

MOP 与 SD 组合模型在工业用水结构优化中的应用

张 辉 张宏伟

(天津大学环境科学与工程学院,天津 300072)

摘要 :简要介绍 MOP 与 SD 组合模型(多目标规划与系统动力学的整合模型)的工作步骤,以天津市为例,研究该模型在工业结构优化中的应用,并具体比较了利用该模型优化工业结构前后的水资源利用情况,以确定最佳的工业行业规模,实现水资源在工业利用中的合理配置。

关键词 :水资源利用 ;工业结构优化 ;多目标规划 ;系统动力学

中图分类号 :TV213.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2008)02-0042-03

Application of MOP-SD model to optimization of industrial water use structure

ZHANG Hui , ZHANG Hong-wei

(School of Environmental Science and Engineering , Tianjin University , Tianjin 300072 , China)

Abstract : The procedure of the mixed-model MOP-SD , a model based on multi-objective programming and system dynamics theory , was presented in brief. Its application to optimization of industrial structure was studied , using Tianjin City as an example. Based on comparison of the utilization of water resources before and after the model was used for optimization , the optimal scales for achieving rational allocation of industrial water resources were determined.

Key words : utilization of water resources ; optimization of industrial structure ; multi-objective programming ; system dynamics

随着我国社会经济的高速发展,资源的过度消耗和环境急剧恶化等问题不断显现。与先进国家相比,我国工业万元增加值用水量仍然很高,许多高耗水、高污染、低产出的工业行业仍在不断新建、扩建,这将进一步加剧水资源危机,同时也不符合水资源可持续利用要求。采用科学的方法合理调整工业产业结构,向低耗水、低污染、高产出的产业方向发展,对于水资源可持续利用的意义非常显著^[1]。

工业产业结构直接影响水资源需求量的大小,目前对工业产业结构调整的研究主要是利用数学规划或者系统模拟技术。数学规划又分为单目标规划和多目标规划等,系统模拟技术则有神经网络、系统动力学等多种方法^[2]。然而,目前对这一问题的研究方法大都比较单一,要么用数学规划法,要么用系统模拟法,将数学规划和系统模拟技术组合在一起共同研究应用的较少。本文利用 MOP 与 SD 组合模

型(基于多目标规划和系统动力学的整合模型)研究工业产业结构调整问题,从而实现水资源在天津市工业系统中的优化配置。

1 模型介绍

MOP 与 SD 组合模型是将系统动力学模型和多目标规划模型有机地结合在一起,构成一个完整的模型体系,是工业产业结构调整的决策支持系统。该模型能够充分反映系统发展所固有的趋势性和连贯性,正确描述系统的结构和功能,最终得出可信度高、合理性强的结果。组合模型主要工作步骤如下:①首先分析工业系统中与水资源利用相关的主要因素,分析它们之间的具体关系和联系纽带,并据此建立系统动力学模型,利用 VENSIM 软件实现模拟,按照工业现状指标初步运行模型,预测规划年的水资源利用情况,找出用水结构的不合理之处;②以系统

动力学模型的运行结果为指导 ,建立多目标规划模型 ,求解得到工业各行业的最佳发展规模 ,制定模拟发展方案 ;③将多目标模型求解结果代入系统动力学模型中 ,再次运行 ,模拟各相关因素参数在合理取值时的水资源利用情况 ,达到工业系统内水资源供需平衡 ,实现资源、环境、效益的合理搭配。

2 实例研究

以天津市为例 ,利用上述模型对该市工业产业结构进行优化调整。

天津市地处华北平原 ,一方面 ,它是一个典型的资源型缺水城市 ,人均水资源占有量仅为 180 m³ ,是全国人均水资源占有量的 1/13 ;另一方面 ,它又是我国北方的重要工业城市之一 ,机械、石化、电子、冶金、纺织、食品、医药和电力热力等为其主要工业行业 ,这些行业增加值之和约占全市工业总增加值的 80%。由于冶金、石化等高耗水行业规模较大 ,尽管工业用水综合重复利用率已达 90% 以上 ,但工业万元增加值用水量仍然处在 35 m³ 以上水平 ,水资源供应不能充分满足工业生产需要 ,已经严重影响该市的经济发展。若要突破水资源瓶颈的制约 ,保证天津市工业持续快速发展 ,除了继续推进工业节水外 ,必须进行工业产业结构调整。

通过分析工业水资源利用系统各影响因素间的关系 ,确定将工业用水费用、工业需水量、工业各行业增加值、工业 COD 排放量等设为系统动力学模型的状态变量 ,将工业用水价格、工业各行业万元增加值用水量等设为辅助变量 ,建立系统动力学模型^[3] ,如图 1 所示。

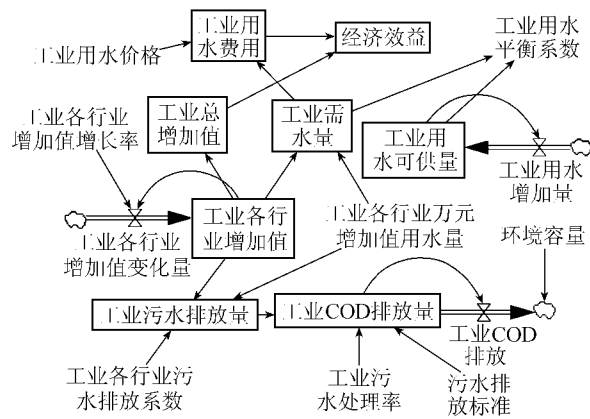


图 1 工业用水系统动力学模型

将数据代入系统动力学模型 ,利用 VENSIM 软件模拟运行 ,得到现状发展趋势下 2010 年的工业行业规模及水资源利用情况 ,结果见表 1。

由表 1 可见 ,如果按照当前发展趋势 ,2010 年工业总用水量将达到 11.6 亿 m³ ,而水资源供应能

表 1 按现状发展 2010 年工业行业规模及用水情况

行业类别	行业规模		用水情况	
	增加值/亿元	百分率/%	用水量/万 m ³	百分率/%
电 子	590	18.1	4719	4.1
机 械	798	24.5	32737	28.2
石 化	453	13.9	22197	19.1
冶 金	284	8.7	13326	11.5
医 药	36	1.1	753	0.6
纺 织	238	7.3	10230	8.8
食品饮料	290	8.9	8992	7.7
电力热力	430	13.2	18928	16.3
其 他	140	4.3	4344	3.7
合 计	3259	100.0	116226	100.0

力仅为 10.7 亿 m³ ,供需比为 0.92 ,水资源不能满足工业需求 ,出现工业用水供需矛盾。

通过分析可以发现 ,存在上述矛盾的原因主要是高耗水的机械、石化、冶金等行业规模所占比例过大 ,而高科技行业如电子产业规模所占比例较小 ,各产业规模分布不够合理。针对这一问题 ,建立多目标规划模型 ,将工业各行业规模设为自变量 ,并将经济效益最大、总用水量和环境污染物总排放量最少设为目标变量 ,将水资源供应能力和环境容量设为约束条件^[4-6]。模型如下。

a. 目标函数：

①经济效益最大

$$F_1(X) = \max\left\{\sum_{i=1}^m X_i(1 - 10000pq_i)\right\}$$

②总用水量最少

$$F_2(X) = \min\left\{\sum_{i=1}^m X_iq_i\right\}$$

③环境污染物(以 COD 为代表)总排放量最少

$$F_3(X) = \min\left\{\left(\sum_{i=1}^m b_iX_iq_i\right)\eta\rho_{\text{COD}}/100\right\}$$

b. 约束条件：

①水量约束

$$\sum_{i=1}^m X_iq_i \leq W_R$$

②环境容量约束

$$\left(\sum_{i=1}^m b_iX_iq_i\right)\eta\rho_{\text{COD}}/100 \leq P_{\text{COD}}$$

③各变量值非负约束

$$X_i \geq 0$$

式中 : X_i 为工业各行业增加值 ,亿元 ; p 为工业用水价格 ,元/m³ ; q_i 为工业各行业万元增加值用水指标 ,m³/万元 ; b_i 为工业各行业污水排放系数 ; η 为工业污水综合处理率 ; ρ_{COD} 为污水处理后 COD 排放质量浓度标准 ,mg/L ; W_R 为工业水资源供应能力 ,万 m³/a ; P_{COD} 为工业生产中 COD 的许可排放量 ,t/a。

将数据首先代入多目标模型,利用 MATLAB 遗传算法工具箱优化求解^[7],调整工业各行业规模,使经济效益、水资源利用量及环境排污三者达到最佳组合,然后再将优化结果代入系统动力学模型,实现水资源在工业利用系统中的连续性,进而得出调整后工业各行业规模以及水资源在这些行业中的分配情况,具体结果见表 2。

表 2 优化后的 2010 年工业行业规模及用水情况

行业类别	行业规模		用水情况	
	增加值/亿元	百分率/%	用水量/万 m ³	百分率/%
电 子	1149	31.8	9 194	8.9
机 械	528	14.6	21 633	21.2
石 化	322	8.9	15 761	15.3
冶 金	87	2.4	4 077	4.0
医 药	163	4.5	3 415	3.3
纺 织	116	3.2	4 973	4.8
食品饮料	275	7.6	8 515	8.3
电力热力	379	10.5	16 697	16.2
其 他	596	16.5	18 486	18.0
合 计	3 615	100.0	102 751	100.0

通过本模型优化后,2010 年天津市工业增加值总体规模达到 3 615 亿元,与优化前的 3 259 亿元相比提高了 10.9%,而水资源使用量却由原来的 11.6 亿 m³ 缩减为 10.3 亿 m³,降低了 11.6%,水资源供需比为 1.04,消除了供需矛盾,能够保证工业正常运行;工业万元增加值用水量由优化前的 36 m³/万元降低到优化后的 28 m³/万元,从这一指标看,效果也很明显。

从工业各行业规模分析,在上述主要研究的 8 个工业行业中,电子和医药制造业的规模明显增大,分别变为原来的 1.95 和 4.53 倍,在工业总增加值中所占的比重分别从 18.1% 和 1.1% 提高到 31.8% 和 4.5%;食品饮料和电力热力生产供应业的规模在优化前后基本没有变化;规模明显变小的行业有机械、石化、冶金和纺织业,其中纺织业规模优化后的增加值仅为优化前的 49%。由于电子行业属于

低耗水、低污染、高产出行业,而机械、石化、冶金和纺织等行业单位增加值用水量且污染物排放量大,因此在目前水资源短缺,环境污染压力大,限制高耗水、高污染行业扩展规模,优先发展科技密集型产业,同时又满足各产业间结构不致失衡的情况下,系统模型将各产业规模向表 2 所列方向调整,实现水资源在系统中的合理配置。

3 结 语

工业作为国家的经济命脉,一方面它的整体发展水平直接影响着我国现代化建设进程和综合国力,另一方面它受水资源的制约程度也越来越大。不同地区水资源承载力不同,这就要求在制定工业发展规划前期,必须全面衡量各工业行业对水资源的依赖程度,以及它们的产出效益、污染排放等众多因素,采用科学、合理的方法,确定与之匹配的产业结构,才符合可持续发展的要求。

参考文献:

[1] 付春,冯尚友.水资源持续利用(生态水利)原理的探讨[J].水科学进展,2000,11(4):436-440.

[2] 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.

[3] 韩俊丽,段文阁.基于 SD 模型的干旱区城市水资源承载力模拟与预测[J].干旱区资源与环境,2005,19(4):188-191.

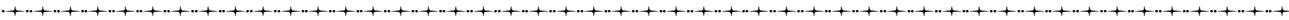
[4] 王丽婧,郭怀成,王吉华,等.基于 IMOP 的流域环境-经济系统规划[J].地理学报,2005,60(2):219-228.

[5] 黄大英.浅谈北京市水资源的合理配置[J].水资源保护,2005,21(4):68-69.

[6] 翁文斌,王忠静,赵建世.现代水资源规划:理论、方法和技术[M].北京:清华大学出版社,2004:131-140.

[7] 曹卫华,郭正.最优化技术方法及 MATLAB 的实现[M].北京:化学工业出版社,2005.

(收稿日期 2006-11-30 编辑 徐 娟)



(上接第 29 页)

[7] 苏玉萍,陈娜蓉,曾招平,等.环境因子对福建省山仔水库浮游植物优势种水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)生长的影响[J].植物资源与环境学报,2005,14(3):42-47.

[8] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4 版.北京:中国环境科学出版社,2002.

[9] 黄详飞,陈伟民,蔡启铭.湖泊生态调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1999.

[10] SCHINDLER D W. The cumulative effects of climate warming

and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2001, 58:18-29.

[11] STRASKRABA M, DOSTALKOVA I. The effects of reservoir on phosphorus concentration[J]. Int Revue Ges Hydrobiol, 1995, 80:403-413.

[12] OSMI K, EISAKU Y. A study on the role of hydraulic retention time in eutrophication of the Asahi River Dam reservoir[J]. Wat Sci Tech, 1998, 37:245-252.

(收稿日期 2007-03-18 编辑 高渭文)