

Study of the Total Energy Consumption Prediction and Industrial Energy Consumption Factors Decomposition in Henan Province*

Bin Wang, Ruiqin Zhang, Xiaoge Hou, Ke Wang, Xiangqin Xu

College of Chemistry and Molecular Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou
Email: jackie3.0@163.com

Received: Mar. 4th, 2013; revised: Mar. 28th, 2013; accepted: Apr. 6th, 2013

Copyright © 2013 Bin Wang 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: In recent years, energy consumption in Henan Province has grown rapidly, with the vast majority of industrial energy consumption. A thorough evaluation of predicting total energy consumption and identifying factors affecting energy consumption, to provide a basis for energy policy-decision, is important for Henan Province to complete the 12th Five-Year energy-saving target. Adjusting the economic and industrial structure, to achieve sustainable economic development is important. The paper uses Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model to predict the total energy consumption during the 12th Five-Year and Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) method to decomposition the factors affecting energy consumption during 2005-2011, in Henan Province. The results show that, the ARIMA model predicting energy consumption is good and the model can be used as energy forecasting tools in Henan Province. During the 12th Five-Year period, the total energy consumption in Henan Province will continue to grow and maintain a high growth rate. Between 2005 to 2011, energy-saving in Henan is relied on enhanced energy efficiency, especially with high energy consuming industries, with the inferior contribution from structural adjustment. Nonetheless, economic restructuring and energy saving remain the main task of the future economic development in Henan Province.

Keywords: Energy Consumption; ARIMA Model; Prediction; LMDI; Factor Decomposition

河南省能源消费总量预测及影响因素研究*

王 斌, 张瑞芹, 侯小阁, 王 克, 徐香勤

郑州大学化学与分子工程学院, 郑州
Email: jackie3.0@163.com

收稿日期: 2013年3月4日; 修回日期: 2013年3月28日; 录用日期: 2013年4月6日

摘 要: 近年来河南省能源消费增长很快, 其中工业能耗占绝大部分, 做好河南省能源消费总量的预测及其影响因素的研究, 为能源工作决策提供科学依据, 对河南省能够科学、合理的完成“十二五”节能目标, 调整经济结构, 实现经济的可持续发展具有重要意义。本文运用 ARIMA 模型对河南省“十二五”期间能源消费总量进行了预测, 并采用 LMDI 分解法对河南省能源消费影响因素进行了分解研究。结果表明, ARIMA 模型对河南省能源消费总量的预测效果较好, 可以作为河南省能源预测工具; “十二五”期间, 河南省能源消费总量仍将以较高的速度持续增长; 2005~2011 年河南省节能主要依靠能源效率的提高, 其中以工业中的高载能行业表现最为明显, 而各行业结构调整的贡献普遍偏小, 经济结构调整和节能减排依然是我省今后经济发展的主要任务。

*资助信息: 美国能源基金会中国可持续能源项目(编号 G14884)。

关键词：能源消费；ARIMA 模型；预测；LMDI；因素分解

1. 引言

能源是经济社会发展的重要物质基础，近年来河南省的能源消费增长很快，2010 年全省能源消费总量已达 21,438 万吨标准煤，占全国的 6.60%，而同期河南省 GDP 只有全国的 5.80%，节能形势十分严峻。“十一五”期间，河南省大力落实节能减排方针政策，实施节能目标和考核责任制等管理办法，取得了良好成效，完成了节能目标，但由于目标制定、目标管理在科学性和有效性等方面尚有不足，在一定程度上出现了不能合理安排节能减排进度，不能及时对目标完成落后情况进行预警和调整，导致在“十一五”末为保证节能目标的完成，出现限电限产等非常规措施，造成巨大的经济损失和社会影响。因此，能源消费研究的重要性逐步凸显出来。

能源消费总量的预测及其影响因素的分析是能源研究的基础工作，对河南省能够科学、合理的完成“十二五”节能目标，调整经济结构，实现经济的可持续发展具有重要意义。本文以《河南省统计年鉴》中的能源和经济数据为基础，采用时间序列分析中的 ARIMA 模型对“十二五”期间河南省能源消费总量进行预测，运用 LMDI 因素分解方法对 2005~2011 年河南省能源消费和工业能源消费影响因素进行分解分析，摸清基本情况，为能源规划与管理提供科学依据。

2. 河南省能源消费总量的预测

2.1. 模型简介

ARIMA 模型全称是差分自回归移动平均模型 (Autoregressive Integrated Moving Average)，最早由 Box 和 Jenkins 于上世纪 70 年代初提出^[1]。ARIMA 模型在预测过程中既考虑了时间序列的相关性，又考虑了随机波动的干扰性，对于序列短期趋势的预测准确率较高，是近年应用比较广泛的一种时间序列分析和预测方法。

ARIMA 模型有三个基本类型，即：自回归模型 AR(p)、移动平均模型 MA(q)和自回归移动平均模型 ARMA，I(d)为 d 阶差分单整过程^[2]。

自回归模型 AR(p)可以表示为：

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \alpha_t$$

移动平均模型 MA(q)可以表示为：

$$Z_t = \alpha_t + \theta_1 \alpha_{t-1} + \theta_2 \alpha_{t-2} + \dots + \theta_q \alpha_{t-q}$$

自回归移动平均模型 ARMA 可以表示为：

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \dots - \theta_q \alpha_{t-q}$$

ARIMA 模型预测，一般分为四步^[3]：一是平稳性检验。一般通过观察时序图和 ADF 检验进行，对非平稳序列进行差分等平稳化处理，可求出 I(d)；二是模型识别。利用序列的自相关和偏自相关系数判断模型类型和滞后阶数 p、q；三是模型筛选。根据 AIC(Akaike information criterion)和 SC(Schwarz Criterion)最小，R² 最大等原则筛选最佳模型^[4]；四是模型检验和预测。

2.2. 预测计算

2.2.1. 序列的平稳化检验

河南省历年能源消费总量有明显的增长趋势，不是一个平稳序列，需进行平稳化处理。为消除序列的异方差性，更易实现平稳，首先对河南省能源消费总量序列 E 取对数，令 LNE = ln(E)，而后差分处理，发现二阶差分后序列通过了平稳性检验(表 1)，由此确定模型中 d = 2。

2.2.2. 模型的识别与筛选

计算序列 LNE 二阶差分后的自相关系数和偏自相关系数，以确定模型类型。由图 1 可看出，二者均呈拖尾形态，因此选用 ARMA 模型。

Table 1. Unit root test results of second-order differential sequence of LNE

表 1. 序列 LNE 二阶差分后单位根检验结果

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-7.179	0.000
Test critical values:		
1% level	-3.670	
5% level	-2.964	
10% level	-2.621	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

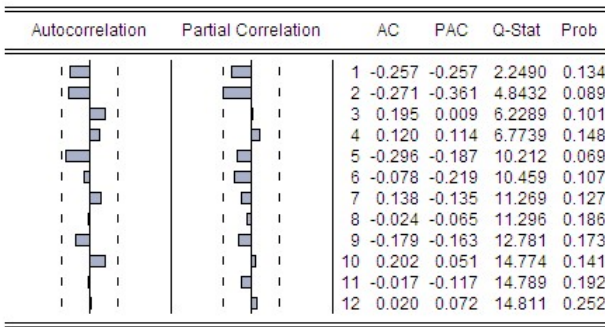


Figure 1. Second-order difference autocorrelation and partial autocorrelation analysis of sequence LNE
图 1. 序列 LNE 二阶差分后的自相关和偏自相关分析图

图中，偏自相关系数显著不为零的阶数为 1、2，即 p 可取 1 或 2；自相关系数显著不为零的阶数为 1、2 和 5，即 q 可取 1、2、或 5。由此待选模型有 ARMA(1,1)、ARMA(1,2)、ARMA(1,5)、ARMA(2,1)、ARMA(2,2)、ARMA(2,5)，对比上述模型的拟合参数，发现 ARMA(2,5) 模型调整后的 R² 值较优，而 ARMA(2,2) 模型的 AIC 和 SC 值最优，因此对模型 ARMA(2,2) 和 ARMA(2,5) 进行拟合，做进一步分析。

分析模型 ARMA(2,2) 和 ARMA(2,5) 的拟合效果和残差相关分析图(图 2)，发现 ARMA(2,2) 模型的拟合效果和 Q 检验值更优，因此选定模型为 ARIMA(2,2,2)。

图 2 右侧一列概率值均大于 0.05，说明所有 Q 值都小于 0.05 检验水平下 χ^2 的分布临界值，可知残差序列近于白噪声，模型拟合效果良好。

2.3. 预测结果

依前述结果，模型 ARIMA(2,2,2) 可拟合为：

$$X_t = -0.177X_{t-1} - 0.742X_{t-2} - 0.948\alpha_{t-2}$$

其中 $X = \Delta^2 LNE$, $LNE = \ln(E)$ 。

图 3 是应用 ARIMA(2,2,2) 对 1978~2010 年河南省能源消费总量的模拟计算结果，模拟值与原值重合较好，其中相对误差最大的为 1999 年和 2005 年，分别为 6.71% 和 9.32%，其余均在 5% 以下，平均相对误差 2.86%，可以认为模型具有良好的拟合效果。

应用 ARIMA(2,2,2) 模型对 2015 年河南省能源消费总量进行预测(表 2)，结果显示：2011 年河南省能源消费总量为 22702.32 万吨标准煤，与《河南省统计年鉴 2012》中的 23061.88 万吨标准煤相差 1.56%，

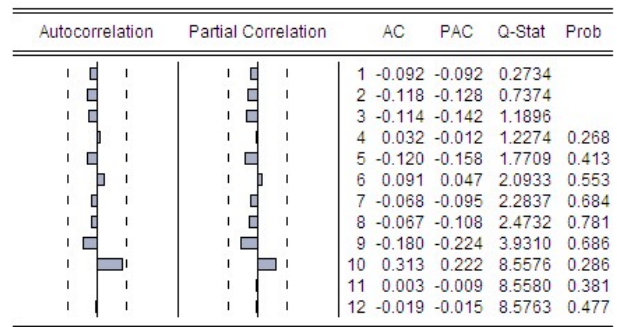


Figure 2. Autocorrelation and partial autocorrelation analysis of residual series
图 2. 残差序列自相关和偏自相关分析图

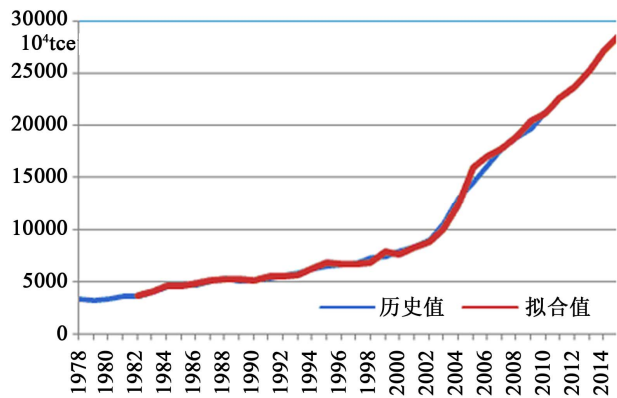


Figure 3. Results of total energy consumption predicting in Henan Province, 1978-2015
图 3. 河南省 1978~2015 年能源消费总量拟合结果

Table 2. Results of total energy consumption predicting in Henan Province, 2011-2015
表 2. 河南省 2011~2015 年能源消费总量预测结果

年份	2011	2012	2013	2014	2015
预测值 (万 tce)	22702.32	23671.62	25207.32	27051.75	28541.92
年增长	5.90%	4.27%	6.49%	7.32%	5.51%

精度较好；到 2015 年河南省能源消费总量将达到 28541.92 万吨标准煤，年均增长 5.90%，比“十一五”期间 7.98% 的平均增速有明显降低。

3. 河南省能源消费影响因素分解

影响能源消费增长的因素错综复杂，深入分析河南省能源消费增长的影响因素，对科学合理的制定能源政策和措施具有重要意义。同时，工业能源消费占河南省能源消费总量的 75% 以上，工业能源消费控制对全省能源消费总量控制成效有决定性作用。本文以

2005~2011 年河南省能源消费和经济增长数据为基础, 采用对数平均迪氏指数法(Logarithmic Mean-Divisia Index), 对河南省能源消费总量和工业能源消费增长的影响因素进行了分解研究, 尝试对分解结果作出解释, 为河南省能源决策和工业节能提供参考。

3.1. 分解方法介绍

LMDI 分解方法是一种应用广泛的因素分解方法, 在理论基础、适用性和结果表达等各方面均具有良好特性^[5], 包括有乘积分解与加和分解两种形式, 二者最终分解结果是一致的^[6]。借鉴 B. W. Ang^[7,8]建立的分解模型和的 Ali 等^[9]对分解模型的应用, 考虑到本文研究特点和结果的直观性, 决定采用 LMDI 加和分解方法, 将影响河南省能源消费增长的因素分解为产出效应、结构效应和能源强度效应三个影响因素。

对于由 i 个行业构成的能源消费^[10], 则有:

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i}{Q} \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i Q S_i I_i$$

其中: E 为能源消费总量; E_i 为 i 行业的能源消费量; Q(=∑_iQ_i)为总的增加值; Q_i 为 i 行业的增加值; S_i(=Q_i/Q) 为 i 行业的增加值占总增加值的比重; I_i(=E_i/Q_i) 为 i 行业能源强度。

采用 LMDI 方法的加和分解形式, 即:

$$\Delta E_{tot} = E^T - E^0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int}$$

其中: ΔE_{tot} 为 T 年(E^T)与基年能源消费量(E⁰)之差; ΔE_{act} 为产出水平对能源消费的影响; ΔE_{str} 为结构效应对能源消费的影响; ΔE_{int} 为能源强度对能源消费的影响。计算公式如下:

$$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln \ln E_i^T - \ln \ln E_i^0} \ln \ln \frac{Q^T}{Q^0}$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln \ln E_i^T - \ln \ln E_i^0} \ln \ln \frac{S_i^T}{S_i^0}$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln \ln E_i^T - \ln \ln E_i^0} \ln \ln \frac{I_i^T}{I_i^0}$$

3.2. 河南省能源消费影响因素分解

本文对 2005~2011 年的河南省能源消费的增长进行了分解, 阶段分解结果以 2005 年为基年, 各年度分解结果均以上年度为基年。

3.2.1. 河南省能源消费分解结果

结合河南省经济、能源和统计体系特点划分了农业、采掘、制造、电力、建筑、交通、商业和其它 8 个经济部门, 其中电力包括电力、煤气、水的生产和供应业, 商业包括批发和零售业、住宿和餐饮业。鉴于居民生活能源消费的特殊性, 难以采用相同指标, 本文未予以考虑。

结果(图 4)显示, 2005~2011 年间, 河南省能源消费持续增长, 分年度看, 产出水平为主要的促进因素, 能源强度为主要的抑制因素; 而产业结构的影响很小, 且均为正值。表明近年来河南省的能源消费随着经济的发展保持增长态势, 节能成果主要体现在提高利用效率的技术节能方面, 而经济结构调整的贡献尚不明显, 这与河南省正处于工业化快速推进的发展阶段是相适应的。

分部门看, 各部门能耗比 2005 年都有较大幅度的增长, 其中制造业是能耗增量的主要贡献者, 占全部增量的 56%; 各部门能耗占总量的比例基本保持稳定(表 3), 变化最大的制造业 2011 年能耗占比较 2005

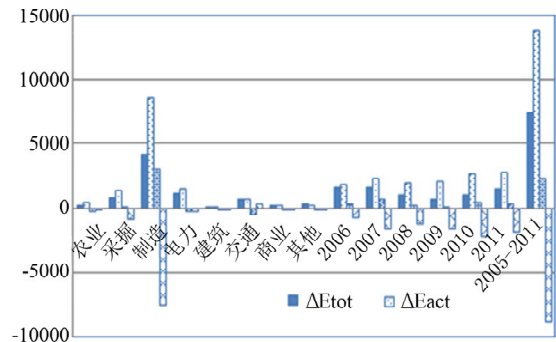


Figure 4. Decomposition results of total energy consumption impact factor in Henan Province

图 4. 河南省能源消费总量影响因素分解结果

Table 3. Comparison of the total energy consumption and the economic structure in Henan Province

表 3. 河南省各部门能耗和产业结构对比

	能耗占比(%)		增加值占比(%)	
	2005 年	2011 年	2005 年	2011 年
农业	3.53	3.14	17.87	10.45
采掘	11.09	10.86	6.95	7.35
制造	66.02	62.53	36.32	48.60
电力	10.88	12.15	2.98	2.56
建筑	0.50	0.82	5.84	4.49
交通	4.98	6.28	5.91	3.63
商业	1.26	1.85	8.68	7.64
其它	1.74	2.37	15.46	15.28

年降低 3.5%；同时产业结构发生了较大变化，制造业增加值占比提高了 12.3%，其他部门除采掘业提高 0.4%外，均不同程度下降，尤其农业降幅最大，达 7.4%。表明河南省的工业尤其制造业的发展速度明显高于其他部门，社会经济逐步进入工业化阶段。三个影响因素中，产出水平为主要的促进因素，且对制造业的影响最为显著，产业结构除对采掘业和制造业产生促进作用外，对其他部门均为抑制作用，而能源效率只对采掘、制造和电力产生了抑制作用，其余均为促进作用，表明近几年河南省的节能工作主要体现在工业领域能源效率的提高，经济结构调整工作和其他部门节能措施落实的进展有限。

进一步分析各部门能源强度(图 5)可以发现,2005 年以来河南省总的能源强度逐年下降,各部门中以采掘业和制造业的降幅较大,其中采掘业在 2011 年略有反弹,原因可能是矿产和石油资源的枯竭导致近年来开采难度上升,提高了能源强度;电力和其它部门能源强度下降较少,且在 2009 年之后逐步上升,接近 2005 年的水平;农业与商业的能源强度先是略有下降后逐步上升,2011 年略高于 2005 年,原因在于随着经济社会的发展,农业机械化程度和居民消费水平提高推动了能源消费的增加;交通和建筑部门能源强度在 2009 年后有了较大幅度的增长,这与经济危机后的经济刺激计划中大规模的基础建设密切相关。

3.2.2. 河南省工业能源消费分解结果

近年来,河南省的工业发展很快,其中采掘业和制造业是主要的工业增加值贡献者和耗能行业,为对河南省能源消费增长进行更深入的分析,本文对河南省工业能源消费影响因素进行了进一步分解。工业中的电力、煤气、水的生产和供应业是经济社会发展的基础,受国家政策影响较大,计划性很强,本文未将其包括在内。本文参考《河南省工业转型升级“十二五”规划》对河南省工业发展的要求,结合现有统计数据,将工业划分为化工、有色、钢铁、纺织、装备、食品、轻工、建材、煤炭、石油、医药、电子和其它共 13 大行业,图 6 是 2005~2011 年工业能源消费分解结果。

结果显示,2005~2011 年,河南省工业能源消费增长趋缓,无论是分年度或分行业看,产出水平都是能耗增长的主要促进因素,能源强度则是主要的抑制

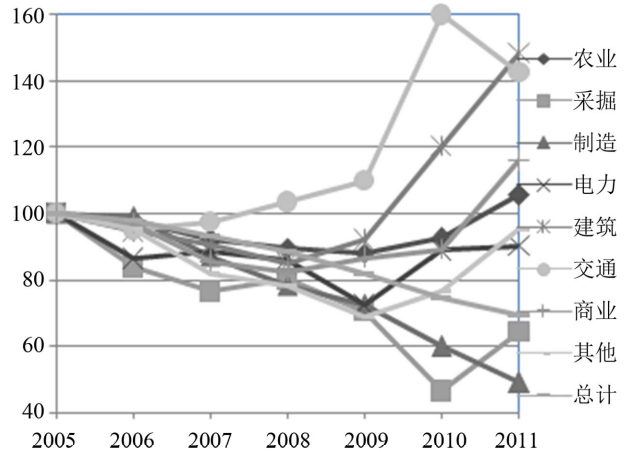


Figure 5. Total energy intensity index in Henan Province (2005 intensity = 100)

图 5. 河南省能源强度趋势图(2005 年为 100)

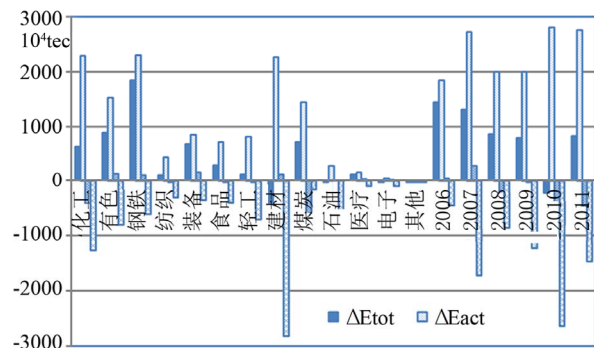


Figure 6. Decomposition results of industrial energy consumption impact factor in Henan Province

图 6. 河南省工业能源消费影响因素分解结果

因素,而结构效应则影响不一,强度较弱。值得注意的是 2010 年工业能耗有小幅下降,同时能源强度因素明显强于其他年份,这是由于当年为完成“十一五”节能减排任务,采取各种非常规措施加大节能力度所导致的,是同工业发展趋势不匹配的异常现象,也导致了在 2011 年出现反弹;但也应当看到近几年结构效应的作用开始显现,其中 2008 年更多的是由于经济危机的影响,而 2010 和 2011 年结构效应的加强则表明工业产业结构调整工作初见成效。对各行业而言,煤炭和化工的结构效应较为明显,这与行业内重组的力度加大有关,有色、钢铁和装备制造行业作为河南省的支柱产业,发展较快,结构效应为正向,石油行业则因省内资源的枯竭导致结构效应的抑制作用较强,建材行业得益于大规模的淘汰落后产能和行业重组,行业总能耗有了一定的下降。

从 2005 年和 2011 年工业的能耗和增加值结构(表

4)来看,有色和钢铁的能耗占比分别增长了 2.48%和 7.74%,但增加值占比只增长了 0.78%和 0.28%,煤炭行业能耗占比增长了 1.42%,而其增加值占比却下降了 3.01%,表明这三个行业的价值创造能力较弱;价值创造能力较强的装备制造业有了较为明显的发展,但做为新兴产业的电子和医药行业规模依然较小,需要加强关注。

由各行业能源强度的变化(图 7)可以看出 2005 年以来,各行业能源强度总体呈下降趋势,其中有色和钢铁在 2009、2010 年出现反弹,原因主要是经济危机发生后,部分产品价格大幅下滑,企业盈利能力下降,同时销量减少导致企业开工率不足进一步提高了单位产品能耗;而其它行业在 2009 年产生大幅波动,一方面是因为其总量较小,另一方面也表明目前的能源政策对能耗规模较小的行业关注不够,缺乏强有力的节能措施和政策引导。

4. 结论与建议

1) ARIMA 模型可以作为河南省能源消费预测的工具,有较好的预测精度。“十二五”期间,河南省能源消费总量将持续增加。到 2015 年河南省能源消费总量将比 2010 年增加 25%左右,达到 28541.92 万吨标准煤,年均增速比“十一五”时期略低,但仍位于较高水平,原因在于河南省处于工业化快速发展阶段,能源需求增长强劲,能源消费总量控制工作任务道远。

2) 2005~2011 年,河南省能源消费持续增长,各年度节能的实现主要依赖于能源效率的提高;各部门中,工业尤其是制造业和采掘业能源效率提高明显,其他部门能源效率提高有限,而结构效应的影响相对较弱,且采掘和制造业为正向影响,这显示河南省既往的节能政策措施集中于工业技术节能方面,对其它部门和结构调整的政策力度有待加强。

3) 工业是河南省能源消费的主体,2005~2011 年,工业能耗增长趋缓,节能力度逐年加大;各行业能源利用效率都有较为明显的提高,产业结构对煤炭、化工、石油、纺织和食品等行业的能耗增长起到了不同程度的抑制作用,但对有色、钢铁、装备、建材等行业则起了促进作用。表明近年来河南省工业各行业淘汰落后产能、技术升级改造等节能减排工作成

Table 4. Comparison of the industrial energy consumption and the industrial structure in Henan Province
表 4. 河南省工业分行业能耗和产业结构对比

	能耗占比(%)		增加值占比(%)	
	2005 年	2011 年	2005 年	2011 年
化工	18.15	16.33	7.95	6.55
有色	10.21	12.68	7.04	7.82
钢铁	13.41	21.16	4.70	4.99
纺织	3.52	3.11	5.31	5.05
装备	5.06	7.86	14.70	18.06
食品	5.32	5.55	17.58	16.86
轻工	6.95	5.50	13.83	13.73
建材	23.03	12.66	15.48	16.48
煤炭	10.06	11.48	8.77	5.75
石油	2.67	1.79	2.05	0.90
医药	1.04	1.52	1.49	2.03
电子	0.54	0.32	0.61	1.10
其它	0.04	0.04	0.50	0.68

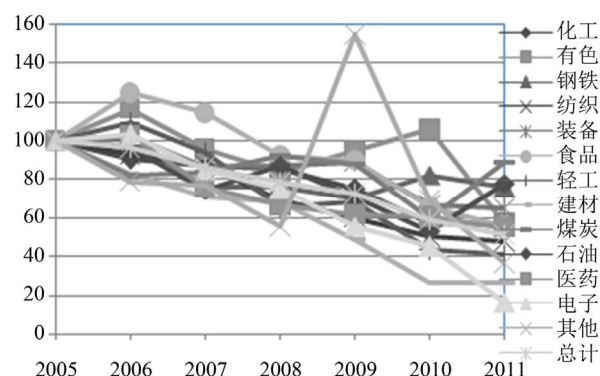


Figure 7. Industrial energy intensity index in Henan Province (2005 intensity = 100)
图 7. 河南省工业能源强度趋势图(2005 年为 100)

果显著,产业结构调整虽初见成效但仍需继续深化,进一步压缩高载能行业在工业中的比例,加快发展高端装备制造、电子技术等新兴产业,逐步增加高附加值和高技术含量行业所占比重。

参考文献 (References)

[1] 胡广阔,王克振. 基于 ARIMA 模型的甘肃省能源消费预测[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(20): 6002-6005.
[2] 薛黎明,侯运炳,闫旭,何广. 基于 ARIMA 模型的我国能源消费结构趋势分析与预测[J]. 中国矿业, 2011, 20(4): 24-27.

- [3] 刘勇, 汪旭晖. ARIMA 模型在我国能源消费预测中的应用[J]. 经济经纬, 2007, 5: 11-13.
- [4] 张峰, 刘伟. 北京市能源消费预测与政策建议[J]. 中国人口资源与环境, 2008, 18(3): 99-102.
- [5] 夏艳清. 我国工业能源消费及污染排放演变机理研究[J]. 软科学, 2011, 25(10): 59-64.
- [6] 魏子清, 周德群. 基于 LMDI 分解的江苏省能源消费影响因素实证分析[J]. 价格月刊, 2009, 2: 51-54.
- [7] B. W. Ang. Decomposition analysis for policy making in energy: Which is the preferred method. Energy Policy, 2004, 32(9): 1131-1139.
- [8] B. W. Ang. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. Energy Policy, 2005, 33(7): 867-871.
- [9] A. Hasanbeigi, S. de la Rue du Cann and J. Sathaye. Analysis and decomposition of the energy intensity of California industries intensity of California industries. Energy Policy, 2012, 46: 234-245.
- [10] 岳婷, 龙如银. 基于 LMDI 的江苏省能源消费总量增长效应分析[J]. 资源科学, 2010, 32(7): 1266-1271.