

三峡水库运行后考虑重庆主城区防洪的坝前最佳水位

王英伟^{1,2}, 夏建新¹, 李文杰³

(1. 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081; 2. 中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222;
3. 重庆交通大学国家内河航道整治技术研究中心, 重庆 400074)

摘要:根据三维数学模型计算所得的不同坝前水位和上游流量下的重庆主城区水位公式, 建立三峡水库坝前水位对于重庆主城区(九龙坡—铜锣峡)河段的壅水高度公式, 公式可综合反映重庆主城区壅水高度与坝前水位关系, 根据公式给出考虑重庆主城区防洪的坝前最高水位和最佳水位, 可为三峡水库坝前水位调度提供参考。

关键词:水库优化调度; 壅水高度; 坝前水位; 三峡水库

中图分类号:TV142 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2015)06-0052-05

Study on optimum pre-dam water level of Three Gorges Reservoir considering flood control of main urban area of Chongqing after reservoir operation//WANG Yingwei^{1,2}, XIA Jianxin¹, LI Wenjie³ (1. College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. Zhongshui North Survey Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300222, China; 3. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: An understanding of the optimum pre-dam water level of the Three Gorges Reservoir corresponding to flood control of the varying backwater zone is significant to reservoir regulation. Based on the water level formula obtained from a three-dimensional mathematical model with different pre-dam water levels and upstream discharges, a swell height formula for the pre-dam water level of the Three Gorges Reservoir relative to the reach of the main urban area of Chongqing (Jiulongpo to Tongluoxia) was built. The swell height formula can comprehensively reflect the relationship between the swell height of the main urban area of Chongqing and the pre-dam water level. The swell height formula also provides the maximum pre-dam water level and optimum pre-dam water level considering flood control of the main urban area of Chongqing, which can serve as a reference for pre-dam water level regulation of the Three Gorges Reservoir.

Key words: reservoir optimal operation; swell height; pre-dam water level; Three Gorges Reservoir

重庆主城区位于三峡水库变动回水区, 有九龙坡作业区、朝天门中心作业区、寸滩作业区等大型港口码头, 对重庆市及西南地区的发展起着重要的作用^[1-5]。重庆主城区水位的变化, 直接影响到重庆主城区的泥沙冲淤和航运、防洪, 从而影响重庆和长江上游地区的发展。2010 年 7 月, 长江上游发生 1987 年以来最大洪水, 干流寸滩水文站 19 日 21:00 时洪峰水位 185.06 m, 超过保证水位(183.50 m)1.56 m, 最大流量 64 900 m³/s。为保证长江中下游防洪安全, 三峡水库首次大幅度拦蓄洪水。洪水造成重庆朝天门码头和千年古镇瓷器口被淹, 临江商铺损失严重。三峡水库拦蓄洪水是否是造成重庆高水位的主要原因, 一度成为社会关注的焦点^[1]。因此, 研究不同上游流量下坝前水位对重庆主城区壅水高度的影响, 进一步分析考虑重庆主城区防洪的

坝前最佳水位, 具有重要意义。

近年来不同学者对三峡水库运行后变动回水区水位变化规律^[1,6]和水库优化调度^[7-10]进行了研究, 但是, 由于不同河段不同影响因素作用规律不同, 很难得出一套适用于所有河段的方法。文献[1]研究了三峡水库运行后重庆主城区沿程水位变化规律, 给出了不同上游流量下重庆主城区水位 $\zeta(x)$ 与坝前水位关系公式, 但并未进一步分析不同坝前水位对重庆主城区所产生壅水高度的变化规律, 以寻求重庆主城区防洪的坝前最佳水位。笔者基于此公式, 进一步给出了不同流量下坝前水位对重庆主城区壅水高度 $\Delta\zeta(x)$ 的计算公式, 确定了适用于重庆主城区防洪的最高允许坝前水位及坝前最佳水位, 为重庆防洪及三峡水库调度提供参考。

作者简介: 王英伟(1969—), 男, 河北赵县人, 教授级高级工程师, 主要从事水工泥沙动力学研究。E-mail: wangygzhou@sina.com

1 重庆主城区沿程水位变化公式分析

1.1 沿程水位公式

根据文献[1],重庆主城区水位 $\zeta(x)$ 沿程呈对数下降趋势:

$$\zeta(x) = A \ln(x + 1) + B \tag{1}$$

式中: x 为下游断面距九龙坡的航道里程; $\zeta(x)$ 为 x 断面的水位; A 、 B 为参数, A (<0) 随坝前水位 η 的增加呈 Boltzmann S-型趋势增加:

$$A = c_2 + \frac{c_1 - c_2}{1 + \exp(\frac{\eta - \eta_c}{\Delta\eta})} \quad (175 > \eta > 156) \tag{2}$$

式中: η 为坝前水位; c_1 、 c_2 、 η_c 、 $\Delta\eta$ 为公式参数, 不同参数取值见表 1。

在流量一定时, B 随 η 的增加呈指数增加趋势:

$$B = B_0 + \exp(c_3(\eta - \eta_0)) \tag{3}$$

(175 > η > 156)

式中: B_0 、 c_3 、 η_0 为公式参数, 其中 B_0 为九龙坡河段的自然水位, 不同参数取值见表 1。

综合式(1) ~ (3)有:

$$\zeta(x) = A \ln(x + 1) + \exp(c_3(\eta - \eta_0)) + B_0 \tag{4}$$

(175 > η > 156)

公式适用于嘉陵江汇流比 0.23 左右, 乌江汇流比小于 0.20 范围。

1.2 壅水高度公式

式(4)中, 不同项反映坝前水位对重庆主城区不同的壅水影响, 可将其分解为如下 2 项:

$$\zeta_1(x) = A \ln(x + 1) \tag{5}$$

$$\zeta_2(x) = \exp(c_3(\eta - \eta_0)) \tag{6}$$

其中, $\zeta_1(x)$ 反映了坝前水位对于不同河段的壅水差异, 壅水首先表现为比降的减小, 为了便于分析, 称其为比降壅水作用; 而 $\zeta_2(x)$ 考虑了坝前水位对重庆主城区河段产生的整体抬高效应, 故称其为整体壅水作用。由于 $\zeta_1(x)$ 及 $\zeta_2(x)$ 壅水作用各自呈现出特有的规律, 将总体壅水作用分解为 2 项分别考虑, 有助于三峡水库对重庆主城区河段壅水作用规律的研究。

表 1 不同流量下式(7) ~ (10)对应参数值^[1]

$Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	c_1	c_2	c_3	η_0/m	η_c/m	$\Delta\eta/m$	B_0/m	A_0	$\Delta\zeta_0/m$
3 000	0.07	1.60	0.25	160.50	163.0	1.40	161.70	-1.59	0.22
5 000	0.12	1.20	0.28	161.40	164.0	1.52	163.00	-1.19	0.17
8 000	0.21	1.00	0.32	163.46	164.9	1.92	166.61	-0.99	0.07
13 000	0.47	1.40	0.42	164.12	165.5	2.02	173.49	-1.39	0.02
20 000	0.70	1.42	0.48	165.50	166.4	2.06	174.04	-1.42	0.01
23 000	0.84	1.45	0.60	166.26	168.1	2.02	176.00	-1.45	0.00
40 000	0.87	1.47	0.63	168.00	168.8	2.05	183.80	-1.23	0.00
70 000	0.89	1.48	0.67	168.20	169.3	2.07	189.10	-1.26	0.00

若取 $\eta=156\text{ m}$ 时的 $\zeta(x)$ 为重庆主城区河段 x 点的近似自然水位 $\zeta_0(x)$, 有

$$\zeta_0(x) = A_0 \ln(x + 1) + \exp(c_3(156 - \eta_0)) + B_0 \tag{7}$$

式中: 下标 0 为自然水位所对应参数。

联合式(4)、式(7)可得 $\Delta\zeta(x)$ 为 x 点总壅水高度:

$$\begin{aligned} \Delta\zeta(x) &= \zeta(x) - \zeta_0(x) = \\ &= (A \ln(x + 1) + \exp(c_3(\eta - \eta_0)) + B_0) - \\ &= (A_0 \ln(x + 1) + \exp(c_3(156 - \eta_0)) + B_0) = \\ &= (A - A_0) \ln(x + 1) + \exp(c_3(\eta - \eta_0)) - \zeta_0 \end{aligned} \tag{8}$$

(175 > η > 156)

式中不同参数取值如表 1 所示。

相应地, 比降壅水高度 $\Delta\zeta_1$ 和整体壅水高度 $\Delta\zeta_2$ 为

$$\Delta\zeta_1(x) = (A - A_0) \ln(x + 1) \tag{9}$$

$$\Delta\zeta_2(x) = \exp(c_3(\eta - \eta_0)) - \zeta_0 \tag{10}$$

2 参数 A、B 变化规律分析

A 、 B 参数具有明确的物理意义, 由式(1)可知河道比降为

$$k = \left| \frac{A}{x + 1} \right| \tag{11}$$

式中: A 为 x 断面的比降增长速度, x 断面的河道比降变化规律由 A 确定。

当 $x=0$ 时, 由式(1)可得 $B=\zeta(0)$, B 为不同条件下九龙坡水位。根据式(8)可知, 对于任意 x 点, $\Delta\zeta_1(x)$ 增加速度正比于 A 的增加速度, $\Delta\zeta_2(x)$ 变化规律则与 B 相同。因此, 研究参数 A 、 B 的变化规律, 对进一步研究重庆主城区河段水位变化具有重要意义。

2.1 参数 A

2.1.1 S-型曲线特征分析

上述分析表明, A 随坝前水位的增加呈 S-型增长, 具体形态如图 1 所示。根据 S-型曲线特征, A 变化范围为 $c_1 < A < c_2$ 。 $v = \frac{dA}{d\eta}$ 为 A 随 η 变化速度。由

$\frac{d^2A}{d\eta^2}=0$ 可求得 A 随 η 变化最快时的坝前水位 η_c , 对应 $A=\frac{c_1+c_2}{2}$; $\frac{d^3A}{d\eta^3}=0$ 可求得 v 的拐点 η_c^- 、 η_c^+ ; 对于 S-型曲线, 当 A 近似为 c_1 或 c_2 时, 增长速度为零, 笔者假设 $A<c_1-0.01(c_1-c_2)$ 和 $A>c_2+0.01(c_1-c_2)$ 时, A 随 η 的变化近似为零。具体位置及取值如图 1 及表 2 所示。

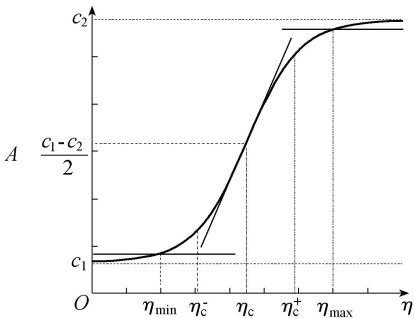


图 1 S-型曲线及特征点示意图

表 2 坝前水位对重庆主城区比降影响的 5 个特征点

特征点	坝前水位
$\eta_{\min}$	$A=c_1-0.01(c_1-c_2)$ 时对应 η 值
η_c^-	$\eta_c-1.32\Delta\eta$
η_c	η_c
η_c^+	$\eta_c+1.32\Delta\eta$
$\eta_{\max}$	$A=c_2+0.01(c_1-c_2)$ 时对应 η 值

相应的, 坝前水位对于重庆主城区比降的影响过程可分为 6 个阶段。对于河道 x 点, A 随 η 增加的变化规律如下: ①不敏感期。当 $\eta<\eta_{\min}$ 时, A 随 η 增加的变化可忽略不计。②缓慢增加期。 $\eta_{\min}<\eta<\eta_c^-$ 时, A 随 η 的增加而缓慢增加, 但增加速度在加快。③迅速增加期。 $\eta_c^-<\eta<\eta_c$ 时, A 随 η 增加而迅

速增加, 且增加速度仍在加快, 至 $\eta=\eta_c$ 时增加速度达到最大, 此时 $A=|c_1+c_2|/2$ 。④迅速减小期。 $\eta_c<\eta<\eta_c^+$ 时, A 随 η 增加而迅速增加, 但增加速度逐渐减慢。⑤缓慢减小期。 $\eta_c^+<\eta<\eta_{\max}$ 时, A 随 η 的增加缓慢增加, 且增加速度仍在减缓。⑥不敏感期。 $\eta>\eta_{\max}$ 时, A 随 η 的变化可忽略不计。

2.1.2 S-型曲线强弱分析

S-型曲线趋势的强弱随 $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|$ 的变化而变化。 $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|$ 越大, S-型越强。当 $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|\approx 0$ 时, 则 $k(x)\approx c_2$, A 不再随坝前水位变化。 $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|$ 与流量 Q 的大小有关, Q 越大, $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|$ 越小, S-趋势也越弱, 如当 $Q=23\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时, $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|=0.42$, 而当 $Q=8\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时, $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|=0.86$, S-型趋势明显增强。假设 $|(c_1-c_2)/\Delta\eta|$ 达极限值 0 时, $k(x)\approx c_2$, S-型属性消失。

2.2 参数 B

B 随 η 的增加呈指数增加, 增加的速度随流量的增大而减小。说明了上游流量越大, 重庆主城区水位受上游流量影响越大, 对于坝前水位变化反应越不敏感。如在 $156\text{ m}<\eta<170\text{ m}$ 时, $Q=3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时 B 约达 7 m, 而 $Q=23\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时, B 约 4.6 m。

3 坝前最佳水位

根据公式, 可得出综合考虑重庆主城区防洪及三峡库区发电效益的坝前最高允许水位以及坝前最佳水位。

3.1 $\Delta\zeta_1$ 与 $\Delta\zeta_2$ 变化规律

由式(8)及相应参数值可给出不同流量下, 鹅公岩($x=1.4\text{ km}$)、朝天门($x=10.1\text{ km}$)、寸滩($x=$

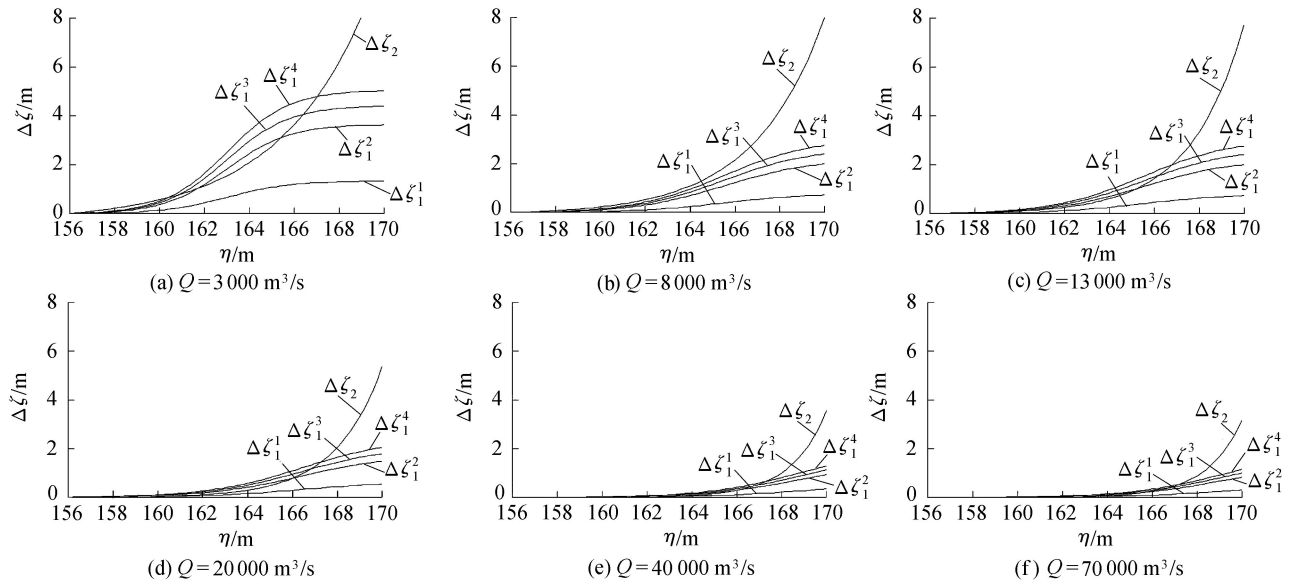


图 2 不同条件下的 $\Delta\zeta_1$ 和 $\Delta\zeta_2$

17.3 km) 及铜锣峡 ($x=26.9$ km) 4 个典型断面比降壅水高度 $\Delta\zeta_1$ 和整体壅水高度 $\Delta\zeta_2$ 随坝前水位的变化曲线(图 2)。

由图 2 可知, $\Delta\zeta_1$ 随 η 的增加呈 S-型增加趋势。当 $\eta=\eta_c$ 时, 随 η 的增加, $\Delta\zeta_1$ 增速最大, 此时降低 η 的防洪效益最大, 可取 $\eta<\eta_c$ 、 $d^3A/d\eta^3=0$ 时所对应的坝前水位 η_c^- 作为坝前最佳水位。 $\Delta\zeta_2$ 随 η 的增加呈指数增加趋势; 在相同坝前水位下, $\Delta\zeta_2$ 随流量的增加呈降低趋势, 特别是当 $Q>13\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 后, $\Delta\zeta_2$ 随流量的增加迅速变小; 相同流量及坝前水位下, 上游 $\Delta\zeta_2$ 小于下游。

由图 2 可以看出, 对于 2010 年 7 月 19 日重庆洪水, 寸滩最大流量达 $64\,900\text{ m}^3/\text{s}$, 此时 $\eta_{\max}<156\text{ m}$, $\Delta\zeta_1$ 与 $\Delta\zeta_2$ 近似为零, 因此洪水的主要原因是上游流量所致, 与坝前水位的调控无关。

3.2 $\Delta\zeta_1$ 与 $\Delta\zeta_2$ 相对大小分析

$\Delta\zeta_1$ 、 $\Delta\zeta_2$ 随坝前水位增加具有完全不同的变化规律, 研究两者的相对大小, 可进一步明确不同规律作用的相对强度。为了研究 $\Delta\zeta_1$ 及 $\Delta\zeta_2$ 的相对大小, 此处引入相对壅水因子 f :

$$f=\frac{(A-A_0)\ln(x+1)}{\exp(c_3(\eta-\eta_0))-\Delta\zeta_0}\tag{12}$$

当 $f>1$, 比降壅水高度小于整体壅水高度时, 随着坝前水位升高, 重庆主城区壅水高度以指数型增长规律为主导; $f<1$, 比降壅水高度大于整体壅水高度时, 随着坝前水位升高, 重庆主城区壅水高度以 S-型增长规律为主导; $f=1$, 比降壅水高度等于整体壅水高度。

图 3 给出了不同流量下, 鹅公岩 ($x=1.4$ km)、朝天门 ($x=10.1$ km)、寸滩 ($x=17.3$ km) 及铜锣峡

($x=26.9$ km) 4 个典型位置的 f 变化曲线。由图 3 可以看出: ①相同坝前水位下, 下游的相对壅水因子大于上游相对壅水因子。对于朝天门段及以下河道, 在坝前水位升高过程中, 存在 1~2 个临界坝前水位, 对应 $f=1$, 即比降壅水高度等于整体壅水高度; 对于朝天门上游, f 随坝前水位的升高也呈先增后减趋势, 但整体壅水作用占相对主导作用。②第一临界坝前水位一般位于 $\eta<162\text{ m}$ 区间, 此时河段壅水作用尚小, $f=\Delta\zeta_1/\Delta\zeta_2$ 值的研究并不重要。第二临界坝前水位标志着该点下游的河道已由比降壅水作用为主导过渡为整体壅水作用为主导阶段, 河道进入了整体抬高阶段。

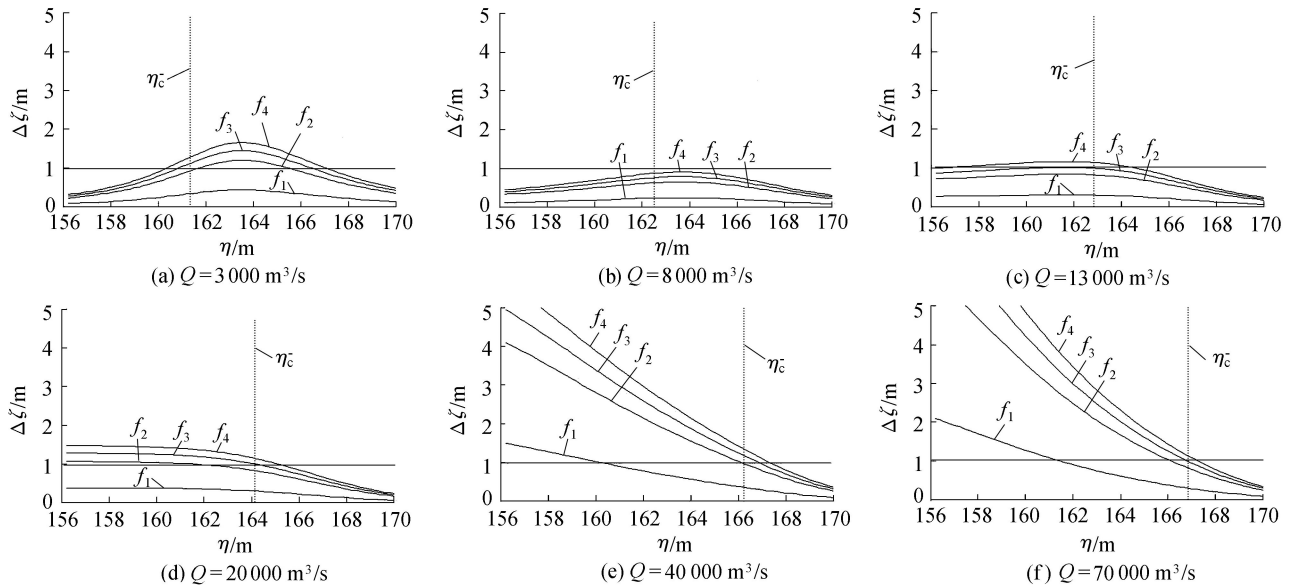
3.3 坝前水位

3.3.1 坝前最高允许水位确定

根据重庆主城区不同位置的最大壅水高度, 通过式(8)可计算出不同上游流量条件下的坝前最高允许水位 $\eta_{\max}$, 具体分布如图 4 所示。需要说明的是, 所得最高允许水位仅适用于 $\eta_{\max}>156\text{ m}$ 的情况。如流量大于 $63\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 后, 由公式计算可得坝前最高允许水位 $\eta_{\max}<156\text{ m}$, 而该水位下三峡回水区尚未达铜锣峡。重庆主城区水位主要由上游来流控制, 已无法通过坝前水位调控, $\eta_{\max}$ 已失去意义。

3.3.2 坝前最佳水位

由上节可知, 若仅考虑 $\Delta\zeta_1$, 则 η_c^- 为坝前最佳水位, 而整体壅水作用始终随坝前水位呈指数增加趋势。因此, 如果仅考虑重庆主城区的壅水高度, 则坝前最佳水位为 $\eta=\eta_c^-$, 不同流量下 η_c^- 分布如图 4 所示。需要说明的是: ①以上最佳水位是由比降壅水高度确定, 因此, $f=\Delta\zeta_1/\Delta\zeta_2$ 越大, 比降壅水作用



注: f_i 为 $\Delta\zeta_1/\Delta\zeta_2$, $i=1$ 时鹅公岩 ($x=1.4$ km); $i=2$ 时朝天门 ($x=10.1$ km); $i=3$ 时寸滩 ($x=17.3$ km); $i=4$ 时铜锣峡 ($x=26.9$ km)

图 3 $f=\Delta\zeta_1/\Delta\zeta_2$ 变化过程

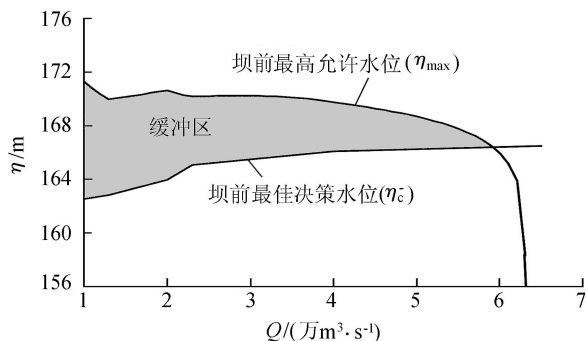


图4 坝前最高允许水位和最佳决策水位

越明显,最佳效应越为显著;②最佳水位不等于最高允许水位,其主要意义在于考虑发电和航运效益的同时,给重庆主城区最大的防洪缓冲区,从而实现航运和防洪的水位调度最优化;③当考虑到坝前最高允许水位时,最佳水位应为 $\eta = \min(\eta_c, \eta_{\max})$ 。

4 结 论

a. 给出了不同上游流量下,坝前水位对重庆主城区的壅水高度计算公式(式(8))。该公式中的参数具有明确的物理意义。根据式(8)将壅水高度分为整体壅水高度和比降壅水高度,整体壅水高度指坝前水位增加所导致整体河段抬升的高度,比降壅水高度体现了河段沿程水位增加的差异,即河道比降的变化。对于给定某一断面,整体壅水高度和比降壅水高度随坝前水位的增加各自呈现不同的增加趋势,整体壅水高度呈指数增长趋势,比降壅水高度呈 S-型增长趋势。

b. 根据式(8),分析了不同流量下坝前水位对于重庆主城区的壅水高度变化规律,得出综合考虑航运、发电效益以及重庆主城区防洪安全的坝前最佳水位 η_c ,同时根据式(1)给出不同流量下坝前最高允许水位 $\eta_{\max}$,可为水库防洪调度提供参考。

c. 式(8)反映了坝前水位对于水库变动回水区的壅水规律,在理论上可为其他水库调度中坝前最高水位和最佳调度水位确定提供参考。

d. 需要说明的是,公式(8)适用于嘉陵江汇流比为 0.23 左右,乌江汇流比小于 0.20 范围。

参考文献:

[1] 黑鹏飞,刘洪春,方红卫,等. 三峡水库调度对于重庆主城区水位的快速响应公式探索[J]. 水力发电学报, 2013, 32(3): 156-161. (HEI Pengfei, LIU Hongchun, FANG Hongwei, et al. Formula for predicting water level responses in Chongqing reach to operation of Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(3): 156-161. (in Chinese))

[2] 陈稚聪,刘洪春,黑鹏飞. 长江重庆九龙坡河段泥沙淤

积规律初步分析[J]. 泥沙研究, 2009(4): 7-11. (CHEN Zhicong, LIU Hongchun, HEI Pengfei. Preliminary analysis on sedimentation in Chongqing Jiulongpo reach of the Yangtze River [J]. Journal of Sediment Research, 2009(4): 7-11. (in Chinese))

[3] 黑鹏飞,陈稚聪,刘洪春. 基于冲淤判定因子的长江重庆九龙坡河段汛后走沙规律研究[J]. 泥沙研究, 2012(5): 43-48. (HEI Pengfei, CHEN Zhicong, LIU Hongchun. Study on sand-flushing state in Chongqing Jiulongpo reach of the Yangtze River based on the flushing-depositing indicator [J]. Journal of Sediment Research, 2012(5): 43-48. (in Chinese))

[4] 刘洪春. 基于数据库的重庆主城区河段冲淤规律分析[D]. 北京:清华大学, 2010.

[5] 闵要武,段唯鑫,陈力. 三峡水库调洪运用对寸滩站水位流量关系影响[J]. 人民长江, 2011, 42(3): 17-19. (MIN Yaowu, DUAN Weixin, CHEN Li. Influence of flood regulation of Three Gorges Reservoir on water level-flow relation in Cuntan Station [J]. Yangtze River, 2011, 42(3): 17-19. (in Chinese))

[6] 金勇,周建军,黄国鲜. 长江上游大型水库运行对长江上游水文过程的影响[J]. 水力发电学报, 2010, 29(2): 94-101. (JIN Yong, ZHOU Jianjun, HUANG Guoxian. Impact of large reservoirs operation on the hydrological process in the upper Yangtze reaches [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(2): 94-101. (in Chinese))

[7] 李义天,甘富万,邓金运,等. 三峡水库汛限水位优化调度初步研究[J]. 水力发电学报, 2008, 27(4): 1-6. (LI Yitian, GAN Fuwan, DENG Jinyun, et al. Preliminary study on optimization of the regulation of flood controlled water level of Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(4): 1-6. (in Chinese))

[8] 李响,郭生练,刘攀,等. 三峡水库汛期水位控制运用方案研究[J]. 水力发电学报, 2010, 29(2): 102-107. (LI Xiang, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. Schemes of storage level control of Three Gorges Reservoir during flood seasons [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(2): 102-107. (in Chinese))

[9] 杨娜,梅亚东,于乐江. 考虑天然水流模式的多目标水库优化调度模型及应用[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2013, 41(1): 85-89. (YANG Na, MEI Yadong, YU Lejiang. Multi-objective reservoir optimal operation model considering natural flow regime and its application [J]. Journal of Hohai University: Nature Sciences, 2013, 41(1): 85-89. (in Chinese))

[10] 张寒,陈启慧,陈敏,等. 皂市水库生态友好型优化调度[J]. 水资源保护, 2012, 28(5): 87-89. (ZHANG Han, CHEN Qihui, CHEN Min, et al. Eco-friendly optimal operation of Zaoshi Reservoir [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(5): 87-89. (in Chinese))

(收稿日期:2014-07-21 编辑:方宇彤)