



河南省节能目标预测预警及产业结构研究
(报告初稿)

郑州大学环境科学研究院
河南省发改委环资处

2013年10月10日

项目研究专家顾问：

杜祥琬院士 中国工程院，国家气候变化委员会主任

唐孝炎院士 北京大学

项目负责人：

张瑞芹 教授 郑州大学环境科学研究院

项目主要参加人员：

郑州大学环科院

河南省发改委环资处

王 克

徐跃锋

王 斌

赵中友

徐香勤

董巨威

曹冬冬

梁二芳

刘 洋

刘 磊

林举英

目 录

1.绪论	5
1.1 研究背景与意义	5
1.2 研究目标	6
1.3 国内外研究现状	7
1.3.1 能源消费预测研究现状	7
1.3.2 产业结构调整研究现状	9
1.3.3 能源消费影响因素研究	10
1.4 研究方法	12
1.4.1 能源消费总量预测方法	12
1.4.2 产业结构优化研究方法	14
1.4.3 能源消费影响因素研究方法	15
1.5 研究思路	16
2. 河南省经济-能源现状分析	19
2.1 河南省经济发展与产业结构现状分析	19
2.2 河南省能源消耗特征及现状分析	22
2.3 河南省节能目标完成现状分析	27
3. 河南省节能目标宏观预测预警研究	32
3.1 经济发展宏观预测	32
3.1.1 河南省经济发展宏观预测	32
3.1.2 地市经济发展宏观预测	34
3.2 能源消费量宏观预测	37
3.2.1 能源消费预测模型	37
3.2.2 电力消费宏观预测	42
3.2.3 工业能耗宏观预测	46
3.2.4 能源消费宏观预测	50
3.3 节能目标宏观预测和预警	51
4. 河南省分部门节能目标预测预警	54
4.1 部门划分	54
4.2 分部门经济-能耗预测	55
4.2.1 农业部门经济能耗预测	55
4.2.2 工业部门经济能耗预测	55
4.2.3 建筑业经济能耗预测	60
4.2.4 第三产业	60
4.2.5 居民生活	62
4.3 节能目标分析预测结果	63
4.4 主要耗能产品单位能耗预测预警	64
4.5 节能目标完成情况预测预警	66
5. 河南省产业结构优化研究	68

5.1 产业结构总体优化	68
5.1.1 经济结构总体优化模型的构建.....	68
5.1.2 经济结构总体优化模型实证分析.....	71
5.2 工业产业结构优化	72
5.2.1 工业结构优化模型的构建	72
5.2.2 工业结构优化模型的实证分析.....	75
5.3 产业结构优化结果	76
6. 结果分析与讨论.....	78
6.1 节能目标预测预警结果分析	78
6.1.1 宏观预测预警结果分析	78
6.1.2 分部门预测预警结果分析	83
6.2 产业结构优化结果分析	84
6.2.1 节能目标预测结果分析	84
6.2.2 产业结构变化分析	85
6.2.3 产业结构优化影响分析	86
6.2.4 产业结构优化对地市影响分析.....	89
7. 结论与建议.....	90
7.1 研究结论	90
7.2 政策建议	90
参考文献.....	92
附录 1 节能目标宏观预测相关图表	97
附录 2 分部门节能目标预测预警相关图表	132

1.绪论

1.1 研究背景与意义

近年来，河南省经济建设成果显著，经济社会发展迅速。自 2000 年来，河南省年均 GDP 增速均保持在 9%以上，到 2011 年时河南省的 GDP 已达到了 26931.03 亿元（当年价），人均 GDP 达到了 28661 元（当年价），根据钱纳里的发展阶段理论，河南省仍处于工业化的中前期阶段，社会经济发展的仍主要靠工业企业尤其是重工业的增长来拉动。自 2005 年以来，河南省的年均工业增加值增速均高于 GDP 增长，工业增加值的增长对 GDP 增长的贡献均在 60%以上。由此导致了河南省产业结构的日趋重型化，2005 年时河南省的三次产业的比例为 17.9:52.1:30.0 而 2011 年时已变为 13.0:57.3:29.7，二产比重逐年上升。同时河南省 2011 年的产业结构与全国平均水平 10.0:46.6:43.4 相比，河南省第三产业发展严重滞后，而第二产业尤其是工业比重过高。

经济的快速发展，尤其工业的快速发展带来的是河南省能源消费量大幅增长，2011 年时河南省的综合能源消费量已经达到了 23061 亿吨标准煤，与 2005 年相比增长了 57.68%。由于能源消费量的快速增长，而自身的能源资源禀赋有限，河南省的能源消费已逐渐依赖于外部供应，2011 年时河南省的能源自给率为 79.32%与 2005 年下降了 20%。而河南省的能源利用效率在全国仍处于较落后的水平，2005 年以来河南省的单位 GDP 能耗基本均高于全国平均水平 10%，与广东、上海等先进地区相比差距更大。

在“十一五”期间，河南省节能工作取得了良好成效，2010 年单位 GDP 能耗比 2005 年累计下降 20%，顺利完成了国家下达的“十一五”节能目标^[1]。但在实施过程对目标管理和追踪并不完善，导致出现了为完成节能目标而限电限产

等非常规措施，造成巨大的经济损失和社会影响。按照国家下达给河南省的“十二五”时期节能目标，2015年河南省单位GDP能耗要比2010年下降16%^[2]，年均下降3.43%，同时要实现合理控制能源消费总量，到2015年，全省能源消费总量要控制在29000万吨标准煤以内，电力消费控制在3900亿千瓦时以内^[3]。2011年时河南省单位GDP能耗为0.895吨标准煤/万元，较2010年下降了3.57%，能源消费量为23061万吨标准煤，较2010年7.57%。就2011年来看，河南省的单位GDP能耗下降率满足节能目标要求，而能源消费总量增速则超过了控制增长。

结合“十一五”历史数据和2011年的节能目标完成情况来看，“十二五”期间同时完成单位GDP能耗下降目标和能源消费总量控制目标对河南省仍是一项艰巨的工作。为了避免重蹈“十一五”末期为完成节能目标而限产限电的覆辙，顺利并且平稳地完成“十二五”单位GDP能耗下降目标，需要加强对节能目标完成情况的管理，对河南省的节能目标完成情况进行及时的预测预警，以便地方政府可以进行政策的调整，合理安排节能工作的进度。另一方面为了在不影响经济发展的前提下，将河南省的能源消费总量控制在合理的水平上，同时也为了促进节能目标的完成，则需要对河南省的产业结构进行优化，抑制高耗能行业的过快发展。

1.2 研究目标

为了对河南省“十二五”期间的节能目标管理工作 and 能源消费合理控制工作，提供基础研究和技術支撑，本研究计划对河南省以及其所辖的十八个地市2013-2015年的单位GDP能耗和能源消费量进行预测，针对无法按时完成节能目标的情况进行预警，并提出相关政策建议；同时对河南省的产业结构进行优化研究，得到可以保证河南省经济增速处于合理水平、顺利完成节能目标和能源消费总量控制目标的产业结构优化方案。并对产业结构优化对能源消费和节

能目标的影响进行分析，并提出相应政策建议。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 能源消费预测研究现状

能源消费预测在能源政策框架中具有重要地位。能源消费模型可分为几个方面，如回归模型，时间序列模型，灰色模型以及能源-经济模型等。Bohi^[4, 5]等人对上世纪八、九十年代的此类研究做了较为全面的综述。

回归分析模型广泛应用于煤炭、石油、天然气和电力的需求预测^[6, 7]，其实质是对历史数据进行拟合，得到一条回归曲线，然后通过对曲线的外推来预测未来某个节点的值^[8]。O'Neill and Desai^[9]分析了美国能源信息署对美国能源消费预测结果的精确度，发现预测所应用的两个变量 GDP 和能源强度中，GDP 的预测通常偏高，而能源强度的预测通常偏低，这个趋势导致对未来能源消费量的低估。Leea 和 Chang^[10]对线性和非线性回归预测台湾地区经济增长率对能源消费的影响做了分析，发现通过给定阈值建立的经验模型优于标准的线性回归模型。在具备大量的历史数据做支撑的条件下，回归预测模型通常具有较高的预测精度，而其最大的缺点是不能有效响应变量的突然变化，一旦变量发生不可预知的变动，将大大降低回归模型的预测精度。

时间序列模型较常用的是 ARIMA 模型，ARIMA 模型全称是差分自回归移动平均模型 (autoregressive integrated moving average)，是一种常用的时间序列分析和预测方法，最早由 Box 和 Jenkins 于上世纪 70 年代初提出，因此也叫 B-J 方法^[11]。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，近年来广泛应用于能源消费预测。土耳其建立了一套基于回归分析、ARIMA 和 SARIMA 方法预测化石燃料产量的决策支持系统^[12, 13]，Erdogdu^[14]估计了土耳其各行业天然气需求短期和长期受价格和收入的影响。ARIMA 模型应用于对电力需求做了预

测，短期电力需求的预测则采用了 ARIMA 传递函数模型^[15]。Conejo^[16]等人应用 ARIMA 模型预测了电价，Pappas^[17]等人应用 ARIMA 模型研究了电力需求负荷。Sumer^[18]等人采用 ARIMA、季节性 ARIMA 和回归分析三种模型预测了电力需求，发现加入季节性变量的回归分析模型的预测结果更优。

灰色模型由于具有利用少量数据点描述未知系统的能力，得到了大范围的应用。灰色预测模型由多个预测模型构成，其中最常用的是 GM(1,1)模型。台湾应用灰色关系分析预测了机动车能源消费^[19]，评估了燃料价格、GDP 和机动车数量的影响以及机动车单位能耗的增长。Lee Y-S 利用灰色预测模型结合遗传算法对能源消费进行了预测^[20]；Lee S-C 基于成本效益的灰色模型被用于可再生能源技术发电成本的最佳预测^[21]，Mu HL 利用灰色关系分析和预测对农村家庭生物燃料消费情况进行了研究^[22]。

能源-经济模型分类较多主要包括投入产出模型为代表的 Top-down 模型和以 LEAP 模型为代表 Bottom-up 模型

投入产出模型是依据国家编制的投入产出表，按照研究的需要进行编排，建立适当的投入产出模型，对各经济部门进行分析预测的一种方法^[23]。Wei^[24]等人建立的投入产出模型对中国社会经济的变化对能源消费和能源强度的影响进行了评估；Liang^[25]等人将中国划分为八个经济区域，建立了一套多区域的能源需求和碳排放投入产出模型，为每个区域建立情景和敏感性分析；Liu^[26]等人利用投入产出模型评估了替代性能源政策通过间接能源消费影响产品价格、消费价格和城乡居民真实收入的机制。

长期能源可替代规划系统模型（Long-range Energy Alternatives Planning System，LEAP）是由瑞典斯特哥尔摩环境研究院和美国 Boston 大学联合开发的基于情景分析的自下而上的能源-环境核算工具，同时也应用于国家和地区层次的能源需求分析^[27]。LEAP 模型常用于国家和地区能源系统规划（包括美国国家研究项目^[28]、墨西哥^[29]、中国^[30]等）以及行业水平的分析（包括发电^[31]、交通^[32]、生活能耗^[33]、生物燃料^[34]等方面）。

1.3.2 产业结构调整研究现状

产业结构优化升级的理论研究主要是以国家层面的产业结构为研究对象，在此基础上逐步发展起来的^[35]。Bristow对产业结构优化升级的系统性总结，为产业结构优化升级奠定了坚实的理论基础^[36]。日本经济学家筱原三代平指出产业结构优化升级应率先在生产率上升快的主导产业中优化升级^[37]。发达国家在对产业结构优化中，政府对产业结构调整干预程度很强，其干预的主要手段就是提出明确的产业政策，通过产业政策的引导来实现的产业结构优化升级^[38,39]。

国内对产业结构优化升级的研究始于上世纪末，初期多为定性分析。如张丽英等对河北省目前的产业结构和发展状况进行了分析^[40]。李录青分析了重庆市产业结构现状和存在的主要问题，并提出了可行性建议^[41]。但定性分析的主观性太强，需要与定量分析相结合的产业结构优化研究。而产业结构优化升级定量分析就要求基准的指标化、数据化。因此出现了一些学者对影响产业结构优化因素的探究。如王述英^[42]，徐杏^[43]，宋锦剑^[44]。

在产业结构优化升级的定量分析研究中，通常采用的方法有层次分析法、投入产出法、计量经济学模型、灰色系统分析、线性目标规划方法等，通过定量的分析使产业结构的优化升级更具有可操作性。如王力构建了投入产出方法和多目标线性规划相结合的定量分析模型对江苏省的产业结构进行优化研究^[45]，于娜利用动态投入产出方法构建多目标规划模型对辽宁省的产业结构进行定量分析^[46]。李迎利用灰色关联分析和线性规划等方法，将碳排放最小作为产业结构优化的目标，提出湖北省产业结构优化的方向^[47]。张璞基于随机规划及系统动力学组合方法对内蒙古产业结构优化研究^[48]。

随着资源的短缺及环境问题日益严重，能源、环境和产业结构之间的关系逐渐成为产业结构优化研究的主要方向。戴维·里德（1995）分析了结构调整实施过程中带来的社会、环境影响。并指出结构调整是实现可持续发展的重要手段，是经济可持续增长的动力^[49]。Zhong X Z., shiu A.和Hu J L.认为制定产业

和能源政策时应考虑如何优化产业结构使经济快速、稳定发展，同时兼顾能源节约^[50-52]。Maria.LioP分析西班牙了经济结构与污染强度之间的关系，得出西班牙需要调整经济结构进而减少环境污染物排放的对策^[53]。

随着中国经济的发展越来越受到资源环境问题的制约，国内一些学者对产业结构与能源环境之间的关系做了大量的研究。如路正南通过建立时间序列回归模型分析各产业产值占 GDP 的比重与能源消费量之间的关系^[54]。何建坤、刘滨等分析了单位 GDP 能源消费强度的降低与产业和产品结构调整对 GDP 能源强度降低的贡献^[55]。尹春华、顾培亮对能源消费与产业结构进行灰色关联分析^[56]；Zhang 等人对中国 1996-2009 年相关的数据建立线性回归模型，研究认为产业结构决定着 CO₂ 的排放^[57]。Wang Lihong 等人对基于循环经济的理念，认为山东省产业结构的调整和优化对于转变经济增长方式和提高山东省的国际竞争力是非常重要的^[58]。Zhang Xiaoqing 对山东省的产业结构和 CO₂ 排放之间的关系进行研究，发现不同时期的产业结构对 CO₂ 排放的贡献不同。^[59]

1.3.3 能源消费影响因素研究

在经济发展、能源消费、温室气体排放的变化趋势分析中，需要将变化量分解到不同影响因素中，以分析每种因素对变化的贡献。在影响因素分解中，常用的两种方法是结构分解分析（Structural decomposition analysis, SDA）与指标分解分析（Index decomposition analysis, IDA）。这两种分解方法的基本区别在于：SDA 是基于投入产出表的方法，而 IDA 只需要各部门或者区域的总体数据即可。由于其基本原理不同，两种方法在应用中也有一定不同：利用投入产出表数据，SDA 可以详细部门之间的间接变化和影响，而 IDA 由于所用数据简单则不具备这种功能；另一方面，SDA 又受制于投入产出表，只能分析绝对量的变化和固定年份之间的变化，而 IDA 则较为灵活，可以采用多种数据形式进行分析（绝对量、相对量和弹性值），由于对数据要求较低，一般情况下可以分析任意年份之间的变化^[60]。根据其用途不同，SDA 和 IDA 都广泛的用于影响

因素分解研究。同时 IDA 分析的指标较为多样化和灵活，因此在 SDA 研究中，也采用与 IDA 结合的方法对因素进行分解。

根据Rose和Casler的定义，SDA是用投入产出表中关键参数的一系列比较静态变化来分析经济变化^[61]。SDA最早的应用便是Leontief和Ford在1972年采用投入产出数据分析美国90个部门的大气污染物排放变化。由于投入产出分析框架的拓展，这之后，SDA开始逐渐被用于环境投入产出分析方面的研究。根据Hoekstra和Van Den Brech2002年时对SDA研究的综述，27项与环境相关的SDA研究，全部是能源及其相关领域的，而且集中在发达国家和亚太地区的新兴工业化国家^[62]，其中包括了Lin 和Polenske对1981-1987年间中国消费能源变化的分析^[63]，以及Zheng对1991-1995年中国能源消费变化的分析^[64]。同时随着IDA方法的研究深入，SDA分解方法也得到了完善，解决了原来研究中的残值问题^[65]。由于，可以分析部门和地区之间的间接影响，SDA又经常被用于研究由于贸易和居民消费所产生的间接能耗和温室气体排放。^[66-68]而在2000年后，随着中国能源问题的突出，国内的相关研究也逐渐增加，李艳梅等分析了中国贸易的间接排放^[69]和居民消费的间接能耗^[70]，房斌等用SDA分析了中国能源消费的驱动因素^[71]，以及姚亮^[72]，计军平^[73]等的研究。

相对于SDA，IDA研究出现相对较晚，在1970年代的世界石油危机后，逐步兴起了对经济增长和能源消费增长驱动因素的研究。1978年，Myers和Nakamura首先提出了分析经济对能源消费的影响^[74]。初期的IDA分解较为简单，例如通过假设目标年份的能源强度与基年相比保持不变来计算结构变化对总体能源强度的影响，例如Bossanyi^[75] 1979年对英国工业能源消费的分析，Östblom^[76] 1982年对瑞典能源消费的分析，以及Hankinson 和 Rhys 1983年对英国工业能源消费的研究^[77]等。而后Reitler^[78]将基年和目标年的权重加入分析中，而后Boyd^[79,80]和 Howarth^[81]，Park^[82]分别将经济学领域的Divisia指数分解和Laspeyres指数分解引入到了IDA中。Liu^[83]和Ang^[84,85]对Divisia方法进行拓展，并将Reitler和 Boyd

的研究归纳为Divisia方法的特殊形式。根据2000年Ang 的对124项IDA研究的综述，从1970年代到1990年代IDA研究的数量有了显著增加，研究的重点从能源逐渐转向能源相关的气体排放。^[86]目前而根据Xu^[87] 2012年对80项IDA研究的综述，目前常用的IDA研究方法包括 Laspeyres (LASP)， Shapley/Sun (S/S)^[88]， logarithmic mean Divisia index (LMDI) ^[89-92]和其他Divisia方法，而根据Ang^[93]的研究LMDI方法相对优于其他方法，而Ang 等又对LMDI进行了拓展研究，解决了其无法处理零值^[94]和负值^[95]的问题。因此，LMDI在世界范围内得到了较为广泛的应用，例如Kumbaroğlu对土耳其二氧化碳排放的部门分解^[96]，Ali对美国加州工业能源强度的分解分析^[97]，O'Mahony 对爱尔兰能源相关的二氧化碳排放的研究^[98]等。近年来，LMDI相关研究在国内也得到了广泛的开展，例如Zhang 等对上海市碳排放的分解分析^[99]，Liu等对中国工业能源消费引起的二氧化碳排放的研究^[100]，徐国泉^[101]对中国人均碳排放的分解研究等。

1.4 研究方法

1.4.1 能源消费总量预测方法

一、节能目标宏观预测方法

ARIMA 模型有三个基本类型：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)为单整过程，d 为差分阶数。^[102]

自回归模型 AR(p)可以表示为：

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \cdots + \phi_p X_{t-p} + \alpha_t \quad (1.1)$$

移动平均模型 MA(q)可以表示为：

$$X_t = \alpha_t + \theta_1 \alpha_{t-1} + \theta_2 \alpha_{t-2} + \cdots + \theta_q \alpha_{t-q} \quad (1.2)$$

自回归移动平均模型 ARMA 可以表示为：

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (1.3)$$

利用 ARIMA 模型进行预测，一般分为四步^[103]：

一是平稳性检验。ARMA 模型要求序列具有平稳性，因此要对非平稳序列进行差分等处理使其平稳化，一般通过观察时序图和 ADF 检验进行，可以求出 I(d)；

二是模型定阶或识别。利用序列的自相关系数和偏自相关系数判断模型类型和滞后阶数 p、q 的值；

三是模型筛选。根据 AIC、BC 和 HQ 值最小，R² 最大等原则筛选出最佳模型；^[104]

四是模型检验和预测。检验模型的拟合效果，并对未来进行预测。

二、节能目标分部门预测方法

在省级节能目标预测中，本研究还采用 LEAP 模型从分部门分产品出发，预测河南省的单位 GDP 能耗和节能目标完成情况。

LEAP 模型中系统设置了能源需求预测 (Demand)、环境影响预测 (Environment Loading) 以及费用效益分析 (Benefit and Cost) 等模块。它从一次能源出发预测研究对象的能源需求及环境影响，实现能源需求、转化和资源之间的平衡。“需求”是对各个部门能源需求量的汇总；“转换”包括对一次、二次能源的加工、利用、运输及储存等诸多过程；“资源”包括各种一次、二次能源的开发。LEAP 模型的结构是自下而上式的，通过“需求、转换及资源”三个环节来实现能源从开发到满足需求的完整过程。在本研究中，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进行预测。

1.4.2 产业结构优化研究方法

本研究中采用了灰色线性规划模型对河南省的产业结构优化进行研究。20世纪 80 年代,我国学者邓聚龙教授在研究不确定性系统分析问题,提出了灰色线性规划模型 (Grey Linear Programming, GLP) [105]。现在已被广泛应用到许多领域[106, 107]。灰色线性规划的技术系数是可变的灰数、约束值是发展变化的,是一种动态的线性规划,技术系数和约束值可按 GM (1, 1) 模型进行预测。在 GLP 模型中,灰数代表不确定的信息,且这些灰信息在优化过程中,产生灰解。决策者通过分析灰解的白化值来达到所需实现的目标[108]。灰色线性规划的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。因此,本文借助灰色线性规划模型,能求得发展变化下的最优对产业结构。

GLP 模型基本形式如下:

$$\text{目标函数: } f(X) = CX \rightarrow \max \text{ (或 } \min) \quad (1.4)$$

$$\text{约束条件: } \otimes(A) X \leq (\geq) b, X \geq 0 \quad (1.5)$$

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

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

本研究在能源政策评价模型软连接方法[109]的基础上, 根据模型实际情况对连接方法进行简化后, 将 GLP 模型和 LEAP 模型结合进行分析, 模型的基本原理如图 1.1 所示。先根据产业规划建立 LEAP 模型, 将其关于行业能耗水平的预测结果作为技术系数和约束条件输入 GLP 模型, 在 GLP 模型进行

产业优化后，将优化后的行业产出，再输入 LEAP 模型中重新计算。

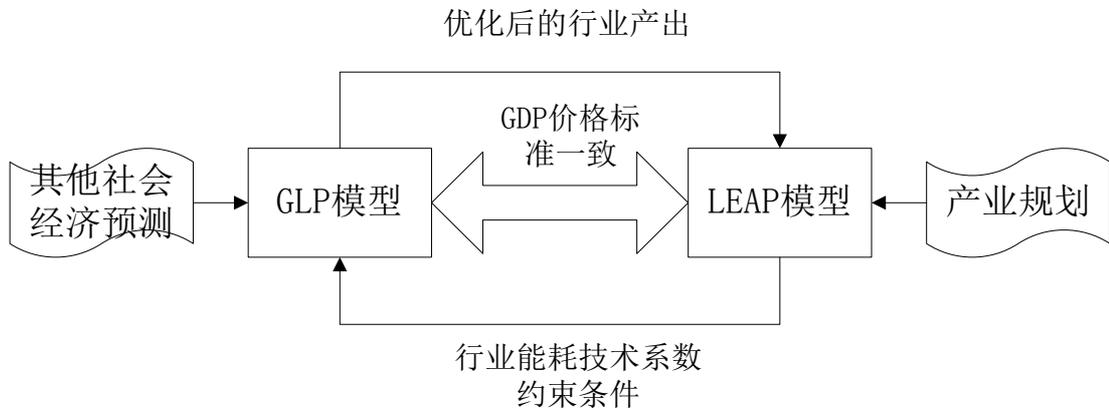


图 1.1 GLP 模型和 LEAP 模型连接原理

1.4.3 能源消费影响因素研究方法

本研究选择了 LMDI 方法对河南省能源消费总量和能源强度进行分解研究。对 LMDI (Logarithmic mean divisia index,) 在因素分解上，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。本研究采用采用 LMDI 分解能源消费变化的公式推导如下。

对于由 i 个产业构成的能源消费，则有

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \times \frac{Q_i}{Q} \times \frac{E_i}{Q_i} = \sum_i Q \times S_i \times I_i \quad (1.6)$$

$$Q = \sum_i Q_i \quad (1.7)$$

$$S_i = \sum_i Q_i / Q \quad (1.8)$$

$$I_i = \sum_i E_i / Q_i \quad (1.9)$$

式中 E 表示能源消费总量； E_i 表示第 i 产业的能源消费量； Q 表示该国家或地区的 GDP 总量； Q_i 表示第 i 产业的产业增加值； S_i 表示第 i 产业的产业增加值占总产出水平的比重， $S_i=Q_i/Q$ ； I 表示整体能源消耗强度， $I=E/Q$ ； I_i 表示第 i 产业的能耗强度， $I_i=E_i/Q_i$ 。

则能源消费分解公式为：

$$\Delta E_{\text{tot}} = E^T - E^0 = \Delta E_{\text{act}} + \Delta E_{\text{str}} + \Delta E_{\text{int}} \quad (1.10)$$

$$\Delta E_{\text{act}} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (1.11)$$

$$\Delta E_{\text{str}} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad (1.12)$$

$$\Delta E_{\text{int}} = \sum_i \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (1.13)$$

其中， ΔE_{tot} 表示 T 年能源消费量(E^T)与基年能源消费量(E^0)之差； ΔE^{act} 表示经济活动水平即产出水平对能源消费的影响； ΔE_{str} 表示产业结构对能源消费的影响； ΔE_{int} 表示能源使用效率对能源消费的影响。

对能源强度分解的公式推导如下。

对于由 i 个产业构成的能源消费，则有

$$I = \sum_i \frac{I_i Q_i}{Q} = \sum_i I_i S_i \quad (1.14)$$

则能源强度分解公式为：

$$\Delta I_{\text{tot}} = I^T - I^0 = \Delta I_{\text{str}} + \Delta I_{\text{int}} \quad (1.15)$$

$$\Delta I_{\text{str}} = \sum_i \frac{I_i^T S_i^T - I_i^0 S_i^0}{\ln \left(\frac{I_i^T S_i^T}{I_i^0 S_i^0} \right)} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (1.16)$$

$$\Delta I_{\text{int}} = \sum_i \frac{I_i^T S_i^T - I_i^0 S_i^0}{\ln \left(\frac{I_i^T S_i^T}{I_i^0 S_i^0} \right)} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad (1.17)$$

其中， ΔI_{tot} 表示 T 年能源强度(I^T)与基年能源强度(I^0)之差； ΔI_{str} 表示产业结构对能源强度的影响； ΔI_{int} 表示各行业能源强度对总能源强度的影响。

1.5 研究思路

根据研究目标以及所选择的研究方法，本研究的采用了如图 1.1 所示的研

究思路。首先,从河南省经济-能源消费现状出发,对经济发展与产业结构现状、能源消费现状和节能目标完成情况进行分析。之后分为三部分进行研究:分部门经济-能源预测,主要耗能产品预测、全省及地市经济能源消费宏观预测。

分部门经济-能源预测在已有的“十二五”节能目标匡算研究的基础上,结合主要产品的产值结合,从主要耗能产品出发自下而上的构建 LEAP 模型,依据政府部门和行业协会中规划的主要耗能产品单位能耗对河南省“十二五”节能目标进行计算和分析。同时根据采用 ARIMA 预测主要耗能产品 2013-2015 年间单位能耗的变化趋势,将预测结果代入 LEAP 模型替代原有的规划目标值,得到分部门的节能目标预测结果。

全省及地市经济能源消费宏观预测是根据河南省以及十八个的地市的经济发展、规模以上工业能耗、全社会用电量三项的历史数据,采用 ARIMA 模型预测它们在 2013-2015 年的变化趋势。同时根据规模以上工业能耗、全社会用电量与全社会综合能源消费量之间的关系,构建回归模型,采用 ARIMA 模型预测的规模以上工业能耗、全社会用电量推算 2013-2015 的全社会综合能源消费量,进行计算得到全省及地市的节能目标完成情况的预测结果。之后分别结合省级和地市级的“十二五”节能目标及能源消费总量控制目标,对分部门预测结果和宏观预测结果进行预警和分析,然后给出节能目标管理的政策建议。

另一方面,以通过 LEAP 模型计算得到的 2015 年河南省分部门的能源效率水平,能源消费控制目标,以及其他如资金、劳动力等作为约束条件,以经济发展(GDP 和工业增加值)作为决策条件,分别选取河南省总体产业结构和河南省工业产业结构建立 GLP-LEAP 模型,求解得到产业结构优化结果。然后,分析产业结构优化后产业结构的变化、各项与节能目标的规划目标完成情况,产业结构优化对地市的影响进行分析,以及产业结构优化对能源消费总量以及节能目标的影响。

本研究中所用数据如非特别标明,来源有如下:

(1) 2012 年前年度数据均来自《河南省统计年鉴 2012》。^[110]

(2) 2012 年经济数据及季度经济数据来源于河南省统计网 (<http://www.ha.stats.gov.cn/hntj/index.htm>) 公布的数据。

(3) 月度及季度能源数据来源于河南省发改委提供《河南省能源统计监测月报》。

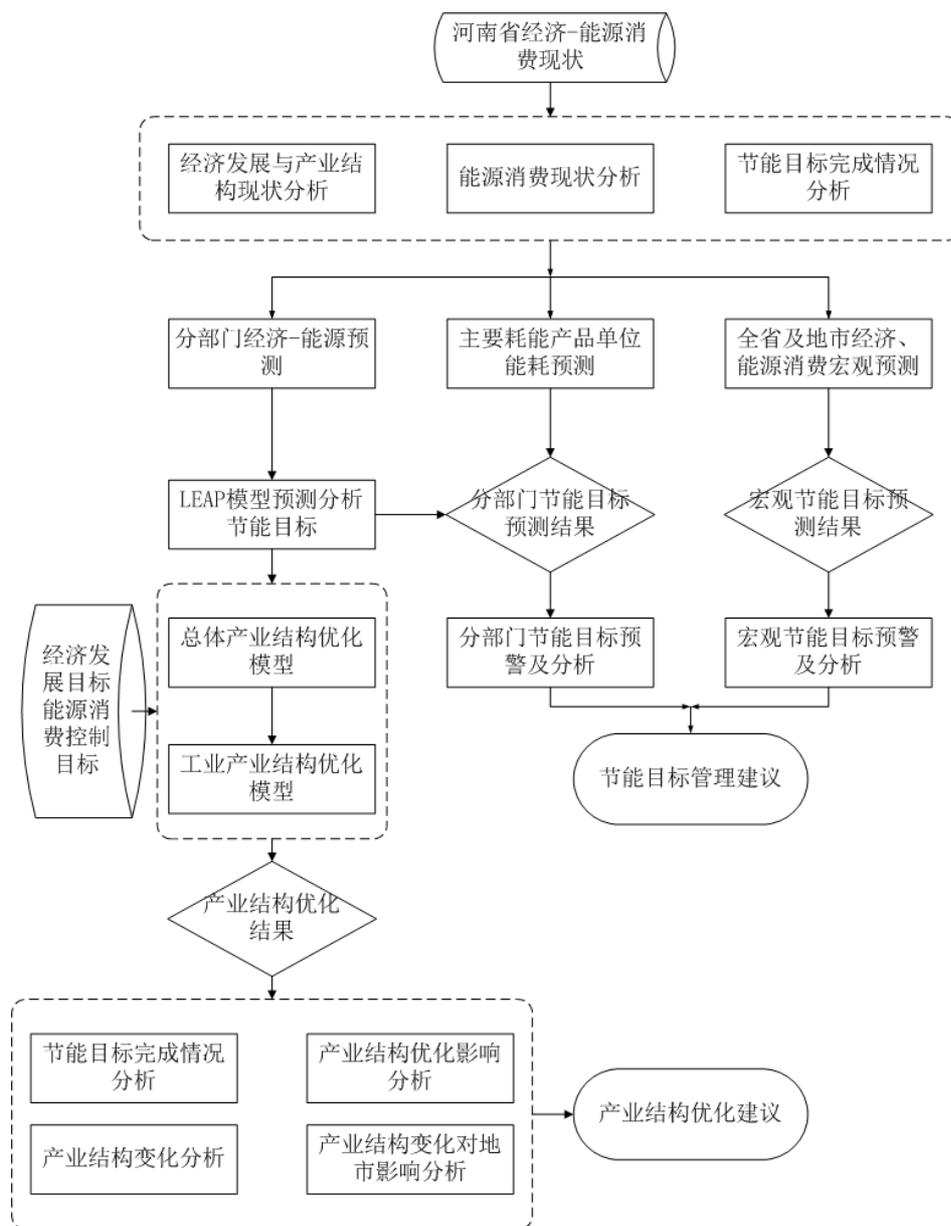


图 1.2 河南省节能目标预测预警及产业结构优化研究思路图

2. 河南省经济-能源现状分析

2.1 河南省经济发展与产业结构现状分析

近些年来，河南省的经济也保持较快的增长，如图2.1所示，自2000年以来，河南省的GDP增速及工业增加值增速远高于全国平均水平，且河南省的工业增加值增速也远远高于自身的GDP的增速，2005年以来，河南省的平均GDP增速为12.7%，高于全国平均水平的10.9%。2011年时河南省GDP已达25604.03亿元（2010年可比价），与2005年相比，增长了105.2%。根据最新公布的经济数据2012年河南省GDP为28190.04亿元（2010年可比价），较2011年增长了10.1%。而在2011年时河南省人均GDP为28661元（当年价），折算成2008年美元为3857美元，根据钱纳里多国模型对工业发展阶段的划分，河南省正处于由工业化初期向工业化中期过度的阶段。

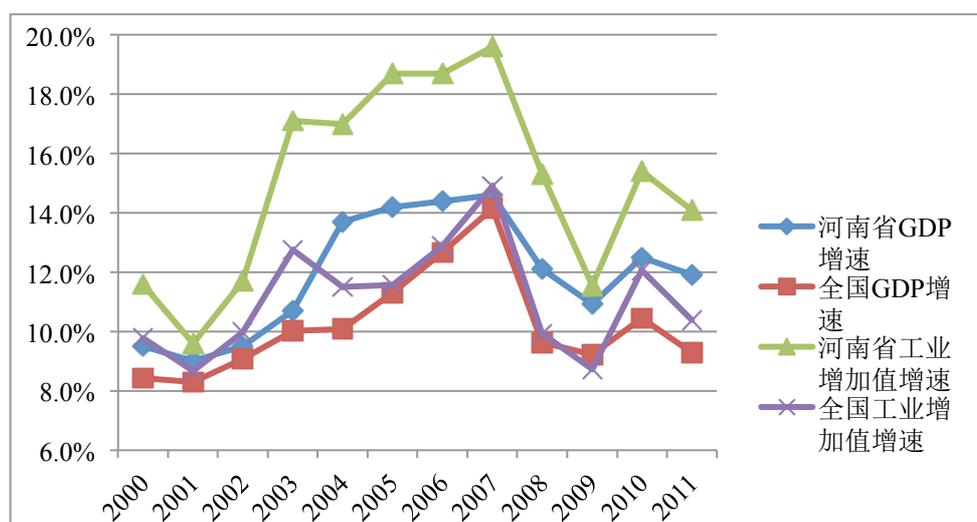


图 2.1 河南省历年 GDP 增速

从三次产业增速来看，如图2.2所示。自2000年以来，河南省第二产业尤其是工业的增加值增速明显高于平均的GDP增速，第一产业的增加值增速远小于GDP增速，而第三产业的增速则是基本与GDP增速持平。河南省第三产业的增加值也有了较快的增长，但其增速与工业相比较慢，导致近几年第三产业增加值所占比重有所下降。“十一五”期间河南省三大产业以年均增速分别为5.0%，15.5%

和12.0%的速度增加，相对年均GDP增速为12.9%而言，第二产业的增速远高于平均GDP增速。由此导致了河南省产业结构的进一步重型化，第二产业所占比例不断升高，而第三产业所占比例则不断压缩。如图2.3所示，河南省的三大产业比重由2005年时的17.9:52.1:30.0变为14.1:57.3:28.6，工业比重进一步增长。而2011年时河南省的三次产业比例为13.0:57.3:29.7，第三产业的比重较2010年时有所增加，但与2011年的全国平均产业结构10.0:46.6:43.4相比，河南省第二产业比重过高，第三产业发展严重滞后，而2012年河南省第三产业发展有所加快，所占比例也有所提高达到了30.25%。从历史趋势来看，河南省总体产业结构变化的趋势第一产业逐年下降，第二产业逐年上升，第三产业略有下降。

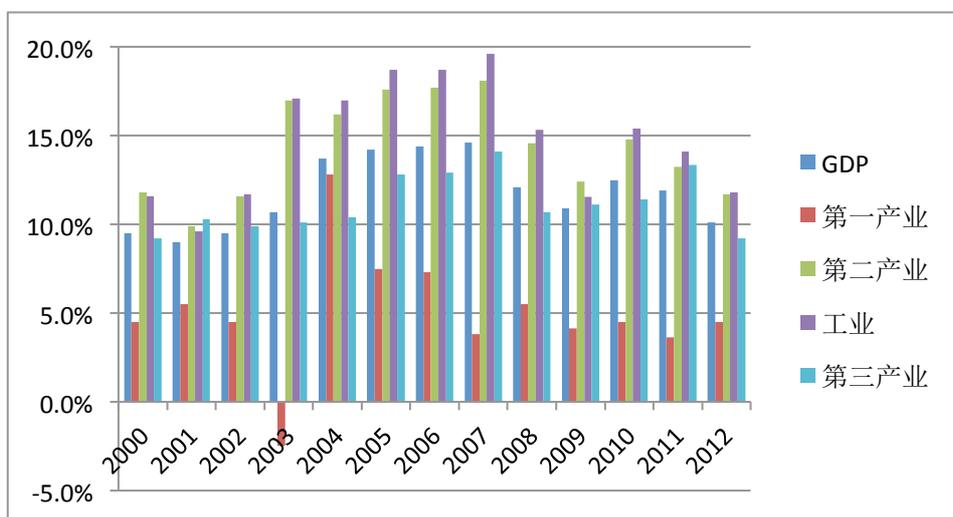


图 2.2 河南省历年产业增速对比

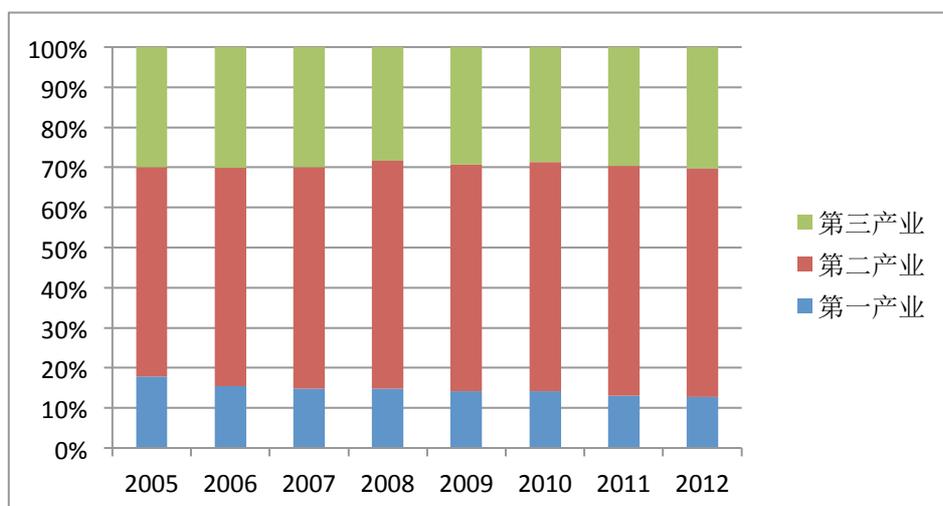


图 2.3 河南省历年产业结构变化

从三大产业对 GDP 增长的拉动效应来看，如图 2.4 所示。第一产业由于占 GDP 的比重不断下降，其对 GDP 增长的拉动效应也在逐步下降。第二产业对 GDP 的拉动效应始终是三次产业中最大的。第三产业对 GDP 的拉动效应保持在 3%-4%左右，即使在 GDP 增速放缓的年份，第三产业的拉动效应变化幅度仍不大。自 2005 年以来，第二产业对 GDP 的平均拉动效应达到了 7.4%，远高于第一产业的 0.9%和第三产业的 3.5%。另外，在 GDP 增速放缓的年份，可以看到第二产业对 GDP 的拉动效应有明显的降低。因此，可以认为河南省经济增长目前是由第二产业增长来拉动，第三产业虽然占 GDP 比重不低，但是其对总体经济增长的拉动并不明显。

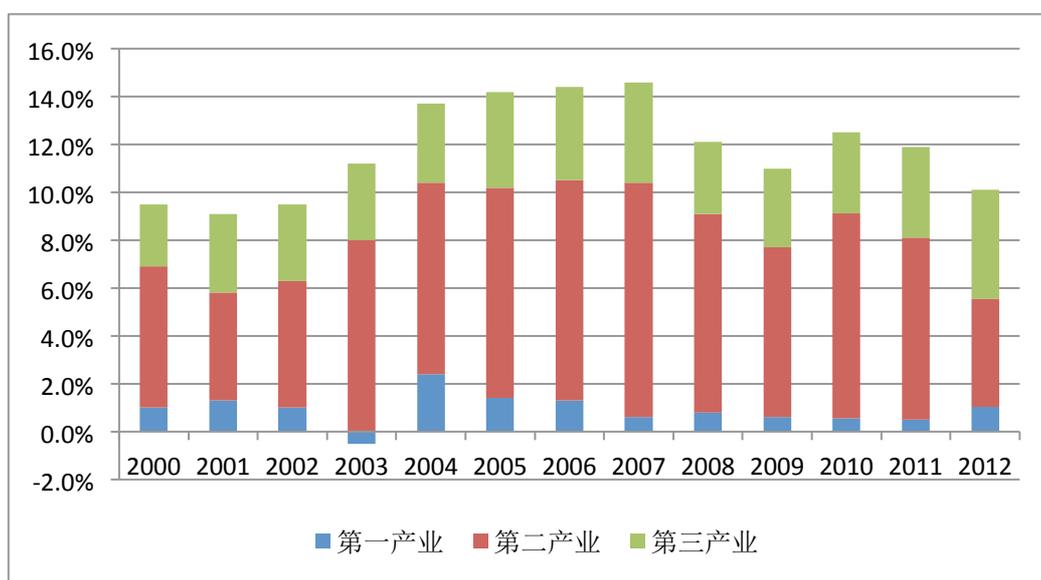


图 2.4 河南省各产业对 GDP 拉动效应

而在工业的增加值构成中，如图 2.5 所示，钢铁、化工、有色、建材、煤炭和电力六大高耗能行业的增加值占据工业 48%左右的比重，且呈现出一定的上升趋势。就高耗能行业增加值增速而言，如图 2.6 所示，钢铁、建材、化工、有色等行业除 2008 年受国际金融危机影响下降比较明显，其他年份均大体上均处于增长的趋势，有些年份，部分高耗能行业的增速甚至远高于工业的平均增加值增速。总体来看，近些年来，河南省的工业尤其是高耗能行业以远高于全国平均水平的增速发展，成为带动河南省经济发展的主要动力，电子、食品等高附加值行业的增长较为缓慢，这也是河南省目前工业化所处的阶段所决定的。

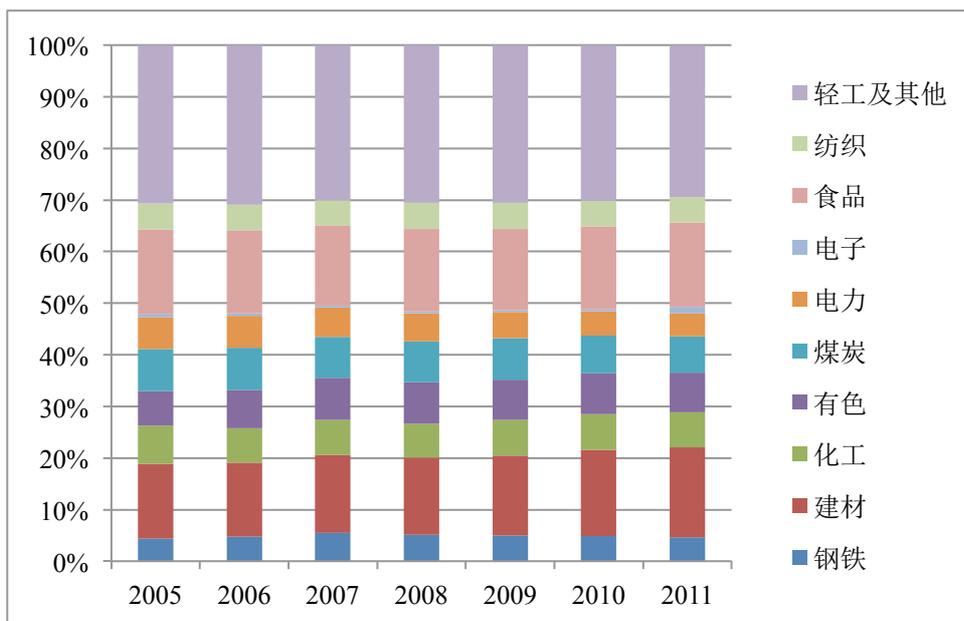


图 2.5 工业部门增加值构成

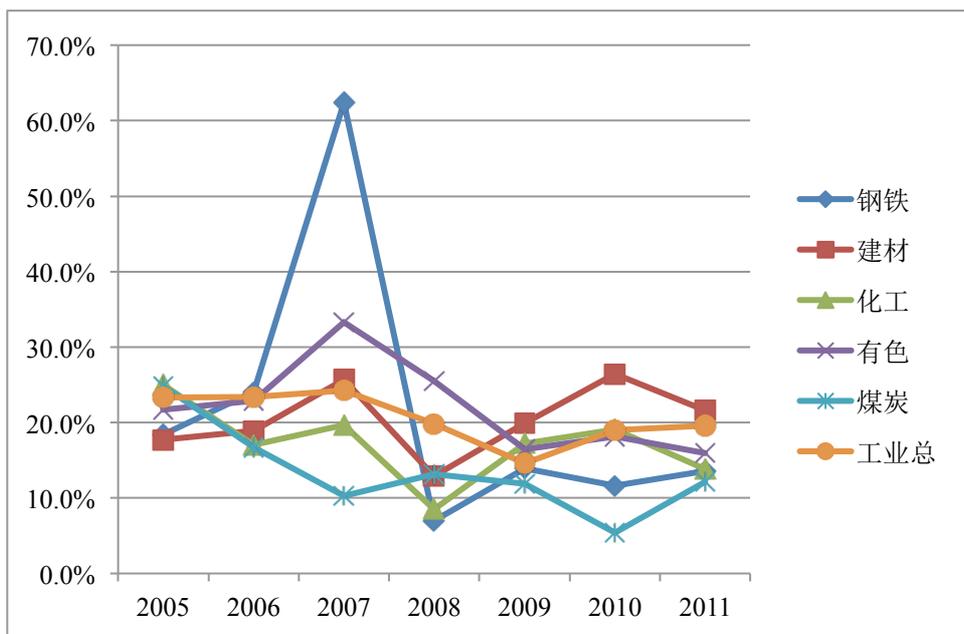


图 2.6 河南省高耗能行业增加值增速

2.2 河南省能源消耗特征及现状分析

随着河南省经济的高速发展，河南省的能源消费量也飞速增长，如图 2.7 所示，自 2000 年以来，河南省的能耗增速除 2009 年略低于全国平均水平外，其他年份均高于全国的能耗增速。2011 年河南省的能源消费总量已达 23061 万吨标准煤，与 2005 年相比增长了 57.7%，年均增速为 7.9% 高于全国平均的 6.7%。随

随着能源消费总量增长，河南省也逐渐由传统的能源输出省份转变为能源输入省份，2011年时河南省调入各类能源总计4763万吨标准煤占了能源消费总量的20.7%。而从单位能耗来看，如图2.8所示，自2005年以来，河南省的单位GDP能耗有了显著下降，但仍高于全国平均水平，与先进省份相比仍存在较大差距。总体来说，虽然河南省的单位GDP能耗有了显著下降，但能源消费仍大幅增长，能源供应的压力日益加重。

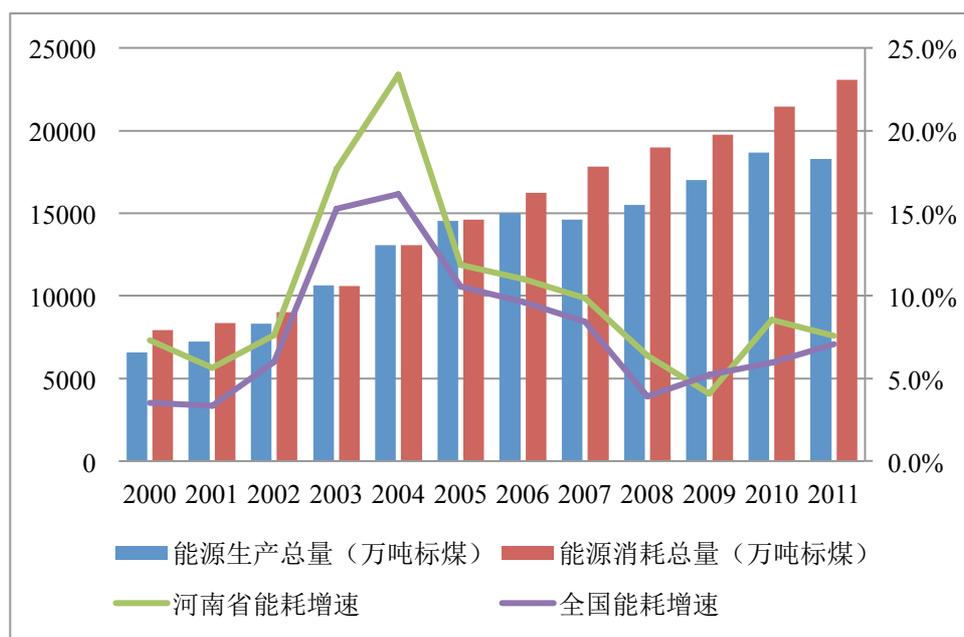


图 2.7 河南省历年能源消费情况

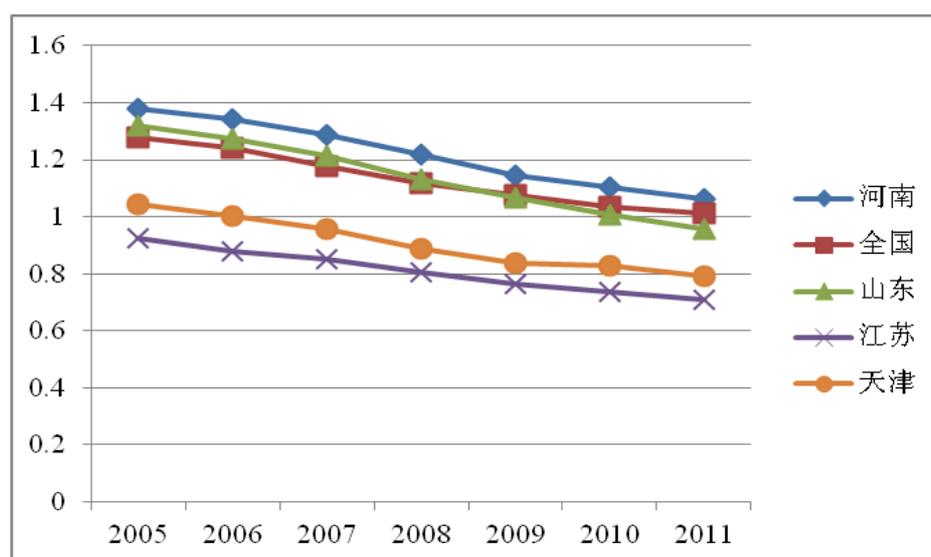


图 2.8 河南省历年单位能耗对比

从河南省能源消费结构上来看，如图 2.9 所示。河南省的能源消费仍是以煤炭为主，近几年比重有所下降，但仍占到 80%以上，这主要是由河南省煤炭资源相对丰富，生产能力较强所决定的。其次是石油，近年来比重有所上升，2011 年占到能源消费总量的 9.8%左右，水电和天然气所占比重则较小。总体来说，河南省在清洁能源的开采和利用上仍比较落后。

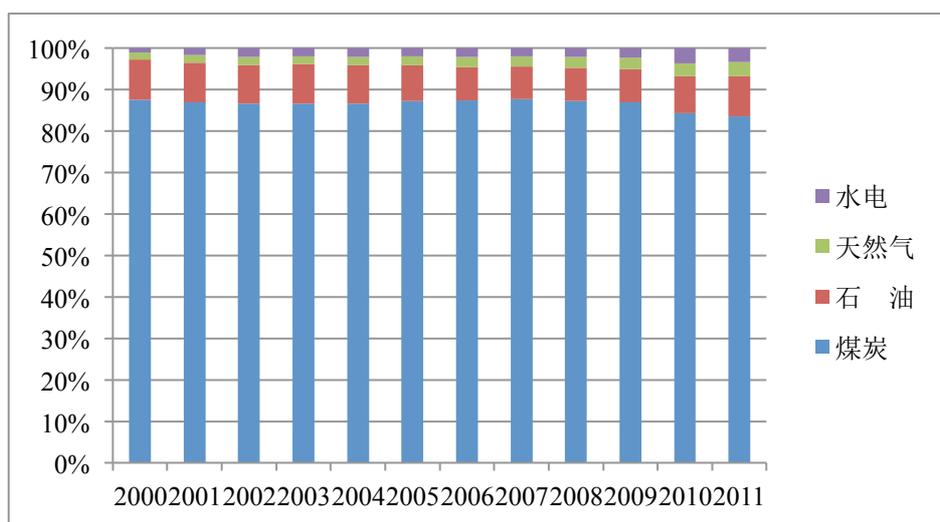


图 2.9 河南省历年能源消费结构

而从河南省的能源消费的分部门构成来看，如图 2.10 所示，工业引起的能源消费从 2008 年开始有所下降，但仍占全省能源消费量的 76%左右，随着河南省经济的快速发展，人民生活水平的不断提高，交通运输部门、商业和居民生活三个部门的所占的能耗比重呈现出增长的趋势，农业和建筑业两个部门所占的比重较小。就不同产业对总能耗增长的拉动效应来看，如图 2.11 所示。由于 2010 年交通运输部门能源消费和居民生活部门能源消费增长较为迅猛，导致第三产业和居民生活部门对能耗增长的拉动效应超过第二产业，其余年份第二产业对能耗增长的拉动作用要远高于其他产业。自 2006 年以来，第二产业对能耗的平均拉动作用达到 6.0%，而其他部门对能耗拉动作用最大的为第三产业达到 1.0%。河南省的能源消费增长主要是由第二产业拉动，第三产业对能源消费增长的拉动效应与第二产业相比影响很小，而第一产业对能源消费增长基本可以忽略。居民生活部门对能源消费的拉动作用不大，但是随着人们生活水平的不断提高，其对能耗增长的拉动作用正逐年递增。因此可以认为河南省的能源消费增长与经济增长均

主要是由第二产业的增长来拉动的。

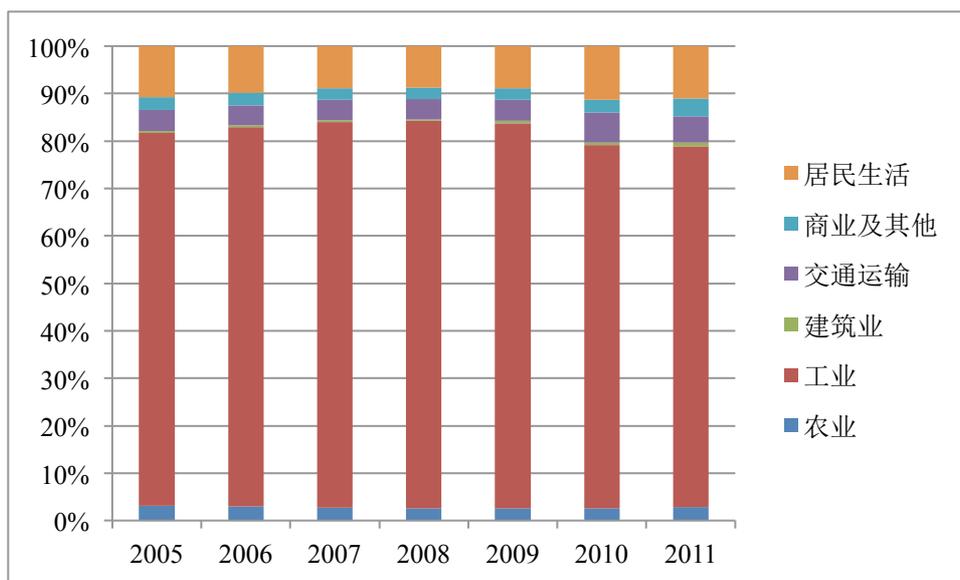


图 2.10 河南省总能耗分部门构成

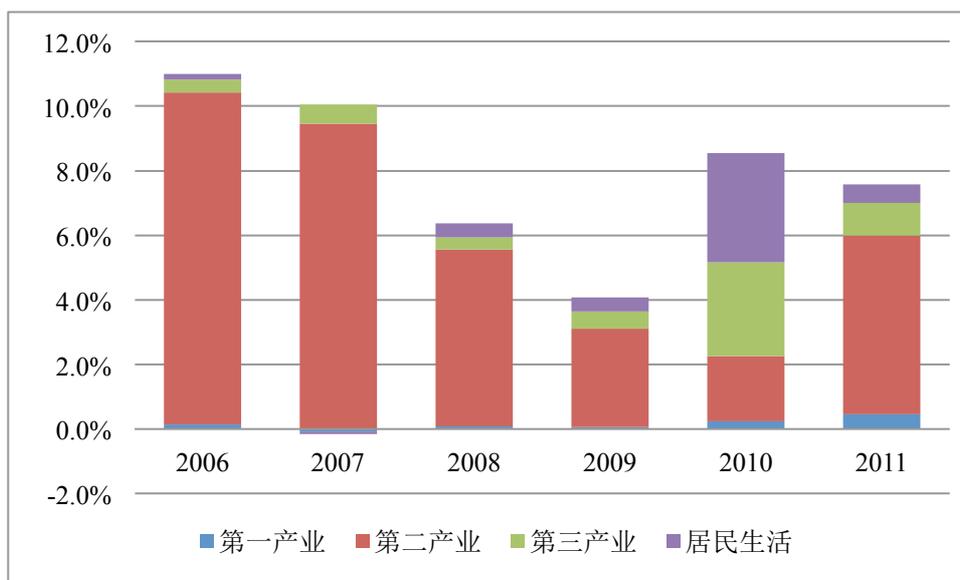


图 2.11 河南省不同产业对能源消费增长拉动效应对比

从工业能耗的分行业构成来看，如图 2.12 所示。自 2005 年以来，从总体上来看，钢铁、建材、有色、化工、煤炭和电力六大高耗能行业所占能耗比重有减小的趋势，但是仍占据工业总能耗的 80% 以上，在高耗能行业中，电力行业的能耗最大，近几年来所占比重有一定的下降趋势，但是 2011 年仍占据工业部门 28.7% 的比重。而对于电子、食品、纺织、轻工及其他四大高附加值行业所占的能耗比重则较小。从工业部门不同行业的单位能耗上来看，如图 2.13 所示，除 2011 年

电力行业的单位能耗上升以外，其他行业近几年的单耗大体上均呈现下降的趋势。另外，高耗能行业尤其是电力、钢铁、化工的单位能耗要远远高于电子、纺织、食品等行业。由此可以认为，河南省高耗能行业的快速发展，在带动经济发展的同时，也带动了能源消费的快速增长。

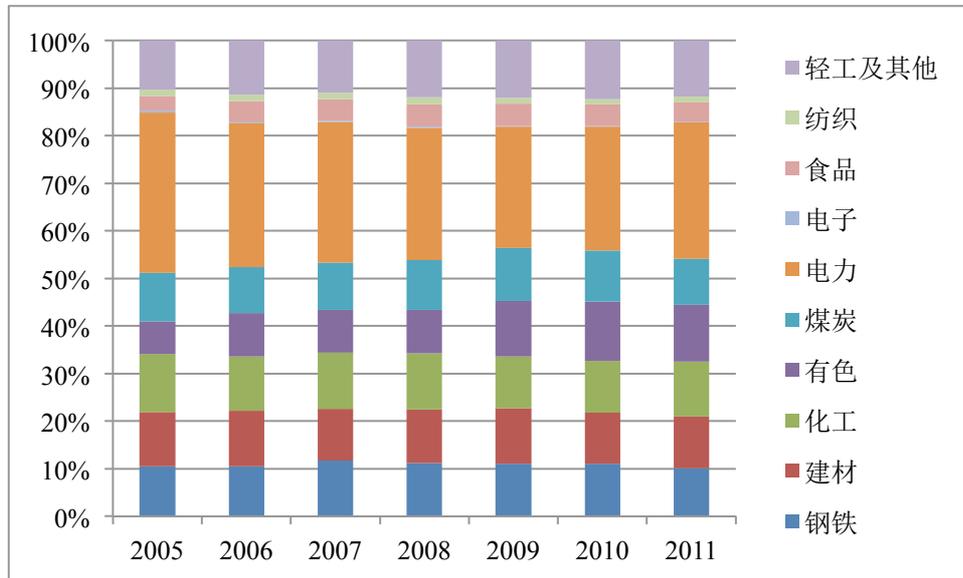


图 2.12 河南省工业能耗分行业构成

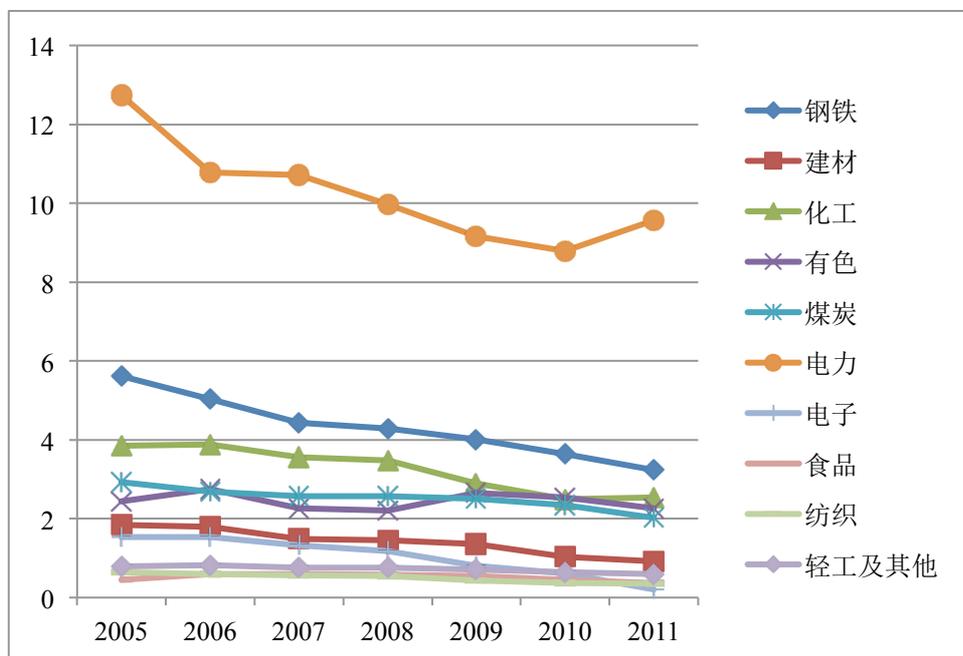


图 2.13 工业不同行业单位增加值能耗对比

2.3 河南省节能目标完成现状分析

根据 2011 年时河南省及各地市的单位 GDP 能耗和能源消费量，可以计算河南省及各地市的节能目标完成情况，河南省以及其所辖十八个地市的“十二五”节能目标^[11]和能源消费总量控制目标对比，2011 年全省的单位 GDP 能耗为 0.895 吨标准煤/万元，比 2010 年下降了 3.57% 高于节能目标的年均下降率 3.43%，而能源消费总量为 23062 万吨标准煤，增长率为 7.58%，超过了能源消费总量控制目标的年均增长率 6.23%。而各地市的节能目标和能源消费总量目标完成情况如图 2.14 和 2.15 所示。就节能目标完成情况，2011 年地市呈现了两极分化的态势：大部分地市顺利完成单位 GDP 能耗下降的目标，洛阳和濮阳的单位 GDP 能耗下降率未达到节能目标，而开封、平顶山和驻马店的城市 GDP 能耗则出现上升。而就能源消费总量目标来看，所有地市均未能完成目标，尤其是单位 GDP 能耗上升的三市的能源消费增长远高于目标。

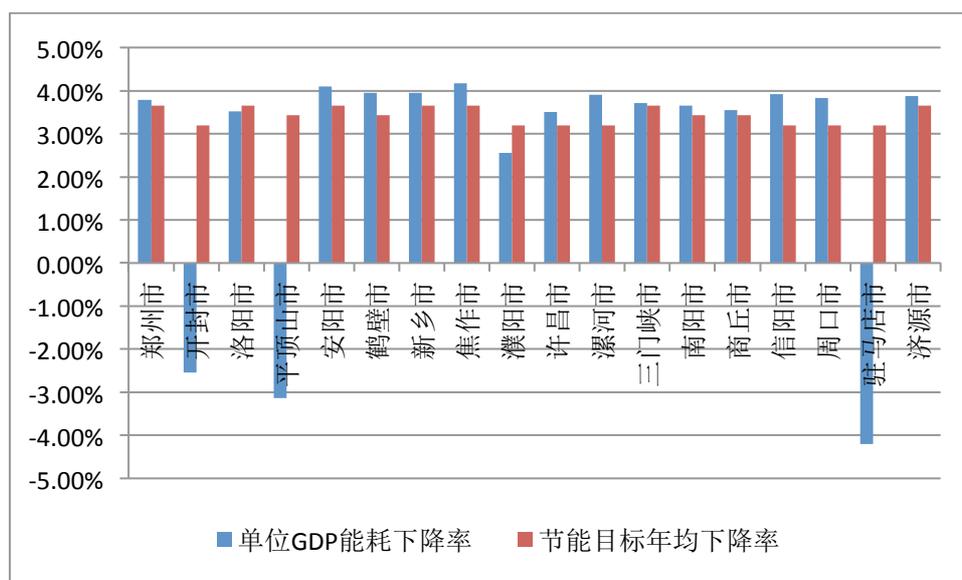


图 2.14 2011 年各地市节能目标完成情况

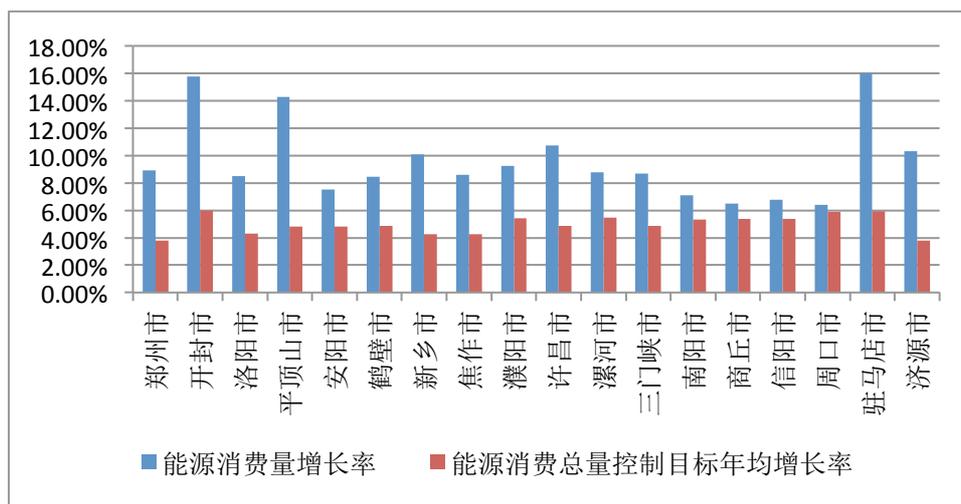


图 2.15 2011 年各地市能源消费总量控制目标完成情况

根据最新公布的数据，2012 年河南省的单位 GDP 下降率为 7.14%，而根据 2011 年单位能耗和节能目标计算得到“十二五”后四年的单位 GDP 能耗年均下降率为 3.39%，2012 年全省的单位 GDP 能耗下降率远高于节能目标要求，到 2012 年末河南省已完成了“十二五”节能目标的 72.94%。根据相关数据，推算得到 2012 年河南省全省的能源消费总量为 23436.51 亿吨标准煤，与 2011 年相比仅增长了 1.6%，而完成能源消费总量控制目标所要求的后四年年均增长率为 5.90%，全省的能源消费增量目标已消耗了 26.43%。而各地市的 2012 节能目标完成情况如图 2.16 所示，可见 2012 各地市均超额完成了节能目标；各地市 2012 年总体的节能目标完成进度如图 2.17 所示，可见大部分地市均完成“十二五”节能目标的 40%以上，其中鹤壁市已完成了目标的 84.68%，而开封和驻马店由于 2011 年单位 GDP 能耗上升较大，2012 年虽然有了较大的下降，但节能目标完成进度仍均在 30%左右。地市的能源消费总量控制目标完成情况如图 2.18 所示，与 2011 年不同，在 2012 年各地市在能源消费总量控制目标的完成情况上出现了较大差异：大部分地市的能源消费增速仍远大于目标增速尤其是郑州、濮阳、许昌、济源四市，而平顶山、安阳、鹤壁三市则出现了能源消费量下降，驻马店的能源消费量与 2011 年基本持平，能保持能源消费合理增长并顺利完成目标的只有商丘市。而到 2012 年各地市对能源消费增量的消耗如 2.19 所示，大部分地市对能源消费增量的消耗都超过了 40%，而郑州市的能源消费增量则已经用完，开封、新乡、许昌、济源的能源消费增量也都消耗超过了 60%。

就河南省截止到 2012 年的节能目标和能源消费总量控制目标情况来看，单

位 GDP 能耗下降目标完成暂时较为顺利,而能源消费总量控制目标完成情况则并不理想。就节能目标完成情况来看,目前的完成进度主要得益于 2012 年时全省和各地市单位 GDP 能耗的大幅下降: 全省以及大部分地市 2012 年的下降率都是 2011 年时的两倍左右。结合能源消费情况和经济发展情况, 2012 年受外部经济环境影响河南省的工业增长有所放缓, 随之而来的是能源消费量增长放缓。同时由于部分地市的经济规模较小, 容易受到大型项目影响, 因此 2011 年随着部分大型项目的投产, 开封等地市出现了单位 GDP 能耗上升。而就能源消费总量控制目标来看, 2011 年由于工业增长迅速, 也带了能源消费总量增长, 而在 2012 年安阳等地市工业增长放缓, 能源消费总量下降, 也导致了全省工业增长放缓, 能源消费增长放缓。另一方面, 郑州和济源等地市的工业和经济增长并未受到影响, 继续保持了较高的增长速度, 拉动其能源消费进一步的高速增长。

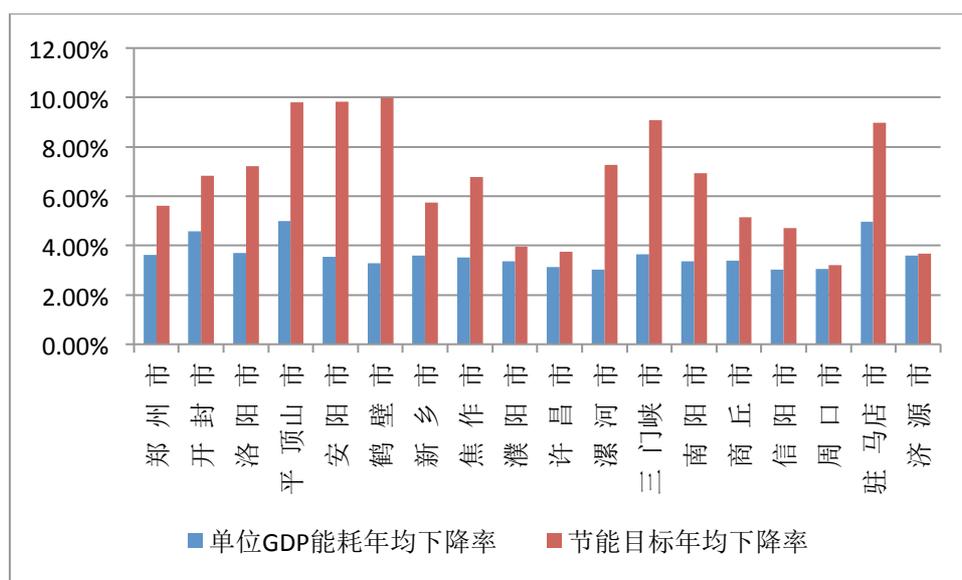


图 2.16 2012 年各地市节能目标完成情况

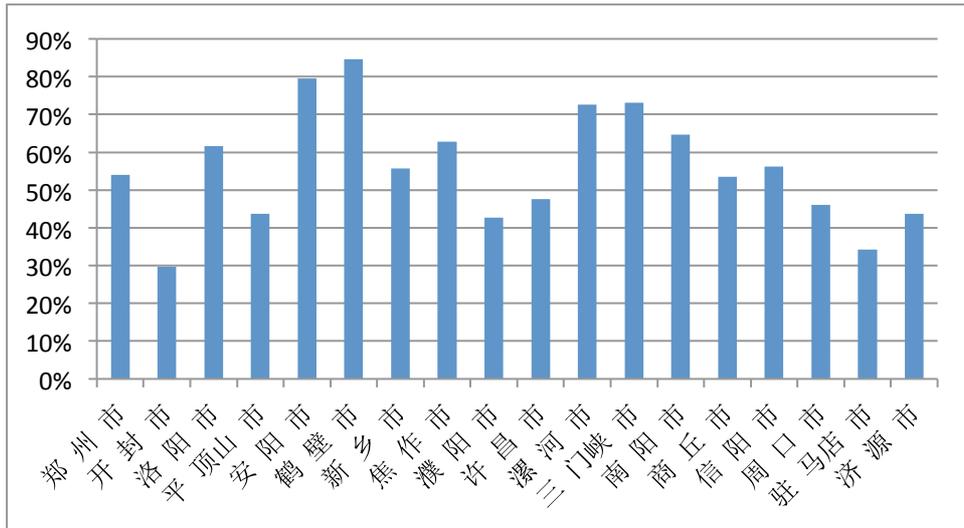


图 2.17 各地市节能目标完成进度

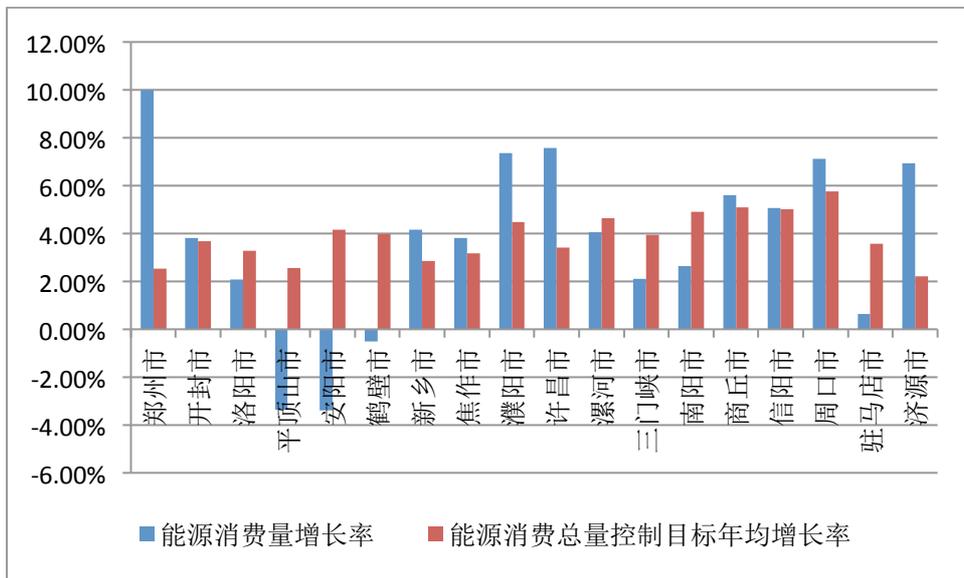


图 2.18 2012 年各地市能源消费总量控制完成情况

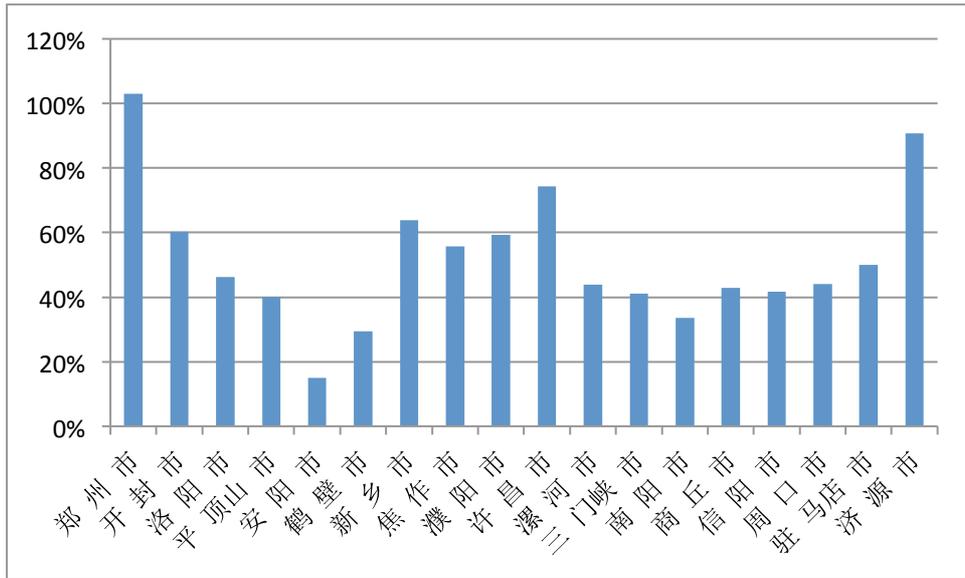


图 2.19 2012 年各地市能源消费增量消耗情况

3. 河南省节能目标宏观预测预警研究

3.1 经济发展宏观预测

3.1.1 河南省经济发展宏观预测

本研究选取了 2008 年第一季度到 2012 年第四季度的 GDP 同比增长率数据，来对河南省的经济增长进行宏观。同时为了与能源数据配合得到相关月度数据，对每季度的 GDP 数据采用了内插处理得到月度 GDP 同比增长数据。为了数据统一，计算中所采用的 GDP 数据均采用的是 2010 年可比价。整理后的河南省月度 GDP 数据如表 3.1 所示。

表 3.1 河南省历史 GDP 数据整理汇总

时间	GDP	GDP 同比增长	时间	GDP	GDP 同比增速
2008 年 1 月	1284.30	13.60%	2010 年 7 月	12620.15	12.96%
2008 年 2 月	2568.59	13.60%	2010 年 8 月	14779.05	12.58%
2008 年 3 月	3852.89	13.60%	2010 年 9 月	16937.95	12.30%
2008 年 4 月	5408.08	13.65%	2010 年 10 月	18939.53	12.26%
2008 年 5 月	6963.26	13.68%	2010 年 11 月	20941.10	12.23%
2008 年 6 月	8518.45	13.70%	2010 年 12 月	22942.68	12.20%
2008 年 7 月	10278.77	13.61%	2011 年 1 月	1755.08	10.80%
2008 年 8 月	12039.10	13.55%	2011 年 2 月	3510.15	10.80%
2008 年 9 月	13799.42	13.50%	2011 年 3 月	5265.23	10.80%
2008 年 10 月	15345.70	12.94%	2011 年 4 月	7387.79	11.01%
2008 年 11 月	16891.98	12.48%	2011 年 5 月	9510.35	11.13%
2008 年 12 月	18438.25	12.10%	2011 年 6 月	11632.91	11.20%
2009 年 1 月	1369.06	6.60%	2011 年 7 月	14044.90	11.29%
2009 年 2 月	2738.12	6.60%	2011 年 8 月	16456.89	11.35%
2009 年 3 月	4107.18	6.60%	2011 年 9 月	18868.88	11.40%
2009 年 4 月	5810.44	7.44%	2011 年 10 月	21113.93	11.48%
2009 年 5 月	7513.70	7.90%	2011 年 11 月	23358.98	11.55%
2009 年 6 月	9216.96	8.20%	2011 年 12 月	25604.03	11.60%
2009 年 7 月	11172.23	8.69%	2012 年 1 月	1953.40	11.30%
2009 年 8 月	13127.50	9.04%	2012 年 2 月	3906.80	11.30%
2009 年 9 月	15082.77	9.30%	2012 年 3 月	5860.20	11.30%
2009 年 10 月	16871.19	9.94%	2012 年 4 月	8183.83	10.78%
2009 年 11 月	18659.60	10.46%	2012 年 5 月	10507.47	10.48%

2009年12月	20448.02	10.90%	2012年6月	12831.10	10.30%
2010年1月	1584.00	15.70%	2012年7月	15472.65	10.17%
2010年2月	3168.01	15.70%	2012年8月	18114.21	10.07%
2010年3月	4752.01	15.70%	2012年9月	20755.76	10.00%
2010年4月	6655.09	14.54%	2012年10月	23233.86	10.04%
2010年5月	8558.17	13.90%	2012年11月	25711.95	10.07%
2010年6月	10461.25	13.50%	2012年12月	28190.04	10.10%

本研究采用 ARIMA 模型，用 Eviews6.0 软件根据上述历史数据，预测了河南省 2013-2015 年的月度 GDP 同比增长，进而得到相应的月度 GDP 数据。通过 ADF 检验、自相关性检验以及对拟合模型的拟合程度、AIC、BC、HQ、R² 值的比较，最终确定模型结束为 (2,2,1)，拟合方程为：

$$X_t = 0.124X_{t-1} + 0.121X_{t-2} - 1.007\alpha_{t-1} \quad (3.1)$$

而方程拟合曲线如图 3.1 所示，可见除 2009 年 1 月和 2010 年二月外，拟合值均吻合历史值。

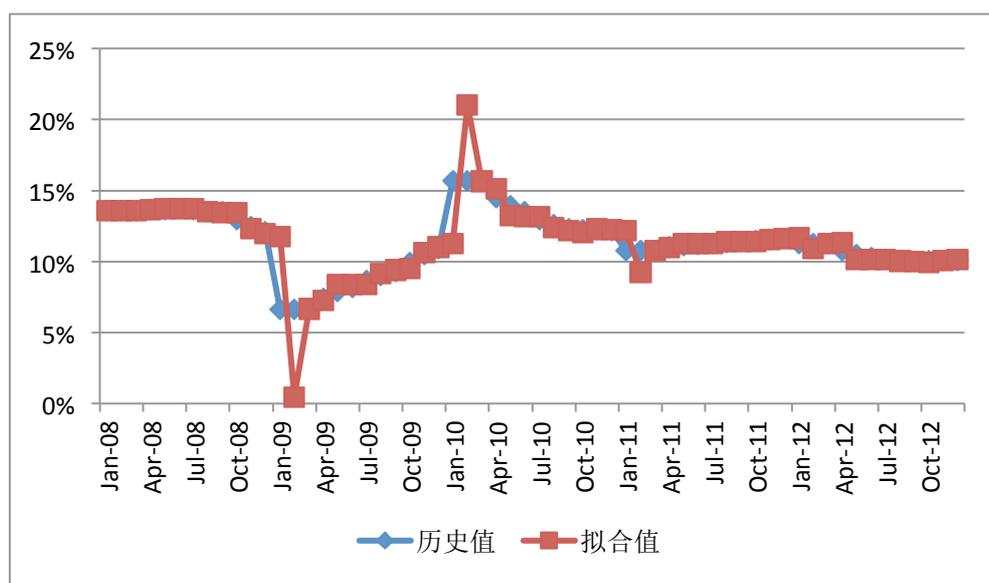


图 3.1 河南月度 GDP 同比增长率拟合曲线

根据拟合方程推算得到河南省 2013-2015 年的月度 GDP 如表 3.2 所示，2015 年末时河南省的 GDP 为 38215.04 亿元，较 2010 年年均增长了 10.47%，略高于河南省“十二五”规划中所定经济增长目标。

表 3.2 河南省月度 GDP 预测结果 单位：亿元

时间	GDP	时间	GDP
2013 年 1 月	2151.19	2014 年 7 月	18862.47
2013 年 2 月	4303.33	2014 年 8 月	22092.28
2013 年 3 月	6456.40	2014 年 9 月	25324.87
2013 年 4 月	9018.39	2014 年 10 月	28360.72
2013 年 5 月	11581.49	2014 年 11 月	31399.18
2013 年 6 月	14145.70	2014 年 12 月	34440.25
2013 年 7 月	17061.58	2015 年 1 月	2629.27
2013 年 8 月	19978.72	2015 年 2 月	5261.98
2013 年 9 月	22897.12	2015 年 3 月	7898.10
2013 年 10 月	25636.41	2015 年 4 月	11036.94
2013 年 11 月	28376.88	2015 年 5 月	14179.83
2013 年 12 月	31118.53	2015 年 6 月	17326.78
2014 年 1 月	2375.17	2015 年 7 月	20907.39
2014 年 2 月	4752.42	2015 年 8 月	24492.62
2014 年 3 月	7131.73	2015 年 9 月	28082.47
2014 年 4 月	9963.86	2015 年 10 月	31455.65
2014 年 5 月	12798.42	2015 年 11 月	34833.17
2014 年 6 月	15635.44	2015 年 12 月	38215.04

3.1.2 地市经济发展宏观预测

对于地市的经济发展宏观预测仍采用了对省级数据相同的数据来源和处理方法，经过处理后的各地市的历史 GDP 数据见附录 1 中附表 1.1。

同样采用 ARIMA 模型，用 Eviews6.0 软件根据上述历史数据，预测了河各地市 2013-2015 年的月度 GDP 同比增长率，进而得到相应的月度 GDP 数据。通过 ADF 检验、自相关性检验以及对拟合模型的拟合程度、AIC、BC、HQ、R² 值的比较得到各地市拟合方程阶数如表 3.3 所示。

表 3.3 各地市经济宏观预测拟合方程阶数

地市	AR 阶数	差分阶数	MA 阶数
郑州市	1	1	1
开封市	3	2	1
洛阳市	2	1	1
平顶山市	1	2	1
安阳市	3	1	1
鹤壁市	2	2	1
新乡市	1	2	2

焦作市	1	1	2
濮阳市	1	2	2
许昌市	3	2	1
漯河市	2	2	1
三门峡市	5	2	5
南阳市	2	2	1
商丘市	3	2	3
信阳市	2	2	1
周口市	1	1	2
驻马店市	1	2	1
济源市	5	2	4

各地市拟合方程如下。

$$\text{郑州: } X_t = 0.491X_{t-1} - 0.348\alpha_{t-1} \quad (3.2)$$

$$\text{开封: } X_t = 0.101X_{t-1} + 0.088X_{t-2} - 0.147X_{t-3} - 1.030\alpha_{t-1} \quad (3.3)$$

$$\text{洛阳: } X_t = 0.194X_{t-1} + 0.115X_{t-2} - 0.068\alpha_{t-1} \quad (3.4)$$

$$\text{平顶山: } X_t = 0.207X_{t-1} - 1.014\alpha_{t-1} \quad (3.5)$$

$$\text{安阳: } X_t = 0.360X_{t-1} + 0.088X_{t-2} - 0.001X_{t-3} - 0.220\alpha_{t-1} \quad (3.6)$$

$$\text{鹤壁: } X_t = 0.143X_{t-1} + 0.136X_{t-2} - 1.008\alpha_{t-1} \quad (3.7)$$

$$\text{新乡: } X_t = -0.653X_{t-1} - 0.274\alpha_{t-1} - 0.542\alpha_{t-2} \quad (3.8)$$

$$\text{焦作: } X_t = 0.019X_{t-1} + 0.108\alpha_{t-1} + 0.142\alpha_{t-2} \quad (3.9)$$

$$\text{濮阳: } X_t = 0.340X_{t-1} - 1.181\alpha_{t-1} + 0.203\alpha_{t-2} \quad (3.10)$$

$$\text{许昌: } X_t = 0.075X_{t-1} + 0.035X_{t-2} - 0.025X_{t-3} - 0.972\alpha_{t-1} \quad (3.11)$$

$$\text{漯河: } X_t = 0.160X_{t-1} + 0.111X_{t-2} - 0.997\alpha_{t-1} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} X_t = & -0.226X_{t-1} + 0.379X_{t-2} + 0.610X_{t-3} - 0.080X_{t-4} - 0.093X_{t-5} \\ \text{三门峡: } & -0.795\alpha_{t-1} - 0.603\alpha_{t-2} - 0.447\alpha_{t-3} + 0.510\alpha_{t-4} + 0.178\alpha_{t-5} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\text{南阳: } X_t = 0.096X_{t-1} + 0.077X_{t-2} - 0.997\alpha_{t-1} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} X_t = & -0.828X_{t-1} - 0.553X_{t-2} + 0.139X_{t-3} - 0.062\alpha_{t-1} \\ \text{商丘: } & -0.157\alpha_{t-2} - 1.031\alpha_{t-3} \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\text{信阳: } X_t = 0.158X_{t-1} + 0.111X_{t-2} - 0.982\alpha_{t-1} \quad (3.16)$$

$$\text{周口: } X_t = 0.388X_{t-1} - 1.176\alpha_{t-1} + 0.154\alpha_{t-2} \quad (3.17)$$

$$\text{驻马店: } X_t = 0.231X_{t-1} - 0.972\alpha_{t-1} \quad (3.18)$$

$$\begin{aligned} \text{济源: } X_t = & -0.214X_{t-1} + 0.129X_{t-2} + 0.352X_{t-3} - 0.160X_{t-4} - 0.082X_{t-5} \\ & - 0.712\alpha_{t-1} - 0.391\alpha_{t-2} - 0.541\alpha_{t-3} + 0.274\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (3.19)$$

各地市拟合方程曲线见附录 1 中附图 1.1-1.18。根据拟合方程推算得到各地市 2015 年 12 月时的 GDP 如表 3.4 所示（详细月度数据见附录 1 中附表 1.2），2015 年末时各地市 GDP 之和为 41008.58 亿元，略高于河南省“十二五”规划中所定经济增长目标和全省 GDP，因此需要根据全省的预测结果对各地市的 GDP 预测结果进行修正，结果如表 3.5（详细月度数据见附录 1 中附表 1.3）。

表 3.4 2015 年各地市 GDP 预测值 单位：亿元

地市	GDP (亿元)	年均增速	地市	GDP (亿元)	年均增速
郑州市	7175.96	12.38%	许昌市	2506.74	13.81%
开封市	1763.38	13.65%	漯河市	1359.62	14.80%
洛阳市	3831.37	10.54%	三门峡市	1527.81	11.81%
平顶山市	2081.59	9.67%	南阳市	3424.46	11.85%
安阳市	1964.27	8.42%	商丘市	2003.25	11.81%
鹤壁市	823.40	14.00%	信阳市	1963.88	12.45%
新乡市	2288.11	14.13%	周口市	2208.96	12.46%
焦作市	2276.46	12.78%	驻马店市	1716.05	10.21%
濮阳市	1445.13	13.28%	济源市	648.14	13.55%

表 3.5 2015 年各地市 GDP 预测修正值 单位：亿元

地市	GDP (亿元)	年均增速	地市	GDP (亿元)	年均增速
郑州市	6687.13	10.81%	许昌市	2335.98	12.22%
开封市	1643.25	12.05%	漯河市	1267.00	13.19%
洛阳市	3570.38	8.99%	三门峡市	1423.74	10.24%
平顶山市	1939.79	8.13%	南阳市	3191.19	10.29%
安阳市	1830.46	6.90%	商丘市	1866.79	10.24%
鹤壁市	767.31	12.40%	信阳市	1830.10	10.87%
新乡市	2132.24	12.53%	周口市	2058.48	10.89%
焦作市	2121.38	11.20%	驻马店市	1599.15	8.67%
濮阳市	1346.69	11.69%	济源市	603.99	11.96%

3.2 能源消费量宏观预测

3.2.1 能源消费预测模型

由于月度统计数据缺乏能源消费量的直接数据，因此需要根据月度统计数据与能源消费总量相关的数据建立回归模型对能源消费量进行预测。月度统计数据中与能源消费总量相关的数据有规模以上工业能源消费量和全社会用电量，本研究针对这两项统计数据与能源消费总量之间的关系，建立模型预测河南省及各地市的月度能源消费总量。

(1) 能源消费量历史数据整理

由于 2010 年以前的地市能源消费数据未经过统计部门的核算，因此统计数据中各地市 2005-2009 年能源消费总量要大于 2010、2011 年的能源消费总量，明显与现实情况不符，因此本研究对各地市 2005-2009 年的能源消费总量按照如下过程进行了修正。

a.以各地市 2005-2009 年的能源消费总量数据为基础，采用线性趋势推算了 2010 和 2011 年的能源消费总量，结果如表 3.6 所示。

表 3.6 各地市 2010、2011 年能源消费量推算值 单位：万吨标准煤

地市	2010	2011	地市	2010	2011
郑州市	3390.57	3607.56	许昌市	1256.24	1340.11
开封市	779.75	834.67	漯河市	601.79	640.54
洛阳市	2700.48	2892.33	三门峡市	1015.91	1087.64
平顶山市	1944.40	2067.92	南阳市	2120.80	2253.61
安阳市	2371.71	2527.17	商丘市	1157.71	1225.09
鹤壁市	550.11	592.67	信阳市	1012.03	1074.20
新乡市	1415.24	1506.01	周口市	1039.62	1098.92
焦作市	2009.97	2139.52	驻马店市	929.05	987.77
濮阳市	1116.61	1187.99	济源市	635.25	684.23

b.将推算的各地市 2010 年和 2011 年能源消费量与统计年鉴中公布的经过核算的能源消费量进行对比并计算各地市两年的平均差异，结果如表 3.7。

表 3.7 各地市能源消费平均差异系数

地市	差异系数	地市	差异系数
郑州市	0.8248	许昌市	0.812
开封市	0.7666	漯河市	1.010
洛阳市	0.7896	三门峡市	0.985
平顶山市	0.7971	南阳市	0.545
安阳市	0.7789	商丘市	0.923
鹤壁市	1.0932	信阳市	0.834
新乡市	0.8440	周口市	0.623
焦作市	0.7213	驻马店市	0.902
濮阳市	0.7269	济源市	1.041

c.采用计算得到差异系数对各地市 2005-2009 年的能源消费历史数据，经过修正的各地市能源消费总量数据如表 3.8 所示。

表 3.8 各地市能源消费总量修正 单位：万吨标准煤

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
郑州市	1849.12	2097.31	2333.18	2452.53	2566.40	2764.17	3010.18	3345.13
开封市	387.86	432.74	468.96	506.36	561.54	574.39	664.92	691.25
洛阳市	1361.41	1526.37	1698.07	1842.63	1960.66	2118.45	2298.51	2347.52
平顶山市	1037.40	1154.11	1286.22	1375.56	1418.97	1494.09	1707.58	1652.19
安阳市	1211.39	1359.05	1540.91	1624.57	1684.08	1839.07	1977.08	1912.09
鹤壁市	364.44	410.73	468.92	525.42	539.69	599.47	650.00	646.79
新乡市	803.71	886.03	980.90	1045.19	1107.17	1174.15	1292.61	1348.58
焦作市	964.64	1072.18	1203.09	1279.49	1328.23	1435.39	1558.72	1620.32
濮阳市	544.28	607.85	665.08	710.49	752.38	800.95	874.96	944.59
许昌市	673.45	749.50	824.12	884.88	946.21	1000.90	1108.27	1199.19
漯河市	400.08	457.17	500.50	538.25	555.21	601.10	653.74	681.33
三门峡市	624.07	722.59	826.10	864.88	906.27	993.35	1079.42	1102.72
南阳市	780.12	873.18	946.30	1022.80	1066.91	1150.18	1232.08	1265.31
商丘市	740.25	830.19	899.48	948.08	992.34	1065.26	1134.51	1201.72
信阳市	581.01	638.99	692.13	740.43	789.50	841.51	898.37	946.43
周口市	459.97	501.52	539.83	574.22	608.32	645.44	686.81	739.43
驻马店市	564.28	631.61	689.09	732.73	778.60	801.70	929.97	935.97
济源市	396.77	457.33	524.92	565.69	597.62	653.62	720.97	774.64

由于历史数据缺乏月度能源消费总量，需要采用 2005-2012 年的年度数据来建立模型，经过研究，发现采用年度数据直接进行计算，其结果无法满足月度预测的需要，因此对相关年度数据（能源消费总量、全社会用电量和规模以上工业能源消费量）均采用取 ln 值进行分析的方法。

(2) 相关性分析

本研究采用了相关系数法来分析全社会用电量、规模以上工业能源消费量和能源消费总量之间的关系。河南省全社会用电量和能源消费总量的 \ln 值之间的相关系数为 0.9887，而规模以上工业能源消费量和能源消费总量的 \ln 值之间的相关系数为 0.9378，均在 99%置信区间内呈现显著地相关性。

对于地市的相关性分析，则是分析了全社会用电量、规模以上工业能源消费量和能源消费总量三者 \ln 值之间的关系，地市相关性分析结果如表 3.9 所示。

表 3.9 地市相关性分析结果

	全社会用电量与能源消费总量相关系数	规模以上工业能源消费量与能源消费总量相关系数
郑州市	0.8767	0.9843
开封市	0.9804	0.9785
洛阳市	0.9437	0.9888
平顶山市	0.9420	0.9845
安阳市	0.9040	0.9704
鹤壁市	0.5669	0.9930
新乡市	0.9409	0.9957
焦作市	-0.3468	0.9496
濮阳市	0.7606	0.9565
许昌市	0.7702	0.9900
漯河市	0.8786	0.9917
三门峡市	0.9814	0.9778
南阳市	0.9801	0.9886
商丘市	0.9555	0.9871
信阳市	-0.3418	0.9981
周口市	0.9591	0.9891
驻马店市	0.9888	0.9929
济源市	0.9378	0.9987

可见全部地市的全社会用电量和能源消费总量均在 99%置信区间内显著相关，而除焦作、周口和鹤壁外其他的规模以上工业能源消费量与能源消费总量均在 99%置信区间内显著相关。

(3) 回归模型的建立

根据相关性分析的结果来看，河南省及其所辖的各地市的全社会用电量和能源消费总量均有显著的相关性，因此本研究采用全社会用电量和规模以上工业能

源消费量作为自变量，能源消费总量作为因变量的二元线性回归模型，即电力-工业能耗-总能耗二元回归模型。根据相关数据计算得到河南省及各地市的电力-工业能耗-总能耗二元回归模型如式 3.20-3.38。全省模型的 R² 值为 0.9981，各地市模型的 R² 值如表 3.10 所示，其中 R² 值最小的焦作为 0.9537，大部分地市及全省模型的 R² 值均处在 0.9800-0.999 的范围，方程拟合效果较好。

$$\text{全省: } \ln z = 0.097 \ln x + 0.604 \ln y + 4.356 \quad (3.20)$$

$$\text{郑州: } \ln z = 0.074 \ln x + 0.784 \ln y + 2.655 \quad (3.21)$$

$$\text{开封: } \ln z = 0.214 \ln x + 0.474 \ln y + 3.207 \quad (3.22)$$

$$\text{洛阳: } \ln z = -0.306 \ln x + 0.840 \ln y + 5.003 \quad (3.23)$$

$$\text{平顶山: } \ln z = 0.242 \ln x + 0.534 \ln y + 2.989 \quad (3.24)$$

$$\text{安阳: } \ln z = 0.560 \ln x + 0.446 \ln y + 1.147 \quad (3.25)$$

$$\text{鹤壁: } \ln z = -0.002 \ln x + 0.786 \ln y + 3.520 \quad (3.26)$$

$$\text{新乡: } \ln z = 0.100 \ln x + 0.553 \ln y + 3.649 \quad (3.27)$$

$$\text{焦作: } \ln z = -0.458 \ln x + 0.928 \ln y + 5.633 \quad (3.28)$$

$$\text{濮阳: } \ln z = 0.545 \ln x + 0.713 \ln y + 0.319 \quad (3.29)$$

$$\text{许昌: } \ln z = 0.100 \ln x + 0.567 \ln y + 3.832 \quad (3.30)$$

$$\text{漯河: } \ln z = 0.309 \ln x + 0.611 \ln y + 2.340 \quad (3.31)$$

$$\text{三门峡: } \ln z = 0.551 \ln x + 0.338 \ln y + 1.561 \quad (3.32)$$

$$\text{南阳: } \ln z = 0.488 \ln x + 0.319 \ln y + 2.161 \quad (3.33)$$

$$\text{商丘: } \ln z = 0.140 \ln x + 0.633 \ln y + 2.973 \quad (3.34)$$

$$\text{信阳: } \ln z = 0.352 \ln x + 0.395 \ln y + 2.895 \quad (3.35)$$

$$\text{周口: } \ln z = 0.047 \ln x + 0.532 \ln y + 4.090 \quad (3.36)$$

$$\text{驻马店: } \ln z = 0.111 \ln x + 0.498 \ln y + 3.940 \quad (3.37)$$

$$\text{济源: } \ln z = 0.433 \ln x + 0.439 \ln y + 1.923 \quad (3.38)$$

上述公式中 z 为能源消费总量, x 为规模以上工业能耗、 z 为全社会用电量。

表 3.10 全省及各地市模型 R^2 值

	R^2 值		R^2 值
郑州市	0.9693	许昌市	0.9891
开封市	0.9810	漯河市	0.9986
洛阳市	0.9818	三门峡市	0.9774
平顶山市	0.9764	南阳市	0.9941
安阳市	0.9883	商丘市	0.9777
鹤壁市	0.9861	信阳市	0.9898
新乡市	0.9923	周口市	0.9975
焦作市	0.9537	驻马店市	0.9806
濮阳市	0.9900	济源市	0.9889

(4) 回归模型计算结果

根据上述回归模型计算结果如表 3.11 所示。可见模型对全省以及各地市的能源消费总量和单位 GDP 能耗的计算误差基本均在 5% 以下

表 3.11 回归模型计算结果

	能源消费总量历史值(万吨标准煤)	能源消费总量计算值(万吨标准煤)	能源消费总量误差	单位 GDP 能耗历史值(吨标准煤/万元)	单位 GDP 能耗计算值(吨标准煤/万元)	单位 GDP 能耗误差
全省	23436.51	23503.33	0.29%	0.831	0.834	-0.28%
郑州市	3345.13	3185.76	-4.76%	0.656	0.624	5.00%
开封市	691.25	678.83	-1.80%	0.592	0.582	1.83%
洛阳市	2347.52	2343.81	-0.16%	0.817	0.816	0.16%
平顶山市	1652.19	1647.32	-0.30%	1.060	1.057	0.30%
安阳市	1912.09	1868.68	-2.27%	1.209	1.182	2.32%
鹤壁市	646.79	650.53	0.58%	1.208	1.215	-0.58%
新乡市	1348.58	1326.60	-1.63%	0.893	0.879	1.66%
焦作市	1620.32	1600.09	-1.25%	1.029	1.016	1.26%
濮阳市	944.59	961.11	1.75%	0.967	0.984	-1.72%
许昌市	1199.19	1182.84	-1.36%	0.706	0.696	1.38%
漯河市	681.33	675.47	-0.86%	0.787	0.780	0.87%
三门峡市	1102.72	1037.97	-5.87%	0.995	0.936	6.24%
南阳市	1265.31	1291.23	2.05%	0.528	0.539	-2.01%
商丘市	1201.72	1167.76	-2.83%	0.851	0.827	2.91%
信阳市	946.43	937.60	-0.93%	0.706	0.699	0.94%
周口市	739.43	738.50	-0.13%	0.489	0.489	0.13%
驻马店市	935.97	976.81	4.36%	0.722	0.753	-4.18%
济源市	774.64	772.28	-0.30%	1.762	1.757	0.31%

3.2.2 电力消费宏观预测

(1) 河南省电力消费宏观预测

本研究根据 2011 年 1 月到 2013 年 6 月的河南省全社会用电量的月度同比增长率，来建立 ARIMA 模型预测 2013 年 7 月-2015 年 12 月的全社会用电量。与经济预测相同，利用 Eviews6.0 软件根据电力消费历史数据，预测了 2013 年 7 月-2015 年 12 月的全社会用电量月度同比增长率，进而得到相应的月度全社会用电量数据。通过 ADF 检验、自相关性检验以及对拟合模型的拟合程度、AIC、BC、HQ、R² 值的比较，最终确定模型结束为 (1,2,4)，拟合方程为：

$$X_t = 0.124X_{t-1} + 0.121X_{t-2} - 1.007\alpha_{t-1} \quad (3.39)$$

而方程拟合曲线如图 3.2 所示，可见拟合值基本吻合历史值。

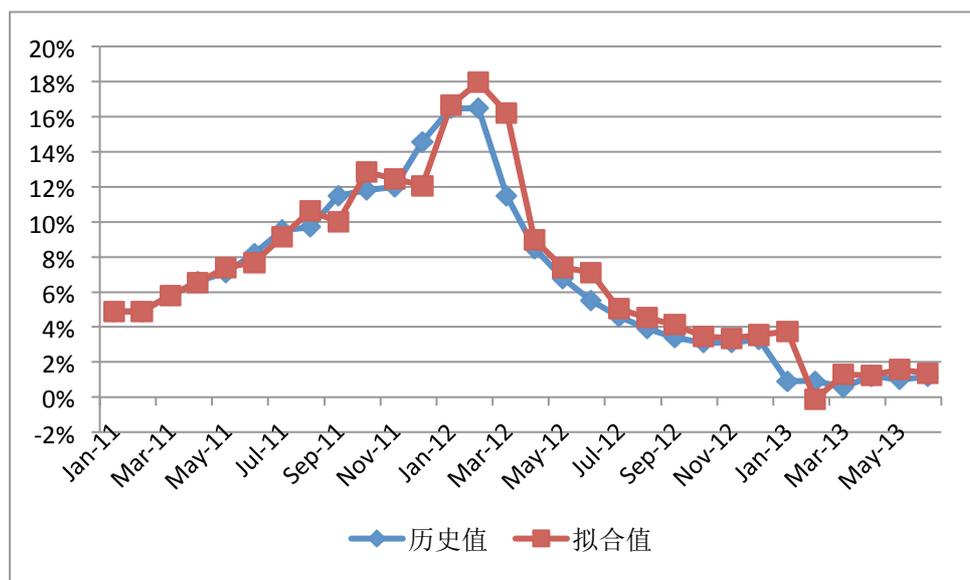


图 3.2 河南省全社会用电量拟合曲线图

根据拟合方程推算得到河南省 2013 年 7 月到 2015 年 12 月的月度全社会用电量如表 3.11 所示，2015 年 12 月时河南省的累计全社会用电为 3946.74 亿千瓦时，较 2010 年年均增长了 11.12%，将会略微超过电力消费的控制目标。

表 3.12 河南省全社会用电预测结果 单位：亿千瓦时

月份	用电量	月份	用电量
2013 年 7 月	1636.04	2014 年 10 月	2618.17
2013 年 8 月	1888.77	2014 年 11 月	2911.31
2013 年 9 月	2114.21	2014 年 12 月	3257.40
2013 年 10 月	2344.60	2015 年 1 月	279.08
2013 年 11 月	2591.37	2015 年 2 月	565.09
2013 年 12 月	2882.03	2015 年 3 月	855.04
2014 年 1 月	245.44	2015 年 4 月	1139.36
2014 年 2 月	494.04	2015 年 5 月	1432.65
2014 年 3 月	743.14	2015 年 6 月	1748.51
2014 年 4 月	984.44	2015 年 7 月	2112.41
2014 年 5 月	1230.64	2015 年 8 月	2467.95
2014 年 6 月	1493.26	2015 年 9 月	2795.41
2014 年 7 月	1793.65	2015 年 10 月	3136.72
2014 年 8 月	2083.54	2015 年 11 月	3507.67
2014 年 9 月	2346.57	2015 年 12 月	3946.74

(2) 地市电力消费宏观预测

与省级宏观预测相同，同样采用 ARIMA 模型，用 Eviews6.0 软件根据上述历史数据，预测了各地市 2013 年 7 月到 2015 年 12 月的月度全社会用电量同比增长率，进而得到相应的月度全社会用电量数据。通过 ADF 检验、自相关性检验以及对拟合模型的拟合程度、AIC、BC、HQ、 R^2 值的比较得到各地市拟合方程阶数如表 3.13 所示。

表 3.13 各地市电力消费宏观预测拟合方程阶数

地市	AR 阶数	差分阶数	MA 阶数
郑州市	1	2	1
开封市	1	1	1
洛阳市	1	2	2
平顶山市	3	1	2
安阳市	3	1	3
鹤壁市	3	1	1
新乡市	3	2	2
焦作市	1	1	1
濮阳市	1	1	1
许昌市	2	1	2
漯河市	2	1	1
三门峡市	1	1	2

南阳市	1	1	1
商丘市	1	2	5
信阳市	1	2	2
周口市	5	2	1
驻马店市	2	2	1
济源市	3	2	1

各地市拟合方程如下。

$$\text{郑州: } X_t = 0.101X_{t-1} - 0.974\alpha_{t-1} \quad (3.40)$$

$$\text{开封: } X_t = -0.365X_{t-1} + 0.732\alpha_{t-1} \quad (3.41)$$

$$\text{洛阳: } X_t = -0.476X_{t-1} - 0.047\alpha_{t-1} + 0.497\alpha_{t-2} \quad (3.42)$$

$$\text{平顶山: } X_t = 0.132X_{t-1} - 0.109X_{t-2} + 0.338X_{t-3} + 0.079\alpha_{t-1} + 0.023\alpha_{t-2} \quad (3.43)$$

$$\text{安阳: } X_t = -0.218X_{t-1} + 0.299X_{t-2} + 0.295X_{t-3} - 0.740\alpha_{t-1} - 1.157\alpha_{t-2} - 0.908\alpha_{t-3} \quad (3.44)$$

$$\text{鹤壁: } X_t = 0.850X_{t-1} - 0.281X_{t-2} + 0.205X_{t-3} - 0.955\alpha_{t-1} \quad (3.45)$$

$$\text{新乡: } X_t = 0.190X_{t-1} + 0.037X_{t-2} + 0.068X_{t-3} - 0.643\alpha_{t-1} - 0.305\alpha_{t-2} \quad (3.46)$$

$$\text{焦作: } X_t = -0.375X_{t-1} + 0.660\alpha_{t-1} \quad (3.47)$$

$$\text{濮阳: } X_t = 0.865X_{t-1} - 0.997\alpha_{t-1} \quad (3.48)$$

$$\text{许昌: } X_t = 0.427X_{t-1} - 0.051X_{t-2} - 0.473\alpha_{t-1} - 0.282\alpha_{t-2} \quad (3.49)$$

$$\text{漯河: } X_t = -0.089X_{t-1} - 0.159X_{t-2} + 0.358\alpha_{t-1} \quad (3.50)$$

$$\text{三门峡: } X_t = 0.459X_{t-1} - 0.238\alpha_{t-1} + 0.019\alpha_{t-2} \quad (3.51)$$

$$\text{南阳: } X_t = -0.919X_{t-1} + 0.757\alpha_{t-1} \quad (3.52)$$

$$\text{商丘: } X_t = -0.412X_{t-1} - 0.293\alpha_{t-1} - 0.554\alpha_{t-2} - 0.185\alpha_{t-3} + 0.028\alpha_{t-4} + 0.009\alpha_{t-5} \quad (3.53)$$

$$\text{信阳: } X_t = -0.867X_{t-1} - 0.003\alpha_{t-1} - 0.743\alpha_{t-2} \quad (3.54)$$

$$\text{周口: } X_t = -0.078X_{t-1} - 0.009X_{t-2} - 0.116X_{t-3} - 0.191X_{t-4} - 0.099X_{t-5} - 0.937\alpha_{t-1} \quad (3.55)$$

$$\text{驻马店: } X_t = 0.161X_{t-1} + 0.096\alpha_{t-1} - 0.934\alpha_{t-2} \quad (3.56)$$

$$\text{济源: } X_t = -1.539X_{t-1} - 1.109X_{t-2} - 0.600X_{t-3} + 0.931\alpha_{t-1} \quad (3.57)$$

各地市拟合方程曲线见附录 1 中附图 1.19-1.36。根据拟合方程推算得到各地市 2015 年 12 月时的累计全社会用电量如表 3.14 所示（详细月度数据见附录 1 中附表 1.4），2015 年末时各地市全社会用电量之和为 3066.17 亿千瓦时，小于省级宏观预测结果。与 GDP 预测相同，也根据全省预测结果对地市结果进行修正，结果如表 3.15 所示（详细月度数据见附录 1 中附表 1.5）。

表 3.14 各地市电力消费宏观预测结果 单位：亿千瓦时

地市	预测值	地市	预测值
郑州市	527.78	许昌市	114.15
开封市	96.12	漯河市	54.88
洛阳市	428.54	三门峡市	111.46
平顶山市	137.90	南阳市	194.61
安阳市	200.73	商丘市	188.78
鹤壁市	52.82	信阳市	87.62
新乡市	227.41	周口市	103.82
焦作市	223.87	驻马店市	105.49
濮阳市	106.31	济源市	103.90

表 3.15 各地市电力消费宏观预测结果修正值 单位：亿千瓦时

地市	预测值	目标值	地市	预测值	目标值
郑州市	679.35	610	许昌市	146.93	126
开封市	123.73	106	漯河市	70.64	70
洛阳市	551.61	562	三门峡市	143.47	238
平顶山市	177.50	215	南阳市	250.50	280
安阳市	258.37	267	商丘市	243.00	226
鹤壁市	67.99	66	信阳市	112.79	120
新乡市	292.72	231	周口市	133.63	97
焦作市	288.16	286	驻马店市	135.78	118
濮阳市	136.84	93	济源市	133.74	93

根据预测结果可见，2015 年时河南省只有洛阳、平顶山、安阳、三门峡、南阳和信阳六地市可以将全社会用电量控制在目标值内。

3.2.3 工业能耗宏观预测

(1) 河南省工业能耗宏观预测

本研究根据 2011 年 1 月到 2013 年 6 月的河南省规模以上工业能源消费量的月度同比增长率，来建立 ARMIA 模型预测 2013 年 7 月-2015 年 12 月的规模以上工业能源消费量。仍利用 Eviews6.0 软件根据电力消费历史数据，预测了 2013 年 7 月-2015 年 12 月规模以上工业能源消费量月度同比增长率，进而得到相应的规模以上工业能源消费量数据。通过 ADF 检验、自相关性检验以及对拟合模型的拟合程度、AIC、BC、HQ、 R^2 值的比较，最终确定模型结束为 (2,1,3)，拟合方程为：

$$X_t = 0.199X_{t-1} + 0.237X_{t-2} + 0.145\alpha_{t-1} - 0.462\alpha_{t-2} + 0.233\alpha_{t-3} \quad (3.58)$$

而方程拟合曲线如图 3.3 所示，可见拟合值基本吻合历史值。

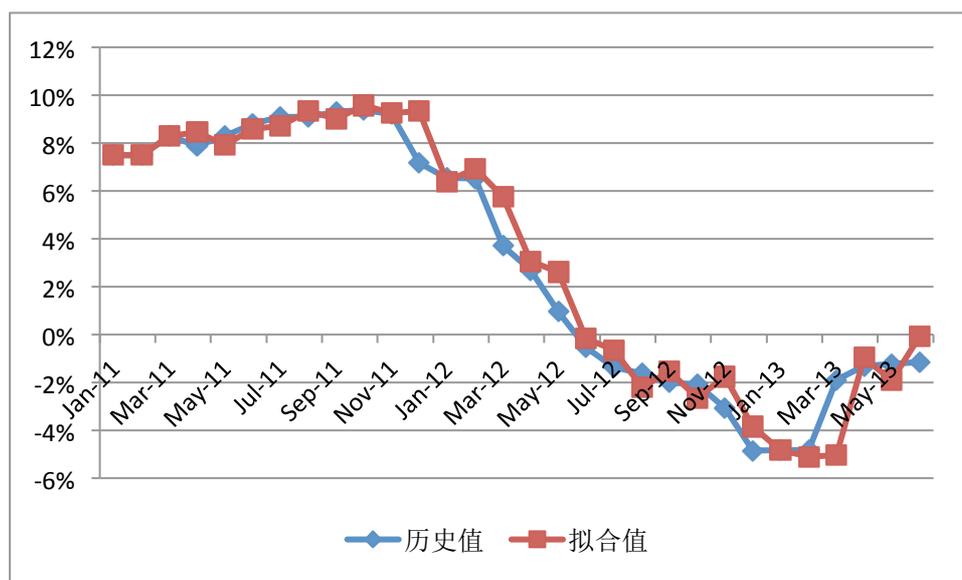


图 3.3 河南省规模以上工业能耗拟合曲线图

根据拟合方程推算得到河南省 2013 年 7 月到 2015 年 12 月的月度规模以上工业能耗如表 3.16 所示，2015 年 12 月时河南省的累计规模以上工业能耗为 14440.48 万吨标准煤，较 2010 年下降了 3.82%。

表 3.16 河南省规模以上工业能耗预测结果 单位：万吨标准煤

月份	规模以上工业能耗	月份	规模以上工业能耗
2013 年 7 月	8633.53	2014 年 10 月	12243.86
2013 年 8 月	10006.45	2014 年 11 月	13425.06
2013 年 9 月	11186.58	2014 年 12 月	14630.90
2013 年 10 月	12405.31	2015 年 1 月	1186.81
2013 年 11 月	13602.08	2015 年 2 月	2373.65
2013 年 12 月	14823.82	2015 年 3 月	3670.84
2014 年 1 月	1202.46	2015 年 4 月	4906.69
2014 年 2 月	2404.94	2015 年 5 月	6075.52
2014 年 3 月	3719.24	2015 年 6 月	7240.06
2014 年 4 月	4971.39	2015 年 7 月	8410.29
2014 年 5 月	6155.64	2015 年 8 月	9747.69
2014 年 6 月	7335.53	2015 年 9 月	10897.30
2014 年 7 月	8521.19	2015 年 10 月	12084.51
2014 年 8 月	9876.23	2015 年 11 月	13250.34
2014 年 9 月	11040.99	2015 年 12 月	14440.48

(2) 地市工业能耗宏观预测

与省级宏观预测相同，同样采用 ARIMA 模型，用 Eviews6.0 软件根据上述历史数据，预测了各地市 2013 年 7 月到 2015 年 12 月的月度规模以上工业能耗同比增长率，进而得到相应的月度规模以上工业能耗数据。通过 ADF 检验、自相关性检验以及对拟合模型的拟合程度、AIC、BC、HQ、 R^2 值的比较得到各地市拟合方程阶数如表 3.17 所示。

表 3.17 各地市工业能耗宏观预测拟合方程阶数

地市	AR 阶数	差分阶数	MA 阶数
郑州市	2	1	1
开封市	2	1	1
洛阳市	3	2	4
平顶山市	3	1	2
安阳市	4	2	3
鹤壁市	3	1	5
新乡市	4	1	4
焦作市	1	1	1
濮阳市	2	1	2
许昌市	2	1	2
漯河市	5	1	5
三门峡市	3	1	2

南阳市	3	1	3
商丘市	7	1	6
信阳市	3	1	1
周口市	4	2	3
驻马店市	3	1	4
济源市	4	1	4

各地市拟合方程如下。

$$\text{郑州: } X_t = -0.261X_{t-1} - 0.208X_{t-2} + 0.413\alpha_{t-1} \quad (3.59)$$

$$\text{开封: } X_t = 0.222X_{t-1} + 0.162X_{t-2} + 0.008\alpha_{t-1} \quad (3.60)$$

$$\begin{aligned} \text{洛阳: } X_t = & -0.679X_{t-1} + 0.226X_{t-2} + 0.265X_{t-3} - 0.175\alpha_{t-1} \\ & + 0.362\alpha_{t-2} + 0.362\alpha_{t-3} - 0.574\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (3.61)$$

$$\text{平顶山: } X_t = -0.759X_{t-1} - 0.451X_{t-2} - 0.282X_{t-3} + 1.023\alpha_{t-1} + 0.950\alpha_{t-2} \quad (3.62)$$

$$\begin{aligned} \text{安阳: } X_t = & 0.283X_{t-1} - 0.110X_{t-2} - 0.170X_{t-3} - 0.219X_{t-4} \\ & - 1.557\alpha_{t-1} + 0.477\alpha_{t-2} - 1.085\alpha_{t-3} \end{aligned} \quad (3.63)$$

$$\begin{aligned} \text{鹤壁: } X_t = & 0.230X_{t-1} + 0.151X_{t-2} - 0.122X_{t-3} - 1.549\alpha_{t-1} \\ & + 0.095\alpha_{t-2} + 0.631\alpha_{t-3} + 1.918\alpha_{t-4} + 1.336\alpha_{t-5} \end{aligned} \quad (3.64)$$

$$\begin{aligned} \text{新乡: } X_t = & 0.047X_{t-1} - 0.115X_{t-2} - 0.346X_{t-3} + 0.697X_{t-4} \\ & - 0.884\alpha_{t-1} - 1.056\alpha_{t-2} - 0.585\alpha_{t-3} + 1.921\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (3.65)$$

$$\text{焦作: } X_t = 0.596X_{t-1} - 0.716\alpha_{t-1} \quad (3.66)$$

$$\text{濮阳: } X_t = -0.187X_{t-1} - 0.959X_{t-2} + 0.335\alpha_{t-1} + 0.904\alpha_{t-2} \quad (3.67)$$

$$\text{许昌: } X_t = 0.154X_{t-1} - 0.131X_{t-2} - 0.268\alpha_{t-1} - 0.085\alpha_{t-2} \quad (3.68)$$

$$\begin{aligned} \text{漯河: } X_t = & -0.055X_{t-1} - 0.247X_{t-2} - 0.249X_{t-3} - 0.659X_{t-4} - 0.075X_{t-5} \\ & - 0.881\alpha_{t-1} + 0.730\alpha_{t-2} + 1.534\alpha_{t-3} + 3.418\alpha_{t-4} + 0.351\alpha_{t-5} \end{aligned} \quad (3.69)$$

$$\text{三门峡: } X_t = -0.696X_{t-1} + 0.537X_{t-2} + 0.330X_{t-3} - 0.066\alpha_{t-1} - 0.929\alpha_{t-2} \quad (3.70)$$

$$\begin{aligned} \text{南阳: } X_t = & -0.168X_{t-1} + 0.361X_{t-2} + 0.258X_{t-3} - 0.461\alpha_{t-1} \\ & - 1.265\alpha_{t-2} - 0.984\alpha_{t-3} \end{aligned} \quad (3.71)$$

$$\begin{aligned}
 X_t = & -0.075X_{t-1} + 0.319X_{t-2} + 0.497X_{t-3} + 0.013X_{t-4} + 0.128X_{t-5} \\
 \text{商丘:} & + 0.006X_{t-4} - 0.744X_{t-5} - 0.587\alpha_{t-1} - 1.368\alpha_{t-2} - 2.843\alpha_{t-3} \\
 & + 1.368\alpha_{t-4} + 1.421\alpha_{t-5} + 1.039\alpha_{t-5}
 \end{aligned} \quad (3.72)$$

$$\text{信阳: } X_t = 0.113X_{t-1} - 0.085X_{t-2} + 0.058X_{t-3} + 0.054\alpha_{t-1} \quad (3.73)$$

$$\begin{aligned}
 \text{周口: } X_t = & -0.624X_{t-1} - 0.465X_{t-2} - 0.182X_{t-3} - 0.140X_{t-4} \\
 & - 0.369\alpha_{t-1} - 0.277\alpha_{t-2} - 0.349\alpha_{t-3}
 \end{aligned} \quad (3.74)$$

$$\begin{aligned}
 \text{驻马店: } X_t = & 0.070X_{t-1} + 0.431X_{t-2} - 0.174X_{t-3} + 0.086\alpha_{t-1} \\
 & + 0.116\alpha_{t-2} + 0.155\alpha_{t-3} + -0.786\alpha_{t-4}
 \end{aligned} \quad (3.75)$$

$$\begin{aligned}
 \text{济源: } X_t = & -0.0003X_{t-1} - 0.028X_{t-2} - 0.401X_{t-3} - 0.077X_{t-4} \\
 & - 0.131\alpha_{t-1} - 0.453\alpha_{t-2} + 0.203\alpha_{t-3} - 0.468\alpha_{t-4}
 \end{aligned} \quad (3.76)$$

各地市拟合方程曲线见附录 1 中附图 1.37-1.54。根据拟合方程推算得到各地市 2015 年 12 月时的累计规模以上工业能耗如表 3.18 所示（详细月度数据见附录 1 中附表 1.6），2015 年末时各地市规模以上工业能耗之和为 14991.97 万吨标准煤，略高于全省宏观预测结果。根据全省预测结果进行修正后，结果如表 3.19 所示详细月度数据见附录 1 中附表 1.7）。

表 3.18 各地市工业能耗宏观预测结果 单位：万吨标准煤

地市	规模以上工业能耗	地市	规模以上工业能耗
郑州市	2439.70	许昌市	738.54
开封市	372.31	漯河市	261.34
洛阳市	1856.86	三门峡市	844.93
平顶山市	1037.76	南阳市	863.50
安阳市	1453.02	商丘市	607.68
鹤壁市	367.69	信阳市	360.44
新乡市	722.43	周口市	80.67
焦作市	810.30	驻马店市	579.56
濮阳市	710.92	济源市	884.31

表 3.19 各地市工业能耗宏观预测结果修正值 单位：万吨标准煤

地市	规模以上工业能耗	地市	规模以上工业能耗
郑州市	2439.70	许昌市	738.54
开封市	372.31	漯河市	261.34
洛阳市	1856.86	三门峡市	844.93
平顶山市	1037.76	南阳市	863.50
安阳市	1453.02	商丘市	607.68
鹤壁市	367.69	信阳市	360.44
新乡市	722.43	周口市	80.67
焦作市	810.30	驻马店市	579.56
濮阳市	710.92	济源市	884.31

3.2.4 能源消费宏观预测

计算河南省以及各地市的能源消费量。通过计算得到河南省 2013-2015 年的月度能源消费量如表 3.20 所示，可见 2015 年时预测河南省的能源消费总量为 29133.96 万吨标准煤，较 2010 年年均增长 6.33%，略微超过了能源消费总量控制目标。

表 3.20 河南省能源消费总量预测结果 单位：万吨标准煤

月份	能源消费总量	月份	能源消费总量
2013 年 1 月	4153.25	2014 年 7 月	17200.76
2013 年 2 月	6747.81	2014 年 8 月	19098.99
2013 年 3 月	8970.25	2014 年 9 月	20741.99
2013 年 4 月	10890.06	2014 年 10 月	22381.94
2013 年 5 月	12672.43	2014 年 11 月	24075.81
2013 年 6 月	14430.57	2014 年 12 月	25979.64
2013 年 7 月	16292.53	2015 年 1 月	4625.36
2013 年 8 月	18023.33	2015 年 2 月	7571.08
2013 年 9 月	19501.53	2015 年 3 月	10139.48
2013 年 10 月	20966.18	2015 年 4 月	12400.50
2013 年 11 月	22470.64	2015 年 5 月	14536.06
2013 年 12 月	24159.63	2015 年 6 月	16673.59
2014 年 1 月	4285.83	2015 年 7 月	18961.57
2014 年 2 月	6990.18	2015 年 8 月	21127.20
2014 年 3 月	9328.18	2015 年 9 月	23023.87
2014 年 4 月	11367.90	2015 年 10 月	24929.50
2014 年 5 月	13278.72	2015 年 11 月	26907.68
2014 年 6 月	15178.06	2015 年 12 月	29133.96

而各地市 2015 年的能源消费总量预测结果如表 3.21 所示（详细数据见附录 1 中附表 1.8）。可见各地市能源消费总量之和为 29127.40 万吨标准煤略小于全省预测结果，根据全省预测结果进行修正后结果如表 3.22（详细数据见附录 1 中附表 1.9）。就能源消费总量控制目标来看，只有平顶山、安阳、漯河、三门峡、南阳、信阳六地市在 2015 年时可将能源消费总量控制在目标值内。

表 3.21 各地市能源消费总量预测结果 单位：万吨标准煤

地市	预测值	地市	预测值
郑州市	4216.91	许昌市	1506.07
开封市	853.32	漯河市	770.65
洛阳市	3024.52	三门峡市	1023.79
平顶山市	1680.99	南阳市	1351.13
安阳市	2177.22	商丘市	1541.99
鹤壁市	919.71	信阳市	915.43
新乡市	1713.70	周口市	996.90
焦作市	2528.74	驻马店市	1200.96
濮阳市	1609.76	济源市	1095.60

表 3.22 各地市能源消费总量预测结果修正 单位：万吨标准煤

地市	预测值	目标值	地市	预测值	目标值
郑州市	4217.86	3328	许昌市	1506.41	1268
开封市	853.51	768	漯河市	770.82	784
洛阳市	3025.20	2614	三门峡市	1024.02	1260
平顶山市	1681.37	1889	南阳市	1351.43	1492
安阳市	2177.71	2327	商丘市	1542.34	1384
鹤壁市	919.92	760	信阳市	915.63	1093
新乡市	1714.09	1447	周口市	997.12	859
焦作市	2529.31	1767	驻马店市	1201.23	1070
濮阳市	1610.13	1043	济源市	1095.85	787

3.3 节能目标宏观预测和预警

根据经济预测结果和能源消费总量预测，计算河南省 2013-2015 年的单位 GDP 能耗如表 3.23 所示。根据宏观预测结果，2015 年末河南省的单位 GDP 能耗预计为 0.762 吨标准煤/万元，较 2010 年下降了 17.88%，可以超额完成节能目标。其中 2013 年的下降率预计为 6.62%，2014 年为 2.84%，而 2015 年的单位 GDP 能耗则将会上升 1.06%。由此可见，按照历史趋势进行预测，在 2013 年末

河南省即可达到单位 GDP 能耗下降 16% 的目标，而 2014 年和 2015 年的单位 GDP 能耗则会呈现小幅的波动。

表 3.23 河南省单位 GDP 能耗预测结果 单位：吨标准煤/万元

月份	单位 GDP 能耗	月份	单位 GDP 能耗
2013 年 1 月	1.931	2014 年 7 月	0.912
2013 年 2 月	1.568	2014 年 8 月	0.865
2013 年 3 月	1.389	2014 年 9 月	0.819
2013 年 4 月	1.208	2014 年 10 月	0.789
2013 年 5 月	1.094	2014 年 11 月	0.767
2013 年 6 月	1.020	2014 年 12 月	0.754
2013 年 7 月	0.955	2015 年 1 月	1.759
2013 年 8 月	0.902	2015 年 2 月	1.439
2013 年 9 月	0.852	2015 年 3 月	1.284
2013 年 10 月	0.818	2015 年 4 月	1.124
2013 年 11 月	0.792	2015 年 5 月	1.025
2013 年 12 月	0.776	2015 年 6 月	0.962
2014 年 1 月	1.804	2015 年 7 月	0.907
2014 年 2 月	1.471	2015 年 8 月	0.863
2014 年 3 月	1.308	2015 年 9 月	0.820
2014 年 4 月	1.141	2015 年 10 月	0.793
2014 年 5 月	1.038	2015 年 11 月	0.772
2014 年 6 月	0.971	2015 年 12 月	0.762

同样根据各地市的经济和能源消费总量，计算各地市 2013-2015 年的单位 GDP 能耗。各地市 2015 年末的单位 GDP 能耗与下降率如表 3.24 所示（详细数据见附录 1 中附表 1.10）。由此可见，按照历史趋势进行预测，2015 年末时，只有开封，平顶山，新乡，许昌，漯河，三门峡，南阳，信阳等七地市能完成节能目标。

表 3.24 各地市节能目标预测结果

地市	单位 GDP 能耗 (吨标准煤/万元)	单位 GDP 能耗 下降率	节能目标
郑州市	0.631	-12.65%	17%
开封市	0.519	-16.23%	15%
洛阳市	0.847	-7.20%	17%
平顶山市	0.867	-23.95%	16%
安阳市	1.190	-14.89%	17%
鹤壁市	1.199	-14.18%	16%

新乡市	0.804	-18.53%	17%
焦作市	1.192	3.50%	17%
濮阳市	1.196	15.75%	15%
许昌市	0.645	-15.18%	15%
漯河市	0.608	-31.14%	15%
三门峡市	0.719	-36.69%	17%
南阳市	0.423	-28.07%	16%
商丘市	0.826	-11.22%	16%
信阳市	0.500	-35.10%	15%
周口市	0.484	-7.81%	15%
驻马店市	0.751	-1.27%	15%
济源市	1.814	-4.68%	17%

4. 河南省分部门节能目标预测预警

4.1 部门划分

在分析和计算中,本研究根据河南省实际情况和统计习惯将河南省的全社会总能源消费量分为农业、工业、建筑业、第三产业和居民生活五大部门。其中又对工业、第三产业和居民生活进行了进一步的细分。工业部门划分为电力、有色、建材、化工、钢铁和煤炭六大高耗能行业和其他工业行业。对六大高耗能行业又在行业内细分成主要耗能产品和其他产品。而其他行业则又根据河南省的优势产业和未来产业结构调整方向划分为了纺织、电子、食品和轻工及其他等四个行业。第三产业则划分为了交通和服务业及其他两个行业,其中又将交通行业划分为了不同的运输方式。居民生活则是划分了城市居民和农村居民两部分。总体的部门划分如图 4.1 所示。为了方便计算,本章中所使用的 GDP 和增加值数据均采用 2005 年可比价。

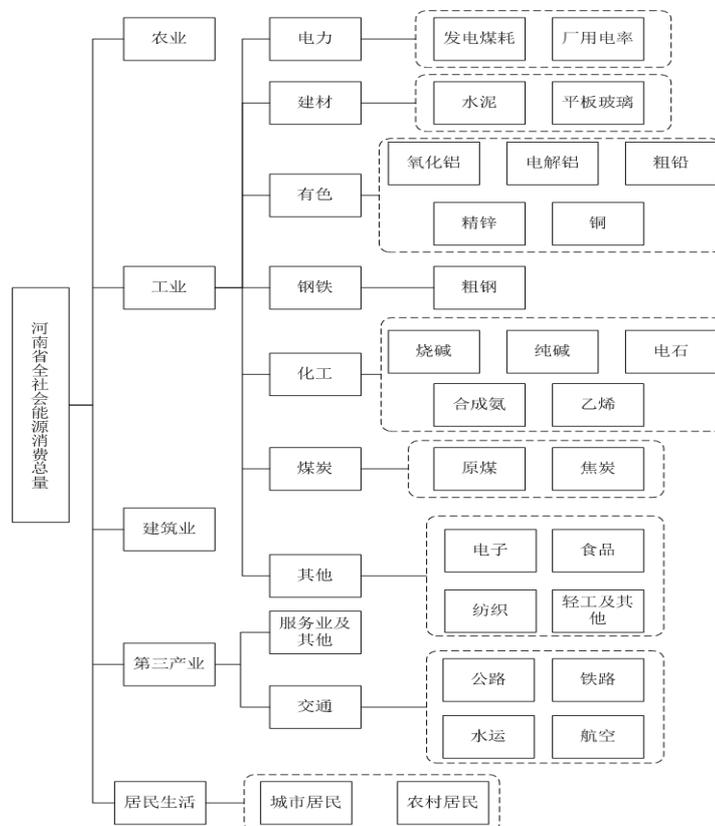


图 4.1 河南省部门划分图

4.2 分部门经济-能耗预测

4.2.1 农业部门经济能耗预测

近年来，河南省农业生产规模相对稳定，增加值增长趋势缓慢，随着耕作方式的现代化和规模化，农业生产效率的进一步提高和农业种植结构的变化，农业的单位能耗仍有较大下降空间。但因总体能耗水平低，生产规模稳定，农业能耗总体来说，所占比重不大，增速较慢。对河南省“十二五”期间农业部门经济-能耗预测如表 4.1 所示。根据历史数据趋势分析结果，“十二五”期间，河南省的农业将能耗以年均 4.90% 的速度增长，增加值以年均 3.85% 的速度递增。

表 4.1 河南省“十二五”农业部门经济-能耗预测

	2012	2013	2014	2015
能耗（万 tce）	659.15	670.95	682.03	692.39
增加值（亿元）	2618.40	2719.70	2821.00	2922.30

4.2.2 工业部门经济能耗预测

根据工业部门的划分，对于钢铁、建材、有色、化工、煤炭和电力六大高耗能行业，考虑到数据的可获得性，选取主要的高耗能产品。采用主要产品的产量、价格、单位产品能耗和单位增加值能耗作为其活动水平和强度参数。在“十二五”期间，河南省工业各行业产品产量主要参考行业发展规划，主要产品的单位能耗均采用河南省“十二五”规划中的目标值以及参考国家发展规划。由于缺乏进一步的数据，除主要产品外的其他产品产量的无法进行预测，研究中对其他产品利用单位产值能耗作为能源强度参数，采用趋势分析的方法进行预测。对于食品、纺织、电子、轻工及其他四行业，则主要根据行业自身的发展规划，采用单位增加值能耗作为强度参数，分析其产值和单耗。

(1) 产品产量及增加值预测

电力行业：根据《河南省“十二五”能源发展规划》^[112]业和火电发展的具体规划，“十二五”期间电力行业和火电的装机容量将以年均 10.7% 的速度发展，据此对“十二五”期间河南省的发电量进行了预测。对于电力行业中其他产品的增加

值增长，根据其历史趋势采用了幂函数预测其“十二五”期间的增长。

建材行业：根据《河南省建材工业节能“十二五”专项规划》^[114]产量的规划，2015 年时河南省的水泥产量将达到 1.55 亿吨左右。而对于平板玻璃和其他产品的产量则没相应的规划，本研究分别根据其历史数据采用了对数回归分析预测“十二五”期间平板玻璃的产量和其他建材产品的总产值。

化工行业：根据已确定的部门划分方法，化工行业主要分为合成氨、纯碱、烧碱、电石、乙烯和其他产品六类产品。根据收集到项目建设信息，“十二五”期间河南省的合成氨、纯碱、烧碱和乙烯均有新产能建成和投产，根据项目信息结合趋势分析，分别对这四种产品 2015 年时的产量进行了预测。对于电石行业，近两年的产量较为稳定且未来几年产业规划中没有电石行业新上项目，假定产量维持现状 2011 年的水平。就其他产品而言，尤其其中包括各种精细化学品，以及化纤等产品是河南省化工行业未来发展的重点，因此根据其历史采用线性回归分析预测了其总产值。

有色行业：“十一五”期间河南省的有色金属行业，尤其是氧化铝和电解铝行业产量增长过快，因此出现了产能过剩的情况，结合有色金属行业历史数据，考虑到资源和市场需求的制约因素，产量增长将逐步放缓，采用了趋势分析的方法对“十二五”期间有色金属行业的几种主要产品的产量进行了预测。

钢铁行业：根据《河南省工业转型升级“十二五”规划》2015 年时河南省的粗钢产量应达到 2700 万吨，但结合历史数据来看，“十一五”河南省粗钢产量增长了 90%，已出现了产能过剩，受市场条件制约，河南省 2015 年的粗钢产能预计无法达到规划目标，因此本研究采用趋势分析的方法预测了 2015 年河南省的粗钢产量和钢铁其他产品的总产值。

煤炭行业：根据《河南省“十二五”能源发展规划》和《河南省中能源长期发展规划（2012-2030 年）》^[113]，河南省 2015 年时的原煤产量应维持在 2.2 亿吨左右，本研究以此依据结合趋势分析预测了 2015 年河南省原煤产量。对于焦炭产量和其他产品总产值，则根据其历史数据采用趋势分析进行了预测。

其他工业行业：电子、食品、纺织、轻工及其他四行业是河南省未来产业结

构转型升级需要重点发展的行业，因此在“十二五”期间仍会保持较高的增速，本研究采用了线性回归分析预测了它们 2015 年时的增加值。

将上述工业各行业的产品和增加值预测结果汇总如表 4.2 和表 4.3 所示。

表 4.2 工业行业主要产品产量预测

	单位	2012	2013	2014	2015
粗钢	万吨	2391.85	2403.75	2406.53	2400.37
水泥	万吨	14125.00	14583.50	15042.00	15500.00
平板玻璃	万重量箱	1985.10	1807.10	1650.10	1509.65
合成氨	万吨	467.81	489.36	511.91	535.50
电石	万吨	99.45	99.45	99.45	99.45
烧碱	万吨	178.73	194.32	209.91	225.50
纯碱	万吨	286.46	296.21	304.93	312.82
乙烯	万吨	43.53	51.00	59.75	70.00
电解铝	万吨	397.06	407.59	416.69	424.43
氧化铝	万吨	1055.43	1077.87	1095.59	1109.11
铅	万吨	117.51	120.15	122.84	125.56
铜	万吨	49.95	51.59	53.20	54.79
锌	万吨	31.17	32.80	34.35	35.85
原煤	万吨	22072.11	21915.51	21734.39	22000.00
焦炭	万吨	2535.59	2563.65	2582.47	2592.93
火电发电量	亿千瓦时	2678.82	2939.90	3226.43	3540.88

表 4.3 工业行业增加值预测结果

单位：亿元

行业	2012	2013	2014	2015
钢铁	571.47	599.45	625.12	648.73
建材	2260.87	2423.62	2577.35	2723.48
化工	883.28	970.31	1057.62	1145.25
有色	948.52	999.48	1047.02	1091.66
煤炭	857.40	890.52	920.78	952.79
电力	574.77	618.81	662.78	707.13
电子	177.19	212.63	255.16	306.19
食品	2066.80	2262.60	2458.40	2654.20
纺织	644.42	704.68	764.94	825.20
轻工及其他	3793.10	4130.40	4467.70	4805.00

(2) 单位能耗和能源消费量预测

电力行业：根据《河南省“十二五”节能减排综合性工作方案》（以下简称《方案》），2015 年河南省的供电煤耗的节能目标为 320gce/kWh，而供电煤耗主要包括发电煤耗和厂用电率两部分，本研究采用趋势分析预测 2015 年河南省

的发电的厂用电率为 5.09%，由此计算得到 2015 年河南省的火电发电煤耗为 301.10 gce/kWh。对其他产品的单位产值能耗，采用了对数回归分析进行预测。

建材行业：根据《方案》，2015 年河南省单位水泥熟料生产能耗为 107kgce/t，而水泥生产综合能耗主要包括了单位水泥熟料生产能耗和水泥生产电耗，本研究采用对数回归分析预测 2015 年河南省的水泥生产电耗为 74.52kWh/t，由此计算 2015 年河南省的水泥生产综合能耗为 76.71 kgce/t。同样根据《方案》，2015 年河南省平板玻璃的生产能耗为 15kgce/重量箱。对其他产品的单位产值能耗，采用了对数回归分析进行预测。

化工行业：根据《方案》，2015 年河南省的合成氨生产能耗为 1180 kgce/t，烧碱（30%浓度）生产能耗为 300 kgce/t，乙烯生产能耗为 850 kgce/t。根据《河南省化学工业节能“十二五”专项规划》^[112]，2015 年时河南省的纯碱生产能耗要比 2010 年下降 12.3%，而电石生产能耗为 1045 kgce/t。就其他产品而言，“十一五”期间其单位产值能耗下降幅度较小，预计“十二五”期间其年均下降率将达到 5%，

有色行业：根据《方案》，2015 年河南省的氧化铝生产能耗为 510 kgce/t，电解铝生产能耗为 13100kWh/t(折合 1609.99kgce/t)，粗铅生产能耗为 280 kgce/t。根据《河南省有色金属工业节能“十二五”专项规划》，锌生产能耗为 900 kgce/t。而铜加工能耗由于没有相关规划，采用对数回归分析预测其 2015 年可下降至 223.33 kgce/t。对其他产品的单位产值能耗，采用了对数回归分析进行预测。

钢铁行业：根据《方案》，2015 年河南省的吨钢综合能耗为 460 kgce/t。对其他产品的单位产值能耗，其在“十一五”已有了较大幅度的下降，因此“十二五”期间下降速度将会有所放缓，预计年均下降率为 5%。

煤炭行业：根据《河南省钢铁工业节能“十二五”专项规划》中炼焦行业的节能目标，2015 年河南省炼焦单位能耗为 113 kgce/t。对于原煤生产能耗，由于没有相应的规划，采用对数回归分析预测其 2015 年时可下降至 6.49 kgce/t。对其他产品的单位产值能耗，由于其“十一五”期间几乎没有下降，预计“十二五”期间其下降率仍会较低，预计年均下降率为 1%。

其他工业行业：对电子、食品、纺织、轻工及其他四行业，对其单位增加值能耗采用对数回归分析进行预测。

对上述单位能耗预测结果进行汇总就，如表 4.4 所示。

表 4.4 工业行业单位能耗预测结果

行业	产品	单位	2012	2013	2014	2015
电力	火力发电	gce/kWh	307.01	305.78	304.54	303.71
	其他产品	tce/万元	0.217	0.210	0.203	0.197
	水泥	kgce/t	79.06	78.22	77.43	76.71
建材	平板玻璃	kgce/重量箱	16.64	16.09	15.54	15.00
	其他产品产值	tce/万元	0.091	0.089	0.087	0.085
	合成氨	kgce/t	1252.44	1228.16	1203.88	1180.00
化工	电石	kgce/t	1147.91	1112.52	1078.23	1045.00
	烧碱	kgce/t	327.19	318.13	309.06	300.00
	纯碱	kgce/t	282.98	275.65	268.50	261.55
	乙烯	kgce/t	871.42	864.27	857.13	850.00
	其他产品产值	tce/万元	0.555	0.528	0.501	0.476
	电解铝	kgce/t	1648.18	1635.27	1622.36	1609.99
有色	氧化铝	kgce/t	535.35	526.88	518.40	510.00
	粗铅	kgce/t	357.82	331.88	305.94	280.00
	铜	kgce/t	243.29	235.62	229.05	223.33
	锌	kgce/t	940.66	926.91	913.35	900.00
	其他产品产值	tce/万元	0.292	0.275	0.261	0.250
钢铁	粗钢	kgce/t	444.47	449.65	454.82	460.00
	其他产品产值	tce/万元	0.554	0.527	0.500	0.475
煤炭	原煤	kgce/t	6.83	6.70	6.59	6.49
	焦炭	kgce/t	127.38	122.57	117.76	113.00
	其他产品产值	tce/万元	0.392	0.388	0.384	0.380
电子	行业总增加值	tce/万元	0.200	0.196	0.192	0.188
食品	行业总增加值	tce/万元	0.354	0.347	0.340	0.334
纺织	行业总增加值	tce/万元	0.346	0.339	0.332	0.325
轻工及其他	行业总增加值	tce/万元	0.580	0.568	0.557	0.546

(3) 工业行业能源消费预测结果

综合产品产量及增加值预测结果和单位能耗预测结果，计算得到河南省工业行业的能源消费量如表 4.5 所示。

表 4.5 工业行业能源消费量预测结果

行业	2012	2013	2014	2015
钢铁	1798.41	1832.01	1855.38	1869.61
建材	1850.35	1903.83	1954.81	2004.16
化工	2649.67	2755.24	2848.60	2931.24
有色	2081.15	2095.79	2105.58	2110.76
煤炭	1136.46	1155.24	1169.59	1183.36
电力	5408.62	5868.32	6365.67	6919.29
电子	35.40	41.63	48.96	57.57
食品	732.60	785.97	836.90	885.49
纺织	222.82	238.78	254.02	268.55
轻工及其他	2199.09	2346.75	2487.63	2621.93
工业总计	18114.58	19023.57	19927.13	20851.97

4.2.3 建筑业经济能耗预测

本研究中的建筑业能耗只指建筑业自身所产生的能耗，并不包括建筑物在建成后的使用过程中所产生的能源消耗。建筑业的增加值和能耗在河南省全社会所占的比重都较小。对河南省“十二五”期间建筑业部门经济-能耗预测如表 4.6 所示。“十二五”期间，河南省的建筑业将能耗以年均 8.35% 的速度增长，增加值以年均 6.47% 的速度递增，相对“十一五”期间建筑业总能耗年均增速 14.76% 及增加值年均增速 10.61% 而言，当社会发展到一定程度时，受市场需求的制约，河南省的建筑业发展较之前有所缓慢，能耗增幅也有所减小。

表 4.6 建筑业部门经济-能耗预测

	2012	2013	2014	2015
能耗（万 tce）	176.09	182.80	188.94	194.56
增加值（亿元）	1156.96	1238.18	1319.40	1400.62

4.2.4 第三产业

(1) 交通运输部门

本研究主要选取公路、铁路、水运、民航四种运输方式。交通运输部门主要参数是交通运输周转量和单位周转量能耗。“十二五”期间随着河南省经济社会的快速发展和人民生活水平的提高，交通工具保有量和交通运输量仍将快速增长，

因此本研究采用线性回归分析对各种运输方式的周转量进行了预测，结果如表 4.7 所示。

表 4.7 客货周转量预测结果 单位：亿吨公里

	2012	2013	2014	2015
公路	2222.00	2276.25	2330.50	2384.75
铁路	1838.50	1967.40	2096.30	2225.20
水路	223.84	249.83	275.82	301.81
航空	6.07	6.62	7.16	7.70
总周转量	4290.41	4500.10	4709.78	4919.46

由于河南省交通运输的能耗水平与全国平均水平差距较小，参照国家《节能减排“十二五”规划》^[115]，河南省的公路、铁路和航空单耗 2015 年应较 2010 年下降 5%，水运下降 10%，不同运输方式 2015 年的能效水平如表 4.8 所示。

表 4.8 交通运输单位能耗预测结果 单位：tce/万吨公里

	2012	2013	2014	2015
公路	0.590	0.584	0.578	0.572
铁路	0.049	0.049	0.048	0.048
水路	0.067	0.066	0.064	0.063
航空	4.412	4.368	4.324	4.280

由于交通部门的增加值是和周转量直接相关，本研究以周转量历史数据为自变量和增加值为因变量之间的关系构建回归方程如式 4.1。方程 R^2 值为 0.8265，相关性较好。方程拟合情况如图 4.2，拟合情况较好。

$$y = 0.263x - 81.907 \quad (4.1)$$

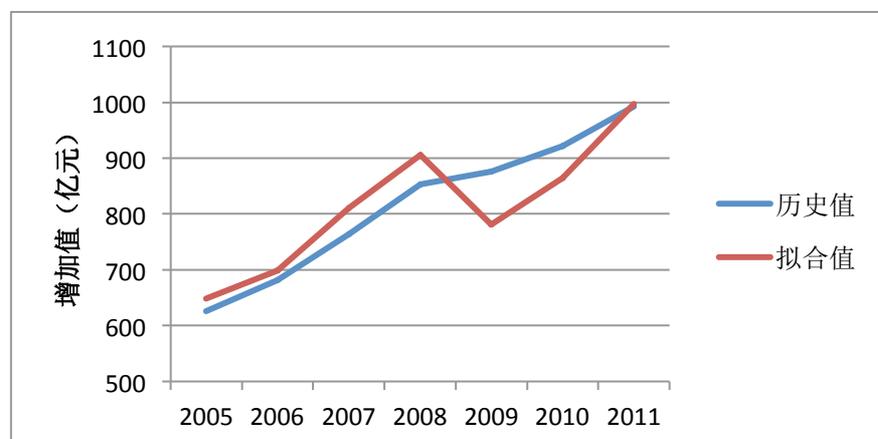


图 4.2 交通行业增加值拟合方程曲线图

由此可以计算得到“十二五”期间河南省交通部门的增加值数据，结合对周转量和单位能耗的预测，可以计算得到能源消费量的预测结果。对“十二五”期间河南省交通运输部门经济-能耗预测结果如表 4.9 所示。

表 4.9 交通运输部门经济-能耗预测结果

	2012	2013	2014	2015
总能耗（万 tce）	1443.06	1470.26	1496.55	1521.89
增加值（亿元）	1046.48	1101.63	1156.77	1211.92

(2) 服务业及其他部门

本研究中的服务业及其他部门主要指第三产业中扣除交通运输、仓储和邮政业以外的行业，包括批发零售、住宿餐饮等行业。随着河南省经济结构的调整，服务业部门的发展将逐步加快，其能源消耗也将快速增加。本研究采用第三产业增加值与交通运输业、仓储和邮政业行业的增加值之差来衡量其活动水平，采用单位增加值能耗作为能耗强度参数。根据河南省“十二五”规划的规定，到 2015 年服务业增加值占 GDP 比重 33%，结合部门的历史数据，对“十二五”期间的商业及其他部门经济 - 能耗进行了预测，如表 4.10 所示。

表 4.10 服务业及其他部门经济-能耗预测结果

	2012	2013	2014	2015
能耗（万 tce）	6195.82	7124.88	8177.29	9367.77
增加值（亿元）	1038.97	1244.34	1487.41	1774.67

(3) 第三产业经济-能耗预测结果

将交通运输部门和服务业及其他部门的预测结果进行汇总可以得到第三产业的经济-能耗预测结果，如表 4.11 所示。

表 4.11 第三产业经济能耗预测结果

	2012	2013	2014	2015
能耗（万 tce）	7242.30	8226.51	9334.06	10579.69
增加值（亿元）	2482.03	2714.60	2983.96	3296.56

4.2.5 居民生活

本研究将居民生活能耗分为城市和农村两部分进行计算。根据国家中长期发

展规划和经济社会发展的趋同性，假定河南省到 2025 年的城市人均生活能耗和农村人均生活能耗均达到日本 2005 年的水平即（562kgce/人）^[116]，据此反推出 2015 年的城乡人均生活能耗。本研究中假定河南省总人口按照年均 5% 的速度增加，城市化率在 2015 年时达到 48%，据此对“十二五”期间河南省的人口进行了预测。居民生活部门的能耗预测结果如表 4.12 所示。

表 4.12 河南省“十二五”期间居民生活部门能耗预测

	2012	2013	2014	2015
总人口（万人）	10515.32	10567.89	10620.73	10673.83
生活能耗（万 tce）	2793.99	3063.04	3333.62	3579.85

4.3 节能目标分析预测结果

将各部门的经济-能耗预测结果进行汇总，可以得到河南省全社会的经济-能耗预测结果如表 4.13 和 4.14 所示。

表 4.13 河南省经济预测结果

单位：亿元

	2012	2013	2014	2015
农业	2618.40	2719.70	2821.00	2922.30
工业	12777.82	13812.50	14836.87	15859.63
建筑业	1156.96	1238.18	1319.40	1400.62
三产	7242.30	8226.51	9334.06	10579.69
总计	23795.48	25996.88	28311.33	30762.24

表 4.14 河南省能源消费量预测结果

单位：万吨标准煤

	2012	2013	2014	2015
农业	659.15	670.95	682.03	692.39
工业	18114.58	19023.57	19927.13	20851.97
建筑业	176.09	182.80	188.94	194.56
三产	2482.03	2714.60	2983.96	3296.56
生活	2793.99	3063.04	3333.62	3579.85
总计	24225.83	25654.96	27115.68	28615.32

根据汇总后的预测结果，可见 2015 年时河南省 GDP 为 30762.24 亿元（2005 年可比价），较 2010 年年均增长 9.71%，满足河南省“十二五”规划中的经济增长要求，而能源消费总量为 28615.32 万吨标准煤，满足了能源消费总量控制目

标的要求，而单位 GDP 能耗为 0.930 吨标准煤/万元，较 2010 年下降了 16.00%，满足节能目标。由此可以认为，在河南省的经济发展和各行业节能均在 2015 年达到规划目标的情况，河南省可以顺利的完成单位 GDP 能耗下降目标和能源消费总量控制目标。

4.4 主要耗能产品单位能耗预测预警

以上述分部门经济-能耗预测模型为基础，进行节能目标完成情况的预测预警需要大量的月度或者季度数据，而其中可获得的只有季度主要耗能单位能耗数据，因此本研究从季度主要耗能产品单位能耗入手，进行节能目标预警研究。根据模型所涉及的主要产品共 16 种，根据其 2010 年第一季度到 2013 年第一季度的历史数据建立 ARIMA 模型，利用 Eviews6.0 软件其 2013 年第二季度到 2015 年末的变化趋势。先对 16 组数据取 ln 值，再通过 ADF 检验、自相关性检验以及对拟合模型的拟合程度、AIC、BC、HQ、R² 值的比较，最终确定各种产品的拟合方程阶数如下表所示。其中由于电石和氧化铝的单位能耗在 2013 年第一季度出现了突然下降，模型中未采用该季度数据。

表 4.15 主要产品单位能耗拟合方程阶数

产品	AR 阶数	差分阶数	MA 阶数
原煤	3	1	3
焦炭	1	1	1
烧碱	3	1	4
纯碱	3	1	2
电石	2	2	1
乙烯	3	2	4
合成氨	3	2	3
水泥	3	1	4
平板玻璃	2	3	3
粗钢	2	1	3
氧化铝	4	3	0
电解铝	3	1	5
粗铅	3	3	4
锌	3	2	2
铜	2	2	3
火力发电	4	1	4

拟合方程公式间式 4.2-4.17。方程拟合曲线见附录 2 中附图 2.1-2.16，可见 16 组数据的拟合效果均较好。预测 16 种耗能产品 2015 年末的单位能耗如表 4.16 所示。由于根据历史数据进行预测的方法，未考虑产品的产生工艺流程等因素，因此预测结果可能会远远低于实际中产品的最先进能耗，当出现这种情况，则从该产品单位能耗预测值最接近 LEAP 模型中目标值的季度起至 2015 年末的单位能耗均取目标值，即认为该产品的单位能耗在达到节能目标后保持不变（未修正的详细预测结果见附录 2 中附表 2.1）。

$$\begin{aligned} X &= -0.480X_{t-1} - 0.499X_{t-2} - 0.647X_{t-3} - 0.084\alpha_{t-1} \\ \text{原煤:} & \quad + 0.950\alpha_{t-2} - 0.258\alpha_{t-3} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\text{焦炭: } X = -0.808X_{t-1} + 3.183\alpha_{t-1} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} \text{烧碱: } X &= 0.132X_{t-1} - 1.077X_{t-2} - 1.909X_{t-3} - 2.524\alpha_{t-1} \\ & \quad + 9.918\alpha_{t-2} + 16.962\alpha_{t-3} + 19.049\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\text{纯碱: } X = -0.834X_{t-1} - 0.481X_{t-2} - 0.804X_{t-3} + 3.165\alpha_{t-1} - 2.043\alpha_{t-2} \quad (4.5)$$

$$\text{电石: } X = 0.345X_{t-1} + 0.184X_{t-2} - 0.879\alpha_{t-1} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} \text{乙烯: } X_t &= -0.899X_{t-1} + 0.235X_{t-2} - 0.444X_{t-3} - 0.731\alpha_{t-1} \\ & \quad + 0.859\alpha_{t-2} + 2.347\alpha_{t-3} - 3.373\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} \text{合成氨: } X_t &= -0.454X_{t-1} + 0.132X_{t-2} - 0.322X_{t-3} + 3.973\alpha_{t-1} \\ & \quad - 4.610\alpha_{t-2} + 0.074\alpha_{t-3} \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \text{水泥: } X_t &= -0.295X_{t-1} - 0.326X_{t-2} + 0.746X_{t-3} - 4.938\alpha_{t-1} \\ & \quad + 4.274\alpha_{t-2} - 31.097\alpha_{t-3} + 11.233\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\text{平板玻璃: } X = 0.717X_{t-1} + 1.187X_{t-2} - 0.739\alpha_{t-1} - 24.651\alpha_{t-2} + 16.720\alpha_{t-3} \quad (4.10)$$

$$\text{粗钢: } X = -0.705X_{t-1} - 0.405X_{t-2} + 0.574\alpha_{t-1} + 0.895\alpha_{t-2} - 2.742\alpha_{t-3} \quad (4.11)$$

$$\text{氧化铝: } X_t = -0.086X_{t-1} - 0.491X_{t-2} - 0.433X_{t-3} + 0.231X_{t-4} \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} \text{电解铝: } X_t = & -1.053X_{t-1} - 0.574X_{t-2} + 0.618X_{t-3} + 5.652\alpha_{t-1} \\ & + 6.430\alpha_{t-2} - 5.883\alpha_{t-3} + 3.923\alpha_{t-4} + 2.908\alpha_{t-5} \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} \text{粗铅: } X_t = & -0.327X_{t-1} - 0.460X_{t-2} - 0.530X_{t-3} - 4.070\alpha_{t-1} \\ & + 26.460\alpha_{t-2} + 48.436\alpha_{t-3} - 46.277\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\text{锌: } X_t = 0.534X_{t-1} - 0.656X_{t-2} - 0.595X_{t-3} - 5.920\alpha_{t-1} + 4.874\alpha_{t-2} \quad (4.15)$$

$$\text{铜: } X_t = -0.104X_{t-1} - 0.371X_{t-2} - 5.770\alpha_{t-1} + 4.815\alpha_{t-2} - 0.294\alpha_{t-3} \quad (4.16)$$

$$\begin{aligned} \text{火力发电: } X_t = & -0.119X_{t-1} - 0.119X_{t-2} + 0.063X_{t-3} + 0.717X_{t-4} \\ & - 0.392\alpha_{t-1} - 0.567\alpha_{t-2} - 0.029\alpha_{t-3} + 0.783\alpha_{t-4} \end{aligned} \quad (4.17)$$

表 4.16 主要耗能产品单位能耗预测结果

产品	单位	单位能耗预测值	单位能耗目标值
原煤	kgce/t	6.91	6.49
焦炭	kgce/t	146.66	113.00
烧碱	kgce/t	375.12	300.00
纯碱	kgce/t	302.92	261.55
电石	kgce/t	904.84	1045.00
乙烯	kgce/t	1281.33	850.00
合成氨	kgce/t	1356.62	1180.00
水泥	kgce/t	67.24	76.71
平板玻璃	kgce/重量箱	15.00	15.00
粗钢	kgce/t	470.58	460.00
氧化铝	kgce/t	510.00	510.00
电解铝	kgce/t	1667.91	1609.99
粗铅	kgce/t	280.00	280.00
锌	kgce/t	936.65	900.00
铜	kgce/t	245.67	223.33
火力发电	gce/kWh	301.10	303.71

根据预测结果来看，根据目前的产品单位能耗变化趋势，到 2015 年时顺利完成节能目标的产品只有水泥、平板玻璃、氧化铝、粗铅和火力发电。

4.5 节能目标完成情况预测预警

在保持 LEAP 模型中除主要产品单位能耗不变的情况下，将通过 ARIMA 模型预测得到的 2015 年主要产品单位能耗代入中，对河南省的能源消费量和单位

GDP 能耗预测结果进行修正，结果如表 4.17 所示。可见修正后，河南省 2015 年的能源消费总量为 28665.81 万吨标准煤，仍可完成能源消费总量控制目标，而单位 GDP 能耗为 0.932 吨标准煤/万元，较 2010 年下降了 15.86%，未能完成节能目标。由此可以认为，河南省未来需要加强对主要产品节能工作的监管，否则将可能无法完成单位 GDP 能耗下降 16%的节能目标。

表 4.17 河南省能源消费量预测修正结果 单位：万吨标准煤

	2012	2013	2014	2015
农业	659.15	670.95	682.03	692.39
工业	18158.45	19054.39	19954.89	20902.45
建筑业	176.09	182.80	188.94	194.56
三产	2482.03	2714.60	2983.96	3296.56
生活	2793.99	3063.04	3333.62	3579.85
总计	24269.70	25685.79	27143.44	28665.81

5. 河南省产业结构优化研究

本文研究河南省“十二五”发展规划和产业增长潜力为依据,结合 GM(1,1) 模型对约束条件的值和各产业的技术系数进行预测,构建经济增长为目标函数,动态约束方程为条件的优化模型,求出在能源消费总量约束下河南省产业发展变化中的最优结构。对产业的划分与 4.1 中相同。本研究首先对河南省整体的经济结构进行优化,由于工业增加值和能耗均占据河南省 GDP 和总能耗的较大比重,因此文章也对工业内部的结构进行了优化研究。

5.1 产业结构总体优化

5.1.1 经济结构总体优化模型的构建

基于能源消费总量约束的产业结构优化是在不影响经济增长的前提下降低能源消费量。因此,本研究以经济增长最大为目标,同时根据产业特点选择产品需求(粮食产量和建筑竣工面积)、劳动力、资金投入、综合能源消耗、电力消费、产业结构比例列入约束条件构建线性规划模型。产业结构优化的最终目标就是为了实现经济的可持续发展。由于优化模型需要与 LEAP 模型对接,因此其中的 GDP 和增加值数据均按 2005 年可比价计算。

(1) 决策变量的设置

对河南省的经济结构进行定量优化研究,将河南省农业、建筑业、工业、第三产业的增加值作为决策变量:即 x_j ($j=1, 2, 3, 4$) 分别表示农业、建筑业、工业、第三产业的增加值。

(2) 目标函数的确定

当前河南省的经济增长依然是发展的目标,因此,将各产业的增加值之和最大作为规划的目标函数,如式 5.1 所示。

$$f(X)\max = \sum_{j=1}^4 x_j \quad (j=1,2,3,4) \quad (5.1)$$

(3) 约束条件的建立

本研究以产品需求（粮食产量和建筑竣工面积）、劳动力、资金投入、综合能源消耗、电力消费、产业结构比例等作为制约河南省各产业增加值的约束条件。假设 a_{ij} 表示各行业资源消耗系数， b_i 表示资源约束值。其中 i 表示约束变量， j 表示各个行业。

a. 劳动力约束

中国仍属于发展中国家，根据美国经济学家 Arthur Lewis 对发展中国家经济情况的描述^[117]，其全社会劳动力禀赋应大于等于劳动力需求，则河南省的劳动力需求应小于等于全社会劳动力。

$$\sum_{j=1}^4 a_{1j}x_j \leq b_1 \quad (5.2)$$

式中， a_{1j} 为 2015 年 j 行业的单位增加值从业人数， b_1 为 2015 年河南省全社会总劳动力。

b. 资金投入约束

同样根据 Arthur Lewis 的理论，发展中国家资本应该是紧缺的，其中社会资本禀赋应等于资本需求，则河南省的资本需求应等于全社会资本。

$$\sum_{j=1}^4 a_{2j}x_j = b_2 \quad (5.3)$$

式中， a_{2j} 为 2015 年 j 行业的单位增加值固定资产投资， b_2 为 2015 年河南省全社会总的资金投入

c. 能耗总量约束

能耗总量应控制在国家分配给河南省的能耗范围内。

$$\sum_{j=1}^4 a_{3j}x_j \leq b_3 \quad (5.4)$$

式中， a_{3j} 为 2015 年 j 行业的单位增加值能耗， b_3 为 2015 年河南省全社会总能耗约束（扣除居民生活能耗）

d. 电力消耗约束

全社会电力消费也应控制在国家下达目标要求范围内。

$$\sum_{j=1}^4 a_{4j} x_j \leq b_4 \quad (5.5)$$

式中, a_{4j} 为 2015 年 j 行业的单位增加值电力消耗, b_4 为 2015 年河南省全社会总电耗约束 (扣除居民生活电耗)

e. 粮食产量约束

2015 年河南省的粮食产量应当满足全省人们的需求, 即粮食产量应大于全省需求。

$$a_{5 \times 1} x_1 \geq b_5 \quad (5.6)$$

式中 $a_{5 \times 1}$ 为 2015 年农业的单位增加值粮食产量, b_5 为 2015 年河南省全社会的粮食需求。

f. 建筑面积约束

2015 年河南省的建筑面积应能满足全省人们的需求, 即建筑面积应大于全省需求。

$$a_{6 \times 3} x_3 \geq b_6 \quad (5.7)$$

式中 $a_{6 \times 3}$ 为 2015 年建筑业的单位增加值建筑面积, b_6 为 2015 年河南省全社会的建筑面积需求。

g. 产业结构约束

根据河南省“十二五”规划要求 2015 年河南省第三产业比例要到达 33.5%。

$$x_4 / \left(\sum_{j=1}^4 x_j \right) \geq b_7 \quad (j=1,2,3,4) \quad (5.8)$$

式中 b_7 为 2015 年河南省第三产业增加值占 GDP 比重。

h. 决策变量非负约束

$$x_j > 0 \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (5.9)$$

5.1.2 经济结构总体优化模型实证分析

(1) 约束目标和技术系数的预测

采用河南省 2005-2011 年的数据，结构优化模型中各约束变量和技术系数都是随时间而不断变化，运用 GM (1, 1) 模型对 2015 年时河南省的劳动力、资金投入、粮食产量和建筑竣工面积的约束条件 (b_j) 和技术系数 (a_{ij}) 以及电耗的技术系数 (a_{4j}) 进行预测。对于能耗的技术系数 (a_{3j}) 采用了 LEAP 模型的预测结果。而能耗和电耗的约束条件 (b_3, b_4) 采用了相应的能源消费总量控制目标扣除居民生活部门后的结果，其中居民生活能耗采用的 LEAP 模型预测结果，而居民生活电耗采用 GM (1, 1) 预测得到。

各约束变量和技术系数 2015 年的数值如表 4.1 所示。

表 5.1 2015 年河南省各约束变量值和资源消耗量预测值

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	33087	0.407	0.98	0.005	1.560
能耗	万 tce	24920	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	1.940	0	0	0
竣工面积	万 m^2	27297	0	0	17.189	0
三产比例	%	33.5%	—	—	—	—

(2) 求解结果

求解灰色线性规划模型，模型置信度为 95%。经灰色线性规划模型优化后的河南省“十二五”期间各行业经济-能耗预测如表 5.2 所示。

表 5.2 河南省产业结构总体优化结果

	GDP(亿元)	能耗 (万吨标准煤)	电耗 (亿千瓦时)
农业	2994.85	709.57	110.42
工业	15679.32	20664.81	2441.28
建筑业	1816.80	252.37	48.45
三产	10572.27	3294.25	329.85
总计	31063.24	24921.00	2929.99

5.2 工业产业结构优化

5.2.1 工业结构优化模型的构建

工业结构优化模型的建立仍是将工业经济增长最大作为目标，同时考虑实际情况，将劳动力、产品需求、资金投入、能源消耗、产业规模列入约束条件构建线性规划模型。工业结构优化模型中的约束条件目标值应当满足 5.1 节中经济结构优化中对工业部门优化的结果。

(1) 决策变量的设置

对河南省的工业结构进行定量优化研究，将钢铁、建材、化工、有色金属、煤炭、电力、电子、食品、纺织、轻工及其他十个行业的增加值作为决策变量。

即 y_j ($j=1, 2, \dots, 10$) 分别表示钢铁、建材、化工、有色金属、煤炭、电力、电子、食品、纺织、轻工及其他十个行业的增加值。

(2) 目标函数的确定

将各产业的增加值之和最大作为工业结构优化的目标函数，即：

$$f(Y) \max = \sum_{j=1}^{10} y_j \quad (j = 1, 2, \dots, 10) \quad (5.10)$$

(3) 约束条件的建立

考虑到所选指标要满足可量化性及数据的可获得性，本研究劳动力、产品需求、资金投入、能源消耗、电力消费、产业规模作为制约河南省工业各行业增加值的约束条件。假设 c_{ij} 表示各行业技术系数， d_i 表示资源约束值。其中 i 表示约

束变量，j 表示各个行业。

a. 资金投入约束

社会发展受到资金投入的限制，工业资金投入约束应当不大于经济结构优化中对工业分配的资金投入。

$$\sum_{j=1}^{10} c_{1j} y_j \leq d_1 \quad (5.11)$$

式中， c_{1j} 为 2015 年 j 行业的单位增加值固定资产投资， d_1 为 2015 年河南省工业资金投入约束

b. 工业总能耗约束

受能耗总量约束的限制，工业的能源消耗约束应当不大于经济结构优化中工业分配的能耗值。

$$\sum_{j=1}^{10} c_{2j} y_j \leq d_2 \quad (5.12)$$

式中， c_{2j} 为 2015 年 j 行业的单位增加值能耗， d_2 为 2015 年河南省工业能源消耗约束

c. 工业总电耗约束

受电耗总量约束的限制，工业的电力消耗约束应当不大于经济结构优化中对工业分配的电耗值。

$$\sum_{j=1}^{10} c_{3j} y_j \leq d_3 \quad (5.13)$$

式中， c_{3j} 为 2015 年 j 行业的单位增加值电耗， d_3 为 2015 年河南省工业电力消耗约束

d. 主要行业能耗约束

对于钢铁、建材、化工、有色金属、煤炭五个高耗能行业，其未来的发展所受能源消费的约束会越来越大，“十二五”期间应将其能源消费控制在一定水平

上，即其能源消费量应小于限定条件。

$$c_{ij}y_j \leq d_i \quad (i = 4,5,6,7,8, j = 1,2,3,4,5) \quad (5.14)$$

其中 c_{ij} 是各行业的单位增加值能耗， d_i 为各行业的总能耗约束值。

e. 发电量约束

电力行业虽然属于河南省的六大高耗能行业，但由于其必须满足河南省自身电力需求，因此其发展不应受到能源消费，而应受到电力需求的约束，考虑到电力产品的特殊性，未来的电力行业的发电量与河南省的电力需求相等。

$$c_{9 \times 6}y_6 = d_6 \quad (5.15)$$

式中， $c_{9 \times 6}$ 为 2015 年电力行业的单位增加值电耗， d_6 为 2015 年河南省电力行业的发电量。

f. 劳动力约束

电子、食品、纺织、轻工及其他四行业虽然是河南省“十二五”重点发展的行业，但是其发展规模势必会受到劳动力因素的制约，各行业的劳动力需求应小于等于限制值。

$$c_{ij}y_j \leq b_i \quad (i = 10,11,12, j = 7,8,9) \quad (5.16)$$

式中， c_{ij} 为各行业的单位增加值劳动力， d_i 为各行业的劳动力总数。

g. 增加值约束

工业增加值应不大于经济结构优化中对工业增加值优化的结果。

$$\sum_{j=1}^{10} y_j \leq x_2 \quad (j = 1,2,\dots,10) \quad (5.17)$$

式中， x_2 为产业结构总体优化模型中求得的工业增加值（见 5.1）。

h. 决策变量非负约束

$$y_j \geq 0 \quad (j = 1,2,\dots,10) \quad (5.18)$$

5.2.2 工业结构优化模型的实证分析

(1) 约束目标和技术系数的预测

由于工业结构优化模型是基于产业结构总体优化模型的，因此其中的总资金投入约束、总能耗约束、总电耗约束、总增加值约束的约束条件均为总体优化模型的计算结果，资金投入约束和总电耗约束的技术系数采用了 GM (1, 1) 预测得到，而总能耗约束的技术系数来源 LEAP 模型的预测结果。对于钢铁等五行业能耗约束的约束条件和技术系数均是 LEAP 模型计算的结果，其中分行业能耗约束的技术系数与总能耗约束的技术系数是相同。对发电量的约束条件来源于《河南省能源中长期发展规划》中河南省发电量的规划目标，技术系数来源 GM (1, 1) 预测结果。食品等四行业劳动力的约束条件和技术系数均是 GM (1, 1) 预测结果。

表 5.3 2015 年河南省工业各行业约束变量值和资源消耗量预测值

指标	约束值 (d_i)	技术系数 (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	15365.73	0.356	0.572	1.355	0.665	0.355	0.419	1.651	0.737	1.257	1.524
总能耗	20664.81	2.921	0.682	2.682	1.958	1.343	9.654	0.188	0.334	0.325	0.546
总电耗	2441.28	0.300	0.093	0.273	0.366	0.127	0.461	0.063	0.060	0.145	0.113
钢铁能耗	1869.61	2.882	0	0	0	0	0	0	0	0	0
建材能耗	2004.16	0	0.736	0	0	0	0	0	0	0	0
化工能耗	2931.24	0	0	2.559	0	0	0	0	0	0	0
有色能耗	2110.76	0	0	0	1.934	0	0	0	0	0	0
煤炭能耗	1183.36	0	0	0	0	1.242	0	0	0	0	0
发电量	3782.05	0	0	0	0	0	5.406	0	0	0	0
电子劳动力	46.64	0	0	0	0	0	0	0.136	0	0	0
食品劳动力	93.40	0	0	0	0	0	0	0	0.032	0	0
纺织劳动力	87.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0.083	0
轻工及其他劳动力	239.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053
总增加值	15679.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(2) 求解结果

求解灰色线性规划模型，模型置信度为 95%。经灰色线性规划模型优化后的河南省“十二五”工业各行业的增加值和能耗如表 5.4 所示。

表 5.4 河南省工业产业结构优化结果

	GDP(亿元)	能耗(万吨标准煤)	电耗(亿千瓦时)
钢铁	648.73	1869.61	194.62
建材	2723.44	2004.13	253.28
化工	1145.23	2931.20	312.65
有色	1091.65	2110.74	399.04
煤炭	663.40	823.94	84.51
电力	699.57	6845.25	322.65
电子	334.86	62.96	21.23
食品	2875.70	959.38	172.54
纺织	1035.28	336.92	150.12
轻工及其他	4461.47	2434.47	503.44
工业总计	15679.32	20378.60	2414.07

5.3 产业结构优化结果

将总体优化模型和工业优化模型计算的各行业部门的产出数据，代入 LEAP 模型，修正原有的产品产量和行业增加值数据，重新计算能源消费量和单位 GDP 能耗。主要产品产量和行业增加值修正结果如表 5.5 和 5.6 所示。

表 5.5 LEAP 模型主要产品产量修正结果

产品	单位	2012	2013	2014	2015
原煤	万吨	20465.30	18484.82	16694.29	15317.89
焦炭	万吨	2351.01	2162.34	1983.61	1805.37
合成氨	万吨	470.53	491.24	512.89	535.49
电石	万吨	100.03	99.83	99.64	99.45
烧碱	万吨	179.77	195.07	210.31	225.50
纯碱	万吨	288.13	297.35	305.51	312.82
乙烯	万吨	43.79	51.20	59.86	70.00
水泥	万吨	14037.60	14475.88	14967.53	15499.74
平板玻璃	万重量箱	1972.82	1793.77	1641.93	1509.63
粗钢	万吨	2395.57	2397.19	2399.41	2400.37
电解铝	万吨	401.68	409.26	416.93	424.43
氧化铝	万吨	1067.70	1082.30	1096.21	1109.10
铅	万吨	118.88	120.64	122.91	125.56
铜	万吨	50.53	51.80	53.23	54.79
锌	万吨	31.53	32.93	34.37	35.85
火力发电	亿千瓦时	2658.55	2914.54	3195.93	3502.99

表 5.6 LEAP 模型各部门行业增加值修正结果 单位：亿元

部门	2012	2013	2014	2015
农业	2630.62	2752.03	2873.44	2994.85
工业				
钢铁	572.35	597.81	623.27	648.73
建材	2246.88	2405.74	2564.59	2723.44
化工	888.43	974.03	1059.63	1145.23
有色	959.55	1003.58	1047.62	1091.65
煤炭	794.98	751.12	707.26	663.40
电力	570.42	613.47	656.52	699.57
电子	194.46	241.26	288.06	334.86
食品	2178.69	2411.03	2643.36	2875.70
纺织	705.49	815.42	925.35	1035.28
轻工及其他	3744.86	3983.73	4222.60	4461.47
第三产业				
建筑业	1261.83	1446.82	1631.81	1816.80
交通运输	1046.48	1101.63	1156.77	1211.92
服务业及其他	6372.77	7368.63	8364.49	9360.35
总计	24167.83	26466.30	28764.77	31063.24

保持 LEAP 模型中原有的主要产品单位能耗、其他产品产值能耗不变，计算各行业部门的能源消费量如表 5.7 所示。LEAP 模型中原有的居民生活和交通运输能耗计算结果保持不变。在进行产业结构优化的情况下，2015 年时河南省单位 GDP 能耗 0.907 吨标准煤/万元，较 2010 年下降了 18.12%，超额完成了节能目标。

表 5.7 LEAP 模型能源消费量修正结果 单位：万吨标准煤

	2012	2013	2014	2015
农业	662.22	678.93	694.70	709.57
工业	18033.27	18772.42	19535.78	20332.03
建筑业	192.05	213.60	233.68	252.37
三产	2511.71	2757.17	3018.01	3295.16
生活	2793.99	3063.04	3333.62	3579.85
总计	24193.23	25485.16	26815.79	28168.98

6. 结果分析与讨论

6.1 节能目标预测预警结果分析

6.1.1 宏观预测预警结果分析

(1) 河南省节能目标宏观预测预警结果分析

根据 3.3 中的预测结果，2013-2015 年河南省的单位 GDP 能耗年下降率分别为-6.62%，-2.84%和 1.06%，而“十二五”期间河南省单位 GDP 能耗总下降率为 17.88%。从 2013-2015 年的下降率来看，预测结果明显受到 2012 年是单位 GDP 能耗大幅下降的影响，2013 年的单位 GDP 能耗下降较大，而 2014 年时则出现了放缓，2015 年则出现上升。由此可见，根据历史数据趋势预测，在“十二五”河南省虽然可以顺利完成单位 GDP 能耗下降 16%的节能目标，但是节能目标进度会出现明显的“前紧后松”：2012-2013 年受到工业增速放缓的影响，单位 GDP 能耗下降较大，而在 2014-2015 年单位 GDP 能耗最后不降反升。

就预测中涉及的 GDP 增长对单位 GDP 能耗影响来看，根据对河南省 GDP 增长的预测 2015 年 GDP 年均增速将达到 10.74%，高于河南省“十二五”规划中年均增长 9%的目标。在能源消费量预测结果不变的前提下，如果河南省 2013-2015 年的年均 GDP 增长降到 9%，则 2015 年时河南省的单位 GDP 能耗为 0.801 吨标准煤/万元，下降率仅为 13.69%。可见，根据趋势预测，河南省“十二五”节能目标的完成仍将和“十一五”期间一样，依赖于“做大分母”提高 GDP 的方式，并未实现对能源消费总量的合理控制。

就能源消费总量的预测结果来看，2015 年河南省的能源消费总量预测为 29133.96 万吨标准煤，未能完成合理控制能源消费总量的目标。就 2013-2015 年的能源消费总量增长来看，2015 年时河南省的能源消费总量出现较大的增长。而这种增长主要源于全社会用电量的增长：2012-2015 年河南省全社会用电量增长了 43.64%，对能源消费总量的贡献为 65.16%（根据发电能耗计算得到），而 2012-2013 年规模以上工业能耗保持下降的趋势（共下降了 3.84%）。由此，根据

趋势分析，预测“十二五”期间河南省的能源消费量增长的重点有所改变，从工业转移到以电力消费为主第三产业和居民生活。而这一改变也将加大河南省控制能源消费总量增长的难度，迫使河南省仍通过“做大分母”提高 GDP 的方式来降低单位 GDP 能耗。同时由于河南省无法完成全省电力消费控制目标，因此也需要控制电力消费的增长。

(2) 各地市节能目标宏观预测预警结果分析

根据预测结果各地市 2013-2015 年的单位 GDP 能耗下降率和已公布的 2011 年和 2012 年如表 6.1 所示。可见根据历史数据趋势预测，2015 年时，只有开封，平顶山，新乡，许昌，漯河，三门峡，南阳，信阳等七地市能完成节能目标。

表 6.1 河南省各地市“十二五”单位 GDP 能耗下降率

	2011	2012	2013	2014	2015	“十二五” 累计	“十二五” 节能目标
郑州市	-3.79%	-5.62%	-7.04%	-1.02%	4.55%	-12.65%	17%
开封市	2.54%	-6.82%	-4.46%	-5.05%	-3.35%	-16.23%	15%
洛阳市	-3.52%	-7.23%	-3.47%	-0.07%	7.48%	-7.20%	17%
平顶山市	3.13%	-9.80%	-6.13%	-7.69%	-5.65%	-23.95%	16%
安阳市	-4.10%	-9.82%	2.49%	-1.52%	-2.49%	-14.89%	17%
鹤壁市	-3.95%	-9.99%	-0.12%	-1.92%	1.33%	-14.18%	16%
新乡市	-3.95%	-5.74%	-6.77%	-4.27%	0.83%	-18.53%	17%
焦作市	-4.17%	-6.79%	1.30%	4.09%	9.90%	3.50%	17%
濮阳市	-2.55%	-3.96%	8.69%	4.86%	8.53%	15.75%	15%
许昌市	-3.50%	-3.76%	-4.32%	-3.87%	-0.71%	-15.18%	15%
漯河市	-3.91%	-7.27%	-8.23%	-9.09%	-7.37%	-31.14%	15%
三门峡市	-3.71%	-9.07%	-15.97%	-9.73%	-4.68%	-36.69%	17%
南阳市	-3.65%	-6.94%	-4.45%	-8.95%	-7.79%	-28.07%	16%
商丘市	-3.55%	-5.14%	-3.88%	-1.20%	2.17%	-11.22%	16%
信阳市	-3.92%	-4.70%	-10.20%	-11.81%	-10.49%	-35.10%	15%
周口市	-3.83%	-3.20%	0.19%	-1.65%	0.49%	-7.81%	15%
驻马店市	4.21%	-8.97%	2.77%	-1.43%	2.75%	-1.27%	15%
济源市	-3.88%	-3.68%	-0.17%	-0.26%	3.40%	-4.68%	17%

从节能目标完成进度来看，郑州等地市无法完成节能目标的原因如下：郑州市是因为 2015 年的单位 GDP 能耗上升导致；洛阳市是因为 2013 年和 2015 年单位 GDP 能耗下降均较少，而 2015 年单位 GDP 能耗则上升了 7.48%；安阳市和鹤壁市是因为 2013-2015 年的单位 GDP 能耗下降率较小；焦作市和濮阳市是因

为 2013-2015 年均出现了单位 GDP 能耗大幅上升的情况；商丘市是因为 2014，2015 年的单位 GDP 能耗下降率较小；周口市是因为 2013，2015 年的单位 GDP 能耗均出现了上升的情况，而其他年份的下降率则均较小；驻马店市是因为驻马店除 2011 年单位 GDP 能耗下降较大外，2012-2015 年单位 GDP 能耗呈现了小幅波动；济源市是因为 2013 和 2014 年的单位 GDP 能耗下降较小，而 2015 年单位 GDP 能耗则上升了 3.40%。

从 GDP 增长对单位 GDP 能耗的影响来看，在能源消费量不变的前提下，对无法完成节能目标的地市而言，如果 GDP 增长较慢，则可能影响节能目标的完成；如果 GDP 增长较快，则说明其 GDP 增速对节能目标的完成情况影响不大。对预计能够顺利完成节能目标的地市而言，如果 GDP 增长较慢，则说明 GDP 增长对其完成节能目标影响不大，如果 GDP 增速较快，则说明其完成节能目标仍要依靠提高 GDP “做大分母”来实现。在分析中，以河南省“十二五”期间预计的年均 GDP 增速 10.74%，作为衡量各地市 GDP 增速快慢的标准，分别计算各地市在 10.74%GDP 增速下的单位 GDP 能耗下降率，计算结果如表 6.2。就无法完成节能目标的地市来看，郑州、鹤壁、焦作、濮阳、周口和济源的 GDP 增长较快，GDP 增速的提高对其完成节能目标影响较小；而对于洛阳、安阳、商丘、驻马店四市而言，其 GDP 增长较慢，可以通过提高 GDP “做大分母”来完成节能目标，尤其是安阳市其完成节能目标所需年均 GDP 增速仅为 7.44%。就可以顺利完成节能目标的地市来看，平顶山、三门峡和南阳三市，其在 GDP 增长较慢的情况下仍可顺利完成节能目标，而新乡、许昌、漯河和信阳四市，能够完成节能目标仍需要较高的 GDP 增速支持。

表 6.2 各地市 GDP 增速对单位 GDP 能耗影响分析

地市	预计 GDP 增速	10.74%GDP 增速下 2015 年单位 GDP 能耗（吨标准煤/万元）	10.74%GDP 增速下累计 GDP 能耗下降率
郑州市	10.81%	0.633	-12.37%
开封市	12.05%	0.551	-11.15%
洛阳市	8.99%	0.783	-14.29%
平顶山市	8.13%	0.769	-32.50%
安阳市	6.90%	0.997	-28.67%
鹤壁市	12.40%	1.291	-7.56%
新乡市	12.53%	0.871	-11.71%

焦作市	11.20%	1.217	5.66%
濮阳市	11.69%	1.248	20.80%
许昌市	12.22%	0.689	-9.38%
漯河市	13.19%	0.679	-23.18%
三门峡市	10.24%	0.703	-38.10%
南阳市	10.29%	0.415	-29.54%
商丘市	10.24%	0.808	-13.27%
信阳市	10.87%	0.503	-34.69%
周口市	10.89%	0.488	-7.21%
驻马店市	8.67%	0.683	-10.18%
济源市	11.96%	1.916	0.66%

从能源消费增长的角度来看,分别计算规模以上工业能耗和全社会用电量对能源消费变化的影响,以确定能源消费增长的主要驱动因素,计算结果如表 6.3。由表可见,2012-2015 年间,河南省除三门峡和信阳两市外的地市均保持不同程度能源消费增长。三门峡和信阳两市由于规模以上工业能耗下降导致能源消费总量的下降。就其他地市来看,除郑州、洛阳、濮阳、驻马店和济源外,其他地市的规模以上工业能耗均有所下降,并不是拉动能源消费增长的主要因素。而郑州等四市来看,郑州、洛阳和驻马店的能源消费增长主要电力消费增长拉动,规模以上工业能耗的贡献较小;而濮阳市电力消费增长和规模以上工业能耗增长对能源消费增长的贡献均较少,其能源消费增长的主要因素应该是除工业外其他行业的一次能源消费。而与濮阳市情况相似的还有鹤壁和焦作两市,其规模以上工业能耗呈现了下降趋势,而电力消费对能源消费增长贡献也较小,因此其能源消费增长的主要因素也应该是除工业外其他行业的一次能源消费。而对于其他地市,其能源消费增长的主要影响因素均是电力消费的增长。

表 6.3 各地市 2012-2015 年能源消费量变化分析

	能源消费总量 变化率	规模以上工业 能耗变化率	规模以上工业 能耗变化对能 源消费总量变 化贡献率	全社会用电量 变化率	全社会用电量 变化对能源消 费总量变化贡 献率
郑州市	26.09%	10.06%	24.62%	41.67%	70.06%
开封市	23.47%	-3.60%	-8.26%	64.68%	91.65%
洛阳市	28.87%	10.28%	24.60%	40.37%	71.63%
平顶山市	1.77%	-14.57%	-584.38%	11.56%	192.92%
安阳市	13.89%	-1.76%	-9.43%	43.99%	90.93%
鹤壁市	42.23%	-16.73%	-26.05%	55.22%	27.10%

新乡市	27.10%	-27.62%	-72.66%	68.52%	99.64%
焦作市	56.10%	-21.15%	-23.03%	45.60%	30.38%
濮阳市	70.46%	14.94%	13.38%	85.32%	28.97%
许昌市	25.62%	-12.43%	-32.88%	56.81%	53.02%
漯河市	13.14%	-20.82%	-73.97%	39.64%	68.56%
三门峡市	-7.14%	-6.48%	71.69%	7.09%	-36.93%
南阳市	6.81%	-4.10%	-41.25%	22.87%	165.69%
商丘市	28.34%	-1.59%	-2.78%	55.73%	78.12%
信阳市	-3.25%	-29.66%	475.22%	28.77%	-250.34%
周口市	34.85%	-55.77%	-38.02%	89.44%	74.92%
驻马店市	28.34%	10.70%	20.35%	47.96%	50.77%
济源市	41.46%	24.85%	52.78%	78.08%	55.86%

从上述分析结果来看，河南省各地市完成节能目标方式主要以下几种：提高GDP、控制工业能耗、控制电力消费、控制除工业外其他行业的一次能源消费。将“十二五”期间河南省各地市完成节能目标所需采用措施汇总如表 6.4 所示（表中“*”表示采用该措施，“-”表示不采用该措施）。其中控制电力消费一项中，仅洛阳、平顶山、安阳、三门峡和信阳的预计电力消费低于目标值，不需要进行控制，其他地市均需要控制电力消费。

表 6.4 各地市完成节能目标措施汇总

	提高 GDP	控制工业能耗	控制电力消费	控制其他行业一次能源消费
郑州市	—	*	*	—
开封市	*	—	*	—
洛阳市	*	*	—	—
平顶山市	—	—	—	—
安阳市	*	—	—	—
鹤壁市	—	—	*	—
新乡市	*	—	*	—
焦作市	—	—	*	*
濮阳市	—	*	*	*
许昌市	*	—	*	—
漯河市	—	—	*	—
三门峡市	—	—	—	—
南阳市	—	—	*	—
商丘市	*	—	*	—
信阳市	—	—	—	—
周口市	*	—	*	—
驻马店市	—	*	*	—
济源市	—	*	*	—

6.1.2 分部门预测预警结果分析

(1) 对单位 GDP 能耗影响分析

采用 LMDI 方法对分部门预测预警结果中扣除居民生活能耗的能源消费和单位 GDP 能耗的 2010-2015 年变化进行影响因素分解，并与原有 LEAP 模型的分解结果相比较，如图 6.1 所示。从单位 GDP 能耗下降来看，分部门预测预警结果总体的单位 GDP 能耗下降为 0.167 吨标准煤/万元，要小于原有模型的 0.169 吨标准煤/万元。从分部门能源强度来看，分部门预测预警结果中由各部门部门能源消费强度下降 0.118 吨标准煤/万元，要低于原有模型中的 0.120 吨标准煤/万元，而从产业结构的影响来看，分部门预测预警结果与原有模型结构基本一致均为 0.049 吨标准煤/万元。可见各主要耗能产品的单位能耗未能达到规划值直接导致节能目标无法完成。

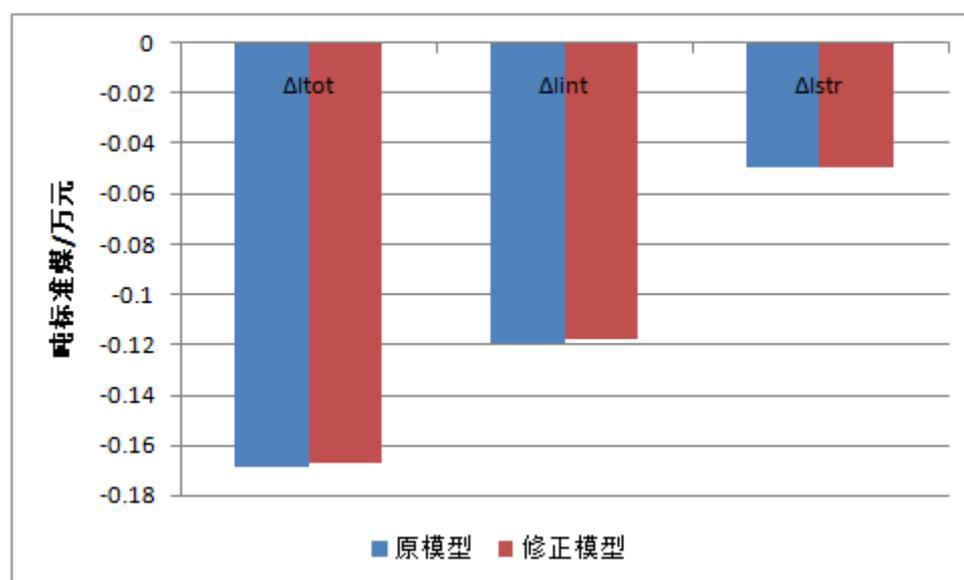


图 6.1 分部门预测预警结果单位 GDP 能耗变化影响因素分解

(2) 对能源消费量影响分析

采用 LMDI 方法对分部门预测预警结果中扣除居民生活能耗的能源消费和能源消费量的 2010-2015 年变化进行影响因素分解，并与原有 LEAP 模型的分解结果相比较，如图 6.2 所示。分部门预测预警结果总体能源消费增长为 6062.55 万吨标准煤，大于原有模型的 6012.06 万吨标准煤。从总体增加值变化的影响来看，分部门预测预警结果为 10121.06 万吨标准煤，而原有模型为 10108.11 万吨

标准煤；从能源强度变化的影响来看，分部门预测预警结果为-2853.69 万吨标准煤，而原有模型为-2902.40 万吨标准煤；从产业结构变化的影响来看，分部门预测预警结果为-1204.82 万吨标准煤，而原有模型为-1193.65 万吨标准煤。从分解结果可见，分部门预测预警结果中能源消费总量要略大于原有模型结果，而这种变化主要是由各主要耗能产品的单位能耗未能达到规划值，能源强度下降对能源消费总量的影响变小所致；同时由于单位能耗的增大，在增加值预测结果不变的情况，相同的经济增长所带来的能源消费增长也有所增长。

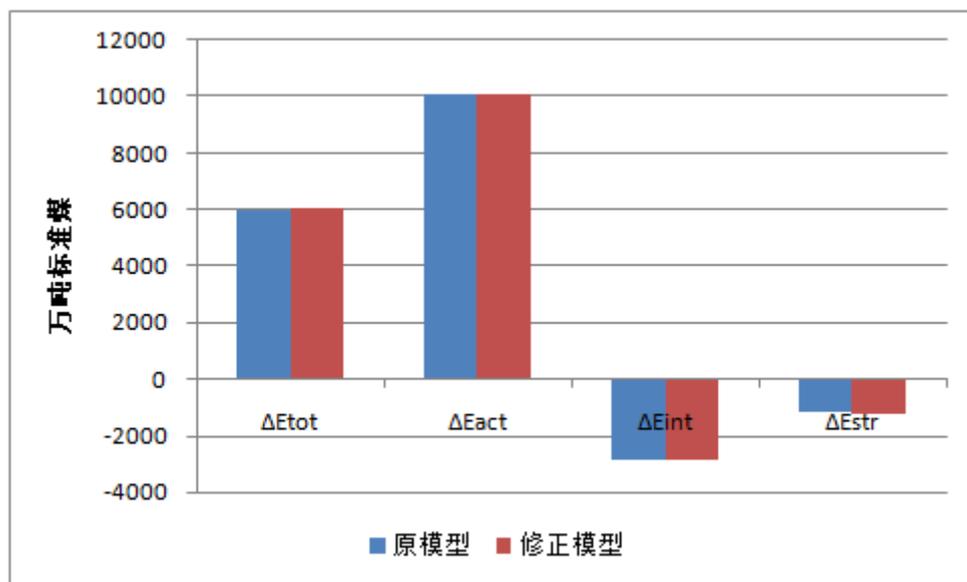


图 6.2 分部门预测预警结果能源消费量变化影响因素分解

6.2 产业结构优化结果分析

6.2.1 节能目标预测结果分析

根据计算结果，在进行产业结构优化的情况下，2015 年时河南省单位 GDP 能耗 0.907 吨标准煤/万元，较 2010 年下降了 18.12%，可以超额完成节能目标。在扣除居民生活能耗后，其单位 GDP 能耗为 0.791 吨标准煤/万元，较 2010 年下降了 19.13%。而在原有节能目标预测模型中，扣除居民生活能耗后，单位 GDP 能耗为 0.814 吨标准煤/万元，较 2010 年下降了 16.89%。从能源消费总量控制来看，产业结构优化模型中 2015 年河南省的能源消费总量为 28168.98 万吨标准煤，电力消费量为 3606.85 亿千瓦时均在目标值的范围内。而从 GDP 增速来看，产业结构优化模型中年均 GDP 增速为 9.92%，可以满足规划中年均 GDP 增长 9%

以上的要求。经过产业结构优化，2015年河南省第三产业的比重为34.04%，满足规划中第三产业比重达到33.5%的要求。由此可见，经过产业结构优化后，河南省在保证经济稳定增长的同时可以较好的完成各项和节能相关的规划目标。

6.2.2 产业结构变化分析

将原有节能目标预测模型以及产业结构优化模型的预测结果中产业结构整理如表6.5所示。。从原有节能目标模型计算来看，“十二五”期间河南省第三产业增加值增速较快，所占比例上升，而工业增长则有所放缓，所占比例下降；而在工业部门内部，各高能耗行业和河南省传统行业的增长均有所放缓，所占比例均略有下降或与2010年持平，而电子行业将大幅增长，所占比重明显上升。由于原有节能目标预测模型中，各行业部门的增加值预测和产品产量均采用规划目标值或者趋势分析，因此可以认为原有模型中的增加值预测数据符合河南省原有发展趋势。

将产业结构优化模型的增加值计算结果与原有模型进行对比，可以发现：工业部门受到抑制，增加值增速较原有模型有所放缓，所占比例有所下降，第三产业增加值增长和所占比例与原有模型基本一致，而农业和建筑业的增速虽有明显的上升，但由于其增加值所占比例较小，所占比例略有上升。在工业部门内部，钢铁、建材、化工、有色、电力、电子六行业增加值增长和所占比重与原模型基本一致；煤炭增加值由增长转为小幅下降，所占比重下降明显；轻工及其他工业行业的增长放缓，所占比重小幅下降；食品、纺织两行业的增长有所加快，所占比例。

根据对模型计算结果中产业结构变化的分析，本研究将河南省“十二五”期间的产业结构优化方向归结为：大力发展电子、食品、纺织行业，限制煤炭行业发展，适当控制其他高耗能行业发展。

表 6.5 河南省“十二五”预期产业结构变化

	2010 年产业 结构	2015 年产业 结构（原模 型）	2015 年产业 结构（产业结 构优化）	2010-2015 增 加值年均增 速（原模型）	2010-2015 年 增加值年均 增速（产业结 果优化）
农业	12.50%	9.50%	9.64%	3.85%	4.36%
工业总计	53.20%	51.56%	50.48%	9.02%	8.77%
钢铁	2.57%	2.11%	2.09%	5.48%	5.48%
建材	8.91%	8.85%	8.77%	9.56%	9.56%
化工	3.70%	3.72%	3.69%	9.82%	9.82%
有色	4.18%	3.55%	3.51%	6.16%	6.16%
煤炭	3.87%	3.10%	2.14%	4.95%	-2.38%
电力	2.51%	2.30%	2.25%	7.83%	7.59%
电子	0.24%	1.00%	1.08%	45.87%	48.51%
食品	8.52%	8.63%	9.26%	9.98%	11.76%
纺织	2.68%	2.68%	3.33%	9.77%	14.86%
轻工及其他	16.03%	15.62%	14.36%	9.14%	7.53%
建筑业	5.29%	4.55%	5.85%	6.47%	12.16%
第三产业	29.01%	34.39%	34.03%	13.50%	13.49%

6.2.3 产业结构优化影响分析

(1) 对单位 GDP 能耗影响因素分析

采用 LMDI 方法将 2010-2015 年产业结构优化模型的扣除居民生活能耗外的单位 GDP 能耗变化进行影响因素分析，并与原有节能目标预测模型的分解结果比较，如图 6.3 所示。从总体来看，在产业结构优化模型和节能目标预测模型中，能源强度的下降仍将是河南省单位 GDP 能耗下降的主要影响因素，而产业结构变化仍将拉动单位 GDP 能耗上升。在产业结构优化模型中，能源强度下降的影响为-0.118 吨标准煤/万元，略低于原有节能目标预测模型中的-0.120 吨标准煤/万元。而从产业结构变化的影响来看，产业结构优化模型中为-0.073 吨标准煤/万元，要远低于原有模型中的-0.049 吨标准煤/万元。由此可见，河南省经过产业结构优化，可以实现更大幅度的单位 GDP 能耗下降，从而超额完成节能目标。同时也证明了，本研究采用的模型可以实现产业结构的优化。

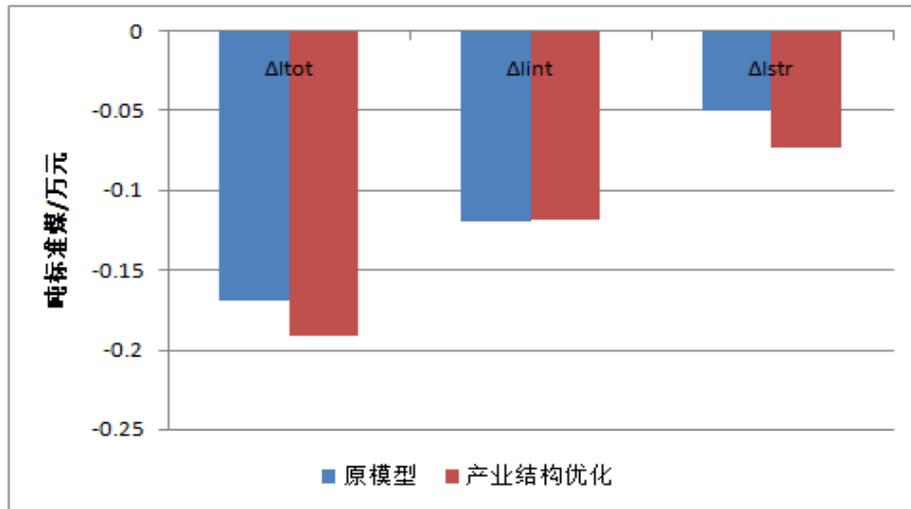


图 6.3 产业结构优化模型单位 GDP 能耗变化影响因素分解

(2) 对能源消费总量的影响分析

采用 LMDI 方法将 2010-2015 年产业结构优化模型的扣除居民生活能耗外的能源消费量变化进行影响因素分析, 并与原有节能目标预测模型的分解结果比较, 如图 6.4 所示。可见产业结构优化模型结果中, 2010-2015 年能源消费总量增长了 5565.72 万吨标准煤, 低于原有模型预测的 6012.06 万吨标准煤。其中由增加值增长而引起的能源消费变化为 10209.18 万吨标准煤, 高于原有模型预测的 10108.11 万吨标准煤; 由能源强度下降引起的能源消费变化为-2884.62 万吨标准煤, 略高于原有模型预测的-2902.40 万吨标准煤; 由产业结构变化引起的能源消费变化为-1758.85 万吨标准煤, 远低于原有模型预测的-1193.65 万吨标准煤。总体来看, 由于产业结构优化模型计算结果的增加值增长略大于原有模型, 因此其由增加值增长引起能源消费增量大于原模型; 而由于产业结构优化模型中单位能耗数据采用了原模型计算结果, 因此能源强度下降引起的能源消费下降与原模型基本持平; 产业结构优化模型中由于产业结构变化带来的能源消费量下降, 远低于原模型, 对能源消费增长的抑制作用明显。

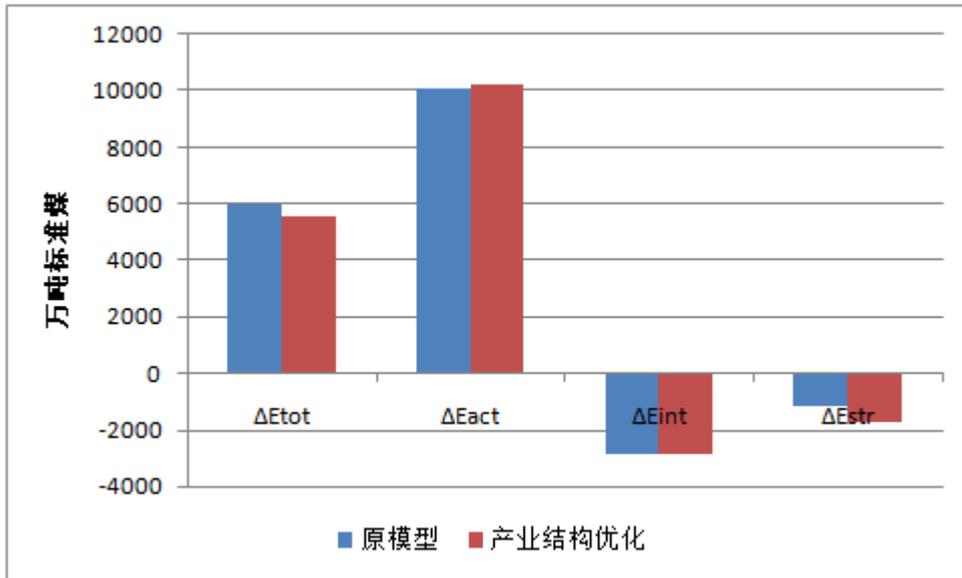


图 6.4 产业结构优化模型能源消费量影响因素分解

将产业结构变化的影响进一步分解至各行业，如图 6.5 所示。可见产业结构变化对能源消费的影响在钢铁、有色、煤炭、电力和第三产业中较为明显。其中第三产业的产业结构变化引起了明显的能源消费增长，而钢铁、有色、煤炭、电力四行业的产业结构变化则引起了能源消费的下降。从产业结构优化模型和原有模型的差异来看，产业结构优化模型中煤炭、电力和轻工及其他三行业由产业结构变化引起的能源消费下降要明显大于原模型。可见，河南省“十二五”期间通过产业结构优化措施需要集中在这三个行业。

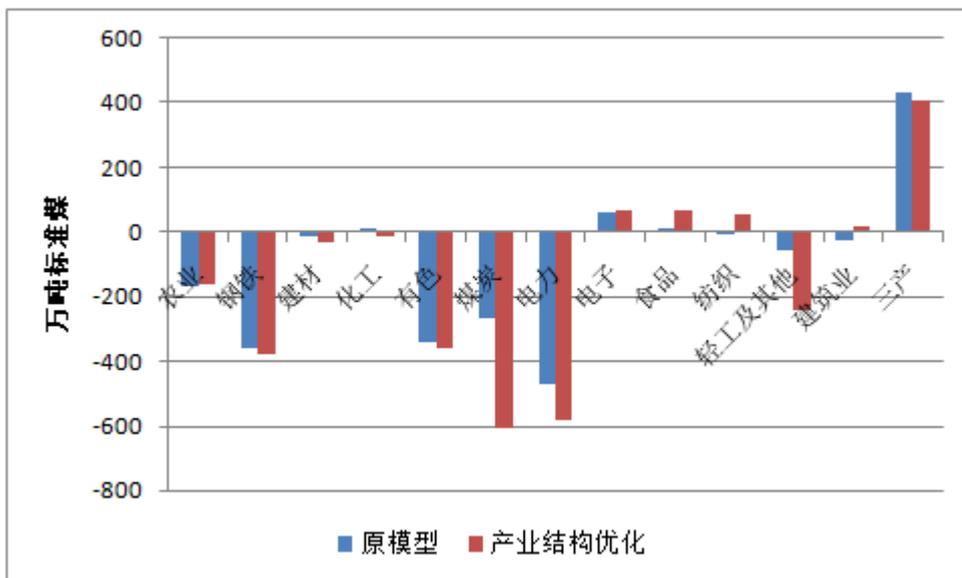


图 6.5 分行业产业结构变化影响

6.2.4 产业结构优化对地市影响分析

根据 6.2.2 中对产业结构变化的分析，与河南省原有的发展趋势（原有节能目标预测模型计算结果）相比产业结构优化模型计算结果中，变化较明显行业有煤炭、食品、纺织。其中全省的煤炭行业增加值在“十二五”有所下降，可能会对倚重煤炭行业的地市的 GDP 增长产生不利影响。根据 2009 年河南省各地市工业结构（所能获得的最新数据），如表 6.6 所示，可见平顶山市和商丘市煤炭行业增加值占工业总增加值比例较大，限制煤炭行业发展将影响其 GDP 增长。因此，在进行产业结构优化时，需要在平顶山市和商丘市进行产业替代。同时，由于产业结构优化结果中食品、纺织较原有趋势有了一定增长，因此，可以在平顶山市和商丘市大力发展食品、纺织行业，以取代原有煤炭行业，成为两市新的经济增长方向。

表 6.6 2009 年各地市工业结构

	钢铁	建材	化工	有色	煤炭	电力	电子	食品	纺织	轻工及其他
郑州市	3.48%	25.98%	3.65%	8.65%	9.71%	4.75%	0.41%	9.68%	1.21%	32.46%
开封市	1.29%	6.69%	11.55%	6.01%	0.32%	3.60%	1.14%	16.01%	9.45%	43.94%
洛阳市	5.60%	8.30%	3.34%	19.43%	17.63%	8.20%	1.71%	2.54%	0.98%	32.27%
平顶山市	11.77%	6.77%	1.56%	1.84%	49.56%	4.50%	0.01%	4.89%	2.00%	17.09%
安阳市	33.89%	5.49%	2.64%	3.16%	13.08%	3.20%	0.31%	10.28%	2.08%	25.88%
鹤壁市	0.33%	12.07%	9.27%	4.15%	19.88%	2.37%	3.29%	24.26%	1.66%	22.70%
新乡市	0.91%	3.96%	7.94%	4.56%	2.39%	5.65%	0.68%	10.04%	10.46%	53.40%
焦作市	2.22%	12.17%	13.68%	7.46%	4.81%	3.31%	0.03%	13.87%	1.40%	41.04%
濮阳市	0.20%	10.29%	12.73%	0.52%	0.93%	1.93%	0.05%	19.62%	4.19%	49.53%
许昌市	4.71%	13.71%	2.23%	4.84%	18.52%	2.46%	0.24%	11.49%	5.89%	35.92%
漯河市	0.37%	2.68%	5.96%	0.08%	0.90%	1.05%	0.77%	57.92%	1.77%	28.49%
三门峡市	1.57%	7.35%	3.40%	58.70%	11.88%	3.81%	0.55%	2.17%	0.34%	10.24%
南阳市	8.49%	13.87%	5.03%	4.29%	0.12%	6.02%	0.67%	14.00%	15.77%	31.74%
商丘市	2.70%	3.25%	2.02%	4.46%	36.68%	5.22%	0.30%	25.70%	4.08%	15.59%
信阳市	10.79%	19.07%	8.47%	0.92%	0.02%	5.03%	0.05%	28.05%	3.35%	24.26%
周口市	0.01%	3.18%	2.81%	0.18%	0.17%	2.98%	0.14%	35.22%	10.17%	45.15%
驻马店市	4.44%	17.50%	8.43%	0.16%	0.09%	5.39%	0.64%	25.06%	4.20%	34.09%
济源市	17.60%	5.65%	4.31%	34.53%	14.96%	6.81%	0.21%	1.70%	1.01%	13.22%

7. 结论与建议

7.1 研究结论

根据对河南省节能目标预测预警和产业结构优化的预测,以及对预测结果的分析,本研究得到以下三点结论。

一、根据宏观模型预测结果,预计 2015 年末河南省单位 GDP 能耗下降率为 17.88%,可以顺利完成全省单位 GDP 能耗下降目标。在各地市中预计开封,平顶山,新乡,许昌,漯河,三门峡,南阳,信阳等七地市能完成单位 GDP 能耗下降目标。根据对预测结果的分析,电力消费增长过快是其他地市无法完成单位 GDP 能耗下降目标的主要原因。

二、根据分部门节能目标预测预警模型结果,在不进一步控制主要产品单位能耗情况下,预计河南省 2015 年末能源消费总量为 28665.81 万吨标准煤,单位 GDP 能耗下降为 15.86%,无法顺利完成节能目标。其中产品单位能耗变化引起的单位 GDP 能耗下降为 0.118 吨标准煤/万元,能源消费量下降为 2853.69 万吨标准,均低于按照规划目标计算结果。

三、根据产业结构优化模型结果,在进行产业结构优化的情况下,预计 2015 年末河南省能源消费总量为 28,168 万吨标准煤,单位 GDP 能耗下降率为 18.12%,可以超额完成单位 GDP 能耗下降目标。其中由于产业结构优化引起的单位 GDP 能耗下降值为 0.073 吨标准煤/万元,能源消费量下降值为 1758.85 万吨标准煤,均高于按照规划目标计算结果。而综合考虑各地市产业结构,产业结构的变化可能对平顶山市和商丘市的经济增长产生不利影响,需要在这两个地市进行某些产业过剩产能替代。

7.2 政策建议

根据研究结果,本研究针对河南省节能目标管理以及产业结构优化提出以下三方面建议。

一、根据对全省节能目标的预测预警和分析，河南省想要顺利完成单位 GDP 能耗下降目标，建议采取以下措施：（1）保持当前 GDP 增速，“做大分母”；（2）控制全社会电力消费的过快增长；（3）加强对主要耗能产品生产的监管，确保其单位能耗能达到规划目标。

二、根据对各地市节能目标的预测预警和分析，将各地市完成单位 GDP 下降目标建议采取的措施汇总如表 7.1（表中“*”表示采用该措施，“-”表示不采用该措施）。

表 7.1 各地市完成节能目标措施汇总

	提高 GDP	控制工业能耗	控制电力消费	控制其他行业一次能源消费
郑州市	—	*	*	—
开封市	*	—	*	—
洛阳市	*	*	—	—
平顶山市	—	—	—	—
安阳市	*	—	—	—
鹤壁市	—	—	*	—
新乡市	*	—	*	—
焦作市	—	—	*	*
濮阳市	—	*	*	*
许昌市	*	—	*	—
漯河市	—	—	*	—
三门峡市	—	—	—	—
南阳市	—	—	*	—
商丘市	*	—	*	—
信阳市	—	—	—	—
周口市	*	—	*	—
驻马店市	—	*	*	—
济源市	—	*	*	—

三、根据产业结构优化模型的预测分析，建议“十二五”期间河南省按照：“大力发展电子、食品、纺织行业，限制煤炭行业发展，适当控制其他高耗能行业发展”的方向进行产业结构优化。同时建议在在平顶山市和商丘市大力发展食品、纺织行业，以取代原有煤炭行业过剩产能，同时促进煤炭行业的升级转型，在产业结构优化的同时保证其经济发展。

参考文献

- [1] 河南省人民政府. 河南省国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[EB/OL].
<http://www.henan.gov.cn/zwgk/system/2011/04/29/010241505.shtml>, 2011.04.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. “十二五”节能减排综合性工作方案[EB/OL].
http://www.gov.cn/xxgk/pub/govpublic/mrlm/201109/t20110907_64049.html, 2011.08.
- [3] 河南省人民政府. 河南省“十二五”合理控制能源消费总量工作方案（试行）[EB/OL].
<http://www.henan.gov.cn/zwgk/system/2013/01/14/010359581.shtml>, 2012.11.
- [4] Bohi D R. Analyzing demand behavior: a study of energy elasticities, resources for the future[M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1981.
- [5] Bohi D R, Zimmerman M B. An update on econometric studies of energy demand behavior[J]. Annual Review of Energy, 1984, 9: 105–154.
- [6] Farahbahsh H, Ugursal VI, Fung AS. A residential end use energy consumption model for Canada[J]. Energy Research, 1998, 22: 1133–1143.
- [7] Sharma DP, Chandramohan Nair PS, Balasubramanian R. Residential demand for electrical energy in the state of Kerala: an econometric analysis with medium range projections[C]. Proceedings of the IEEE power engineering society winter meeting, 2000.
- [8] 院关颖, 姜惠兰. 用于长期能源预测的几种对数回归模型的研究[C]. 中国城市供电学术年会, 2004.
- [9] O'Neill BC, Desai M. Accuracy of past projections of US energy consumption[J]. Energy Policy, 2005, 33(8): 979–993.
- [10] Lee C C, Chang CP. The impact of energy consumption on economic growth: evidence from linear and nonlinear models in Taiwan. Energy, 2007, 32(12): 2282–94.
- [11] 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.
- [12] Ediger V S, Akar S, Ugurlu B. Forecasting production of fossil fuel sources in Turkey using a comparative regression and ARIMA model[J]. Energy Policy, 2006, 34(18): 3836–3846.
- [13] Ediger V S, Akar S. ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey[J]. Energy Polic, 2007, 35: 1701–1708.
- [14] Erdogdu E. Natural gas demand in Turkey[J]. Applied Energy, 2010, 87: 211–219.
- [15] Cho M Y, Hwang J C, Chen C S. Customer short-term load forecasting by using ARIMA transfer function model[C]. Proceedings of the international conference on energy manage power delivery, 1995, 1: 317–322.
- [16] Conejo A J, Plazas M A, Espinola R, Molina A B. Day-ahead electricity price forecasting using the wavelet transform and ARIMA models[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2005, 20: 1035–1042.
- [17] Pappas S S, Ekonomou L, Karamousantas D C, Chatzarakis G E, Katsikas S K, Liat-sis P. Electricity demand loads modeling using auto regressive moving average (ARMA) models[J]. Energy, 2008, 33: 1353–1360.
- [18] Sumer K K, Goktas O, Hepsag A. The application of seasonal latent variable in forecasting electricity demand as an alternative method[J]. Energy Policy, 2009, 37: 1317–1322.
- [19] Lu I J, Lin S J, Lewis C. Grey relation analysis of motor vehicular energy consumption in Taiwan[J]. Energy Policy, 2008, 36: 2556–2561.
- [20] Lee Y S, Tong L I. Forecasting energy consumption using a grey model improved by incorporating genetic programming[J]. Energy Conversion and Management, 2011, 52: 147–152.
- [21] Lee S C, Shih L H. Forecasting of electricity costs based on an enhanced grey-based learning model: a case study of renewable energy in Taiwan[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2011, 78(7): 1242–1253.
- [22] Mu H L, Kondoua Y, Tonookab Y, Satoa Y, Zhou W S, Ning Y D, et al. Grey relative analysis and future prediction on rural household biofuels consumption in China[J]. Fuel Processing Technology, 2004, 85: 1231–1248.
- [23] 孟彦菊. 投入产出模型扩展研究[D]. 西南财经大学, 2009

- [24] Wei Y M, Liang Q M, Fan Y, Okada N, Tsai H T. A scenario analysis of energy requirements and energy intensity for China's rapidly developing society in the year 2020[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2006, 73(4): 405–21.
- [25] Liang Q M, Fan Y, Wei Y M. Multi-regional input–output model for regional energy requirements and CO₂ emissions in China[J]. *Energy Policy*, 2007, 35: 1685–1700.
- [26] Liu H T, Guo J E, Qian D, Xi Y M. Comprehensive evaluation of household indirect energy consumption and impacts of alternative energy policies in China by input–output analysis[J]. *Energy Policy*, 2009, 37(8): 3194–3204.
- [27] Long-range Energy Alternatives Planning System User Guide for Version 2011[EB/OL]. <http://www.energycommunity.org/documents/LEAP2011UserGuideEnglish.pdf>, 2011.5
- [28] Sathaye J, Dixon R, Rosenzweig C. Climate change country studies[J]. *Applied Energy*, 1997, 56(3):225–235.
- [29] Manzini F, Islas J, Martinez M. Reduction of greenhouse gases using renewable energies in Mexico 2025[J]. *Hydrogen Energy*, 2000, 26(2): 145–149.
- [30] Wenjia Cai, Can Wang, Jining Chen, Ke Wang, Ying Zhang, Xuedu Lu. Comparison of CO₂ emission scenarios and mitigation opportunities in China's five sectors in 2020[J]. *Energy policy*, 2008, 36: 1181-1194
- [31] Cai W, Wang C, Wang K, Zhang Y, Chen J. Scenario analysis on CO₂emissions reduction potential in China's electricity sector[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(12): 6445–6456.
- [32] Pradhan S, Bahadur B, Bhusan V. Mitigation potential of greenhouse gas emission and implications on fuel consumption due to clean energy vehicles as public passenger transport in Kathmandu Valley of Nepal: a case study of trolley buses in ring road[J]. *Energy*, 2006, 31(12): 1748–1760.
- [33] Kadian R, Dahiya RP, Garg HP. Energy-related emissions and mitigation opportunities from the household sector in Delhi[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(12): 6195–6211.
- [34] Shin H C, Park J W, Kim H S, Shin E I. Environmental and economic assessment of landfill gas electricity generation in Korea using LEAP model[J]. *Energy Policy*, 2005, 33:1261–1270.
- [35] 罗斯托. 经济成长的阶段[M]. 北京: 商务出版社, 1995.
- [36] 赫希曼. 经济发展战略[M]. 北京: 经济科学出版社, 1991.
- [37] 筱原三代平. 产业结构论[M]. 北京:中国人民大学出版社, 1990.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 张丽英. 河北省产业结构调整研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.
- [41] 李录青. 重庆产业结构调整与优化问题研究[J]. *产业观察*, 2011:296-298.
- [42] 王述英.现代产业经济理论与政策[M]. 太原: 山西出版社, 1999.
- [43] 徐杏. 消费结构、产业结构和就业结构的联动分析[J]. *河海大学学报(哲学社会科学版)*, 2000(3): 5-9.
- [44] 宋锦剑.论产业结构优化升级的测度问题[J]. *当代经济科学*, 2000(3): 92-97.
- [45] 王力. 环境约束下江苏省产业结构优化研究[D]. 无锡: 江南大学硕士论文, 2008.
- [46] 于娜. 基于节能目标的辽宁省产业结构优化研究[D]. 大连: 大连理工大学硕士论文, 2009.
- [47] 李迎. 基于碳排放的湖北省产业结构优化研究[D]. 武汉: 华中师范大学硕士论文, 2012.
- [48] 张璞. 内蒙古产业结构优化研究—基于随机规划及系统动力学组合方法[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [49] 戴维·里德. 经济结构, 环境与可持续发展[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [50] Zhong X Z. Why did the energy intensity fall in China's industrial sector in the 1990s?—the relative importance of structural change and intensity change [J]. *Energy Economics*, 2003, 25(6): 625–638.

- [51] Shiu A, Lam P L. Electricity consumption and economic growth in China[J]. *Energy Policy*, 2004, 32(1): 47–54.
- [52] Hu J L, Kao C H. Efficient energy-saving targets for APEC economies[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(1): 373–382.
- [53] Maria Liop. Economic structure and Pollution in tensity within the environmental input-output framework[J]. *Energy Policy*, 2007, 35(6): 33-46.
- [54] 路正南. 产业结构调整对我国能源消费影响的实证分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 1999(12): 53–55.
- [55] 何建坤, 刘滨, 张阿玲. 我国未来减缓 CO₂ 排放的潜力分析[J]. *清华大学学报*, 2002, 17(6): 75-80.
- [56] 尹春华, 顾培亮. 我国产业结构的调整与能源消费的灰色关联分析[J]. *天津大学学报*, 2003(1): 104-107.
- [57] Zhang Zhixin, Xue Qiao. Low-carbon economy, industrial structure and changes in China's development mode based on the data of 1996-2009 in empirical analysis[j]. *Energy Procedia*, 2011, 5: 2025-2029.
- [58] Wang Lihong, Zhang hui. Development of circular economy and optimization of industrial structure for Shandong Province[J]. *Energy Procedia*, 2011,5: 1603–1610.
- [59] Zhang Xiaoqing, Ren Jianlan .The Relationship between Carbon Dioxide Emissions and Industrial Structure Adjustment for Shandong Province[J]. *Energy Procedia*, 2011,5: 1121-1125.
- [60] Rutger Hoekstra, Jeroen J.C.J.M. van der Bergh. Comparing structural and index decomposition analysis[J]. *Energy Economics*, 2003, 25(1): 39–64.
- [61] Rose, A. and S. Casler . Input-Output Structural Decomposition Analysis: A Critical Appraisal[J]. *Economic Systems Research*, 1996, 8(1): 33–62.
- [62] Rutger Hoekstra, Jeroen C.J.M. Van Den Bergh. Structural Decomposition Analysis of Physical Flows in the Economy[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 23(3): 357–378.
- [63] Lin, X. and K. R. Polenske. Input-output Anatomy of China's Energy Use Changes in the 1980s[J] *Economic Systems Research*, 1995,7(1): 67–84.
- [64] Zheng, Y. Sources of China's Energy Use Changes in the 1990's[C]. 13th International Conference on Input-Output Techniques, Macerata, Italy, 2000.
- [65] Bin Su , B.W. Ang. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(1): 177–188.
- [66] Bin Su , B.W. Ang , Melissa Low. Input–output analysis of CO₂ emissions embodied in trade and the driving forces: Processing and normal exports[J]. *Ecological Economics*, 2013, 88: 119–125.
- [67] Boqiang Lin, Chuanwang Sun. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(1): 613–621.
- [68] Thomas Wiedmanna, Manfred Lenzenb, Karen Turnerc, et.al. Examining the global environmental impact of regional consumption activities — Part 2: Review of input–outputmodels for the assessment of environmental impacts embodied in trade [J]. *Ecological Economics* , 2007, 61(1): 15 – 26.
- [69] 李艳梅, 付加锋. 中国出口贸易中隐含碳排放增长的结构分解分析[J]. *中国人口资源与环境*, 2010, 20(8): 53-57.
- [70] 李艳梅, 张雷. 中国居民间接生活能源消费的结构分解分析[J]. *资源科学*, 2008, 30(6):

890-894.

- [71] 房斌, 关大博, 廖华等. 中国能源消费驱动因素的实证研究: 基于投入产出的结构分解分析[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41(2): 66-77.
- [72] 姚亮, 刘晶茹, 王如松. 中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5632-5656.
- [73] 计军平, 马晓明. 中国温室气体排放增长的结构分解分析[J]. 中国环境科学, 2011, 31(12): 2076-2082.
- [74] Myers J, Nakamura L. Saving energy in manufacturing. Cambridge, MA: Ballinger, 1978.
- [75] Bossanyi E. UK primary energy consumption and the changing structure of final demand[J]. Energy Policy, 1979, 7(6): 253-258.
- [76] Östblom G. Energy use and structural change: factors behind the fall in Sweden's energy output ratio[J]. Energy Economics, 1982, 4(1): 21-28.
- [77] Hankinson GA, Rhys JMW. Electricity consumption, electricity intensity and industrial structure[J]. Energy Economics, 1983, 5(3): 146-152.
- [78] Reitler W, Rudolph M, Schaefer H. Analysis of the factors influencing energy consumption in industry — a revised method[J]. Energy Economics, 1987, 9(3): 145-148.
- [79] Boyd G A, McDonald J F, Ross M, Hanson D A. Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: a Divisia index approach[J]. The Energy Journal, 1987, 8(2): 77-96.
- [80] Boyd G A, Hanson D A, Sterner T. Decomposition of changes in energy intensity — a comparison of the Divisia index and other methods[J]. Energy Economics, 1988, 10(4): 309-312.
- [81] Howarth R B, Schipper L, Duerr P A, Strøm S. Manufacturing energy use in eight OECD countries[J]. Energy Economics, 1991, 13(2):135-142.
- [82] Park S H. Decomposition of industrial energy consumption — an alternative method[J]. Energy Economics, 1992, 14(4): 265-270.
- [83] Liu X Q, B.W. Ang, Ong H L. The application of the Divisia index to the decomposition of changes in industrial energy consumption[J]. The Energy Journal, 1992, 13(4): 161-177.
- [84] B.W. Ang. Decomposition of industrial energy consumption: the energy intensity approach[J]. Energy Economics, 1994, 16(3): 163-174.
- [85] B.W. Ang, Lee S Y. Decomposition of industrial energy consumption: some methodological and application issues[J]. Energy Economics, 1994, 16(2): 83-92.
- [86] B.W. Ang, Zhang F.Q. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies[J]. Energy, 2000, 25: 1149-1176.
- [87] X.Y. Xu , B.W. Ang,. Index decomposition analysis applied to CO₂ emission studies[J]. Ecological Economics, 2013, 93: 313-329.
- [88] Sun, J.W. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition Model[J]. Energy Economics, 1998, 20(1), 85-100.
- [89] B.W. Ang., Choi K.H. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method[J]. The Energy Journal, 1997, 18(3): 59-73.
- [90] B.W. Ang., Liu F.W. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation[J]. Energy, 2001, 26(6): 537-548.
- [91] B.W. Ang, Liu F.L, Chew, E.P. Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis[J]. Energy Policy, 2003, 31(14): 1561-1566.
- [92] B.W. Ang, Zhang, F.Q. Choi, K.H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition[J]. Energy, 1998, 2(6): 489-495.

- [93] B.W. Ang. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? [J]. Energy Policy, 2004, 32(9): 1131–1139
- [94] B.W. Ang, Na Liu. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach [J]. Energy Policy, 2007, 35(1): 238–246.
- [95] B.W. Ang, Na Liu. Negative-value problems of the logarithmic mean Divisia index decomposition approach [J]. Energy Policy, 2007, 35(1): 739–742.
- [96] Kumboğlu G. A sectoral decomposition analysis of Turkish CO₂ emissions over 1990–2007 [J]. Energy, 2011, 36(5): 2419–2433.
- [97] Ali Hasanbeigi, Stephane de la Rue du Can, Jayant Sathaye. Analysis and decomposition of the energy intensity of California industries [J]. Energy Policy, 2012, 46: 234–245.
- [98] O'Mahony T, Zhou, P, Sweeney, J. The driving forces of change in energy related CO₂ emissions in Ireland: a multi-sectoral decomposition from 1990 to 2007 [J]. Energy Policy, 2012, 44: 256–267.
- [99] Zhao M., Tan L., Zhang W, Ji M, Liu Y, Yu, L. Decomposing the influencing factors of industrial carbon emissions in Shanghai using the LMDI method [J]. Energy, 2010, 35(6): 2505–2510.
- [100] Liu, L.C, Fan, Y, Wu, G, Wei, Y.M. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO₂ emissions from final fuel use: an empirical analysis. Energy Policy, 2007, 35(11): 5892–5900.
- [101] 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析 [J]. 中国人口资源与环境, 2006, 16(6): 158-161.
- [102] 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.
- [103] 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.
- [104] 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.
- [105] 邓聚龙. 灰色多维规划 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1989.
- [106] 李丽红, 李鲁华, 马松梅等. 基于灰色线性规划土地资源优化配置研究 [J]. 石河子大学学报, 2007, 25(4): 441-443.
- [107] 陈义雄. 灰色线性规划在钢铁冶金中的应用 [D]. 沈阳: 东北大学, 2006.
- [108] 严喜祖, 宋中民. 灰色线性规划及解的探讨 [J]. 烟台大学学报, 2002, 15(2): 104-105.
- [109] 刘强. 能源环境政策评价模型的比较分析 [J]. 中国能源, 2008, 30(5): 26-31.
- [110] 河南省统计局. 河南统计年鉴 2012 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [111] 河南省人民政府. 河南省“十二五”节能减排综合性工作方案 [EB/OL]. <http://www.henan.gov.cn/zwgk/system/2012/01/10/010286089.shtml>, 2012.1.
- [112] 河南省人民政府. 河南省“十二五”能源发展规划 [EB/OL]. <http://www.henan.gov.cn/zwgk/system/2012/03/28/010299096.shtml>, 2012, 3.
- [113] 河南省工业和信息化厅. 河南省工业和信息化厅关于印发河南省钢铁等四个行业工业节能“十二五”专项规划的通知 [EB/OL]. <http://www.iitha.gov.cn/newsshow.asp?id=419>, 2012, 4.
- [114] 河南省人民政府. 河南省能源中长期发展规划 [EB/OL]. <http://www.henan.gov.cn/zwgk/system/2013/06/19/010402381.shtml>, 2013, 5.
- [115] 中华人民共和国中央政府. 节能减排“十二五”规划 [EB/OL]. http://www.gov.cn/zwgk/2012-08/21/content_2207867.htm, 2012, 8.
- [116] Stephanie Ohshita, Lynn Price, Tian Zhiyu. Target Allocation Methodology for China's Provinces: Energy Intensity in the 12th five-Year Plan [EB/OL]. <http://china.lbl.gov/sites/all/files/lbl-4406e-target-allocationmarch-2011.pdf>, 2011, 3: 24.
- [117] 张欣. 可计算一般均衡模型的基本原理与编程 [M]. 上海, 格致出版社, 2010: 130.