

# 水资源约束下的区域产业结构优化研究

陈妍彦, 张玲玲

(河海大学 公共管理学院, 江苏 南京 211100)

**摘要:**在水资源总量控制约束下,产业结构如何调整是区域社会经济发展需要回答的科学问题。构建水资源动态投入产出模型,以GDP最大和用水总量最小为目标,以投入产出平衡、经济、水资源总量为约束,并且引进投资系数作为动态变化的依据,探讨用水和产业结构之间的关系。在分析江苏省水资源的现状和存在的问题的基础上,基于2010年水资源投入产出表构建多目标动态投入产出优化模型,通过MATLAB优化算法计算出江苏省2011-2015年各部门的经济产出值,进而通过产值和万元产值用水量之间的关系计算得出各部门的用水量,为未来的经济和水资源发展得出了量化的数据,为江苏省最严格水资源管理制度提供支撑。

**关键词:**水资源;产业结构;动态投入产出优化;江苏省

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2014)06-0050-06

## Research on optimization of regional industrial structure under restriction of water resources

CHEN Yanyan, ZHANG Lingling

(School of Public Administration, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Under the restriction of water resources, how to adjust the industrial structure is the scientific question for regional social and economic development. Taking the greatest GDP and the least water quantity as object function, the paper constructed the input-output model of water resources dynamic. With the input-output balance, economy, the total amount of water resources constraint, and the introduce of investment coefficient as the dynamic basis, the paper investigated the relationship between water and industrial structure. On the basis of analyzing the situation of water resources and problems, by use of optimization model of the multi-objective dynamic input-output constructed by the water resources input-output table of Jiangsu Province in 2010, the paper calculated the economic output value of every department in Jiangsu Province from 2011 to 2015 by MATLAB optimization algorithm. Through analyzing the relationship between output and Million yuan output value of water consumption, the paper calculated the water quantity of every department. The result can supply quantitative data for economy development and exploitation of water resources in the future in Jiangsu province, and provide support for the most strict management system of water resources in Jiangsu province.

**Key words:** water resources; industrial structure; dynamic input-output optimization; Jiangsu Province

## 1 研究背景

水资源是基础性的自然物质资源,同时也是战略性的经济资源,是人类赖以生存的物质基础和社会经济可持续发展的动力,也是各产业和国民经济建设的共同命脉<sup>[1]</sup>。但是,随着经济的快速发展,目前我国

的经济结构仍以耗水较多的农业和工业为主,水资源需求不断增加,自20世纪末以来,水资源短缺的问题日益凸显出来,水资源已经成为了制约我国社会经济可持续发展的关键因素之一<sup>[2]</sup>。同时,经济的发展也影响着水资源的消耗问题,如何在有限的水资源下使经济得到又好又快发展的同时进一步促进合理的用

收稿日期:2014-07-09; 修回日期:2014-08-28

基金项目:国家自然科学基金项目(51109055、51279223);江苏省社会科学基金重点项目(11GLA001);水利部公益性行业科研专项经费项目(201301003、201201022、201001074)

作者简介:陈妍彦(1991-),女,江苏宜兴人,硕士研究生,主要从事水利行政方面的研究。

通讯作者:张玲玲(1979-),女,山东潍坊人,副教授,主要从事水利行政方面的研究。

水格局的形成已经成为关键问题。

投入产出分析,又称“部门平衡法”,或称“产业联系”分析,最早是由美国经济学家列昂捷夫(Leontief)在20世纪30年代提出来的<sup>[3]</sup>。投入产出模型分析研究国民经济各部门、再生产过程中各环节之间的内在联系,能够全面深入地揭示经济系统内部各个部门之间的数量依存关系,而水资源投入产出模型更直观地揭示了各个部门之间用水量和排污量的关系。投入产出优化模型是将投入产出模型和优化的方法结合起来,以投入产出结构为基础,构建的最优化模型。当前在投入产出优化这一问题上从静态投入产出优化到动态投入产出优化都有较完善的研究,王全忠等(1986)<sup>[4]</sup>,曾五一(1985)<sup>[5]</sup>,张金水(2000)<sup>[6]</sup>,付雪等(2012)<sup>[7]</sup>都将投入产出模型和优化方法结合起来并通过实例来研究证实。而在水资源配置和投入产出结合方面,国外学者 Mensa(1980)<sup>[8]</sup>, Samad(1983)<sup>[9]</sup>, Kondo(2005)<sup>[10]</sup>, Erik D(2007)<sup>[11]</sup>都将水资源和投入产出结合起来,对目前的水资源状况进行分析进而对未来的水资源进行规划。在这一方面,我国学者也有一些研究成果,李林红(2001)<sup>[12]</sup>,方国华(2010)等<sup>[13]</sup>都将水资源配置和投入产出结合起来进行研究。

国内外学者在投入产出优化以及水资源配置的研究方面取得了显著的研究成果,也为水资源研究开辟了新的前景与技术支撑。但鲜见在水资源总量约束下将动态投入产出与产业结构的优化调控相结合的研究。本文在分析江苏省用水现状的基础上,基于2010年江苏省水资源投入产出表构建多目标动态投入产出优化模型,以GDP最大和用水总量最小作为目标函数,以投入产出平衡式、经济发展约束和水资源约束作为约束条件对江苏省2011-2015年的产业结构进行优化,进而通过万元产值取水量即直接取水系数预测出江苏省2011-2015年国民经济各部门的用水量。在水资源投入产出表的基础上进行分析优化,能够更直观地分析出江苏省经济发展与用水之间的关系。

## 2 江苏省产业结构和用水现状分析

江苏省是我国的经济大省,2010年江苏省国内生产总值达到41425.48亿元,占全国10.4%,其中第一产业生产总值2540.10亿元,占全国比重6.3%,第二产业占全国比重11.7%,人均国内生产总值达到52840元<sup>[14]</sup>。然而在江苏经济发展的同时人们对用水的需求也进一步增加,水资源短缺引

起的一系列矛盾正逐步加剧,在水资源总量短缺的同时,江苏省的用水结构也存在不合理的问题,主要表现为:生产用水比重较大,满足不了日益增长的生活用水和生态用水的需求,据《水资源公报》数据显示<sup>[15]</sup>,近年来生产用水一般占用水总量的93%以上;同时,在生产用水中,农业用水的比重过大,满足不了日益增长的工业需水,农业依然是用水大户,近年来农业用水一般占生产用水的50%以上;而在农业用水中,农田灌溉用水比重过大,导致林木渔畜的用水量比重过小,并且我国的农业灌溉用水有效利用系数仅为0.5,而发达国家农业灌溉用水有效利用系数达到0.7到0.8。由此可知,农田灌溉用水的不合理导致了整个用水结构的不合理,而用水结构又和产业结构紧密相关,因此,本文将基于2010年的江苏省投入产出表分析江苏省各部门的产业结构进而分析调整江苏省各行业的用水。图1为2010年各行业用水量的组成。

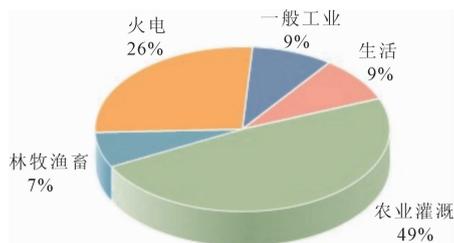


图1 2010年各行业用水量组成

## 3 投入产出优化模型

投入产出分析法反映的是各部门、各产业之间的相互联系<sup>[3]</sup>,用联系的而不是孤立的观点来展示各部门的生产经营关系,较好地反映了各部门间的经济依赖关系。投入产出模型可以分为静态投入产出模型和动态投入产出模型,其中静态投入产出的基本模型为 $X = AX + Y$ 。静态投入产出模型可以很好地描述静态的经济运行状况,并可以编制国民经济计划和规划,但是不能描述扩大再生产的全过程。动态投入产出模型通过引入投资系数阵(也叫资本系数阵)来表示时间变化的动态概念,从而把投资需求同经济发展的现在和将来联系起来,使得模型更符合实际经济运行状态,动态投入产出的基本模式为:

$$X(t) = A(t)X(t) + B(t)[X(t+1) - X(t)] + Y(t) \quad (1)$$

式中: $X(t)$ 是第 $t$ 年各部门的产出向量; $A(t)$ 为直接消耗系数矩阵; $B(t) = b_{ij}(t)_{n \times n}$ 为投资系数矩

阵;  $b_{ij}(t)$  代表第  $t$  年第  $j$  部门单位增产所需要的第  $i$  部门的投资额;  $Y(t)$  为第  $t$  年的最终使用向量。

多目标动态投入产出优化模型是把一系列社会经济和资源发展目标作为目标函数,把对应的社会经济运行的环境和资源约束作为约束条件,其中动态投入产出平衡是主要的约束条件。本文以江苏省 2010 年合并为 21 个部门的投入产出表为基础建立多目标的投入产出优化模型。

### 3.1 目标函数

3.1.1 规划期内 GDP 累计最大 GDP 是用来衡量一个国家或地区的经济总量的重要指标,也是考察比较各国或地区的经济实力的主要指标,所以在经济发展方面选择 GDP 最大作为目标函数之一。

$$\max \sum_{i=1}^T f(T) \quad (2)$$

式中:  $f(T) = \sum_{i=1}^n X_i(T) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}(T)X_j(T)$  为第  $T$  年的 GDP, 亿元;  $X_i(T)$  为第  $T$  年第  $i$  部门的产出, 亿元;  $a_{ij}(T)$  为第  $T$  年的直接消耗系数, 规划期为 2011-2015 年。

3.1.2 用水量最少

$$\max \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^n W_i(t) \quad (3)$$

式中:  $W_i(t) = \sum_{i=1}^n Q_i(t)X_i(t) + W_r(t) + W_e(t)$  为第  $t$  年的用水量, 亿  $m^3$ ;  $Q_i(t)$  为第  $t$  年各部门的直接取水系数;  $W_r(t)$  为第  $t$  年的居民用水量, 亿  $m^3$ ;  $W_e(t)$  为第  $t$  年的生态用水量, 亿  $m^3$ 。

### 3.2 约束条件

3.2.1 动态投入产出约束

$$X(t) = A(t)X(t) + B(t)[X(t+1) - X(t)] + Y_c(t) \quad (4)$$

式中:  $X(t)$  为第  $t$  年各部门的产出向量;  $A(t)$  为第  $t$  年直接消耗系数矩阵;  $B(t)$  为第  $t$  年的投资系数矩阵;  $Y_c(t) = C(t) + EX(t) - IM(t)$  为第  $t$  年的最终净产品量;  $C(t)$  为第  $t$  年各部门的最终消费量, 包括居民消费和政府消费, 亿元;  $EX(t)$  是第  $t$  年各部门的出口量, 亿元;  $IM(t)$  是第  $t$  年各部门的进口量, 亿元。式中  $t = 0$  时表示在基年的动态平衡。

3.2.2 规划期某时间段 GDP 平均经济增长速度约束

$$f(T_2) - f(T_1 - 1)(1 + R)^{T_2 - T_1 + 1} \geq 0 \quad (5)$$

式中:  $[T_1, T_2]$  为规划期某时间段,  $1 \leq T_1 \leq T_2 \leq T$ ;  $R$  为期望的平均经济增长速度。

3.2.3 积累与消费约束

$$\sum_{i=1}^n B(t)[X_i(t+1) - X_i(t)] + \sum_{i=1}^n y_{ci}(t) \leq f(t) \quad (6)$$

式中:  $B(t)$  为第  $t$  年的投资系数矩阵;  $y_{ci}(t)$  为第  $t$  年第  $i$  部门的最终净消费, 亿元。

3.2.4 用水量约束

$$\sum_{i=1}^n Q_i(t)X_i(t) + W_r(t) + W_e(t) \leq W(t) \quad (7)$$

式中:  $W(t)$  为第  $t$  年的最大用水量, 亿  $m^3$ 。

3.2.5 非负约束

投入产出表对各部门的产出量的约束

$$X(t+1) - X(t) \geq 0 \quad (8)$$

## 4 数据来源

模型中的数据主要由江苏省历年的统计年鉴以及 2010 年江苏省投入产出表中获得, 在模型中有一些参数比如规划期内每一年的直接消耗系数、投资系数、最终净消费和直接取水系数都是作为已知量处理的, 这些参数都可以通过修正或者预测得到。

### 4.1 直接消耗系数矩阵的修正

直接消耗系数在短期内有相对稳定性, 但是由于多方面经济因素的影响, 在动态投入产出模型中, 需要对直接消耗系数进行修正。对直接消耗系数修正的方法分为非数学方法和数学方法: 非数学方法主要有专家调查法; 数学方法有 RAS 法, 重点系数修正法, 拉格朗日系数待定法等。在本文中采用重点系数修正法对直接消耗系数进行修正。

重点系数修正法是只对主要的直接消耗系数(简称主元)进行修正。所谓主元指的是对完全需要系数有较大影响的直接消耗系数。方法为将所有直接消耗系数从大到小排列, 然后对前若干个系数累计求和, 直到这些系数之和占全部系数之和的 90% 为止, 此时, 这些对应的系数就是要重点进行修正的直接消耗系数, 通过已有的统计数据对其进行重点修正, 其他系数则按一定比例调低<sup>[16]</sup>。本文基于 2010 年江苏省投入产出表中的直接消耗系数矩阵按重点系数修订法对其修正, 可得到 2011-2015 年间的直接消耗系数。

### 4.2 投资系数矩阵的确定与修正

投资系数的测算一直以来都是动态投入产出模型建立及应用的核心, 动态投入产出分析的精度在很大程度上取决于投资系数。通过调查途径得到投资矩阵最准确, 但是要付出较大的代价。本文通过

分析直接消耗系数与投资系数之间的联系进而计算出投资系数矩阵。

4.2.1 投资矩阵的获得 投资系数和直接消耗系数都是投入产出模型中的系数,代表着不同的经济意义:直接消耗系数表示的是国民经济各个部门之间的经济技术联系,投资系数则表示的是投资量和产出增量之间的关系,投资系数数值和国民经济各个部门之间已经形成的经济技术联系有着不可分割的联系。因此可以把静态投入产出模型与动态模型结合起来考虑,建立起投资系数和直接消耗系数的关系。推演过程如下<sup>[16]</sup>:

设  $X(t), U(t)$  分别表示第  $t$  年的总产出、中间使用向量,由静态模型有:

$$U(t) = A(t)X(t) \quad (9)$$

$$U(t+1) = A(t+1)X(t+1) \quad (10)$$

$$U(t+1) - U(t) = A(t+1)X(t+1) - A(t)X(t) \quad (11)$$

直接消耗系数在短期内具有相对稳定性:

$$\Delta U(t) = A(t)\Delta X(t) \quad (12)$$

令  $k(t)$  为部门生产性投资向量;  $Y(t)$  为最终使用向量;  $Y_c(t)$  表示最终净消费向量;  $B(t) = b_{ij}(t)_{n \times n}$  为投资系数矩阵;  $E$  为单位矩阵。有:

$$\begin{aligned} k(t) &= Y(t) - Y_c(t) \\ &= (E - A(t))X(t) - Y_c(t) \end{aligned} \quad (13)$$

通过动态投入产出模型可转化为

$$(E - A(t))X(t) - Y_c(t) = B(t)\Delta X(t) \quad (14)$$

由式(12)、(13)、(14)可得

$$\Delta U(t) = A(t) \cdot B(t)^{-1}k(t) \quad (15)$$

从式(15)中可以得知,直接消耗系数与投资系数之间存在着一定的关联,投资系数的求取可通过先求取投资矩阵,再与总产出增量计算求得。

设投资矩阵  $K = (k_{ij})_{m \times n}$ , 则  $\sum_{j=1}^n k_{ij} = k_i$ , 在静态投入产出模型中,可通过直接消耗系数把中间使用向量分解为中间使用增量矩阵,有:

$$\Delta V = (\Delta V_{ij})_{m \times n} = A \cdot \hat{\Delta X} \quad (16)$$

式中:  $\Delta V_{ij} = a_{ij} \cdot \Delta x_j$ ,  $\hat{\Delta X} = \text{diag}(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n)$  为总产出增量的对角矩阵。

对同一种产品来说,假设投入产出表中各国民经济部门对其中间产品的需求构成和对其投资产品的需求构成是一致的,有:

$$\Delta V_{ij} / \sum_{j=1}^n \Delta V_{ij} = k_{ij} / \sum_{j=1}^n k_{ij} \quad (17)$$

$$k_{ij} = (\Delta V_{ij} / \sum_{j=1}^n \Delta V_{ij}) \sum_{j=1}^n k_{ij} = (\Delta V_{ij} / \Delta u_i) k_i \quad (18)$$

由  $b_{ij} = \frac{k_{ij}}{\Delta x_j}$ , 可计算出投资系数。

4.2.2 投资系数矩阵的修正 基年的投资系数通过计算较容易得到,但在对规划年进行预测时,由于投资系数的不稳定性,规划期各年的投资系数需要对基年投资系数进行修正才能得到。投资系数的变化受较多因素影响,本文从供给和需求的角度分析,对造成投资系数变化的因素只考虑两个:一是其它部门对该部门投资品的供给,二是本部门对投资品的需求,若记  $r_i(t)$  为第  $i$  部门供给乘数,表示第  $i$  部门提供投资品能力的变化;记  $s_j(t)$  为第  $j$  部门的需求乘数,表示该部门对投资品需求的变化,则投资系数  $b_{ij}(t)$  和  $b_{ij}(t+1)$  有以下的关系:

$$b_{ij}(t+1) = r_i(t) \cdot b_{ij}(t) \cdot s_j(t) \quad (19)$$

式中:  $r_i(t) = \frac{1 + h_i(t)}{1 + k_i(t)}$ ,  $s_j(t) = \frac{1 + l_j(t)}{1 + g_j(t)}$ ;  $h_i(t)$

为第  $t$  年第  $i$  部门设备购置量的年增长率;  $k_i(t)$  为第  $t$  年第  $i$  部门建筑安装量的年增长率;  $l_j(t)$  为第  $t$  年第  $j$  部门的投资增长率;  $g_j(t)$  为第  $t$  年第  $j$  部门的产出增长率。其中  $h_i(t)$  和  $k_i(t)$  数据可以通过查询江苏省统计年鉴获得,而  $l_j(t)$  和  $g_j(t)$  可以结合历史条件和当时条件估计得到,在实际应用过程中,由于这些数据较难获得,因此假定  $h_i(t), k_i(t), l_j(t), g_j(t)$  的变化是均匀的,即每年的增长率相同<sup>[16]</sup>。

4.2.3 最终净消费、直接取水系数的预测 已有1997、2000、2002、2005、2007和2010年的投入产出表,根据这些年投入产出表中的数据可得到这些年份的最终净消费、直接取水系数,本文先用拉格朗日插值法将1998、1999、2001、2003、2004、2006以及2008、2009年的数据估计出来,再用时间序列中的移动平均法对规划年的最终净消费、直接取水系数进行预测。

上述参数的最终取值篇幅较大,因此本文不一一列出。

## 5 计算结果分析

上述模型中把各部门的产出  $X_i(T), i = 1, 2, \dots, n, t = 1, 2, \dots, T+1$  作为决策变量,当  $n$  和  $t$  较大时,这一约束数目  $n(t+1)$  很大,但可以通过引入另一个决策变量来代替  $X(t)$ , 即令

$$\begin{aligned} \Delta X(t) &= X(t+1) - X(t) \\ t &= 1, 2, \dots, T \end{aligned} \quad (20)$$

将  $\Delta X(t)$  视为决策变量并且用 MATLAB 工具箱求解。

在模型中有规划期内 GDP 最大和用水量最小两个目标函数,是一个多目标优化问题,因此在用 MATLAB 求解时可先将此多目标问题转化为单目标

问题,即对目标函数赋予权重,在本文中,对两个目标函数分别赋予 50% 的权重来求解。将  $\Delta X(t)$  作为决策变量对原模型进行线性变换,此时将问题转化为单目标的线性规划问题,用 MATLAB 优化工具箱进行求解。经过上述计算后,得出结果见表 1。

表 1 2011 - 2015 年各部门产出预测结果

亿元

部门	2011	2012	2013	2014	2015
农业	1517.45	1638.63	1868.89	1871.16	2100.54
煤炭采选业	23.17	24.38	24.42	24.45	24.48
石油天然气	338.51	338.59	338.63	338.66	338.70
其他采掘业	58.19	58.61	58.63	58.66	58.68
食品工业	1672.77	1672.93	1672.98	1673.13	1673.17
纺织工业	4793.90	4794.10	4794.13	4794.16	4794.20
森林工业	789.59	791.66	791.72	791.79	791.85
造纸工业	703.18	703.49	703.51	703.54	703.56
化学工业	3885.47	3885.48	3885.51	3885.54	3885.57
建材工业	259.34	259.65	259.71	259.77	259.83
冶金工业	2260.14	2260.22	2260.26	2260.30	2260.35
机械设备工业	14507.89	14509.73	14510.10	14510.16	14511.25
电子仪器	14466.78	14466.88	14466.97	14467.10	14467.17
其他制造业	307.79	317.87	318.10	318.14	318.28
电力工业	3526.96	3527.23	3527.24	3527.24	3828.35
水的生产和供应业	1313.78	1313.78	1313.79	1313.80	1313.81
建筑业	11494.63	11494.66	11494.70	11494.74	13595.88
运输邮电业	687.18	687.63	687.66	687.70	687.73
住宿餐饮业	2461.28	2461.29	2461.31	2461.32	2461.35
批发和零售业	331.99	336.19	336.22	336.24	336.28
其他服务业	9115.34	9115.86	9115.88	9115.91	9115.93

由得出的各部门产出与预测得到的直接取水系数相乘可得到各部门的用水量如表 2 所示。

由上述结果可得出各用水量的占比情况如表 3 和图 1。

由上述图表得出,表 3 比较了历年来两个高耗水部门的用水情况,由目前的优化结果可知,2011 - 2015 年生产用水占总用水量的比重没有较明显的变化,国民经济各部门依然是整个用水行业的大户,而农业用水的比重发生了较为明显的变化,在 2010 年以前农业用水一直占生产用水的 50% 以上,但是通过优化,2011 - 2015 年之间虽然农业用水依然呈增长趋势,但是可以将农业用水控制在 50% 以下。另一用水大户电力工业占生产用水的比重也发生了明显变化,由于农业用水降低了,在用水总量没有发生质的改变的情况下,第二第三产业的用水总量随之增长,高耗水行业电力工业的用水比重也随之增加,但是增长的幅度并不明显,且趋于平稳态势。传

统的高耗水行业如纺织、石油、造纸等行业用水虽然依然呈逐年上升的趋势,但是整体的占行业用水的比重呈下降趋势。由 2011 - 2013 年的江苏省水资源公报数据显示,2011 - 2013 年的用水总量和优化的结果无较大差异,由于目标函数和约束条件的确立体现着用水和各部门经济之间的平衡,在计算过程中参数都是由预测得出,因此农业部门、电力部门等高耗水行业的用水优化结果和实际用水差异较大。由表 2 可以看出第三产业的用水量较之 2010 年都有了显著增长,这些都是通过调整产业结构进而调整用水结构。图 2 比较了 4 大高耗水行业:食品工业、纺织工业、造纸工业和化学工业的用水量的变化,在未来年里这 4 大行业的用水依然呈增长趋势,但是和 2010 年相比化学工业和造纸工业的用水量都有较大比例的减少。由表可知,经济的发展和水的利用关系密切,要想有效利用水资源,首先要调整国民经济的产业结构,一味地发展经济只会

导致水资源的短缺、浪费,有合理的产业结构才会有合理的用水结构。

表 2 2011—2015 年各部门用水量预测结果 亿 m<sup>3</sup>

部门	2011	2012	2013	2014	2015
农业	153.59	166.61	191.18	192.17	214.50
煤炭采选业	0.0096	0.012	0.013	0.015	0.022
石油天然气	0.78	0.80	0.80	0.76	0.59
其他采掘业	0.51	0.49	0.42	0.33	0.24
食品工业	0.84	0.81	0.96	1.21	1.52
纺织工业	3.63	3.23	3.85	4.95	5.62
森林工业	1.37	1.24	1.23	1.26	1.19
造纸工业	0.88	0.94	1.10	1.32	1.78
化学工业	6.92	6.69	6.81	7.10	7.12
建材工业	0.51	0.48	0.44	0.41	0.38
冶金工业	3.96	3.78	3.78	3.77	3.49
机械设备工业	18.41	16.32	15.37	14.64	12.70
电子仪器	17.37	14.74	12.72	11.15	9.67
其他制造业	0.27	0.27	0.26	0.23	0.20
电力工业	177.14	178.18	165.29	178.20	172.35
水的生产和供应业	93.21	90.17	82.40	71.71	61.16
建筑业	10.95	12.16	12.98	12.65	11.99
运输邮电业	0.31	0.30	0.28	0.27	0.28
住宿餐饮业	2.67	2.42	2.16	2.22	3.10
批发和零售业	0.22	0.22	0.22	0.20	0.16
其他服务业	11.13	9.77	7.84	5.98	5.16
用水总量	504.68	509.63	510.10	510.55	513.22

表 3 各行业用水量占比 %

年份	生产用水占用 水总量比重	农业用水占生 产用水比重	电力工业用水 占生产用水比重
2010	93.20	59.90	27.41
2011	90.71	30.43	35.10
2012	92.33	32.69	34.96
2013	92.10	37.48	32.40
2014	92.20	37.64	34.90
2015	91.22	41.79	33.58

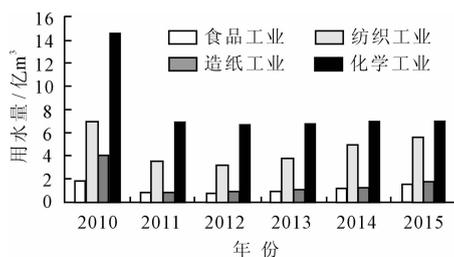


图 2 4 大高耗水行业用水变化趋势

## 6 结 语

本文以江苏省为例,在已有的投入产出表的基础上,将投入产出和优化方法相结合,以 GDP 最大和用水量最小为目标,以投入产出、经济增长速度、积累与消费、用水量为约束构建动态投入产出优化模型,并用 Matlab 求解,得出 2011—2015 年江苏省各部门的产值和用水量。但在构建水资源多目标动态投入产出优化模型时既要考虑模型的科学性又要考虑模型的实际应用性,在计算过程中也需要大量的预测数据,要将科学的预测方法和合理的推测相结合。由计算结果得知,农业用水虽然得到一定的控制,但是依然是整个用水行业占比最大的行业,因此,可以利用高科技提高农业灌溉有效利用系数,在增加农业产值的同时减少灌溉用水量。同时大力发展第二、第三产业中低耗水的加工业、制造业以及高新技术产业。除了农业以外,火电行业用水也应尽可能地限制,采用先进成熟的节水技术,提高火电行业水的重复利用率。鼓励食品、纺织、造纸和化学等高耗水工业往水资源丰富的地区选址和迁移<sup>[17]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 吴泽宁,索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报,2004,23(2):1-5.
- [2] 刘荣增,朱继业,张京祥等. 苏州市经济持续发展过程中的资源与环境问题透析[J]. 长江流域资源与环境,2001,10(4):289-295.
- [3] Leontief W. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach [J]. The Review of Economics and Statistics, 1970, 52(3):262-271.
- [4] 王全忠,胡庆贺. 静态投入产出模式的一类优化问题[J]. 河南科学,1986,5(3/4):37-40.
- [5] 曾五一. 关于动态投入产出最优化模型应用的研究[J]. 系统工程,1985,3(2):29-37.
- [6] 张金水. 可计算非线性动态投入产出模型[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
- [7] 付雪,王桂新,彭希哲. 哥本哈根会议目标下中国行业实际减排潜力研究——基于 2007 年中国能源-碳排放-经济投入产出表的最优化模型[J]. 复旦大学学报(社会科学版),2012(4):114-124.
- [8] Mensah E K. The management of water resources: a synthesis of goal programming and input-output analysis with application to the Iowa economy [D]. Ames: Iowa State University,1980.

息量越大。但同时也须指出在对不同模型进行对比评价时,信息熵的相对值也满足差异信息理论的非唯一性原理。序列的确定性系数和径流深相对误差与信息熵相互独立。因此在信息熵的比较应用过程中,需要结合确定性系数和径流深相对误差等指标,通过对其信息熵的比较,进而判断不同水文模型模拟结果的优劣,才具有研究价值。

#### 参考文献:

- [1] 徐宗学. 流域水文模型[M]. 北京:科学出版社,2009:1-16.
- [2] 刘洋. 山溪洪水风险分析方法研究[D]. 北京:北京工业大学,2013.
- [3] 龚伟. 基于信息熵和互信息的流域水文模型不确定性分析[D]. 北京:清华大学,2012.
- [4] 王中根,刘昌明,等. 基于DEM的分布式水文模型研究综述[J]. 自然资源学报,2003,18(2):168-173.
- [5] 李巧玲. 基于DEM的水文模型及流域汇流非线性问题研究[D]. 南京:河海大学,2007.
- [6] Rahman M M, Goel N K, Arya D S. Development of the jamuneswari flood forecasting system: case study in angladesh[J]. Journal Of Hydrologic Engineering, 2012, 17: 1123-1140.
- [7] Rahman M M, Arya D S, Goel N K, et al. Design flow and stage computations in the teesta river, bangladesh, using frequency analysis and MIKE 11 modeling[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2011, 16: 176-186.
- [8] 包为民. 水文预报[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009:143-167.
- [9] 王文圣,张翔,等. 水文不确定性分析方法[M]. 北京:科学出版社,2011:243-262.
- [10] 夏军. 灰色系统水文学——理论、方法及应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社,2000:82-96.
- [9] Samad F A. An evaluation technique for water resources in a complex river system[D]. Sydney: University of New South Wales,1982.
- [10] Kondo K. Economic analysis of water resources in Japan: using factor decomposition analysis based on input-output tables[J]. Environmental economics and Policy Studies,2005,7(2):109-129.
- [11] Erik D, Esther V. Analysing andalusian virtual water trade in an input-output framework[J]. Regional studies,2007,41(2):185-196.
- [12] 李林红. 滇池流域可持续发展动态投入产出最优控制模型[J]. 控制与决策,2001,16(Z1):685-688.
- [13] 方国华,钟淋娟,吴学文,等. 水资源利用和水污染防治投入产出最优控制模型研究[J]水利学报,2010,41(9):1128-1134.
- [14] 江苏省统计局,国家统计局江苏调查总队. 江苏统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
- [15] 江苏水利厅. 江苏省水资源公报[Z]. 2010.
- [16] 雒晓娜. 投入产出系数的修订及其多目标优化模型应用研究[D]. 大连:大连理工大学,2006.
- [17] 丁莉娅. 火电用水占工业用水1/6,火电节水需做好[DB/OL]. (2011-09-09)[2014-06-15]. <http://finance.sina.com.cn/roll/20110909/174910462210.shtml>.

(上接第55页)