
基于系统动力学

——投入产出分析整合方法的江苏省产业用水综合效用分析

沈家耀¹, 张玲玲^{1*}, 王宗志¹

(1. 海河大学公共管理学院, 江苏 南京 211100;

2. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家实验室, 江苏 南京 210029)

【摘要】产业用水结构的欠合理一定程度上制约着社会的发展, 如何科学评价产业用水情况, 取得在经济效益、水资源和环境资源约束下的协调发展已成为目前区域社会经济发展面临与函待解答的科学问题。以江苏省为例, 提出了系统动力学—投入产出分析整合方法, 在构建反映产业结构、用水结构和排污结构的互动反馈的水资源综合利用系统动力学模型基础上, 通过敏感性分析确定对系统影响较大的关键变量, 运用投入产出分析技术, 对江苏省各部门用水特性、排污特性和经济效益特性进行计算测度, 由此构建了3种产业发展模拟方案。依据系统动力学模型输出结果, 对2025年3种方案下的重点产业部门用水综合效用情况进行对比分析, 进而优选出“节水治污型”方案, 并最后提出保障方案实施的对策建议, 为江苏省产业和用水结构调整提供决策依据。

【关键词】系统动力学—投入产出分析整合方法; 产业用水结构; 综合效用; 方案模拟优选

【中图分类号】F301.24 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1004-5227 (2016) 01-0016-09

收稿日期: 2015-04-27 ; 修回日期: 2015-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51109055, 51279223, 51579064) (National Natural Science Foundation of China (51109055, 51279223, 51579064)); 国家软科学基金项目 (2014GXS4B047) [The National Soft Science Research Program (2014GXS4B047)]; 水利部公益性行业科研专项经费项目 (201301003, 201201022) [Public-services Foundation of Ministry water Resources of China (201301003, 201201022)]; 中央高校基本科研业务费项目 (2015B23314) [Fundamental Research Funds for the Central Universities (2015B23314)]

作者简介: 沈家耀 (1991-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水利行政管理. E-mail: 958379523@qq.com

***通讯作者** E-mail: llzhang007@163.com

江苏省作为长三角重要的省份之一，近年来随着经济的快速发展，水资源供需矛盾和环境容量占用等问题日益突出。从生产、生活和生态“三产”用水角度分析，生产用水占总用水的90%以上，产业部门是区域经济社会发展的主体，如何取得产业部门发展与水资源和环境资源约束下的协调发展，需要清楚产业用水的各项特性。准确评价以取水、排污和经济效益为主要内容的产业用水综合效用情况，制定科学合理的产业发展方案是实现区域可持续发展的重要举措。

关于产业用水相关问题在学术界也引起了广泛的关注和研究。近些年来，众多专家学者通过灰色关联分析法、信息熵法、模糊数学法、层次分析法、假设抽取法等方法，建立了包括产业结构偏离度模型、多目标优化模型、用水效益评价模型、水资源投入产出等模型对区域内的用水结构和产业结构的外在关系和因果联系进行分析^[1-3]，以达到产业结构与用水结构的双向优化，实现经济社会协调发展的目的。从研究内容上说，现有研究多侧重于水资源约束下的产业用水经济效益研究，较少综合考虑包括环境因素影响下的综合效用分析；从研究对象上来看，大多数研究仅限于对产业系统内部用水关联进行分析，没有从水资源综合利用系统各要素之间相互作用关系的基础上进行产业用水规律的研究。

为分析江苏省产业用水结构与水资源总量和水污染治理之间的响应关系，科学评价产业用水的综合效用。本文依据复合系统原理^[4]，提出了系统动力学—投入产出分析整合方法，通过系统分析和结构模拟，了解系统各要素间的相互影响和作用关系，建立了江苏省水资源综合利用系统动态仿真模型。通过敏感度分析确定影响产业用水综合效用的关键调控变量，并据此进行区域投入产出表的简化，保留关键的社会经济和资源环境信息，运用投入产出技术，对江苏省各部门用水特性、排污特性和经济效益特性进行计算分析，构建产业发展模拟方案，并根据系统动力学模型输出结果对各方案下产业部门用水综合效用情况进行对比分析，讨论江苏省的未来产业结构的调整趋势，以为江苏省产业结构调整提供决策依据。

1 模型与方法

1.1 水资源综合利用系统模型构建

系统动力学（System Dynamics）由美国麻省理工学院的 Forrester 教授创立的，是一种以计算机模拟技术为主要手段，通过结构、功能分析，解决系统反馈结构与行为的一门科学，可全面模拟各类系统的结构，分析系统内在关系，进行系统内各要素之间的协调，并可对系统的动态发展趋势进行考察^[5]。

根据系统分析理论中的协同原理，明确模型参数和方程设置，将江苏省水资源综合利用系统划分为经济子系统、人口子系统、用水子系统、供水子系统和环境子系统。各子系统是多因素交互作用的结果，变量间相互影响和制约关系共同构成水资源系统的多重反馈关系。以用水子系统为例，其用水主体主要分为生活用水、生产用水和生态用水。其中，生活用水包括城镇和农村居民生活用水；生产用水包括由以农田灌溉和林牧渔畜为主的第一产业用水、以一般工业和电力工业为主的第二产业用水、建筑业和第三产业用水组成；生态用水主要包括城市环境用水和湿地补水。构建水资源综合利用系统可更准确地模拟产业用水系统内部、系统外部之间的因果关系，分析产业用水综合效用。通过系统动力学专用建模软件 Vensim 构建了江苏省水资源综合利用系统模型，模型流程图如图 1 所示。

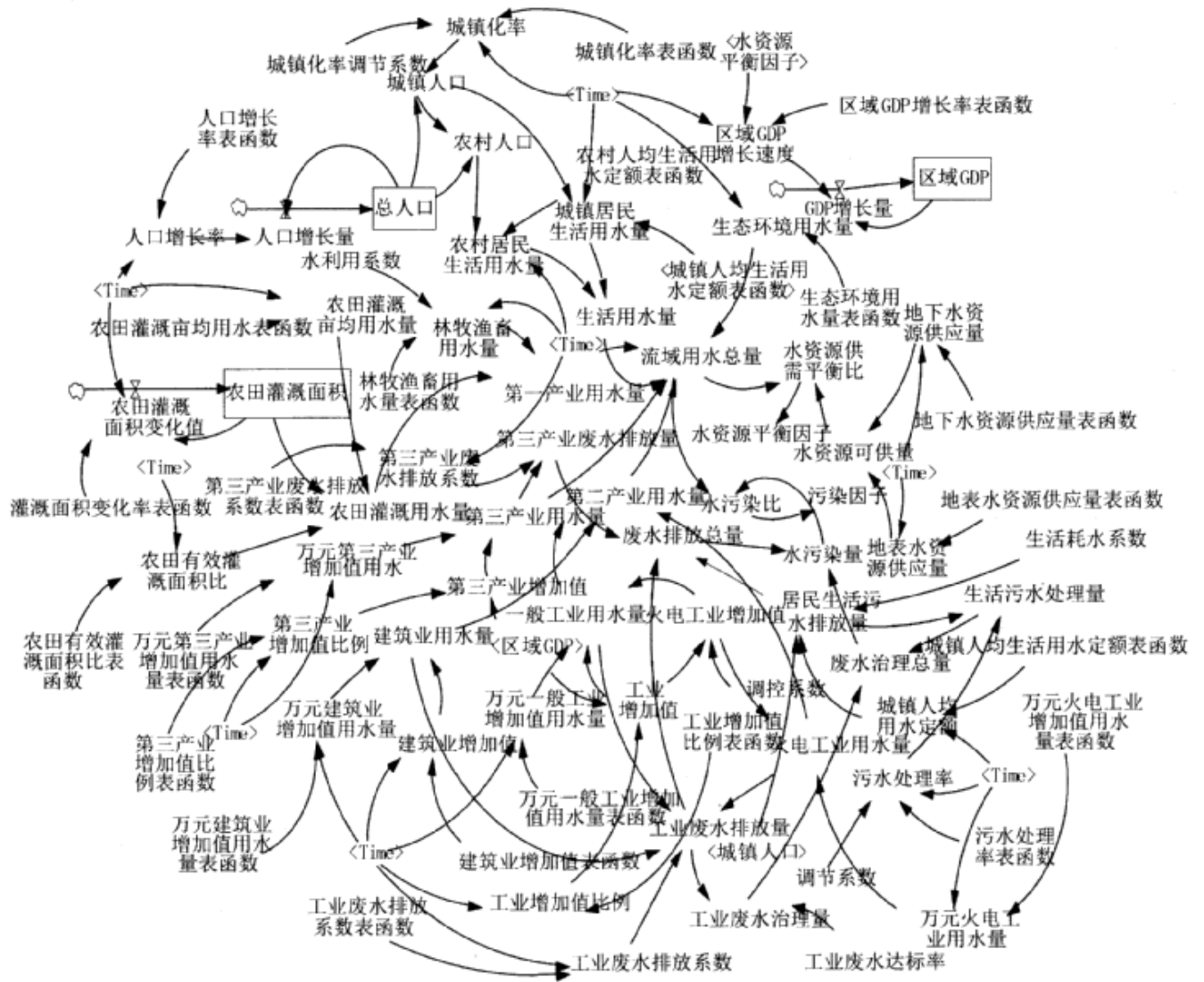


Fig.1 Flow Chart of the System of Water Resources Composite Utilization in Jiangsu Province

1. 1. 1 模型参数确定与检验

江苏省水资源综合利用系统动力学模型以 2008 年为基准年，模拟时间为 2008 - 2025 年，步长为 1 a。其中 2011 - 2014 年为检验模拟阶段；2015 - 2025 年为预测模拟阶段。模型中参数选取主要来自《江苏省水资源公报》、《江苏省统计年鉴》、《江苏省“十二五”规划》、《江苏省水资源综合规划》等。模型中用到的主要状态变量的初始值采用整理得出的江苏省 2008 年的统计数值，而随时间变化的变量采用表函数的方式予以定义^[6]。

通过将 2011 - 2014 年总人口、区域 GDP 总量、第一产业用水量三个变量的历史数据与模型仿真输出结果进行一致性检验，相对误差介于 -0.03 % - 4.56 %，说明模型拟合精度较高，可用于模拟和预测。

1. 1. 2 水资源综合利用系统关键调控参数的确定

系统调控参数的确定需要对变量进行灵敏度分析，目的在于分析参数变化对单个用水部门的用水行为以及区域用水结构造成影响是否显著，以识别影响系统运行的关键因子，其计算公式如下^[7]：

$$S_q = \left| \frac{\Delta q(t)}{q(t)} \cdot \frac{x(t)}{\Delta x(t)} \right| \quad (1)$$

式中：t 为时间，q(t) 为变量 q 在 t 时刻的值；x(t) 为变量 x 在 t 时刻的值；S_q 为变量 x 对参数的敏感度，Δ q(t) 和 Δ x(t) 分别为变量 q 和变量 x 在 t 时刻的增长量。敏感度均值表示所有变量对某一参数的敏感度，具有更强的稳定性，从 1 到 n 的敏感度均值可表示为：

$$S = \frac{1}{n} \cdot s_{qi} \quad (2)$$

式中：n 为变量个数；s_{qi} 为 q_i 的敏感度；s 为参数 x 的平均敏感度。

本文选取了水资源供需平衡比、工业废水排放量、需水总量、水污染比、区域 GDP 总量五个变量，计算对系统内 11 个参数的变化敏感度，辨析影响江苏省水资源综合利用系统的关键参数，计算结果如下：

由图 2 可知，灵敏度均值大于 5%，对水资源利用系统影响较大的参数依次为第二产业增加值比例、区域 GDP 增长率、农田灌溉亩均用水量、生活污水处理率、城镇人均生活用水量、万元火电工业增加值用水量、万元一般工业增加值用水量和工业废水排放系数。如何促进关键调控参数朝着正确的方向发展将在很大程度上决定着江苏省能否实现水资源的合理配置，实现高效节水。作为水资源综合利用系统的重要组成部分，关键参数的发展变化情况同时也对产业用水系统产生影响。产业用水子系统是指在经济活动中形成的各大产业及其部门在水资源利用过程中所形成的用水结构，包括农业用水、工业用水和第三产业用水^[8]。

产业用水综合效用分析即计算并评价江苏省各产业及其部门的取水、排污和经济效益的综合情况，8 个参数中生活污水处理率和城镇人均生活用水量不在产业部门分类中，因此在产业用水效用分析中不予考虑。余下的六个参数，可归属为产业部门的取水、排污和经济效益三方面，其中，第二产业增加值比例和区域 GDP 增长率可归为产业部门的经济效益方面；农田灌溉亩均用水量、万元一般工业增加值用水量和万元火电工业增加值用水量可归为产业部门的取水方面；工业废水排放系数可纳为产业部门的排污方面。对产业用水系统三方面综合效用进行测度有利于为优化江苏省产业结构和用水结构提供数据支撑。

表 1 系统动力学模型核心方程

Tab.1 Main Equations of System Dynamic Model

序号	系统动力学模型方程
1	区域 GDP= INTEG (生产总值增长量,3 0981.98)
2	区域用水总量=第一产业用水量+第二产业用水量+第三产业用水量+生活用水量+生态用水量
3	工业废水排放量=(建筑业用水量+一般工业用水量+火电工业用水量)*工业废水排放系数
4	废水排放总量=工业废水排放量+第三产业废水排放量
5	农田灌溉用水量=农田灌溉面积*农田灌溉亩均用水量/10 000*灌溉水利用系数
6	火电工业用水量=火电工业增加值*万元火电工业增加值用水量表函数(Time)/10 000
7	一般工业用水量=(第二产业增加值-火电工业增加值)*万元一般工业增加值用水量/10000
8	农村居民生活用水量=农村人口*农村人均生活用水量表函数(Time)*365/1 000/1 0000
9	污水处理率=调节系数*污水处理表函数(Time)*1.1
10	万元一般工业增加值用水量表函数=[(2008,0)-(2025,50)],(2008,36),(2010,24),(2015,17.9),(2025,10.5)]
11	区域GDP增长率表函数=[(2008,0)-(2025,1)],(2008,0.19),(2012,0.10),(2015,0.08),(2025,0.055)]

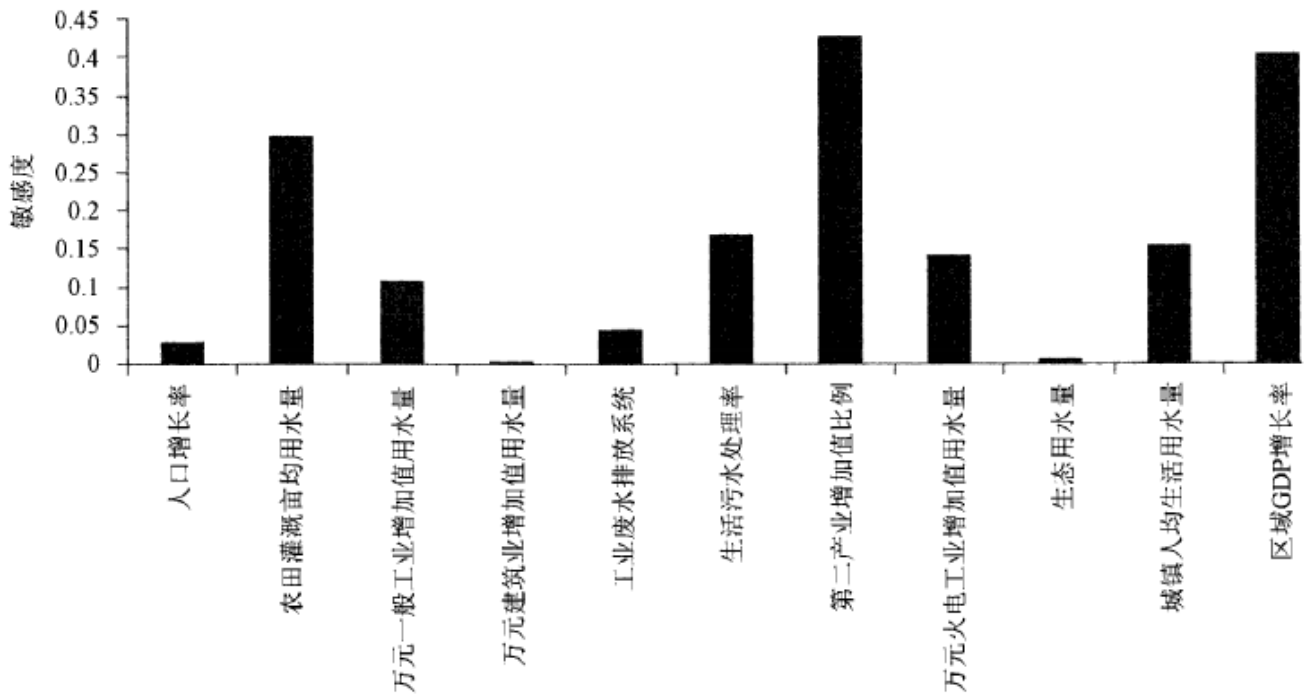


图 2 灵敏度分析结果

Fig.2 Results of Sensitivity Analysis

1. 2 江苏省产业用水综合效用测度方法

投入产出技术是美国著名经济学家 Wassily Leontief 在 20 世纪 30 年代所提出的一类通过国民经济部门之间投入产出的关系，即投入产出表来揭示各部门间经济结构相互依存的分析方法。将水资源投入和废水排放纳入到投入产出表中形成的水资源投入产出模型则直观的揭示了各个用水部门之间用水量、废水排放量及经济效益贡献之间的关系^[9]。

投入产出模型是由变量、系数和函数关系组成的数学表达式，而基本系数是进行投入产出分析的基础。用水效用测度方法就是根据投入产出基本系数建立的数学公式，排污系数和取水系数计算方法一致，本文主要对直接取水和完全取水系数加以解释。直接取水系数、完全取水系数计算公式分别为

$$Q_j^{wx} = \frac{W_j}{x_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$BQ_j^{wx} = Q_j^{wx} (1 - A)^{-1} \quad (4)$$

式中： Q_j^{wx} 为直接取水系数矩阵； BQ_j^{wx} 为完全取水系数矩阵； W_j 为第 j 部门用水量矩阵； x_j 为第 j 部门总产出矩阵； $(1 - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵。

1. 2. 1 取水特性指标

部门在进行生产产品和服务时需要用水，还需要一定数量其他部门生产的产品和服务作为中间投入，而其生产过程同样需要用水。完全取水系数就是用来分析某一部门取水量与整个经济系统取水量之间的关系^[10]，因此将其作为取水特性指标更能够客观地反映某行业发展对当地水资源的需求情况，计算表达形式为：

$$B_{wv} = B_{wx} \hat{X} \hat{V}^{-1} \quad (5)$$

式中， $B_{wv} = (b1^{wv}, b2^{wv}, \dots, bn^{wv})$ 。 B_{wv} 是以增加值计的完全取水系数矩阵； bi^{wv} 为以增加值计的第 i 部门完全取水系数； B_{wx} 为以产值计的完全取水系数矩阵， \hat{x} 、 \hat{V} 分别为各部门总产出、增加值总量为元素的对角矩阵。

1. 2. 2 排污特性指标

完全排污系数主要用来分析某产业部门排污量与整个经济系统排污量之间的关系。本文的排污特性指标只考虑废水排放情况。某一部门废水完全排放系数为该部门每增加一万元的最终产品，整个经济系统所累计增加的废水排放量^[11]。其表达形式为：

$$B_{pv} = B_{px} \hat{X} \hat{V}^{-1} \quad (6)$$

式中： $B_{pv} = (b1^{pv}, b2^{pv}, \dots, bn^{pv})$ ， B_{pv} 是以增加值计的完全排污系数矩阵； bi^{pv} 是以增加值计的第 i 部门完全排污系数。 B_{pv} 为以产值计的完全排污系数矩阵。

1. 2. 3 经济效益特性指标

经济效益是一切经济活动的核心，是所获成果和各种耗费的对比，本文选取水资源投入产出表中各产业部门总产出与总成本的比值作为经济效益指标^[12]，其计算公式为：

$$\alpha_i^e = \frac{X_i}{H_i + D_i + V_i} \quad (7)$$

式中： X_i 是某产业部门的总产出； H_i 是在中间流量部分，各部门在生产过程中消耗的货物和服务量； D_i 为增加值中的固定资产折旧； V_i 表示各部门在生产过程中所消耗的劳动量。

2 江苏省产业用水综合效用分析

以江苏省 2010 年现价水资源投入产出表为基础，根据产业用水效用测度方法，以各产业部门增加值量、用水量和废水排放量为决策变量，设计了“效益导向型”方案、“节水治污型”方案及“协调发展型”方案三种模拟方案，依据系统动力学模型 2025 年的输出结果，分析各方案下的重点产业部门用水综合效用。

2. 1 产业发展模拟方案设计思路

产业发展模拟方案的设计主要包括取水、排污和经济效益三方面。依据产业各部门内在联系性和参考《国民经济分类》，将江苏省国民经济部门划分为 21 个部门，分类结果见表 2。通过对各方案下产业部门三项效用指标赋予不同的权重，进而计算出各方案下产业用水综合效用情况。其中，指标权重越大，说明对该指标的重视程度越高，权重越小，则该指标在产业发展过程中容易被忽视，产业用水综合效用评价指标为各部门单项指标值与其相应权重相乘再加总之和，计算公式为：

$$Z_j = bi^{wv} \times w_i^w + bi^{pv} \times w_i^p + \alpha_i^e \times w_i^e \quad (8)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

式中： Z_j 位产业用水综合效用； bi^{wv} 为第 i 部门完全取水系数； bi^{pv} 为第 i 部门完全排污系数； α_i^e 为第 i 部门经济效益系数， w_i^w 、 w_i^p 、 w_i^e 分别为第 i 部门取水、排污、经济效益指标的权重。

首先对取水、排污和经济效益 3 项指标进行标准化处理^[13]，标准化公式为：

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i(x_{ij})}{\max_i\{x_{ij}\} - \min_i\{x_{ij}\}} \quad (9)$$
$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

经过标准化所得的新数据，各数值范围在 0 - 1 之间。在标准化处理过程中，选取取水和排污指标的倒数值，因此 3 项指标均属越大越优型。根据计算结果，分别将三种方案下各产业部门用水特性进行排序，选择产业用水综合效用评价指标排名靠前的 8 个部门作为各方案的重点发展部门，据此进行产业发展模拟方案的设计。

2. 2 产业发展模拟方案

“效益导向型”方案强调在产业发展过程中，谋求经济效益的最大化，不考虑取水和排污情况，因此将经济效益指标权重设定为 1，取水和排污指标为 0；“节水治污型”方案遵循节约减排原则，走生态发展型道路，取水和排污指标分占 0.5，经济效益 0；“协调发展型”方案在产业发展过程中在考虑经济效益的同时，兼顾取水和排污情况，其指标权重数值的确定依据 AHP 的决策分析的权重计算方法，分别为 0.3196、0.1219 和 0.5584。经计算，矩阵符合一致性要求。

根据公式（5）、（6）、（7）可计算得到各产业部门取水、排污和经济效益数值，根据公式（9）可得到各指标的排序情况；由公式（8）可得到不同发展方案下产业部门综合用水特性排序情况，具体结果见表 2。

表 2 江苏省国民经济各部门特性分析

Tab.2 Characteristic Analysis of National Economy Sectors in Jiangsu Province

行业	取水指标	排污指标	经济效益指标	“效益导向型”方	“节水治污型”方	“协调发展型”方
				案部门排序	案部门排序	案部门排序
农业	0.000 0	0.083 2	0.000 0	21	18	21
煤炭采选业	0.222 0	0.366 8	0.290 0	16	4	13
石油天然气	0.198 9	0.294 5	0.819 8	2	5	3
其他采掘业	0.073 7	0.074 5	0.441 5	11	9	11
食品工业	0.009 9	0.060 5	1.000 0	1	19	2
纺织工业	0.031 5	0.071 1	0.724 0	3	14	4
森林工业	0.026 2	0.069 9	0.477 5	8	16	10
造纸工业	0.057 9	0.043 1	0.370 3	12	15	16
化学工业	0.038 6	0.006 2	0.569 4	5	21	7
建材工业	0.075 9	0.082 4	0.482 8	7	10	8
冶金工业	0.051 9	0.054 1	0.456 0	10	13	12
机械设备工业	0.093 9	0.075 0	0.524 9	6	8	6
电子仪器	0.097 5	0.073 9	0.291 9	14	7	17
其他制造业	0.040 3	0.067 7	0.458 3	9	12	14
电力工业	0.000 0	0.069 7	0.262 0	17	20	18
水的生产和供应业	0.167 1	0.057 8	0.321 5	13	6	15
建筑业	0.083 6	0.000 0	0.228 7	18	17	19
运输邮电业	0.426 5	0.408 8	0.192 7	19	2	9
批发和零售业	1.000 0	1.000 0	0.665 3	4	1	1
住宿餐饮业	0.052 5	0.093 3	0.048 5	20	11	20
其他服务业	0.434 0	0.372 4	0.291 7	15	3	5

由表 2 可知，在取水指标中，20 10 年江苏省各行业完全取水量存在较大差异，其中电力行业的取水量最大，其次是食品加工工业和纺织业；完全取水量的多少与行业的生产方式有关，如电力行业需要大量的水资源作为动力来源，并且其生产过程需要消耗大量其他行业提供的产品和服务作为中间投入，导致其用水量较多；而批发零售业、运输邮电业等行业在生产经营过程中将水资源放在并不突出的位置，用水量相对较少。

在排污指标中，建筑业、冶金和化学工业的完全废水排放量较大，此类行业往往包含较多高排污的生产过程，如化学工业在将化工原料转化为化工产品的过程中伴随着大量的废水排放；批发零售业、其他服务业等行业生产过程较为清洁，产生的废水较少，对生态环境造成的压力也较小，未来应大力发展此类行业以缓解江苏省水资源供需矛盾和水污染严重问题。

在经济效益指标中，食品工业、石油天然气、纺织工业等行业排名靠前，表明这些行业的投入产出比最小，在不考虑排污和节水条件下可优先发展这些行业。住宿餐饮业虽然对经济的贡献较大，但付出的经济成本也很大，因此在经济效益指标排序中居于下游。

综合各行业取水、排污和经济效益指标的排序情况，江苏省产业发展模拟方案设计如下表 3 所示。

表3 江苏省产业发展模拟方案

Tab.3 Simulation Scenarios for Industry Development in Jiangsu Province

产业发展模拟方案	重点发展部门
“效益导向型”	食品工业、石油天然气、纺织工业、批发零售业、化学工业、机械设备工业、建材工业、森林工业
“节水治污型”	批发零售业、运输邮电业、其他服务业、煤炭采掘业、石油天然气、水的生产和供应、电子仪器、机械设备工业
“协调发展型”	批发和零售业、食品工业、石油天然气、纺织工业、其他服务业、机械设备工业、化学工业、建材工业

2.3 方案结果分析

为更好的对江苏省水资源进行合理的优化配置，发挥产业部门组合的最优效果。方案的优选应该符合产业部门增加值最大化、用水量及废水排放量最小化的综合目标，这也与系统动力学模型输出的关键调控参数一致。江苏省水资源综合利用系统模型的模拟时段为2008 - 2025年，通过模型模拟可求解出2025年江苏省产业用水总量为424.68亿t、总增加值为132094亿元、废水总排放量为22.58亿t，具体结果见图3。

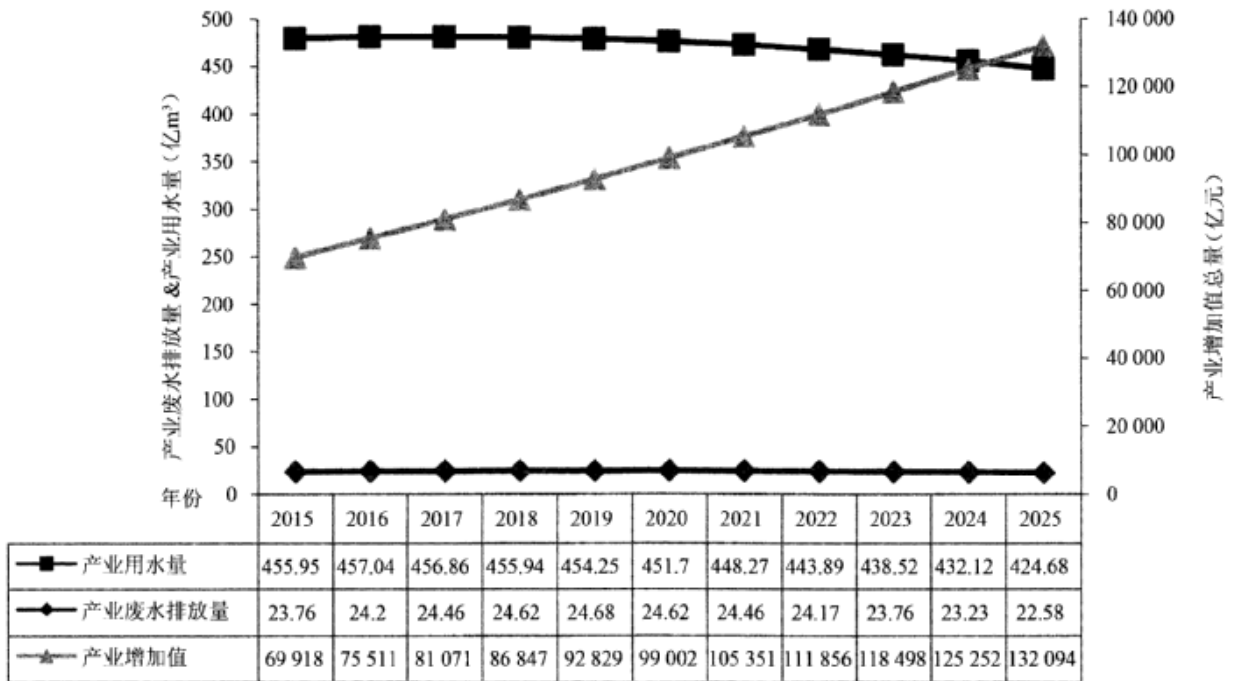


图3 水资源综合利用系统动态模拟结果

Fig.3 Dynamic Simulation Results of the System of Water Resources Composite Utilization

以江苏省2010年现价水资源投入产出表计算比例结果为基准，假定各部门的用水量、废水排放量和增加值量占各产业总量的比例在模型模拟时间段内保持不变，由此可计算出2025年各发展方案下重点发展部门的产业用水综合效用情况，结果如表4所示。

表 4 各发展方案下江苏省重点产业部门用水综合效用

Tab.4 Comprehensive Water Utility of Key Industrial sectors under Multi-cases in Jiangsu Province

产业发展模拟方案	总增加值(10^8 元)	总用水量(10^8m^3)	万元增加值用水量(m^3)	总废水排放量(10^6m^3)	万元增加值废水排放量(m^3)
“效益导向型”	55 429	43.29	7.81	8.77	1.58
“节水治污型”	78 403	30.18	3.84	6.21	0.79
“协调发展型”	85 334	53.89	6.31	11.00	1.28

从经济贡献方面来看，“效益导向型”方案重点产业部门总增加值在 3 种方案中最低，占 2025 年产业部门总增加值不到 42%；“节水治污型”方案位居次位，约占总增加值的 60%；而“协调发展型”产业发展方案增加值最高，达到了 85 334 亿元，这与其产业主要包括批发零售业、其他服务业等高产值行业有密切关系。

从用水量上来看，“节水治污型”方案用水最少，这与其包含较多节水型行业如批发零售业、运输邮电业等行业是分不开的；由于机械设备工业和化学工业是用水大户，导致“协调发展型”方案用水量最大，从用水效益上来看，“效益导向型”方案产业部门万元增加值用水量最大，此类方案下产业部门往往过于强调提高经济效益而忽视对水资源的节约利用，“节水治污型”和“协调发展型”方案包括了较多的低耗水行业，用水效益较高，在水资源约束条件下，理应采用这两种发展方案对江苏省用水结构进行优化升级。

从排放污水上来看，“协调发展型”方案总废水排放量最大，为 11 亿 m^3 ，若采用此方案作为江苏省未来发展优化方案将对生态环境造成较大的影响，“效益导向型”方案的万元增加值废水排放量在 3 种方案中最高，达到了 1.58 m^3 ，几乎是“节水治污型”方案的两倍，由此可见，若仅以经济效益目标作为产业发展调整的依据，将对生态环境造成巨大的压力，“节水治污型”方案总废水排放量和万元增加值废水排放量均最小，分别为 6.21 亿 m^3 和 0.79 m^3 ，该方案体现了与自然生态协调发展的理念，是一种可持续发展的方案。

综合经济贡献、用水量和排污情况来看，将“节水治污型”产业发展方案作为最终的优选方案，将有利于经济社会的良性发展。

3 结论

江苏省正处于从建设全面小康社会向实现基本现代化转变的关键时期，这需要大量产业基础作为前提条件，但同时也给环境和水资源提出了新的挑战，通过对三种发展方案下重点产业部门用水综合效用的分析，结果对比显示“节水治污型”方案为最优，在实际产业发展过程中江苏省要做到考虑经济效益的同时，兼顾节水和治污，以实现社会可持续协调发展。

(1) 经济效益是一切经济活动的源泉，是产业发展最终的目的，江苏省要想发挥“节水治污型”方案应有的效果，需要提高产业部门的经济效益。为此，应大力发展批发和零售业、纺织工业等经济效益高的产业，加快传统行业的技术改进速度，增大产品的附加值；进一步提高服务业在国民经济中的比重，重点培育和壮大现代服务业，促进服务业聚集式发展。

(2) 节水是江苏省实行最严格水资源管理制度的重要举措, 要想实现在用水总量控制约束下的社会综合效益最大化, 必须进行产业结构和用水结构的双向优化。未来江苏省要进一步提高产业的用水效率, 大力发展水资源的循环利用; 逐步降低高耗水行业的比重, 优先发展运输邮电业、其他服务业等耗水量少的行业, 优化用水格局, 形成节水型的产业结构。

(3) 治污既能改善水环境状况, 又能增加水资源量, 是“节水治污型”方案另一重要举措, 未来江苏省要逐步提高工业废水处理率和回用率, 提升工业废水处理深度, 对废水排放严重的行业如建筑业、电力工业、化学工业、等实行严格的污水排放监控, 同时加大对污染物处理的投资, 提高废水处理项目的完成率, 保障生态安全。

参考文献:

- [1] 蒋桂芹, 于福亮, 赵勇. 区域产业结构与用水结构协调评价与调控——以安徽省为例[J] . 水利水电技术, 2012, 43 (6) : 8-13.
- [2] REYNAUD A . An econometric estimation of industrial water demand in France [J] . Environmental and Resource Economics, 2003, 25 (2) : 213-232 .
- [3] 刘慧敏, 周戎星, 于艳青, 等. 我国区域用水结构与产业结构的协调评价[J] . 水电能源科学, 2013, 31 (9) : 159-164.
- [4] 韩雁, 黄跃飞, 王光谦. 水资源复合系统动力学仿真模型研究[J] . 水电能源科学, 2010, 28 (10) : 26-30.
- [5] 钟永光, 贾晓菁, 李旭. 系统动力学[M] . 北京: 科学出版社, 2012 .
- [6] 张玲玲, 王宗志, 李晓惠, 等. 总量控制约束下区域用水结构调控策略及动态模拟[J] . 长江流域资源与环境, 2015, 24 (1) : 90-96 .
- [7] 袁绪英, 吴宜进, 李星明. 流域系统动力学模型的全耦合问题研究进展[J] . 环境科学与管理, 2012, 37 (4) : 68-71.
- [8] 陈静, 杨凯, 张勇, 等. 灰色协调度模型在产业用水系统分析中的应用[J] . 长江流域资源与环境, 2008, 17 (5) : 688-692.
- [9] 廖明球. 投入产出及其扩展分析[M] . 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2009 .
- [10] WANG L , MACLEAN H L , ADAMS B J . Water resources management in Beijing using economic input-output modeling [J] . Canadian Journal of Civil Engineering , 2005 , 32 (4) : 753-764 .
- [11] CHANAN A , KANDASAMY J , SHARMA D . A role for input-output analysis in urban water policy decisions in Australia [C] . Seville, Spain: International Input Output Meeting on Managing the Environment , 2008. (请核对文献类型)
- [12] 严婷婷, 贾绍凤. 河北省国民经济用水投入产出分析[J] . 资源科学, 2009, 31 (9) : 1522-1528.

[13] 陈秀芬. 基于信息熵的厦门市用水结构演变及其驱动力的灰色关联分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(2): 188-191.