

中期数值降雨预报在汛限水位动态控制中应用研究

李旭光, 王本德*, 周惠成

(大连理工大学水利工程学院, 辽宁大连 116024)

摘要: 定义中期数值降雨预报最大可利用预见期、最大可利用预见量和实时预见期折减系数3个参数,对中期数值降雨预报信息进行预处理,且给出评估中期预报精度的指标以及指标的求解方法;然后利用上述3个参数,对汛限水位实时动态控制相对安全期进行定义,进而提出利用中期预报进行汛限水位动态控制的实时相对安全期法. 对该方法风险分析过程就是对上述3个参数的优选过程. 基于此,分别定义评估风险、风险效益以及调度决策者承受风险能力的指标,建立控制风险在决策者承受能力内而追求风险效益最大的风险分析模型,即参数优选模型. 浑江上游桓仁-回龙库群试用结果表明,经济效益显著.

关键词: 汛限水位动态控制;中期数值降雨预报;实时相对安全期法;风险分析
中图分类号: TV212 **文献标志码:** A

0 引言

水库汛限水位动态控制是提高洪水资源利用率的一项行之有效的非工程措施. 目前大多数汛限水位动态控制方法应用的是短期降雨预报信息,如文献[1]基于24 h短期降雨预报信息建立了预蓄预泄能力法、综合信息推理模式法以及决策支持表法;还有很多学者设定不同的汛限水位用不同的方法来计算漫坝风险,进而优选汛限水位,如频率分析法^[2]、随机数学分析法^[3]、随机Monte-Carlo模拟法^[4]以及层次分析法^[5]等. 天气预报预见期越长则动态控制效益越大,而且当短期预报的有效预见期小于洪水从水库传播到下游防洪控制点的时间时,动态控制将无法实现,因此中期天气预报信息的应用研究显得尤为重要. 然而目前关于这方面的研究却甚少,原因在于一是中期预报精度不高;二是缺乏相应的风险分析方法.

近年来随着气象卫星、测雨雷达、高性能大型计算机和数值预报技术的飞速发展,中期数值天气预报精度已经得到了很大提高,并且开始应用于航天、农业、军事等领域^[6~8]. 中期数值天气预

报产品有天气、温度、湿度、抬升指数、风速和降水分布图等很多种,其中与水库调度关系密切的是降水分布图. 目前,美国国家环境预报中心的全球预报系统GFS(global forecast system)、日本气象厅的全球模式JMA、美国舰队数值气象学和海洋学中心的全球模式NOGAPS和我国的全球中期预报模式T213L31,都可滚动发布东亚地区中期数值降水预报信息. 本文尝试性地提出应用中后期数值降雨预报信息进行汛限水位动态控制的实时相对安全期法,并且建立相应的风险分析模型.

1 中期数值降雨预报信息的预处理

当降雨预报未来有较大降雨量时,为了御防各级设计标准洪水,水库一般以下游安全泄量为约束尽可能下泄水库水量,使库水位尽快回落到原设计汛限水位;而当降雨预报未来降雨量较小时,为了同时御防各级设计标准洪水和未来水库无水可用两种情况,一般才考虑采用动态控制泄流方案,即控制水库下泄流量,延缓水位回落时间,以备后期无雨时兴利所用. 因此,汛限水位动态控制的前提是库水位超过原设计汛限水位且降雨预报未来一段时间内降雨量较小;并且它关心

收稿日期: 2007-10-15; 修回日期: 2009-11-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50579095);“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAB14B05).

作者简介: 李旭光(1979-),男,博士生, E-mail: xgli828@yahoo.com.cn; 王本德*(1938-),男,教授,博士生导师; 周惠成(1958-),男,教授,博士生导师.

的是该时间段内发生某一量级雨量的概率(基于此下面定义了降雨预报精度指标),换句话说,动态控制关心的是预见量较小时降雨预报的精度。

目前中期数值降雨预报信息一般包括预见期和预见量两部分,预报精度与预见期、预见量有关,并且一般由数值预报方法客观决定.然而合理地利用预报信息,对预报信息进行预处理,可以用较小的预见期降低换来很大的预报精度提高,这对于力求万无一失的水库防洪调度来讲是意义重大的.基于此,下面提出了一种预处理方法,然后定义了评估预报精度的指标,且给出了该指标的求解方法.

1.1 预处理方法——折减实时预见期法

面临时刻,若中期数值降雨预报未来 t_f ($\leq t_m$) 内降雨量为 p_f ($\leq p_m$),其中 t_f 和 p_f 要尽可能接近 t_m 和 p_m ,则定义 $t_d = k_m \times t_f$ 为中期数值降雨预报实时有效预见期,简称实时有效预见期;称 t_m 为中期数值降雨预报最大可利用预见期,简称最大可利用预见期; p_m 为最大可利用预见量; t_f 为实时预见期; p_f 为实时预见量; k_m 为实时预见期折减系数,且满足 $0 < k_m \leq 1$.

针对动态控制的具体问题,从确保水库防洪安全和方法简单实用两方面考虑,该方法引入 t_m 、 p_m 和 k_m 三个参数对预报信息进行处理, t_f 、 p_f 和 t_d 为实时变量.面临时刻根据 t_m 和 p_m ,可求得 t_f 和 p_f ;然后利用 k_m 折减 t_f 可求得 t_d .显然参数 t_m 、 p_m 和 k_m 越大,则 t_d 越大.

1.2 评估预报精度的指标

面临时刻,对于不同的参数 t_m 、 p_m 和 k_m ,利用折减实时预见期法可得到不同的 t_d ,并且根据实测降雨资料可得到 t_d 内实际发生降雨量 p_d .定义随机变量 $P_d(t_m, p_m, k_m; p_d)$ 为 p_d 所有可能取值的集合,定义 $f_d = F(P_d \geq p_d)$ 代表 $P_d \geq p_d$ 的概率,称 (f_d, p_d) 为中期预报相对于参数 t_m 、 p_m 和 k_m 的精度指标.

实数对 (f_d, p_d) 代表 $P_d(t_m, p_m, k_m; p_d)$ 理论频率曲线上的点.显然, f_d 不变且 p_d 较大(或者 p_d 不变且 f_d 较大)表明预报精度较低,即 (f_d, p_d) 越大表明预报精度越低.由于汛限水位动态控制关心的是预见量较小时降雨预报的精度,而当预见量较小时,随着预见期、预见量的增加,预报精度一般会降低,因此当预见量较小时,参数 t_m 、 p_m 和 k_m 越大,预报精度通常越低,精度指标 (f_d, p_d) 则越大.

1.3 指标的求法——月最大取样配线法

首先审查汛期发布的中期降雨预报历史资料以及相应的流域实测降雨资料;然后给定不同的参数 t_m 、 p_m 和 k_m ,从汛期每月中选出 P_d 的月最大值(由于现阶段中期资料长度有限且数值预报技术在不断发展,对 P_d 选取的是月最大值,而不是年最大值),按从大到小顺序排列;接着采用配线法得到 P_d 的理论频率曲线;为了验证该曲线的合理性,还需要对 P_d 的分布进行统计检验与分析,从而得到 (f_d, p_d) .

2 实时相对安全期法

汛限水位动态控制是当汛期水库水位超过原设计汛限水位且天气预报未来降雨量较小时,为了同时御防各级防洪标准洪水和未来水库无水可用两种情况发生,根据实时雨水工情和天气预报等信息决策水库如何泄流,即制定动态控制实时调度方案.要具体回答天气预报未来降雨量需要小到什么程度,动态控制方案如何制定以及由此带来的风险和风险效益如何评估与协调等问题.

与原设计的汛限水位静态控制相比,动态控制利用天气预报信息去获得额外效益,由于预报和实际发生存在着一定的误差,在利用预报追求额外效益的同时必然要承担一定的风险,基于此,该研究提出了动态控制的原则:从概率角度确保原防洪标准不变的前提下追求额外效益最大,即控制风险而追求风险效益最大.

2.1 方法的描述

事先设定不同的参数 t_m 、 p_m 和 k_m ,利用 1.3 中月最大取样配线法,求出相应的中期降雨预报精度指标 (f_d, p_d) .面临时刻,当库水位超过设计汛限水位时,根据选定的一组参数 t_m 、 p_m 和 k_m ,利用实时中期数值降雨预报信息,通过 1.1 中折减实时预见期法,求得 t_d ;然后,在满足水库(群)上游最低一级淹没高程和下游最低一级安全泄量约束下,考虑实际已发生降雨量与假拟未来发生 p_d 典型净雨组合形成的未来洪水过程,根据水库和上下游各个防洪控制点的实时水位,进行不同调度方案的假拟调度演算.如果能找到一调度方案使 t_d 末库水位安全地降到原设计汛限水位(确保防洪标准不变),那么此泄流方案称为汛限水位动态控制调度方案(如果有多种可选方案,选择面临时刻泄量较小的方案).此时,称 t_d 为实时动态控制相对安全期,简称实时相对安全期,并用 t_r 来表

示;称 (f_d, p_d) 为实时动态控制风险指标,并用 (f_r, p_r) 来表示,且分别称 f_r 和 p_r 为实时动态控制风险率和风险量级.如果找不到满足要求的泄流方案,此刻水库要按原设计防洪要求使库水位尽快回落到原设计汛限水位.

该方法通过定义实时相对安全期 t_r ,制定动态控制调度方案,因此称它为实时相对安全期法.其中, t_r 需要满足下述3条性质:

(1) 未来 t_r 内实际发生降雨量 $\geq p_r$ 的概率为 f_r ;

(2) 若该流域未来发生 p_r 典型净雨形成的洪水,按拟定的动态控制调度方案, t_r 末库水位可以安全控制到原设计汛限水位;

(3) 为了减小动态控制风险, f_r 和 p_r 要尽可能小,即要求风险指标 (f_r, p_r) 尽可能的小;另一方面为了增加风险效益, t_r 要尽可能的大.

这3条性质紧扣前面所述的动态控制原则:性质(1)围绕概率角度;性质(2)围绕在概率角度上确保防洪标准不变;性质(3)围绕控制风险而追求风险效益最大.其中,性质(1)可以通过1.3中的月最大取样配线法满足;性质(2)可以通过假设调度演算满足;接下来研究性质(3).

2.2 风险分析暨参数 t_m 、 p_m 和 k_m 优选

2.2.1 风险与风险效益指标体系的建立 风险分析前,首先需要建立评估风险与风险效益的指标体系.在2.1中定义了动态控制风险指标 (f_r, p_r) ,由1.2可知 t_m 、 p_m 和 k_m 越大则 (f_r, p_r) 通常越大,即风险越大;风险效益方面,显然 t_r 越大则风险效益越大,由1.1可知 t_m 、 p_m 和 k_m 越大则 t_r 越大,因此 t_m 、 p_m 和 k_m 越大则风险效益越大,故定义 (t_m, p_m, k_m) 为风险效益指标.

由上述分析可知,参数 t_m 、 p_m 和 k_m 越大则风险越大,风险指标 (f_r, p_r) 也越大;另一方面,参数 t_m 、 p_m 和 k_m 越大则风险效益越大,风险效益指标 (t_m, p_m, k_m) 也越大.这表明了两点:

(1) 天气预报既是动态控制的风险效益源,又是风险源;

(2) 风险与风险效益的矛盾协调过程就是参数 t_m 、 p_m 和 k_m 的优选过程.

2.2.2 风险分析模型 t_r 性质(3)要求动态控制风险最小而风险效益最大,下面引入调度决策者承受风险能力的定义,建立控制风险指标在决

策者承受能力内而追求风险效益指标最大的多目标约束优化模型来协调矛盾.

目标: $\max t_m; p_m; k_m$

约束: $f_r \leq f_e$;

$p_r = p_e$;

$f_r = F[P_d(t_m, p_m, k_m; p_d) \geq p_r]$;

$t_m > 0; p_m > 0; 0 < k_m \leq 1$

变量: $t_m; p_m; k_m$

式中: f_e 为调度决策者可承受风险率(量纲一); p_e 为可承受风险量级,mm; (f_e, p_e) 为调度决策者承受风险能力指标.约束1($f_r \leq f_e$)和2($p_r = p_e$)的涵义为寻找合适的参数 t_m 、 p_m 和 k_m ,使动态控制的风险指标 (f_r, p_r) 在决策者承受能力 (f_e, p_e) 内.

f_e 和 p_e 实际上是由大坝下游堤防的风险补救措施决定的,一般 f_e 取水库的校核标准, p_e 取水库(群)最低一级防洪标准对应的设计净雨量.因此约束1和2进一步解释为寻找合适的 t_m 、 p_m 和 k_m ,使实时相对安全期 t_r 内发生最低一级防洪标准洪水的频率降低到校核标准(现阶段将低于校核标准,在下面“应用实例”中详细说明),这是对中期数值降雨预报信息进行预处理的目的,揭示了降雨预报对动态控制的价值,是应用降雨预报进行动态控制的基础.

就目前水库和堤防设计标准而言,通常 f_e 取值大于500 a一遇, p_e 取值5 a一遇的净雨量,所以汛限水位动态控制多年平均风险效益是远远大于多年平均风险损失的,因此该风险分析模型没有直接比较多年平均风险损失和多年平均风险效益,而是采用控制风险而追求风险效益最大的策略.

该模型属于多目标约束优化问题,目标是使3个参数最大.由1.1中实时有效预见期的定义可知,这3个参数对实时有效预见期的影响程度是有差异的,相对而言, k_m 的影响程度最大, t_m 次之, p_m 最小,实际计算中,一般可采用线性加权和法或专家法等.求得变量 t_m 、 p_m 和 k_m 后,通过2.1中的实时相对安全期法,可以求得水库面临时刻较优的泄流量.

2.3 方法流程图及步骤

为了便于计算机实现,给出方法流程图,见图1.此图分为3个层次,第1层为方法层,第2层为模块层,第3层为流程层.模块层包含3个模块,第1个模块为离线模块,当捕捉到决策者反馈信

息 (f_e, p_e) 时,变为实时模块;第2、3模块为实时模块;第3模块考虑到决策者的经验和偏好,实现

了人机交互功能. 流程层分为上、下两层,上层为流程主层,下层为基本资料层.

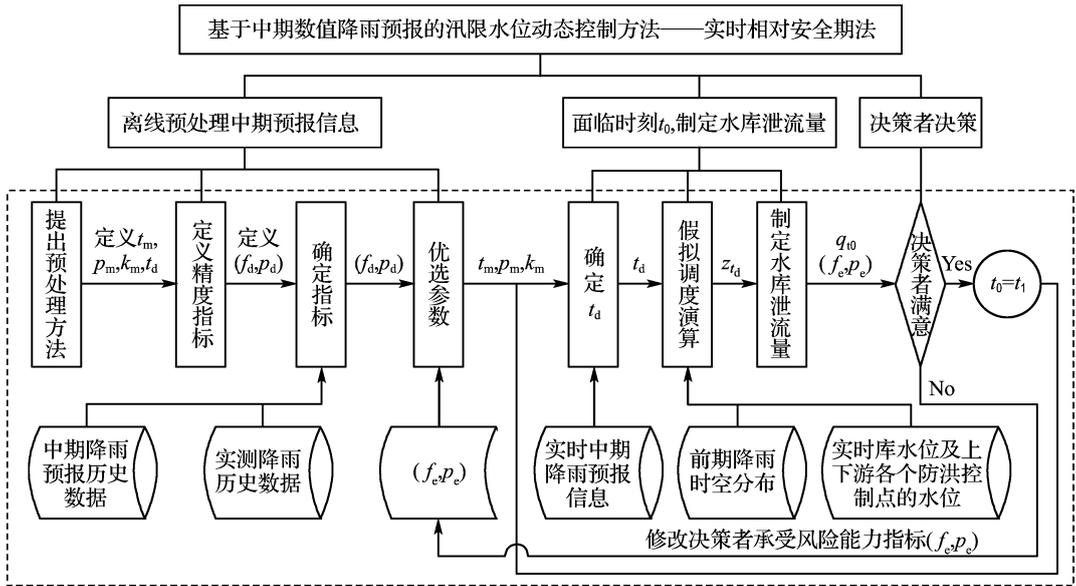


图1 实时相对安全期法求水库实时较优泄流量流程图

Fig. 1 Flow chart of real-time relatively-safe period method for solving the optimum reservoir discharge

结合图1,给出方法步骤如下:

(1) 确定中期预报精度指标

根据中期数值降雨预报历史数据和实测降雨历史数据,通过1.3中的月最大取样配线法,离线得到与不同参数 t_m 、 p_m 和 k_m 相对应的精度指标 (f_d, p_d).

(2) 优选参数

选取决策者风险承受能力指标 (f_e, p_e),建立2.2.2中的风险分析模型,然后离线求解,得到较优的一组参数 t_m 、 p_m 和 k_m .

(3) 确定 t_d

面临时刻 t_0 ,根据实时中期数值降雨预报信息和步骤(2)求得的 t_m 、 p_m 和 k_m ,利用1.1中的折减实时预见期法求得 t_d .

(4) 假设调度演算

首先,确定水库(及上下游各个防洪控制点)以上流域未来来水过程 Q ,它由两部分组成,一是根据 t_0 以前实际降雨时空分布进行洪水预报得到的来水过程 Q_1 ,结合具体的洪水预报模型精度和实时校正模型精度,为安全计取 $v \times Q_1$,其中误差校正系数 $v \geq 1.0$;二是假设在 t_d 内研究流域发生由 p_e 典型净雨形成的洪水过程 Q_2 ,即 $Q = vQ_1 + Q_2$;然后,根据水库和各个控制点的实时水位,考

虑水库(群)上游最低一级淹没高程和下游最低一级安全泄量约束,拟定动态控制泄流方案,对 Q 进行假设调度演算,求得 t_d 末库水位 z_{t_d} (m),并且反复调整动态控制泄流方案尽可能使 z_{t_d} 等于原设计汛限水位(可根据下游安全泄量及下游区间洪水流量逆向反推动态控制泄流方案).

(5) 制定泄流量

如果 z_{t_d} 与水库原设计汛限水位相等,则面临时刻水库可按此动态控制泄流方案确定下泄量 q_{t_d} (m^3/s),且 $(f_r, p_r) \leq (f_e, p_e)$;如果 z_{t_d} 与水库原设计汛限水位不相等,则要按水库原设计防洪要求使库水位尽快回落到原设计汛限水位.

(6) 决策者决策

将 q_{t_d} 与 (f_e, p_e) 提交决策者,决策者可根据经验和偏好修改 (f_e, p_e),并且转到步骤(2)重新开始计算 q_{t_d} ,直至得到满意的 q_{t_d} ,即为水库此刻较优的泄流量.

(7) 下一时刻 t_1 ,设 $t_0 = t_1$,转到步骤(3)重新开始计算 q_{t_d} .

3 应用实例

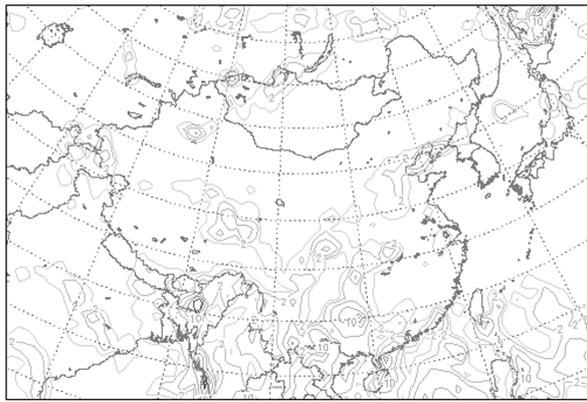
3.1 汛期桓-回库群调度中存在的问题

桓仁、回龙水库分别是浑江梯级中第1和第

2座水库。桓仁库容 $34.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，是以发电为主，兼顾防洪、灌溉等任务的大(I)型多年调节水库。大坝设计标准 0.1%，校核标准 0.01%，设计汛限水位 300.0 m，最大兴利蓄水位 303.0 m，上游土地征用标准 10%，3台发电机组总装机流量 $416 \text{ m}^3/\text{s}$ 。桓仁水库下游 4.0 km 处桓仁镇防洪标准 2%。回龙为日调节电站，位于桓仁电站下游 44.0 km 处，大坝设计标准 1%，校核标准 0.2%，设计汛限水位 219.0 m 的相应过流能力为 $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ ，库区耕地补偿标准 20%，两台机组总装机流量 $330 \text{ m}^3/\text{s}$ 。桓仁水库汛期 6~9 月严格按照 300.0 m 控制，致使汛期泄洪后经常无水可发，近年来又由于后汛期雨水较少，汛末大都不能回蓄到 303.0 m，严重影响汛后发电兴利。

3.2 中期数值降雨预报信息的选择和预处理

美国国家环境预报中心的全球预报系统 GFS 滚动发布的东亚地区降水分布图如图 2 所示，每 6 h 更新一次未来 14 d 的时段降水信息，经过文献[1]的初步分析和作者近两年在碧流河水库、桓仁电站实时预报调度中试用情况表明，其漏报率低，因此本文选择 GFS 降雨预报信息进行实例研究。



Precipitation GFS (mm/6hrs) VT: Tue 20.07.04 12.18 GMT (Tue 00+18)
0.5 2 5 10 15 20 30 40 t/online.com

图2 2004-07-20T 00:00 (GMT)GFS 预报东亚地区未来 12~18 h 降水图

Fig. 2 Next 12~18 hours precipitation distribution of East Asian region forecasted via GFS at 00:00 on July 20, 2004 GMT

首先根据 2001~2005 年 GFS 滚动发布的东亚地区 6~9 月份降水分布图，建立桓-回地区面临时刻一预报未来时段一预报降雨量表。然后根据 2.3 中步骤(1)，定义随机变量 $P_d(t_m, p_m, k_m;$

$p_d)$ ，利用预报降雨量表和流域实测降雨资料，选定不同的 t_m, p_m 和 k_m ，按月最大取样配线法，得到 P_d 的理论频率曲线，并且用 Kolmogorov-Smirnov 分布函数检验法(K-S 检验法)，给定显著性水平 0.05，对应的拒绝域为 $(1.36, \infty)$ ，对 P_d 的分布进行统计检验与分析。接着根据 2.3 中步骤(2)，取 f_e 等于桓仁水库校核标准 0.01%，取 p_e 等于回龙库区耕地补偿标准 5 a 一遇洪水对应的设计净雨量 91 mm，建立多目标约束优化风险分析模型，通过线性加权和法求解得到较优解 $t_m = 6, p_m = 10$ 以及 $k_m = 0.5$ 。 $P_d(6, 10, 0.5; p_d)$ 的理论频率曲线见图 3，均值 = 17.73，变差系数 = 0.58，偏态系数 = 0.68，由于 K-S 法中的检验统计量 = 0.54，不落在拒绝域 $(1.36, \infty)$ ，可以认为该理论频率曲线合理。

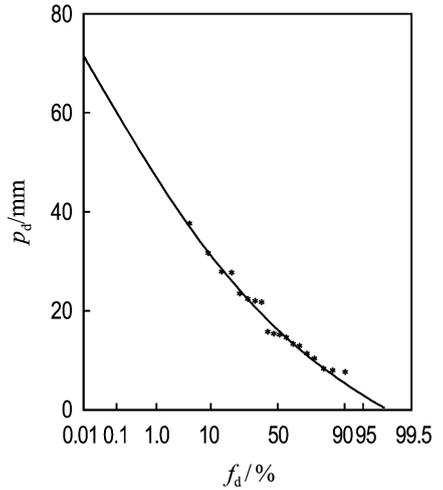


图3 $P_d(6, 10, 0.5; p_d)$ 的理论频率曲线

Fig. 3 Theoretical frequency curve of $P_d(6, 10, 0.5; p_d)$

3.3 场次洪水模拟调度与实际调度结果对比分析

面临时刻 t_0 ，根据 t_m, p_m 和 k_m ，利用 2.3 中步骤(3)~(6)，可求得较优的水库泄流量。下面首先举例说明利用步骤(3)求 t_d 的过程，然后给出两场洪水模拟调度与实际调度过程，最后进行结果对比分析。

设 t_0 : 2005-06-28T 14:00，根据 2005-06-28T 08:00 GFS 发布的降水图整理得到桓-回地区未来 7 d 时段降雨量，见表 1。由表 1 可知，中期预报未来 3.25 d 内总降雨量为 2.5 mm(表 1 中黑体部分之和)，根据 3.2 中求得的 t_m, p_m 和 k_m ，利用 1.1 中的折减实时预见期法，可求得 $t_d = 1.625 \text{ d}$ 。 $t_d = 1.625 \text{ d}$ 意味着在未来 1.625 d 内发生大于等于

5 a一遇洪水的概率,小于等于万月一遇.由于1.3中 P_d 按汛期月最大取样法取样,并且桓-回地区汛期长4个月,万月一遇代表着2500 a一遇.

表1 2005-06-28T08:00 GFS 预报桓-回地区未来7 d时段降雨量

Tab.1 Next 7 days precipitation of Huan-Hui region forecasted via GFS at 8:00 on June 28, 2005

t/d	时段降雨量/mm			
	8:00~14:00	14:00~20:00	20:00~2:00	2:00~8:00
1	0.5	0.5	0	0.5
2	0.5	0.5	0.5	0
3	0	0	0	0
4	0	0	15	10
5	5	2	2	0.5
6	2	2	2	2
7	5	5	5	5

表2 2001~2005年两场较大洪水的模拟调度和实际调度过程比较

Tab.2 Comparison of the simulated and the actual scheduling of two major floods in 2001-2005

面临时刻	桓仁水库					回龙水库		
	入库流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	实际库 水位/m	实际泄量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	模拟泄量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	模拟库 水位/m	桓-回区间来 水/($m^3 \cdot s^{-1}$)	实际入库流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)	模拟入库流量/ ($m^3 \cdot s^{-1}$)
...
2001-08-07T 14:00 ¹⁾	2 900	300.83	1 484	1 648	300.83	142
2001-08-07T 20:00 ¹⁾	2 482	301.13	1 722	1 767	301.10	131	1 615	1 779
2001-08-08T 02:00 ²⁾	2 039	301.29	2 087	1 621	301.25	233	1 955	2 000 ⁴⁾
2001-08-08T 08:00 ²⁾	1 691	301.28	2 071	1 522	301.34	215	2 302 ⁴⁾	1 836
2001-08-08T 14:00 ²⁾	1 155	301.20	1 771	459	301.38	197	2 268	1 719
2001-08-08T 20:00 ²⁾	1 049	301.07	1 238	459	301.52	183	1 954	642
2001-08-09T 02:00 ²⁾	929	301.03	976	457	301.65	20	1 258	479
2001-08-09T 08:00 ²⁾	889	301.02 ³⁾	558	456	301.74 ³⁾	20	996	477
...
2005-08-19T 02:00 ¹⁾	2 531	301.66	1 954	1 959	301.66	194
2005-08-19T 08:00 ¹⁾	2 232	301.78	1 653	1 779	301.77	181	2 135 ⁴⁾	2 140 ⁴⁾
2005-08-19T 14:00 ¹⁾	1 955	301.90	1 423	1 606	301.87	171	1 824	1 950
2005-08-19T 20:00 ²⁾	1 657	302.01	1 463	1 427	301.95	160	1 583	1 766
2005-08-20T 02:00 ²⁾	1 255	302.05	1 206	1 002	301.99	20	1 483	1 447
2005-08-20T 08:00 ²⁾	1 159	302.06	1 304	937	302.04	20	1 226	1 022
2005-08-20T 14:00 ²⁾	962	302.03	1 156	734	302.09	20	1 324	957
2005-08-20T 20:00 ²⁾	911	301.99	572	775	302.14	20	1 176	754
2005-08-21T 02:00 ²⁾	832	302.06 ³⁾	638	654	302.17 ³⁾	20	592	795
...

注:1)和2)分别代表桓仁水库入库洪水洪峰期和退水期,3)和4)分别代表场次洪水的桓仁末水位和回龙最大入库流量

4 结 论

天气预报使得实时有效预见期内原各级防洪标准洪水的量级降低,而水库防御较低量级洪水的起调水位一般可以高于防御较高量级洪水的起

利用2.3中步骤(3)~(6),对2001~2005年汛期进行模拟调度,表2列出了5a中两场较大洪水的实际调度和模拟调度过程.对比表2桓仁水库泄量列,模拟调度在洪峰期泄量相对较大,退水期泄量相对较小,这说明模拟调度方式对桓仁水库防洪是有利的;对比回龙入库流量列,第一场洪水模拟调度的最大入库流量相对较小,第二场洪水两种调度方式的最大入库流量相差不大,这说明模拟调度方式对回龙水库防洪也是有利的;对比桓仁水库水位列,两种调度方式调洪最高水位都没有超过303.0 m,未造成桓仁上游回水淹没损失,然而,模拟调度的末水位相对较高,两场洪水共可多蓄水约 $0.81 \times 10^8 m^3$,由于这两场洪水过后桓仁地区都基本无雨,多蓄的这部分水量是有效水量,是根据实时相对安全期法进行模拟调度产生的兴利效益.

调水位,这是汛限水位动态控制的基础,是动态控制风险源和风险效益源;实时有效预见期是动态控制的时间域,在实时有效预见期内能否和怎样动态控制取决于实时雨水工情;从概率角度确保原防洪标准不变的前提下追求额外效益最大,即

控制风险而追求风险效益最大,是动态控制的原则。基于此,本文提出了实时相对安全期法制定动态控制调度方案,并且建立了风险与风险效益评估指标体系。实例研究表明,针对我国东北桓仁-回龙库群汛期汛限水位动态控制,GFS中期数值降雨预报的最大可利用预见期为6d(和短期降雨预报相比,增加了预见期)、最大可利用预见量为10mm、实时预见期折减系数为0.5,相应的预报精度指标为(0.01%,91);动态控制调度方案控制风险指标小于等于(0.01%,91),在防洪安全的前提下,产生了较大的经济效益,和实际调度相比,两场洪水桓仁水库共可多蓄约 $0.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ 有效水量。

实时相对安全期法利用了目前先进的中期数值天气预报成果,使汛限水位动态控制从应用短期天气预报信息向应用中期天气预报信息开始转变。该方法在制定泄流方案的同时可以量化风险,参数可以随着中期预报精度和调度决策者承受风险能力而变化,可试用于汛期防洪或水电站库(群)实时控制中。

参考文献:

- [1] 王本德,周惠成,王国利. 水库汛限水位动态控制理论与方法及其应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006
- [2] 高波,王银堂,胡四一. 水库汛限水位调整与运用[J]. 水科学进展,2005,16(3):326-333
- [3] 孙颖,黄文杰. 漫坝风险分析在水库运行管理中的应用[J]. 水利学报,2005,36(10):1153-1157
- [4] 邱瑞田,王本德,周惠成. 水库汛期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
- [5] 王才君,郭生练,刘攀,等. 三峡水库动态汛限水位洪水调度风险指标及综合评价模型研究[J]. 水科学进展,2004,15(3):376-381
- [6] 黄荣辉,章国材,陆则慰. 21世纪初大气科学回顾与展望[M]. 北京:气象出版社,2000
- [7] 陈德辉,薛纪善. 数值天气预报业务模式现状与展望[J]. 气象学报,2004,62(5):623-633
- [8] 王水,魏奉思. 中国空间天气研究进展[J]. 地球物理学进展,2007,22(4):1025-1029

Dynamic control method of flood limited water level based on mid-term numerical precipitation forecast

LI Xu-guang, WANG Ben-de*, ZHOU Hui-cheng

(School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: With introducing three parameters of max available lead time, max available forecasting magnitude and reduction factor of real-time lead time for mid-term precipitation forecast, the mid-term numerical precipitation predication information is pretreated, and then for evaluating the mid-term forecast precision, the precision indicators are defined and the evaluating means is given. Around defining the real-time relatively-safe period of dynamic control, the real-time relatively-safe period method, with the above-mentioned three parameters, is proposed, on which the process of risk analysis is just the one of parametric optimization. Therefore, for optimizing the parameters, a model is constructed adopting a strategy of controlling risk within the decision-makers affordability followed by pursuing the biggest risk-benefit, with defining the indicators of dynamic control risk and risk-benefit and the indicators of capability of decision-makers enduring risk. Huanren-Huilong reservoir group in Hunjiang River upstream basin of Northeast China is employed to validate the method, and the results demonstrate that economic benefits are marked.

Key words: dynamic control of flood limited water level; mid-term numerical precipitation forecast; real-time relatively-safe period method; risk analysis