学校代码：10378 密级：

分类号：



硕 士 学 位 论 文

安徽省碳排放影响因素研究

学 号： 20132207179

学生姓名： 林青霞

学位类别： 经济学硕士

专业名称： 统计学

研究方向： 经济统计

导师姓名： 王玉梅 教授

二○一五年十二月

School code ：10378 Security： Classification：



The Research of Factors Affecting Carbon Emissions in Anhui Province

Student ID：20132207179 Name：Lin Qingxia

Degree category：Economic Master The professional name：Statistics

Research direction ：Economic Statistics Tutor’s name：Professor Wang Yumei

December,2015

**学位论文独创性声明**

本人郑重声明：本人所呈交的学位论文，是在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写的作品，也不包含为获得安徽财经大学或其他教育机构的学位或证书所使用过的材料。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中标明并表示了谢意。

本声明的法律后果由本人承担。

论文作者（签名）：林青霞 2015 年 12 月 20 日

**学 位 论 文 使 用 授 权 书**

本论文作者完全了解学校关于保存、使用学位论文的管理办法及规定，即学校有 权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权安徽财经大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入学校有关数据库和 授权学校研究生处与中国知网和万方数据签订收录协议及收录并由作者本人享有、承 担相应的权利和义务，也可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存或汇编本学位论 文。

注：保密学位论文，在解密后适用于本授权书。

作者签名：林青霞 2015 年 12 月

摘 要

随着安徽省经济的飞速发展，碳排放量呈逐年增加趋势，解决碳排放与经济发展之间的矛盾是当前安徽省亟需解决的难题。

本文首先就安徽省的能源消费、经济发展和碳排放量现状进行统计分析，进一步建立安徽省碳排放的环境库兹涅茨曲线，从正面反应出安徽省优化能源消费结构、提高能源利用效率、优化经济发展模式的必要性和迫切性。再使用LMDI指数法对安徽省碳排放因素进行探讨，结果表明经济发展因素对人均碳排放的贡献值为正且贡献率很大，是拉动碳排放量增加的主要因素，能源效率因素对人均碳排放的贡献值为负，是抑制碳排放量增加的主要因素，能源结构因素从长期趋势来看是抑制碳排放量增加的因素。接着对碳排放影响因素进行Tapio脱钩效应研究，脱钩效应的结果不仅验证了LMDI指数法的分解结果，还发现安徽省的碳排放量一直处于弱脱钩状态，说明碳排放量的增速一直大于经济发展的增速。以上研究均说明安徽省的碳排放问题确实迫在眉睫。

之后采用安徽省1995-2013年的时间序列数据分析安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素和碳排放量之间的关系，先对取对数后的能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素和碳排放量数值进行平稳性检验、协整检验，再构建变系数状态空间模型，可以得出以下结论：从长期看，当前安徽省碳排放量与能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素之间存在稳定的动态影响关系，经济发展因素对碳排放量的增加产生促进作用，能源结构因素与能源效率因素均对碳排放量的增加产生抑制作用且能源结构因素带来的抑制作用效果更明显。

本文最后依据研究得出的结论，提了相关政策建议 。

**关键词：**碳排放量；因素分解分析；脱钩模型；状态空间模型

1

**Abstract**

With the rapid development of economy, carbon emissions of Anhui Province were increasing year by year. It's urgent to solve the contradiction between economic growth and carbon emissions.

Firstly, we have a statistical analysis on the energy consumption, economic development and carbon emissions in Anhui Province. We establish the Environmental Kuznets Curve between carbon emissions and economic growth of Anhui Province. The above research tells us the necessity and urgency to optimize the energy consumption, economic development and carbon emissions. Then we use LMDI decomposition to resolve carbon emission factors, find that: the contribution of economic development on carbon emissions is positive and significant, it is the main factor of driving carbon emissions. The contribution of energy efficiency on carbon emissions is negative and significant, and it is the main factor of inhibiting carbon emissions. From the long-term trend, energy structure factors can inhibit carbon emissions. Then we build a Tapio decoupling model, the results not only validate the decomposition of LMDI index, but also prove the carbon emissions and GDP in Anhui Province has been in a weak decoupling state which means the growth of carbon emissions is higher than the growth of GDP. All the research tell us the imminent of carbon emissions problem in Anhui Province from the side.

Second, we research the relationship between industrial structure, environmental regulations and carbon emissions with the data from 1995 to 2013. Though the use of unit root test, cointegration test, and State-space Model with variable coefficients, we can draw the following conclusions. In the long term, industrial structure and environmental regulation have a stable relationship with carbon emissions. Industrial structure promotes carbon emissions but environmental regulation inhibits carbon emissions. The effect of industrial structure is stronger.

Finally, according to the conclusions of this paper, we put forward several recommendations.

**Key Words:** Carbon Emissions; Decoupling Analysis; Decoupling Model; State-space Model

I

目 录

[摘 要](#_Toc686120719) 2

**[Abstract](#_Toc686120720)** 3

[第一章 绪论](#_Toc686120721) 6

[第一节 研究背景和意义](#_Toc686120722) 6

[一、 研究背景](#_Toc686120723) 6

[二、 选题意义](#_Toc686120724) 6

[第二节 相关文献综述](#_Toc686120725) 7

[一、 国外相关研究](#_Toc686120726) 7

[二、 国内相关研究](#_Toc686120727) 8

[三、 国内外研究评述](#_Toc686120728) 9

[第三节 研究方法和框架](#_Toc686120729) 9

[一、 本文的研究方法](#_Toc686120730) 9

[二、 本文的研究框架](#_Toc686120731) 9

[第一 章为绪论。首先阐述了本文研究背景、选题意义以及关于碳排放影响因素的国内外研究成果,随后叙述了研究内容、研究方法和研究路线,最后概括了本文的创新](#_Toc686120732) 9

[第二 章为安徽省能源消费与碳排放量的现状分析。在进行安徽省能源消费现状分析之前先对安徽省经济发展现状进行简单描述，再从能源消费趋势以及特征两个方面对安徽省能源消费状况进行描述性统计分析，而在探讨碳排放量现状之前先测算出安徽省碳排放量然后才对碳排放量的现状进行分析。](#_Toc686120733) 9

[第三 章为安徽省碳排放因素分析。分别建立LMDI分解模型和Tapio弹性脱钩模型对安徽省碳排放的影响因素进行剖析，发现能源结构因素、能源效率因素与经济发展因素都会对碳排放产生一定的影响。](#_Toc686120734) 9

[第四节 本文的创新与不足](#_Toc686120735) 10

[一、 创新之处](#_Toc686120736) 11

[二、 不足之处](#_Toc686120737) 11

[第二章 安徽省能源消费与碳排放现状分析](#_Toc686120738) 12

[第一节 安徽省能源消费现状分析](#_Toc686120739) 12

[一、 安徽省经济发展现状分析](#_Toc686120740) 12

[二、 安徽省能源消费总量分析](#_Toc686120741) 13

[三、 安徽省能源消费特征分析](#_Toc686120742) 14

[第二节 安徽省碳排放量现状分析](#_Toc686120743) 19

[一、 碳排放量的测算方法](#_Toc686120744) 19

[二、 安徽省碳排放量现状分析](#_Toc686120745) 22

[三、 安徽省碳排放量](#_Toc686120746)**[EKC](#_Toc686120746)**[研究](#_Toc686120746) 29

[第三节 本章小结](#_Toc686120747) 31

[第三章 安徽省碳排放影响因素分析](#_Toc686120748) 32

[第一节 安徽省碳排放影响因素分解分析](#_Toc686120749) 32

[一、](#_Toc686120750) **[LMDI](#_Toc686120750)**[分解模型构建](#_Toc686120750) 32

[二、 分解结果分析](#_Toc686120751) 34

[第二节 安徽省碳排放与各影响因素的脱钩效应分析](#_Toc686120752) 39

[一、](#_Toc686120753) **[Tapio](#_Toc686120753)**[脱钩模型构建](#_Toc686120753) 39

[二、 脱钩结果分析](#_Toc686120754) 41

[第三节 本章小结](#_Toc686120755) 45

[第四章 安徽省碳排放影响因素实证分析](#_Toc686120756) 45

[第一节 基本方法介绍](#_Toc686120757) 45

[一、 协整检验的基本原理](#_Toc686120758) 46

[二、 状态空间模型的基本原理](#_Toc686120759) 46

[第二节 实证分析](#_Toc686120760) 48

[一、 变量的选择与数据说明](#_Toc686120761) 48

[二、 协整检验分析](#_Toc686120762) 48

[三、状态空间模型结果分析](#_Toc686120763) 50

[第三节 本章小结](#_Toc686120764) 52

[第五章 主要结论与政策建议](#_Toc686120765) 53

[第一节 主要结论](#_Toc686120766) 53

[第二节 政策建议](#_Toc686120767) 53

[一、 加快产业结构转型升级，实行产业低碳化](#_Toc686120768) 53

[二、 调整能源消费结构，使用清洁能源](#_Toc686120769) 53

[三、 加大科研投入力度，提升能源使用效率](#_Toc686120770) 53

[四、 提倡低碳消费，鼓励低碳生活](#_Toc686120771) 53

[附](#_Toc686120772)[录](#_Toc686120772) 55

[附录](#_Toc686120773)**[A 1995-2013](#_Toc686120773)**[年GDP、人均GDP、总人口、单位](#_Toc686120773)**[GDP](#_Toc686120773)**[能源消费量](#_Toc686120773) 55

[附录](#_Toc686120774)**[B](#_Toc686120774)** [1995-2013年安徽省能源消费总量及九种能源消费占比](#_Toc686120774) 58

[参考文献](#_Toc686120775) 64

2

1

# 第一章 绪论

## 第一节 研究背景和意义

### 一、 研究背景

自1978年12月实施改革开放以来，我国的经济一直保持迅猛发展的良好态势。但由于在很长一段时间的发展中一味追求产值而大力发展第一产业，尤其是高耗能、高碳排放的行业，粗放的经济发展方式造成了碳排放量的逐年增加。据国际环保组织公布的最新数据，2013年我国的人均碳排放量已达到惊人的7.2吨，相比2011年的人均6吨上涨了20%。这也是我国的人均碳排放量第一次超过欧盟，目前仅低于美国。

采取措施有效控制碳排放量的增长成为迫在眉睫的问题，为此国务院专门编制并实施《“十二五”控制温室气体排放工作方案》和《国家应对气候变化规划（2014-2020年）》等，提出发展低碳经济就必须对产业结构进行升级、对不科学的能源消费结构进行调整，同时还应呼吁全社会去为低碳生活做出自己的贡献，采取各类政策措施引导和鼓励全社会去开展节能减排活动。同时国家希望在2020年能够将温室气体的排放量真正降低到一定程度，相较于2005年的水平而言，2020年的能源强度的降幅至少要达到40%。2014年两会政府工作报告中再次强调“节能环保”改革，要求推动能源生产和消费方式改革，加大节能减排的力度，着力发展环保低碳经济。

安徽省在华东地区占据重要位置，跨长江、淮河中下游，气候温和，地理环境十分优越，自然资源极其富饶。安徽省2013年的生产总值达到19229.34亿元，比上年增长11.72%，二氧化碳排放量为10214.56万吨，增速约为10.64%，初步显现出高消耗、高排放、低效率的粗放式发展苗头。

安徽省是中国的传统农业大省，工业基础十分薄弱，经济水平基本处于全国的中下游，也明显低于同属中部地区的湖北省、湖南省等。进入21世纪以后党和国家给

予安徽省经济发展很大的扶持力度，这对于安徽省来说是一个巨大的机遇。2004年3月时任国家总理温家宝明确提出中部崛起战略，2006年初国务院常委会通过加大中部六省扶持力度的决议，2008年胡锦涛主席提出安徽省应利用自身优势积极的承接长三角产业转移。中部崛起战略和皖江城市带承接长三角产业转移战略的实施使得安徽省的经济保持持续增长，工业经济发展速度尤是迅猛。然而由于安徽省自古以来的经济发展尤其工业发展主要是倚靠煤炭的使用，经济发展的过程中产生了大量的碳排放量，所以安徽省在继续发展经济的同时更应积极采取策略降低碳排放量。安徽省拥有丰富的自然资源，经济实力靠前的马鞍ft市、铜陵市、淮南市等都是典型的资源

1

型城市，均是借助自然资源主要是煤炭的使用来发展工业。长久以来安徽省的工业基础都比较薄弱，使得在经济发展中容易片面追求产值，大量的能源被投入到生产中，但是由于安徽省科技水平的落后，使得安徽省整体的资源使用效率过低、资源被大量浪费。能源结构的不合理以及能源的大量浪费均加速了安徽省碳排放量的增加，因此安徽省发展低碳经济任重而道远。

安徽省要抓住当前大好的发展契机，同时也要注重环境保护以及资源的可持续利用。本文就试图通过对碳排放影响因素进行深入研究，根据研究结果对安徽省未来走低碳经济之路提供一些参考和建议。

### 二、 选题意义

#### （一）理论意义

当前，国内外已经有不少学者对碳排放进行深入研究。对于碳排放量的具体测算上，已有研究几乎大同小异，较为粗糙，并没有根据各省份自身的实际省情进行测量。在对碳排放影响因素进行的研究中，多数学者仅仅是使用各类分解方法对影响因素进行分解，并没有再进行更深入的研究。基于上述情况，本文先结合安徽省的实际情况，利用政府间气候变化专门委员会（IPCC）清单法对安徽省碳排放进行了较为精确的计算，再选用分解精度较高的迪氏对数（LMDI）分解法对安徽省碳排放影响因素进行分解，然后建立Tapio弹性脱钩模型对影响因素的作用效果进行验证，最后构建变系数状态空间模型对安徽省能源结构因素、能源效率因素与经济发展因素对人均碳排放的动态作用进行深入探讨，因而本文将具有重要的理论意义。

#### （二）实践意义

在研究对象上，本文选择以安徽省为对象具有典型实践意义。目前，安徽省正处于经济发展的重要时期，工业化的飞速发展使得碳排放量日趋增多，加上安徽省一直以来以煤炭为主的能源消费结构并未改变，过分依赖化石能源、产业结构不合理、能源利用效率偏低等问题不同程度地阻碍着经济的可持续发展，造成安徽省所面临的环境问题越来越严峻。因此，本文根据现有数据，精确测算安徽省的碳排放量，详细剖析碳排放影响因素并深入探讨各影响因素与碳排放之间存在的关系，基于它们之间的关系，以降低碳排放为主要分析变量，考虑和结合各影响因素的相关指标，在总体上对如何有效地降低碳排放做出相应的建议，从而指明了安徽省未来调整的方向，同时也为安徽制定相应的低碳经济发展政策和方针提供参考，这对缓解安徽省当前严峻的碳排放形势具有重要的实践和指导意义。

2

## 第二节 相关文献综述

### 一、 国外相关研究

碳排放影响因素众多，国外的经济学家们通过运用自适应权重迪氏（Adaptive Weighting Division, AWD）方法、迪氏指数法、夏普（Shapley）分解方法、LMDI分解法、拉式（Laspeyres）指数分解方法等对碳排放进行了因素分解，研究发现碳排放主要影响因素有能源强度、能源结构、经济发展水平、能源利用效率、能源碳排放系数等。

Shafik和Bandyopadhyay（1992）采用1960-1990年的数据对149个国家的碳排放量与居民收入水平的关系进行研究，研究结果显示，两者之间存在着正向相关关系，居民收入水平的提高会促进碳排放量的增加①。这也是同Friedlr（2003）的研究结论相吻合的②。Holtz Eakin（1995）、Cole（1997）、Shi 和York（2003）通过对碳排放量与居民收入水平之间的关系进行进一步研究发现两者的变动规律符合环境库兹涅茨曲线。

Schipper（1995）采用自适应权重迪氏方法对13个国际能源机构(International Energy Agency, IEA)国家的碳排放影响因素进行探讨，结果显示，这13个国家中的大多数国家的碳排放影响因素及效果十分相似，能源强度因素和能源结构因素均能对碳排放带来一定程度的影响，碳排放系数因素和产出结构因素尚不能对碳排放的变动产生较明显的影响效果③。

Ang和Pandiyan（1997）使用迪氏指数法分解中国（包含大陆与台湾）以及韩国两个国家的碳排放影响因素，分解结果表明两国的碳排放主要影响因素为碳排放系数、能源结构、能源强度和生产结构，其中能源强度能够对碳排放产生明显的降低效应，碳排放系数、能源结构和生产结构对碳排放的影响效果则非常微弱④。

Chatterjee和Han（1997）基于1972-1990年的数据对九个发展中国家经济增长、产业结构、能源结构对碳排放的影响进行研究，结果发现产业结构是驱动碳排放变化的首要因素。他们认为当经济发展到一定程度，就会有更多高耗能、能源密集型的企业进入这些国家，这些企业的能源依赖性大、利用率低、技术水平落后，企业生产带来的碳排放量也就急剧增加。在文章的结尾他们还介绍两种办法来减少碳排放：一是

①Shafik N., Bandyopadhyay S. Economic growth and environmental quality: time serious and cross-country evidence. [R]. Background paper for world Development Report,1992

②Friedl B., M. Getzner. Determinants of C02 emission in a small open economy[J]. Ecological Econimics,2003(45):133-148

③Schipper. L, Murtishaw. S, Khrushch. M. Carbon Emissions from Manufacturing Energy Use in 13 EA Countries: Long-term Trends through 1995[J]. Energy Policy,2001,29:667-688

④Ang BW, Pandiyan G. Decomposition of energy-induced C02 emissions in manufacturing[J]. Energy Economics,1997,19 (3):363-374

3

通过先进技术来提高能源效率，二是使用更多的清洁能源来代替传统的化石能源①。

Greening等（1998）为了研究美国的能源消耗对碳排放造成的影响，采用因素分解法对美国的碳排放影响因素进行研究，结果发现造成碳排放变化的主要因素是自然天气，而与能源强度、能源结构等并无太大关系②。

Ang B. W.等（1998）通过对中国1985-1990年的工业能源消费及碳排放数据进行分析，得出以下结论，工业增加值对工业碳排放量具有反向冲击作用，且工业碳排放量会随着工业增加值的增加而减少，能源强度对工业碳排放量具有正向冲击作用，且工业碳排放量会随着工业增加值的增加而增加③。

Liaskas（2000）采用因素分解法对欧洲国家1973-1993年的工业能源碳排放量进行分解，分解结果表明，能源强度、能源结构和产业结构都能对欧洲国家的工业碳排放量带来一定的影响，能源强度和能源结构变动均会对工业碳排放量产生一定程度的抑制效果，产业结构变动则会对工业碳排放量产生一定程度的促进效果④。

Johan Albrechta等（2002）基于扩展的Kaya恒等式和Shapley分解方法对欧洲四个国家的碳排放影响因素进行研究，发现总共有九个碳排放量影响因素，其中能源强度、经济增长以及人口数量三个因素对碳排放产生的影响比其他六个因素对碳排放的影响相对更强烈些⑤。

Wu等（2005）对中国1980-2002年的碳排放量进行LMDI分解，试图从供求两方面研究碳排放量的变动。通过对LMDI分解结果进行分析，发现1996年是一个分水岭，1996年以前能源强度、能源结构促进碳排放量的增加，1996年之后由于技术水平的提高和产业结构的调整使得能源利用效率明显提高，能源强度降低，从而能够对碳排放量起到一定程度的抑制作用⑥。

Fan Ying等（2006）通过对经济发展水平各异的若干国家1975-2000年数据建立

STIRPAT模型，对模型结果进行分析可以发现，由于国家经济发展水平的不同，各国的碳排放量影响因素对碳排放所产生的影响也是存在差异的。当国家的经济水平较低时，人均GDP能给碳排放带来较大影响；当国家的经济水平居中时，能源强度给碳排放带来的影响相对较大；当国家的经济水平很高时，各个影响因素都会对碳排放

①Chatterjee, Lata, Han Xiaoli. Impacts of Growth and Structural Change on C02, Emissions of Developing Countries [J]. World Development,1997,25(3):395-407

②Greening L A, Davis W B, Schipper L. Decomposition of Aggregate Carbon Intensity for the Manufacturing Sector: Comparison of Declining Trends from 10 OECD Countries for the period 1971-1991[J]. Energy Economics,1998,20(1):43-65

③Ang B. W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition [J]. Energy,1998,23(6):489-495

④K. Liaskas, G. Mavrotas, M. Mandaraka, D. Diakoulaki. Decomposition of industrial C02 emissions: The case of European Union[J]. Energy Economics,2000, (22):383-394

⑤Johan Albrecht, Delphine Francois, Koen Schoors. A shapley decomposition of carbon emissions without residuals[J]. Energy Policy,2002,30:727-736

⑥Wu, Libo, Kaneko, Shinji, Matsuoka, Shunji. Driving Force behind the stagnancy of China's Energy-related C02 Emission from 1996 to 1999: the Relative Importance of Structural Change, Intensity Change and Scale Change[J]. Energy Policy,2005, (33):319-335

4

产生较大的正向影响①。

Chunbo Ma和David I. Stern（2007）使用因素分解法对中国1971-2003年的碳排放进行分解，分解结果显示能源结构是影响碳排放的主要因素之一，优化能源结构、减少化石能源的使用、增加可再生能源的使用都能够有效减缓碳排放量的增加速度②。

G. Ipek Tuncetal（2009）借助LMDI分解法对1970-2006年土耳其的碳排放量进行详细分解，分解后发现经济增长、能源强度、能源结构和产业结构四个因素是影响碳排放的主要因素，其中经济的快速增长会使得土耳其的碳排放量飞速上升，降低能源强度和优化能源结构会使得土耳其的碳排放量明显减少，产业结构对碳排放量的影响则相对很弱③。

Brant Liddle（2010）通过对发达国家建立STIRPAT模型来分析碳排放影响因素，结果，表明碳排放不仅受到前人经过研究发现的人口数量、财富和能源强度的影响，还受到能源结构、居民能源消费习惯甚至城镇化率的影响。作者还认为在以后的研究中应根据各国的实际情况去相应调整STIRPAT模型，这样模型得到的分解结果才更符合现实④。

Kumbaroglu G（2011）采用Laspeyres指数分解方法对1990-2007年土耳其这18年的碳排放量进行研究，Laspeyres指数分解的结果说明在所有的碳排放影响因素中经济增长因素的作用效果最大，而且随着经济水平的不断提高，碳排放量的增长速度很有可能会持平于经济增长的速度⑤。

Mahony等（2012）使用对数平均指数法对爱尔兰十一个不同行业的碳排放情况进行研究，将碳排放影响因素分解为工业结构、能源强度和经济增长等，通过对不同行业的碳排放影响因素进行对比，发现不同行业的碳排放驱动因素存在较大差异⑥。

### 二、 国内相关研究

国内学者对碳排放影响因素的研究与国外学者很类似，均是先对使用各类分解法对碳排放影响因素进行分解，再剖析各因素对碳排放的具体影响。

张雷（2003）基于多元化指数法对中国的碳排放影响因素进行分析，结果表明经

①Fan Ying, Liu Lancui, Wu Gang, et al. Analyzing impact factors of C02emissions using the STIRPAT model[J]. Environmental impact Assessment Review,2006,26(4):377-395

②Chunbo Ma, David I. Stern. China's Carbon Emissions 1971-2003 [R]. Rensselaer Working Papers in Economics,2007

③G. Ipek Tuncetal, David I. China's changing energyintensity trend: A decomposition analysis[J]. Energy Economics.2008

④Brant Liddle, Sidney Lung. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related Impacts. [J] Popul

Environ,2010(1):007-031

⑤ Kumbaroglu G. A sectoral decomposition analysis of Turkish C02 emissions over 1990-2007[J].

Energy,2011,36(5):2419-2433

⑥Mahony T, Zhou P, Sweeney J. The Driving Forces of Change in Energy Related C02 Emissions in Ireland: a Multi-Sect oral Decomposition from 1990 to 2007[J]. Energy Policy,2012(44):256-267

5

济结构和能源消费结构都会被碳排放产生影响，此外，经济结构的变化会使得能源消费结构发生相应变化，能源消费结构的变化多数又表现在煤炭所占比重的变化，从而造成碳排放也发生变动①。

刘兰翠（2006）通过建立STIRPAT模型并对其进行微调，从而对中国的碳排放情况进行研究，研究发现人口数量及结构、财富水平、技术水平、城市化率都会对碳排放产生影响②。

徐国泉等（2006）基于Kaya恒等式和LMDI因素分解法对中国1995-2004年的人均碳排放影响因素进行深入探讨，结果显示，经济增长、能源结构和能源强度均会对碳排放带来冲击作用且作用方向不同，经济增长会给碳排放带来正向促进作用且经济的快速增长会使得碳排放量飞速上升，能源结构与能源强度则会给碳排放带来反向抑制作用且降低能源强度、优化能源结构会使得碳排放量明显减少，而且经济增长对碳排放的正向促进作用要强于能源结构、能源强度对碳排放的反向抑制作用③。

冯相昭等（2008）通过调整后的Kaya等式对二十世纪七十年代后三十多年的中国碳排放影响因素进行分解，分解结果显示，能源强度、经济增长、人口数量和能源效率都是碳排放的影响因素，经济增长与人口数量会促进碳排放的增加，能源强度与能源效率则会抑制碳排放的增加④。

赵欣等（2009）将内生增长模型引入到碳排放因素分析中，通过最小二乘法定量研究碳排放影响因素，结果发现，经济增长、能源消耗和国际贸易都会促进碳排放的增加且促进效果依次减弱，科研投入、非国有经济和最终消费率都会抑制碳排放的增加且抑制效果依次减弱，当前的环境规制力度还偏弱并不足以有效的控制碳排放量的增加⑤。

王俊松等（2010）首先详细介绍了中国能源消费及经济增长的特点，再通过LMDI分解法对中国1990-2007年的碳排放数据进行分解，发现，影响碳排放的因素主要有经济规模效应、能源强度效应、人口效应和结构效应，经济规模效应是提升碳排放增加速度的主要原因，能源强度效应却是缓减碳排放增加速度的首要原因⑥。

温景光（2010）使用Divisia分解法对1996-2007年江苏省碳排放影响因素进行分解，结果显示，能源结构、能源效率、人均GDP都是碳排放的影响因素，将三影

① 张雷.中国一次能源消费的碳排放区域格局变化[J].地理研究，2006, 25(1)：1-8

②刘兰翠.我国二氧化碳减排问题的政策建模与实证研究[D].中国科学技术大学管理科学与工程，2006

③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：1995-2004[J].中国人口资源与环境，2006(06)：158-161

④冯相昭，邹骥. 中国二氧化碳排放趋势的经济分析[J]. 中国人口・资源与环境，2008, 18(3):43-47

⑤ 赵欣，龙如银.考虑全要素生产率的中国碳排放影响因素分析[J].资源科学, 2010, 32（10）：

1863-1870

⑥王俊松，贺灿飞.能源消费、经济增长与中国二氧化碳排放量变化——基于LMDI方法的分解分析[J].长江流域资源与环境，2010, 19(01)：18-23

6

响因素各自对碳排放的作用效果进行对比后可知，人均GDP对碳排放的影响最明显，能源结构与能源效率对碳排放的影响则不太明显①。

郭朝先（2010）先从产业和地区两个方面对中国碳排放进行介绍，然后采用LMDI分解法对中国碳排放影响因素进行研究，研究结果表明，碳排放的主要影响因素可以分成两个部分，一部分是经济总量、经济结构组成的促进因素，另一部分是能源利用效率、能源消费结构和能源碳排放系数组成的抑制因素。进一步对各因素影响结果进行对比发现，促进因素中经济总量的作用效果相对来说更显著，抑制因素中能源利用效率的作用效果相对来说更显著②。

赵欣（2010）对江苏省1997-2007年十年间的碳排放影响因素进行探讨，探讨结果说明能源结构、技术进步、产业结构和经济规模都能对碳排放起到一定的影响，能源结构与技术进步能够明显抑制碳排放的增加，经济规模能够明显促进碳排放的增加，产业结构对碳排放的影响效果则十分微弱③。

李艳梅，杨涛（2011）利用中国1997-2007年的数据建立投入产出模型，模型结果显示，碳排放影响因素有能源效率、能源结构、产业结构和经济增长，能源效率与能源结构均会对碳排放产生降低效应且能源效率的降低效应更强烈，产业结构与经济增长均会对碳排放产生促进效应且产业结构的促进效应更强烈④。

查建平等（2012）通过DEA模型和静态面板数据模型对中国30个省市的工业碳排放影响因素进行研究，研究发现，工业的能源结构、产权结构、规模结构和发展水平均都对中国整体以及各省市的碳排放产生一定的影响，只不过影响程度不同而已⑤。邱强（2012）等将投入产出法和结构分解法结合起来探讨中国2002年、2005年、

2007年三年的进出口贸易中的碳排放，结果显示，中国进出口贸易中存在大量的碳排放输入和输出，规模效应和结构效应都会给碳排放带来一定程度的促进作用，技术效应则会给碳排放带来一定程度的抑制作用⑥。

张新红等（2013）运用LMDI分解法以及改进后的Kaya恒等式探讨1990-2009年中国工业部门的各影响因素对其碳排放的影响，结果发现，能源结构、经济增长与人口数量对碳排放起促进作用，能源强度对碳排放起抑制作用⑦。

马月红等（2015）采用修正的STIRPAT模型对1978-2010年中国人均碳排放影响因素进行分析，分析结果表明，碳排放会随着经济人口占比、城市化率和对外贸易

① 温景光.江苏省碳排放的因素分解模型及实证分析[J].华东经济管理，2010，24（2）：29-32

② 郭朝先.中国碳排放因素分解：基于LMDI分解技术[J].中国人口资源与环境，2010,20(12)：4-9

③ 赵欣.江苏省碳排放现状及因素分解实证分析[J].中国人口资源与环境, 2010, 20(7)：25-30

④ 李艳梅，杨涛.中国C02排放强度下降的结构分解——基于1997年-2007年的投入产出分析

[J].资源科学.2011(04):12-19

⑤查建平，郑浩生，唐方方。中国区域工业碳排放绩效及影响因素实证研究[J]. 软科学，2012, 26(4)：1-6

⑥ 邱强，李庆庆.中国进出口贸易隐含碳排放测算及驱动因素研究[J].经济管理，2012(11)：10-18

⑦ 张新红，王哲如.我国工业部门碳排放影响因素分析[J].工业技术经济，2013(5)：123-139

7

依存度的增加而增加，会随着产业结构和能源效率的增加而减少，其中经济人口占比、城市化率与碳排放还存在单向格兰杰因果关系①。

### 三、 国内外研究评述

国外学者很早就开始对碳排放的影响因素进行研究，随着研究方法的不断改良和研究数据宽度的不断扩展，国外学者对碳排放影响因素的研究越来越深入、涉及范围也越来越广。相比而言，国内学者对碳排放影响因素的研究则开始较迟，加上受到数据缺乏等条件的局限，前期研究主要是套用国外学者的方法来研究中国整体的碳排放情况，后期才开始慢慢结合中国的国情先改进方法再对中国整体以及各省份的碳排放进行研究，总体来说，国内学者的研究还比较单一和粗糙，尚未完全形成中国的碳排放影响因素研究体系。

## 第三节 研究方法和框架

### 一、 本文的研究方法

#### （一）规范分析与实证分析相结合

为了使文章的结构更加合理，本文综合使用了规范分析和实证分析两种方法，先对安徽省1995-2013年的能源消费与碳排放量现状进行描述性统计分析，再利用

LMDI分解法和Tapio脱钩模型对安徽省碳排放影响因素进行分解并进行验证，后运用协整分析、状态空间模型实证分析安徽省经济发展、能源消费结构、能源效率对碳排放量的具体影响机制。

#### （二）定性研究与定量研究相结合

为了使文章的内容更加丰富，本文主要采用定量分析方法，同时还穿插运用定性分析方法。首先详尽阐述碳排放量的理论基础和安徽省碳排放量现状，为研究碳排放影响因素做了定性分析。然后建立计量模型研究安徽省环境库兹涅茨（EKC）曲线的存在和形态，最后利用对数均值指数（LMDI）分解法对安徽省碳排放因素进行分解，并使用Tapio脱钩模型对LMDI分解结果进行验证。

### 二、 本文的研究框架

本文研究内容共分为六章，具体框架如下：

## 第一 章为绪论。首先阐述了本文研究背景、选题意义以及关于碳排放影响因素的国内外研究成果,随后叙述了研究内容、研究方法和研究路线,最后概括了本文的创新

①马宏伟，刘思峰，赵月霞，马开平，袁潮清.基于STIRPAT模型的我国人均二氧化碳排放影响因素分析[J].数量统计与管理，2015(3)：243-253

8

及不足之处。

## 第二 章为安徽省能源消费与碳排放量的现状分析。在进行安徽省能源消费现状分析之前先对安徽省经济发展现状进行简单描述，再从能源消费趋势以及特征两个方面对安徽省能源消费状况进行描述性统计分析，而在探讨碳排放量现状之前先测算出安徽省碳排放量然后才对碳排放量的现状进行分析。

## 第三 章为安徽省碳排放因素分析。分别建立LMDI分解模型和Tapio弹性脱钩模型对安徽省碳排放的影响因素进行剖析，发现能源结构因素、能源效率因素与经济发展因素都会对碳排放产生一定的影响。

第四章为安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放的实证分析。通过对安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放数据进行单位根检验、协整检验，再构建变系数状态空间模型对能源结构因素、能源效率因素与经济发展因素对人均碳排放的动态作用进行深入探讨。

第五章为主要结论与政策建议。根据当前安徽省经济和环境实际情况，提出一系列发展低碳经济、循环经济和绿色经济的政策建议。

研究路线图如下图所示。

9

研究背景及意义

能源消费现状经济发展现状

碳排放现状

文献综述

安徽省现状分析

基于LMDI 分解法

安徽省碳排放因素分解

基于Tapio 脱钩模型

安徽省碳排放影响因素实证分析

基于状态空间模型

主要结论与政策建议

**图1-1** **本文研究路线图**

## 第四节 本文的创新与不足

### 一、 创新之处

（一）国内外有关碳排放的研究星罗棋布，但多数文献均是以一次能源消费量作为数据来源来测算碳排放量，这显然不够全面、可靠性较低，因为在现实生产中碳排放主要来源于终端消费和加工转换过程中耗费的二次能源。本文以一次能源和二次能源的加工转换和终端消费的能源量作为数据来源，理论上是包含了所有产生碳排放的能源。

（二）前人的研究基本上多数止步于对碳排放影响因素进行分解，仅少数学者是

10

通过建立VAR模型等来继续探讨影响因素对碳排放的具体作用机制。本文的创新就在于结合安徽省能源消费及碳排放现状，使用变系数状态空间模型分析了碳排放影响因素对碳排放的动态作用。

### 二、 不足之处

由于自身水平有限，本文存在一些不足之处：

（一）由于安徽省早年的环境和能源消费的部分数据难以获得，最终只找到1995

—2013年19年的数据，造成本文的样本期较短。数据样本量不足，可能会使得分析结果的准确性有所降低，同时也不能做更精细的下一步研究。

（二）本文仅对安徽省能源结构因素、能源效率因素与经济发展因素与人均碳排放的关系从整体上进行研究，并没有将各地级市纳入到具体分析中，研究具有一定的片面性。这主要是因为没有找到各地级市的各类能源消费数据。

为了能在后续研究中将以上不足进行改进，以后会投入更多的精力进行研究，努力提高研究能力。

11

# 第二章 安徽省能源消费与碳排放现状分析

自1978年借助全国的经济发展大潮以来，安徽省的经济一直保持快速增长状态，

尤其是进入21世纪后增速变得愈来愈快。伴随经济的飞速发展而来的是煤炭等化石能源的大肆使用，安徽省能源消费总量逐年递增，碳排放量也是在不断增加。本章主要是对安徽省能源消费与碳排放的现状进行分析，从而为第三章的碳排放量因素分解以及第四章的实证研究奠定基础。

## 第一节 安徽省能源消费现状分析

### 一、 安徽省经济发展现状分析



35000

25000

30000

20000

25000

20000

15000

15000

10000

10000

5000

5000

0

0

人均GDP（元/人）

GDP(亿元)

安徽省经济一直处于快速增长状态，从图2-1可以知，安徽省GDP和人均GDP上升趋势明显。1995年安徽省GDP仅为1810.66亿元，2013年GDP增大到19229.34亿元，增加约9.62倍，从图2-1还可以发现2003年以后安徽省GDP增速变得更快，呈近指数增长。1995-2013年安徽省人均GDP从3070元/人增加到32001元/人，增加约9.42倍，人均GDP变动的趋势图与GDP变动趋势图非常相似，都呈近指数增长。

图2-1 安徽省GDP与人均GDP变化趋势图

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

在安徽省的GDP和人均GDP保持近指数增长的同时，三次产业也在不断发展，占比不断发生变化，从1995年的32.26: 36.46: 31.28变成2013年的11.79: 54.03: 34.18，

第一产业占比减少20.47个百分点，第二产业占比增加17.57个百分点，第三产业占

比增加比较少仅增加2.9个百分点，可见安徽省当前产业结构优化和调整的力度仍然不够。

12

图2-2 安徽省三次产业占比趋势图



60.00%

50.00%

40.00%

30.00%

20.00%

10.00%

0.00%

第一产业占比

第二产业占比

第三产业占比

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

从图2-2可以看出，安徽省第一产业的发展相对稳定，占比逐年递减；第二产业

增幅明显，尤其是在2004年温家宝总理提出中部崛起政策之后，第二产业占比保持

直线增长趋势，第二产业成为安徽省经济发展的支撑；第三产业占比从2001年开始超过第一产业，2004年达到最大值，在此之后又开始下降是由于中部崛起政策大大刺激了第二产业发展，第二产业占比不断扩大则第三产业占比不断缩小，截止到2013年第三产业占比远远低于46.1%的全国水平，这折射出当前第三产业的发展水平还有待提高。总体来说，安徽省已经逐步形成了以第二产业为主导，第一产业为根本，第三产业配套发展，即“二、三、一”产业结构。

### 二、 安徽省能源消费总量分析

伴随安徽省经济的快速发展，能源消费量在不断攀升。由表2-1和图2-3可知，

能源消耗总量从1995年的4194.06万吨标准煤上升到2013年的12060.36万吨标准煤，增长幅度高达187.56%，安徽省能源消费总量呈上升趋势，并且2003年开始增浮明显加大。对比各能源消费量还可以发现，只有燃料油的消费量是在不断减小的，下降幅度达76%，而其他能源的消费量都是在不断增加的，但增长率之间的差距比较大，其中增幅最大的是柴油，增长率为435.17%，增幅最小的是原油，仅为52.10%，其他能源如电力、汽油、煤炭、焦炭、煤油的增长率分别为371.02%、329.33%、196.18%、

126.09%、100.93%。此外，煤炭的消费量是所有能源中最多的，并且远远超多其他能源的消费总量，由于单位煤炭燃烧产生的碳排放量是所有能源中最多的，所以安徽省这种过度依赖煤炭的能源消费结构产生大量的碳排放量也是情有可原的。近几年煤炭占比的不断减小则说明安徽省已经开始意识到当前能源消费结构的不合理，正在采取措施逐步优化能源消费结构，从而减缓碳排放量的增加速度。

13

表2-1 1995-2013年安徽省能源消费总量

| 年份 | 能源消费总量（万吨） | 年份 | 能源消费总量（万吨） |
| --- | --- | --- | --- |
| 1995 | 4194.06 | 2005 | 6505.98 |
| 1996 | 4531.32 | 2006 | 7069.39 |
| 1997 | 4414.93 | 2007 | 7739.33 |
| 1998 | 4557.70 | 2008 | 8325.40 |
| 1999 | 4665.72 | 2009 | 8895.90 |
| 2000 | 4878.82 | 2010 | 9706.60 |
| 2001 | 5118.08 | 2011 | 10570.23 |
| 2002 | 5315.97 | 2012 | 11357.95 |
| 2003 | 5457.09 | 2013 | 12060.36 |
| 2004 | 6016.89 |  |  |

14000

12000

10000

8000

6000

4000

2000

0

能源消费总量

资料来源：根据《安徽省统计年鉴》（1995-2013）整理得到。

图2-3 1995-2013年安徽省能源消耗总量

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

### 三、 安徽省能源消费特征分析

#### （一）能源消费结构分析

前文的分析中已经提到由于安徽省煤炭资源丰富，所以煤炭消费量一直在能源消费总量占据主要位置，且占比远远超过其他能源。表2-2和图2-4直观反映了安徽省煤炭、石油、天然气和电力四种能源消费量在能源消费总量中的占比趋势。仔细观察图2-4可以发现，虽然四种能源的消费量绝对数整体呈上升趋势，但是其消费占比却是处在波动状态中，说明安徽省的能源消费结构正在慢慢发生变化。

表2-2 1995-2013年安徽省煤类、油类、天然气和电力消费占比

| 年份 | 炭类 | 油类 | 天然气 | 电力 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1995 | 87.32% | 8.01% | 0.00% | 4.67% |
| 1996 | 87.25% | 8.08% | 0.00% | 4.67% |
| 1997 | 86.74% | 8.33% | 0.00% | 4.93% |
| 1998 | 87.50% | 7.91% | 0.00% | 4.59% |

14

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1999 | 87.41% | 8.06% | 0.00% | 4.53% |
| 2000 | 87.22% | 8.19% | 0.00% | 4.59% |
| 2001 | 88.29% | 7.11% | 0.00% | 4.60% |
| 2002 | 88.09% | 7.16% | 0.00% | 4.75% |
| 2003 | 88.10% | 7.04% | 0.00% | 4.85% |
| 2004 | 87.13% | 7.50% | 0.00% | 5.37% |
| 2005 | 86.98% | 7.30% | 0.01% | 5.70% |
| 2006 | 86.50% | 7.44% | 0.02% | 6.04% |
| 2007 | 86.72% | 6.96% | 0.03% | 6.30% |
| 2008 | 87.44% | 6.36% | 0.05% | 6.14% |
| 2009 | 87.61% | 6.16% | 0.06% | 6.17% |
| 2010 | 87.12% | 6.23% | 0.08% | 6.57% |
| 2011 | 86.88% | 6.16% | 0.11% | 6.85% |
| 2012 | 85.52% | 6.93% | 0.14% | 7.41% |
| 2013 | 85.09% | 6.50% | 0.18% | 7.23% |



89.00%

88.00%

87.00%

86.00%

85.00%

84.00%

83.00%

9.00%

8.00%

7.00%

6.00%

5.00%

4.00%

3.00%

2.00%

1.00%

0.00%

煤炭

石油

天然气

电力

资料来源：根据《安徽省统计年鉴》（1995-2013）整理得到。

图2-4 1995-2013年安徽省能源消费结构变化趋势图

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

虽然省内能源众多，但是安徽省的生产基本上还是主要借助煤炭的使用，煤炭的使用量远远超过其他能源的使用总和，在总耗能中的占比从未低于85%。20世纪90年代安徽省片面追求经济的快速发展而忽视环境问题，使得煤炭消费量节节增高，

2001年煤炭占比达到最大值88.29%。随着安徽省煤炭能源的吃紧以及电力的广泛使用，2001-2006年安徽省煤炭占比逐步减小。2006年国务院提出中部崛起战略，安徽省作为重要的中部省份，借着中部崛起战略的东风大力发展经济，煤炭又被广泛应用到生产中，煤炭占比再次增加。2008年以后受电力快速发展的影响，煤炭使用又开始减少，煤炭占比降幅明显。

石油占比基本处于下降趋势，这应该跟安徽省本身石油资源的匮乏有一定关系，偶尔的上升趋势则是受到国际油价的变动以及煤炭占比的变动影响。电力占比的上升趋势明显，1995年电力消费量为288.97亿千瓦，占比4.67%，2013年增长到1528.07亿千瓦，占比7.23%，消费量增长约4.29倍、消费占比增加2.56%。安徽省使用天然

15

气的时间比较晚，仅能查到2004年以后的的消费数量，虽然天然气消费量在能源消

费总量中的占比很小，但是2004-2013年无论天然气消费量还是天然气消费占比都是不断在增加。

总体来说，煤炭的使用在安徽省经济的发展中占据着举足轻重的地位，在短期内这种地位也是其他能源无法撼动的，但是出于保护环境的目的，安徽省正在逐步减少煤炭等化石能源的使用而增加电力等清洁能源的使用。

#### （二）能源消费强度分析

能源消费强度是单位产出的耗能量，常常被用于评价经济发展质量水平的高低，一般用单位GDP的能源消费量来表示。对能源强度的数值取倒数就能得到能源效率值，能源强度与能源效率的衡量效果是一样的，两者的数值越小说明经济发展的质量越高。

从表2-3和图2-5可以看出，安徽省的能源强度一直处在下降趋势中，说明随着

技术水平的提高，安徽省的能源效率也在不断提高。1995年安徽省能源强度为2.09吨标准煤/万元，2013年减少到0.63吨标准煤/万元，降幅明显。但从整体而言，安徽省的能源强度数值依然很大，安徽省仍然处在高污染、高排放的经济发展模式中，能源强度还存在一定的下降空间。

表2-3 1995-2013年安徽省能源强度

| 年份 | 能源强度（吨标准煤/万元） | 年份 | 能源强度（吨标准煤/万元） |
| --- | --- | --- | --- |
| 1995 | 2.09 | 2005 | 1.22 |
| 1996 | 1.94 | 2006 | 1.16 |
| 1997 | 1.65 | 2007 | 1.05 |
| 1998 | 1.62 | 2008 | 0.94 |
| 1999 | 1.60 | 2009 | 0.88 |
| 2000 | 1.61 | 2010 | 0.79 |
| 2001 | 1.58 | 2011 | 0.69 |
| 2002 | 1.51 | 2012 | 0.66 |
| 2003 | 1.39 | 2013 | 0.63 |
| 2004 | 1.26 |  |  |

2.50

2.00

1.50

1.00

0.50

0.00

能源强度

资料来源：根据《安徽省统计年鉴》（1995-2013）整理得到。

图2-5 1995-2013年安徽省能源强度变化趋势图

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

16

## 第二节 安徽省碳排放量现状分析

### 一、 碳排放量的测算方法

碳排放量其实就是能源燃烧所释放出来的热量中蕴含的碳量。这里的能源包括通常所说的化石能源和二次能源，由于二次能源如电、热能等的碳量其实也是来自于其生产过程中耗费的化石能源，所以能源消费的碳排放量总的来说来自于化石能源的消费、转换和损失。具体的产生流程见图2-6。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 化石能源终端消费碳排放量 |  | |
|  |  |
|  | |
|  |
| 电、热能源终端消费碳排放量 |  |
|  | |

能源消费碳排放总量

化石能源终端消费数量与结构

各类能源碳排放系数

电、热能源生产转换化石能源数量与结构

电、热能源生产损失化石能源数量与结构

电、热能源终端消费数量与结构

图2-6 碳排放量产生流程图

截止目前学者们核算碳排放量的方法主要有以下三种：IPCC清单法、质量平衡法、实测法。

#### （一）IPCC清单法

IPCC清单法，是政府间气候变化专门委员会（IPCC）提出的一种测算碳排放量的常用方法。根据IPCC2006年制定的碳排放计算公式，可用以下公式核算碳排放量：

n

A =∑Bi×Ci×Di

i=1

(2.1)

其中**A**为碳排放量，Bi为能源i的消费量，Ci为能源i标准煤折算系数，Di为能

源i的碳排放系数，n代表能源种类。本文n=9,分别代表煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气、电力。九种能源的标准煤折算系数和碳排放系数见表2-4。

17

表2-4 能源标准煤折算系数和碳排放系数表

| 能源类型 | 标准煤折算系数 | 碳排放系数 |
| --- | --- | --- |
| 煤炭 | 0.7143 | 0.7476 |
| 焦炭 | 0.9714 | 0.1128 |
| 原油 | 1.4286 | 0.5854 |
| 汽油 | 1.4714 | 0.5532 |
| 煤油 | 1.4714 | 0.3416 |
| 柴油 | 1.4571 | 0.5913 |
| 燃料油 | 1.4286 | 0.6176 |
| 天然气 | 1.3330 | 0.4479 |
| 电力 | 0.1229 | 2.2132 |

资料来源：根据《中国能源统计年鉴》（2014）整理得到。

IPCC清单法的优点就在于简单、实用，比较适合在数据匮乏的情况下估算碳排放量。

#### （二）质量平衡法

质量平衡法是指根据质量守恒定律，投入某系统的物料质量必然等于此系统产出的物料质量。由于其是对物料使用情况进行估算，故又可称为物料衡算法。其基本公式为：

∑ G投入 = ∑ G产出 + ∑ G流失 (2.2)

G投入代表所使用的资源总量，G产出代表所生产出的产品总量，G流失表示在生产过程中由于技术水平等原因未充分利用就被排出的资源流失总量。

质量平衡法的优点主要是耗费的人力、物力、财力都很小。但由于此方法是建立在对企业的生产工艺、污染治理等充分了解的基础之上，所以其劣势也相对明显，一般不经常使用此种方法。

#### （三）实测法

实测法是指到排放源现场（多数为环境监测站）采集排放气体的相关数据，通过测量气体的流速、浓度等来估计碳排放量。其基本计算公式为：

E=FHJ (2.3)

其中E表示气体排放量，F表示单位换算系数，H表示空气流量，J表示气体浓度。

在实际操作中为了提高测算的准确性往往会采集多处样品进行估算，再取平均值，最后还同其他方法测算的结果进行对比，故而这种方法耗时、费钱。虽然通常其测算结果都比较精准，但若样品代表性不强则其测算结果的准确性就会极低。

18

表2-5 碳排放量三种测算方法简单比较

| 方法 | 输入指标 | 输出指标 | 特点 |
| --- | --- | --- | --- |
| IPCC 清单法 | 能源消耗量、碳排放系数 | 碳排放量 | 简单实用 |
| 质量平衡法 | 投入物料总和 | 碳排放量 | 需完备的基础数据记录 |
| 实测法 | 空气流量、气体浓度、单位换算系数 | 碳排放量 | 精准，对环境要求高 |

综上所述，三种方法各有优劣，不过学者们一般偏向于采用第一种方法，即IPCC

清单法。本文在下文中对碳排放量的测算选用的也是IPCC清单法，即公式（2.1）。

### 二、 安徽省碳排放量现状分析

伴随安徽省经济的快速发展，能源消费量在不断攀升，能源消费量的攀升又造成碳排放量的增加。为了研究安徽省碳排放量的现状，本文将表2-6中九种能源的消费

量带入前文公式（2.1）中从而计算出1995-2013年安徽省的碳排放量，碳排放量和人均碳排放量数据见表2-7、变动趋势图见图2-7。

表2-6 1995-2013年安徽省能源消费量

| 类型 | 煤炭 | 焦炭 | 原油 | 汽油 | 煤油 | 柴油 | 燃料油 | 天然气 | 电力 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 万吨 | 万吨 | 万吨 | 万吨 | 万吨 | 万吨 | 万吨 | 亿立  方米 | 亿千瓦  小时 |
| 1995 | 4964.57 | 440.72 | 277.04 | 58.38 | 5.36 | 108.06 | 47.02 | 0.00 | 288.97 |
| 1996 | 5293.00 | 462.98 | 302.73 | 57.00 | 3.22 | 123.08 | 47.16 | 0.00 | 308.10 |
| 1997 | 5073.00 | 482.68 | 300.90 | 57.42 | 1.86 | 120.45 | 53.06 | 0.00 | 315.65 |
| 1998 | 5383.00 | 514.63 | 285.99 | 64.24 | 3.07 | 130.09 | 50.08 | 0.00 | 309.19 |
| 1999 | 5513.00 | 529.30 | 292.83 | 66.45 | 7.80 | 137.66 | 52.37 | 0.00 | 312.96 |
| 2000 | 5909.39 | 533.27 | 345.06 | 68.54 | 2.56 | 142.12 | 46.91 | 0.00 | 338.93 |
| 2001 | 6366.00 | 542.67 | 288.27 | 70.35 | 2.70 | 147.77 | 47.26 | 0.00 | 359.59 |
| 2002 | 6679.00 | 556.20 | 307.99 | 73.90 | 2.70 | 155.89 | 47.52 | 0.00 | 389.94 |
| 2003 | 7488.61 | 599.66 | 334.92 | 76.70 | 7.53 | 173.71 | 53.81 | 0.00 | 445.44 |
| 2004 | 7823.06 | 544.29 | 419.79 | 78.18 | 8.49 | 189.48 | 23.92 | 0.15 | 515.94 |
| 2005 | 8339.64 | 538.39 | 414.49 | 86.41 | 10.52 | 210.07 | 23.88 | 0.85 | 582.16 |
| 2006 | 8830.52 | 652.22 | 445.40 | 97.80 | 10.60 | 239.90 | 21.62 | 1.95 | 662.18 |
| 2007 | 9783.74 | 809.70 | 451.08 | 114.91 | 11.34 | 259.16 | 13.24 | 4.03 | 769.10 |
| 2008 | 11377.10 | 851.22 | 426.34 | 127.37 | 11.02 | 309.63 | 15.60 | 7.17 | 858.88 |
| 2009 | 12666.40 | 856.28 | 454.13 | 140.40 | 13.23 | 329.14 | 14.26 | 9.77 | 952.31 |
| 2010 | 13375.70 | 910.17 | 477.57 | 157.40 | 8.41 | 365.75 | 11.73 | 12.48 | 1077.91 |
| 2011 | 14538.00 | 948.12 | 484.13 | 176.16 | 9.09 | 416.69 | 11.31 | 20.14 | 1221.19 |
| 2012 | 14704.00 | 996.44 | 421.38 | 250.64 | 10.77 | 578.31 | 11.08 | 24.90 | 1361.10 |
| 2013 | 17173.67 | 1006.2 | 551.57 | 207.13 | 10.34 | 637.76 | 15.28 | 25.60 | 1528.07 |

资料来源：根据《安徽省统计年鉴》（1995-2013）整理得到。

19

表2-7 1995-2013年安徽省碳排放量与人均碳排放量

| 年份 | 碳排放量（万吨） | 人均碳排放量（吨/人） |
| --- | --- | --- |
| 1995 | 3160.64 | 0.53 |
| 1996 | 3369.75 | 0.57 |
| 1997 | 3257.89 | 0.54 |
| 1998 | 3422.18 | 0.57 |
| 1999 | 3511.51 | 0.58 |
| 2000 | 3769.61 | 0.62 |
| 2001 | 3977.47 | 0.65 |
| 2002 | 4178.33 | 0.68 |
| 2003 | 4673.71 | 0.76 |
| 2004 | 4921.21 | 0.79 |
| 2005 | 5229.77 | 0.85 |
| 2006 | 5576.00 | 0.91 |
| 2007 | 6156.02 | 1.01 |
| 2008 | 7055.22 | 1.15 |
| 2009 | 7816.70 | 1.27 |
| 2010 | 8284.38 | 1.39 |
| 2011 | 9000.85 | 1.51 |
| 2012 | 9232.51 | 1.54 |
| 2013 | 10216.54 | 1.69 |

资料来源：利用表2-6资料根据公式（2.1）计算得到。

12000.00

10000.00

8000.00

6000.00

4000.00

2000.00

0.00

2.00



1.50

1.00

0.50

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

0.00

碳排放量 人均碳排放量



图2-7 安徽省1995-2013年碳排放量和人均碳排放量趋势比较

由表2-7和图2-7可知，1995—2013年安徽省的碳排放量和人均碳排放量都呈

上升趋势，且上升路径十分相似，此外与安徽省经济发展水平变化相类似的是2003年开始安徽省碳排放量和人均碳排放量的上升速度均明显提高。1995年安徽省碳排放量为3160.64万吨，2013年碳排放量增加到10216.54万吨，增长幅度达223.24%；

1995年安徽省人均碳排放量为0.53吨/人，2013年人均碳排放量为1.69吨/人，增长幅度达218.87%。总体来说，安徽省碳排放量与人均碳排放量都在逐年增加，且增

20

幅较大。

结合安徽省能源消费、经济发展与碳排放量的趋势图，很容易发现安徽省能源消费、经济发展与碳排放量都呈上升趋势且整体趋势十分相似，2003年以前上升趋势比较平缓，2003年以后上升趋势变得更加陡峭。上述发现说明安徽省能源消费、经济发展与碳排放量之间存在着某种联系，能源消费增加尤其是大量化石能源的使用使得碳排放量不断增加，经济发展需要消耗大量能源从而间接增加碳排放量，且经济发展是促进碳排放量增加的根本原因。安徽省要想实现低碳经济，就必须采取措施协调好经济发展、能源消费与碳排放量之间的关系，科学合理的经济发展模式和能源消费结构才能实现经济发展与低碳排放的美好愿景。

### 三、 安徽省碳排放量**EKC**研究

前文的研究发现经济发展是安徽省碳排放量增加的根本原因，为了进一步验证当前安徽省碳排放量与经济发展所处的状态，本文将建立安徽省碳排放与经济发展的环境库兹涅茨（EKC）曲线对其进行探讨。

#### （一）**EKC**曲线简介

1993年经济学家Grossman和Krueger发现环境污染程度和人均GDP之间存在倒“U”型曲线关系，这条曲线在人均GDP为4000—5000美元时达到拐点。这条倒

“U”型曲线后来就被用来描述环境与收入之间的关系，称为EKC曲线①。EKC曲线通常用来反映环境污染状况与其对应的经济增长之间的动态变化关系，若环境污染程度随着经济增长而呈上升趋势，说明此时经济增长会加剧环境污染，则应该对经济增长水平进行控制，若环境污染程度随着经济增长而呈下降趋势，说明此时经济增长会有利于环境。

#### （二）模型设定

本文采用三次对数型对安徽省1995-2013年碳排放量与经济增长之间的关系进行计量分析，选取人均碳排放量代表碳排放量（具体数据见表2-7）、人均GDP代表经济增长（具体数据见附录A），构建如下模型：

Ln𝑌𝑡=𝛼0+𝛼1𝑙𝑛𝑋𝑡 +𝛼2𝑙𝑛2𝑋𝑡+𝛼3𝑙𝑛3𝑋𝑡 +𝜀𝑡(2.4)

Yt表示安徽省第t年人均碳排放量，Xt表示安徽省第t年人均GDP, t表示年份，

α0是截距项，α1、α2、α3分别是lnXt、ln2Xt、ln3Xt的待估参数，εt是随机误差项。模型（2.4）根据参数大小不同，分为以下七种情况：

1.若α1, α2, α3 = 0，说明人均碳排放量与人均GDP两者之间不存在任何关联。

2.若α1 <0, α2, α3 = 0，说明人均碳排放量会随着人均GDP的增加而减少。

3.若α1> 0, α2, α3 = 0，说明人均碳排放量会随着人均GDP的增加而增加。

①Grossman, G. M. and Krueger, A. B. Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement[J]. NBER Working Paper,1991(3914):35-48.

21

4.若α1> 0, α2 <0, α3 = 0，说明人均碳排放量与人均GDP之间的关系呈倒“U”

− α1

型曲线，即EKC曲线，转折点出现在人均GDP = e

2α2。

5.若α1 <0, α2> 0, α3 = 0，说明人均碳排放量与人均GDP之间的关系呈正“U”型曲线。

6.若α1> 0, α2 <0, α3> 0，说明人均碳排放量与人均GDP之间的关系为“N"型曲线，且当α2 −3α1α2> 0 ，有两个转折点，转折点出现 在

2

−α2±√α2−3α1α2

人均 GDP = e−

2

3α3 .

7.若α1 <0, α2> 0, α3 <0，说明人均碳排放量与人均GDP 总量之间的关系呈倒“N”型，且当α2 −3α1α2> 0时，有两个转折点，可看作是正“U”型和倒“U”

2

型的结合。

#### （三）模型估计结果

利用Eviews7.2对lnYt、lnXt分别建立线性方程1、方程2、方程3。然后对三个回归方程进行显著性检验，若方程1的系数中第三项系数显著，采用方程1；若第三项系数不显著，而二次项系数显著，则采用方程2；若三次型、二次型系数均不显著，则采用方程3。

方程1：

Ln𝑌𝑡=20.12−4.02𝑙𝑛𝑋𝑡 + 0.15𝑙𝑛2𝑋𝑡+ 0.004𝑙𝑛3𝑋𝑡(2.5)

（0.39） （-0.27） （0.11） (0.09)

𝑅2 = 0.9933, 𝑅̅2 = 0.9919, DW=1.58

方程2：

方程3：

LnYt=24.91 − 5.40lnXt + 0.27ln2Xt (2.6)

（9.56） （-10.84） (12.03)

R2 = 0.9933, R̅2 = 0.9924, DW=1.58

LnYt=−6.40 + 0.59lnXt (2.7)

（-15.67） (15.32)

R2 = 0.9325, R̅2 = 0.9285, DW=0.24

将方程1—方程3进行对比后发现，方程1中的𝑙𝑛3𝑋𝑡未通过t检验，而方程2中不仅𝑙𝑛2𝑋𝑡通过了t检验而且lnXt和截距项也通过了t检验，说明模型拟合的非常不错，

DW值也处在正常范围内，故方程2是最佳选择，且对数人均GDP每增加一个单位，对数人均碳排放量会相应减少5.4个单位，对数人均GDP的平方每增加一个单位，对数人均碳排放量会增加0.27个单位。方程2中α1 =−5.40 <0, α2 = 0.27> 0，α3 = 0，符合上述情况5，说明安徽省人均碳排放量与人均GDP之间存在正“U”型关系，即人均碳排放量会随着人均GDP的增多而不断增多。从两者的散点图（图

22

2-8）可以看出，呈现的是正“U”型的右半边。

.6

.4

.2

.0

LNY

-.2

-.4

-.6

-.8

9.2 9.6 10.0 10.4 10.8 11.2 11.6

LNX

图2-8 人均碳排放量和人均GDP散点图

安徽省的人均碳排放量与人均GDP目前并不存在倒“U”型的原因有以下两点：一是安徽省作为农业大省，经济不是特别发达，人均GDP还没有达到最大的阀值；二是安徽省正在借助中部崛起战略及皖江城市带发展战略的东风大力发展第二、第三产业，尤其是第二产业带来的利润回报相当可观，所以就当前而言发展经济比保护环境似乎显得更为重要。

安徽省人均碳排放量会随着人均GDP的增加而上升，说明当前安徽省的经济增长会促进碳排放量的增加，急需采取一些措施控制经济增长的模式，所以安徽省必须通过调整产业政策、提高环保技术水平、加大环境规制力度等措施来发展低碳经济，只有这样才能实现安徽省经济的可持续发展。

## 第三节 本章小结

本章先就安徽省的能源消费、经济发展和碳排放量现状进行统计分析，再建立安徽省碳排放与经济增长的环境库兹涅茨曲线。结果表明，就能源消费而言，安徽省能源消费总量上升趋势明显，在能源结构方面煤炭占据着主要位置但煤炭占比近几年开始逐渐减少，能源强度在不断下降说明安徽省能源效率得到不断提高；就经济发展而言，安徽省经济发展增速明显，在产业结构方面安徽省经济发展目前仍以第二产业为首，第三产业发展还很缓慢；就碳排放量而言，安徽省的碳排放量始终保持快速上升且增速在不断增大，整体变动趋势与能源消费及经济发展的变动趋势相一致；经过验证发现安徽省EKC曲线并不呈倒“U”型，而为正“U”型，说明安徽省人均GDP尚未达到最大阀值，也就是说在未来安徽省人均碳排放量仍会随着人均GDP的增加而不断增加。

以上这些发现可以说明安徽省能源消费结构不合理、能源效率过低、经济发展模

23

式粗放等原因造成了碳排放的不断增加且速度持续加快，并且随着未来经济发展水平的持续提高这一增速还会进一步提升，如果经济发展主要是借助煤炭的使用，那么碳排放问题势必会更严重。因而，安徽省制定相关政策和方针调整能源消费结构、提高能源效率以及优化经济发展模式就变得迫在眉睫。

24

# 第三章 安徽省碳排放影响因素分析

安徽省碳排放增多的原因比较复杂，而绝不仅仅是因为化石能源的燃烧，为了深入挖掘安徽碳排放的驱动因素，本文首先采用对数均值指数（LMDI）分解法对安徽省碳排放因素进行分解测算，之后运用Tapio脱钩模型对LMDI分解结果进行验证，从而为有的放矢的制定安徽省减排政策提供可靠依据。

## 第一节 安徽省碳排放影响因素分解分析

### 一、 **LMDI**分解模型构建

LMDI分解法是Ang（1998）①提出的一种对碳排放影响因素进行分解的方法，相较于其他的碳排放因素分解方法，LMDI分解法简单灵活且能够达到完全分解，故本文拟采用LMDI分解法对安徽省碳排放影响因素进行测度和分析。

LMDI分解法计算碳排放量的公式为：

C =∑ 𝐶 =∑ 𝐸𝑖 𝐶𝑖 𝐸 𝐺𝑃

𝑖 𝑖 𝑖

𝐸 𝐸𝑖 𝐺𝑃

(3.1)

公式（3.1）中，C代表碳排放总量，Ci代表消费第i种能源的碳排放量，Ei代表第i种能源的消费量，E代表一次能源消费总量，G代表国内生产总值，P代表总人口。

令Si = Ei，Fi = Ci，I = E，X = G，根据（3.1）式，有：

E Ei

G P

Y =𝐶 =∑𝑖𝐸𝑖 𝐶𝑖𝐸𝐺 =∑𝑖𝑆𝑖𝐹𝑖𝐼𝑋

(3.2)

𝑃𝐸 𝐸𝑖 𝐺𝑃

公式（3.2）中，Y代表人均碳排放量；Si代表能源结构因素，表示第i种能源的消费量在能源消费总量中的占比；Fi代表能源碳排放系数因素，表示第i种能源消费产生的碳排放量；I代表能源效率因素，表示单位GDP能源消费量；X代表经济发展因素，表示人均GDP。

假设时间从第0期发展到第T期，则：

∆H = 𝑌𝑇 −𝑌0 = ∑𝑖𝑆𝑇𝐹𝑇𝐼𝑇𝑋𝑇 −∑𝑖𝑆0𝐹0𝐼0𝑋0

= ∆𝐻S + ∆𝐻F + ∆𝐻I + ∆𝐻X (3.3)

𝑖𝑖𝑖 𝑖

𝑌𝑇

∑𝑖𝑆𝑇𝐹𝑇𝐼𝑇𝑋𝑇

D = 0 =

𝑖 𝑖

0

0 = 𝐷𝑆𝐷𝐹 𝐷𝐼𝐷𝑋 (3.4)

𝑌∑𝑖𝑆0𝐹0𝐼𝑋

𝑖 𝑖

①Ang B. W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition[J]. Energy,1998,23(6):489-495

25

∆𝐻S、∆𝐻F、∆𝐻I、∆𝐻X分别代表四种因素对人均碳排放变动的贡献值，若贡献值大于零则说明该因素促进人均碳排放的增加，反之则相反；DS、DF、DI、DX分别代

表四种因素对人均碳排放变动的贡献率，若贡献率大于一则说明该因素促进人均碳排放的增加，反之则相反；∆H、D分别代表四种因素对人均碳排放变动的总贡献值和总贡献率。

根据Ang的研究，本文对上述四种因素进行分解，得到各因素贡献值公式如下：

能源结构因素贡献值：∆𝐻 = ∑ 𝑊0𝑙𝑛 𝑆 𝑖 (3.5)

𝑇

s𝑖𝑖0

𝑆

𝑖

能源碳排放系数因素贡献值：∆H

= ∑ W0ln F i (3.6)

F i i 0

T

F

i

能源效率因素贡献值：∆H

= ∑ W0ln I i (3.7)

I i i 0

T

I

i

T

经济发展因素贡献值：∆H

= ∑ W0ln X i (3.8)

其中𝑊0

𝑖

X

X

𝑌𝑇−𝑌0

𝑖 𝑖

=𝑌𝑇。

Ln( 𝑖 ⁄ 0)

𝑌𝑖

i i 0

i

对式（3.5）—（3.8）两边同时取对数，有：lnD = lnDS + lnDF + lnDI + lnDX。

假设lnD = lnDS = lnDF = lnDI = lnDX

，令lnD = W1 ，得到各因素贡献率公式如

∆H∆HS

下：

∆HF

∆HI

∆HX∆H

能源结构因素贡献率：DS = eW ∆HS (3.9)

1

能源碳排放系数因素贡献率：DF = eW ∆HF (3.10)

1

能源效率因素贡献率：DI = eW ∆HI (3.11)

1

经济发展因素贡献率：DX = eW ∆HX 。 (3.12)

1

### 二、 分解结果分析

#### （一）数据说明

LMDI分解模型中需要用到的数据涵盖人均碳排放量、经济发展因素、能源效率因素和能源结构因素。

人均碳排放量（Y）等于碳排放量除以安徽省总人口数，其中碳排放量数据可根据第二章第三节公式(2-1)计算得到。人均碳排放量的具体数据见表2-7。

经济发展因素（X）用人均GDP表示，能源效率因素（I）用单位GDP能源消费量表示，能源结构因素（Si）用各种能源消费数量在能源消费总量中的占比表示。其中，人均GDP、单位GDP能源消费量、各种能源数量在能源消费总量中的占比数据均来源于1995-2013年《安徽省统计年鉴》，具体数据见附录A和B。

26

#### （二）分解结果分析

由表2-4可知各能源碳排放系数均为固定值，∆𝐹i=0，则由公式（3.6）、（3.10）可知能源碳排放系数因素的贡献值和贡献率均为0，即∆𝐻F=0，𝐷F=0。将安徽省数据代入式（3.5）—（3.12），得出碳排放因素分解的具体结果表3-1。

表3-1 1995-2013年安徽省碳排放各影响因素的贡献值和贡献率

| 年份 | 人均碳排放 | | 能源结构因素 | | 能源效率因素 | | 经济发展因素 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| H | D | ∆𝐻S | 𝐷S | ∆𝐻I | 𝐷I | ∆𝐻X | 𝐷X |
| 1995-1996 | 0.0447 | 1.0847 | -0.0001 | 0.9997 | -0.0450 | 0.9213 | 0.0899 | 1.1777 |
| 1996-1997 | 0.0152 | 1.0286 | -0.0019 | 0.9964 | -0.1877 | 0.7058 | 0.2048 | 1.4625 |
| 1997-1998 | 0.0548 | 1.1045 | 0.0006 | 1.0011 | -0.2652 | 0.6179 | 0.3194 | 1.7854 |
| 1998-1999 | 0.0706 | 1.1352 | 0.0006 | 1.0012 | -0.3411 | 0.5418 | 0.4110 | 2.0926 |
| 1999-2000 | 0.1203 | 1.2326 | 0.0001 | 1.0001 | -0.4000 | 0.4988 | 0.5202 | 2.4710 |
| 2000-2001 | 0.1691 | 1.3324 | 0.0023 | 1.0039 | -0.4620 | 0.4567 | 0.6288 | 2.9061 |
| 2001-2002 | 0.2112 | 1.4188 | 0.0014 | 1.0023 | -0.5472 | 0.4041 | 0.7570 | 3.5029 |
| 2002-2003 | 0.3208 | 1.6516 | 0.0011 | 1.0018 | -0.5928 | 0.3957 | 0.9125 | 4.1664 |
| 2003-2004 | 0.3534 | 1.7173 | -0.0031 | 0.9952 | -0.7207 | 0.3320 | 1.0772 | 5.1980 |
| 2004-2005 | 0.4414 | 1.9110 | -0.0049 | 0.9928 | -0.7719 | 0.3222 | 1.2182 | 5.9740 |
| 2005-2006 | 0.5284 | 2.1131 | -0.0077 | 0.9892 | -0.8143 | 0.3157 | 1.3503 | 6.7666 |
| 2006-2007 | 0.6721 | 2.4647 | -0.0086 | 0.9885 | -0.9544 | 0.2778 | 1.6352 | 8.9758 |
| 2007-2008 | 0.8776 | 2.9840 | -0.0063 | 0.9922 | -0.9588 | 0.3029 | 1.8427 | 9.9296 |
| 2008-2009 | 1.0484 | 3.4271 | -0.0062 | 0.9928 | -0.9400 | 0.3314 | 1.9945 | 10.4162 |
| 2009-2010 | 1.2105 | 3.8684 | -0.0100 | 0.9889 | -0.9993 | 0.3273 | 2.2197 | 11.9509 |
| 2010-2011 | 1.3734 | 4.3239 | -0.0126 | 0.9866 | -1.0713 | 0.3191 | 2.4573 | 13.7322 |
| 2011-2012 | 1.4169 | 4.4421 | -0.0206 | 0.9785 | -1.1411 | 0.3009 | 2.5786 | 15.0846 |
| 2012-2013 | 1.6564 | 5.2008 | -0.0031 | 0.9969 | -1.1869 | 0.3068 | 2.8464 | 17.0020 |

资料来源：根据公式（3.5）-（3.12）计算得到

从表3-1可知，1995-2013年安徽省人均碳排放在不断增加，1995-2003年增速比较慢，2003-2013年增速加快，成近直线增长。经济发展因素的贡献值始终为正，说明经济发展因素“拉动”人均碳排放的提高，是“拉动”因素；能源效率的贡献值始终为负，说明该因素“抑制”人均碳排放的增多，是“抑制”因素；能源结构因素的贡献值虽短暂为正但长期趋势为负且近期均为负，说明其先是“拉动”因素后为“抑制”因素。

1995-2013年安徽省经济发展因素对人均碳排放的贡献率最大，贡献值逐年增大，

特别是2005之后速度明显更快，经济发展因素是人均碳排放增加的决定性因素。

1995-2013年安徽省的GDP从1810.66亿元增加到19229.34亿元，增长约9.62倍；

人均GDP从12690元增加到94648元，增长约6.46倍。经济的飞速发展必然需要消

费许多的能源，因而在这段时间里能源的消费量增加了2.29倍左右，使得安徽省人均碳排放量随之增加，1995年人均碳排放量仅为0.534吨/人，2013年这一数字增大

27

到1.694吨/人，增长约2.17倍。经济发展因素对人均碳排放的“拉动”作用可见一斑。

1995-2013年安徽省能源效率因素对人均碳排放的贡献值逐年减小，是抑制人均碳排放增加的主要因素。1995-2013年安徽省的单位GDP能耗从2.093吨标准煤/万元减少到0.627吨标准煤/万元，降幅达237%。1995年以来安徽省一直践行国家制定的节能减排政策，加大科研投入提升节能减排技术水平，随着能源效率的不断提高其对人均碳排放的抑制作用也就不断增强。但同时也要发现，当前的能源效率因素贡献率远远小于经济发展因素贡献率，说明安徽省能源效率还应继续提高。

安徽省能源结构因素贡献率最小，1995-1997年其对人均碳排放的贡献值为正，1997-2003年贡献值为正，2003-2013年贡献值均为负，这与安徽省的能源结构变动有关。1995-1997年安徽省能源消耗中煤炭占比略有下降，1997-2003年煤炭占比迅速增加，之后又下降，单位煤炭燃烧产生的碳排放分别是石油的1.3倍、天然气的

1.7倍，所以煤炭占比的变动就造成能源结构因素对人均碳排放的作用方向不停变动。这也充分说明了减少煤炭消费能够降低碳排放。

## 第二节 安徽省碳排放与各影响因素的脱钩效应分析

上节利用LMDI分解方法对安徽省碳排放因素进行了分解测度，结果表明经济发展因素是推动碳排放增加的主要因素，能源效率因素和能源结构因素则会减缓碳排放的增加。为了进一步探讨经济发展因素、能源效率因素、源结构因素与碳排放两者之间究竟存在何种联系，本节拟建立Tapio脱钩模型测度经济发展因素、能源效率因素和能源结构因素对碳排放脱钩指数变化的影响程度，从而为制定更加合理的并且贴合符合安徽省实际省情的减排政策提供一定的参考价值。

### 一、 **Tapio**脱钩模型构建

参照Tapio（2005）的研究①，构建衡量碳排放与GDP之间脱钩关系的模型如下：

t = %∆𝐶 = (𝐶𝑡−𝐶0)⁄𝐶0

（3.13）

%∆𝐺(𝐺𝑡−𝐺0)⁄𝐺0

式（3.13）中t代表脱钩指数，%∆C代表第t年的碳排放弹性值，%∆G代表第t年的GDP弹性值，Ct、C0分别代表第t期、第0期（1995年）的碳排放值，Gt、G0分别表示第t期、第0期（1995年）的GDP值。

将上式进行变形，有：

①Petri Tapio, Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy,2005(12):137-151

28

t = ∆𝐶𝑡 𝐺0 =∆𝐶𝑡𝐺

（3.14）

𝐶0 ∆𝐺𝑡

由式（3.1）、（3.2）有：C =∑i SiFiIX

从第0期至第t期碳排放量的变动值为：

𝐶0∆𝐺𝑡

(3.15)

∆𝐶𝑡 =𝐶𝑡 −𝐶0 =∆𝐶𝑆

𝑡

+∆𝐶𝐹𝑡

+∆𝐶𝐼𝑡

+∆𝐶𝑋𝑡

（3.16）

根据（3.14）、（3.16），得出碳排放量与能源结构因素、能源碳排放系数因素、能源效率因素、经济发展因素的脱钩模型：

T =∆𝐶

𝐺0

= (∆𝐶

+∆𝐶

+∆𝐶

+∆𝐶

)𝐺0

𝑡𝐶0∆𝐺𝑡

𝑆𝑡

𝐹𝑡

𝐼𝑡

𝑋𝑡

𝐶0∆𝐺𝑡

=∆𝐶𝑆𝑡⁄𝐶0 +∆𝐶𝐹𝑡⁄𝐶0 +∆𝐶𝐼𝑡⁄𝐶0 +∆𝐶𝑋𝑡⁄𝐶0 =𝑡

+𝑡

+𝑡

+𝑡

（3.17）

∆𝐺𝑡⁄𝐺0

∆𝐺𝑡⁄𝐺0

∆𝐺𝑡⁄𝐺0

∆𝐺𝑡⁄𝐺0

𝑆𝐹

𝐼𝑋

其中tS、tF、tI、tX分别表示能源结构、能源碳排放系数、能源效率、经济发展水平四个因素的脱钩弹性指标。

Tapio将脱钩状态主要分为脱钩、负脱钩、连结三种，再依据不同的弹性值，进一步细分为8种状态，具体划分标准如表3-2所示。

表3-2 Tapio脱钩状态划分标准

| 脱钩状态 | | %∆𝐶 | %∆𝐺 | 脱钩指数 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 强脱钩 | < 0 | > 0 | < 0 |
| 脱钩 | 弱脱钩 | > 0 | > 0 | 0-0.8 |
|  | 衰退脱钩 | < 0 | < 0 | > 1.2 |
|  | 强负脱钩 | > 0 | < 0 | < 0 |
| 负脱钩 | 弱负脱钩 | < 0 | < 0 | 0-0.8 |
|  | 扩张负脱钩 | > 0 | > 0 | > 1.2 |
| 连结 | 扩张连结 | > 0 | > 0 | 0.8-1.2 |
| 衰退连结 | < 0 | < 0 | 0.8-1.2 |

### 二、 脱钩结果分析

#### （一）数据说明

本文通过建立Tapio脱钩模型测度经济发展因素、能源效率因素和能源结构因素对碳排放脱钩指数变化的影响程度。所需的数据包括1995-2013年安徽省煤炭、焦炭等九种能源各自的消费数量、能源消费总量、碳排放量和GDP的数据。其中，煤炭、焦炭等九种能源各自消费数量来源于1995-2013年《安徽省统计年鉴》，具体数据见表2-6。碳排放量利用第二章第三节公式（2.1）计算得到，数据见表2-7. GDP、能源消费总量的数据均来源于1995-2013年《安徽省统计年鉴》，具体数据见附录A 和

B。

#### （二）脱钩结果分析

29

由表2-4可知各能源碳排放系数均为固定值，则∆𝐶𝐹𝑡 = 0，将∆𝐶𝐹𝑡 = 0带入公式

（3.17）有𝑡𝐹 = 0。根据公式（3.14）-（3.17），利用上述数据可以计算出各因素的脱钩值，结果见表3-3。利用脱钩值即可判断第t年碳排放量的脱钩状态。

表3-3 安徽省Tapio脱钩指数计算结果

| 年份 | 能源结构脱钩值  𝑡𝑆 | 能源效率脱钩值  𝑡𝐼 | 经济发展脱钩值  𝑡𝑋 | 脱钩指数  t | 脱钩状态 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1995-1996 | -3.64238E-07 | -0.00011 | 0.000219 | 0.000109 | 弱脱钩 |
| 1996-1997 | -1.88797E-06 | -0.00018 | 0.000199 | 1.48E-05 | 弱脱钩 |
| 1997-1998 | 3.63844E-07 | -0.00016 | 0.00019 | 3.26E-05 | 弱脱钩 |
| 1998-1999 | 2.81117E-07 | -0.00015 | 0.00018 | 3.09E-05 | 弱脱钩 |
| 1999-2000 | 2.00367E-08 | -0.00013 | 0.000172 | 3.98E-05 | 弱脱钩 |
| 2000-2001 | 6.08364E-07 | -0.00012 | 0.000166 | 4.46E-05 | 弱脱钩 |
| 2001-2002 | 2.89792E-07 | -0.00011 | 0.000157 | 4.39E-05 | 弱脱钩 |
| 2002-2003 | 1.90549E-07 | -0.0001 | 0.000155 | 5.45E-05 | 弱脱钩 |
| 2003-2004 | -4.10552E-07 | -9.5E-05 | 0.000142 | 4.65E-05 | 弱脱钩 |
| 2004-2005 | -5.74686E-07 | -9E-05 | 0.000143 | 5.17E-05 | 弱脱钩 |
| 2005-2006 | -8.04199E-07 | -8.5E-05 | 0.000141 | 5.53E-05 | 弱脱钩 |
| 2006-2007 | -7.00663E-07 | -7.8E-05 | 0.000133 | 5.46E-05 | 弱脱钩 |
| 2007-2008 | -4.67146E-07 | -7.1E-05 | 0.000137 | 6.51E-05 | 弱脱钩 |
| 2008-2009 | -4.36881E-07 | -6.7E-05 | 0.000141 | 7.44E-05 | 弱脱钩 |
| 2009-2010 | -6.528E-07 | -6.5E-05 | 0.000145 | 7.89E-05 | 弱脱钩 |
| 2010-2011 | -7.27739E-07 | -6.2E-05 | 0.000142 | 7.92E-05 | 弱脱钩 |
| 2011-2012 | -1.09257E-06 | -6E-05 | 0.000137 | 7.51E-05 | 弱脱钩 |
| 2012-2013 | -1.50142E-07 | -5.7E-05 | 0.000137 | 7.95E-05 | 弱脱钩 |

资料来源：根据公式（3.14）-（3.17）计算得到。

从表3-3可知，经济发展脱钩值始终为正值，能源效率脱钩值始终为负值，能源结构脱钩值前期为正值居多但后期全为负值，表明经济发展因素拉动碳排放增加，能源效率因素抑制碳排放增加，能源结构因素从长期看也是抑制碳排放增加，这显然与

LMDI指数法的结果是一致的。通过对脱钩指数的判断，可以发现1995-2013年安徽省碳排放一直处于弱脱钩状态，说明从长期看安徽省碳排放与GDP脱钩弹性指数趋于增大，意味着碳排放增速大于GDP增速。这是由于20世纪90年代以来安徽省经济进入一个快速发展的黄金时期，工业的蓬勃发展造成大量的碳排放，环境问题日益尖锐。

30

## 第三节 本章小结

本章首先运用LMDI指数法对安徽省碳排放因素进行分解，发现经济发展因素对人均碳排放的贡献值为正且贡献率最大，是拉动碳排放的主要因素；能源效率因素对人均碳排放的贡献值为负，是抑制碳排放的主要因素；能源结构因素从长期趋势来看是抑制碳排放的因素。再建立Tapio脱钩模型测度安徽省经济发展因素、能源效率因素和能源结构因素对碳排放脱钩指数变化的影响程度，结果表明经济发展因素是碳排放的拉动因素，能源效率因素和能源结构因素是碳排放的抑制因素，还发现安徽省的碳排放一直处于弱脱钩状态，且碳排放的增速一直大于GDP增速。以上研究从侧面说明安徽省的环境问题迫在眉睫，应有效发挥政府的宏观调控作用，通过优化能源结构、提高能源效率、优化经济发展模式等控制碳排放的增长速度，实现经济与环境的可持续发展。

31

# 第四章 安徽省碳排放影响因素实证分析

上一章的研究表明安徽省能源结构因素、能源效率因素以及经济发展因素均会对碳排放量产生一定的影响，为了进一步研究不同时点能源结构、能源效率与经济发展三因素对人均碳排放的影响程度的差异性，本章建立状态空间模型对其进行实证研究，并运用卡尔曼滤波对实证结果进行分析，从而最终得到安徽省能源结构、能源效率、经济发展对人均碳排放不同的动态冲击作用。

## 第一节 基本方法介绍

本文拟采用状态空间模型探讨不同时期安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放的动态均衡关系，但建立状态空间模型必须先对各变量进行协整检验，进行协整检验的前提是各变量为平稳序列，故要首先对序列的平稳性进行检验。因此，本文先对变量进行平稳性检验和协整检验，再建立状态空间模型。下面对平稳性检验、协整检验和状态空间模型的原理做简要介绍。

### 一、 协整检验的基本原理

#### （一）平稳性检验

在时间序列中，如果变量全是平稳的就可以直接对变量进行回归分析。但由于经济变量往往都是非平稳的，直接进行回归分析容易造成“伪回归”，所以要先对其做平稳性检验。本文采用ADF（Augment Dickey–Fuller）检验法对这三个变量进行平稳性检验。

若被检验的实际过程是一个AR（p）过程，并且它的检验式满足AR（1）形式，则可以说由于定义了一个错误的原方程𝑌𝑡，所以使得与检验式所呼应的误差项肯定是自相关的。如若假设检验式的误差项并不是自相关的，那么就可以断定若误差项是自相关性的，其回归参数的检验统计S将不能服从ADF分布的规律。

假定Yt是AR(p)过程,

检验式为：

𝑌𝑡=∅1𝑌𝑡−1 + ∅2𝑌𝑡−2+ ⋯ + ∅𝑝𝑌𝑡−𝑝 + 𝑢𝑡 (4.1)

𝑝−1

𝑌𝑡=𝛿𝑌𝑡−1 +∑∅∗∆𝑌𝑡−𝑗+𝜀𝑡

𝑗

𝑗=1

∆𝑌𝑡 = 𝜌𝑌𝑡−1 + ∑𝑝−1 ∅∗∆𝑌𝑡−𝑗 + 𝜀𝑡 (4.2)

𝑗=1𝑗

32

其中𝜌=𝛿−1=(∑𝑝∅i) -1, ∅∗=∑𝑝

∅i, j=1,2……p.

i=1𝑖𝑖=j+1

检验假设为：H0: ∅= 0，H1: ∅<0，若接受原假设则说明序列非平稳，若拒绝原假设则说明序列平稳。还可以通过比较ADF检验值与临界值的大小判断序列是否平稳，若ADF检验值≥临界值，则说明序列非平稳，若ADF检验值<临界值，则说明序列平稳。

#### （二）协整检验

假设𝑦1�, 𝑦2𝑡…，𝑦𝑛𝑡均是d 阶单整序列，表示为I（d），如若再有这样的向量

a=(a1, a2…, an)，使得𝛼𝑦′~𝐼(𝑑−�)，其中𝑦𝑡 = (𝑦1�, 𝑦2𝑡…, 𝑦𝑛�)，d≥b≥0，则称序列

𝑡

𝑦1�, 𝑦2𝑡…, 𝑦𝑛𝑡是d−b阶协整的，记为yt~CI(d−b)，α为协整向量。所谓协整其实就是说，假如两个以上的非平稳序列能够通过进行一定的线性组合排列就变成平稳序列，则可以断定，从长期看这两个以上的非平稳序列之间必定存在着某种关联。

协整分析通常有两种方法：EG两步法和Johansen协整检验。EG两步法一般用来验证两变量间的协整关系，通过先进行OLS回归再对其残差序列进行单位根检验，如检验结果为平稳则两变量协整，此方法优点是简便、估计结果具有一致性；Johansen协整检验则常用于多变量，是一种向量自回归方法，不仅能检验是否存在协整关系还能求出对应的协整方程。本文所采用的正是Johansen协整检验。

Johansen协整检验是通过建立无约束的VAR 模型来对矩阵进行估计，此外还获得了方程对应的系数向量大小。由于矩阵的非零特征根的个数通常是与其对应秩的大小是相等的，所以可以通过检验矩阵非零特征根的个数来推算出秩的大小。假设矩阵的特征根满足𝛾1>𝛾2>>𝛾𝑛，根据推定特征根个数的方法的不同，将协整检验方

法划分为特征根迹检验和最大特征根检验，两种检验对应的原假设和备泽假设分别是：

𝐻𝑟0: 𝛾𝑟+1 = 0, 𝐻𝑟0: 𝛾𝑟+1> 0，r=0, 1，„，k-1. 两种检验对应的检验统计量分别是：

𝜑𝑟 =−T∑𝑘

r+1

ln(1−𝛾𝑖)

（4.3）

εr = −Tln(1 − γr+1) (4.4)

若接受𝐻00(r=0)，表明无协整向量，否则接受𝐻10，表明起码存在有1个协整向量；

如果拒绝𝐻10，则表明接受了备泽假设𝐻20，也就是说起码存在有2个协整向量；以此类推，一直持续到接受𝐻𝑟0，则表明一共是存在有r个协整向量的。

### 二、 状态空间模型的基本原理

#### （一）状态空间模型

通常学者们都将状态空间模型的基本方程定义为：yt = x′β+ ut（4.5）其中，yt表示因变量，xt表示m×1维的自变量，β表示m×1维的参数变量，ut表

t

示随机误差项。这里的参数是固定的，可以通过最小二乘法求得。

状态空间模型通常用于多变量时间序列，模型包括量测方程（4.6）和状态方程

33

（4.7）两部分。将量测方程和转移方程分别定义为：

𝑦𝑡 = 𝑍𝑡𝛼𝑡 + 𝑑𝑡 + 𝑢�, 𝑡 = 1,2， … ，T (4.6)

𝛼𝑡 =𝑇𝑡𝛼𝑡−1 +𝑐𝑡 +𝑅𝑡𝜀�,𝑡 = 1,2，…，T（4.7）其中，yt表示k×1向量，𝑍𝑡表示k×m矩阵，𝑑𝑡表示k×1向量，𝑇𝑡表示m×m矩

阵，𝑐𝑡表示m×1向量，𝑅𝑡表示m×g矩阵，𝛼𝑡表示状态向量，它实际上是一维的马尔可夫过程，也就是说𝛼𝑡的大小仅仅会受到其滞后一期值的大小影响，而与其它时期的变量值不相关，ut、εt为扰动项，E(ut) =0, var(ut) = Ht，E(εt) =0，var(εt) = Qt。

通常会采用可变参数模型对一些不易被察觉的并且能够给自变量带来一定作用效果的因素进行刻画，从而消除由于固定参数所带来的不良影响。具体的模型形式一般会设定为：

𝑦𝑡 = 𝑥′𝛽𝑡 + 𝑧′𝛾 + 𝜇�, 𝑡 = 1,2， … ，T (4.8)

𝑡𝑡

其中𝛽𝑡为变参数，刻画了自变量对因变量的影响程度，可通过变量𝑥𝑡、𝑦𝑡测算。若假设𝛽𝑡由AR（1）描述，则有：𝛽𝑡=φ𝛽𝑡−1 +𝜀𝑡（4.9）若扩展为AR（p）形式，则应假定

（𝑢，𝜀

~N ((0)， (𝛿2 𝑔 )), 𝑡 = 1,2， … ，T (4.10)

𝑡𝑡)

′

0𝑔𝑄

其中，𝑢𝑡、𝜀𝑡相关，均值为0，方差为𝛿2，协方差矩阵为Q，cov(𝑢�, 𝜀�) =g。

#### （二）基于状态空间模型的卡尔曼滤波估计

卡尔曼滤波是基于已有信息的一个递推过程，是目前估计状态空间模型最精确的算法。卡尔曼滤波一般是通过先利用预测误差值的大小来测算似然函数值的大小，然后再对模型中的待估参数进行预估，最后在获得新的观测值后就可以通过卡尔曼滤波对状态向量进行修正从而求得待估参数的真实值。

根据状态空间模型的量测方程和状态方程，β∗表示在给定观测值下𝛽𝑡−1的估计

t−1

量，𝑉𝑡−1是指估计误差的n×n协方差矩阵，

= E \*(𝛽

−𝛽∗ ）(𝛽

−𝛽∗

‘

+ (4.11)

𝑉𝑡−1

𝑡−1

t−1

𝑡−1

t−1)

假设𝛽∗ 和𝑉𝑡−1已知，𝛽𝑡的条件分布的均值为：𝛽∗=𝑇𝑡𝛽∗ +𝑉𝑡（4.12）

t−1

t|t−1

t−1

假设扰动项和初始状态向量均服从正态分布，𝛽∗即为𝛽𝑡最小均方误差估计，

t|t−1

估计误差的协方差矩阵为：𝑉𝑡|𝑡−1 =𝑇𝑡𝑉𝑡−1𝑇′+𝑄𝑡𝑅𝑡𝑄′, t=1, 2，„，T. （4.13）

t t

方程（4.12）和方程（4.13）被称为预测方程。

当得到新的预测值yt之后，就可得到新的β∗和Vt如下：

t

β∗ = 𝛽∗ + 𝑉𝑡|𝑡−1𝑍′（yt − Zt𝛽∗ − dt） (4.14)

t t|t−1 t t|t−1

Vt = 𝑉𝑡|𝑡−1 − 𝑉𝑡|𝑡−1𝑍′𝑆−1Zt𝑉𝑡|𝑡−1 (4.15)

T t

其中，St = Zt𝑉𝑡|𝑡−1𝑍′+ Ht，t=1, 2，„，T。（4.16）上述公式（4.11）—公式（4.16）即构成了卡尔曼滤波的基本公式。从公式（4.11）

t

34

推导至公式（4.16）的整个过程表明，每出现一个新的观测值后，卡尔曼滤波会给出状态向量的最优估计，当所有观测值均估计完以后，卡尔曼滤波就会基于信息集合yt产生当前和下一时间段的状态向量的最优估计。

## 第二节 实证分析

### 一、 变量的选择与数据说明

本文选择以人均碳排放量（Yt）为因变量，经济发展因素（Xt）、能源效率因素

（It）、能源结构因素（St）为自变量进行实证分析。

人均碳排放量（Yt）等于碳排放量除以安徽省总人口数，其中碳排放量数据根据第二章第三节公式(2-1)计算得到。人均碳排放量具体数据见表2-7。

经济发展因素（Xt）和能源效率因素（It）分别用人均GDP和单位GDP能源消费数量来表示。数据来源于1995-2013年《安徽省统计年鉴》，具体数据见附录A。能源结构因素（St）用煤炭消费量在能源消费总量中的占比来表示。经济发展中

所需要消耗的能源种类众多、数量迥异，所产生的碳排放量也必然不同，而相对于石油、天然气、电力等能源，单位煤炭燃烧所产生的碳排放量最多，分别是石油的1.3

倍、天然气的1.7倍，所以本文选用煤炭消费量在能源消费总量中的占比作为能源结构因素。数据来源于1995-2013年《安徽省统计年鉴》，具体数据见附录B。

考虑到时间序列的平稳性，需对所有数据进行对数转换，因此在本文的实际分析中，均是采取各个变量的对数值。

### 二、 协整检验分析

#### （一）平稳性检验

出于避免变量数量级差异以及数据异方差性作用的考虑，使用取自然对数后的安徽省能源结构因素（lnSt）、能源效率因素（ln𝐼t）、经济发展因素（ln𝑋t）与人均碳排放（lnYt）进行单位根检验，检验结果见表4-1。

35

表4-1 平稳性检验结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变量 | | ADF | 临界值（5%） | 临界值（10%） | P 值 | 结论 |
| 人均碳排放 | lnY | -2.1046 | -3.6908 | -3.2869 | 0.5291 | 不平稳 |
|  | DlnYt | -4.1706 | -3.7105 | -3.2978 | 0.0223 | 平稳 |
| 能源结构因素 | lnSt | -1.4570 | -3.0404 | -2.6606 | 0.5315 | 不平稳 |
|  | Dln𝑆t | -3.6279 | -3.0523 | -2.6666 | 0.0166 | 平稳 |
| 能源效率因素 | ln𝐼t | -1.0119 | -3.6908 | -3.2869 | 0.9265 | 不平稳 |
|  | Dln𝐼t | -4.7777 | -3.7332 | -3.3103 | 0.0083 | 平稳 |
| 经济发展因素 | ln𝑋t | -0.4871 | -3.6908 | -3.2869 | 0.9738 | 不平稳 |
|  | Dln𝑋t | -4.5934 | -3.7332 | -3.3103 | 0.0114 | 平稳 |

从表4-1可知，对数化处理后的能源结构因素（lnSt）、能源效率因素（ln𝐼t）、经济发展因素（ln𝑋t）与人均碳排放（lnYt）是不平稳的，但是它们的一阶差分序列是平稳的，所以lnYt、lnSt、ln𝐼t、lnXt都是一阶单整序列，即为I（1），故可对其进行协整检验。

#### （二）协整检验

对安徽省能源结构因素（lnSt）、能源效率因素（ln𝐼t）、经济发展因素（ln𝑋t）与人均碳排放（lnYt）进行协整关系检验，从而知道四者之间是否存在长期均衡关系。根据前文的平稳性检验结果，变量lnYt、lnSt、ln𝐼t、lnXt都是一阶单整序列，因此可以进行协整检验。

本文采用Johansen协整检验方法判断这些变量之间是否存在协整关系，检验结果见表4-2、4-3。

表4-2 迹统计量检验结果

| 协整关系个数 | 特征值 | 迹统计量 | 5%显著水平临界值 | P 概率值 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 0 个 | 0.9702 | 114.6762 | 54.0790 | 0.0000 |
| 至多 1 个 | 0.8265 | 54.9706 | 35.1928 | 0.0001 |
| 至多 2 个 | 0.6119 | 25.1977 | 20.2618 | 0.0096 |
| 至多 3 个 | 0.4147 | 9.1052 | 9.1645 | 0.0053 |

表4-3 最大特征值检验结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 协整关系个数 | 特征值 | 最大特征值统计量 | 5%显著水平临界值 | P 概率值 |
| 0 个 | 0.9702 | 59.7056 | 28.5881 | 0.0000 |
| 至多 1 个 | 0.8265 | 29.7729 | 22.2996 | 0.0038 |
| 至多 2 个 | 0.6119 | 16.0925 | 15.8921 | 0.0465 |
| 至多 3 个 | 0.4147 | 9.1052 | 9.1645 | 0.0053 |

从表4-2、4-3可以发现，前三种情况下迹统计量和最大特征值统计量的值都比临界值要大，说明其均拒绝有两个协整向量的原假设，也就是说安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放之间存在2个协整关系，即lnYt、lnSt、

ln𝐼t、lnXt之间存在长期均衡关系，于是可以得到标准化的协整方程：

lnYt = −1.0108lnSt −0.00034ln𝐼t + 0.0096lnXt + ecmt (4.17)在方程（4.17）中，ecmt表示均衡误差项，对其进行ADF检验，检验结果表明ecmt

36

为平稳序列，说明协整方程是显著的。从方程（4-17）来说，能源结构因素对人均碳排放有负的影响效应，为-1.0108，说明能源结构每增加1%，人均碳排放会减少

1.0108%，这主要是因为安徽省近几年在逐渐减少煤炭等化石能源的使用，而更多的发展清洁能源。能源效率因素对人均碳排放有极弱的负影响，为-0.00034，说明能源效率每增加1%，人均碳排放会减少0.00034%，这主要是由于安徽省技术水平落后从而使得能源利用效率非常的低。经济发展因素对人均碳排放有的正向影响，为0.0096，说明经济发展每增加1%，人均碳排放会增加0.0096%，这主要是因为经济发展加速能源的使用，技术水平落后使得能源燃烧带来大量碳排放。

### 三、状态空间模型结果分析

#### （一）状态空间模型估计

上文研究表明安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放之间存在长期均衡关系，不过并未研究不同时间点能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素对人均碳排放的影响程度的差异性。本节结合上节所做协整分析，利用变系数状态空间模型考查能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素对人均碳排放的动态冲击作用。

由于上节已经证明了安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均

碳排放之间存在长期均衡关系，因而此处可以直接构建状态空间模型如下：

Ln(Yt) = C +𝑆𝑉1𝑡 ln(St) +𝑆𝑉2𝑡 ln(It) +𝑆𝑉3𝑡 ln(Xt) +𝜇𝑡(4.18)

𝑆𝑉1𝑡 =𝜑𝑖𝑆𝑉1𝑡−1 +𝜀𝑡 , 𝑆𝑉2𝑡 = 𝜑𝑖𝑆𝑉2𝑡−1 +𝜀𝑡 , 𝑆𝑉3𝑡 = 𝜑𝑖𝑆𝑉3𝑡−1 +𝜀𝑡(4.19)方程（4.18）是量测方程，刻画了能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素

与人均碳排放之间的关系，SV1t、SV2t、SV3t分别表示不同时期人均碳排放对能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素变动的弹性系数（或敏感程度），C是常数。

方程（4.19）是转移方程，刻画了状态变量的生成过程，SV1t、SV2t、SV3t均为不可观测变量，本文对转移方程采用递推方式定义。𝜇𝑡、𝜀𝑡 分别是方程（4.18）和方程（4.19）中的随机扰动项，它们相互独立，均服从均值为零、方差为常数的正态分布。同时本

文采用卡尔曼滤波法对SV1t、SV2t进行估计。卡尔曼滤波的主要功效就在于，若随机误差项和初始状态向量都符合正态分布的规律时，可以利用对误差进行分解来估计似

然函数值的大小，再进一步对所有未知参数进行估计，当得到估计结果后再用卡尔曼滤波对修正向量进行估计。

状态空间模型的估计结果如表4-4所示。

37

表4-4 状态空间模型估计结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 最终状态值 | Z 统计量 | P 值 |
| SV1 | -0.95190 | -21.6190 | 0.0000 |
| SV2 | -0.00012 | -4.07250 | 0.0000 |
| SV3 | 0.00800 | 2.30180 | 0.0000 |
| 对数似然函数值 | AIC | SC | Hannan-Quinn |
| 21.65540 | -1.43740 | -1.53680 | -1.45420 |

由表4-4可以看出，常数项和变参数系数的P值均极小，说明四变量是显著的。然后对残差序列进行ADF检验，结果显示残差序列是通过ADF检验的，也就是判定该序列是平稳的。以上两点充分说明状态空间模型的卡尔曼滤波估计结果是可信的。

由表4-4还可以看出, SV1的最终状态值为负值，说明能源结构因素对人均碳排放产生反向影响，即能源结构因素的变动会对碳排放的增加带来消极作用，SV2的最终状态值为负值，说明能源效率因素对人均碳排放也产生反向影响，即能源效率因素的变动会对人均碳排放的增加带来消极作用，SV3的最终状态值为正值，说明经济发展因素对人均碳排放也产生反向影响，即经济发展因素的变动会对人均碳排放的增加带来消极作用。还应注意的是，由于SV1最终状态值比SV2最终状态值小，则SV1的绝对值大于SV2的绝对值，这说明就对人均碳排放的影响而言，能源结构因素产生的消极作用要强于能源效率因素产生的消极作用。

#### （二）碳排放量对各影响因素的敏感度分析

对时变参数进行估计，得到敏感系数的动态图（图4-1至图4-3）。

SV1F

-.9508

-.9510

-.9512

-.9514

-.9516

-.9518

-.9520

-.9522

-.9524

1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012

图4-1 人均碳排放对能源结构因素的敏感度

从图4-1可以看出，人均碳排放对能源结构因素的敏感度在1994-1997年间波动很大，1995年略有下降，1996年陡然直降，1997年达到最小值，约为-0.9522.1997年之后呈上升趋势，2003年达到最大值，约为-0.9514.2003年以后缓慢下降，且始终保持负值。这主要是因为1995-1997年安徽省能源消耗中的煤炭占比略有下降，

1997-2003年迅速增加，此后又下降，而单位煤炭燃烧产生的碳排放量是所有能源中

38

最多的，所以人均碳排放对能源结构因素的敏感度会随着煤炭占比的变动而变动。总的来说，能源结构因素对人均碳排放产生一定的降低效果。

SV2F

.0004

.0003

.0002

.0001

.0000

-.0001

-.0002

-.0003

1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012

图4-2 人均碳排放对能源效率因素的敏感度

从图4-2可以看出，能源效率因素对人均碳排放的影响一直比较小，2000年以后趋于稳定。人均碳排放对能源效率因素的敏感度1995-1998年呈迅速上升趋势，

1998-2003年快速下降，2003年以后保持稳定波动状态，基本保持在-0.0001。伴随安徽省经济的迅猛发展，科学技术水平不断提高，能源利用效率也在不断优化，能源效率的提高使得碳排放量有所减少。总的来说，能源结构因素对人均碳排放产生一定的降低效果，但降低效果不太明显。

SV3F

.015

.010

.005

.000

-.005

-.010

-.015

1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012

图4-3 人均碳排放对经济发展因素的敏感度

从图4-3可以看出，经济发展因素对人均碳排放的敏感度波动比较大，1995年略有下降，1996年陡然直降，1997年达到最小值，约为-0.0145,1997年以后开始上升，2000年达到正值，此后虽然仍有波动但始终维持在0.0025.2000年以后，安徽省人均碳排放对经济发展因素的敏感度比较小，说明经济增长会促进人均碳排放的增加，这一点也与本文第二章对安徽省环境库兹涅茨曲线进行研究得出的结论一致。当前安徽省经济发展一直是倚靠第二产业的发展，第二产业的飞速发展则是由于安徽省

39

引进了很多的高污染、高排放企业，这样就使得安徽省的碳排放量越来越多，所以说经济发展因素能够促进人均碳排放的增加。

综上所述，安徽省当前的能源结构因素、能源效率因素及经济发展因素的发展并不完全合理，能源结构因素与能源效率因素给人均碳排放带来效果不太显著的降低效应，经济发展因素给人均碳排放带来程度较轻的增加效应。也就是说，在未来，安徽省可以通过进一步优化能源结构、提高能源效率来有效降低人均碳排放，也可以通过优化第二产业结构、着力发展第三产业等措施削弱经济发展对人均碳排放的促进效果。

## 第三节 本章小结

本节运用安徽省1995-2013年的时间序列数据分析能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放之间的关系，通过构建计量模型并对其进行平稳性检验、协整检验，建立状态空间模型，可以得出以下结论：从长期看，安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放之间存在稳定的动态影响关系。就动态影响而言，能源结构因素、能源效率因素与经济发展因素均将其自身受到的冲击传递给人均碳排放，带来一定的冲击作用；能源结构因素与能源效率因素对人均碳排放产生一定的反向影响，人均碳排放量会随着能源结构因素与能源效率因素的增加而减少；经济发展因素对人均碳排放产生一定的正向影响，人均碳排放量会随着经济的增长而增加。

根据上述研究，政府在制定相关政策时，应充分考虑到能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放之间的相互关系。应尽量减少化石能源的消费，而多使用太阳能等清洁能源；通过加速技术创新、研发环保技术等有效提高能源利用效率；优化经济增长模式，加快第二产业转型升级，积极发展第三产业，从而改善高消耗、高排放产业带来的污染问题。

40

# 第五章 主要结论与政策建议

## 第一节 主要结论

本文以安徽省1995-2013年的数据为样本，通过对安徽省能源消费、经济发展与碳排放量现状进行描述性分析，建立安徽省碳排放与经济增长的环境库兹涅茨曲线，运用LMDI指数法对安徽省碳排放影响因素进行分解，并进一步对碳排放影响因素进行Tapio脱钩效应分析，以及构建变参数状态空间模型对安徽省碳排放影响因素进行实证研究，得出以下结论：

第一、就能源消费而言，安徽省能源消费总量上升趋势明显，在能源结构方面煤炭占据着主要位置但煤炭占比近几年开始逐渐减少，能源强度在不断下降说明安徽省能源效率得到不断提高；就经济发展而言，安徽省经济发展增速明显，在产业结构方面安徽省经济发展目前仍以第二产业为首，第三产业发展还很缓慢；就碳排放量而言，安徽省碳排放量在逐年增加且增速很快，整体变动趋势与能源消费及经济发展的变动趋势相一致；经过验证发现安徽省EKC曲线并不呈倒“U”型，而为正“U”型，说明安徽省人均GDP尚未达到最大阀值，也就是说在未来安徽省人均碳排放量仍会随着人均GDP的增加而不断增加。

第二、经济发展促进碳排放量的增加，能源效率和能源结构抑制碳排放量的增加。通过利用LMDI指数法可以发现，经济发展因素对安徽省人均碳排放的贡献值为正且贡献率最大，是拉动碳排放的主要因素；能源效率因素对安徽省人均碳排放的贡献值为负，是抑制碳排放的主要因素；能源结构因素从长期趋势来看是抑制安徽省碳排放的因素。再建立Tapio脱钩模型测度安徽省发展因素、能源效率因素和能源结构因素对碳排放脱钩指数变化的影响程度，结果一方面验证了LMDI指数法的结果，另一方面还发现长久以来安徽省的碳排放一直处于弱脱钩状态，说明从长期看碳排放的增速一直大于GDP增速。因此，安徽省要想发展低碳经济，打造生态大省，寻求一条经济发展与降低碳排放的和谐发展道路是当务之急，调整产业结构、提高能源利用效率和优化能源消费结构都将有助于降低碳排放量。

第三、安徽省能源结构因素、能源效率因素、经济发展因素与人均碳排放之间存在长期动态关系，能源结构因素与能源效率因素给人均碳排放带来效果不太显著的降低效应，经济发展因素给人均碳排放带来程度较轻的增加效应。说明经济发展模式的不合理使得安徽省的碳排放量增长还处在一个无序状态中，能源结构因素和能源效率因素虽然会起到一定的抑制作用，但是目前为止这种抑制作用还是十分微弱的。

41

## 第二节 政策建议

### 一、 加快产业结构转型升级，实行产业低碳化

安徽省2013年三次产业占比为11.79: 54.03: 34.18,表明安徽省现在的产业结构仍为“二三一”，并没有达到理想的产业结构“三二一”，安徽省产业结构急需转型升级。

当前安徽省面临非常好的发展机遇，正处于工业发展的大好时机，第二产业依然是产业发展的的主要推动力，其在经济发展中的地位是第一、三产业目前无法撼动的。与此同时，受前期粗放的工业发展模式的影响安徽省引进了许多高污染、高排放的重工业，因此降低碳排放和产业结构升级的重点就是优化第二产业结构。优化第二产业结构的基本路线应该是进一步促进生产要素由附加值低、高污染、高能耗、高排放的行业向附加值高、低污染、低能耗、低排放的轻工业和高新技术产业流动，降低第二产业发展对能源的依赖程度。对目前的重污染和高能耗的企业要积极进行整改，淘汰技术落后、高排放的企业，鼓励企业使用新技术、新设备，改进企业的环保技术，降低碳排放量。高新技术产业是未来经济发展的制高点，具有能源消耗少、综合收益高、技术密集等特点，安徽省应积极引进高新技术产业，打造更多类似合肥市高端装备制造产业集群、芜湖市节能环保装备制造产业集群、马鞍ft市高性能铁基新材料产业集群、安庆市高分子复合材料产业集群等这样的产业集群，这样的产业集群容易增强企业间的良性竞争和技术合作交流，从而形成规模效应。2013年安徽省第三产业占比仅为34.18%，第三产业发展水平偏低、速度太慢。安徽省应加大对第三产业的扶持力度，通过出台各类相关政策方针为其提供一定的便利，逐步提升第三产业在安徽省经济发展中的地位，根据安徽省的实际情况考虑可以集中力量大力发展服务业、金融业等。只有当第三产业真正的成长起来，即经济水平和重要性都能与第二产业旗鼓相当的时候，安徽省的经济发展才能够真的说脱离第二产业。就第一产业而言，安徽省应出台政策鼓励农民使用环保型生产资料，加大农业科研资金投入力度，推广农业环保技术，培养农村科技环保人才。

### 二、 调整能源消费结构，使用清洁能源

在安徽省当前的能源消费量中煤炭消费量占据主要位置，而受技术水平所限煤炭的大量燃烧会产生大量的碳排放，因此安徽省必须采取措施调整当前不合理的能源消费结构。

调整能源消费结构，主要是实现由煤炭等化石能源向电力等清洁能源的转化，有条件的县市都应积极开发利用太阳能、风能、生物能等清洁能源，不断降低碳排放强度和能源强度，从而慢慢减少甚至杜绝化石能源的使用，从源头上就消除碳排放产生

42

的可能性，这样才能更好的实现经济发展水平与碳排放量的脱钩发展。在条件允许时，加大能源消费结构调整力度，扩大可再生能源消费比例，降低碳基能源消费比重，从而可以实现经济可持续增长，同时减少碳排放。大力推进和发展洁净煤技术，降低化石能源的消费比重，促进能源消费向低碳、清洁方向发展，从而既保证能源消费供给总量又降低环境污染。

### 三、 加大科研投入力度，提升能源使用效率

研究表明提高安徽省能源使用效率能够减缓碳排放量的增加，但是当前这种减缓幅度还很小，这主要是因为安徽省能源使用效率还非常低，所以应采取措施提升能源使用效率。

一方面，安徽省政府应大力培养和引进低碳以及能源效率研究方面的高素质人才，为安徽省的低碳经济发展提供人才支持和储备；另一方面，应加大技术研发资金的投入，鼓励并大力支持企业进行低碳技术和能源效率技术的研发与创新，促使经济发展方式的转变。此外，安徽省拥有众多的高校、研究所和科技企业，科技人才众多，政府应采取相关激励政策引导这些高校、研究所和科技企业去对低碳技术和能源效率技术进行研究，并且可以主动牵线高校、研究所同科技企业之间去强强联合，从而集中高校、研究所的科研能力以及企业的资金去集中进行低碳技术和能源效率技术的研发。更为重要的是，政府应鼓励创新技术落实到企业的具体生产当中去，真正将技术水平转化为实际生产力，还应出台相关政策对新型低碳技术和能源效率技术进行支持和保护，并对做出突出贡献的科研人员、机构和企业进行表彰，从而提高科研人员、机构和企业的研发热情。

### 四、 提倡低碳消费，鼓励低碳生活

2014年IPCC发布的全球气候第五次研究结果表明空气中碳排放量大部分来自于企业的生产活动，还有一部分来自于日常生活，所以发展低碳经济不仅仅是政府和企业的责任，普通居民也要为发展低碳经济做出贡献。政府应广泛利用现代互联网信息平台，如微博、微信等，提倡低碳消费观并鼓励居民进行低碳生活。可以通过生动的公益广告让居民可以很便捷的获取节能减排方面的知识以及如何在日常生活中开展低碳生活，从而潜移默化的引导居民树立实行低碳消费、开展低碳生活的意识。

当前雾霾、温室效应等环境污染问题日益凸显，对人类的生产生活已经造成很大的困扰，如果环境继续恶化下去的话终有一天会威胁到居民的生活，所以居民自身也应认识到低碳减排的重要性，身体力行的去践行低碳消费和低碳生活的理念。在日常生活中要尽量避免对水、电等资源的浪费，做到随手关闭水龙头和电开关；要减少一次性筷子、塑料袋等的使用，尽量多使用公筷和布袋；夏天要合理使用空调，空调温度控制在26摄氏度即可，尽量选用节能空调；出门最好选择步行、骑单车或者乘坐

43

公交、地铁，尽可能的减少驾驶私家车出行。低碳消费、低碳生活不仅是一种生活态度，更是一种社会责任。

44

附 **录**

附录**A 1995-2013**年GDP、人均GDP、总人口、单位**GDP**能源消费量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | GDP | 人均 GDP | 总人口 | 单位 GDP 能源消费量 |
| （万元） | （元/人） | （万人） | （吨/元） |
| 1995 | 1810.66 | 3070 | 5923 | 5923 |
| 1996 | 2093.30 | 3524 | 5957 | 5957 |
| 1997 | 2347.32 | 3929 | 5992 | 5992 |
| 1998 | 2542.96 | 4235 | 6016 | 6016 |
| 1999 | 2712.34 | 4495 | 6051 | 6051 |
| 2000 | 2902.09 | 4779 | 6093 | 6093 |
| 2001 | 3246.71 | 5313 | 6128 | 6128 |
| 2002 | 3519.72 | 5736 | 6144 | 6144 |
| 2003 | 3923.11 | 6375 | 6163 | 6163 |
| 2004 | 4759.30 | 7681 | 6228 | 6228 |
| 2005 | 5350.17 | 8670 | 6120 | 6120 |
| 2006 | 6112.50 | 10044 | 6110 | 6110 |
| 2007 | 7360.92 | 12039 | 6118 | 6118 |
| 2008 | 8851.66 | 14448 | 6135 | 6135 |
| 2009 | 10062.82 | 16408 | 6131 | 6131 |
| 2010 | 12359.33 | 20888 | 5957 | 5957 |
| 2011 | 15300.65 | 25659 | 5968 | 5968 |
| 2012 | 17212.05 | 28792 | 5988 | 5988 |
| 2013 | 19229.34 | 32001 | 6030 | 6030 |

45

附录**B** 1995-2013年安徽省能源消费总量及九种能源消费占比

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 能源消费  总量 | 煤炭  占比 | 焦炭  占比 | 原油  占比 | 汽油  占比 | 煤油  占比 | 柴油  占比 | 燃料油  占比 | 天然气  占比 | 电力  占比 |
| （万吨） | （%） | （%） | （%） | （%） | （%） | （%） | （%） | （%） | （%） |
| 1995 | 4194.06 | 80.20 | 7.12 | 4.48 | 0.94 | 0.09 | 1.75 | 0.76 | 0.00 | 4.67 |
| 1996 | 4531.32 | 80.23 | 7.02 | 4.59 | 0.86 | 0.05 | 1.87 | 0.71 | 0.00 | 4.67 |
| 1997 | 4414.93 | 79.20 | 7.54 | 4.70 | 0.90 | 0.03 | 1.88 | 0.83 | 0.00 | 4.93 |
| 1998 | 4557.70 | 79.86 | 7.64 | 4.24 | 0.95 | 0.05 | 1.93 | 0.74 | 0.00 | 4.59 |
| 1999 | 4665.72 | 79.76 | 7.66 | 4.24 | 0.96 | 0.11 | 1.99 | 0.76 | 0.00 | 4.53 |
| 2000 | 4878.82 | 80.00 | 7.22 | 4.67 | 0.93 | 0.03 | 1.92 | 0.64 | 0.00 | 4.59 |
| 2001 | 5118.08 | 81.36 | 6.94 | 3.68 | 0.90 | 0.03 | 1.89 | 0.60 | 0.00 | 4.60 |
| 2002 | 5315.97 | 81.32 | 6.77 | 3.75 | 0.90 | 0.03 | 1.90 | 0.58 | 0.00 | 4.75 |
| 2003 | 5457.09 | 81.57 | 6.53 | 3.65 | 0.84 | 0.08 | 1.89 | 0.59 | 0.00 | 4.85 |
| 2004 | 6016.89 | 81.46 | 5.67 | 4.37 | 0.81 | 0.09 | 1.97 | 0.25 | 0.00 | 5.37 |
| 2005 | 6505.98 | 81.71 | 5.28 | 4.06 | 0.85 | 0.10 | 2.06 | 0.23 | 0.01 | 5.70 |
| 2006 | 7069.39 | 80.55 | 5.95 | 4.06 | 0.89 | 0.10 | 2.19 | 0.20 | 0.02 | 6.04 |
| 2007 | 7739.33 | 80.09 | 6.63 | 3.69 | 0.94 | 0.09 | 2.12 | 0.11 | 0.03 | 6.30 |
| 2008 | 8325.40 | 81.36 | 6.09 | 3.05 | 0.91 | 0.08 | 2.21 | 0.11 | 0.05 | 6.14 |
| 2009 | 8895.90 | 82.06 | 5.55 | 2.94 | 0.91 | 0.09 | 2.13 | 0.09 | 0.06 | 6.17 |
| 2010 | 9706.60 | 81.57 | 5.55 | 2.91 | 0.96 | 0.05 | 2.23 | 0.07 | 0.08 | 6.57 |
| 2011 | 10570.23 | 81.56 | 5.32 | 2.72 | 0.99 | 0.05 | 2.34 | 0.06 | 0.11 | 6.85 |
| 2012 | 11357.95 | 80.09 | 5.43 | 2.30 | 1.37 | 0.06 | 3.15 | 0.06 | 0.14 | 7.41 |
| 2013 | 12060.36 | 80.41 | 4.68 | 1.99 | 1.53 | 0.05 | 2.78 | 0.15 | 0.18 | 7.23 |

46

参考文献

[1]张雷.中国一次能源消费的碳排放区域格局变化[J].地理研究，2006, 25(1)：1-8.

[2]刘兰翠.我国二氧化碳减排问题的政策建模与实证研究[D].中国科学技术大学管理科学与工程，2006.

[3]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(6)：158-161.

[4]冯相昭，邹骥.中国二氧化碳排放趋势的经济分析[J].中国人口・资源与环境，2008, 18(3):43-47.

[5]赵欣，龙如银.考虑全要素生产率的中国碳排放影响因素分析[J].资源科学，2010, 32(10)：1863-1870.

[6]王俊松，贺灿飞.能源消费、经济增长与中国二氧化碳排放量变化——基于LMDI方法的分解分析[J].长江流域资源与环境，2010,19(01)：18-23.

[7]温景光.江苏省碳排放的因素分解模型及实证分析[J].华东经济管理，2010，24

（2）：29-32.

[8]郭朝先. 中国碳排放因素分解：基于LMDI分解技术[J]. 中国人口资源与环境，2010,20(12)：4-9.

[9]赵欣.江苏省碳排放现状及因素分解实证分析[J]. 中国人口・资源与环境, 2010, 20(7)：25-30.

[10]李艳梅，杨涛.中国C02排放强度下降的结构分解——基于1997年-2007年的投入产出分析[J].资源科学.2011(04)：12-19.

[11]查建平，郑浩生，唐方方.中国区域工业碳排放绩效及影响因素实证研究[J].软科学,2012, 26(4)：1-6.

[12]邱强，李庆庆.中国进出口贸易隐含碳排放测算及驱动因素研究[J].经济管理，2012(11)：10-18.

[13]张新红，王哲如。我国工业部门碳排放影响因素分析[J]. 工业技术经济,2013(5):123-139.

[14]马宏伟，刘思峰，赵月霞，马开平，袁潮清.基于STIRPAT模型的我国人均二氧化碳排放影响因素分析[J].数量统计与管理，2015(3)：243-253.

[15]吴振信，谢晓晶，王书平.经济增长、产业结构对碳排放的影响分析——基于中国的省际面板数据[J].中国管理科学，2012(3)：161-166.

[16]郑长德，刘帅.产业结构与碳排放：基于中国省际面板数据的实证分析[J].开发研究，2011(2)：26-33.

[17]韩坚，盛培宏.产业结构、技术创新与碳排放实证研究——基于我国东部15个省

47

（市）面板数据[J].上海经济研究,2014(8):67-74.

[18]王薇.城市化、产业结构与碳排放的动态关系研究——基于VAR模型的实证分析

[J].生态经济,2014(11):28-35.

[19]张友田。经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究,2010(4):120-133.

[20]牛鸿蕾.中国产业结构调整的碳排放效应——基于STIRPAT扩展模型及空间面板数据的实证研究[J].经济研究，2010(4)：53-62.

[21]欧元明，周少甫.基于空间面板STIRPAT模型的省域碳排放研究[J].工业技术经济，2015(3)：58-65.

[22]王怡. 环境规制视角下我国工业碳排放的灰色斜率关联分析[J]. 管理科学，2011(4)：791-797.

[23]王怡，王艳秋.中国环境规制、技术创新与碳排放量关系的动态分析——基于脉冲响应函数和方差分解法[J].经济与管理，2013(2)：5-10.

[24]包群，彭水军.经济增长与环境污染：基于面板数据的联立方程估计[J].世界经济，2006(11)：48-58.

[25]黄菁，陈霜华.环境污染治理与经济增长：模型与中国的经验研究[J].南开经济研究，2011(1)：142-152.

[26]孙耀华，李忠民.中国各省区经济发展与碳排放脱钩关系研究[J].中国人口・资源与环境，2011(5)：87-92.

[27]孙睿. Tapio脱钩指数测算方法的改进及其应用[J]. 技术经济与管理研究，2014(8)：7-11.

[28]杨万平，袁晓玲.环境库兹涅茨曲线假说在中国的经验研究[J].长江流域资源与环境，2009(8)：704-710.

[29]许广月，宋德勇.中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据.中国工业经济，2010(5)：37-47.

[30]朱勤，彭希哲，陆志明，吴开亚.中国能源消费碳排放的因式分解及实证分析[J]. 资源科学2009(12)：5-11.

[31]郭朝先.中国碳排放因素分解：基于LMDI分解技术[J].中国人口・资源与环境，2010(12)：5-9.

[32]王锋，吴丽华，杨超.中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J].经济研究，2010(2)：123-137.

[33]彭水军，包群.经济增长与环境污染：环境库假说的中国检验[J].财经问题研究，2006(273)：3-17.

[34]张红凤，周峰等. 环境保护与经济发展双赢的规制绩效实证分析[J].经济研究，2009(3)：54-67.

48

[35]孙欣，张可蒙.中国碳排放强度影响因素实证分析[J].统计研究，2014(2)：61-67.

[36]张文彬，张理芃，张可云.中国环境规制强度省际竞争形态及其演变——基于两区制空间Durbin固定效应模型的分析[J].管理世界，2010(12)：34-44.

[37]武艳君，贾立江.基于状态空间模型的碳排放影响因素实证研究[J].工业技术经济，2013(9)：138-143.

[38]张晓峒.计量经济学软件EViews使用指南[M].南开大学出版社,2003。

[39]吴振信，谢晓晶，王书平.经济增长、产业结构对碳排放的影响分析——基于中国的省际面板数据[J].中国管理科学，2012(3)：161-163. [40]陶磊.中国能源消费与经济增长的动态关系——基于状态空间模型的[J变参数分析]。数理统计与管理，2009(9)：768-775.

[41]余辉，余剑. 我国金融状况指数构建及其对货币政策传导效应的启示——基于时变参数状态空间模型的研究[J].金融研究，2013(4)：85-98.

[42] Shafik N, Bandyopadhyay S. Economic growth and environmental quality: time serious and cross-country evidence. [R]. Background paper for world Development Report,1992. [43] Friedl B., M. Getzner. Determinants of C02 emission in a small open economy[J]. Ecological Econimics,2003(45):133-148.

[44] Schipper. L, Murtishaw. S, Khrushch. M. Carbon Emissions from Manufacturing Energy Use in 13 EA Countries: Long-term Trends through 1995[J]. Energy Policy,2001,29:667-688.

[45] Ang BW, Pandiyan G. Decomposition of energy-induced C02 emissions in manufacturing[J]. Energy Economics,1997,19(3):363-374.

[46] Hettige. Industrial Pollution in Economic Development[J] Journal of Development Economics,2000.

[47] Chatterjee, Lata, Han Xiaoli. Impacts of Growth and Structural Change on C02, Emissions of Developing Countries [J]. World Development,1997, 25 (3): 395-407. [48] Greening L A, Davis W B, Schipper L. Decomposition of Aggregate Carbon Intensity for the Manufacturing Sector: Comparison of Declining Trends from 10 OECD Countries for the period 1971-1991[J]. Energy Economics, 1998,20(1):43-65.

[49] Ang B. W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition [J]. Energy,1998,23(6):489-495. [50] K. Liaskas, G. Mavrotas, M. Mandaraka, D. Diakoulaki. Decomposition of industrial C02 emissions: The case of European Union[J]. Energy Economics,2000(22):383-394.

[51] Johan Albrecht, Delphine Francois, Koen Schoors. A shapley decomposition of carbon emissions without residuals[J]. Energy Policy, 2002(30):727-736.

[52] Wu, Libo, Kaneko, Shinji, Matsuoka, Shunji. Driving Force behind the stagnancy of China's Energy-related C02 Emission from 1996 to 1999: the Relative Importance of Structural Change, Intensity Change and Scale Change[J]. Energy

49

Policy,2005, (33):319-335.

[53] Fan Ying, Liu Lancui, Wu Gang, et al. Analyzing impact factors of C02 emissions using the STIRPAT model[J]. Environmental impact Assessment Review,2006,26(4):377-395.

[54] Chunbo Ma, David I. Stern. China's Carbon Emissions 1971-2003[R]. Rensselaer Working Papers in Economics,2007.

[55] G. Ipek Tuncetal, David I. China's changing energyintensity trend: A decomposition analysis[J]. Energy Economics.2008.

[56] Brant Liddle, Sidney Lung. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related Impacts[J]. Popul Environ,2010(1):007-031.

[57] Kumbaroglu G. A sectoral decomposition analysis of Turkish C02 emissions over 1990-2007[J]. Energy,2011,36(5):2419-2433.

[58] Mahony T, Zhou P, Sweeney J. The Driving Forces of Change in Energy Related C02

Emissions in Ireland: a Multi-Sect oral Decomposition from 1990to 2007[J]. Energy Policy, 2012(44):256-267.

[59] Maria LloP. Eeonomie Strueture and pollution Intensity Within the EnvironmentalInPut-outPutFramework[J]. EnergyPoliey,2007,35(6):3410-3417. [60] Chebbi H E. Long and short-run linkages between economic growth, energy

Consumption and C02 emissions in Tunisia[J]. Middle East Development Journal,2010,2(1):139-158.

[61] Lucas Bretschger, Roger Ramer, Florentine Schwark. Growth Effects of Carbon Policies: Applying a Fully Dynamic CGE Model With Heterogeneous Capital[J]. Resource and Energy Economics,2011(33):963-980.

[62] Berman E, Bui L T. Environmental Regulation and Productivity: Evidence from Oil Refineries[J]. The Review of Economics and Statistic,2001,88(3):498-510. [63] Grossman, G. M. and Krueger, A. B." Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement". NBER Working Paper,3914,1991.

[64] Ang B. W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition [J]. Energy,1998,23(6):489-495.

[65] Dicky, D. A. and W. A. Fuller. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root[J], Journal of the American Statistical Association,1979(74):427-431.

[66] Kalman, R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems [J]. Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering,1960(82):34-45. [67] Hamilton. Time series analysis[M]. New Jersey: Princeton University Press,1994.

50

致 **谢**

时光荏苒，岁月如梭，随着毕业论文的最终完成，也意味着两年半的研究生生涯即将结束，将要踏入人生的另一个阶段。回顾在安徽财经大学学习和生活的这六年半的点点滴滴，所有的一切都仿佛发生在昨日，在这六年半里有过欢乐与喜悦、失落与彷徨，但最重要的是学会了成长。美丽的校园和浓厚的师生情将永远铭刻在我内心深处，成为我人生中最美好的一段回忆。饮水思源，我要感谢的人实在太多，唯有用感谢来表达我的情感。

回顾整个研究生生涯中，首先我要感谢的是我的导师王玉梅教授，感谢王老师在研究生期间对我学术及生活上所给予的帮助。尤其是在撰写毕业论文的过程中，从论文的选题、论文的进度、论文的完成，王老师都耐心给我把关和提供修改意见，及时解决我遇到的各种困难和阻碍。还要特别感谢王老师对我的耐心与包容，给了我足够多的空间和指引，在此谨致以我最诚挚的谢意和最崇高的敬意。

其次，我也非常感谢杨桂元老师、夏茂森老师、方国斌老师及石绍炳老师。他们不仅认真耐心传授我专业课知识，同时还让我对论文写作有了新的认识。同时，还要诚挚地感谢陈年红教授、余华银教授、张焕明教授、宋马林教授、马成文教授、夏万军教授、陈晓玲教授等硕士研究生导师以及统计与应用数学学院的各位老师们在我们研究生期间所给予的指导和帮助，衷心的祝愿和感谢各位老师。

再次，感谢我的同门芮源，感谢可爱的师妹张彬和张艳，感谢与我共同生活、共同成长的室友周洁、高凤、杨柳，因为有她们研究生生活充满欢乐。同时，我还要感谢我的父母和哥哥，感谢他们一直以来的默默付出，感谢他们对我学业的支持。

最后，衷心的感谢所有的评阅和答辩专家和教授，感谢你们在百忙之中抽出时间为我们审阅论文！

林青霞

2015年12 月

51

#### 读研期间科研成果

**—、发表论文**

[1] 林青霞, 芮源. 基于DEA方法的合肥市可持续发展能力研究[J]. 重庆科技学院学报, 2014(10).

[2] 林青霞, 袁宏俊. 基于广义IOWA算子的安徽省税收组合预测模型[J]. 重庆文理学院学报, 2015(5).

[3] 王玉梅, 芮源, 林青霞. 基于时变参数的中国第一产业要素产出弹性估计[J]. 长安大学学报（社会科学版）, 2015(1).

**二、科研活动**

[1] 林青霞, 芮源, 沈永昌. 人体营养健康角度的中国果蔬发展战略研究. 第十一届“华为杯”全国研究生数学建模竞赛三等奖参赛论文.

52