

宏观经济水资源规划多目标决策 分析方法研究及应用*

翁文斌 蔡喜明 史慧斌

(清华大学水电系)

王 浩

(中国水利水电科学研究院)

米柯森(Ari M. Michelsen)

(怀俄明大学)

巴格(Jona Bargur)

(TAHAL 顾问工程师)

提 要

本文是将区域水资源规划纳入到宏观经济/环境系统中,应用多目标技术进行整体研究,使决策者可通过宏观经济水资源规划多目标决策分析模型的操作和运行,看到在不同策略下区域宏观经济、环境等目标与水资源规划关系的全貌。在该方法研究中,作者完成了这一方法的软件编制和开发工作,实现了决策分析过程的计算机化。

关键词 宏观经济,多目标分析,水资源规划。

一、宏观经济水资源规划的背景及意义

经济的发展,人们生活水平的提高,增加了水资源的消耗,并使水环境变坏,但是来源于经济增长的效益又可使供水增加,水环境得以恢复和改善,提高和满足人们对水的需求。问题在于如何有效地研究这种相互依存、相互制约的关系,使它变得可以控制。为此,需要从系统论的观点和方法,建立宏观经济水资源规划模型来定量地描述这种相互依存和相互制约的关系。例如,供水量与国民生产总值及经济结构的关系,水环境与工农业生产的关系,经济发展与社会福利及水投资的关系等等,使宏观经济/环境系统的规划与水资源的规划形成有机的整体,将水资源规划问题纳入有关的经济/环境系统中进行整体研究。研究的重点仍是以合理分配或重新分配有限的水资源,以满足规划地区的经济、社会和环境生态的需求。研究还必须包括考虑文化背景,政府政策,以及对变化的反应和在地理与时间上谋求供需平衡等主要问题。

我国政府与联合国开发署(UNDP)合作的“华北水资源管理”研究项目(CPR/88/068),经过三年的努力,已经完成。提出了一套以多目标技术为核心,决策支持系统为工具的水资源综合规划和分析的新方法、新思路,以适应宏观经济水资源

* 本文于1993年11月29日收到。

综合规划的要求。该项研究成果已为国家科委和联合国 UNDP 所肯定，将在我国和发展中国家逐步推广使用，并在推广使用中继续深化和完善。

二、宏观经济水资源规划多目标决策分析模型的建立

(一) 宏观经济水资源规划多目标决策分析模型的结构体系 做为“华北宏观经济水资源规划决策支持系统”的核心模型，多目标决策分析模型的设计充分体现了综合集成的思想。模型在经济、环境、社会福利等四个目标的主导下，以子模块形式集中描述了经济、环境与水的关系；国民经济结构内在的生产、积累、消费、进口与出口的关系；经济发展，污水排放与污水处理的关系；经济发展、社会福利、人口增长与水的关系；经济发展、水投资与供水工程建设的关系；……。上述因素的相互促进和制约的关系发展，为决策者提供了一个协调宏观经济、环境、社会福利与水资源合理配置的宏观调控策略制订的试验工具。使决策者可通过宏观经济水规划多目标决策分析模型的操作、运行结果看到问题的全貌。图 1 为多目标分析模型的结构体系与组成。

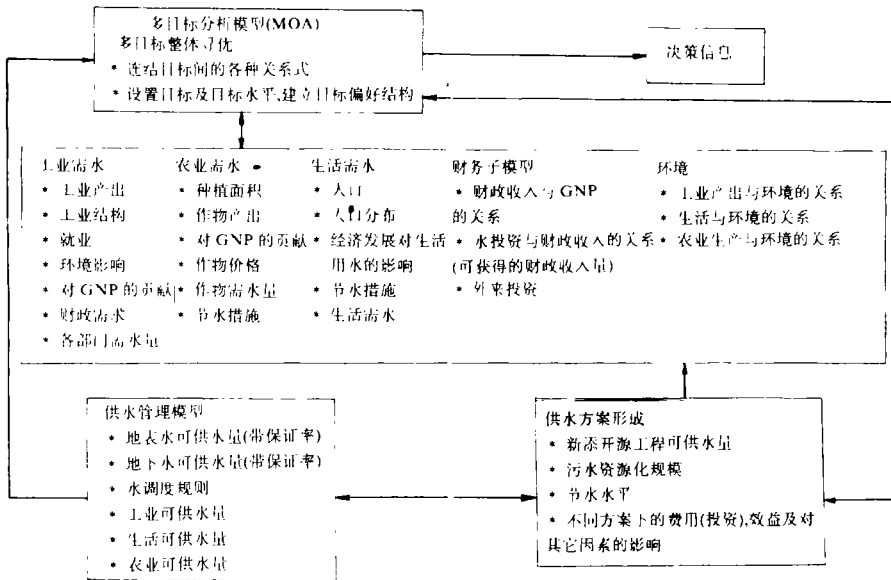


图 1 模型结构与组成

(二) 华北宏观经济水资源规划多目标分析模型

1. 模型的目标方程 多目标分析的首要问题就是确定所研究问题的目的和反映目的的适当的目标。区域水资源开发利用和管理的总目的就是为了满足规划区域国民经济发展、环境质量改善和人民生活水平的提高。目的所要求的结果可以用多种目标来描述。但是，由于区域水资源系统往往是一个多目标、多效益、多矛盾的系统。考虑到不使模型规模过份庞大，目标个数的选择不可过多，一般以 3、4 个为宜。在华北宏观经济水资源规划多目标分析模型中，仅选择了国民生产总值(GDP)，生物需氧量(BOD)，粮食总产量，城镇就业率 4 个目标为系统总目的的 4 个目标追求值。其目标方程如下：

(1) 经济目标：各规划水平年各地区的国内生产总值之和(GDP)最大，即

$$\text{Max}(TGDP) = \sum_{i=1}^{13} \sum_{t=1}^4 \alpha(i, t)GDP(i, t),$$

式中: i ——子区数, $i=1, \dots, 13$ 子区分别为北京、天津、河北 9 个市区, 鲁北, 豫北。
 t ——规划水平年, $t=1, \dots, 4$, 分别代表水平年 1990, 2000, 2010, 2020 年。 $\alpha(i, t)$ ——各规划水平年各地区的附加值率, 基准年为 1990 年。 $GDP(i, t)$ ——各规划水平年地区的 GDP 值。

(2) 环境目标: 各水平年、各地区城镇 BOD 排放量最小, 即

$$\text{Min}(TBOD) = \sum_{i=1}^{13} \sum_{t=1}^4 BOD(i, t),$$

式中, $BOD(i, t)$ ——各水平年, 各地区的 BOD 排放总量。

(3) 社会目标一: 各水平年, 各地区城镇就业率之和最大, 即

$$\text{Max}(TEMP) = \sum_{i=1}^{13} \sum_{t=1}^4 EMP(i, t),$$

式中: $EMP(i, t)$ ——各水平年各地区的城市就业率。

(4) 社会目标二: 各水平年各地区粮食产量与其目标水平的偏差之和最小, 即

$$\text{Min}(TFOOD) = \sum_{i=1}^{13} \sum_{t=1}^4 [TFOOD(i, t) - FOOD(i, t)],$$

式中: $TFOOD(i, t)$ ——各水平年各地区的粮食目标。 $FOOD(i, t)$ ——各水平年各地区的实际粮食产量。

2. 模型的主要约束方程

(1) 经济部门约束

① 国民经济结构约束

$$(I - A)X(i, t, s) = BHO(i, t, s)XHO(i, t) + BSO(i, t, s)XSO(i, t) + BFI(i, t, s) \cdot XIN(i, t) + BST(i, t, s)XST(i, t) + XEP(i, t, s) - XIM(i, t, s),$$

式中: I ——单位矩阵; A ——投入产出系数矩阵; s ——为农业、采矿、轻工、重工、电力、建筑、交通、服务业等部门, $s=1, \dots, 8$; $XHO(\cdot)$, $XSO(\cdot)$, $XIN(\cdot)$, $XST(\cdot)$ 分别为居民消费、社会消费、固定资产积累、流动资金积累, 它们与各水平年各地区国内生产总值 $XGDP(i, t)$ 的关系方程从略。 BHO 、 BSO 、 BFI 、 BST 为相应变量的分配系数。 $XEP(\cdot)$, $XIM(\cdot)$ 为各水平各地区各部门的进出口变量。 $X(\cdot)$ 为各水平年各地区各部门的产值变量, 它们与国内生产总值的 GDP 关系为:

$$GDP(i, t) = \sum_{s=1}^8 IOC(i, t, s)X(i, t, s),$$

式中: $IOC(\cdot)$ ——各部门的附加值率。

② 各行业固定资产积累与投资关系为

$$KK(i, t) + IW(i, t) = K1(t)KK(i, t-1) + K2(t)GDP(i, t) + K3(t)GDP(i, t-1),$$

式中: KK ——各水平年各地区总资产存量; $K1$ ——前一时段总资产存量在本时段剩余系数; $K2$ ——本时段 GDP 对固定资产存量的贡献; $K3$ ——前一时段 GDP 对本时段固定资产存量的贡献; IW ——各地区分担的水投资(工程、节水、污水处理)。

(2) 城市就业约束

① 劳动力方程

$$LAB(i, t) = PU(i, t)KPU(i, t) + PV(i, t)KPV(i, t),$$

式中： $PU(\cdot)$ ——城镇人口总数； $KPU(\cdot)$ ——城镇人口中劳动力比率； $PV(\cdot)$ ——农村人口总数； $KPV(\cdot)$ 农村向城市的允许迁移劳动力系数。

②城市就业能力方程

$$NEE(i, t) = \sum_{s=1}^8 NEM(i, t, s)X(i, t, s),$$

$$EMP(i, t) = \frac{NEE(i, t)}{LAB(i, t)}.$$

式中： $NEM(i, t, s)$ ——各部门单位产值的就业人数。

3. 环境质量约束

(1)BOD 排放量方程

$$BOD(i, t) = \left[\sum_{s=2}^8 B(i, t, s)X(i, t, s) + UP(i, t)PU(i, t) \right] KSE(i, t)BSE(i, t)$$

$$+ \left[\sum_{s=2}^8 B(i, t, s)X(i, t, s) + UP(i, t)PU(i, t) \right] [1 - KSE(i, t)].$$

式中 B ——单位产值的 BOD 排放量； UP ——城市人均生活 BOD 排放量； $KSE(\cdot)$ ——各水平年各城市污水处理百分率； $BSE(\cdot)$ ——城市污水处理后 BOD 的剩余量。

(2) 污水排放量方程

$$DB \cdot M(i, t) \leq \sum_{s=2}^8 WX(i, t, s)X(i, t, s) + WPU(i, t)PU(i, t),$$

$$DB \cdot M(i, t) \geq KSE(i, t) \left[\sum_{s=2}^8 WX(i, t, s)X(i, t, s) + WPU(i, t)PU(i, t) \right].$$

式中： $WX(\cdot)$ ——单位产值污水排放量； $WPU(\cdot)$ ——城市人均生活污水排放量； $M(\cdot)$ ——标准污水处理厂个数； DB ——每个标准污水处理厂污水处理能力。

4. 农业生产约束

(1) 粮食生产目标方程

$$TFOOD(i, t) = KFO(i, t)PLO(i, t),$$

式中 $KFO(\cdot)$ ——人均消耗粮食水平； $PLO(\cdot)$ ——各地区人口总量。

(2) 粮食产量方程

$$FOOD(i, t) = YD1(i, t)AR1(i, t) + \sum_{L=1}^4 YD2(i, t, L)AR2(i, t, L).$$

式中 $YD1(\cdot)$ ——旱地粮食作物单位产量； $AR1(\cdot)$ ——旱地粮食作物播种面积； $YD2(\cdot)$ ——灌溉地各种粮食作物单位面积产量。 $AR2(\cdot)$ ——灌溉地各种粮食作物播种面积； L ——粮食作物种植种类， $L=1, 2, 3, 4$ ，分别为水稻、春玉米、小麦、秋玉米。

(3) 农业产值方程

$$X(i, t, 1) = PR1(i, t)AR1(i, t) + \sum_{L=1}^6 PR2(i, t, L)AR2(i, t, L) + LMF(i, t).$$

式中 $PR1(\cdot)$ ——旱地面积单位产值； $PR2(\cdot)$ ——灌溉地各种作物单位面积产值； $LMF(\cdot)$ ——林牧副渔总产值，各产值方程从略； L ——灌溉地播种作物种类； $L=1-4$ 为粮食作物， $L=5, 6$ 为蔬菜、经济作物。

5. 水投资方程

(1) 水工程投资方程

$$BUD(i, t) = \sum_{p=1}^{11} CST(i, P)[A(t, p) - A(t-1, p)].$$

式中 $CST(\cdot)$ ——各个候选工程对每个地区投资分摊； $A(\cdot)$ ——0-1 变量，代表工程投入使用方案； P ——候选工程数目，包括南水北调中线，东线等 11 个候选水源开发项目。

(2) 污水处理投资分摊方程

$$BUD2(i, t) = MCS(i, t)[M(i, t) - M(i, t-1)],$$

式中 $MCS(\cdot)$ ——标准污水处理厂的投资额。

(3) 节水投资分摊

$$BUD3(i, t) = SCS(i, t) \left[\sum_{s=1}^8 X(i, t, s)(WX(i, t-1, s)ALP(i, t, s) - WX(i, t, s)) \right].$$

式中 $SCS(\cdot)$ ——节单方水投资； $ALP(\cdot)$ ——考虑技术进步因素后的折算系数。

所以， $IW(i, t) = BUD1(i, t) + BUD2(i, t) + BUD3(i, t)$ 。

6. 水供需平衡方程

(1) 城市水供需平衡方程

$$\begin{aligned} & \sum_{s=2}^8 WX(i, t, s)X(i, t, s) + WP(i, t)PU(i, t) + WEA(i, t, 5)AR2(i, t, 5) \\ & = \sum_{p=1}^{11} WAT(i, p)A(t, p) + WU(i, t) + GU(i, t) + TRU(i, t) - SUP(i, t). \end{aligned}$$

式中 $WP(\cdot)$ ——城市人均年供水量； $WEA(\cdot)$ ——蔬菜每亩灌溉定额； $WAT(\cdot)$ ——各候选工程供给各城市水量； $WU(\cdot)$ ——已有地表水源供给城市部分，保证率 $P > 95\%$ ； $GU(\cdot)$ ——城市地下水供水量， $P > 95\%$ ； $TRU(\cdot)$ ——污水处理后回用城市的水量； $SUP(\cdot)$ ——城市供水剩余量。

(2) 农村水供需平衡方程

$$\begin{aligned} & \sum_{L=1}^4 WEA(i, t, L)AR2(i, t, L) + WEA(i, t, 6)AR2(i, t, 6) + WV(i, t)PV(i, t) \\ & + WL(i, t)LMF(i, t) \leq WV(i, t) + GV(i, t) + TRV(i, t) - SUP(i, t). \end{aligned}$$

式中 $WL(\cdot)$ ——林牧副渔业单产耗水量； $WV(\cdot)$ ——已有地表水源供给农村部分， $P > 50\%$ ； $GV(\cdot)$ ——农村地下水供水量， $P > 50\%$ ； $TRV(\cdot)$ ——污水处理后回用农村的水量。

7. 其他约束条件

(1) 上下限约束：包括有关决策变量和结构变量的上下限约束。

(2) 候选工程关系约束：包括候选项目的捆绑关系，互存关系以及前后关系等约束。

华北宏观经济水资源规划多目标分析模型共有决策变量 80 多类，共计 4000 个变量，约 5000 个约束方程，是一个较大规模的多目标 0-1 混合规划模型。

三、交互的多目标群决策分析过程

(一)交互的切比雪夫(Tchebycheff)解法 求解多目标数学规划模型的切比雪夫方法首先是由美国乔治亚大学 Steuer 教授提出的。它是一种通过与决策者的交互而逐步缩小

决策空间, 最终达到满意解的方法. 该法的优点是引进增广的切比雪夫范数和随机抽样理论, 对非劣解空间进行搜索, 然后向决策者提供在非劣解集中差异性最大的若干方案, 这些方案代表各种截然不同的规划方向, 由决策者挑选. 与理想点法和目标规划法相比, 它不会丢失决策者没有意识到的潜在最优解.

由于该法引入了增广的切比雪夫范数, 因此应将一般形式的多目标规划模型

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & g = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}^T, \\ \text{S.t} \quad & \bar{X} \in S, \\ & X \geq 0 \end{aligned}$$

改造为切比雪夫形式, 即

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \{\alpha + \rho \sum_{j=1}^k (Z_j^{**} - Z_j)\}, \\ \text{S.t} \quad & -Z_j + f_j(x) = 0 \quad 1 < j < k, \\ & X \in S, \\ & \alpha - \lambda_j (Z_j^{**} - Z_j) \geq 0, \\ & \bar{X} \geq 0, \quad \alpha > 0 \\ & Z_j \text{ 无约束变量, } j = 1, 2, 3, \dots, k. \end{aligned}$$

式中 $f_j(x)$ ——目标函数式, $j = 1, \dots, k$; $X = (x_1, \dots, x_n)^T$ 为决策变量; $Z = (Z_1, \dots, Z_k)^T$ 为 k 个目标函数; $Z^{**} = (Z_1^{**}, \dots, Z_k^{**})^T$ 为“更好理想点值”, $Z_j^{**} = Z_j^* + \varepsilon_j$; $Z^* = (Z_1^*, \dots, Z_k^*)^T$ 为“理想点值”; $\varepsilon = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_k)^T$ 为某一较小的正数, $\varepsilon_j \geq 0$; $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_k)^T$ 为目标权重, $\sum_{j=1}^k \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0$. 引入 $\varepsilon_j \geq 0$ 极小量的作用是在目标属性空间中将理想点 Z_j^* 移动一个很小的 $\{\varepsilon_j\}$ 距离, 可以得到一个“更好的理想点” Z_j^{**} , 这样在应用切比雪夫方法时不易丢失满意解.

在目标函数式中, 包括二个部分: α 是“极小最大”变量, 其意义是 Z_j^{**} 与 Z_j 差值加权后所有数中的最大者, 因而模型是按 $\lambda_j (Z_j^{**} - Z_j)$ 最小的基本思路来构造的; 在

表达式中增加另一项 $\rho \sum_{j=1}^k (Z_j^{**} - Z_j)$ 的原因是保证得到协调解. 防止模型可行域的局部病态给求解带来的不确定性影响. ρ 是一个很小的值, 一般可取 0.001—0.01 较为合适. 在用切比雪夫法求解上述模型时, 应首先求出模型各目标的最优解和最劣解. 以便找出各目标的理想点 Z_j^* , 并进行模型目标范围的归一化处理, 防止各目标间的数值量级差别过大, 致使在应用切比雪夫方法求解时, 很难正确反映决策者偏好对目标值的影响, 使个别目标失去原有的作用和意义, 发生目标“沉没”现象.

(二) 群切比雪夫决策分析过程的实现 切比雪夫多目标决策分析方法是一种交互式的多目标优化解法. 它通过随机分布理论, 随机抽取若干组偏好结构下的模型解. 并将隐去权重结构的这几组解提供给决策者挑选. 决策者在权衡目标间及其他因素的得失关系后, 从中挑选出决策者“第一次满意解”. 切比雪夫过程将以这个解的权空间结构为核心, 应用随机分布理论进行离散和抽样, 又给出若干组新的权重结构下的模型解, 供决策者挑选. 这种交互过程是反复进行, 直到求出决策者的满意稳定解. 或者再也不可能产生差别较大的新解为止. 每经过一次交互, 都将诱导入决策者的判断、意愿和偏

好于模型求解过程，并将搜索满意解的空间逐步缩小，直到求出满意稳定解为止。这一搜索过程能使决策者有充分的机会参与决策过程，并有效、完整地表达自己的思想、偏好和意愿。有关切比雪夫决策分析过程参见文献[2]。

区域水资源规划涉及范围大、问题复杂，因此要求决策的方案应当尽量满足受它影响地区的公众愿望和要求。所以，区域水资源规划问题不仅是一个多目标问题，而且是一个群决策问题。作者在“华北水资源管理”研究项目中，应用不满意度原理(文献1)开发和研制了群切比雪夫决策分析过程的方法和软件，并实现了决策分析过程的计算机化，见图2。

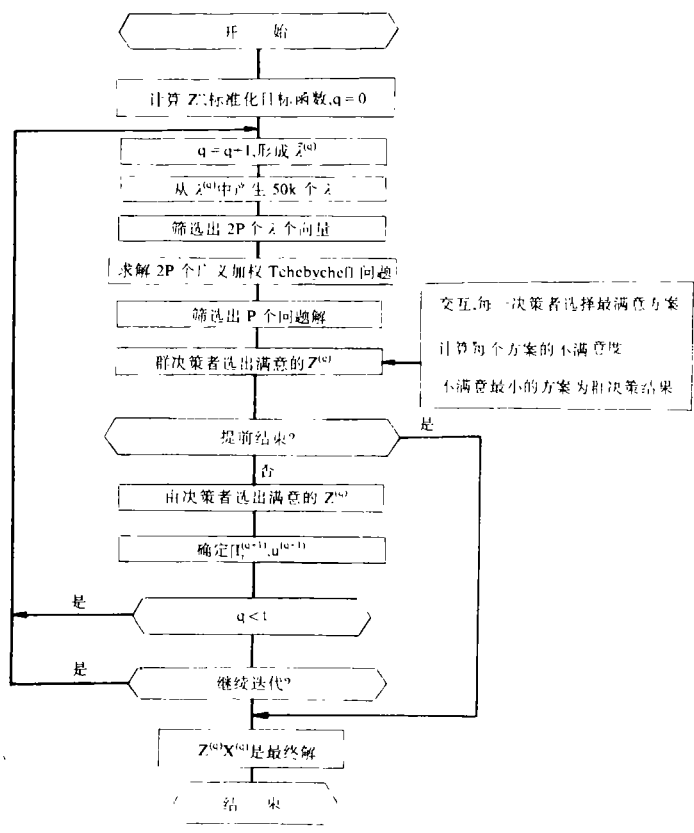


图2 带群决策的交互切比雪夫决策过程

四、典型成果分析

(一) 目标间的影响和协调分析 表1(T1000—T0001)列是通过单独优化每个目标的结果。根据表中数据，我们可以分析出各目标间的利益权衡关系。例如，当GDP达到最大值时(100%)，环境目标BOD达310%，高于其最佳值3倍；当BOD排放量取其理想值(100%)时，而GDP值却下降到52%。这说明经济发展与水环境保护之间存在着比较尖锐的竞争关系。同样，对其它目标而言，也存在着这种相互竞争和制约的关系。由此可见，多目标模型求解的含意在于协调这种相互竞争和制约关系，使之达到满意程度。

表1 多目标分析结果汇总(相对值)

解编号		T1000	T0100	T0010	T0001	Equal	Tchby1	Tchby2	Tchby3	Tchby4	Tchby5	Tchby6
权重	GOP	1	0	0	0	0.25	0.290698	0.507463	0.266667	0.429487	0.05	0.010101
	EUP	0	1	0	0	0.25	0.575581	0.320896	0.090909	0.121795	0.024444	0.191919
	BOD	0	0	1	0	0.25	0.034884	0.029851	0.593939	0.423077	0.65	0.080808
	FOOD	0	0	0	1	0.25	0.098837	0.141791	0.048485	0.025641	0.275556	0.717172
国民生产总值		100.00*	95.98	52.54	75.34	86.74	95.01	99.95	84.92	95.58	55.46	75.34
就业率		98.50	100.00*	49.73	73.42	85.32	99.79	98.39	80.49	91.64	56.06	73.42
BOD 排放量		310.58	405.93	100.00*	149.18	180.28	406.52	308.44	126.99	166.16	118.56	149.18
粮食生产量		80.63	81.75	81.39	100.00*	97.37	84.59	85.67	87.71	84.47	95.77	100.00
城市供水量		111.32	105.04	81.26	97.11	100.00*	104.00	111.61	97.96	109.81	81.70	97.11
农村供水量		88.17	88.01	77.08	104.16	100.00*	90.11	88.80	87.84	87.67	98.70	104.16
污水处理量		112.39	105.54	78.21	96.77	100.00*	104.41	112.31	97.66	110.86	78.93	96.77
水工程投资		105.73	96.97	77.48	98.00	100.00*	92.77	105.72	102.12	105.31	83.46	97.46
灌溉面积		92.25	89.68	88.60	101.63	100.00*	93.41	93.15	93.34	93.09	99.42	101.63
引江东线一期 (供北京)		2000	2000	2010	2010	2010	2000	2000	2010	2000	2010	2010
引江东线二期 (不供北京)												
引江东线二期 (供北京)		2010			2010	2020		2010	2020	2010		2010
引江东线二期 (不供北京)			2010	2020			2010				2020	
引江中线 (供北京、天津)		2010	2020	2020	2010	2010	2020	2010	2020	2010	2000	2010
引江中线 (不供天津)												
张房低坝		2010	2020		2000	2000	2020	2010	2010	2010	2000	2000
张房高坝		2010	2020		2020	2020		2010	2020	2010	2020	2020
大坝沟门水库		2010	2010	2010	2020	2020	2000	2010	2020	2010		2020
桃林口水库		2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
引黄入卫		2000	2010	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

续表 1

解编号		Prog.0	Prog.1	Prog.2	Prog.3	Prog.4	Prog.5	Prog.6
权重	<i>GOP</i>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	<i>EUP</i>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	<i>BOD</i>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	<i>FOOD</i>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
国民生产总值		16.80	46.90	60.90	70.8	80.50	86.5	86.74
就业率		43.00	88.7	70.5	83.2	89.3	92.2	85.32
<i>BOD</i> 排放量		36.50	87.5	70.5	102.3	147.5	158	180.30
粮食生产量		70.00	80.2	88.7	90.6	93.5	94.5	97.37
城市供水量		40.80	83.4	88.2	85.6	87.5	97.5	100.00
农村供水量		53.10	85.1	75.8	80.5	90.5	92.5	100.00
污水处理量		0.00	0	100	100.8	100.5	100	100.00
水工程投资		0.00	3.7	10.0	25.7	69.9	90.5	100.00
灌溉面积		54.00	72.20	87.00	89.5	93.40	98	100.00
引江东线一期(供北京)								2010
引江东线一期(不供北京)								
引江东线二期(供北京)						2020		2020
引江东线二期(不供北京)						2010		
引江中线(供北京、天津)							2020	2010
引江中线(不供天津)								
张房低坝							2000	2000
张房高坝					2010	2020	2020	2020
大坝沟门水库					2010	2020	2020	2020
桃林口水库					2000	2000	2000	2000
引黄入卫					2000	2000	2000	2000

Nota.⁽¹⁾ * 基准值⁽²⁾ 2000、2010、2020 为工程投入用年份。

(二) 决策偏好影向分析 表 1(Tchby1—Tchby6)列是某轮切比雪夫迭代过程中, 模型向决策者提供的 6 组解. 为便于分析, 表中列出了权重结构变化情况(注: 在切比雪夫决策分析过程中, 权重结构均不予显示). 取 Tchby2 和 Tchby5 两组解来看, 前者偏重于经济和就业, 后者偏重于环境和粮食目标. 这两组权重结构对应的解有较大差别. 其目标值 *GDP* 从 99.95%(Tchby2)降低到 55.5%(Tchby5); 就业目标从 98.3%(Tchby2)降低到 56.1%(Tchby5); 环境目标 *BOD* 从 308%(Tchby2)下降到 118.8%(Tchby5); 粮食目标从 85.7%(Tchby2)上升到 95.77%(Tchby5). 由此可见, 决策者偏好对解值有较大的影响. 但是决策者偏好对解值影响大小取决于模型结构和资源约束的变化.

(三)策略分析 决策者往往根据自身的经验和判断,将一组事先拟定的方案输入多目标分析模型中,以分析不同策略对目标的影响.表1中(prog0—prog6)的7列中为如下7组方案进行策略分析的结果.

prog0:零方案,无新添工程和管理措施; prog1:只考虑节水工程和节水管理措施,包括工业、农业和生活节水; prog2:考虑节水和污水处理及污水回用工程; prog3:在prog2措施基础上增加考虑本地新开水源工程; prog4:在prog3措施基础上增加引江工程(东线); prog5:在prog3措施基础上引江工程(中线); prog6:在决策者提出目标期望水平前提下,利用多目标混合规划模型求出优化组合措施.

表1中(prog0—prog6)的结果,可得到如下初步结论:采取全面的节流、污水回用、当地开源措施都不能满足京、津、唐地区未来经济发展和人民生活水平改善的要求,跨流域调水的引江工程是解决本地缺水问题的关键.

五、结 语

(1)本文提出的宏观经济水资源规划多目标决策分析方法和思路是将水资源规划和管理问题纳入有关的经济/环境系统中进行整体研究.它为水资源管理的负责人员与规划人员提供了一套宏观经济水资源规划的新方法和新思路.

(2)宏观经济水资源规划多目标决策分析模型的切比雪夫解法为多目标混合数学规划方法在区域宏观经济水资源规划中的应用提供了一条有效的途径.在研究中,作者完成了群切比雪夫决策分析过程的全部软件编制工作和应用实例,可供借鉴使用.

(3)本文提出的方法和思路,实质上是研究宏观经济/环境与资源合理配置问题.它不仅适用于区域宏观经济水资源规划问题,也可用于其他资源部门的宏观规划问题.

致谢 本文得到陈志恺教授, Ronald North 教授的指导. 参加研究的人员还有 Antonie Stam, Jay E. Aronson, 孙礼照, 李玲跃, 叶建国, 方松英, 何俊峰, 胡冉等.

参 考 文 献

- (1) Research Center of North China Water resours, Final report of water resources management in North China, *UNDP CPR/88/068*, oct, 1993.
- (2) Steuer. R. E., *Multiple criteria optimization: Theory computation and application*. Wiley, New York NY, 1986.
- (3) Young, Robert A& S. lee Gray, Input-output models, Economic surplus and the Evaluation of state regional water plans. *Water Resources Research*, Vol. 21, No. 12, Dec. 1985.
- (4) Roges Peter, Christopher Hurst and Nagaraja Hanshadeep, Water resources planning in a strategic context: Linking the water sector to the national economg. *Water Resources*, Vol. 29, No. 7, July, 1993.
- (5) 姚汝祥、翁文斌等, 水资源系统规划与分析. 水利电力出版社, 1989年.

Development of the macro-economic based water resources multiple objective analysis approach and its applications

Weng Wenbin Cai Ximing Shi Huibin

(Tsinghua University)

Wang Hao

(Institute of water conservancy and Hydropower Research)

Ari M. Michelsen

Jona Bargur

(Wyoming University, U. S. A)

(Tahal consultant Engineer, Israel)

Abstract

In this paper the regional water resources planning was embedded in the macro-economic system and the multiple objective analysis (MOA) technique was developed on the basis of the integration of economy, society, environment and water resources system, to make "trees" into "forest". Through the operation of the MOA model, the decision makers can explore many types of management alternative and their effect to the objectives and resources utilization and the trade off between objectives and resources, which are very important for the decision support. The software based on this approach has been developed and the decision analysis procedure has realized in the computer system.

Key words macro-economy multiple objective analysis, water resources planning.

(上接第 39 页)

The study on the alignment of tunnel spillway of Shi Bian Yu reservoir

Chen Yaolong Li Shouyi Dai Zhenlin

(Xi'an University of Technology)

Abstract

In this paper the shape study on the tunnel spillway of Shi Bian Yu reservoir is described. By using the double-compound curve, air vent and slit-type bucket dissipators, the alignment of the tunnels have been optimized. The effectiveness was proved by hydraulic model test.

Key words curved conduit, alignment, compound curve, slit-type bucket.