

南水北调中线工程供水量风险分析

梁忠民

(河海大学水文水资源及环境学院,江苏 南京 210098)

摘要 对南水北调中线工程的供水量进行分析计算,提供各供水区供水量的概率分布函数及其参数,为今后进一步进行工程供水效益的风险分析提供了基础.同时,根据已有的研究成果,在适当考虑水源区水资源利用情况以及供水区当地各种水源合理调度等主要影响因素的基础上,采用多变量 AR(1)随机模型,对中线工程水源区的可调水量及各供水区的缺水量进行联合模拟研究,并由模拟的长序列进行供需意义上的供水量风险计算.结果表明,各供水区供水量的概率分布,可近似采用正态分布函数描述.计算资料条件下,中线工程供需意义上的供水量风险值约为 20%.

关键词 南水北调 中线工程 供水量 风险分析

中图分类号 P333 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2001)05-0049-05

南水北调中线工程由丹江口水库向华北平原调水,它是解决华北水资源短缺的重大工程措施之一.工程输水总干渠全长 1 241 km,跨越江、淮、黄、海四大流域,分属湖北、河南、河北、北京及天津三省二市.供水沿线内自然条件复杂,水资源的地理分布极不均衡,加之其他不确定因素的影响,使中线引水工程存在着多种风险.其中,供水量的概率分布及供需意义上的供水量风险的大小对合理地评价工程效益,正确地规划工程措施起着重要的作用.本文以《供水规划及调节计算》^①(以下简称《供水规划》)的成果为基础,计算了各供水区供水量的统计分布参数.

中线工程供水量风险的分析计算,首先应尽可能地考虑到水源区丹江口水库的防洪及其上下游的用水要求、供水区当地各水源的合理调度以及引汉水与供水区需水的有机结合等一些主要因素的影响,同时也应考虑到水源区与各供水区水资源时空分布的各种相关联系.本文根据《南水北调中线工程调度规划及干渠规模研究》^②(简称《调度规划》),计算各供水区的缺水量,并将其与丹江口水库的可调水量建立多变量的 AR(1)随机模型.由模型生成序列,再由模拟序列按时历法操作,计算供需水量意义上的供水量风险值.由于多变量的随机模型是将各变量间相同时段或不同时段上的相关信息以及由其他一切不确定因素所产生的随机性信息有机地结合到了一个模型中,因此,由模型模拟的长序列中必然反映了水源区的供水量和供水区的缺水量在时空分布上的各种组合情况.显然,各种组合情况就是对水源区与供水区各种水资源影响因素时空分布规律的一个综合的反映,所以由此模拟序列计算出的风险值更具合理性.

1 供水量风险计算

1.1 计算目标

为了计算引汉工程的供水效益风险,首先应对各供水部门(生活、工业、其他、农业和充库)的供水量分别进行计算,给出其概率分布及其参数.为了简便,本文仅计算上述各供水部门供水量总和的概率分布参数(各供水部门的概率分布函数或其参数可以近似通过其多年平均值占各部门总和多年平均值的比例转换得到).

1.2 基本资料

a. 根据‘供水规划’可得到各供水区各用水部门至总干分水口处的逐年供水量系列.其中,湖北、河南、

收稿日期 2000-07-26

作者简介 梁忠民(1962—),男,辽宁凤城人,副教授,博士,主要从事工程水文及随机水文研究.

①水利部长江水利委员会.供水规划及调节计算.南水北调中线工程可行性研究专题之四,1992.

②水利部南京水文水资源研究所.南水北调中线工程调度规划及干渠规模研究.1993.

河北为 1956 ~ 1985 年共 30 年,天津、北京为 1956 ~ 1984 年共 29 年.各供水区不同用水部门的区内平均水利利用系数见表 1.其中,原报告中无充库水的渠系利用系数,本次计算参照‘农业’和‘其他’两项确定(括号中数据).

表 1 供水区各供水部门平均渠系水利利用系数

Table 1 Averaged channel water-use coefficients of water supply departments in each region					
供水区	生活	工业	其他	农业	充库
湖北	0.95			0.70	(0.70)
河南	0.95	0.95	0.80	0.65	(0.725)
河北	0.96	0.96	0.90	0.69	(0.796)
天津	0.95	0.95	0.95		
北京	0.95	0.95	0.80		

b. 根据《经济分析与评价》^①,湖北、河南两供水区已建的灌区,自丹江口水库引水量的多年平均值分别为 7.0 亿 m³ 和 5.0 亿 m³.这部分引水量不应重复计算在南水北调工程的供水量内.经分析,该引水量是指两供水区在总干分水口处的引水量.

1.3 计算方法及结果

本文采用目估适线法进行频率计算.计算结果分两种情况:一是计算各供水区总干分水口处的毛供水量;另一种是计算考虑了渠系水利利用系数(表 1)后的净供水量.计算中湖北、河南两供水区已建灌区引水量的扣除方法是,假定每年扣除后的增供水量与总供水量的比率不变,这样增供水量的均值应等于总供水量的均值与已有引水工程的多年平均值之差,其 C_V, C_S 与总供水量的 C_V, C_S 相同.

适线计算结果表明,对毛供水量,湖北、天津、北京三个供水区的供水量符合正态分布($C_S = 0$),河南、河北略呈负偏, C_S 分别为 -0.50 和 -0.70.对净供水量,情况类似,结果见表 2(表中 $\bar{W}$ 代表多年平均供水量).实际应用时,可近似统一采用正态分布.

表 2 各供水区供水量概率分布参数

供水区	计算至总干分水口			计算至供水部门		
	$\bar{W}/\text{亿 m}^3$	C_V	C_S	$\bar{W}/\text{亿 m}^3$	C_V	C_S
湖北	4.0	0.30	0.0	3.5	0.31	0.0
河南	38.1	0.25	-0.5	32.0	0.24	-0.5
河北	36.2	0.27	-0.7	31.3	0.26	-0.7
天津	12.0	0.25	0.0	11.0	0.25	0.0
北京	11.9	0.19	0.0	11.2	0.19	0.0

2 供需意义上的供水量风险分析

2.1 基本资料

2.1.1 供水区缺水量系列

在 2000 年的规划用水水平下,采用《调度规划》中的模型,不考虑引汉水,仅对供水区各种水源资料序列(1956 ~ 1985 年共 30 年)进行时历法操作,可以分别得到河南、河北、天津及北京四个供水区各部门的净缺水量系列.考虑各供水区干渠及渠系水利利用系数后,分别得到各供水区折算到丹江口水库引水口处的缺水量系列,显然,这个缺水量需要由丹江口的可调水量满足.

《调度规划》中没有进行湖北省引丹灌区的调节计算,本文采用《供水规划》中湖北省有引汉水与无引汉水两种情况下的调蓄计算结果近似求出 2000 年规划水平下湖北引丹灌区的缺水量系列(折算到丹江口水库引水库口).

①水利部长江水利委员会.经济分析与评价.南水北调中线工程可行性研究专题之十,1992.

2.1.2 水源区丹江口水库的可调水量系列

本文采用《调度规划》中陶岔及清泉沟两个引水口引水量之和作为丹江口的可调水量. 这是一个适当考虑了水源区的可供水能力以及供水区的有效利用水量等因素后的可调水量值. 系列长度为 30 a(1956 ~ 1985 年).

2.2 模型结构及参数估计

2.2.1 模型结构

多变量 AR(1)随机模型可以写成

$$Z_t = AZ_{t-1} + B\varepsilon_t \tag{1}$$

式中: Z_t ——标准化变量向量, $Z_t = [Z_t^{(1)}, \cdots, Z_t^{(n)}]^T$, n 为变量个数; ε_t ——标准化的随机误差向量, $\varepsilon_t = [\varepsilon_t^{(1)}, \cdots, \varepsilon_t^{(n)}]^T$ 且满足 $E(\varepsilon_t \varepsilon_t^T) = I$ (单位矩阵), $E(\varepsilon_t \varepsilon_{t-1}^T) = \Phi$ (零矩阵), $E(\varepsilon_t Z_{t-1}^T) = \Phi$; A, B —— $n \times n$ 阶的系数矩阵. 其中 A 代表各变量滞时为 1 的相关性信息, 包括互相关 (由 $a_{ij} (i \neq j)$ 反映) 与自相关 (由 a_{ii} 反映); B 代表各变量滞时为 0 的互相关信息 (由 $b_{ij} (i \neq j)$ 反映) 以及其他影响因素构成的随机性信息 (由 b_{ii} 反映). 这些信息由式(1)有机地结合在一个模型中.

2.2.2 参数估计

用式(1)的模型进行实际的模拟计算时, 需要对 A, B 以及用于模拟的随机项 ε_t 的偏态系数矩阵 $C_{S_\varepsilon} = [C_{S_\varepsilon}^{(1)}, \cdots, C_{S_\varepsilon}^{(n)}]^T$ 做出估计. 本文采用矩法估计, 方法如下.

设 $M_k = E(Z_t Z_{t-k}^T)$ 代表滞时为 k 的相关矩阵, 则通过推导可得

$$A = M_1 M_0^{-1} \tag{2}$$

$$BB^T = M_0 - M_1 M_0^{-1} M_1^T \tag{3}$$

先由样本估计 M_0, M_1 , 则由式(2)可得到 A 的估计. 对于 B , 可假设其为下三角阵^[1,2], 再由式(3)通过递推关系求出其所有元素 $b_{ij} (i, j = 1, 2, \cdots, n)$. 对于 C_{S_ε} 可通过随机项变换法用下列公式求出.

$$C_{S_\varepsilon} = G^{-1}H \tag{4}$$

式中: G —— $n \times n$ 阶矩阵, 其元素满足 $g_{ij} = b_{ij}^3, i, j = 1, 2, \cdots, n$; H —— $n \times 1$ 阶矩阵, 其元素满足 $h_{ij} =$

$$E[(Z_t^{(i)})^3] - \sum_{j,k,l=1}^n a_{ij} a_{ik} a_{il} E[Z_{t-1}^{(j)} Z_{t-1}^{(k)} Z_{t-1}^{(l)}], i = 1, 2, \cdots, n, j = 1, a_{ij}, a_{ik}, a_{il} \text{ 为系数矩阵 } A \text{ 的元素.}$$

本文对丹江口的可供水量及湖北、河南、河北、天津的缺水量共 5 个随机变量 ($n = 5$) 建立了多变量的 AR(1)模型 (由资料分析, 北京的缺水量近似常数), 并按上述方法估得模型的三个参数为

$$A = \begin{bmatrix} 0.13 & -0.19 & 0.23 & -0.04 & 0.33 \\ 0.10 & 0.22 & 0.44 & -0.38 & 0.04 \\ -0.09 & 0.14 & 0.17 & -0.19 & -0.09 \\ 0.03 & 0.26 & 0.30 & -0.19 & 0.00 \\ 0.30 & -0.07 & 0.26 & 0.04 & 0.05 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.85 & & & & \\ -0.56 & 0.69 & & & \\ -0.20 & 0.25 & 0.89 & & \\ -0.19 & 0.18 & 0.54 & 0.74 & \\ 0.23 & 0.09 & 0.57 & 0.27 & 0.61 \end{bmatrix} \quad C_{S_\varepsilon} = \begin{bmatrix} -0.71 \\ 2.42 \\ -1.10 \\ -1.70 \\ -1.98 \end{bmatrix}$$

需要说明, 当系列较短时, 由矩法估计的参数误差一般较大, 需要对估计的精度进行论证以及对估计结果进行调整. 本文中, 计算的样本长度为 29 ~ 30 a, 属中等长度的水文样本容量, 故没有对矩法的估计结果做调整.

2.3 模型的检验及模拟计算结果

2.3.1 模型的检验

模型的检验一般可分为模型自身假设的检验及实用性检验两个方面. 本文仅进行了主要统计量的实用

性检验.实用性检验的目的是为了使模型在统计意义上保持住实测样本的统计特征.它可以被看成是由样本估计总体模型这一过程中各种处理方法合理性的一个综合性的检验.本文采用的是经验置信区间检验法,具体步骤参见文献[1].

本文对 5 个主要的统计量,均值 E_X ,变差系数 C_V ,偏态系数 C_S ,一阶自相关系数 r_1 ,赫斯特系数 h ,进行了检验.在显著性水平 $\alpha = 0.32$ 的情况下,模型都通过了检验.其中 K 取 500,结果见表 3.

在进行 ϵ_t 项的模拟时,若 $C_{S_\epsilon^{(i)}}(i = 1, 2, \cdots, n)$ 为零,则按 Box-Muller 变换生成标准正态的伪随机数,否则按舍选抽样法生成 P-Ⅲ 型伪随机数[2].

2.3.2 长系列模拟计算结果

采用与上述相同的模拟方法,生成 N 年长序列 $Z_t = [Z_t^{(1)}, \cdots, Z_t^{(n)}]^T, t = 1, 2, \cdots, N$ 统计 N 年中 $Z_t^{(1)} < Z_t^{(2)} + \cdots Z_t^{(n)} + 14.87$ 的个数 M .其中 $Z_t^{(1)}$ 代表丹江口第 t 年的可调水量, $Z_t^{(2)}, \cdots, Z_t^{(n)}$ 分别代表湖北、河南、河北、天津第 t 年的缺水量,14.87 为北京的缺水量(取成常数).则 $P = M/N$ 可作为供需关系上的供水量风险.本文取 $N = 10\,000$ 时计算得 $P \approx 20\%$.

表 3 多变量 AR(1)模型检验结果($\alpha = 0.32$)

Table 3 Multi-variable AR(1) stochastic model test results

统计量			E_X	C_V	C_S	r_1	h
丹江口	实测		154.47	0.26	-0.59	0.29	0.63
	模拟	下限	145.53	0.20	-0.82	0.03	0.61
		平均	155.28	0.25	-0.42	0.21	0.71
		上限	164.33	0.29	-0.00	0.38	0.79
湖 北	实测		4.92	0.45	1.15	0.24	0.78
	模拟	下限	4.28	0.37	0.19	-0.08	0.62
		平均	4.89	0.44	0.73	0.17	0.72
		上限	5.45	0.50	1.23	0.37	0.80
河 南	实测		43.08	0.27	-0.77	0.10	0.67
	模拟	下限	40.95	0.21	-0.96	-0.13	0.57
		平均	43.16	0.26	-0.50	0.07	0.66
		上限	45.41	0.30	-0.01	0.24	0.74
河 北	实测		38.40	0.28	-0.90	-0.10	0.67
	模拟	下限	36.94	0.22	-0.94	-0.29	0.53
		平均	38.60	0.27	-0.55	-0.12	0.61
		上限	40.24	0.32	-0.10	0.05	0.69
天 津	实测		14.51	0.29	-0.74	0.31	0.70
	模拟	下限	13.62	0.23	-0.92	0.06	0.63
		平均	14.64	0.28	-0.46	0.24	0.70
		上限	15.67	0.33	-0.04	0.40	0.78

注 由均值表示的水量单位为亿 m^3 ,实测及模拟值都统一用矩法计算.

3 主要结论

a. 供水量风险的计算是供水效益风险计算的依据,完整的风险计算首先应提供各风险因素的概率分布.本文提供的供水量的概率分布及其参数,可作为进一步进行供水效益风险分析计算的基础.

b. 多变量模型可以将各变量间的内在统计相关关系有机地结合到同一模型中,生成的长序列资料中必包含了各变量之间各种各样的时空组合.由此长序列计算的结果,一般要比仅由实测序列计算的结果更全面、更合理.

c. 本文采用的多变量 AR(1)模型可以考虑到空间各变量之间滞时为 0 和 1 的相关信息,由此计算的中线工程供需意义上的供水量的风险约为 1/5 如需考虑更长滞时的相关信息,可以采用高阶模型.

d. 由于计算过程中的若干简化处理与实际情况有一定差别,以及所采用资料的代表性受到一定限制,因此本文提供的有关结论具有局限性,仅供参考.

致谢 本文工作得到朱元牲教授、许大明副教授的指导,特此致谢.

参考文献：

[1] 丁晶,邓育人.随机水文学[M].成都.成都科技大学出版社,1988.297~304.
[2] 华东水利学院水文系.水文学的概率统计基础[M].北京.水利出版社,1981.367~370.

Risk Analysis on Water Supply Quantity for Middle-Line of South-North Water Transfer Project

LIANG Zhong-min

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

Abstract The quantity of water supply is calculated for the middle-line of the South-North Water Transfer Project and the parameters of its probability distribution function are presented. In consideration of the utilization of water resources at source sites and reasonable allocation of various water sources at supply sites, a multi-variable AR(1) stochastic model is applied to a long-term simulation of both water supply at source sites and water shortage at each supply site. Finally a water supply risk analysis from the angle of demand-supply is performed based on the simulation. It is shown that the probability distribution of water supply quantity of each site can be approximately described by a normal distribution function. The risk of water supply is about 20%.

Key words South-North Water Transfer Project ;middle-line project ;water supply quantity ;risk analysis



中国学术期刊(光盘版)入编期刊 书生之家中华期刊网入编期刊
万方数据——数字化期刊群入网期刊

《河海大学学报》(哲学社会科学版)征订启事

(季刊 16 开本 彩色封面 96 页 刊号 :ISSN 1008 - 3316 CN32 - 1521/C)

- 本刊以马列主义、毛泽东思想和邓小平理论为指导,坚持实事求是的思想路线,贯彻‘双百’方针,弘扬时代主旋律,理论联系实际,为社会主义物质文明与精神文明建设服务。
- 本刊为哲学与社会科学类学术期刊,主要刊登哲学、政治学、文学、史学、语言学、法学、社会学、心理学、经济学、管理学、高等教育学等社会科学方面的研究成果、学术论文、综述等学术性文章。本刊可供上述有关专业的研究人员、管理人员和大专院校师生阅读与参考。
- 本刊由河海大学主办,自办发行,每季末出版,公开发行。每期定价 5 元,另加邮费 1 元,全年订费 24 元。欢迎广大读者直接向编辑部订阅。联系地址 南京市西康路 1 号《河海大学学报》(哲学社会科学版)编辑部,邮政编码 210098。