

水库汛限水位动态控制的风险评估

范子武^{1,2}, 姜树海^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 水库汛限水位的动态控制实质上是一种风险调度. 在对短期水文预报不确定性分析的基础上, 提出了将洪水预报精度等级评定指标转化为入库洪水过程的随机特征值的方法, 利用水库调洪演算的随机微分方程, 分析了不同预报精度等级和不同预见期条件下水文预报误差的传递与演化过程, 并建立了水库汛限水位动态控制的风险率计算模型, 以定量评估抬高汛限水位对水库大坝和下游河道防洪安全的影响. 算例分析表明, 汛限水位的抬高将使水库和下游河道的防洪风险率增大, 通过提高预报精度和延长预见期可以降低由汛限水位抬高所增加的风险率.

关键词: 风险评估; 汛限水位; 动态控制; 预报调度

中图分类号: TV877

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2009)03-0021-08

汛限水位的动态控制对水库的安全和兴利效益发挥都具有极其重要的意义^[1]. 为了实现水库汛限水位的动态控制, 必须实施防洪预报调度, 以增加水库调洪的主动性, 增大水库预蓄或预泄的可能性^[2]. 水库防洪预报调度的依据是预报的洪水过程, 而不是实测的洪水过程, 其实质上是一种风险调度^[3]. 尽管目前水库的实时水文预报系统不断改善和发展, 短期洪水的预见能力已大大提高, 但水文预报误差及其对防洪预报调度的影响总是难免的^[4]. 入库洪量和峰现时刻等预测洪水过程的随机性, 必然会影响调度决策, 从而导致坝前水位过程和下泄流量过程的不确定性, 给水库自身的防洪安全和下游的防洪安全带来一定的影响. 如何以概率意义上的防洪风险率来评估这一影响, 就成为水库防洪调度中的一个重要课题.

本文在分析短期水文预报不确定性基础上, 建立了水库防洪预报调度的风险率定量计算模型. 把洪水预报精度等级评定指标转化为入库洪水过程的随机特征值后, 引入到水库调洪过程的随机数学模型中^[5], 研究水文预报误差在水库调洪过程中的传递与演化, 最终转化为水库自身和下游河道的防洪风险率, 为选择合理的动态汛限水位和调度方案提供科学依据.

1 预报洪水过程随机特征值的确定

在水库的调度过程中, 各种流动运行条件的随机性, 如: 预报入库洪水过程的不确定性、出库泄洪流量过程的不确定性、水位库容关系的不确定性以及运行调度的不确定性, 必将导致与防洪风险率相关的库水位过程和下泄流量过程的随机性. 其中, 水文预报的不确定性是影响预报调度风险率的最重要因素. 峰现时刻的预报更为关键, 它关系着调度方案的确定, 关系着预泄或预蓄控制调度的成败.

收稿日期: 2008-10-09

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAC14B03)、(2006BAC05B03); 国家自然科学基金资助项目(50579038;50679043)

作者简介: 范子武(1970-), 男, 山东费县人, 高级工程师, 硕士, 主要从事水工水力学和风险分析研究.

E-mail: zwfan@nhri.cn

1.1 洪水预报的不确定性分析

预报的洪水过程和实际发生的洪水过程,总是难以完全相符.洪水预报的不确定性分析表明,预报误差的分布规律一般是两端有限的偏态分布.对保证率要求不是很高的水文预报而言,用正态分布和偏态分布的差别不是很大.因此,通常认为,可以用正态分布作为水文预报误差分析的基础^[6].根据数理统计理论,可以认为在 $100(1-\alpha)\%$ 的置信水平上,实际洪水过程的特征值(洪峰流量、峰现时间等)位于预报值的某一范围内,即

$$y_0 = y_c \pm z_{\alpha/2} \sigma_y \quad (1)$$

式中: y_0 为实际洪水过程的特征值; y_c 为预报值; $z_{\alpha/2}$ 为置信水平 $100(1-\alpha)\%$ 的正态分布临界值; σ_y 为标准差.

由此可得

$$\varepsilon = |y_0 - y_c| = z_{\alpha/2} \sigma_y \quad (2)$$

式中: ε 为预报特征值的误差.

1.2 水文预报精度评定信息的运用

对每个具体水库进行洪水预报的不确定性分析,是极其复杂和困难的.但利用水文预报精度等级评定的信息,可以定量给出入库洪水过程的随机特征值,从而为进一步的预报调度风险率评估创造条件.

为了考察洪水预报成果的精度及其可能影响,必须进行水文预报精度等级的评定.《水文精度预报规范》^[7]提出的精度评定方法,通过给出一个概率意义上的“置信区间”,以对预报误差的不确定性进行衡量.在一定的概率标准下,预报误差有一定的区间范围.规范中的“许可误差”即合格预报的上限和下限,给出了误差区间的两个端点;“合格率”则反映了区间的概率值.

根据前述预报误差正态分布的假设,可以认为预报误差 ε 落在零误差左右各一个许可误差 Δ 内(上限+ Δ 和下限- Δ),则有

$$P(-\Delta < \varepsilon < +\Delta) = 100(1-\alpha)\% \quad (3)$$

按规范^[7]规定,甲等精度等级的合格阈值为 85%,即预报误差 ε 落在 2Δ 区间范围内的概率为 85%.根据概率理论,在此置信水平上的正态分布临界值 $Z_{\alpha/2} = 1.44$,即

$$\Delta = 1.44 \sigma_y \quad (4)$$

以峰现时间为例,规范^[7]规定,甲等精度等级的许可误差 Δ_T 为预报根据时间 T_0 至实测峰现时间 T_k 之间时距的 30%,即

$$\Delta_T = (T_k - T_0) \times 30\% \quad (5)$$

代入(4)式,求得预报峰现时间的标准差 σ_T 为

$$\sigma_T = 0.208 (T_k - T_0) \quad (6)$$

同样,乙、丙等精度等级的合格阈值分别为 70%, 60%, 相应的 σ_T 为 0.290 $(T_k - T_0)$ 与 0.357 $(T_k - T_0)$.图 1 给出了时距 $T_k - T_0 = 24$ h 条件下,甲等、乙等精度的峰现时间预报误差分布线.显然,随精度等级的降低, σ_T 的变幅增大.

采取同样的方法,从给定的入库流量(包括洪峰流量、洪量)的预报精度评定等级出发,可以将其合格率和许可误差指标转化为入库洪水过程 $Q(t)$ 的标准差 $\sigma_Q(t)$ ^[8].

2 预报洪水过程不确定性的传递

水库的防洪安全要通过洪水过程的变形得以实现.入库洪水过程 $Q(t)$ 经水库防洪库容的拦蓄、滞留作用以及泄洪建筑物的制约和控制作用,使出库洪水过程 $q(t)$ 产生变形.在这一洪水变形,即水库调洪调度过程中,洪水预报的不确定性将转化为水库坝前水位 $H(t)$ 和下泄流量过程 $q(t)$ 的不确定性,进而影响水库防

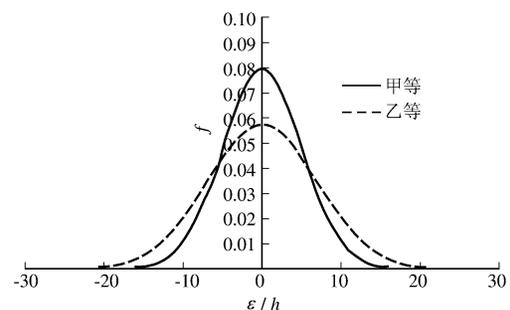


图 1 峰现时间预报误差 ε 的分布曲线
Fig. 1 Distribution of prediction error of flood peak time

洪风险率的大小.为此,可利用水库调洪的随机微分方程数学模型,对包含着水文、水力等随机输入过程和调度方式等随机初始条件的调洪全过程中的随机现象和规律,进行数学描述和分析.

根据随机过程理论,可以认为随机水库蓄洪量 $W(t)$ 的概率分布符合正态分布^[5]. $W(t)$ 的随机过程描述可通过其均值过程 $\mu_w(t)$ 上迭加一个无偏的 Wiener 过程 $B(t)$ 得以实现,即

$$W(t) = \mu_w(t) + B(t) \quad (7)$$

对(7)式进行微分运算,并除以 $G(h) = dW/dh$, 即有

$$\begin{cases} \frac{dH(t)}{dt} = \frac{\bar{Q}(t) - \bar{q}(h, L)}{G(h)} + \frac{dB(t)/dt}{G(h)} \\ H(t_0) = H_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: \bar{Q}, \bar{q} 分别为入流、出流的均值过程线; H_0 为随机初始水位; dB/dt 为一正态白噪声, $B(t)$ 的均值 $E[B(t)] = 0$, 方差 $D[B(t)] = \sigma^2 t$.

根据多个随机过程联合分布的概念,可得

$$\sigma_i^2 t_i = [\sigma_Q^2(t_i) + \sigma_q^2(t_i)] \Delta t^2 + \sigma_w^2(t_i) \quad (9)$$

式中: $\sigma_Q(t_i), \sigma_q(t_i), \sigma_w(t_i)$ 分别为不同时刻入库洪水流量、出库泄量和库容量的标准差; σ^2 为 Q, q 和 W 等综合随机作用下 $B(t)$ 的过程强度. $\sigma_Q(t)$ 的确定如前所述, $\sigma_q(t)$ 受库水位 h 和提前预泄时间长度 L 的随机影响, $\sigma_w(t)$ 需根据泥沙淤积、测量误差等的分析,进行具体处理.

峰现时刻的预报误差,体现在对调度闸门启闭运行的影响,即下泄流量过程 $q(t)$ 的影响.当预报峰现时间较实测推迟 Δt 时刻,意味着水库发生误蓄, Δt 时段的入库洪量提升的库水位会增大水库自身的防洪风险;反之,当预报峰现时刻提前 Δt 时段,意味着水库预泄,增大的下泄流量可能影响水库下游的防洪安全.

由(8)式出发,利用 Fokker-Planck 向前方程^[9]可推导出

$$\begin{cases} \frac{\partial f(h, t)}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial h} \left[f(h, t) \frac{\bar{Q}(t) - \bar{q}(h, L)}{G(h)} \right] + \frac{\partial}{\partial h^2} \left[f(h, t) \frac{1}{G^2(h)} \sigma^2 \right] \\ f(h_0, t) = f_0(h) \end{cases} \quad (10)$$

(10)式为确定性的偏微分方程,可采用有限差分的数值计算方法求解^[10].利用求解的库水位过程 $H(t)$ 的概率分布 $f(h, t)$,可同步计算求得 $\mu_H(t)$ 和 $\sigma_H(t)$

$$\begin{aligned} \mu_H(t) &= \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} h f(h, t) dh \\ \sigma_H(t) &= \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} [\mu_H(t) - h]^2 f(h, t) dh \end{aligned} \quad (11)$$

在求解 $f(h, t)$ 的同时,根据水库下泄流量 ~ 水位的关系,亦可同步求得下泄流量过程 $q(t)$ 的概率分布 $f(q, t)$.进而可求出 $\mu_q(t)$ 和 $\sigma_q(t)$

$$\begin{cases} \mu_q(t) = \int_{q_{\min}}^{q_{\max}} q f(q, t) dq \\ \sigma_q(t) = \int_{q_{\min}}^{q_{\max}} [\mu_q(t) - q]^2 f(q, t) dq \end{cases} \quad (12)$$

需要指出的是,峰现时刻的不确定性作用,要通过(10)式中 $\bar{q}(h, L)$ 项得以实现.通常,水文作业预报、信息处理、调度决策、调令传递等环节都要花费一定时间,提前预泄时间长度 L 小于预报峰现时刻 T .根据前述 T 的不确定性分析给出的概率分布 $f(T)$,求得调洪过程的不同时刻 t_i 库水位 H 概率分布 $f(h, t)$,由于不同水位所对应的调度规则不同,因此在 t_i 时刻便会出现不同概率的运行方式.故在计算程序设计上,按照水库调洪过程的发展顺序,在调洪的第 t_i, t_{i+1}, \dots 时刻点上,以不同的运行方式给出各种可能后续分布及其概率.在每一连续分支上,均按(10)式进行调洪计算,给出相应的 $f(h, t)$ 分布.这样,通过类似事故树的分叉计算方法,就将峰现时刻 T 的不确定性影响转化为水库运行调度随机作用,引入了调洪演算的随机数学模型中.

3 动态控制汛限水位的风险度量

目前我国多数水库的规划设计阶段,没有或无法考虑短期洪水预报,这就为通过预报信息挖潜,在保证防洪安全前提下提高汛限水位预留了一个可操作的空间。

按确定性的水库调洪分析方法,可建立水量平衡方程式,计算汛限水位的抬升值

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m Q(t_i)k_a\Delta t + \Delta h\bar{s} = \sum_{i=1}^m q(t_i)\Delta t \\ Q(t_i) < q_{\max} \end{cases} \quad (13)$$

式中: Δh 为允许的汛限水位抬升值; \bar{s} 为水库面积; $Q(t_i)$ 为入库流量过程; $q(t_i)$ 为出库泄洪过程; k_a 为洪水预报误差修正系数; Δt 为时间间隔; $m\Delta t$ 为洪水预报预见期减去信息传递、决策和运行操作时间的有效预见期; q_{\max} 为泄水建筑物的最大过流能力或下游允许的最大安全流量。

由上式可见,预见期、预报精度以及预泄能力等不确定性因素,将会给汛限水位动态控制的运行方式带来风险,从而影响防洪安全。因此,只有在防洪风险率定量评估的基础上,才能进行科学的调洪调度决策,以确保水库的安全运行。

对于具有水库自身和下游防洪安全双重要求的调洪水库而言,其防洪风险率可表述为:

$$\begin{cases} P_{f1} = P(H > H_k) \\ P_{f2} = P(q > q_k) \end{cases} \quad (14)$$

式中: H 为调洪调度后所得的库前随机水位; H_k 为特征洪水位,如设计水位、校核水位或坝顶高程; q 为调洪调度后的随机下泄流量; q_k 为下游防洪允许的安全下泄流量。通常, H_k 和 q_k 是由防洪规划给定的,可以认为是确定性变量。

根据 H 和 q 的概型及相应的统计特征参数,即可计算求得 P_{f1} 和 P_{f2} ,若粗略认定 H 和 q 符合正态分布,则有

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{\mu_H - H_k}{\sigma_H} \\ \beta_2 = \frac{\mu_q - q_k}{\sigma_q} \end{cases} \quad (15)$$

式中: β 为可靠指标, β 和 P_f 为一一对应关系,并有 $P_f = \Phi(-\beta)$ 。其中, $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数。

可见,前述调洪计算的随机数学模型,提供了确定 H, q 随机特征参数 μ_H, σ_H 和 μ_q, σ_q 的途径,从而使汛限水位动态控制的风险度量成为可能。

由(14)式计算确定的防洪风险率 P_{f1} 和 P_{f2} 能否被接受,是一个有待进一步讨论的问题,涉及风险后果分析和允许风险标准等一些列问题。在目前情况下,可要求实施汛限水位动态控制后的风险率不大于实施前的风险率,即必须满足原设计防洪安全标准的要求。

4 算例分析

以一座有闸门控制水库的预泄-预蓄型预报调度为例,分析其汛限水位动态控制的风险率。该水库按2000年一遇洪水标准设计,防洪库容 $1.14 \times 10^9 \text{ m}^3$,泄洪建筑物有9孔溢洪道,每孔 $12 \text{ m} \times 10 \text{ m}$,驼峰堰的堰顶高程23 m(以120 m为基准,以下相同);8孔泄洪洞,每孔 $6.0 \text{ m} \times 6.7 \text{ m}$,进口底高程-11.0 m。该水库坝顶高程39.5 m,设计最大下泄流量 $12\,820 \text{ m}^3/\text{s}$,原设计汛限水位14.0 m,当预报洪水大于50年一遇时即予泄,此前按 $3\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 限泄。目前,该水库洪水预报精度等级为甲等。

根据前述随机微分方程的调洪演算方法,考虑发生2000年一遇洪水、甲等预报条件下,抬高汛限水位对

大坝防洪安全的影响. 为方便比较, 此算例中暂取输入的 σ_q, σ_w 为 0, 且认定初值水位 H_0 为确定性变量.

在洪水流量过程(包括洪峰流量)和峰现时间预报精度评定等级均为甲等的条件下, 分别计算了汛限水位 $H_0=14, 15, 16, 18$ m 和预见期 $T=12, 24, 36$ h 对水库坝前水位变化过程的影响. 表 1 列出了 12 种不同汛限水位 H_0 和预见期 T 组合工况计算结果的最大值, 图 2 为不同 H_0 和 T 组合工况下的 $f(h, t)$ 和 $\mu_H(t)$ 的变化过程. 由此可见, 预见期的增长, 有利于提前开启闸门预泄, 从而增加了水库防洪调度的主动性. 在原设计汛限水位 $H_0=14$ m 条件下, $T=36$ h 时, 水库调洪最高水位均值 $\mu_{H_{\max}}=37.29$ m; 而 $T=12$ h 时, $\mu_{H_{\max}}=37.42$ m, 尽管该水库的泄洪设施较多, 高水位时的泄洪能力很强, 二者仍有 0.13 m 差异. 显然, 洪水预见期延长, 可以降低最高库水位, 从而为汛限水位的抬高创造条件. 在 H_0 抬升至 15 m 的情况下, 若有 $T=36$ h 的预见期, 其最高库水位 $\mu_{H_{\max}}$ 和 $H_0=14$ m, $T=12$ h 情况下的 $\mu_{H_{\max}}$ 相当, 说明采取提前 12 h 预泄调度可以抬高汛限水位 1 m 左右. 图 3 给出了汛限水位 $H_0=16$ m 时不同预见期 T 条件下的水位过程标准差 $\sigma_H(t)$. 在闸门敞泄运行方式的提前下, 随着预见期 T 的增长, 库水位过程的离散性差异并不明显. 在最高水位发生时刻 ($t=24$ h), 预见期 $T=36$ h 的 σ_H 最大值仅为 1.18 m; 而 $T=12$ h 时, $\sigma_H=1.16$ m. 由上述库水位随机特征数 μ_H, σ_H 的计算结果, 可求得相应运行工况和预报条件下的漫顶风险率 P_{f1} 变化过程(图 4). 预见期 T 的增长, 有利于降低 P_{f1} , 这在一定程度上折抵了抬高汛限水位所增加的风险. 在 $H_0=15$ m, $T=36$ h 条件下的 P_{f1} 的最大值为 4.42%, 比 $H_0=14$ m, $T=12$ h 条件下 P_{f1} 最大值 4.5% 还要小. 由此可见, 可以寻求一个平衡点, 以保证在抬高汛限水位后, 通过增大预见期, 而不致增大漫顶风险率.

表 1 不同汛限水位和预见期组合工况下计算结果的最大值

Tab. 1 Maximum compounding conditions with different limited water levels and forecasting periods

H_0 / m	T / h	$\mu_{H_{\max}}$ / m	$\sigma_{H_{\max}}$ / m	$P_{f1_{\max}}$ / %	$\mu_{q_{\max}}$ / (m ³ ·s ⁻¹)	$\sigma_{q_{\max}}$ / (m ³ ·s ⁻¹)	$P_{f2_{\max}}$ / %
14	0	37.53	1.26	4.85	14 598.32	1 336.81	92.57
14	12	37.42	1.26	4.50	14 519.17	1 348.61	90.20
14	24	37.40	1.27	4.46	14 495.10	1 358.97	89.20
14	36	37.29	1.30	3.96	14 374.00	1 384.51	87.10
15	12	37.56	1.24	5.10	14 671.60	1 322.31	92.60
15	24	37.52	1.25	4.91	14 627.04	1 331.55	91.88
15	36	37.40	1.27	4.42	14 498.12	1 356.28	89.39
16	12	37.66	1.22	5.87	14 790.51	1 297.31	94.24
16	24	37.63	1.23	5.67	14 749.58	1 306.53	93.43
16	36	37.52	1.25	4.99	14 626.62	1 329.80	91.92
18	12	37.92	1.17	7.91	15 074.58	1 248.60	96.95
18	24	37.87	1.18	7.43	15 024.98	1 256.96	96.59
18	36	37.79	1.20	6.82	14 927.24	1 276.97	95.44

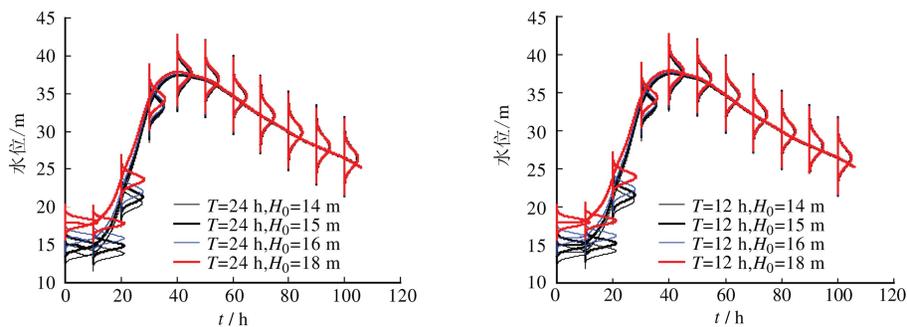


图 2 不同工况下的 $f(h, t)$ 和 $\mu_H(t)$ 的变化过程

Fig. 2 Curves of $f(h, t)$ and $\mu_H(t)$

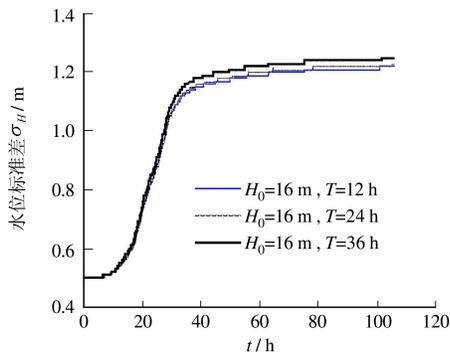


图3 $\sigma_H(t)$ 变化过程

Fig. 3 Curves of $\sigma_H(t)$

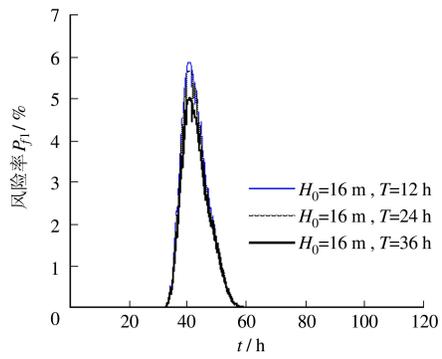


图4 $P_{f1}(t)$ 变化过程

Fig. 4 Curves of $P_{f1}(t)$

通过调洪演算随机微分方程的求解,还可同步求得上述几种汛限水位和预见期组合工况下的水库下泄流量过程的随机特征值 $f(q,t)$ 分布 $\mu_q(t)$ 变化过程(图5)和 $\sigma_q(t)$ 变化过程(图6).在 $H_0=14\text{ m}, T=12\text{ h}$ 情况下的下泄流量均值过程线 $\mu_q(t)$ 与 $H_0=18\text{ m}, T=24\text{ h}$ 情况下的变化不大.这是因为提前敞泄将使下泄流量过程线 $q(t)$ 趋于平缓,但汛限水位抬升使得泄流水头增大,又会促使 $q(t)$ 增大.上述因素的综合结果,导致 $q(t)$ 可以大致维持在相同的水平上.以 $q_{\max}=12\ 820\text{ m}^3/\text{s}$ 作为允许下泄流量的限值,由此计算出各工况的下泄流量超标风险率 P_{f2} 列入表1中,图7为 $H_0=16\text{ m}, T=12\sim 36\text{ h}$ 下的 $P_{f2}(t)$ 变化过程线.结果显示,在2000年一遇洪水条件下,各种工况下的 P_{f2} 值较大,下游河道防洪安全得不到保证. $H_0=18\text{ m}, T=24\text{ h}$ 条件下的 P_{f2} 最大值为95.44%,而 $H_0=14\text{ m}, T=12\text{ h}$ 条件下 P_{f2} 的最大值90.2%,两者相差不大,表明在大洪水条件下,汛限水位抬高和预见期延长对下游河道防洪影响不大.

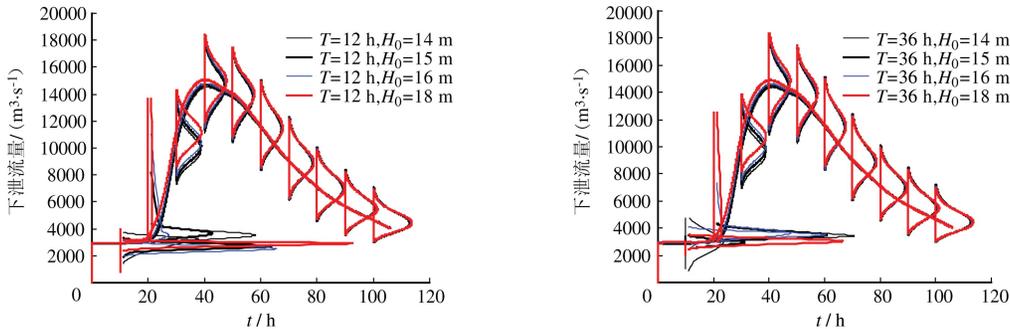


图5 不同工况下的 $f(q,t)$ 和 $M_q(t)$ 的变化过程

Fig. 5 Curves of $f(q,t)$ and $M_q(t)$

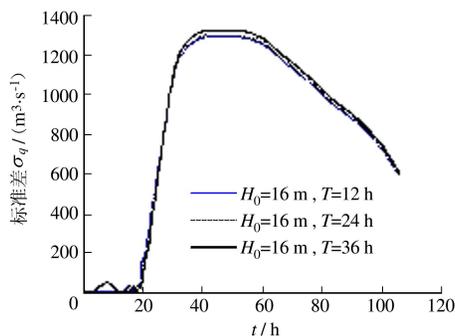


图6 $\sigma_q(t)$ 变化过程

Fig. 6 Curves of $\sigma_q(t)$

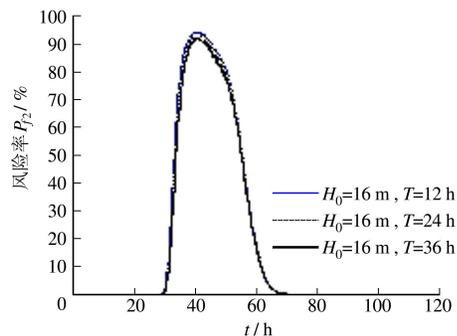


图7 $P_{f2}(t)$ 变化过程

Fig. 7 Curves of $P_{f2}(t)$

5 结 语

在汛限水位的动态控制中,短期洪水预报的精度和预见期长短是水库洪水调度成功与否的关键.水库预报调度实质上是一种风险调度,定量分析研究预报信息的随机性和汛限水位动态控制的关系至关重要.

将洪水预报精度作为衡量入库洪水过程的不确定性指标,将预见期的影响转化为泄洪调度过程中的作用,引入到水库调洪演算的随机微分方程中,用以分析预报洪水过程不确定性及其传递过程,并建立了水库汛限水位动态控制的风险率计算模型,可用于定量评估汛限水位抬高对水库自身防洪安全和下游防洪安全带来的影响.

算例分析表明,入库洪水过程的不确定性,特别是峰现时间的不确定性,将显著影响水库的防洪安全.高精度的洪水预报等级,有利于增加水库调洪调动的主动性,从而在不增加防洪风险率的前提下,实现汛限水位的动态控制.

参 考 文 献:

- [1] 邱瑞田,王本德,周惠成. 水库汛限制水位控制理论与观念的更新探讨[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 68-72. (QIU Rui-tian, WANG Ben-de, ZHOU Hui-cheng. New idea for controlling the limited elevation of reservoirs in the flood season[J]. Advances in Water Science, 2004, 15(1): 68-72. (in Chinese))
- [2] 高波,吴永祥,沈福新,等. 水库汛限水位动态控制的实现途径[J]. 水科学进展, 2005, 16(3): 406-411. (GAO Bo, WU Yong-xiang, SHEN Fu-xin, et al. Available approach to controlling dynamically the limited level of reservoirs during the flood season[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(3): 406-411. (in Chinese))
- [3] 郭生练,刘攀. 建立水库汛限水位动态控制推进机制的建议[J]. 中国水利, 2008(9): 1-3. (GUO Sheng-lian, LIU Pan. Suggestion of promoting dynamic control mechanism of water level of reservoir in flood season[J]. China Water Resources, 2008(9): 1-3. (in Chinese))
- [4] 周惠成,闫骏霞,王本德. 洪水预报误差对防洪预报调度的影响[J]. 东北水利水电, 2005, (9): 30-33. (ZHOU Hui-cheng, YAN Jun-xia, WANG Ben-de. Influence of flood forecast error to flood control forecast operation[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast, 2005, (9): 30-33. (in Chinese))
- [5] 姜树海. 水库调洪演算的随机数学模型[J]. 水科学进展, 1993, 4(4): 19-25. (JIANG Shu-hai. A stochastic mathematic model for reservoir flood routing[J]. Advances in Water Science, 1993, 4(4): 19-25. (in Chinese))
- [6] 长江水利委员会. 水文预报方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1993. (Changjiang Water Resources Commission. Methods of hydrological forecasting[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1993. (in Chinese))
- [7] SL250-2000, 水文情报预报规范[S]. (SL250-2000, Standard for Hydrological Information and Hydrological Forecasting[S]. (in Chinese))
- [8] 姜树海,范子武. 水库防洪预报调度的风险分析[J]. 水利学报, 2004(11): 102-107. (JIANG Shu-hai, FAN Zi-wu. Risk analysis for flood control operation of reservoir[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(11): 102-107. (in Chinese))
- [9] 姜树海. 随机微分方程在泄洪风险分析中的运用[J]. 水利学报, 1994(3): 1-9. (JIANG Shu-hai. Application of stochastic differential equations in risk analysis for flood relief[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1994(3): 1-9. (in Chinese))
- [10] 姜树海,范子武,吴时强. 洪灾风险评估和防洪安全决策[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005. (JIANG Shu-hai, FAN Zi-wu, WU Shi-qiang. Flood risk assessment and flood control decision-making[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))

Estimation of risk rate for dynamic control of reservoir limited water level during flood season

FAN Zi-wu^{1,2}, JIANG Shu-hai^{1,2}

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China*)

Abstract: The dynamic control of reservoir limited water level during flood seasons is in fact a kind of risk regulation. Based on the analysis of uncertainties of short term hydrologic forecast, it is put forward that the evaluation indices for flood forecast accuracy levels should be transformed into the stochastic values of incident flood hydrograph. The transform and evaluation of errors of hydrologic forecast with different forecast accuracy levels and different expected forecasting periods are analyzed by use of the stochastic differential equations for flood routing of reservoirs. A mathematical model of risk rate for the dynamic control of reservoir limited water level is established so as to quantitatively estimate the impact of the increase of limited water level on the safety of dam and downstream protection area. The results of the adopted examples show that the increase of reservoir limited water level must cause the rising of the flood risk rate of the reservoir and the downstream river. By improving the flood forecasting accuracy and extending the forecasting period, we can lower the risk rising value caused by the increase of the limited water level.

Key words: risk estimation; reservoir limited water level during flood season; dynamic control; forecasting operation

江西最大的水利工程奠基

2009年9月6日上午,江西省历史上规模最大的水利枢纽工程——峡江水利枢纽工程在赣江之滨举行隆重的奠基典礼。水利部部长陈雷致辞。江西省委书记苏荣宣布工程奠基,省长吴新雄讲话,常务副省长凌成兴主持开工典礼。水利部党组成员、部办公厅主任陈小江,水利部长江水利委员会主任蔡其华,江西省军区、省人大常委会、省政协等单位领导出席奠基典礼。

峡江水利枢纽工程位于赣江中游的江西峡江县,控制流域面积6.29万平方公里,是一座以防洪、发电、航运为主,兼顾灌溉等综合利用的大(一)型水利枢纽工程。工程总库容11.87亿立方米;电站装机容量36万千瓦,渠化枢纽上游77公里航道,设计灌溉面积32.95万亩。工程静态总投资82.41亿元,是江西迄今为止投资最大的水利工程,施工总工期6年。

水利部门认为,峡江水利枢纽工程建成后,能提高赣江中下游两岸尤其是南昌市和赣东大堤的防洪标准,南昌市的防洪标准将由100年一遇提高到200年一遇,赣东大堤的防洪标准将由50年一遇提高到100年一遇。同时,峡江水利枢纽工程可显著缓解电力供需紧张状况,改善航运条件,提高农田灌溉水平等。

摘自《水利部网站》