河道演变及航道整治方法[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
- [7] 程伟, 陈立, 许文盛. 三峡水库蓄水后下游近坝段水位流量关系[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2011(4): 434-444.
- [8] 长江航道局综合规划处, 武汉大学, 长江航道规划设计研究院. 三峡水库调度与长江中游航道条件变化关系研究[R]. 武汉: 长江航道局综合规划处, 2009.
- [9] 栾振宇, 施勇, 陈炼钢. 三峡工程蓄水前后长江中游水位流量关系变化分析[J]. 人民长江, 2009(14): 44-46.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第71页)

3 结论

1) 码头结构位移较小, X轴方向位移和Y轴方向位移相对差值不超过14%, 码头结构各方向刚度差别不大, 在地震作用下不易因位移差过大发生整体破坏, 结构整体受力性能较好。

2) 码头结构在地震作用下发生了整体扭转, 建议对结构薄弱处单独进行变形验算。

3) 码头结构扭矩主要由第2,3榀横向排架间的X向梁构件承担, 柱构件和Y向梁构件扭矩较小, 满足我国抗震规范“强柱弱梁”抗震措施。

4) 码头L型布置对X轴方向结构刚度变化影响较大, 地震作用下由于结构刚度差造成的Y轴方向位移差是梁构件扭矩产生的主要原因。

5) 码头结构竖向第1层的第2,3榀横向排架间梁构件扭矩较大, 码头竖向第3层的第1,2榀排架间梁构件扭矩较大, L型布置的转折处为码头结构薄弱位置, 其相对位移差较大, 容易产生应力集

中, 造成混凝土开裂。建议加强对相应单独构件的抗扭设计, 或在转折处增加伸缩缝, 将码头沿X轴(码头横断面)布置为规则对称的两个部分, 以降低结构不利变形。

参考文献:

- [1] 张蕊. 大水位差码头系靠泊结构形式的探讨[J]. 水运工程, 2011(10): 66-70.
- [2] 贾宏宇, 王多垠. 寸滩集装箱码头反应谱分析[J]. 水运工程, 2009(4): 110-112.
- [3] 李颖, 贡金鑫. 预应力高桩码头振型反应谱抗震分析[J]. 大连理工大学学报, 2011(11): 846-853.
- [4] 李爱群, 高振世. 工程结构抗震设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [5] 李颖, 贡金鑫. 弹性反应谱与线性随机方法的对比[C]. 上海: 第十三届全国桥梁学术会议论文集, 1998: 16-19.
- [6] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)