

黄河下游水量调度风险分析

王道席¹, 朱元牲¹, 侯传河²

(1. 河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098 2. 黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘要: 从来水和用水不确定性角度分析黄河下游水量调度风险. 对来水采用典型解集方法生成来水系列, 对用水根据降雨概率分布生成用水系列, 利用随机模拟技术建立了水量调度风险分析模型, 给出风险的定量描述, 从而使水量调度决策更加符合实际.

关键词: 水量调度; 风险分析; 黄河下游

中图分类号: TV697.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2001)02-0071-04

1 问题的提出

黄河下游水资源供需矛盾突出, 河道断流趋势加重, 已严重制约当地社会经济的可持续发展, 引起社会各界的严重关注. 位于黄河中游的小浪底水库具有 51 亿 m^3 的调节库容, 为下游水量调节提供了必要的物质基础, 其首台机组已于 2000 年初并网发电. 因此, 进行黄河下游非汛期水量调度研究是目前亟待解决的任务.

黄河下游水量调度系统是一个复杂的“人—事—物”大系统, 包括三门峡和小浪底水库、下游河道、引黄灌区以及水量调度规则和人员素养等. 目前的中长期预报科学水平不高, 特别是径流过程上存在相当大的误差, 加上决策人员经验不足可能造成的调度失误, 以及各种突发因素如电力、通讯设备故障引发的事故, 使得水量调度存在多种风险.

水量调度风险对于选择合适的水量调度方案和调整作物种植结构, 减少缺水损失等决策都具有非常重要的价值. 如果发现某个特定时段的水量调度风险较大, 小浪底水库则应安排一定库容, 用来保证农作物关键时段的用水需求, 上游龙羊峡和刘家峡水库也应作好向下游补水的准备, 另外还应引导农民及时调整作物种植结构, 多种植耐旱作物, 以降低对灌溉用水的敏感性. 20 世纪 70 年代初, 国外开始将风险分析的概念和方法引入水资源管理, 国内在这方面的研究刚刚起步, 用于水量调度风险分析的理论方法国内外都还不成熟^[1]. 进行黄河下游水量调度风险分析研究, 不仅是生产上的迫切需要, 同时也可结合实际对理论有所完善.

2 风险分析模型

本次水量调度风险分析基于合理的水库调度和河段配水规则, 只考虑来水、用水随机性, 采用典型解集和统计试验等方法计算风险, 未考虑调度操作失误和设施故障的风险.

目前黄河中下游非汛期径流总量预报精度较高, 潼关站(三门峡入库站)平均误差为 4.8%, 由于受降雨等因素的影响, 月径流过程误差较大, 其中 10 月、5 月和 6 月误差大于 10%, 分别为 18%、13% 和 15%, 至于旬径流过程误差则更大, 最大误差高达 25%^①. 采用随机模拟技术, 生成非汛期来水总量系列, 对来水总量采用典型解集方法, 生成逐月来水及其预报系列. 由于受降雨随机性等因素的影响, 用水预报的误差很大, 无实用价值. 先根据不同降雨和地下水开采水平, 拟定 12 种用水过程, 再根据降雨概率分布, 采用随机生成降雨量及其相应的用水过程. 对每一组来水用水系列, 利用水量调度模型计算其缺水量, 对缺水量系列进行统计分析, 从而得到水量调度风险. 黄河下游水量调度风险分析计算流程如图 1 所示.

收稿日期 2000-02-25

基金项目 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G199904360802)

作者简介 王道席(1970—), 男, 江苏宿迁人, 博士研究生, 水文水资源专业.

①水利部黄河水利委员会水文局. 黄河中下游非汛期径流预报模型研究报告. 1999.

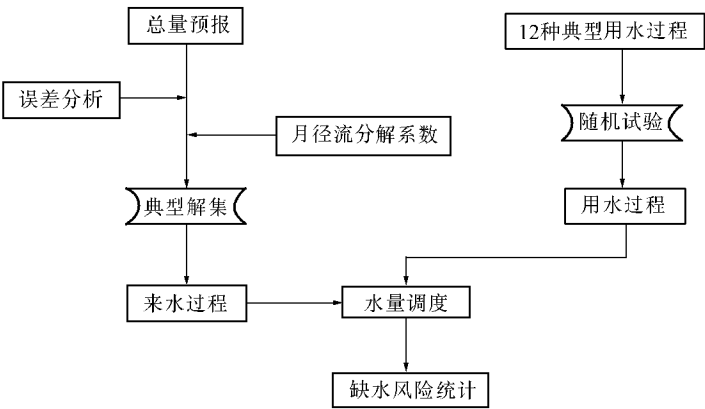


图 1 黄河下游水量调度风险分析计算流程

Fig.1 Calculation flow for risk analysis of water regulation on the lower reaches of the Yellow River

2.1 非汛期来水总量及其预报水量系列生成

设非汛期来水总量预报值为 W' , 假定预报误差 ϵ 为正态分布 $N(0, \sigma_\epsilon^2)$, 考虑预报误差的非汛期径流总量

$$W_t = W' + \theta_\epsilon \zeta_t \tag{1}$$

式中 ζ_t 为标准化正态随机数.

对用数学方法模拟的随机数, 采用函数变换法得到 ζ_t , 利用式(1)可以生成考虑预报误差的非汛期来水总量系列 W_t .

2.2 非汛期月径流及其预报径流量系列生成

本次采用典型解集模型^[2]生成月径流系列.

根据非汛期径流总量, 对月径流分解系数进行丰、平、枯分类. 根据非汛期径流总量 W_t 的大小, 确定其分组位置, 从相应的分组中随机抽取一组分解系数, 按选定的分解系数将模拟的非汛期年径流总量分解为相应的月径流过程, 即

$$W_{t,m} = K_{y,m} W_t \tag{2}$$

式中 $K_{y,m}$ 为随机选定的相应 W_t 的分解系数. 再考虑月径流量预报误差, 生成预报月径流量系列.

2.3 用水系列生成

下游用水和降雨密切相关, 而降雨属随机过程, 无法作出确定性的预估, 则先依不同降雨和地下水开采水平, 拟定 12 种用水过程^①, 再根据降雨概率分布随机生成月雨量及相应的逐月用水系列.

2.4 水量调度模型

黄河下游水量调度模型分为水库调度子模型和河段配水子模型, 其中水库调度子模型采用多目标优化简化方法——分层序列法, 河段配水子模型采用同倍比配水方法^②.

2.5 缺水风险统计

缺水量 X 是一个随机变量, 设它的分布密度函数为 $f(X)$, 则缺水量 X 大于某一 x^* 的概率 $P(X \geq x^*)$ 为

$$P(X \geq x^*) = \int_{x^*}^{+\infty} f(x) dx \tag{3}$$

水量调度风险是指出现一定缺水量的概率, 为对缺水风险作出全面描述, 将缺水量分级, 每级 0.1 亿 m^3 , 并以 $j = 1, 2, \dots$ 表示缺水量从低往高的级序. 缺水量下限为 0.0 亿 m^3 , 上限为 20 亿 m^3 . 记 200 级, 即 0.0 ~

①水利部黄河水利委员会勘测规划设计院. 黄河下游引黄灌区用水需求分析研究报告. 1999.

②水利部黄河水利委员会勘测规划设计院. 黄河三门峡以下非汛期水量调度模型研究. 1999.

0.1 0.1~0.2 ... ,19.9~20.0 20.0~+∞ ,并分别以 0.0 0.1 ... 20.0 代表各级缺水量.

设随机试验次数为 M ,统计缺水量 X 落在 i 级的次数 m_i ,则 m_i/M 是缺水量 X 落在 i 级的频率 ,计作

$$p(X=i)=m_i/M$$

(4)

在样本容量足够大、分级足够细的情况下 ,该频率可视为概率.

缺水量 X 大于 j 级风险 $p(j)$ 为

$$p(j)=\sum_{i\geq j}p(i)$$

(5)

3 水量调度决策风险分析

本次取不同预报径流量、水库初始水位和防凌流量为约束进行研究.每一级预报径流量、水库初始水位和防凌流量约束为一个决策方案.部分决策方案见表 1.

根据上面介绍的方法分析各决策方案的缺水风险.限于篇幅 ,这里仅列出方案 1 的计算结果(表 2).

表 1 部分决策方案

Table 1 Part of decision schemes

方案号	小浪底初始水位/m	预报径流量/亿 m ³	凌前最大流量/(m ³ ·s ⁻¹)	凌期最大流量/(m ³ ·s ⁻¹)
1	210	130	600	500
2	210	150	600	500
3	220	130	600	500
4	220	130	600	500
5	210	130	700	600
6	210	150	700	600
7	220	130	700	600
8	220	150	700	600

表 2 方案 1 风险分析

Table 2 Result of risk analysis for scheme 1

缺水量 /亿 m ³	缺水概率										
	非汛期	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月上旬
≥0	0.325	0.282	0.248	0	0	0.116	0.167	0.15	0.165	0.138	0.001
≥0.5	0.305	0.243	0.016	0	0	0.062	0.025	0	0.103	0	0
≥1	0.246	0.227	0.010	0	0	0	0.012	0	0.071	0	0
≥1.5	0.225	0.205	0.010	0	0	0	0.007	0	0.056	0	0
≥2	0.211	0.191	0.009	0	0	0	0.006	0	0.042	0	0
≥2.5	0.191	0.170	0.009	0	0	0	0.004	0	0.026	0	0
≥3	0.172	0.153	0.007	0	0	0	0.001	0	0.017	0	0
≥3.5	0.156	0.141	0.007	0	0	0	0.001	0	0.014	0	0
≥4	0.146	0.125	0.007	0	0	0	0.001	0	0.010	0	0
≥4.5	0.135	0.116	0.006	0	0	0	0	0	0.009	0	0
≥5	0.127	0.109	0.005	0	0	0	0	0	0.007	0	0

本次模拟系列长度达 10 000 ,以此进行水量调度风险分析 ,所求得的频率可视为概率.

从计算结果可以看出 ,非汛期径流总量在很大程度上影响水量调度风险 ,来水越大风险越小 ,来水越小风险越大.如方案 2 非汛期缺水风险比方案 1 小 20% ,方案 4 比方案 3 小 4.3% ,符合客观实际.

如果小浪底水库初期蓄水少 ,即初始水位较低 ,尽管非汛期径流总量大 ,但非汛期内个别月份的缺水风险相当高.如方案 2 ,10 月缺水风险为 6.8% ,11 月为 5.2% .主要是由于来水过程不均匀的影响 ,当提高小浪底水库初期水位时 ,风险将降低.如方案 4 ,水位提高 220 ,其它条件同方案 2 ,10 月缺水风险则降为 4.8% ,11 月降为 2.8% .因此 ,小浪底水库主汛期末适当多蓄水 ,可以降低 10 月和 11 月缺水风险.

从计算结果还能发现 ,水库缺水风险还受防凌最大流量约束的影响 ,适当提高防凌流量约束上限 ,可以降低风险.如方案 8 防凌流量比方案 4 提高 100 m³/s ,非汛期缺水风险则由 4.6% 降到 1% .在下游凌汛期引水增加的今天 ,放宽最大防凌流量的约束 ,无论对降低下游缺水风险 ,还是提高发电效益 ,都是非常有利的.

4 结 语

本次提出的黄河下游水量调度风险分析模型具有以下特点 (a)将风险分析的概念引进到水量调度中 ,使水量调度决策更加科学、合理 (b)概念明确 ,方法简单 ,分析计算简便 ,可操作性强 (c)所建模型具有很强的实用性 ,可推广到其它地区 .

所建模型还存在以下不足 (a)水量调度风险影响因素众多 ,本次仅从来水用水不确定性角度对其进行分析 ,所计算的风险应视为水资源短缺风险 ,由于调度人员失误等原因造成的风险没有研究 ,所以提供风险值是相对的指标 ,可供决策分析作为参考 (b)风险分析只是风险管理的一部分 ,如何根据风险分析结果采取适当措施以降低水量调度风险、减少损失有待进一步研究 .

致谢 : 特别感谢黄河水利委员会设计院王益能教授级高级工程师对本文提出的宝贵意见 .

参考文献 :

- [1] 朱元生 . 水利风险分析的进展、问题和展望——与 Klemes 先生商榷 [A] . 见 宋德敦主编 . 全国水文计算进展和展望学术讨论论文选集 [C] . 南京 : 河海大学出版社 , 1999 . 435 ~ 440 .
- [2] 丁晶 , 邓育仁 . 随机水文学 [M] . 成都 : 成都科学大学出版社 , 1988 . 244 ~ 249 .

Risk Analysis of Water Dispatching on the Lower Reaches of the Yellow River

WANG Dao-xi¹ , ZHU Yuan-sheng¹ , HOU Chuan-he²

(1 . College of Water Resources and Environment , Hohai Univ . , Nanjing 210098 , China ;

2 . Reconnaissance , Planning , Design and Research Institute of Yellow River Conservancy
Commision , Zhengzhou 450003 , China)

Abstract : From the angle of uncertainty of inflow and water consumption , the risk of water dispatching on the lower reaches of the Yellow River is analyzed . Inflow series are generated by use of the method of representative disaggregation . Water consumption series are generated according to rainfall probability distribution . A model for risk analysis of water dispatching is established with the technique of stochastic simulation , and a quantitative description of risk is presented , thus , making the water dispatching decision-making more scientific .

Key words : water dispatching ; risk analysis ; lower of Yellow River