

汛限水位动态控制方案优选方法及指标体系研究

王本德^{*1}, 郑德凤^{1,2}, 周惠成¹, 马小兵¹

(1.大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024;
2.辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

摘要: 基于汛限水位实时动态控制的新理念,提出汛限水位实时动态控制方案的决策方法及其实施步骤.引入洪水与兴利连续长系列调节方法并采用PowerBuilder 8.0开发相应的系统软件计算水库的兴利效益,给出汛限水位动态控制风险率和风险损失的定义与计算方法.在此基础上,选取部分兴利效益指标和风险控制指标构建汛限水位实时动态控制决策方案优选的多指标评价体系.最后以大连市碧流河水库为例,采用多目标模糊模式识别理论模型对汛限水位动态控制方案进行优选计算,进而确定了水库实时调度过程中汛限水位动态控制的满意决策方案.

关键词: 汛限水位; 动态控制; 指标体系; 模糊模式识别; 兴利计算; 风险分析
中图分类号: TV 622 **文献标识码:** A

0 引言

目前,水库汛限水位的控制方法源于传统规划设计调度指导思想,没有充分利用现代科技手段,忽略水库面临时刻的水雨情信息和降雨、洪水预报信息,是不科学的,不利于洪水资源利用.而我国一些大型多年调节水库现已具备汛限水位实时动态控制的前提条件,这就为水库利用短期水文预报、气象预报信息,实施动态控制汛限水位,充分发挥防洪、兴利效益提供了条件.为此,有关专家和学者已提出实时控制汛限水位的新理念,就是从不可能或可能发生事件出发,综合利用现代科学技术提供的一切有用信息,对水库汛限水位实施动态控制,并采用弥补措施预防小概率预报的误差与稀遇洪水事件发生,安全、经济地确定一个允许动态控制汛限水位的范围,并在此范围内实施汛限水位的动态控制^[1].

研究水库汛限水位动态控制域值,目的是为实时调度中动态控制汛限水位制定一个约束,但水库汛限水位动态控制范围并不能替代实时调度阶段的动态控制汛限水位决策值.因此有必要研究汛限水位实时动态控制方案的决策方法,即在

设计的汛限水位允许控制的上下限域值内,根据水库流域的天气预报信息(包括短期和趋势预报)、降雨径流预报信息、面临时刻水情、工情和灾情信息,在满足水库蓄水、水库泄水能力和防洪兴利要求的前提下,确定预见期内动态控制汛限水位的方法.该方法的实施主要分三步,首先是确定面临阶段水库实时调度汛限水位动态控制方案生成的约束域;然后在其约束域内自动生成或人机交互生成若干个可行的汛限水位动态控制方案;最后根据决策者经验知识和风险偏好从中优选出一满意决策方案即为水库在预见期内动态控制汛限水位的决策值.

不同的汛限水位动态控制方案对应着不同的兴利效益和风险损失,可利用多目标决策理论与方法对其进行评价并优选出理想的满意决策方案.本文主要研究汛限水位动态控制方案的优选方法及评价指标体系.

1 兴利效益分析与计算

1.1 洪水与兴利连续长系列调节计算方法

常规的兴利调节计算是根据水库的兴利调度原则,用较长调节时段(月或旬)的平均径流资料

收稿日期: 2005-04-22 修回日期: 2006-11-22.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50479056);水利部重大科技资助项目(水规划[2002]341号);辽宁省教育厅高等学校科学技术研究资助项目(05L219).
作者简介: 王本德^{*}(1938-),男,教授,博士生导师;周惠成(1958-),男,教授,博士生导师.
©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

来计算水库兴利效益的各项指标. 参数^[2]. 在调节过程中不输入洪水过程信息, 即不考虑防洪调度方式及其规则, 假定调节时段内超过汛限水位的水量完全可以弃掉. 这与实际水库调度过程不符, 并造成计算的兴利效益与实际效益偏离过大, 降低兴利调度规划中参数的合理程度.

为此本文提出运用洪水与兴利连续长系列调节计算方法, 在年径流过程中加入洪水过程, 把年径流过程与洪水过程有机地衔接起来, 在兴利调节过程中考虑水库泄流能力约束. 上下游的防洪要求. 水库本身的安全要求, 洪水过程采用防洪调度原则进行调节, 非洪水过程仍按兴利调度原则调节, 通过演算求出水库的供水过程. 供水保证率、弃水量、破坏深度等兴利指标值. 这种方法物理意义清晰, 容易理解, 是一种顺算为主的过程. 但此方法对资料的准确性、完整性要求高, 计算工作量非常大. 针对大连市碧流河水库工程运行的实际情况, 利用 PowerBuilder 高级编程技术, 本文开发了水库洪水与兴利连续长系列调节计算的系统软件. 在该软件的输入窗口中首先输入汛限水位动态控制方案, 方案的选取控制在水库实时调度汛限水位动态控制方案生成的约束域内. 并给定输入参数集中的所有参数, 如调节计算的起迄时间、起调水位、计划日供水量、农灌系数、工农业破坏深度等, 利用洪水与兴利连续调节计算原理即可求出水库的各项兴利效益指标, 如多年平均供水量、多年平均农灌用水量、多年平均发电量、年保证率等, 输出成果集中还包括弃水量、不足水量、时段末水位等各项指标.

1.2 水库兴利效益指标的选取与计算

在充分分析输出成果集中各项指标后, 选取洪水资源利用率、年平均发电量和供水保证率的可靠度三项指标作为水库汛限水位动态控制方案优选指标体系中的兴利效益指标.

1.2.1 洪水资源利用率的计算 在已知约束集和输入参数集条件下, 输出的洪水资源利用量与总来水量的比值即为洪水资源利用率.

1.2.2 年平均发电量的计算 水库的年平均发电量可利用调节计算过程中各时段的水位和泄流量来求得, 计算公式为

$$\bar{E} = \sum_{i=1}^m N_i t_i / n \tag{1}$$

式中: $\bar{E}$ 为水库的年平均发电量 ($\text{kW} \cdot \text{h}$); m 为计算时段总数; N_i 为每一计算时段水库水电站的平

均出力 (kW), $N_i = 9.81 Z Q H_i$, Q 为通过水轮机的流量 (m^3/s), H_i 为每一计算时段水库水电站的平均净水头 (m), Z 为水电站效率系数, 通常取 0.75; t_i 为计算时段长 (h); n 为调节计算总年数.

1.2.3 供水保证率的可靠度计算 以往的兴利调节计算以保证率作为长系列调节的一项兴利效益评价指标, 但保证率的计算与所选取的长系列年份有直接关系, 只能代表所选系列中发生破坏的年数, 却无法体现具体的破坏程度. 为此本文提出“供水保证率的可靠度”概念并将其作为兴利效益评价指标. 对于以供水为主的水库, 前一年末的库存水量是下一个供水年能否按照设计保证率正常供水的关键因素之一. 实际上所选长系列调节周期末库水位就是下一个历史重演系列调节周期的起调水位, 因此它是一个衡量“保证率”指标的可靠性指标, 即同样的保证率, 同样的计划供水量, 本调节周期末库水位低的方案, 下一个重演周期发生供水破坏的可能性增大, 其“保证率”的可靠度低.

对于多年调节水库, 若在长系列调节计算周期末库水位对应的有效水量下, 遭遇设计枯水年, 且其年末的余水量等于下一个调节年度汛前半年的正常供水量, 则称此“调节期末水位”为最可靠水位, 即是设计供水保证率可靠度为 100% 的水位. 这个假定是期望面临时刻的库存水量在遭遇设计枯水年后, 仍能为下一年的汛前预留半年的正常供水量, 尽量使得设计枯水年后的一年破坏可能性降低. 因此可将“预留半年的正常供水量”作为一个阈值, 采用式 (2)、(3) 计算保证率的可靠度:

$$K = \begin{cases} \frac{n-a}{n-a} \times 100\%; & W_n \geq 0.5G_{N+1} \\ \left[\frac{n-a-2}{n-a} + \frac{2}{n-a} \times \frac{W_n}{0.5G_{N+1}} \right] \times 100\%; & 0 < W_n < 0.5G_{N+1} \\ \frac{n-a-2}{n-a} \times 100\%; & W_n \leq 0 \end{cases} \tag{2}$$
$$W_n = V_n + L_N - G_N \tag{3}$$

式中: K 为供水保证率的可靠度; n 为调节系列总年数; a 为调节系列中发生破坏的年数; W_n 是在给定调节期末库存水量下遭遇设计枯水年后的余水量 (m^3); V_n 为调节周期末库水位对应的库容与水库死库容的差值 (m^3); L_N 是设计枯水年总可利用水量 (即当年来水量减蒸发、渗漏等损失量) (m^3); G_N 是设计枯水年的总需供水量 (m^3);

G_{N+1} 为枯水年后下一个供水年份所需的供水量 (m^3)。

2 风险分析与计算

风险泛指在特定的时空环境条件下所发生的非期望事件及其发生的概率并由此产生的损失程度^[3]。它包含 3 个基本要素：不利事件、不利事件发生的概率和不利事件所导致的损失^[4]。风险分析就是在充分利用各种资料信息和技术手段，考虑系统未来运行中所有可能出现的事故，对风险的 3 个要素做出全面和定量的描述。对水库调度系统来说，不利事件是指水库发生超标准洪水，发生的可能性或概率用风险率表示，带来的损失用风险事件函数表示。风险是风险率与损失的函数，用 R 表示风险， P 表示风险率， C 表示风险损失，则风险的函数表达式为

$$R = f(P, C) \tag{4}$$

2.1 汛限水位动态控制风险率的定义与计算

本文从控制水库汛期限制水位的角度给出风险率的定义。风险率是指水库在调度运用中，针对某一特定的风险控制指标，即允许最高蓄水位 Z_{aj} ，在确保下游和大坝防洪安全的前提下，按规划设计的调洪方式及规则，自某一汛期限限制水位 Z_{lj} 起调不同频率 P_j 的洪水，频率为 P_k 的洪水调洪最高水位 $Z_m(Z_{lj}, P_k)$ 正好与特定的风险控制指标 Z_{aj} 相等，则频率 P_k 称为汛限水位 Z_{lj} 的运行风险率。其数学表达式为

$$P_i = P_k \{ Z_m(Z_{lj}, P_k) = Z_{aj} \} \tag{5}$$

上述定义中的允许最高蓄水位 Z_{aj} 可选择校核洪水位、混凝土坝顶、防浪墙顶或回水淹没允许高程等，对不同的风险控制指标计算的风险率亦不同。本文以校核洪水位作为风险控制指标来计算相应的风险率。汛限水位 Z_{lj} 为水库汛前最低消落水位至正常高水位之间的一个连续的域，即 $Z_1 \leq Z_{lj} \leq Z_n$ ， Z_1 为水库汛前最低消落水位 (m)， Z_n 为规划设计的正常高水位 (m)。

根据风险率的定义，可采用随机模拟蒙特卡罗法来计算，亦可采用常规的“频率分析法”分析计算动态控制水位的风险率^[5~7]。

2.2 动态控制汛限水位的风险损失计算

水库调度运行过程中汛限水位动态控制的风险损失是指水库发生超标准洪水，其调洪最高水位超过上游淹没退赔高程所导致的洪水灾害损失。其损失程度由洪灾致灾力强度、承灾体密度

以及承灾体脆弱性综合决定^[4]，关系表达式为

$$D = f(H, b, V) \tag{6}$$

式中： D 为洪水灾害损失程度； H 为致灾力指标，多采用淹没水深表示，水深是洪水量级大小和区域下垫面特征（主要是地形）的函数，即 $H = h(M, G)$ ，其中 M 为洪水量级， G 为地形状况； b 为承灾体指标，用单位面积上的承灾体密度表达； V 为脆弱性指标，为承灾体在一定致灾力条件下的受损程度。受损状况一般用损失率来表示，即损失值占承灾体总数的百分数；损失率是致灾强度和承灾体类别的函数，即 $V = v(H, S)$ ，其中 S 为承灾体的类别。对于一定类别的承灾体，一定致灾强度 H_i 对应一定的受损程度 V_i ，通过多种方法对受灾密度进行核算，总体的损失程度状况就可以估计出来。

对于具体水库来说，区域下垫面特征和承灾体类别都是已定的，承灾体的价值通过调查也可估算出来。不同的汛限水位方案在一指定频率洪水下承灾体所处位置可能遭受的致灾强度（如水深）不同，相应的承灾体在该致灾强度下可能的损失率不同，由此计算的该频率洪水可能带来的总损失值也就不同。

3 优选的多指标体系

为了从汛限水位动态控制方案中优选出一个经济合理的方案，必须首先确定方案优选的多指标评价体系。从水利及动能经济效益的角度来看，期望汛限水位抬高后其经济效益越大越好，风险越小越好。因此动态控制汛限水位的目标应包括效益型指标和风险型指标两大类。其指标评价体系如图 1 所示。

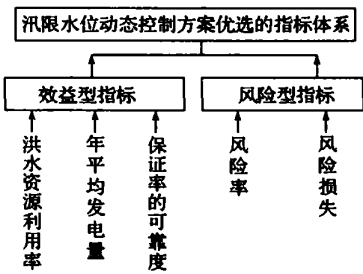


图 1 汛限水位动态控制方案优选的多指标评价体系

Fig. 1 Index system on optimizing dynamic limited water level scheme sets

4 优选的多目标模糊模式识别模型

设有对模糊概念 A 进行识别的 n 个样本组成的样本集合, 每个样本可用 m 个指标 (目标) 特征向量表示, 则样本集可用 $m \times n$ 阶指标特征值矩阵 $X = (x_{ij})$ 表示. x_{ij} 为样本 j 指标 i 的特征值; $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$. 由于 m 个指标特征值的物理量纲不同, 在进行识别时要先将指标特征值矩阵变换为对 A 的指标相对隶属度矩阵 $R = (r_{ij})$, r_{ij} 为样本 j 指标 i 的特征值规格化数或相对隶属度, $0 \leq r_{ij} \leq 1$. 设将 n 个样本依据 m 个指标特征值按 c 个级别 (或类别) 加以识别, 其模糊识别矩阵为 $U = (u_{hj})$, 满足约束条件 $0 \leq u_{hj} \leq 1$ 且 $\sum_{h=1}^c u_{hj} = 1$, u_{hj} 为样本 j 隶属于级别 h 的相对隶属度; $h = 1, 2, \dots, c$. 设级别 h 的 m 个指标特征值为标准指标特征值 y_{ih} , 将标准指标特征值矩阵变换为相应的标准指标相对隶属度矩阵 $S = (s_{ih})$, s_{ih} 为级别 h 指标 i 的标准指标特征值规格化数或相对隶属度, $0 \leq s_{ih} \leq 1$.

样本 j 的 m 个指标特征用相对隶属度向量表示为 $r_j = (r_{1j} \ r_{2j} \ \dots \ r_{mj})^T$; 级别 h 的 m 个标准指标特征用相对隶属度向量表示为 $s_h = (s_{1h} \ s_{2h} \ \dots \ s_{mh})^T$; 考虑不同指标对识别的影响不同, 引入指标权向量 $w = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_m)$, 满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1, 0 < w_i < 1$. 并将样本 j 隶属于级别 h 的相对隶属度 u_{hj} 定义为权重, 则样本 j 与级别 h 之间的差异可用加权广义欧氏距离表示:

$$D_{hj} = u_{hj} \cdot d_{hj} = u_{hj} \sum_{i=1}^m [w_i (r_{ij} - s_{ih})]^2 \quad (7)$$

为求解样本 j 级别 h 对 A 的最优相对隶属度, 建立目标函数

$$\min \left\{ F(u_{hj}) = \sum_{h=1}^c u_{hj}^2 \cdot d_{hj}^2 \right\} \quad (8)$$

根据目标函数式 (8) 约束式 $\sum_{h=1}^c u_{hj} = 1$, 构造拉格朗日函数, 解得模糊模式识别理论模型^[8]:

$$u_{hj} = \begin{cases} 0, & d_{kj} = 0, k \neq h \\ \left[\frac{\sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^m [w_i (r_{ij} - s_{ih})]^2}{\sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^m [w_i (r_{ij} - s_{ik})]^2} \right]^{-1}; & d_{hj} \neq 0 \\ 1; & d_{hj} = 0 \text{ 或 } r_{ij} = s_{ih} \end{cases} \quad (9)$$

应用模糊模式识别模型式 (9), 可计算样本 j 级别 h 对 A 的最优相对隶属度 u_{hj} . 若识别只在两个处于对立地位的类别或两级中进行, 即 $c = 2$,

设 $h = 1$ 表示优类, $h = 2$ 表示劣类, 且 $s_1 = (1 \ 1 \ \dots \ 1)$; $s_2 = (0 \ 0 \ \dots \ 0)$, 则模糊模式识别模型 (9) 就转化为模糊优选模型式 (10):

$$u_j = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m [w_i (1 - r_{ij})]^2}{\sum_{i=1}^m (w_i r_{ij})^2} \right]^{-1} \quad (10)$$

5 碧流河水库应用实例

碧流河水库是一座以城市供水、防洪为主, 兼有水力发电、农业灌溉、养鱼等综合利用的多年调节大型水利枢纽工程, 具备汛限水位实时动态控制的前提条件. 水库规划设计的防洪限制水位是汛期前期和主汛期为 68.1 m, 汛末期为 68.5 m, 兴利蓄水位为 69.0 m, 淹没退赔高程 70.0 m, 设计洪水位 71.0 m, 校核洪水位 72.6 m. 应用包线法确定的汛限水位极限允许动态控制范围是 68.1 ~ 69.0 m. 水库未来 24 h 汛限水位动态控制的实施方案为 (1) 在汛期涨洪阶段, 按照预报调度规则放流, 无需研究汛限水位动态控制问题. (2) 在洪水退水阶段, 如预报未来 24 h 有大雨以下量级 (降雨 ≤ 25 mm) 降雨, 则动态汛限水位全汛期按照 68.8 m 控制, 在汛限水位约束下, 按 3 种方案均匀泄流 (电站发电、城市供水、下游安全泄量), 但必须满足正常供水 (包括必需的河道生态用水, 以下同) 和下游防洪要求. (3) 在洪水退水阶段, 如预报未来 24 h 有大雨以上量级 (降雨 > 25 mm) 降雨, 则动态汛限水位主汛期按照 68.3 m, 后汛期按照 68.5 m 控制, 在汛限水位约束下, 按 3 种方案均匀泄流, 但必须满足正常供水和下游防洪要求.

假定水库在面临阶段正处于一次洪水的退水阶段, 且未来 24 h 降雨预报信息为大雨以下量级, 则水库在 24 h 预见期内汛限水位动态控制方案生成的约束域为 [68.1, 68.8], 在此约束范围内可自动生成或人机交互生成 9 个可行的汛限水位动态控制方案 (见表 1). 方案优选的指标体系如图 1 所示, 共有 5 项指标, 9 个方案.

首先利用碧流河水库洪水与兴利连续长系列调节计算软件计算水库的各项兴利效益指标, 输入参数集中的各项参数如下: 调节计算起止时间为 1951-01 ~ 2001-12; 起调水位选取多年平均值 64.0 m; 农业灌溉系数选取 0; 工农业破坏深度为 20%; 计划供水量为 $80 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; 约束集为调节计算的年保证率 98.1%, 即在给定的 51 a 长系列中, 约束城市供水不发生破坏. 在上述约束集及给定参数的条件下, 对应不同的汛限水位动态控制方案, 可分别求出优选评价所需的 3 项兴利指

标,结果见表 1.

表 1 碧流河水库汛限水位动态控制方案评价的指标特征值
Tab. 1 Index eigenvalues of scheme sets assessment of dynamic limited water level of Biliuhe Reservoir

方 案 号	主汛期 限制水 位 /m	汛末期 限制水 位 /m	效益型指标		风险型指标							
					风险率计算		风险损失计算					
			洪水资 源利用 率 %	年平均 发电量 10 ⁶ kW·h	保证率 的可靠 度 %	校核洪水 调洪最高 水位 /m	风险 率 %	淹没水 深 /m	农村家 庭房屋 损失 率 %	农村家 庭财产 损失 率 %	农作物 损失 率 %	综合 风险 损失 率 %
1	68.1	68.5	52.13	11.510 3	97.97	72.60	0.010	2.40	47.00	35.20	100	60.73
2	68.1	68.6	52.15	11.511 0	98.10	72.60	0.010	2.40	47.00	35.20	100	60.73
3	68.2	68.7	52.17	11.550 3	98.25	72.60	0.010	2.40	47.00	35.20	100	60.73
4	68.3	68.7	52.17	11.588 3	98.25	72.60	0.010	2.40	47.00	35.20	100	60.73
5	68.4	68.8	52.19	11.625 4	98.40	72.62	0.011	2.42	47.20	35.36	100	60.85
6	68.5	68.8	52.19	11.662 2	98.37	72.64	0.012	2.44	47.40	35.52	100	60.97
7	68.5	68.8	52.19	11.661 2	98.40	72.64	0.012	2.44	47.40	35.52	100	60.97
8	68.6	68.8	52.19	11.694 8	98.40	72.69	0.014	2.49	47.90	35.92	100	61.27
9	68.8	68.8	52.21	11.766 5	98.55	72.71	0.014	2.51	48.14	36.08	100	61.41

根据汛限水位动态控制风险率的定义与计算方法,采用常规的“频率分析法”计算动态控制水位的风险率,结果见表 1. 由于碧流河水库上游防洪目标是回水淹没区的居民房屋与农田,房屋淹没标准是库水位不超过 70.2 m,耕地淹没标准是库水位不超过 69.8 m,其风险损失主要计算农村洪灾财产损失,承灾体类别依次为农村家庭房屋、农村家庭财产和农作物. 对应不同的汛限水位动态控制方案,各承灾体的价值是固定的,所不同的是承灾体在遭遇某一超标准洪水后的淹没水深不同,相应的洪灾损失率也就不同. 为此可以洪灾损失率作为风险损失指标参与优选,各项财产的洪灾损失率采用辽河流域的洪灾损失调查分析结果(表 1),综合洪灾损失率可根据典型调查分析确定的各类财产洪灾损失率与各类财产所占比重,加以综合求得. 具体计算公式为

$$Z_i = \sum_{i=1}^n w_i Z_i \tag{11}$$

式中: Z_i 为综合洪灾损失率(%); n 为承灾体的类别总数; Z_i 为第 i 类承灾体的洪灾损失率(%); w_i 为第 i 类承灾体财产损失值占全部财产损失值的权重(%).

对效益型指标和风险型指标可分别应用式(12)、(13)将指标特征值规格化,进而得到指标相对隶属度矩阵 $R = (r_{ij})$.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - \min_j X_{ij}}{\max_j X_{ij} - \min_j X_{ij}} \tag{12}$$

$$r_{ij} = \frac{\max_j X_{ij} - X_{ij}}{\max_j X_{ij} - \min_j X_{ij}} \tag{13}$$

式中 $\max_j X_{ij}$ 、 $\min_j X_{ij}$ 分别为第 i 个指标的最大、最小特征值.

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 0.25 & 0.50 & 0.50 & 0.75 & 0.75 & 0.75 & 0.75 & 1 \\ 0 & 0.003 & 0.156 & 0.304 & 0.449 & 0.593 & 0.589 & 0.720 & 1 \\ 0 & 0.224 & 0.483 & 0.483 & 0.741 & 0.690 & 0.741 & 0.741 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0.75 & 0.50 & 0.50 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0.824 & 0.647 & 0.647 & 0.206 & 0 \end{pmatrix}$$

根据决策者的经验知识,风险偏好可确定指标权向量 w ,结合 R 中的有关数据代入模糊优选模型式(10),得到 9 个汛限水位动态控制方案的相对优属度. 再按隶属度越大方案越优的选优原则,将各方案的相对优属度 u_i 从大到小排列,可得其优劣排序(表 2). 决策者不同的风险偏好得到的权重不同,对应的方案优选排序亦不同. 在水库实时调度过程中,如果决策者对效益的偏好程度较高,则可以从 {9, 7, 6, 5} 选取一满意方案,其中最大相对优属度对应的汛限水位动态控制方案 $Z = \{Z_{m1}, Z_d\} = \{68.8, 68.8\}$ 为最优方案,其中 Z_{m1} 为主汛期限制水位, Z_d 为汛末期限限制水位. 如果决策者更看重水库的风险,则可以从 {4, 3, 2, 5} 选取满意方案, $Z = \{68.3, 68.7\}$ 为最优方案. 若同时考虑风险与效益,则可以从 {5, 4, 3} 选取满意方案, $Z = \{68.4, 68.8\}$ 为最优方案.

表 2 碧流河水库汛限水位动态控制方案的模糊优选结果

Tab. 2 The results of fuzzy optimization on dynamic limited water level scheme sets of Biliuhe Reservoir														
决策者的 风险偏好	权重					方案的相对优属度与优选排序								
	指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	指标 5	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	方案 8	方案 9
偏好效益	0.35	0.25	0.10	0.15	0.15	0.188 (9)	0.279 (8)	0.505 (7)	0.569 (6)	0.796 (4)	0.802 (3)	0.803 (2)	0.684 (5)	0.813 (1)
偏好风险	0.10	0.10	0.10	0.35	0.35	0.891 (5)	0.919 (3)	0.953 (2)	0.962 (1)	0.913 (4)	0.661 (7)	0.664 (6)	0.096 (9)	0.109 (8)
同时看重	0.20	0.20	0.10	0.25	0.25	0.581 (7)	0.652 (6)	0.771 (3)	0.815 (2)	0.843 (1)	0.713 (5)	0.715 (4)	0.322 (9)	0.419 (8)

6 结 语

水库汛限水位实时动态控制是提高洪水资源利用率的重要非工程措施之一。本文从汛限水位实时动态控制的新理念出发,提出水库洪水与兴利连续调节计算方法,并开发出相应的系统软件来计算水库的兴利效益,再对汛限水位动态控制方案进行风险分析与计算,建立汛限水位动态控制方案优选的多指标评价体系。并利用多目标模糊模式识别理论模型优选满意决策方案,为水库在实时调度过程中选定汛限水位动态控制决策值提供重要的参考和依据。

参考文献:

[1] 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
[2] 牛国强. 水库规划中防洪与兴利的综合研究 [J]. 水利水电技术, 1995(12): 40-43
[3] 韩宇平,阮本清,解建仓,等. 串联水库联合供水的风险分析 [J]. 水利学报, 2003(6): 14-21
[4] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
[5] 大连理工大学,国家防汛抗旱总指挥部办公室. 水库防洪预报调度方法及应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996
[6] 王本德,周惠成,程春田,等. 水库预蓄效益与风险控制模型 [J]. 水文, 2000, 20(1): 14-17
[7] 王本德,梁国华,程春田. 防洪实时风险调度模型及应用 [J]. 水文, 2000, 20(6): 4-8
[8] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002

Study of index system and fuzzy optimum model on schemes of dynamic flood control limited water level of a reservoir

WANG Ben-de^{* 1}, ZHENG De-feng^{1,2}, ZHOU Hui-cheng¹, MA Xiao-bing¹

(1.School of Civil and Hydraul. Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China;
2.School of Urban and Environ., Liaoning Norm. Univ., Dalian 116029, China)

Abstract Based on the new idea of the flood control limited water level controlled dynamically of a reservoir during flood season, the control techniques and steps are firstly proposed. Then the flood and water utilizing serial regulation method is employed and the computing procedure is programmed using PowerBuilder 8.0 to calculate reservoir's utilizable benefits. Moreover, the risk rate and risk loss are defined and the corresponding computing methods are given respectively. On the basis of the above-mentioned issues, the assessment index system on optimizing dynamic limited water level schemes is established, which considers both utilizable benefit indexes and risk control indexes. Lastly, the Biliuhe Reservoir is cited as an example, a fuzzy pattern recognition model for multi-objective system is adopted to optimize the limited water level schemes. The satisfying plan obtained will provide an important reference and basis for dynamically controlling limited water level during real-time operation of a reservoir.

Key words limited water level; dynamic control; index system; fuzzy pattern recognition; water utilizing benefit; risk analysis