

# Optimization of Industrial Structure in Henan Province—Based on the “12<sup>th</sup> FYP” Energy-Saving Goals\*

Xiangqin Xu, Ruiqin Zhang<sup>#</sup>, Xiaoge Hou, Ke Wang, Bin Wang

The College of Chemistry and Molecular Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou  
Email: <sup>#</sup>xiangxiang8696@126.com

Received: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2013; revised: Apr. 20<sup>th</sup>, 2013; accepted: Apr. 28<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Xiangqin Xu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** It is an urgent problem that how to make the industrial structure adjustment beneficial to the achievement of the energy-saving goals. According to “the 12<sup>th</sup> Five Years” economic development and industry planning in Henan province, bottom-up sector decomposition method was firstly used to predict energy consumption and energy intensity of various sectors and the added value and energy consumption of industry could be got under planning scenarios before the industrial structure optimization. Then the constraint conditions were chosen to build dynamic gray linear programming model for the optimization of industrial structure. Finally, LMDI method was used to decompose energy consumption to verify whether it was more conducive to energy conservation by model optimized. The result showed that industrial structure optimized could ensure a reasonable economic growth and a completion of energy efficiency goals. From the perspective of decomposition results of energy consumption, the industrial structure after a grey linear programming model optimized showed a more obvious suppression on energy and it was more conducive for energy conservation.

**Keywords:** Energy-Saving Goals; Industrial Structure Optimization; Sector Decomposition; Gray Linear Programming; LMDI

## 基于“十二五”节能目标的河南省产业结构优化研究\*

徐香勤, 张瑞芹<sup>#</sup>, 侯小阁, 王克, 王斌

郑州大学化学与分子工程学院, 郑州  
Email: <sup>#</sup>xiangxiang8696@126.com

收稿日期: 2013年3月23日; 修回日期: 2013年4月20日; 录用日期: 2013年4月28日

**摘要:** 如何使产业结构调整能够有利于节能目标的实现是一个亟需研究的问题。文章以河南省“十二五”经济发展和产业规划为依据, 首先采用自下而上的部门分解法对各行业能耗和能耗强度进行预测, 得到产业结构优化前各行业在规划情景下的增加值-能耗预测值。然后选择约束条件, 构建动态灰色线性规划(GLP)模型, 对河南省产业结构进行优化研究。最后采用对数平均迪氏指数分解法(LMDI)对结构优化前后的能耗进行因素分解, 从而验证经模型优化后的产业结构是否更利于节能。研究表明, 产业结构优化后能保证河南省经济的合理增长及节能目标的完成; 从能耗分解结果来看, 经灰色线性规划模型优化后, 结构效应对能耗抑制作用更明显, 产业结构更利于节能。

\*基金项目: 能源基金会中国可持续能源项目(G14884)。

<sup>#</sup>通讯作者: 张瑞芹(1965-), 女, 教授, 主要从事节能减碳与能源经济的研究。

**关键词：**节能目标；产业结构优化；部门分解法；灰色线性规划模型；LMDI

## 1. 引言

“十一五”期间，河南省经济得到快速增长，三大产业比重由 2005 年时的 17.9:52.1:30.0 变为 14.1:57.3:28.6，第二产业尤其是工业比重的进一步增长。为后续的节能减排工作带来巨大的压力。2011 年河南省的能源消费总量较 2010 年增长了 7.6%，达到 23,061 万吨标准煤，如果今后四年能耗增速仍保持在这一水平上 2015 年能源消费总量将达到 30,877 万吨标准煤，河南省将很难完成国家下达的单位 GDP 能耗下降 16% 的节能目标及将能源消费总量控制在 28,500 万吨标准煤的要求。《河南省“十二五”节能减排综合性工作方案》指出要通过加快推进产业优化升级实现节能减排。发达国家对产业结构优化主要是通过产业政策的引导来实现的，政府对产业结构调整干预程度很强，其主要手段就是提出明确的产业政策<sup>[1-3]</sup>。国内一些学者对产业结构优化研究，先是以定性手段提出产业结构优化的措施<sup>[4,5]</sup>，然后逐渐发展到运用定性与定量相结合，如以投入产出方法和多目标线性规划相结合的定量分析方法<sup>[6-8]</sup>。但大多产业结构定量分析模型按三次产业划分，没有进一步细分到各行业。其次产业结构优化没有充分考虑现有经济发展规划等。鉴于现有研究的不足，本文首先对河南省产业进行细分，以“十二五”经济发展及产业规划为依据，对各行业能源消费和能源强度进行预测分析，得到结构优化前各行业的经济-能耗值。然后选择约束条件，构建动态灰色线性规划模型，对河南省产业结构进行优化研究。并用 LMDI 法对模型优化前后的能耗和能源强度进行因素分解，从而分析结构效应对能耗的影响及对能源强度的贡献，最后提出产业结构优化建议。

## 2. 行业划分

按照统计年鉴中对行业的划分及研究要求，本文首先将产业划分为农业、工业、建筑业和第三产业。由于工业占据能耗的比重较大，因此又将工业细分为钢铁、建材、有色金属、化工、煤炭和电力等六大高耗能行业和电子、食品、纺织、轻工及其他四大高附加值行业。居民生活部门无相应的生产产值，但为了

便于说明各产业总能耗计算结果的合理性以及满足规划中合理控制能源消费总量的要求，本文也对居民生活部门做了能耗预测。

## 3. 河南省能耗和能耗强度分析

在分析计算中，采用部门分解法，将各部门分成行业，行业再分成子产品，采用主要产品的产量、增加值、单位产品能耗或单位增加值能耗作行业的活动水平和强度参数，主要依据当前的经济和产业发展规划，采用自下而上的方法对子产品或行业的能耗和能耗强度进行分析，进而预测出整个行业或整个部门的能耗及能源强度。对于居民生活部门，将能耗分为城市和农村两部分，根据国家中长期发展规划，假定河南省到 2025 年的城乡人均生活能耗均达到日本 2005 年的水平，总人口按照年均 0.5% 的速度增加，2015 年城市化率达到 48%。由此可计算出结构优化前各行业在规划情景下的能耗及相应增加值。

## 4. 河南省产业结构优化研究

灰色线性规划(Grey Linear Programming)简称 GLP<sup>[10]</sup>是一种动态的线性规划，现在已被广泛应用到许多领域<sup>[11,12]</sup>，它是研究不确定性决策问题的一种有效方法，也是对传统线性规划(TLP)法的一个发展。在 GLP 模型中，技术系数是可变的灰数、约束值是发展变化的，技术系数和约束值可按 GM(1,1)模型进行预测。其解是一组时间序列值，不但可以知道现有条件下的最优结构，而且可以知道最优结构关系的发展变化情况。本文借助 GLP 模型，求得满足约束条件下的最优产业结构。模型基本形式如下：

目标函数： $f(\mathbf{X}) = \mathbf{C}\mathbf{X} \rightarrow \max(\text{或} \min)$

约束条件： $\otimes(\mathbf{A})\mathbf{X} \leq \mathbf{b}$  或  $\geq \mathbf{b}$ ， $\mathbf{X} \geq 0$

其中， $\mathbf{X}$  为决策变量向量， $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ ； $\mathbf{C}$  为目标函数的系数向量， $\mathbf{C} = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ ； $\otimes(\mathbf{A})$  为约束条件的技术系数矩阵， $\mathbf{A}$  为  $\otimes(\mathbf{A})$  的白化矩阵； $\mathbf{b}$  为约束向量， $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_m]^T$

即在满足  $\otimes(\mathbf{A})\mathbf{X} \leq \mathbf{b}$  或  $\geq \mathbf{b}$ ， $\mathbf{X} \geq 0$  的条件下，寻求一组  $\mathbf{X}$ ，使  $f(\mathbf{X})$  达极大值（或极小值）。

### 4.1. 产业结构优化指标的确定

影响产业结构调整的因素主要涉及到体制改革、产业政策、社会需求结构、最终产品率、技术水平、环境资源容量等<sup>[13-17]</sup>。考虑到所选指标要满足可量化性及数据的可获得性，本文以河南省产业政策、经济发展规划、资源环境容量、劳动力、产品产量等作为河南省产业结构优化指标。对于六大高耗能行业，只有电力行业产品相对单一，如化工、有色金属行业产品种类较多，产品需求不能直接作为约束条件，本文根据“十二五”规划中高耗能行业产品的需求及单位产品能耗下降目标来计算行业能耗，从能耗的角度来反映产品需求及能源利用效率。工业结构优化模型中的约束条件目标值应当满足三次产业结构优化中对工业部门优化的结果。总能耗和总电耗约束中均扣除居民生活消费。根据河南省 2005~2011 年的历史数据，采用 GM(1,1)模型对 2015 年各行业的约束条件和技术系数进行预测，并结合“十二五”规划对数据进行调整。各行业历史数据来源为河南统计年鉴 2006~2012。

### 4.2. 产业结构优化模型的建立

#### 4.2.1. 三大产业优化模型建立

综合考虑，河南省 2015 年全社会的劳动力、资金投入、能耗、电耗应当不超过“十二五”规划值或者模型预测值，粮食产量和建筑面积至少应当能满足全社会的需求。2015 年各约束条件和技术系数的发展变化情况，如表 1 所示。

三次产业结构优化模型建立如下：

$$\text{目标函数: } f(\mathbf{X})_{\max} = \sum_{j=1}^4 x_j$$

$$\text{约束方程矩阵: } \mathbf{A}_x \leq (\geq) \mathbf{b}$$

$$\mathbf{A} = [a_{ij}] (i=1,2,\dots,6; j=1,2,3,4)$$

$$\mathbf{b} = [b_i] (i=1,2,\dots,6)$$

$$\text{决策变量非负约束: } x_j \geq 0 (j=1,2,3,4)$$

其中， $x_j (j=1,2,3,4)$  代表农业、建筑业、工业、第三产业的增加值。

#### 4.2.2. 工业结构优化模型建立

2015 年各约束条件和技术系数的发展变化情况，如表 2 所示。工业结构优化模型建立如下：

$$\text{目标函数: } f(\mathbf{X})_{\max} = \sum_{j=1}^{10} y_j$$

$$\text{约束方程矩阵: } \mathbf{C}y \leq d$$

$$\mathbf{C} = [c_{ij}] (i=1,2,\dots,13; j=1,2,\dots,10)$$

$$d = [d_i] (i=1,2,\dots,13)$$

$$\text{增加值约束: } \sum_{j=1}^{10} y_j \leq m (j=1,2,\dots,10)$$

$$\text{决策变量非负约束: } y_j \geq 0 (j=1,2,\dots,10)$$

其中， $y_j (j=1,2,\dots,10)$  代表钢铁、建材、有色金属、化工、煤炭、电力、电子、食品、纺织、轻工及其他十个行业的增加值， $m$  为三次产业优化模型求得的工业增加值约束。

## 5. 结果与讨论

求解灰色线性规划模型，计算结果可信度为 95%，模型优化前后的产业增加值和相应能源消费量如表 3 所示。

### 5.1. 节能目标及其他指标预测情况

根据研究的要求，优化后的产业结构必须保证河南省经济的合理增长以及“十二五”节能目标等各项指标的顺利完成。经计算，2015 年 GDP 为 31,070 亿

Table 1. The predictive value of constraint variable and technical coefficients of Henan in 2015  
表 1. 2015 年河南省约束变量和技术系数预测值

指标	单位	资源约束值( $b_i$ )	亿元增加值消耗资源量( $a_{ij}$ )			
			农业	工业	建筑业	三产
劳动力	万人	6568	0.789	0.072	0.518	0.202
资金投入	亿元	33,087	0.407	0.98	0.005	1.56
能耗	万 tce	24,920	0.237	1.288	0.139	0.355
电耗	亿 kWh	3173	0.037	0.156	0.027	0.031
粮食产量	万吨	5810	1.94	0	0	0
竣工面积	万 m <sup>2</sup>	27,297	0	0	17.189	0

Table 2. The predictive value of constraint variable and technical coefficients in industrial sector of Henan Province in 2015  
表 2. 2015 年河南省工业部门约束变量值和资源消耗量预测值

指标	单位	约束值( $d_i$ )	亿元增加值所消耗资源量( $c_{ij}$ )									
			钢铁	建材	化工	有色	煤炭	电力	电子	食品	纺织	轻工及其他
资金投入	亿元	15,380	0.356	0.572	1.355	0.665	0.355	0.419	1.651	0.737	1.257	1.524
总能耗	万 tce	20,212	2.624	0.736	1.914	1.939	1.82	9.785	0.204	0.361	0.296	0.519
电耗	亿 kWh	2443	0.3	0.093	0.273	0.366	0.127	0.461	0.063	0.06	0.145	0.113
电力发电量	亿 kWh	3782	0	0	0	0	0	5.406	0	0	0	0
钢铁能耗	万 tce	1702	2.624	0	0	0	0	0	0	0	0	0
建材能耗	万 tce	2004	0	0.736	0	0	0	0	0	0	0	0
化工能耗	万 tce	2192	0	0	1.914	0	0	0	0	0	0	0
有色能耗	万 tce	2117	0	0	0	1.939	0	0	0	0	0	0
煤炭能耗	万 tce	1734	0	0	0	0	1.82	0	0	0	0	0
电子劳动力	万人	47	0	0	0	0	0	0	0.136	0	0	0
食品劳动力	万人	93	0	0	0	0	0	0	0	0.032	0	0
纺织劳动力	万人	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0.083	0
其他劳动力	万人	239	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053

Table 3. The added value and energy consumption predicted results contrast of various industries before and after industrial structure optimization in 2015  
表 3. 2015 年产业结构优化前后各行业增加值-能耗预测结果对比

产业	结构优化前		结构优化后	
	能耗 (万 tce)	增加值 (亿元)	能耗 (万 tce)	增加值 (亿元)
农业	692	2922	710	2995
建筑业	195	1401	253	1818
工业	20,426	15,860	20,134	15,693
钢铁	1702	649	1702	649
建材	2004	2723	1818	2471
化工	2192	1145	2191	1145
有色	2117	1092	2117	1092
煤炭	1734	953	1734	953
电力	6919	707	6845	700
电子	62	306	69	337
食品	958	2654	1007	2788
纺织	244	825	310	1050
轻工及其他	2493	4805	2340	4509
第三产业	3751	10,580	3748	10,563
居民生活	3580	-	3580	-
总计	28,645	30,762	28,424	31,070

元较 2010 年年均增长 9.9%，达到规划中 GDP 年均增长 9% 以上的目标；单位 GDP 能耗为 0.915 吨标煤/万元，较 2010 年下降 17.1%，完成规划中 2015 年所需下降 16% 的节能目标；单位工业增加值能为耗 1.283 吨标煤/万元，较 2010 下降 19.5%，基本满足工业规划中单位工业增加值能耗下降 20% 的要求；三次产业比重为 9.6:56.4:34.0，满足规划中 2015 年第三产业比重达到 33.5% 以上的目标；能源消费总量为 28,424 万吨标煤，完成国家分配的 2015 年将能源消费总量控制在 28,500 万吨标煤的要求；电力消耗为 3595 亿 kWh，完成规划中 2015 年电力消耗量控制在 3850 亿 kWh 的要求。

### 5.2. 结构效应分析

LMDI 法在分解上，因其可以对因素进行完全分解而无残留，在国际上被许多学者广泛运用于对能源、环境进行分解研究<sup>[18-20]</sup>。为了进一步验证经模型优化后的产业结构是否更利于节能，本文采用 LMDI 中的加和分解方法，将能源消费变动的原因为“产出效应”、“结构效应”和“效率效应”，以测量和分析经济产出增加、产业结构变动和产业效率提高对能

源消费和能源强度的影响。在计算中，由于居民生部门无相应产值，因此扣除居民生活能耗。

采用 LMDI 方法对河南省总能源消费进行分解，结果如图 1 所示，在“十一五”期间，影响河南省总的能源消费的三个主要因素中，产出效应和结构效应对能源消费起着正向的拉动作用，效率效应对能源消费起着抑制作用。在“十二五”期间，无论产业结构优化前还是产业结构优化后，效率因素对能源消费的抑制作用均有所减小，而结构效应对能源消费起着明显的抑制作用。另外，在产业结构优化后，在总的能耗增量为 5820 万吨标煤中，其中由产出效应带来的能耗增长仍然最大，达到 10266 万吨标煤，结构效应对能耗产生的抑制作用达到 1680 万吨标煤，效率效应带来的能耗抑制作用达到 2766 万吨标煤，与结构优化前相比，结构效应带来的能耗抑制作用更明显，效率效应变化不大。总体来说，说明经模型优化后的产业结构，更利于降低能源消费。

采用 LMDI 方法对能源强度进行分解，将能源强度分解为效率效应和结构效应两个影响因素，然后通过计算可得出效率效应和结构效应分别对节能目标下降率的贡献，结果如图 2 所示。从图中以看出，“十一五”期间，由于节能技术带来的能源利用效率的提高，使得效率效应对能源强度下降率的贡献达到 24.9%，超过总能源强度下降率。而结构效应对节能目标下降率的贡献呈现出负效，应说明在“十一五”期间，产业结构不利于节能。在“十二五”期间，产业结构优化后，在总的节能目标下降率为 18.6% 中，其中由结构效应对节能目标下降率的贡献达到 7.0%，效率效应达到 11.6%，与结构优化前相比，结构效应对节能目标下降的贡献更明显，效率效应变化不大。

结合河南省实际情况，“十一五”期间，为完成节能目标，河南省通过大力推进节能减排工作，使节能取得了良好成效，则主要表现在能源利用效率的提高上，而产业结构调整方面的效果较弱，“十二五”期间，随着技术节能的难度越来越大，能源利用效率提高的空间越来越小，控制能源消费的重心将由能源效率的提高转移到产业结构调整上。

### 5.3. 工业部门结构分析

河南省工业部门的产业结构如图 3 所示，“十二五”期间，轻工及其他行业增加值比重有所下降，但

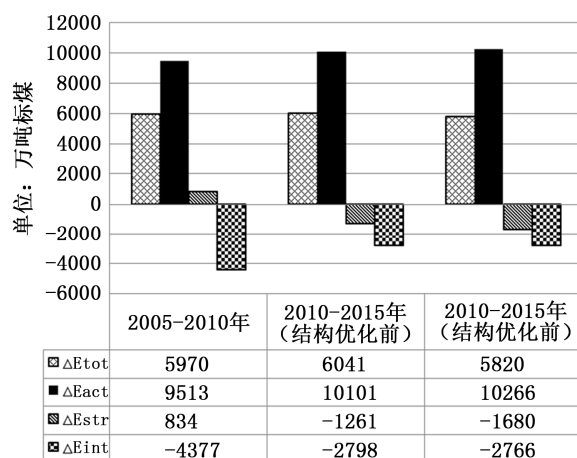


Figure 1. The decomposition results contrast of total energy consumption for Henan Province  
图 1. 河南省总能源消费分解结果对比

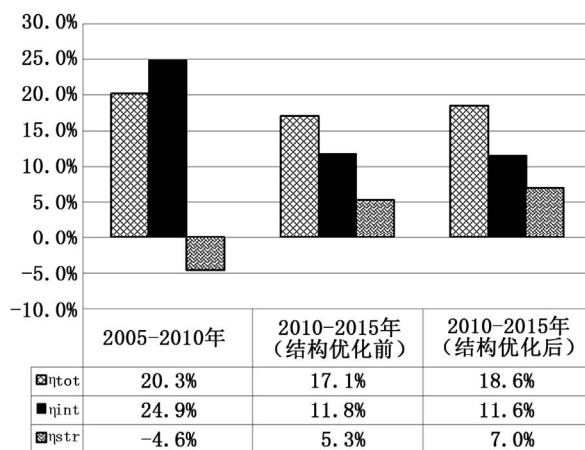


Figure 2. The decomposition results contrast of industrial energy consumption for Henan Province  
图 2. 河南省工业能源消费分解结果对比

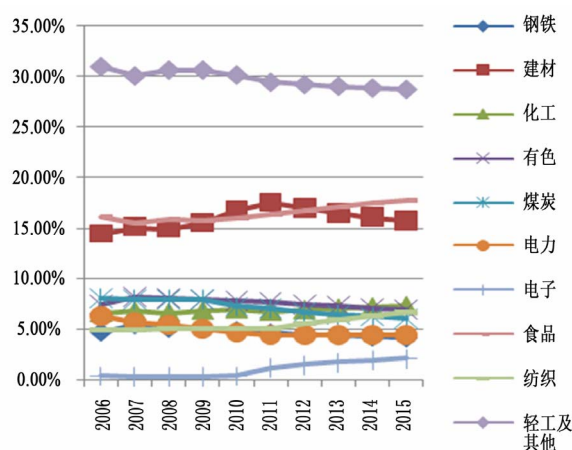


Figure 3. The industrial composition of industrial sector in 2006-2015  
图 3. 2006-2015 年工业部门产业构成

仍占据工业 30%左右,食品、电子、纺织等高附加值行业增长潜力较大,钢铁、建材、有色、煤炭等高耗能行业所占比重有所下降,化工行业的比重上升,电力行业比重较稳定。结合河南省实际情况来看,“十一五”期间钢铁行业 and 传统建材行业如玻璃和水泥,都出现了大量的产能过剩,因此“十二五”期间,其发展速度逐渐放缓,未来的发展中更注重行业内部结构升级,如鼓励发展新型建筑节能材料。煤炭行业由于能源结构的逐步调整和煤炭资源开采利用难度的增大,其发展势必逐步放缓,因此其比重有所降低。钢铁、有色、建材等高耗能行业是工业经济的支柱,随着河南省工业化水平的提高,以及行业自身产业升级的深入,逐步提升发展水平,更重质量而非数量,这是其在工业中占比下降的主因。化工行业是河南的传统优势行业,经济社会的不断发展使得对各种化工产品尤其是精细化工产品需求也不断增加,其在发展中应当提升高附加值、高技术含量产品的比例,禁止盲目的扩张。电力是工业经济发展的基础,随着各行业能源利用效率的不断提高,其他工业行业对电力的依赖度逐步降低,使得电力部门的增长速度低于其他行业,但随着民生活水平的不断提高,居民生活用电需求将加大。河南的电子行业正处于承接发达地区产业转移的高速扩张时期,其在工业中的比重必将不断提高。食品和纺织行业与居民生活息息相关,随着居民生活水平的不断提高,对吃穿的要求也水涨船高,这两个行业需要持续的产业升级以满足人民生活增长的需求。

## 6. 产业结构优化建议

顺利实现产业结构优化升级,仍需立足河南省的省情。河南省在未来需要不断优化农业产业结构,加快农业的规模化和现代化进程,大力发展高效经济作物和特色农业。对于高耗能行业,需要对产品需求进行合理的规划和管理,有效的抑制产能过剩的高耗能产品的生产,同时加大行业内部结构升级,逐步提升发展水平,提高技术含量产品的比例,禁止盲目扩张;电子、食品、新型建材等高成长性产业的增长潜力较大,应当拓宽行业准入条件,优化产业环境,鼓励其发展。对于节能环保、高端装备制造、新材料等战略性新兴产业,河南省目前的发展较为缓慢,主要难点

在于科技研发力量的不足,河南省的发明专利授权数量,科技研发投入、科技人员数量与先进省份相比均有较大差距,要促进河南省战略新兴产业的发展首先要加强对科技研发的扶持和投入。就河南省第三产业来看,目前仍主要由交通运输、批发零售和公共服务等传统服务业组成,而节能环保服务业和信息技术行业等新兴服务业所占比例较小,同时增长也较为缓慢。首先注重优化服务业发展环境。可借鉴国外做法,如注重现代服务性企业在创业和经营过程中的税收优惠,降低现代服务性企业创业初期的投资和经营风险;注重各地特色产业的培育,通过差异化发展拓展发展空间等。同时可引导部分第二产业的资金和从业人员向第三产业转移,例如在服务业中加强对节能服务业的扶持力度,通过推广合同能源管理和支持节能服务公司,引导部分工业领域的能源工作人员和资金转移到专业的节能服务产业中。

## 参考文献 (References)

- [1] 李远. 美国、日本产业政策: 比较分析与启示[J]. 经济经纬, 2006, 1: 48-50.
- [2] 孙文权, 焦振华. 国外产业结构调整经验与借鉴[J]. 时代金融, 2006, 9: 20-21.
- [3] 李桂芹, 张超, 葛守昆. 发达国家近年产业结构调整及对苏南的启示[J]. 企业经济, 2007, 12: 95-97.
- [4] 张丽英, 杨冬梅, 曹志刚. 河北省产业结构调整研究[J]. 特区经济, 2010, 1: 51-52.
- [5] 李录青. 重庆产业结构调整与优化问题研究[J]. 产业观察, 2011, 1: 296-298.
- [6] 王力. 环境约束下江苏省产业结构优化研究[D]. 江南大学, 2008.
- [7] 于娜. 基于节能目标的辽宁省产业结构优化研究[D]. 大连理工大学, 2009.
- [8] 李迎. 基于碳排放的湖北省产业结构优化研究[D]. 华中师范大学, 2012.
- [9] 中国可持续能源实施“十一五”20%节能目标的途径与措施研究课题组. 中国可持续能源实施“十一五”20%节能目标的途径与措施研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 228-229.
- [10] 王学萌. 灰色系统方法简明教程[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 120-125.
- [11] 陈义雄. 灰色线性规划在钢铁冶金中的应用[D]. 东北大学, 2006.
- [12] 刘洪斌. 山东省海洋产业发展目标分解及结构优化[J]. 中国人口资源与环境, 2009, 19(3): 140-142.
- [13] 秦美娇. 影响我国产业结构调整的主要因素分析[D]. 复旦大学, 2002.
- [14] 刘芳, 倪浩. 我国产业结构调整的影响因素分析及相应措施[J]. 技术与创新管理, 2009, 30(3): 322-323.
- [15] A. H. Ji, M. J. Liu. Industrial structure adjustment based on the concept of low carbon: A case of Qingdao City. Energy Procedia, 2011, 5: 1621-1625.
- [16] M. S. Chen, Y. L. Gu. The mechanism and measures of adjustment of industrial organization structure: the perspective of en-

- ergy saving and emission reduction. *Energy Procedia*, 2011, 5: 2562-2567.
- [17] 韩颖, 倪树茜. 我国产业结构调整的影响因素分析[J]. *经济理论与经济管理*, 2011, 12: 53-60.
- [18] A. Hasanbeigi, S. de la Rue du Can and J. Sathaye. Analysis and decomposition of the energy intensity of California industries. *Energy Policy*, 2012, 46: 234-245.
- [19] M. Zhang, X. Liu and W. W. Wang. Decomposition analysis of CO<sub>2</sub> emissions from electricity generation in China. *Energy Policy*, 2013, 52:159-165.
- [20] W. W. Wang, M. Zhang and M. Zhou. Using LMDI method to analyze transport sector CO<sub>2</sub> emissions in China. *Energy*, 2011, 36(10): 5909-5915.