

分类号 C8/268
UDC _____

密级
编号 10741

兰州财经大学

LANZHOU UNIVERSITY OF FINANCE AND ECONOMICS

硕士学位论文

论文题目 基于非竞争型投入产出表的制造业
能源消费与污染物排放的实证研究

研究生姓名: 杨鑫环

指导教师姓名、职称: 韩君 教授

学科、专业名称: 应用经济学 统计学

研究方向: 经济与社会统计

提交日期: 2021年6月6日

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 杨鑫环 签字日期： 2021年6月6日

导师签名： 杨 签字日期： 2021年6月6日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定，同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分內容。

学位论文作者签名： 杨鑫环 签字日期： 2021年6月6日

导师签名： 杨 签字日期： 2021年6月6日

An Empirical study of Energy Consumption and Pollutant Emissions in Manufacturing Based on Noncompetitive Input-Output Table

Candidate : Yang Xinhuan

Supervisor: Hanjun

摘要

我国经济的快速增长带来了能源消费的持续攀升和环境污染问题,作为能源消费量全球第一的国家,我国经济增长、能源消费与环境保护三者之间的尖锐矛盾是制约当今经济绿色可持续发展的重要难题。制造业是我国实体经济发展的核心,但制造业具有能源消费体量大,污染物排放量高的特点,且制造业“大而不强,质量不高”的问题仍然突出。新时代下,迫切需要缓解我国能源供求矛盾和改善生态环境质量,而探究制造业能源消费与污染物排放之间的关系及其相互影响显得尤为重要。

本文总结和归纳了国内外关于各行业能源消费、污染物排放测算方法及非竞争型投入产出模型来分析能源环境问题的现状,在此基础上,得出了本文研究方法、思路和内容。接着从投入产出理论、能源经济理论和环境污染理论视角分析能源、经济和环境之间的关系,为本文的实证研究提供理论基础。其次介绍了我国产业结构、制造业能源消费、制造业污染物排放的现状及存在的问题。再次利用 2000-2014 年世界投入产出表数据,加入制造业能源消费和大气污染两大模块,构建非竞争混合型投入产出表,运用相关的经济数学模型得到制造业能源的完全消费系数、大气污染物和二氧化碳排放的完全排放系数及煤炭影响力系数。最后得出结论:从总体上看,2000-2014 年我国制造业能源消费量、制造业二氧化碳排放量和大气污染物排放量均呈逐年增长的趋势;制造业的节能减排效果非常显著,高技术制造业的节能减排效应最为明显,制造业能源消费结构正由煤炭、石油等化石能源向天然气、电力等清洁能源转换;制造业产业结构调整对大气污染物减排几乎没有贡献;煤炭消费仍是制造业各行业大气污染物和温室气体排放的主因,对煤炭消费有显著影响的行业主要集中于中低技术制造业和中高技术制造业行业,值得重点关注并对工艺进行升级。本文基于制造业产业结构和能源消费两个方面,对治理污染物排放得到了两点启示。

关键词: 制造业 能源消费 污染物排放 非竞争投入产出模型

Abstract

The rapid growth of my country's economy has brought about a continuous increase in energy consumption and environmental pollution. As the world's largest energy consumption country, the sharp contradiction between my country's economic growth, energy consumption and environmental protection restricts the green economy of today's economy. An important problem for sustainable development. Manufacturing is the core of the development of my country's real economy. However, the problem of "large but not strong, low quality" of manufacturing is still prominent, and manufacturing is an industry with high energy consumption and high pollution emissions. If China wants to become an "economic power" To move towards an "economic power", we must follow the path of high-quality development of China's manufacturing industry. In this context, studying the relationship between energy consumption and pollutant emissions in the manufacturing industry is very important for promoting stable economic growth, alleviating the contradiction between energy supply and demand, and improving the quality of the ecological environment.

This article summarizes and summarizes the current situation of energy consumption, pollutant emission measurement methods and non-competitive input-output methods to analyze energy environmental issues at home and abroad. On this basis, the research methods, research

ideas and research ideas of this article are derived. research content. Then this article analyzes the relationship between energy, economy and environment from the perspective of input-output theory, energy economic theory and environmental pollution theory, and provides a theoretical basis for the empirical research of this article. Secondly, it introduces the current situation and existing problems of my country's industrial structure, manufacturing energy consumption, and manufacturing pollutant emissions. Using the data from the 2000-2014 world input-output table of my country's manufacturing input-output table again, introduce manufacturing energy consumption and air pollution modules, construct a non-competitive mixed input-output table, and use relevant economic mathematical models to obtain manufacturing The complete energy consumption coefficient and the complete emission coefficient of air pollutants and carbon dioxide emissions and the coal influence coefficient. Finally, it is concluded that, on the whole, my country's total energy consumption, manufacturing energy consumption, manufacturing carbon dioxide and air pollutant emissions from 2000 to 2014 have shown a trend of increasing year by year; The energy-saving and emission-reduction effects of the manufacturing industry are very significant. The energy-saving and emission reduction effects of the high-tech manufacturing industry are the most obvious, and the energy consumption of the manufacturing industry is changing from fossil

energy such as coal and oil to clean energy such as natural gas and electricity; The contribution of the adjustment of the manufacturing industry structure to the reduction of greenhouse gases and air pollutants is not obvious; coal consumption is still the main cause of air pollutants and greenhouse gas emissions in various manufacturing industries, and the industries that have a significant impact on coal consumption are mainly concentrated in The low- and medium-tech manufacturing industries and the medium- and high-tech manufacturing industries are worthy of attention and process upgrades. Based on the two aspects of manufacturing industry structure and energy consumption, this article has gained two enlightenments for the treatment of pollutant emissions.

Keywords : Manufacturing; Energy consumption; Pollutant emissions;
Non-competitive input-output model

目录

1 引言	1
1.1 选题背景及研究意义	1
1.1.1 选题背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 文献综述	2
1.2.1 关于各行业能源消费的研究	2
1.2.2 关于污染物排放测算方法的研究	4
1.2.3 关于非竞争型投入产出模型的研究	5
1.2.4 研究述评	6
1.3 研究思路、结构安排及方法	6
1.3.1 研究思路	6
1.3.2 结构安排	7
1.3.3 研究方法	7
1.4 本文的创新之处与不足	8
1.4.1 本文的创新之处	8
1.4.2 本文不足之处	9
2 基本理论及非竞争混合型投入产出模型的构建	10
2.1 基本理论	10
2.1.1 投入产出核算理论	10
2.1.2 能源经济学理论	10
2.1.3 环境污染理论	11
2.2 非竞争型投入产出表的设计	12
2.2.1 非竞争型投入产出表的基本框架	13
2.2.2 非竞争型投入产出表的基本假设	14
2.3 非竞争投入产出表的编制	14
2.3.1 编制流程	14
2.3.2 数据来源与处理	15
2.4 非竞争投入产出表的经济数学模型的建立	15
2.4.1 平衡关系	15
2.4.2 模型研究	17
3 制造业能源消费、污染物排放的现状描述	18

3.1 我国产业结构现状描述.....	18
3.1.1 三次产业发展现状.....	18
3.1.2 三次产业对 GDP 的贡献描述.....	18
3.1.3 我国制造业现状描述.....	19
3.2 我国能源消费现状分析.....	20
3.2.1 我国能源资源现状.....	20
3.2.2 制造业能源消费总量.....	21
3.2.3 制造业能源消费结构变动.....	24
3.3 我国污染物排放现状分析.....	27
3.3.1 制造业污染物排放总量.....	27
3.3.2 制造业二氧化碳排放量的计算结果分析.....	28
4 非竞争型投入产出模型的实证分析.....	32
4.1 制造业部门分类依据及结果.....	32
4.2 基本分析.....	34
4.2.1 总量分析.....	34
4.2.2 基于完全消费系数的分析.....	36
4.2.3 基于完全排放系数的分析.....	37
4.3 制造业产业结构的调整对大气环境的影响.....	39
4.4 制造业能源消费对大气环境的影响.....	41
5 结论与启示.....	43
5.1 结论.....	43
5.2 启示.....	44
参考文献.....	46
后记.....	50

1 引言

能源是经济系统的输入端，同时也是经济社会发展的重要物质基础，能源消费的持续消耗会对环境造成严重破坏，产生大量的温室气体和大气污染物。大气污染物是经济系统的输出端，会随着能源消费量的增多而增多，它们二者反过来又相互制约着经济的绿色可持续发展。新时代下，经济发展、能源消费与环境污染三者之间的矛盾日益尖锐，如何在经济平稳增长的同时降低能源消费量和大气污染物排放量是我国走高质量发展道路的必然选择。

本文以制造业为例，研究制造业能源消费与污染物排放量及其相互影响关系，通过各行业能源消费、污染物排放测算和非竞争型投入产出法的文献梳理，得到本文的研究方法和思路、可能创新点和不足，奠定了本文的研究基调。

1.1 选题背景及研究意义

1.1.1 选题背景

2015 年中国政府向世界承诺：2030 年我国单位 GDP 二氧化碳排放量将会下降 60%-65%。2009 年哥本哈根气候峰会上，中国政府为世界各国达成“节能减排”协议做出了重要贡献。党的十九大报告提出：“清洁低碳和安全有效是我国能源体系改革的新要求，要推动能源体制机制变革，优化能源生产结构，加强大气污染综合治理”，同时也作出了我国已进入高质量发展阶段的论断。中国向全世界展示了作为一个负责任大国的姿态和始终致力于节能减排的决心。2019 年我国国内生产总值为 99.1 万亿元，相比 1978 年同比增长了 241%，新常态下，我国经济进入快车道，呈中高速增长。但据《BP 世界能源统计年鉴》显示，2018 年中国能源消费量所占的比重和能源消费增速分别为 24%和 4.3%，煤炭占我国能源结构的比重为 58%，制造业能源消费所占比重高达 54.8%，制造业是我国能源消耗量和污染物排放量最大的产业部门。

制造业是我国实体经济的基础和核心，但制造业“大而不强，质量不高”的问题仍然突出。《中国制造 2025》战略的提出，为我国实现“制造强国”提供了行动指南，其所拟定的“三步走”战略要求大力发展中高技术和高技术制造业，增强我国制造业自主创新能力和促进传统制造业产业改进升级。毋庸置疑，制造

业是高能耗、高污染的行业，制造业的快速发展造成了大量的能源消耗和环境的破坏。虽然近年来，制造业单位能耗呈持续下降的趋势，但受到我国制造业体量大的影响，制造业能源消费总量和人均能源消费量仍然不断上升且处于较高的水平。新常态下，走我国制造业高质量发展的道路是解决能源消耗、环境污染与经济增长三者之间矛盾的必然选择。从经济发展的历史来看，坚定不移的打好防治污攻坚战，推动生态环境高质量发展，是我国实现由“经济大国”向“经济强国”迈进的必然选择，有助于形成制造业绿色低碳可持续发展的新模式。如何在经济稳定增长和节能降耗的双重约束下实现制造业高质量发展，这是世界各国政府、学术界极为关注的问题。新常态下，探究制造业能源消费对污染物排放量的影响及其之间的相互关系，对于节约能源和减少污染物排放量意义重大。

1.1.2 研究意义

制造业是我国实体经济发展的核心，也是推动经济发展的重要产业部门，但同时也伴随着高能耗、高污染和高排放等一系列问题。因此如何有效的优化制造业能源消费结构，以提高整个经济系统输入端的能源利用效率，同时减少经济系统输出端的污染物排放量已成为各国的共识。

新常态下，制造业高质量发展与制造业能源消费和污染物排放量之间的矛盾日益突出，制造业能源供给侧结构性改革势在必行。因此，在当下国际形势与国内背景下，研究制造业产业结构调整对能源消耗以及大气污染物排放量的影响，对于有效治理我国雾霾天气、守护绿水青山、保证金山银山、建设“美丽低碳新中国”、发展“中国模式”、走低碳发展道路具有十分紧迫的必要性和现实意义。

1.2 文献综述

1.2.1 关于各行业能源消费的研究

能源是我国经济发展的物质基础，同时也是支撑我国经济增长的动力来源，关于各行业能源消费的研究一直是学术界关注的重点问题，大多数学者们主要从能源消费与产业结构、能源消费与制造业产业结构升级等方面进行研究，主要运用指数分解和结构分解的研究方法。孙建（2014）^[36]构建了重庆市制造业碳排放因素分解模型，研究结果表明产业规模越大制造业碳排放量越高，能源强度的

降低可以显著减少碳排放量。从以不同的经济区域作为研究对象来看,部分学者从全国的角度来探究能源消费情况,比较有代表性的有:郑义(2012)^[48]、范丹(2013)^[15]、ZENG L(2014)^[8]、WANG W(2014)^[7]、冯梅(2019)^[16]。还有部分学者从某个具体省份的角度来探究能源消费情况,比较有代表性的有:段显明(2011)^[14]、陶玉国(2014)^[37]、赵选民(2015)^[47]、CHONG C(2017)^[1]。还有少数学者从经济区域角度入手,如武义青(2014)^[42]、宗刚(2016)^[50]以京津冀为研究对象,彭俊铭(2012)^[33]从珠三角区域进行研究,黄勤(2017)^[18]、徐如浓(2016)^[43]从长江经济带入手进行分析。从产业结构细分上看,有些学者专门研究某个具体行业的能源消费情况,比较有代表性的有:DAI Y & GAO HO(2016)^[2]、LU Y(2018)^[5]、WANG M & FENG C(2018)^[6]。

关于能源消费与产业结构的研究,学者们更加青睐于以工业产业部门为研究对象。曾波(2006)^[10]认为产业结构的变动是影响能源消费量的最主要因素,且工业部门对能源消费的需求量最大。史丹(1999)^[35]认为能源消费结构与产业结构的关系最为紧密,第一产业对煤炭的需求量最大,工业产业的发展对石油的消费量最大,第三产业对电力的需求量最为旺盛。李力、王凤(2008)^[21]对我国制造业能源强度进行了迪氏因素分解,研究发现:1995-2006年我国能源消费强度处于不断下降的趋势,这主要是因为我国煤炭等一次能源利用效率低下导致的。

关于能源消费与制造业升级关系的研究。李翠(2018)^[20]建立了我国制造业动态面板模型(STIRPAT),认为制造业产业结构升级与能源消费量之间存在显著的双门槛效应,制造业产业结构的升级可以显著的减少能源消费量。马珩(2015)^[30]构建了制造业高级化指数,通过实证分析发现:制造业高级化指数与能源消费量呈负相关关系,即制造业高级化指数越高能源消费量越低,制造业产业结构的优化有利于降低能源消费量。陆平、乔标(2016)^[27]认为产业结构规模大小、能源利用效率高和产业结构的调整均会对制造业能源消费量产生影响,且产业规模的扩张和能源利用效率的提升可以显著降低能源消费量,产业结构调整对能源消费的影响作用甚微;从行业细分来看,石油加工、金属冶炼、化学制品等行业是制造业能源消费的主力。艾明晔(2012)^[9]认为1993-2009年我国制造业碳排放总量持续增长,但碳排放强度在不断下降,重点发展型、升级发

展型、规范发展型和约束发展型制造业行业的碳排放负荷和经济贡献程度各不相同。

1.2.2 关于污染物排放测算方法的研究

投入产出模型提供了分行业视角下研究产业问题、能源消费与环境问题的可行性。国外学者 Leontief (1970)^[4]率先将环境污染问题引入投入产出表中进行分析,来研究产业结构变化与环境污染之间的关系。之后国外很多学者相继将污染物排放的影响分析引入到了投入产出表中。1982年联合国资源环境账户指导方针的发布,使得利用投入产出模型来研究经济—能源—环境问题成为学术界的热潮。李立(1994)^[22]最早编制了我国1987年环境投入产出表,来分析经济结构与SO₂生成的关系。之后我国大量的学者运用投入产出法来研究经济发展、能源消费与环境污染之间的相互关系。雷明(2001)^[19]和王德发(2005)^[38]通过编制能源—环境投入产出表,分别对我国绿色税费的价格效应和上海市工业部门绿色GDP进行测算和分析。郭强(2012)^[17]为了探究北京市产业结构变动、能源消费与环境污染三者的关系,自行编制了2007年北京市节能减排投入产出表。马国霞(2014)^[29]从治理废水、大气污染物和固体废物三大方面编制了绿色投入产出表。袁毅军(2014)^[45]对影响我国环境污染物排放量的因素进行了投入产出分解,认为技术进步效应对环境污染物减排效应十分明显,而产业结构的变化对污染物减排没有贡献。周国富(2017)^[49]通过编制天津市混合型投入产出模型来对能源消费与雾霾污染之间的关系进行研究,并利用结构分解技术(SDA)探究能源消费与雾霾污染的影响因素。李世奇(2017)^[23]研究了上海市产业结构调整对大气污染物的影响、各产业能源消费的变动对大气污染物的影响,利用上海市2007年和2012年投入产出表,建立了能源—环境投入产出表,结果表明上海市产业结构的调整对大气污染物减排的效果并不明显,尤其是对废气的减排几乎没有贡献,煤炭消费是上海市各行业大气污染的主要原因。

关于能源消费变动对污染物排放量影响的相关研究。马丽梅等(2014)^[31]运用了空间计量的方法,研究表明京津冀、长三角及其邻近地区是我国雾霾污染最严重、最集聚的区域,经济发展与雾霾污染之间并不存在显著的关系;减少煤炭的使用在短期内可以改善大气污染状况,但从长期来看优化能源消费结构才是

治理大气污染的关键。魏巍贤（2015）^[41]认为经济发展和雾霾治理的双重目标是可以实现的，降低煤炭的使用量可以显著的治理雾霾效应，技术进步也是治理雾霾的有效手段；各行业依能源消耗量的不同需承担不同的硫税和碳税。邵帅（2016）^[34]认为我国东部省域的经济增长与雾霾污染之间呈先上升后下降的倒“U”型关系，在经济发展的初期随着经济增长雾霾污染会加剧，到达临界点之后经济增长反而会改善环境质量；煤炭的使用加剧了我国的雾霾污染；能源效率和技术研发强度的提升可以起到减少雾霾污染的效果。

1.2.3 关于非竞争型投入产出模型的研究

竞争型投入产出表没有区分进口品和国产品，由于进口产品相应的生产、能源消耗以及污染物排放都发生在国外，如果不剔除进口品对国产品的影响，将会高估国内制造业能源消费量和污染物排放量，容易造成“统计假象”，故学者们更加青睐非竞争型投入产出表。从编制原则来看，Kahrl（2008）^[3]和陈迎（2008）^[13]采用等比例拆分进口投入品的原则来编制非竞争型投入产出表。穆智蕊和杨翠红（2009）^[32]通过编制价格可比的非竞争型投入产出表，来对我国出口结构变动的影响因素进行弹性分析。刘瑞翔（2011）^[25]编制了价格可比的非竞争型投入产出表来分析我国出口品能源消耗问题。还有部分学者是通过大量进出口相关数据自行编制非竞争型投入产出表，并未采用等比例拆分进口投入品的原则。从数据获取的来源来看，刘宇（2015）^[26]使用国家统计局编制的公开版的非竞争型投入产出表，对我国贸易转移的隐含碳排放进行测算和分析，得到贸易转移并不会降低二氧化碳排放量的结论。陈雯、李强（2014）^[12]使用经济合作与发展组织数据库（OECD Database）的数据，构建了我国非竞争型投入产出表，并运用SDA结构分解方法对出口含能量的变动进行分析，认为出口能量变动的首要因素是产业规模。部分学者利用世界投入产出数据库（WIOD）的数据，来编制我国非竞争型投入产出表，比较有代表性的有：曾先锋（2016）^[11]将非竞争型投入产出法与IO-SDA结构分解法相结合，认为需求规模的扩张和生产结构的变迁导致了碳排放量的增加；罗家鑫（2019）^[28]编制了我国产业-能源-环境相结合的动态非竞争混合型投入产出表，建立了非竞争混合型投入产出模型，结果表

明 2000-2014 年 10 年间我国产业结构的调整不会降低能源消耗总量, 且对大气污染物和温室气体的减排效果几乎没有贡献。

1.2.4 研究述评

通过上述文献整理我们可以发现, 对于制造业能源消费与污染物排放测算方法的研究, 学者们大多从制造业能源消费的影响因素、制造业能源消费碳排放因素分解等角度进行研究, 大多采用投入产出分析法和因素分解技术。而对于投入产出方法学者们大多采用竞争型投入产出表, 且使用的数据均为截面数据并非连续的时间序列数据。从使用投入产出模型来研究产业能源消费对污染物排放影响的发展趋势来看, 正在由竞争型投入产出表向非竞争型投入产出表转变。我国学者大多采用每 5 年编制一次的竞争型投入产出表进行分析, 利用非竞争型投入产出表来研究制造业能源消费与污染物排放量的文献屈指可数。本文采用非竞争型投入产出表进行实证分析, 在中间投入部门对进口品和国产品进行了区分, 进口产品的能源消费和污染物排放均在国外, 剔除进口品对国产品的影响, 可以更加科学准确的测算国内制造业能源消费量和污染物排放量。故本文选择使用 2000-2014 年世界投入产出表的非竞争型投入产出数据, 通过构建制造业非竞争混合型投入产出模型, 来测度我国制造业能源消费与污染物排放量及其相互影响。

1.3 研究思路、结构安排及方法

1.3.1 研究思路

节约能源和减少排放是我国制造业绿色可持续发展的必由之路, 而现有的研究大多将节约能源和减少排放分开进行研究, 分别编制能源、环境投入产出表。本文尝试建立非竞争混合型投入产出表, 将能源消耗与大气污染物同时纳入投入产出分析框架。通过将 2000-2014 年非竞争型投入产出表与能源消费和大气污染模块相结合, 来研究我国制造业产业结构调整、能源消费对大气污染物排放量的影响。首先, 通过阅读大量的文献, 了解到学者们对经济-能源-环境问题的研究正由竞争型投入产出表向非竞争型投入产出表转变, 本文从相关理论入手进行深入阐述, 为问题的开展提供了理论分析基础。其次, 设计、编制和建立我国非竞争型投入产出表及相关的经济数学模型。再次, 描述我国制造业产业结构、制造

业能源消费和制造业大气污染物排放量的现状。最后，运用非竞争型投入产出模型对制造业产业结构调整、能源消费对大气污染物排放量的影响进行实证分析，然后得出相关的结论和启示。

1.3.2 结构安排

本文的结构安排如下：

第一章为引言。主要介绍本文选题的背景及意义，对各行业能源消费问题的研究、污染物排放测算方法的研究及非竞争型投入产出模型的研究进行了文献梳理和总结，接着阐释了本文的研究思路和方法，可能的创新之处及不足。

第二章为基本理论及非竞争型投入产出模型的构建。基本理论部分主要介绍了投入产出核算理论、能源经济学理论和环境污染理论，为后续实证分析奠定了理论支撑。其次介绍了非竞争型投入产出表的设计，包括编制原理、基本框架和基本假设。接着介绍了非竞争投入产出表的编制，包括操作流程、数据来源和数据处理方法。最后通过平衡关系得到非竞争投入产出表的经济数学模型。

第三章为我国产业结构、制造业能源消费与制造业二氧化碳排放量现状分析，使用描述统计的方法对我国产业结构、制造业能源消费和制造业大气污染物排放量的现状进行分析，并运用 IPCC（2006）方法对制造业二氧化碳排放量进行了估算。

第四章是非竞争型投入产出模型的实证分析，通过使用非竞争型投入产出表，制造业能源消费量、制造业大气污染物排放量和二氧化碳排放量等数据，得到能源完全消费系数和污染物完全排放系数，以此来研究制造业产业结构调整对大气污染物和温室气体排放量的影响，运用煤炭影响力系数来研究制造业能源消费变动对大气污染物和温室气体排放量的影响。

第五章是相关的结论和启示，通过以上描述性统计分析和非竞争型投入产出模型分析，为我国制造业节能减排和保护大气环境提出相应的建议。

1.3.3 研究方法

（1）文献研究法

阅读并归纳总结文献资料，学习投入产出核算理论、环境污染理论、能源经济学理论等国内外经典理论，为本文的整体研究框架提供理论支撑。

（2）描述性统计分析

通过采用描述性统计分析方法，对我国制造业产业结构现状、制造业能源消费现状及结构变动、制造业污染物排放总量及结构变动、制造业二氧化碳排放量及结构变动情况进行分析。

（3）非竞争型投入产出模型

通过 2000—2014 年世界投入产出数据库数据，得到我国制造业非竞争型投入产出数据，编制我国制造业经济-能源-环境非竞争型投入产出表，通过平衡关系和矩阵运算得到经济数学模型，对模型进行分解得到制造业能源直接消耗系数矩阵、制造业能源完全消费系数矩阵和污染物完全排放系数矩阵，以剖析制造业产业结构调整对污染物排放量的影响；通过投入产出表中的影响力系数，引申出煤炭影响力系数，以分析不同类型制造业能源消费对污染物排放量的影响。

1.4 本文的创新之处与不足

1.4.1 本文的创新之处

（1）非竞争型投入产出数据

由于我国只公布了 2017 年和 2018 年的非竞争型投入产出表，其余年份均为竞争型投入产出表，故学者们大多采用以 5 年为间隔的竞争型投入产出表的数据进行分析研究。本文采用 2000-2014 年世界投入产出数据库的动态非竞争型数据，剔除了进口产品能源消耗的影响，可以更加精准的剖析不同类型的制造业能源消费与污染物排放量及其之间的相互影响关系。

（2）混合型结构

本文在列昂惕夫投入产出表中分别扩展出能源消费模块和大气污染模块，即将制造业部门和非制造业部门、能源消费部门、大气污染及温室气体排放部门，编制在同一张非竞争型投入产出表中，保证了方法的一致性和结果的准确性。使用非竞争型投入产出模型，对制造业能源消费和污染物排放量进行测算，比较分析不同类型制造业污染物排放量的状况。

1.4.2 本文不足之处

本文在使用非竞争型投入产出表的过程中,为使制造业产业部门、能源消费、大气污染及温室气体排放模块数据的统一性和稳定性,遵循数据可获得性和最大化利用数据的原则,对制造业部门进行了分类和合并,假设各部门的能源消费量与污染物排放量成正比。在此基础上构建动态非竞争混合型投入产出模型,并对不同类型的制造业能源消费量与污染物排放量进行测算。但是无法精确的研究不同部门之间,对大气污染物排放的工艺差别,也无法体现不同部门之间能源利用率的差别。

2 基本理论及非竞争混合型投入产出模型的构建

传统的投入产出核算仅考虑产业部门,并没有将能源消耗和环境质量等因素纳入其中,随着经济的快速发展,经济的外部性逐渐凸显,能源消费与环境保护两者之间的矛盾日益加剧,环境保护支出所占的比重已不容忽视。因此,将投入产出表与能源消费和环境污染结合起来进行研究,已成为研究产业投入产出问题的必然趋势。

2.1 基本理论

2.1.1 投入产出核算理论

投入产出核算是美国经济学家 Leontief 于 1930 年提出的统计分析方法,它以国民经济部门分类为基础,通过各种技术经济系数和建立相应数学模型,来分析各产业部门间密切的技术经济联系。投入产出核算深刻的揭示了国民经济产业关联和部门关联,是经济管理分析的重要工具,它是我国政府修订和编制投入产出延长表的基础,为相关部门制定产业政策和调整产业结构提供了重要参考,还可以将其与价格、能源、环境、教育等诸多领域结合起来进行研究。

投入产出表包括四大象限的内容,第 I 象限表示的是各部门的中间投入和中间使用,其中 x_{ij} 具有产出和消耗的双重含义:一方面它代表第 i 部门提供给第 j 部门的产品数量,另一方面它代表第 j 部门消耗的第 i 部门的产品数量。第 II 象限反映了最终使用的数量及其构成,包括消费、投资和净出口,从横向看代表了最终产品的使用去向,从纵向看代表了最终需求的数量规模。第 III 象限又称为增加值象限,该象限可以细分为:劳动者报酬增加值、固定资产折旧增加值、营业盈余增加值和生产税净额增加值。第 IV 象限是再分配象限,由于其内容比较复杂,故是空白区域可进行适当的开发。

2.1.2 能源经济学理论

能源经济学以能源知识和经济学原理为基础,常被用于研究能源系统中发生的特有经济现象和经济规律。从人类最初对自然资源的利用和开发,到能源消费

价值观念的转变，再到对清洁能源的开发和使用，展示了能源经济学的发展历程和演变规律。

能源经济学经历了由简单到复杂、单维到多维的三个重要历史阶段。1920-1970年是能源经济学发展的第一阶段，该阶段能源经济学主要研究的内容为：能源的有效生产、加工、转换和运输，以及最大程度满足经济社会发展的需求，第一阶段是人类对能源的初始使用和开发，大多以煤炭、石油等一次能源为主。第二阶段是1970-1990年，由于经历了世界范围类的三次能源危机，人们开始意识到能源间的相互替代和互补作用的重要性，该阶段对能源问题的研究主要聚焦于新能源的开发和能源的有效配置，第二阶段能源效率的提升和能源绿色经济可持续发展等理念逐渐被人们所接受和提倡。第三阶段是1990年之后，我国经济高速发展伴随着能源的高投入、高消耗和生态环境的高污染，学者们开始将能源、经济、环境三者结合起来进行研究。能源经济学所包括的内容日趋广泛，如：能源需求和供给分析，能源平衡和投入产出分析等是能源经济学的重点。

能源消费与经济发展相互影响和制约，一方面工业经济的快速发展势必会消耗大量能源，能源是经济增长的原动力和生产要素，同时能源消费结构由石油、煤炭向天然气、电力的转变，改变了人类的生产生活方式，工业化的快速发展同时也极大地改变了人类的社会面貌；另一方面，经济增长产生能源需求，同时推动着能源体制的改革和能源效率的提升，经济发展也为能源消费提供了巨大的市场。能源消费与经济发展二者关系紧密，不可分割。中国经济体量和能源消费量大的基本国情决定了中国必须节能减排，就中长期而言，能源价格的提高是节能减排的关键，其可以抑制能源消费需求而对能源价格体系产生积极影响。

2.1.3 环境污染理论

传统经济学最初只关注稀缺资源的有效配置和经济效益的最优化，但随着经济的快速发展和全球一体化进程的加快，人们面临着资源稀缺、环境污染和生态恶化等一系列问题，学者们开始将环境污染纳入核算范围之内，越来越关注经济发展与环境保护之间的关系。由此产生了三种经典的理论，即：环境波特假说、污染避难所假说和环境库兹涅茨假说。

1995年 Michael E. Porter 提出了环境波特假说, 环境波特假说认为: 经济发展和环境保护可以同时实现“双赢”, 即经济的发展不以牺牲环境为代价, 二者可以和谐并举, 其关键在于制定严格的环境规制。严格的环境规制可以激励企业进行技术研发和清洁设备改进, 促使企业提高环保标准并淘汰污染密集型的产品, 从而增强企业信誉和竞争力, 有效降低企业的环境成本, 从长期来看, 可以实现经济增长和环境保护的双赢。

1979年 Walter & Ugelow 提出了污染避难所假说: 在完全自由贸易条件下若环境规制标准不统一, 高污染、高耗能和高排放的产业将会从高环境规制的经济体转移到低环境规制的经济体中, 贫穷落后的国家会通过主动降低环境规制的门槛, 来增强国家竞争力和吸引外部资本, 低环境规制将会吸引发达国家将本国的劳动密集型和污染密集型产业转移到发展中国家, 随着发展中国家经济的快速发展, 本地区环境污染日趋加重, 虽然从短期来看, 发展中国家经济发展水平有所提升, 但却对环境造成了不可逆的破坏, 最终低环境规制的国家将成为发达国家污染物排放的避难所。

经济增长与环境污染之间存在着先上升后下降的倒“U”型关系, 这是环境库兹涅茨假说的主要内容。即认为经济增长与环境污染之间存在一个临界点, 临界点之前经济增长越快环境污染越严重, 临界点之后随着经济的增长环境质量会不断改善。具体来说, 在工业化发展初期, 我国单纯强调经济快速发展, 大量消耗一次能源和化石能源, 重点发展“三高”的工业企业, 势必带来污染物排放量的增加。当经济发展到一定程度, 我国经济发展开始从追求经济增长速度转变为追求经济高质量发展, 人们对生态环境、个人健康、预期寿命和社会福利等美好生活的需求日益增长, 从而促使生产工艺的改进升级以及技术创新水平和能力的提高, 资源的消耗从一次能源向清洁能源转变, 环境质量随着经济的不断发展有所改善。值得一提的是, 由于学者们研究方法和指标选取的差异, 也得到了随着个人收入水平的提高, 环境质量并不会改善的结论。

2.2 非竞争型投入产出表的设计

我国公布的投入产出表的数据大多数为竞争型, 其既没有区分进口品和国产品, 投入产出表的数据在时间上也不够连续。本文以世界投入产出表的数据为基

础,运用投入产出模型的平衡关系和相关经济系数,设计和编制我国制造业非竞争型投入产出表。本文将产品部门划分为制造业和非制造业部门,煤炭、石油、天然气、电力是制造业能源消费的四个部门,大气污染情况选取二氧化硫、烟尘、氮氧化物和二氧化碳四个指标代表,通过非竞争混合型投入产出模型的相关经济系数,来研究制造业产业结构调整对大气污染物的影响,以及影响大气污染物排放量的主要能源因素。

2.2.1 非竞争型投入产出表的基本框架

本文在列昂惕夫投入产出表的基础上加入能源消费和大气污染模块,展示了制造业部门和非制造业部门的产出与能源消费量和大气污染物排放量之间的关系,如表 2.1 所示。

2.1 非竞争型投入产出表基本结构

投入 \ 产出		中间使用							最终使用	总产出	
		制造业部门				非制造业部门					
		低技术	中低技术	中高技术	高技术	m+1	m+2	...			n
中间投入	制造业部门	低技术	$(x_{kj})_{m \times m}$				$(x_{kl})_{m \times (n-m)}$			$(Y_k)_m$	$(X_k)_m$
		中低技术									
		中高技术									
		高技术									
	非制造业部门	m+1	$(x_{ij})_{(n-m) \times m}$				$(x_{il})_{(n-m) \times (n-m)}$			$(Y_i)_{n-m}$	$(X_i)_{n-m}$
		m+2									
		...									
		n									
最初投入		$(N_j)_m$				$(N_l)_{n-m}$					
总投入		$(X_j)_m$				$(X_l)_{n-m}$					
能源消费	煤炭 (F_1)						c_{1n}			r_1	q_1
	石油 (F_2)						c_{2n}			r_2	q_2
	天然气 (F_3)						c_{3n}			r_3	q_3
	电力 (F_4)						c_{4n}			r_4	q_4
大气污染	二氧化硫 (G_1)						d_{1n}			u_1	v_1
	氮氧化物 (G_2)						d_{2n}			u_2	v_2
	烟尘 (G_3)						d_{3n}			u_3	v_3
	二氧化碳 (G_4)						d_{4n}			u_4	v_4

表 2.1 中，制造业部门包括四个大类，即低技术、中低技术、中高技术和高技术制造业，国民经济产业部门的计量单位为：百万美元。 x_{ij} 表示中间投入部门的产品分配和消耗， Y_i 是 i 部门最终产品数量， X_i 表示第 i 部门总产出。 F_i 表示第 i 种能源，单位为：万吨标准煤， c_{ij} 表示能源消耗实物量， r_i 表示能源最终消费量， q_i 表示能源消耗总量。 G_i 表示第 i 种大气污染物，单位为：万吨标准煤， d_{ij} 表示大气污染物排放量， u_i 表示最终污染物的排放量， v_i 表示污染物排放的总量。

2.2.2 非竞争型投入产出表的基本假设

经济生产活动在产出一定量产品的同时也消耗着其他产业部门的资源，国民经济各产业部门是个联系紧密、密不可分的系统。同样制造业的发展会消耗大量的能源资源，与此同时产生大量的污染物排放量，制造业能源高质量发展的道路任重而道远。测算制造业能源消费的污染物排放量，是实现制造业绿色高质量发展的必然选择。目前对产业部门污染物排放量的测算，学术界尚未有统一的测算标准，而本文按照四种不同类型制造业的能源消费量对大气污染物排放量进行了相应的测算。为保证制造业部门中间投入、能源消耗和大气污染物模块数据的一致性和稳定性，本文借鉴罗家鑫（2019）使用的方法，做出以下假设，制造业能源消费量与污染物排放量呈正比。该假设认为制造业部门投入结构和生产工艺具有同质性，各部门能源消费量均按照固定的比例排放大气污染物。

2.3 非竞争投入产出表的编制

2.3.1 编制流程

由于我国国民经济产业部门分类与世界投入产出表的标准和口径有所不同，为了遵循数据利用最大化和可比性的原则，本文首先将《世界投入产出数据库》的数据按照制造业行业分类标准进行重新整理、归类和合并，将我国非竞争型投入产出表的产品部门划分为制造业部门和非制造业部门，制造业部门再次细分为低、中低、中高和高技术制造业。其次，根据《中国能源统计年鉴》得到制造业能源消费总量和四种类型的能源消费量，包括煤炭、石油、天然气和电力消费量。

再根据制造业行业中关于低、中低、中高和高技术的分类标准，将制造业能源消耗量分配到四种类型的制造业中，即得到低、中低、中高和高技术制造业分别对应的煤炭、石油、天然气和电力消费量。最后，根据中国公布的《节能手册 2006》和中国化石燃料的大气污染物转换系数，将制造业能源消耗量转换为大气污染物排放量，其中二氧化碳排放量的数据来源于 IPCC（2006）方法的测算。即可得到制造业-能源消费-大气污染物的非竞争混合型投入产出表，非竞争型投入产出表剔除了进口产品的影响，更能深刻准确的反映制造业能源消耗与大气污染物排放量之间的关联关系。

2.3.2 数据来源与处理

本文通过分类整理世界投入产出表的数据得到中国（CHN）2000-2014 年连续 15 年的非竞争型投入产出表。能源数据来源于《中国能源统计年鉴》，大气污染物排放量的数据是通过化石燃料大气污染物相关系数对能源消费量进行换算得到，二氧化碳数据来源于 IPCC（2006）方法的测算。由于大气污染物：二氧化硫、烟尘、氮氧化物排放量环比取对数的值是相同的，故本文将二氧化硫、烟尘、氮氧化物排放量统一合并为大气污染物进行后续的研究和分析。

非竞争型投入产出表中 2000-2011 年为 35 个产业部门，2012-2014 年为 56 个部门，为避免因部门合并而出现的数据失真现象，本文在实证部分没有对 2012 年和 2011 年的数据进行对比分析，因为其不具备可比性。本文分别研究 2000-2003 年、2004-2007 年、2008-2011 年及 2012-2014 年 4 个产业调整周期的制造业产业结构调整对污染物排放的影响。污染物排放模块包括：二氧化硫、氮氧化物、烟尘和二氧化碳，煤炭、石油、天然气和电力构成了能源消费模块。

2.4 非竞争投入产出表的经济数学模型的建立

2.4.1 平衡关系

混合型投入产出表虽在内容和结构形式上比传统投入产出表更加复杂，但仍遵循着投入产出表的行平衡关系和列平衡关系，且行平衡和列平衡既相互独立又相互制约。

列昂惕夫投入产出表的矩阵形式为：

$$AX + Y = X \quad (1)$$

整理可得：
$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (2)$$

即：
$$B = (I - A)^{-1} - I \quad (3)$$

X 是总产出矩阵， Y 是最终需求矩阵， A 为直接消耗系数矩阵， B 为完全消耗系数矩阵， $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵。

能源消费模块的平衡关系式为：

$$C_i + R_i = Q_i \quad (4)$$

大气污染物模块的平衡关系式为：

$$D_i + U_i = V_i \quad (5)$$

能源的直接消费系数：
$$e_i = \frac{c_{ij}}{x_j} \quad (6)$$

大气污染物直接排放系数：
$$p_i = \frac{d_{ij}}{x_j} \quad (7)$$

则可以得到能源直接消费系数矩阵 E 和大气污染物直接排放系数矩阵 P 。

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{k1} & e_{k2} & \cdots & e_{kn} \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix}$$

则能源消费和大气污染物模块的矩阵形式分别为：

$$EX + R = Q \quad (8)$$

$$PX + U = V \quad (9)$$

因 $X = (I - A)^{-1}Y$ 将其代入 (8)、(9) 式可得：

$$C = E(I - A)^{-1}Y \quad (10)$$

$$D = P(I - A)^{-1}Y \quad (11)$$

令 T^c 为能源的完全消费系数矩阵， T^d 为大气污染物的完全排放系数矩阵，则：

$$T^c = E(I - A)^{-1} \quad (12)$$

$$T^d = P(I - A)^{-1} \quad (13)$$

(12) 式中 T^c 和 (13) 式中 T^d 分别是指：第 j 部门每生产一单位最终产品所直接和间接消耗的能源消费总量和大气污染物排放总量。

2.4.2 模型研究

本文对大气污染物的完全排放系数公式继续进行分解,以求更加准确的研究低、中低、中高和高技术制造业产业结构调整对大气污染物排放量的影响。本文设 T_0^d 和 T_1^d 分别为报告期和基期的完全排放系数矩阵, A_0 和 A_1 分别为报告期和基期直接消耗系数矩阵, P_0 和 P_1 分别为报告期和基期的大气污染物直接排放系数矩阵。

因为 $T_0^d = P_0(I - A)^{-1}$,等式左右两边同乘以 $(I - A_0)$,接着对其进行一阶差分,可得:

$$\Delta T^d - T_0^d \Delta A - \Delta T^d A_0 - \Delta T^d \Delta A = \Delta P \quad (14)$$

整理得:
$$\Delta T^d(I - A_0) = \Delta P + T_1^d \Delta A \quad (15)$$

大气污染物完全排放系数的变化 ΔT^d 的分解式为:

$$\Delta T^d = T_1^d \Delta A(I - A_0)^{-1} + \Delta P(I - A_0)^{-1} \quad (16)$$

(14)、(15)、(16)式中, ΔT^d 代表的是两个不同时期完全排放系数矩阵之间的差值, ΔP 代表的是两个不同时期直接排放系数矩阵之间的差值, ΔA 代表的是两个不同时期直接消耗系数矩阵之间的差值。 $T_1^d \Delta A(I - A_0)^{-1}$ 反映了产业结构调整对大气污染物排放变化的影响,原毅军(2014)认为 $\Delta P(I - A_0)^{-1}$ 是技术进步引起的变化。但是不少学者并不认同此观点,他们认为技术进步只是影响直接排放系数变化的因素之一,简单的将 $\Delta P(I - A_0)^{-1}$ 等同于技术进步对大气污染排放量的影响,略显不妥。

3 制造业能源消费、污染物排放的现状描述

3.1 我国产业结构现状描述

3.1.1 三次产业发展现状

图 3.1 展示的是 2010-2019 年第一产业、第二产业及第三产业的构成情况。可以看出 10 年间，三次产业结构变化巨大。2010 年，我国第二产业和第三产业增加值占比分别为 46.5%、44.2%，此后两者占比逐渐接近，2012 年两者的增加值占比相等（45.5%）。2013 年第三产业增加值占比（46.9%）首次超过第二产业（44.2%），此后二者之间的差距逐年扩大。由图 3.1 可以看出，第一产业和第二产业增加值占比分别位于 10% 和 40% 左右的区间，且呈稳中有降的增长趋势；第三产业增加值占比处于 50% 的高位区间，且不断上升。由配第一克拉克定理可知 10 年间，我国产业结构呈优化趋势，且优化效果显著。

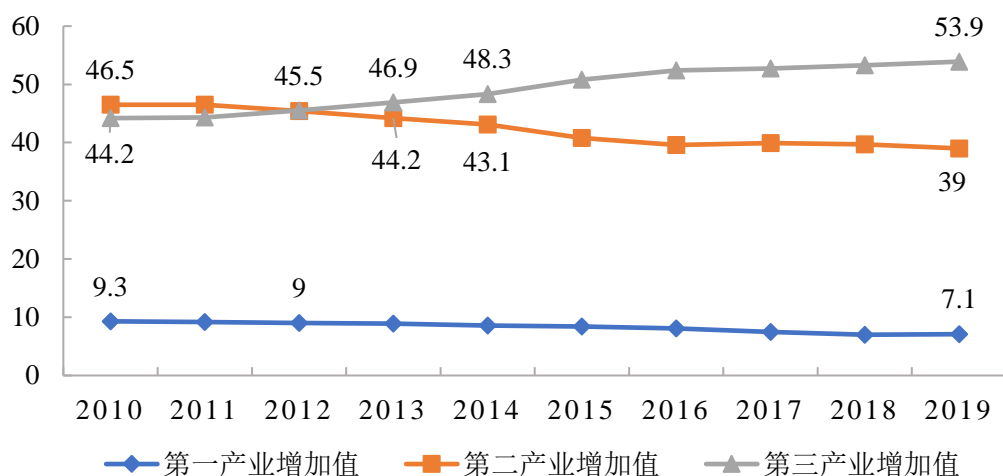


图3.1 三次产业的构成（单位：%）

3.1.2 三次产业对 GDP 的贡献描述

图 3.2 表示的是 2010-2019 年三次产业对 GDP 的增长拉动情况。总体来看，10 年间我国经济增长速度有所放缓，呈缓慢下降的趋势。2010-2013 年，三次产业对 GDP 的拉动增长率均呈持续下降的趋势，且第二产业对 GDP 的增长拉动率

高于第三产业对 GDP 的增长拉动率。2014 年第三产业对 GDP 的增长拉动率（3.7%）首次超过第二产业（3.4%）。2014-2019 年三次产业对 GDP 的拉动增长率呈下降趋势，且第三产业对 GDP 的增长拉动率均超过了第二产业对 GDP 的增长拉动率。由此可知，2010 年后我国经济增长速度逐渐放缓，2014 年第三产业对 GDP 的增长拉动作用首次超过第二产业，且第三产业对国民经济的拉动作用在逐渐增强，我国产业结构优化取得了一定的效果，但产业结构需进一步调整，仍存在巨大的优化空间。

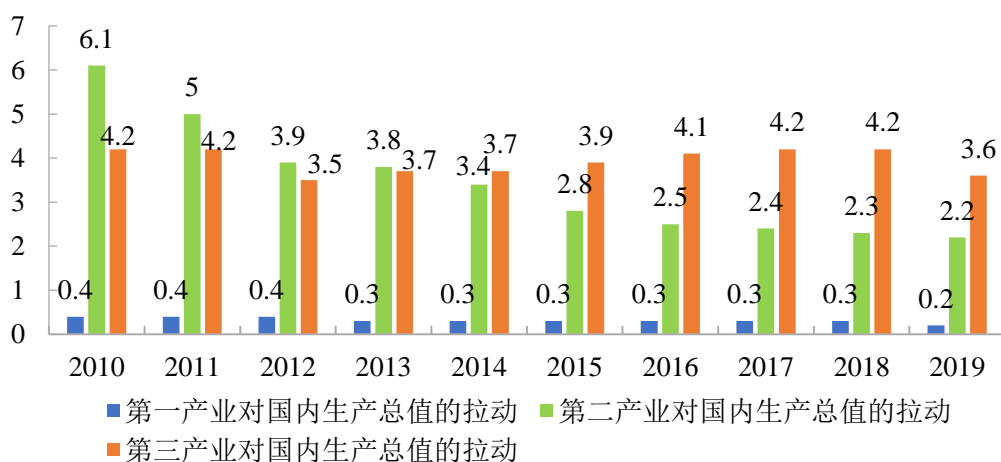


图3.2 三次产业对GDP的增长拉动（单位：%）

3.1.3 我国制造业现状描述

图 3.3 展示的是 2009-2018 年我国制造业增加值、国内生产总值及其比重的变化趋势图。从图 3.3 可以看出，制造业增加值和国内生产总值均呈显著上升的趋势，2009 年和 2018 年制造业增加值分别为 11 万亿元和 25.6 万亿元，增长速率和年均增长率为 132.4%和 9.8%；2009 年和 2018 年国内生产总值分别为 34.1 万亿元和 91.9 万亿元，增长速率和年均增长率为 169.7%和 11.7%。从制造业增加值占比变化趋势来看，除 2010 年和 2014 年外，制造业增加值占 GDP 比重均呈逐年下降趋势，2009 年和 2018 年制造业增加值占比分别为 32.3%和 27.8%，下降幅度为 5.5%。由此可知，制造业增加值稳中有升，国内生产总值呈不断上

升的趋势，制造业增加值占比不断降低，说明我国制造业产业结构持续优化，但比重仍保持在 27% 以上，表明制造业仍是推动我国经济发展的中坚力量。

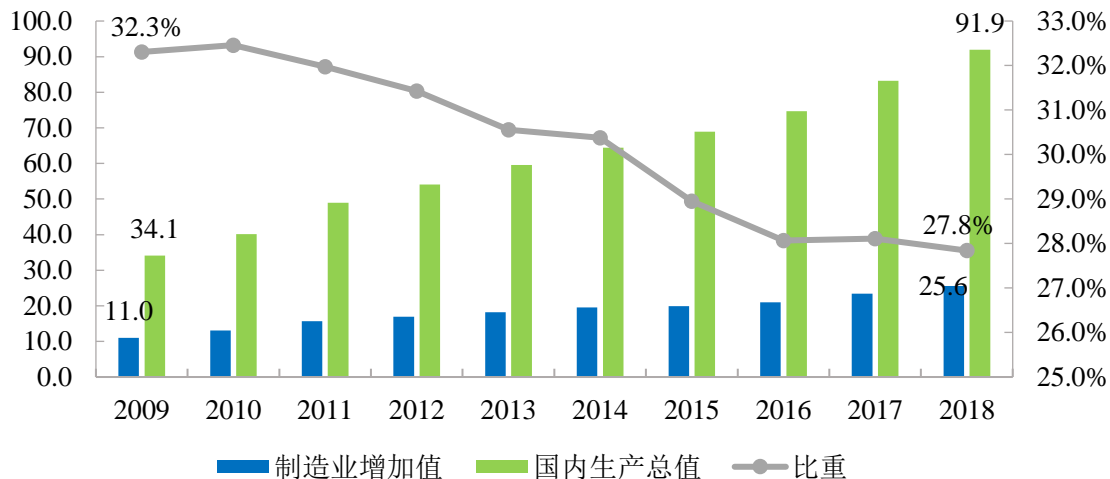


图3.3 我国制造业增加值、国内生产总值及比重（单位：万亿元）

3.2 我国能源消费现状分析

3.2.1 我国能源资源现状

我国是世界能源消费大国，但受经济体量大的缘故，人均资源依旧匮乏。图3.4展示了我国2009-2018年人均能源生产量和消费量的变化趋势及差距。2009年我国人均能源生产、消费和进口量分别为2149千克标准煤、2525千克标准煤和376千克标准煤。之后，人均能源生产、消费和能源缺口呈不断上升趋势。2018年我国人均能源生产、消费和进口量分别为2720千克标准煤、3388千克标准煤和668千克标准煤，人均能源缺口相比2009年上涨了78%。由此可见，我国国内能源生产量和进口量已无法满足人们的能源消费需求，我国能源供需矛盾日益尖锐，实施能源供给侧结构性改革迫在眉睫。

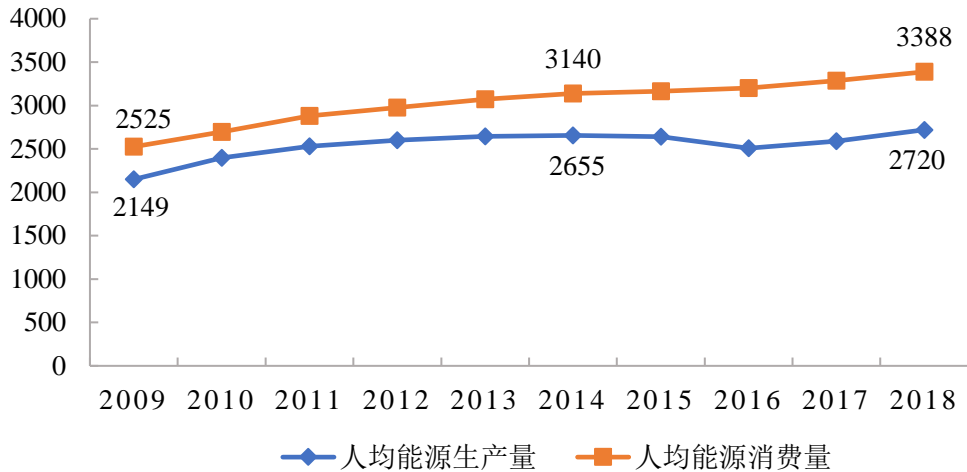


图3.4 我国人均能源生产、消费现状（单位：千克标煤）

3.2.2 制造业能源消费总量

图 3.5 表示的是 2004-2018 年制造业能源消费量、能源消费总量及占比的变化趋势图。我国能源消费总量持续攀升，仅 2004 年至 2018 年 15 年间，由 23.0 亿吨标准煤上升到 47.2 亿吨标准煤，增长 2 倍。与此同时，制造业能源消费量亦快速增长，2004 年和 2018 年制造业能源消费量分别为 13.6 亿吨标准煤和 25.9 亿吨标准煤，增速高达 90%，年均增长率为 4.71%，由此说明我国制造业仍然面临着能源消费量过高的严峻挑战。2000-2018 年我国制造业能源消费量占能源消费总量的比重基本保持在 55% 左右的高位区间，维持着相当高的比重，说明我国制造业对能源依赖程度较高。2004-2014 年制造业能源消费占比呈倒“U”型增长趋势，2004 年和 2007 年占比分别为 59.2% 和 62%，上升了 2.8 个百分点，上升趋势显著。2007 年之后制造业能源消费占比持续下降，从 2007 年的 62% 下降到 2018 年的 54.8%，下降 7.2%，年均下降 0.65%。究其原因，一方面是我国“十二五”规划和“节能减排”政策的提出导致一部分高耗能企业关闭或停产，“三高”企业承担的高能源消费成本使其不再具有市场竞争力，逐步被淘汰；另一方面是制造业产业结构的升级和调整，低技术制造业向中高技术和高技术制造业转变，企业更加青睐于天然气和电力等清洁能源的使用，不断加大技术创新投入力度，改进生产工艺和技术，从而使得制造业能源消费量有所下降。

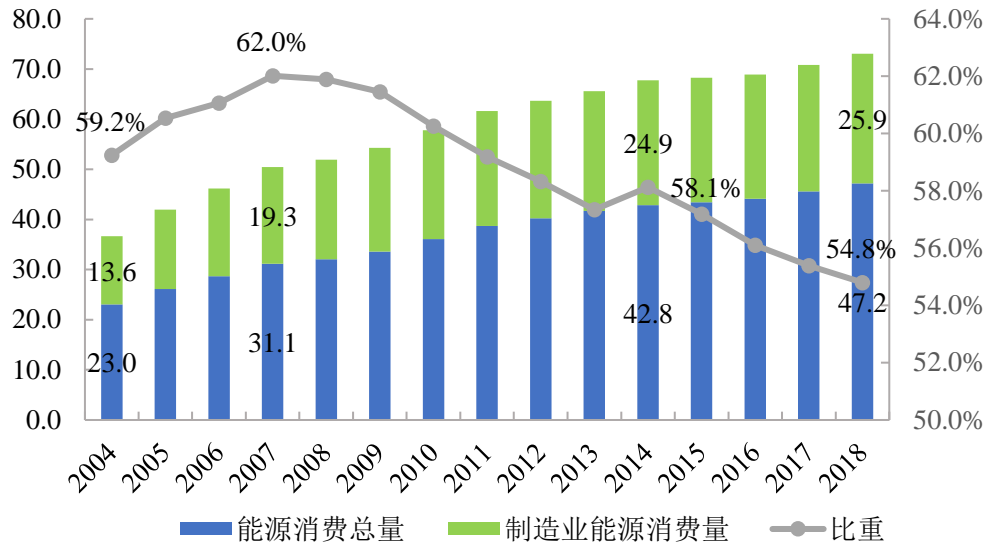


图3.5 能源消费、制造业能源消费及占比（单位：亿吨标煤）

图 3.6 汇报的是 2001-2018 年我国制造业能源消费增长率和 GDP 增长率的变化。如图 3.6 所示，制造业能源消费量和国内生产总值呈持续上升的趋势，2001 年和 2018 年制造业能源消费量、国内生产总值分别为 85985 万吨标准煤、110863 亿元和 258604 万吨标准煤、840303 亿元，分别增长了 200% 和 658%。2001 年 GDP 增速、制造业能源消费增速分别为 8.34%、6.27%。2002-2005 年，GDP 增速显著低于制造业能源消费增速，且 2004 年两者增长率的差距最大，增速相差 12.53%。一方面这可能与我国粗放型经济增长模式有关，重工业企业的兴起和发展使得能源消费量攀升，另一方面，2004 年受国际能源市场中石油需求大的原因，国内制造业能源消费量被拉高。2006-2018 年，GDP 增长率和制造业能源消费增长率总体上呈波动下降的趋势，且二者呈显著的正相关，分别从 2006 年的 12.72%、10.54% 下降至 2018 年的 6.75% 和 2.43%，说明制造业能源消费量与国内生产总值密切相关。2008 年后，制造业能源消费占比的减少使得其增速降低，我国产业结构逐渐优化，第三产业比重不断增加。

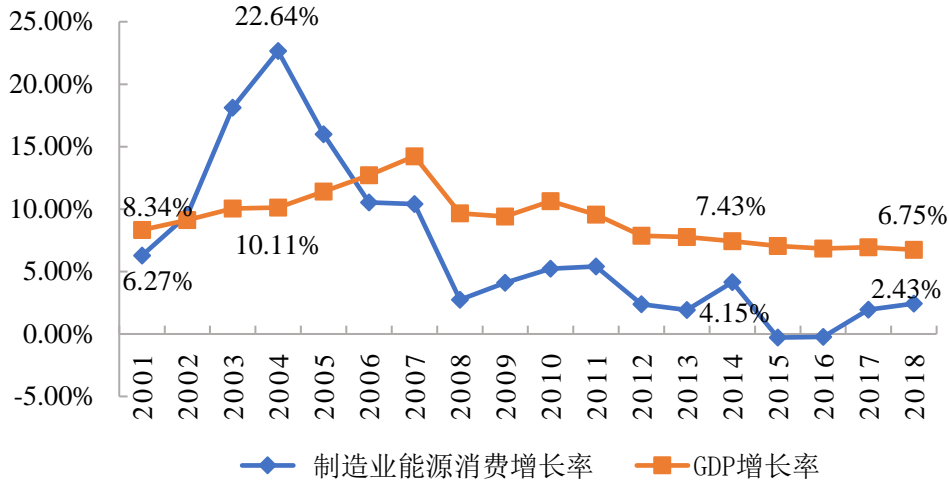


图3.6 制造业能源消费增长率和GDP增长率变化

优化制造业能源消费结构是节能减排的有效手段,本文衡量能源消费结构的指标是制造业煤炭消费量占能源消费量的比重,能源强度通过制造业煤炭消费量占能源消费量的比重来反映,代表能源利用效率的高低。如图3.7所示,制造业能源消费强度明显下降,能源消费结构整体上呈倒“U”型增长趋势。制造业能源消费强度从2009年的亿元国内生产总值1.88万吨标准煤快速下降至2018年的1.01万吨标准煤,减少0.87万吨标准煤,年均减少0.097万吨标准煤,整体上呈现出显著下降的趋势,说明我国制造业发展处于单一、高耗能、低效率的阶段。2009-2015年制造业能源消费结构快速增长,从2009年的48.55%快速上升至2015年的52.18%,上升了3.63%,年均增长率为1.21%。具体来看,2012年到2014年制造业能源消费结构略有上升,从2012年的50.51%上升到2014年的51.3%,仅上升了0.79%,年均增长率为0.78%。2015-2018年制造业能源消费结构不断下降,由2015年的52.18%下降至2018年的44.48%,下降了7.7个百分点。虽然我国制造业能源消费结构从2015年后有所下降,但制造业煤炭消费量占能源消费量的比重仍保持在44%以上,表明我国制造业能源消费仍以煤炭为主,制造业能源消费结构有待进一步优化,降低煤炭使用量、提高能源利用效率、大力发展清洁能源是能源改革的重点。

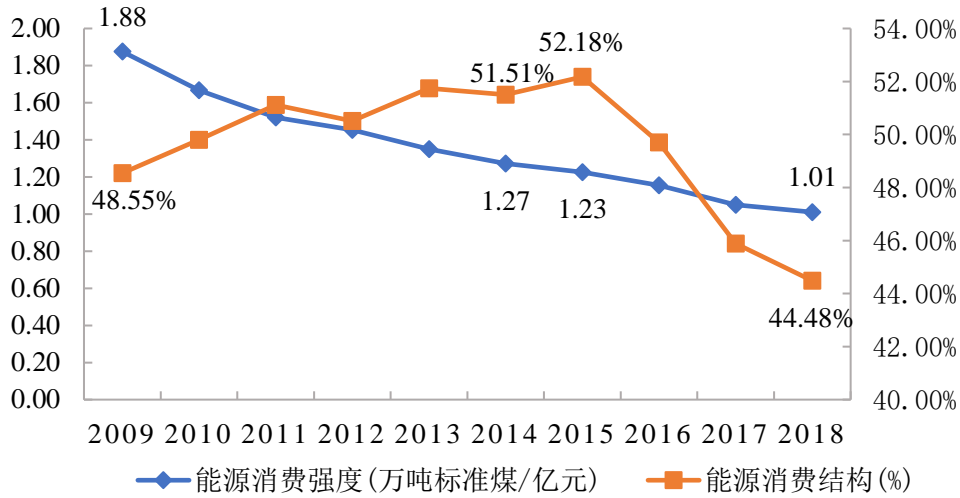


图3.7 中国制造业能源消费强度和结构变化

3.2.3 制造业能源消费结构变动

本文根据国家统计局公布的能源消费量折算标准煤参考系数，将制造业煤炭、石油、天然气和电力消费量折算成万吨标准煤，以此来计算2004-2018年我国制造业能源消费构成情况。如图3.8所示，2004年和2018年制造业煤炭消费量占制造业能源消费需求的比重为49.16%和42.37%，煤炭消费需求占能源消费需求的比重呈缓慢下降的趋势。2004年和2018年制造业石油消费量占制造业能源消费需求的比重为37.07%和34.75%，下降了2.32个百分点，煤炭消费需求占能源消费需求的比重呈快速下降的趋势。2004年和2018年制造业天然气消费量占制造业能源消费需求的比重为2.07%和6.17%，占比上升了4.1个百分点，年均上升8.11%，天然气消费需求占能源消费需求的比重处于持续上升的趋势。2004年和2018年制造业电力消费量占制造业能源消费需求的比重为11.70%和16.72%，占比上升了5.02个百分点，年均上升13.17%，天然气消费需求占能源消费需求的比重呈快速上升的趋势。由此可以看出我国制造业能源消费结构正由煤炭和石油向天然气和电力转变，但我国能源消费主要以煤炭和石油消费为主，煤炭消费的比重高达42%以上，处于遥遥领先的地位；石油消费的比重达30%左右，同样不容忽视；天然气消费占比低于10%；电力能源消费位于16%的区间。因此，我国煤炭消费结构进一步调整的空间有限，能源消费结构短期内不会

改变。虽然我国能源体制改革初见成效，天然气和电力等清洁能源的使用率和占比日趋增加，但能源体制改革任重道远，改革需要继续深化。



图3.8 2004-2018年制造业能源消费构成情况（单位：%）

本文将制造业按照技术水平的高低划分为低、中低、中高和高技术制造业四种类型。图 3.9 展示的是 2000-2014 年四种制造业能源消费量，可以看出，各行业的能源消费量之间存在显著差异，能源消费量最高的是中低技术制造业，呈快速上升的趋势，2000 年和 2014 年能源消费量分别为 4.66 亿吨标准煤和 15.3 亿吨标准煤，增速高达 228%。这可能与中低技术制造业中包含大量高耗能产业有关，如石油加工、炼焦及核燃料加工业等。能源消费量紧随其后的是中高技术制造业，中高技术制造业能源消费量持续攀升，2000 年和 2014 年能源消费量分别 2 亿吨标准煤和 6.2 亿吨标准煤，增速高达 200%，年均增长 8.16%。低技术制造业能源消费量位于 2.5 亿吨标准煤以下，呈缓慢上升的趋势，2000 年和 2014 年能源消费量分别 1.2 亿吨标准煤和 2.5 亿吨标准煤，增速为 110%，年均增长 5.44%。高技术制造业能源消费量低于 0.52 亿吨标准煤，能源消费量在四种制造业类型中最低，虽呈缓慢上升的趋势，但能源消费体量很小，2000 年和 2014 年能源消费量分别 0.16 亿吨标准煤和 0.52 亿吨标准煤，增速为 215.4%，年均增长 8.54%。医药制造和计算机通信电子设备构成了高技术制造业，因其技术含量很高，所需

的化石能源和一次能源很少，故其能源消费总量最低。由此可知，推动制造业向中高技术、高技术制造业转型升级是降低能源消费量的有效手段。

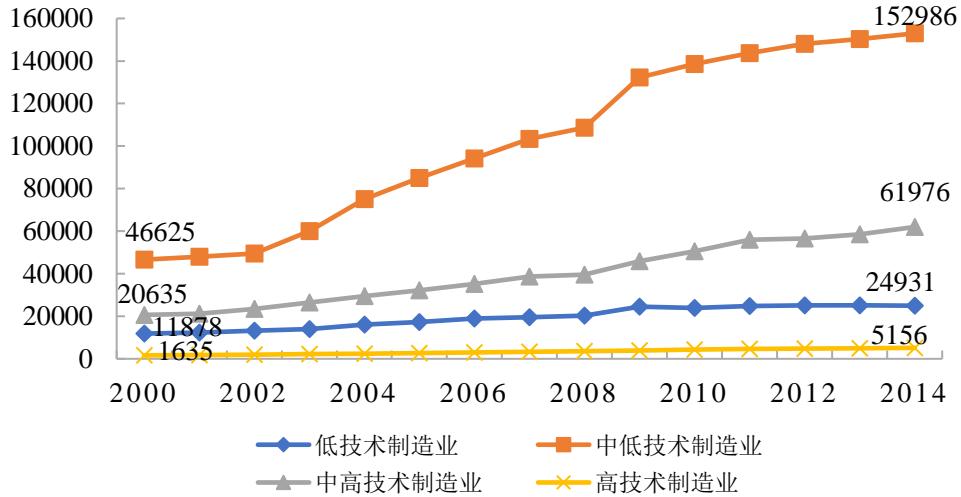


图3.9 制造业行业能源消费量（单位：万吨标准煤）

图 3.10 汇报了 2014 年我国制造业分行业能源消费量的情况。制造业分行业能源消费量之间存在显著的差异。黑色金属冶炼、化学制品、非金属制品、石油加工和有色金属冶炼是能源消费量排在前五位的行业，能源消费量分别为：69342 万吨标准煤、47528 万吨标准煤、36592 万吨标准煤、20217 万吨标准煤和 17510 万吨标准煤。制造业能源消费量排名前五的行业中，有 20% 属于中高技术制造业，其余均是中低技术制造业，说明中低技术制造业是高污染、高耗能行业，制造业能源结构优化应该重点关注中低技术制造业的节能降耗。制造业能源消费量排在后五位的行业分别是：烟草制品、文化和办公机械制造、家具制造、印刷业和记录媒介的复制，其能源消费量均低于 500 万吨标准煤，分别为：238 万吨标准煤、319 万吨标准煤、359 万吨标准煤、400 万吨标准煤、466 万吨标准煤，其中 20% 行业属于中高技术制造业，其余均是低技术制造业。由此可以看出，低技术制造业的能源消费量较小，但由于其行业众多，对能源消费的影响也不容忽视。

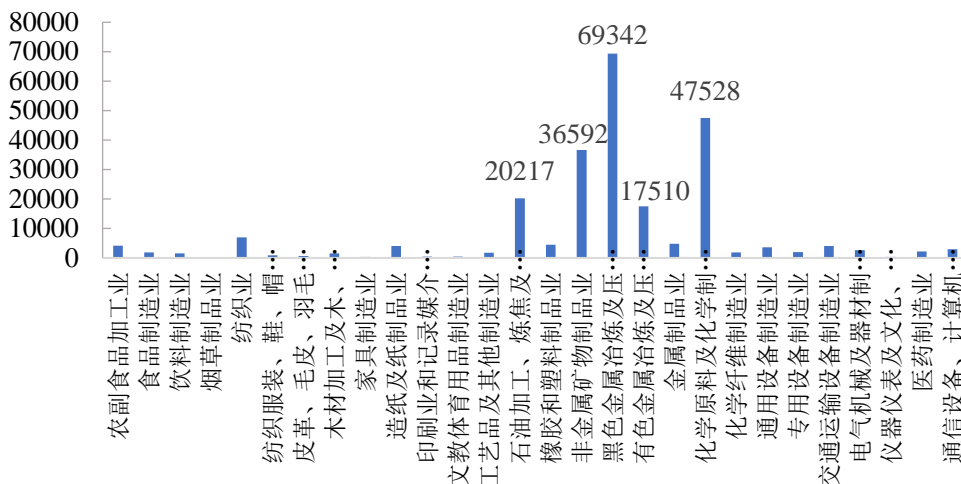


图3.10 2014年制造业行业能源消费量 (单位: 万吨标准煤)

3.3 我国污染物排放现状分析

3.3.1 制造业污染物排放总量

图 3.11 展示的是 2004-2014 年我国制造业工业二氧化硫、工业烟尘和工业废水排放量的变化趋势。如图 3.11 所示，工业污染物排放总量由高到低依次是：废水、二氧化硫、烟尘。工业二氧化硫排放量呈倒“U”型增长趋势，2004 年和 2011 年分别为 694.09 万吨和 968.03 万吨，7 年增排 39.47%，增长趋势明显；2014 年工业二氧化硫排放量为 938.58 万吨，3 年减排 3.04%，下降趋势缓慢。工业烟尘排放量呈“U”型交替波动的趋势，工业烟尘排放量由 2004 年的 412.95 万吨下降至 2009 年的 303.35 万吨，5 年减排 109.6 万吨，减排 26.54%；2009 年到 2011 年，工业烟尘排放量呈快速上升趋势，由 303.35 万吨增长至 768.94 万吨，仅 2 年增排 465.59 万吨，增排 153.48%，可能的原因是 2011 年工业烟尘里面包含了工业粉尘，统计口径的不一致性，导致工业烟尘排放量激增；2011-2014 年，工业烟尘排放量由 2011 年的 768.94 万吨下降至 2013 年的 694.37 万吨，再上升至 2014 年的 938.58 万吨，3 年间总体上升 169.64 万吨，增幅为 22.06%。工业废水排放量除 2013 年出现明显的反弹上升外，其余年份呈缓慢上升的趋势，2004 年和 2012 年工业废水排放量分别为 156.32 亿吨和 170.30 亿吨，8 年增排 13.98 亿

吨，增排 8.94%；2013 年工业废水排放量为 400.67 亿吨，增排 230.37 亿吨，增幅为 135.27%，上升增幅十分显著，2014 年工业废水排放量为 154.58 亿吨，降幅为 61.42%。2000-2014 年，随着我国能源消费量的持续攀升，制造业工业二氧化硫、烟尘排放量分别上升了 244.5 万吨、525.63 万吨，工业废水排放总量下降了 1.74 亿吨，说明我国制造业污染物排放总量仍然很高，环境污染问题形势严峻。

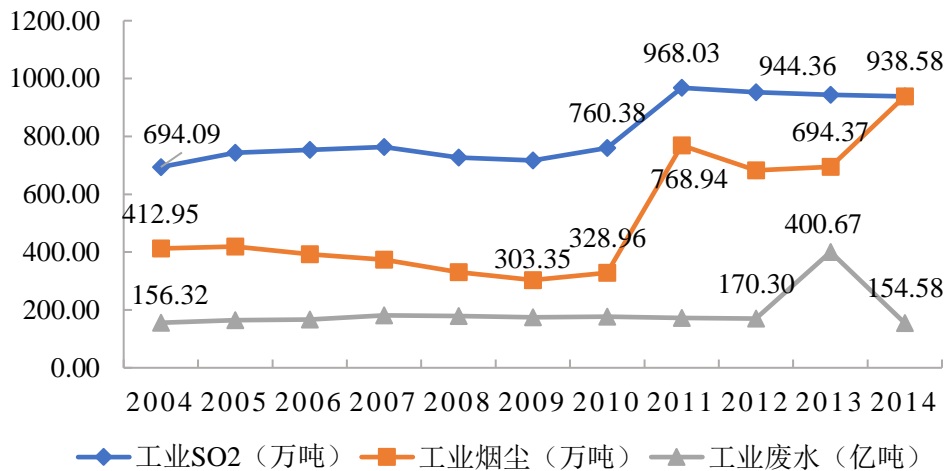


图3.11 我国制造业污染物排放量变化

3.3.2 制造业二氧化碳排放量的计算结果分析

表 3.1 汇报的是 2000-2014 年我国制造业二氧化碳排放总量及增长率的变化趋势。2000 年和 2001 年制造业二氧化碳排放量为 150714.15 万吨和 153313.13 万吨，增长率为 1.73%，2002 年增排仅为 0.56%。2003 年后我国制造业二氧化碳排放量高速增长，制造业二氧化碳排放量在 2003-2005 年增长率均在两位数以上且超过了 15%，分别为 16.53%、15.79%和 16.59%。2006 年制造业二氧化碳排放量增长率降至 6.8%，随后 3 年制造业二氧化碳增速保持个位数增长，增速有所放缓。我国制造业二氧化碳排放量在 2009 年为 352022.18 万吨，增长率高达 25.17%，增速首次突破 25%，这与图 3.5 中反映的制造业消费总量占能源消费总量的比重很高相契合，高能源消费量意味高二氧化碳排放量。2010-2014 年制造业二氧化碳排放量增长率分别为 7.94%、7.95%、1.72%、2.13%和 2.97%，增速

开始下降。2000年和2014年我国制造业二氧化碳排放量分别为153316.16万吨和438774.09万吨，增排288059.94万吨，增长幅度为191.13%。2000-2014年我国制造业二氧化碳排放量持续上升，这与我国能源消费体量大息息相关，15年间制造业二氧化碳排放量增长了191.13%，增速虽波动程度较大，但总体上处于不断增长的趋势。由此说明，减少我国制造业二氧化碳排放量是控制温室气体排放的重中之重，我国迫切需要提升能源技术的创新能力，提升能源的使用效率，普及清洁能源有利于我国经济健康可持续发展。

表 3.1 2000-2014 年制造业二氧化碳排放量及增长率（排放量单位：万吨）

时间	排放量	增长率	排放量	增长率	排放量	增长率		
2000	150714.15		2005	242532.51	16.59%	2010	379983.81	7.94%
2001	153316.16	1.73%	2006	259027.82	6.80%	2011	410190.71	7.95%
2002	154171.25	0.56%	2007	265906.91	2.66%	2012	417246.14	1.72%
2003	179649.46	16.53%	2008	281238.07	5.77%	2013	426132.12	2.13%
2004	208019.97	15.79%	2009	352022.18	25.17%	2014	438774.09	2.97%

图 3.12 展示的是我国 CO₂、制造业 CO₂ 排放量及其占比的变化趋势图。制造业 CO₂ 与 CO₂ 排放总量呈显著上升的趋势，制造业二氧化碳占比存在频繁波动变化，但长期来看呈波动上升的趋势，比重始终保持在 40% 以上，2009 年占比高达 44.63%，2000-2014 年，占比从 42% 上升至 43.7%，增加了 1.7 个百分点，年均增长 0.12%；2000-2002 年、2005-2007 年及 2009-2012 年制造业二氧化碳占比呈快速下降的趋势，分别下降了 2.54%、2.03% 和 3.02%。由此可以看出，制造业二氧化碳排放量占二氧化碳排放总量的三分之一，需要重点关注制造业行业二氧化碳排放量。2000 年和 2014 年二氧化碳增排 645688.78 万吨，增长了 179.8%，说明二氧化碳对环境质量的影响程度很大，当今大气污染问题十分严峻，情况不容乐观。

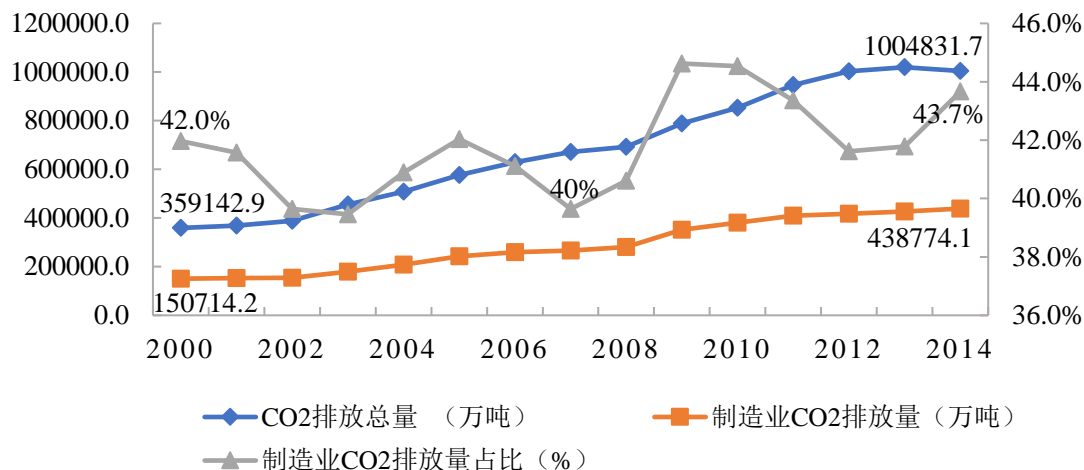


图3.12 CO2排放总量、制造业CO2排放量及其占比变化

图 3.13 展示的 2000-2014 年我国 GDP 增长率和制造业二氧化碳排放量增长率的变化。如图 3.13 所示，2001 年和 2002 年我国 GDP 增长率分别为 8.34%、9.13%，高于制造业二氧化碳排放量的增长率 1.73%、0.56%。此后，2003-2005 年我国制造业二氧化碳排放量增长率均高于我国 GDP 增长率，分别高出 6.49、5.68 和 5.2 个百分点。2006 年制造业二氧化碳排放量增长率为 6.8%，首次低于 GDP 增长率 12.72%。值得注意的是，制造业二氧化碳排放量增长率由 2005 年的 16.59% 锐减至 6.8%，二氧化碳减排 9.79%，减排效果十分显著，可能的原因是我国为了积极应对全球气候变暖问题，先后签订了《京都协议书》和《巴黎气候协定》，将“节能减排”目标纳入“十二五”规划《纲要》，始终致力于消减温室气体的排放，大力发展风力发电和太阳能发电，坚持排放权就是生存权的发展理念。2009 年制造业二氧化碳排放量增长率出现了明显的反弹，2009 年制造业二氧化碳排放量增长率为 25.17% 远远高于 GDP 增长率 9.4%，说明我国能源利用效率不高、清洁能源使用率偏低，经济发展方式存在粗放型增长，过于依赖化石和传统能源，转变经济发展方式迫在眉睫。除 2009 年外，2006-2014 年间我国制造业二氧化碳排放量增长率均低于我国 GDP 增速，且制造业二氧化碳排放量增长率由 2011 年的 7.95% 锐减至 2012 年的 1.72%，减排 6.23%，这与《京都协议书》中规定发展中国家从 2012 年开始承担减排义务密不可分。2014 年我国制造业二氧化碳排放量增长率减少为 2.94%，由此可以看出，我国在治理全球气候变

化问题上做出了巨大的努力,为世界各国治理气候变化问题贡献了中国智慧和经验,体现了中国应有的大国担当。

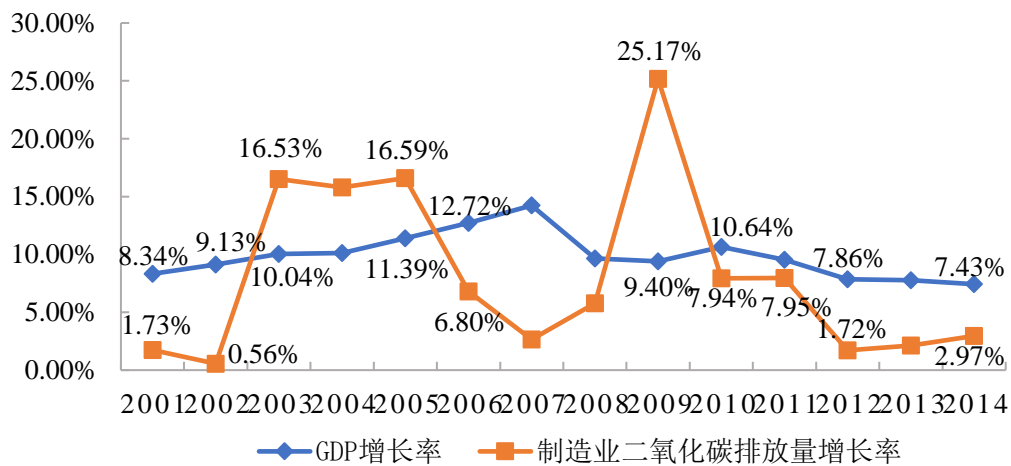


图3.13 我国GDP增长率和制造业CO₂排放量增长率的变化

4 非竞争型投入产出模型的实证分析

4.1 制造业部门分类依据及结果

欧盟资助开发的世界投入产出表中, 2000-2011 年非竞争型投入产出表为 35 部门, 2012-2014 年非竞争型投入产出表为 56 部门, 为避免因部门合并而出现的数字失真现象, 本文参考尹伟华 (2016)^[44]的分类方法, 按照经济合作与发展组织 (OECD) 技术水平分类标准 (2013), 在 NACE1 二分位水平上对制造业行业按照技术类别进行分类, 按照技术集中度划分为 4 种类型, 依次为低、中低、中高和高技术制造业。如表 4.1 所示, 低技术制造业 (LT) 包括 C3、C4、C5、C6、C7、C16 六个大类, 中低技术制造业 (MLT) 包括 C8、C10、C11、C12 四个大类, 中高技术制造业 (MHT) 包括 C9、C13、C15 三个大类, 高技术制造业 (HT) 包括 C14 一个大类。

表 4.1 2000-2011 年 WIOD 中制造业技术分类

产业代码	产业名称	技术类别
C3	食品、饮料制造业和烟草业	LT
C4	纺织业	LT
C5	皮革及鞋类制品业	LT
C6	木材和木制品制造业	LT
C7	纸制品业、记录媒体的复印业	LT
C8	石油加工业	MLT
C9	化学制品、化学纤维制造业	MHT
C10	橡胶及塑料制品业	MLT
C11	非金属矿物制品业	MLT
C12	金属制品业	MLT
C13	通用专用设备制造业	MHT
C14	电气和光学设备制造业	HT
C15	交通运输设备制造业	MHT
C16	其他制造业及废气资源和旧材料回收加工	LT

本文参考张朕 (2019)^[46]的分类方法, 依据《国际标准工业分类修订版 4》(ISIC Rev.4) 对 2012-2014 年 WIOD 行业数据进行分类。如表 4.2 所示, 低技术制造业 (LT) 包括 C5、C6、C7、C8、C9、C22 六个大类, 中低技术制造业 (MLT) 包括 C10、C13、C14、C15、C16 五个大类, 中高技术制造业 (MHT)

包括 C11、C18、C19、C20、C21 五个大类，高技术制造业（HT）包括 C12、C17 两个大类。

表 4.2 2012-2014 年 WIOD 中制造业技术分类

产业代码	产业名称	技术类别
C5	食品、饮料和烟草制造业	LT
C6	纺织、服装和皮革制品业	LT
C7	木制品业	LT
C8	纸和纸制品业	LT
C9	印刷和记录媒介复制业	LT
C10	炼焦、精炼石油产品制造业	MLT
C11	化学原料和化学制品业	MHT
C12	药品原料和药物制剂制造业	HT
C13	橡胶和塑料制品业	MLT
C14	非金属矿物制品业	MLT
C15	基础金属制品业	MLT
C16	金属制品业（机械和设备制造业除外）	MLT
C17	计算机和光学产品制造业	HT
C18	电气设备制造业	MHT
C19	机械和设备制造业	MHT
C20	汽车、拖车和半拖车制造业	MHT
C21	其他运输设备制造业	MHT
C22	家具制造业；其他制造业	LT

本文按照我国《国民经济行业分类》标准，将我国制造业产业部门划分为四种类型，如表 4.3 所示。

表 4.3 《国民经济行业分类》中不同技术层次的制造业

技术层次	小类
低技术制造业	食品和烟草制造业
	纺织、服装和皮革制品业
	木材加工及家具制造
	纸制品、文教体育用品及记录媒介的复印
	工艺品及其他制造产品
	废弃资源和废旧材料回收加工品
中低技术制造业	石油加工制品业
	橡胶和塑料制品业
	非金属矿物制品业
	黑色、有色金属冶炼及其压延加工业
	金属制品业
	金属制品、机械和设备修理业

续表 4.3 《国民经济行业分类》中不同技术层次的制造业

中高技术制造业	化学制品制造
	通用设备制造
	专用设备制造
	交通运输设备及其他运输设备制造
	电气机械和器材制造
	仪器仪表及办公用品机械制造业
高技术制造业	医药制造业
	计算机、通信和其他电子设备制造业

4.2 基本分析

4.2.1 总量分析

表 4.4 展示的是 2000-2014 年制造业能源消费量的历年变化。如表 4.4 所示，除个别年份以外，中低技术制造业和中高技术制造业对煤炭、石油、天然气和电力的消耗量均呈不断增长的趋势，低技术制造业和高技术制造业对不同能源消费量呈现出显著差异。具体来看，2011 年之后低技术制造业对煤炭和石油的消费量逐年减少，对天然气和电力的消费也有放缓的趋势，这说明我国能源体制改革和优化制造业能源消费结构有了一定的效果，制造业经济建设的重心由低技术制造业向中低和中高制造业发展。2009 年之后高技术制造业对石油消费量亦出现了显著减少的趋势，对天然气、煤炭和电力的能源消费增速明显放缓。从总体上来看，2013 年之后四种类型的制造业对能源消费需求有所减少和放缓，可能的原因是 2013 年国务院印发了《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》，我国政府在深化能源体制改革和保障能源安全方面付出了坚持不懈的努力。

表 4.4 制造业能源消费量的历年变化（单位：%）

时间	低技术制造业				中低技术制造业			
	煤炭	石油	天然气	电力	煤炭	石油	天然气	电力
2001	0.48	2.47	-7.47	8.81	1.45	0.65	12.34	9.26
2002	1.91	2.90	-12.42	12.65	-3.20	5.24	6.47	14.65
2003	5.00	-11.51	-33.69	7.52	23.96	9.76	26.71	19.16
2004	21.70	-1.45	95.19	14.62	24.91	36.41	70.60	20.24
2005	4.49	-9.40	6.03	16.19	13.38	1.00	19.38	16.72

续表 4.4 制造业能源消费量的历年变化 (单位: %)

2006	7.47	2.87	6.20	16.73	8.31	9.89	8.90	19.19
2007	1.25	0.86	15.09	7.80	3.22	5.00	19.46	19.10
2008	-2.86	16.92	68.08	5.42	7.98	3.12	29.61	3.90
2009	46.49	-7.23	14.47	3.76	24.09	7.61	4.97	6.58
2010	7.45	2.44	28.35	11.34	8.98	14.66	24.47	17.74
2011	0.01	-23.45	38.36	9.21	9.64	1.16	44.79	12.30
2012	-2.88	-13.68	53.16	7.68	1.46	7.89	30.51	3.79
2013	-0.73	-4.24	29.09	4.47	6.50	4.29	28.92	8.92
2014	-8.18	-8.83	26.42	3.11	2.69	6.01	11.31	4.72
中高技术制造业					高技术制造业			
时间	煤炭	石油	天然气	电力	煤炭	石油	天然气	电力
2001	-0.20	0.91	6.11	8.24	-1.18	17.47	16.24	11.66
2002	5.10	3.60	6.22	14.70	3.14	21.47	23.80	8.28
2003	9.03	5.91	27.72	15.19	8.17	-8.04	13.23	34.46
2004	9.02	-23.09	-2.26	14.82	5.79	0.43	-21.18	18.52
2005	8.38	19.79	16.80	10.17	3.40	-0.02	13.44	16.54
2006	5.36	-8.77	24.79	13.81	5.07	6.40	11.15	16.73
2007	3.33	5.46	16.86	14.98	-3.66	2.96	17.55	15.83
2008	4.03	18.48	1.33	3.40	5.97	31.40	7.60	9.74
2009	42.79	-2.91	-9.70	6.05	52.75	-6.64	-10.41	4.78
2010	4.37	15.09	11.25	15.49	6.31	-2.79	27.11	19.44
2011	8.25	8.66	32.83	11.95	4.02	-44.98	10.34	9.56
2012	2.26	-13.80	7.32	6.37	6.43	-15.72	17.26	4.54
2013	-0.44	3.36	12.63	8.70	-4.93	-11.61	9.34	6.71
2014	3.02	13.42	5.84	5.76	-0.19	-7.67	13.38	7.44

表 4.5 展示的是制造业大气污染物和二氧化碳排放量的历年变化, 从表 5.5 中可以看出, 除 2002、2011、2012、2013 和 2014 年外, 低技术制造业、中低技术制造业、高技术制造业和中高技术制造业对大气污染物和二氧化碳排放量均呈逐年增加的趋势, 这与我国制造业经济体量多, 能源消费规模大有关, 我国制造业对能源依赖程度强, 过高的能源消费量自然会排放大量的大气污染物和温室气体, 对大气环境造成破坏。尤其是 2009 年, 四种类型制造业大气污染物和二氧化碳排放量达到峰值, 这是因为 2009 年制造业能源消费量在 15 年中最高。值得注意的是, 低技术制造业部门从 2011 年之后二氧化碳排放量和大气污染物排放量均有逐年减少的趋势, 表明我国推进节能减排初有成效, 但大气污染物和二氧化碳排放量不断增加仍是制约经济绿色可持续发展的突出难题。

表 4.5 制造业大气污染物和 CO₂ 排放量的历年变化 (单位: %)

时间	低技术制造业		中低技术制造业		中高技术制造业		高技术制造业	
	CO ₂	大气污染物	CO ₂	大气污染物	CO ₂	大气污染物	CO ₂	大气污染物
2001	0.79	2.33	2.19	1.70	1.08	1.78	2.46	5.82
2002	1.74	4.25	-1.44	1.93	4.27	6.20	7.44	8.56
2003	3.13	3.69	23.11	17.10	8.69	10.60	5.34	13.73
2004	18.83	18.12	22.23	29.65	-0.61	0.44	3.22	7.67
2005	3.42	6.19	19.40	8.14	15.28	11.78	3.38	8.58
2006	7.12	9.53	7.26	9.93	5.27	5.63	5.65	10.37
2007	1.33	3.07	1.89	5.60	5.84	7.56	-1.31	6.73
2008	-1.19	1.00	6.92	5.71	5.09	6.25	10.33	10.49
2009	42.28	29.88	22.62	15.34	25.62	19.72	37.70	19.15
2010	7.09	8.28	8.79	12.14	5.87	8.84	5.91	11.79
2011	-0.86	1.51	8.06	7.02	12.16	11.16	-2.08	2.69
2012	-2.87	0.17	3.16	4.50	-0.86	0.83	5.53	5.11
2013	-0.39	1.16	2.88	6.34	1.07	3.49	-4.18	1.16
2014	-7.50	-4.12	3.67	4.34	4.99	5.50	0.63	4.23

4.2.2 基于完全消费系数的分析

2000-2011 年非竞争型投入产出表中有 14 个制造业部门, 2012-2014 年非竞争型投入产出表中有 18 个制造业部门, 为了保证分析的科学性和准确性, 在完全消费系数和完全排放系数比较中, 取消 2011 年和 2012 年数据的对比分析。表 4.6 汇报的是 2000-2014 年制造业完全消费系数的历年变化, 除 2003、2004 和 2009 年外, 其余年份四种类型的制造业对煤炭、石油和电力的能源消费量总体上呈明显的下降趋势, 2000-2010 年四种类型的制造业对天然气能源消费不断减少。值得注意的是, 2009 年四种类型制造业对煤炭的消费有明显的增长, 涨幅在 20% 左右, 源于 2009 年制造业能源消费体量大, 这充分说明了我国能源体系中隐藏着大量的“三高”企业, 一旦能源需求上升, “三高”企业未被更新换代的产能就会得到释放, 过高的化石能源消费量便会排放大量的二氧化碳和大气污染物, 从而拉高了整个制造业行业的单位能耗和单位二氧化碳和大气污染物排放量, 造成对环境的破坏。2011-2014 年, 四种类型制造业对天然气的完全消费系数均在增加, 但增加幅度在逐渐降低, 说明四种类型制造业能源消费由煤炭和石油等化石能源向天然气等清洁能源转换, 中国制造业能源消费结构正在向好的方向发展。

表 4.6 制造业完全消费系数的历年变化 (单位: %)

低技术制造业					中低技术制造业			
时间	煤炭	石油	天然气	电力	煤炭	石油	天然气	电力
2001	-6.38	-5.25	-4.64	1.02	-5.71	-6.34	2.35	1.52
2002	-5.86	-4.19	-6.75	5.75	-9.49	-1.85	-1.88	6.53
2003	-5.08	-12.13	-2.17	-4.45	3.52	-7.99	8.22	-0.01
2004	1.95	-8.43	-6.06	-1.52	-3.48	4.99	7.79	-7.31
2005	-10.81	-14.62	-2.02	-3.67	-7.81	-17.64	-2.19	-5.03
2006	-12.71	-11.09	-1.33	-5.73	-12.98	-12.13	-6.60	-4.02
2007	-20.26	-17.83	-8.56	-14.04	-21.89	-20.62	-9.25	-10.06
2008	-21.65	-17.14	-8.61	-17.93	-16.88	-20.32	-6.16	-19.74
2009	33.21	-2.45	-7.13	-0.58	19.35	2.54	-3.36	1.84
2010	-10.39	-6.43	-0.46	-6.08	-10.39	-5.50	-0.22	-3.29
2011	-16.67	-21.65	10.01	-10.92	-11.95	-18.50	13.63	-9.85
2013	-9.16	-3.73	12.64	-5.90	-4.71	-6.53	13.89	-2.27
2014	0.01	0.002	0.0004	0.003	-3.94	-0.65	3.48	-1.97
中高技术制造业					高技术制造业			
时间	煤炭	石油	天然气	电力	煤炭	石油	天然气	电力
2001	-7.96	-7.10	-3.97	-1.15	-8.38	-8.16	0.28	-0.39
2002	-9.61	-6.99	-6.14	1.49	-15.99	-9.64	-4.43	-3.78
2003	-6.47	-11.54	1.71	-5.88	-0.37	-9.83	-0.50	0.27
2004	-7.26	-13.57	-18.03	-6.30	-6.34	1.17	-19.43	-9.08
2005	-8.77	-10.92	-5.26	-8.11	-4.75	-13.34	-1.66	-2.96
2006	-13.75	-16.64	-0.85	-6.81	-9.81	-8.72	-3.33	-3.44
2007	-21.43	-19.20	-13.01	-12.38	-17.56	-15.90	-5.15	-5.82
2008	-16.83	-15.22	-18.84	-18.49	-12.57	-15.18	-6.95	-14.17
2009	27.97	-0.04	-13.17	1.38	24.84	4.24	-6.43	3.77
2010	-12.25	-5.89	-6.38	-4.12	-12.06	-7.27	-2.44	-4.41
2011	-13.32	-17.79	7.57	-10.49	-11.11	-17.88	9.13	-8.71
2013	-8.11	-7.29	2.57	-3.51	-7.69	-7.23	4.55	-4.04
2014	-4.51	-0.21	0.35	-1.69	-5.06	-1.26	2.77	-0.78

4.2.3 基于完全排放系数的分析

表 4.7 汇报的是 2000-2014 年制造业完全排放系数的历年变化,表 4.7 可知,除 2009 年外,低技术、中低技术、中高技术和高技术制造业对大气污染物和二氧化碳排放量的减排效果十分显著,四种类型制造业的完全排放系数总体上呈不断下降的趋势,且二氧化碳的完全排放系数的下降幅度大于大气污染物完全排放系数的下降幅度,说明二氧化碳的减排效应最为明显,大气污染物的减排效应也

相当可观。2006-2008 年，四种类型制造业的二氧化碳和大气污染物完全排放系数均有超过两位数的减速，其中 2007 年减排效果最为显著，低技术、中低技术、中高技术和高技术制造业的二氧化碳完全排放系数分别下降了 20.18%、22.73%、21.07%和 18.07%，大气污染物完全排放系数分别下降了 18.33%、20.05%、18.93%和 15.18%，这也佐证了表 3.2 中二氧化碳增长率仅为 2.66%，该年二氧化碳排放量相对较低，原因在于 2006 年“十一五”规划将制造业节能减排纳入其范围，也体现了我国政府对于污染治理和控制温室气体排放的决心和执行力。

表 4.7 制造业完全排放系数的历年变化（单位：%）

时间	低技术制造业		中低技术制造业		中高技术制造业		高技术制造业	
	CO2	大气污染物	CO2	大气污染物	CO2	大气污染物	CO2	大气污染物
2001	-5.94	-4.94	-5.01	-5.39	-7.37	-6.69	-7.46	-7.35
2002	-5.71	-3.55	-7.90	-4.84	-9.11	-7.19	-14.34	-11.99
2003	-6.27	-6.50	2.70	-1.90	-8.24	-7.74	-1.69	-4.09
2004	-2.07	-0.98	-6.10	-0.19	-13.81	-9.79	-9.73	-4.11
2005	-9.32	-10.11	-2.91	-11.84	-4.02	-9.19	-0.17	-7.91
2006	-12.90	-10.87	-13.74	-11.74	-14.41	-13.00	-10.47	-8.50
2007	-20.18	-18.33	-22.73	-20.05	-21.07	-18.89	-18.07	-15.18
2008	-20.71	-19.77	-17.61	-18.46	-16.91	-16.75	-12.92	-13.65
2009	27.99	17.96	17.43	10.41	19.12	12.72	21.35	13.62
2010	-10.50	-8.79	-10.52	-7.73	-11.69	-9.09	-12.12	-9.28
2011	-16.88	-15.91	-13.05	-13.85	-12.01	-13.13	-12.15	-12.67
2013	-9.36	-7.13	-7.77	-4.72	-9.43	-6.57	-9.42	-6.39
2014	-10.26	-7.94	-2.99	-2.34	-2.96	-2.59	-3.91	-2.84

表 4.8 汇报的是 2000-2014 年制造业完全消费系数和完全排放系数的变化。如表 4.8 所示，15 年间，低技术、中低技术、中高技术和高技术制造业的节能减排效果非常显著，除天然气和电力外，四种类型制造业对煤炭、石油、二氧化碳和大气污染物的完全消费系数和完全排放系数基本上均保持 70%左右的减排力度。其中，高技术制造业的节能减排效应最为显著，对煤炭、石油的完全消费系数降低幅度均超过 78%，对二氧化碳和大气污染物的完全排放系数减少均超过了 78%。这说明高技术制造业的节能减排工作卓有成效，高技术制造业使用新技术、新工艺提升了能源的利用率，对一次能源和化石能源的消费量少，因此对环境的污染也较小。中高技术制造业节能减排效应也相当可观，对天然气和电力的完全

消费系数分别下降了 60%和 59.14%。中低技术制造业对天然气的完全消费系数为正值，说明中低技术制造业对天然气的使用较其他类型制造业呈上升的趋势，这与国家发改委提出的《中国制造 2025》理念相符合，减少化石能源的消耗并推进清洁能源的使用。低技术制造业煤炭完全消费系数和石油完全消费系数分别下降了 72.28%和 80.55%，而天然气和电力的下降幅度为 21.45%和 55.23%，这与低技术制造业对煤炭和石油的依赖远远超过天然气和电力有关。四种类型制造业的煤炭和石油的完全消费系数下降幅度均超过了 65%，说明 15 年间，制造业对煤炭和石油的利用率有了显著的提升，从而降低了煤炭和石油的单位能耗。

表 4.8 2000-2014 年完全消费系数和完全排放系数的变化（单位：%）

	低技术制造业	中低技术制造业	中高技术制造业	高技术制造业
煤炭	-72.28	-65.88	-70.72	-78.86
石油	-80.55	-71.76	-76.38	-84.84
天然气	-21.45	27.57	-60.00	-39.51
电力	-55.23	-48.93	-59.14	-56.23
CO ₂	-74.00	-66.80	-73.86	-79.28
大气污染物	-70.80	-66.52	-70.84	-78.30

4.3 制造业产业结构的调整对大气环境的影响

由图 3.1、图 3.2、图 3.3 可知，2010 年我国第二产业、第三产业增加值占比分别为 46.5%和 44.2%，第二产业、第三产业拉动率分别为 6.1%和 4.2%，制造业增加值占国内生产总值的比重为 3.5%。2013 年第三产业的增值占比（46.9%）首次超过第二产业（44.2%），2014 年第三产业拉动率高于第二产业拉动率。2014 年我国第二、三产业增加值占比分别为 48.3%、43.1%，第二产业、第三产业拉动率分别为 3.4%和 3.7%，制造业增加值占国内生产总值的比重为 30.4%。由此可知，2000-2014 年，第二产业仍然推动我国经济增长的主力军，而制造业是第二产业的主导产业，占比很大。

本文选取 2000-2003 年、2004-2007 年、2008-2011 年和 2012-2014 年为四个产业调整周期，由公式（16）计算出四种类型的制造业产业结构调整对二氧化碳和大气污染物排放的影响。表 4.9 表示的是制造业产业结构调整引起的二氧化碳和大气污染物排放的变化，如表 4.9 所示，在 2000-2003 年高技术制造业产业结构

调整对于大气污染物和二氧化碳排放的影响程度最大，但其影响程度均为负值，高技术制造业产业结构调整对二氧化碳的影响程度仅为-0.722%，对大气污染物排放的影响程度均未超过 0.008%，值得注意的是，中高技术制造业产业结构调整对于大气污染物和二氧化碳排放的影响程度次之，且影响程度为正值，中高技术制造业产业结构调整对二氧化碳排放的影响程度仅为 0.4648%，对大气污染物排放的影响程度均未超过 0.004%。2004-2007 年，高技术制造业产业结构调整对于大气污染物和二氧化碳排放的影响程度最大，高技术制造业对二氧化碳排放的影响程度为 1.0158%，对大气污染物排放的影响程度均为超过 0.01%；2008-2011 年，中低技术制造业产业结构调整对于大气污染物和二氧化碳排放的影响程度最大，但其影响程度均为负值，中低技术制造业产业结构调整对二氧化碳排放的影响程度仅为-0.1941%，对大气污染物排放的影响程度均未超过 0.002%。2012-2014 年，低技术制造业产业结构调整对于大气污染物和二氧化碳排放的影响程度最大，低技术制造业产业结构调整对二氧化碳排放的影响程度仅为 0.03%，对大气污染物排放的影响程度均未超过 0.001%。

虽然 2000-2014 年我国制造业产业结构发生了极大的变化，但在 4 个产业调整周期内，四种类型制造业产业结构调整对二氧化碳排放的影响程度未超过 2%，对大气污染物排放的影响程度未超过 0.01%。可以发现，制造业产业结构调整对温室气体和大气污染物减排的贡献作用并不明显，温室气体和大气污染物的排放并没有随着中高技术和高技术制造业产业产值的增加而有明显的降低，反而个别行业的温室气体和污染物排放量在制造业产业调整的过程中有所增加。单纯的制造业产业结构调整，只是将能源消费重心由低技术和中低技术转移到了中高技术和高技术制造业，解决大气污染问题并不能寄希望于制造业产业结构调整。对于大气环境的保护，应该不断提高能源利用效率，深化能源供给侧结构性改革。

表 4.9 制造业产业结构调整引起的二氧化碳和大气污染物排放变化（单位：%）

时间	低技术制造业				中低技术制造业			
	二氧化硫	氮氧化物	烟尘	二氧化碳	二氧化硫	氮氧化物	烟尘	二氧化碳
2000-2003	0.0022	0.0021	0.0013	0.2921	0.0024	0.0022	0.0014	0.3097
2004-2007	0.0045	0.0043	0.0026	0.5114	0.0096	0.0091	0.0056	1.0100
2008-2011	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0141	-0.0018	-0.0017	-0.0010	-0.1941
2012-2014	0.0003	0.0003	0.0002	0.0300	-0.0002	-0.0002	-0.0001	-0.0116

续表 4.9 制造业产业结构调整引起的二氧化碳和大气污染物排放变化 (单位: %)

时间	中高技术制造业				高技术制造业			
	二氧化硫	氮氧化物	烟尘	二氧化碳	二氧化硫	氮氧化物	烟尘	二氧化碳
2000-2003	0.0030	0.0029	0.0018	0.4648	-0.0073	-0.0069	-0.0043	-0.7220
2004-2007	0.0081	0.0077	0.0047	0.9078	0.0098	0.0093	0.0057	1.0158
2008-2011	-0.0014	-0.0013	-0.0008	-0.1604	0.0003	0.0003	0.0002	0.0304
2012-2014	-0.0003	-0.0003	-0.0002	-0.0210	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0086

4.4 制造业能源消费对大气环境的影响

由图 3.7 可知, 2004-2014 年制造业煤炭消费占制造业能源消费总量的比重处于 47%-51% 的区间, 由表 4.6 可知, 2000-2014 年制造业煤炭的完全消费系数有所降低, 但煤炭消费仍是制造业各行业大气污染物和温室气体排放的主因。本文参考传统投入产出模型中影响力系数, 借助煤炭影响力系数来研究 2000-2014 年制造业煤炭消费的变动。煤炭影响力系数反映的是某行业增加一个单位的最终需求时, 对全社会煤炭消费产生的波动及程度。

$$F_j = \frac{T_j^c}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j^c}, j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

其中, F_j 代表的是煤炭的影响力系数, F_j 表达式中分子的含义: 第 j 个行业的煤炭完全消费系数, 表示第 j 个行业增加单位最终需求对煤炭消费的影响; F_j 表达式中分母的含义: 各行业煤炭完全消费系数之和的平均数, 表示所有行业的最终产品都增加一个单位, 对煤炭消费的平均影响。当 $F_j > 1$ 时, 表明第 j 个行业对煤炭消费的影响程度超过社会各行业影响力的平均水平; 反之, 当 $F_j < 1$ 时, 表明第 j 个行业对煤炭消费的影响程度低于社会各部门影响力的平均水平。 F_j 越大表示该行业对全社会煤炭消费的影响越大。

表 4.10 展示的是 2000-2014 年我国制造业煤炭消费影响力系数, 由表 4.10 可知, 我国制造业对煤炭消费有显著影响的行业呈现聚集的态势, 主要集中于中低技术制造业和中高技术制造业行业。15 年间, 低技术制造业煤炭影响力系数均超过了 1.8, 由 2000 年的 1.812 上升至 2014 年的 2.057, 2000-2003 年和 2012-2014 年中高技术制造业煤炭影响力系数均超过了 1, 其余年份煤炭影响力

系数虽略低于 1，但都超过了 0.96。低技术制造业和高技术制造业煤炭影响力系数大致在 0.5 上下波动。由此可知，重点关注低技术制造业和高技术制造业中的高耗能行业是降低我国能源消费、减少大气污染物排放量和深化制造业能源供给侧结构性的有效途径。

表 4.10 2000-2014 年制造业部门煤炭消费影响力系数

时间	低技术制造业	中低技术制造业	中高技术制造业	高技术制造业
2000	0.492	1.812	1.097	0.599
2001	0.494	1.834	1.083	0.589
2002	0.517	1.845	1.088	0.550
2003	0.495	1.926	1.027	0.553
2004	0.527	1.940	0.994	0.540
2005	0.511	1.944	0.986	0.559
2006	0.511	1.938	0.974	0.578
2007	0.515	1.915	0.968	0.603
2008	0.485	1.914	0.968	0.634
2009	0.521	1.842	0.999	0.638
2010	0.526	1.857	0.986	0.631
2011	0.502	1.875	0.980	0.643
2012	0.500	1.994	1.080	0.426
2013	0.486	2.032	1.062	0.421
2014	0.454	2.057	1.068	0.421

5 结论与启示

5.1 结论

本文使用的产业-能源-环境非竞争混合型投入产出模型可以具体到产业部门、能源种类和大气污染物，可以更加科学和准确地研究制造业行业、能源消费和大气污染之间的关系。通过以上研究，可以发现：

(1) 我国产业结构呈优化趋势，且优化效果显著。2013 年我国第三产业的增值占比首次超过第二产业，2014 年第三产业拉动增长率首次高于第二产业，我国制造业增加值稳中有升，国内生产总值持续增长，制造业增加值占 GDP 的三分之一，制造业是我国最大的产业部门。

(2) 制造业能源结构优化初有成效，能源消费逐渐从煤炭、石油向天然气、电力清洁能源转换，但制造业能源消费体量巨大。我国能源消费供不应求，能源供需矛盾尖锐；2004-2018 年我国能源消费总量、制造业能源消费量持续快速攀升，制造业能源消费占能源消费总量的比重呈倒“U”型增长趋势，基本保持在 55%左右的高位区间；制造业能源消费与国内生产总值密切相关，GDP 增长率与制造业能源消费增长率呈显著正相关；2009-2018 年制造业能源消费强度不断下降，然而制造业能源消费结构却呈倒“U”型增长趋势，我国能源结构有很大的调整空间。

(3) 制造业各行业的能源消费量存在着显著的差异，中低技术制造业能源消费量最大，中高技术业能源消费量次之，高技术制造业能源消费量最低。2000-2014 年，中低技术制造业能源消费量保持快速攀升且体量最大，高技术制造业能源消费量呈上升的趋势但体量极小；尤其要重视中低技术制造业中黑色金属冶炼、化学制品和石油加工等行业的能源消耗，这些产业具有“高耗能、低产值”的特点，需提高重点行业化石能源的使用效率。

(4) 制造业工业污染物排放总量和二氧化碳排放量处于较高水平，工业污染物排放总量由高到低依次是：工业废水、工业二氧化硫、工业烟尘，环境污染问题形势严峻。工业二氧化硫排放量大致呈倒“U”型增长趋势，工业烟尘排放量总体呈先下降再上升交替波动的趋势，工业废水排放量除 2013 年出现明显的反弹上升外，其余年份呈缓慢上升的趋势；2000-2014 年，制造业二氧化碳排放

量增长了 191.13%，增速虽波动程度较大，但总体上处于不断增长的趋势；制造业二氧化碳排放量与二氧化碳排放总量呈快速上升的趋势且呈明显的正相关，制造业二氧化碳占比存在频繁波动变化，但长期来看呈波动上升的趋势，比重始终保持在 40% 以上。

(5) 2000-2014 年制造业的节能减排效果非常显著，四种类型制造业对煤炭、石油、二氧化碳和大气污染物的完全消费系数和完全排放系数基本上均保持 70% 左右的减排力度。其中，高技术制造业的节能减排效应最为显著，且制造业的能源消费正由煤炭、石油等化石能源向天然气和电力等清洁能源转换。除 2009 年外，制造业对大气污染物和二氧化碳排放量的单位能耗减排效果十分显著，四种类型制造业的完全排放系数总体上呈不断下降的趋势，二氧化碳的减排效应最为明显，大气污染物的减排效应也相当可观。

(6) 制造业产业结构调整对温室气体和大气污染物减排的贡献作用并不明显，四种类型制造业产业结构调整对二氧化碳排放的影响程度未超过 2%，对大气污染物排放的影响程度未超过 0.01%。煤炭消费仍是制造业各行业大气污染物和温室气体排放的主因，我国制造业对煤炭消费有显著影响的行业呈现聚集的态势，主要集中于中低技术制造业和中高技术制造业行业，值得重点关注并对工艺进行升级。

5.2 启示

基于以上结论，本文基于制造业产业结构和能源消费对治理大气污染得到以下几点启示：

一是优化制造业内部产业结构，大力发展中高和高技术低能耗制造业，从而降低制造业对能源消费的需求。我国应秉持低碳发展理念，重点发展能耗低、污染小和技术强的高技术产业，促进我国产业结构的升级，使其向低碳经济转化，推动新技术、新材料的研发和生产，提高我国科技创新能力。我国政府对于黑色金属、化学制品及石油加工等高污染、高耗能行业应制定严格的环境规制和标准，加强政策约束并促进其转型升级；对于食品加工、纺织业等能耗少的低技术制造业应加大政策扶持力度。由于能源消费结构和能源强度是影响环境污染的主要因

素，大力推广天然气和电力等清洁能源的使用，提高能源利用效率，坚定不移的实施能源供给侧结构性改革。

二是通过技术进步推动能源消费结构调整，实现能源消费与环境保护的绿色协调可持续发展。技术进步是提升能源效率和节能减排的重要手段，必须开发新能源和探索新能源发展模式。深化能源供给侧改革，推动化石能源消费逐渐向清洁能源消费方向转变。目前煤炭是我国能源消费的主力军，促进煤炭使用和分配等方面的技术创新升级，提高煤炭、石油等一次能源的使用效率，从而优化我国制造业产业结构。对于重点行业和企业，一方面应给予能源创新技术扶持，提高其工艺水平，降低其能源消费和污染物排放，另一方面，政府需加大重点行业的环境税和能源税，提高环境污染和能源使用成本倒逼企业进行技术创新，积极主动地提高能源利用效率，从而达到控制制造业能源消费总量和减少大气污染物和温室气体排放量的目的。

参考文献

- [1]CHONG C, LIU P, MA L, et al. LMDI decomposition of energy consumption in Guangdong Province, China, based on an energy allocation diagram[J]. Energy,2017,133:525-544.
- [2]DAI Y, GAO HO. Energy consumption in China's logistics industry: A decomposition analysis using the LMDI approach[J]. Transportation Research Part D,2016,46:69-80.
- [3]F Kahrl, D Roland-Holst. Energy and exports in China[J]. China Economic Review,2008,19(4):649-658.
- [4]Leontief W. Environmental Repercussions and the Economics System[J]. Review of Economics and Statistics,1970,Vo1.52,No.3:262-271.
- [5]LU Y, CUI P, LI D. Which activities contribute most to building energy consumption in China? A hybrid LMDI decomposition analysis from year 2007 to 2015[J]. Energy & Buildings,2018,165.
- [6]WANG M, FENG C. Decomposing the change in energy consumption in China's nonferrous metal industry: An empirical analysis based on the LMDI method[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2018,82.
- [7]WANG W, LIU X, ZHANG M, et al. Using a new generalized LMDI (logarithmic mean Divisia index) method to analyze China's energy consumption[J]. Energy,2014,67:617-622.
- [8]ZENG L, XUM, LIANG Set al. Revisiting Drivers of Energy Intensity in China during 1997-2007: A Structural Decomposition Analysis[J]. Energy Policy,2014,67: 640-647.
- [9]艾明晔,毕克新,李婉红.我国制造业发展模式动态演进及产业结构优化研究——基于 1993-2009 年的碳排放[J].经济问题探索,2012(01):48-54.
- [10]曾波,苏晓燕.中国产业结构变动的能源消费影响——基于灰色关联理论和面板数据计量分析[J].资源与产业,2006(03):109-112.
- [11]曾先锋.基于非竞争型投入产出表的中国碳排放影响因素研究[J].中国社会科学院研究生院学报,2016(02):40-44.

- [12]陈雯,李强.我国对外贸易的能源消耗分析——基于非竞争型投入产出法的研究[J].世界经济研究,2014(04):26-31+88.
- [13]陈迎,潘家华,谢来辉.中国外贸进出口商品中的内涵能源及其政策含义[J].经济研究,2008(07):11-25.
- [14]段显明,童正卫.浙江省能源消费碳排放的因素分解——基于 LMDI 分析方法[J].北京邮电大学学报(社会科学版),2011,13(04):68-75.
- [15]范丹.中国能源消费碳排放变化的驱动因素研究——基于 LMDI-PDA 分解法[J].中国环境科学,2013,33(09):1705-1713.
- [16]冯梅,李文华.新中国 70 年一次能源消费结构变迁与经济高质量发展[J].经济问题,2019(07):9-15.
- [17]郭强.北京市节能减排投入产出表的编制与分析研究[D].首都经济贸易大学,2012.
- [18]黄勤,何晴.长江经济带碳排放驱动因素及其空间特征——基于 LMDI 模型[J].财经科学,2017(05):80-92.
- [19]雷明.绿色投入产出核算—理论与应用[M].北京大学出版社,2000.
- [20]李翠,王海静,徐晔.我国制造业升级对能源消费结构影响的实证研究——基于制造业 30 个行业面板数据的门槛模型分析[J].江西师范大学学报(自然科学版),2018,42(01):23-30.
- [21]李力,王凤.中国制造业能源强度因素分解研究[J].数量经济技术经济研究,2008,25(10):66-74.
- [22]李立.试用投入产出法分析中国的能源消费和环境问题[J].统计研究,1994(05):56-61.
- [23]李世奇,朱平芳.产业结构调整与能源消费变动对大气污染的影响——基于上海投入产出表的实证分析[J].上海经济研究,2017(06):82-89.
- [24]刘国新,王静,江露薇.我国制造业高质量发展的理论机制及评价分析[J].管理现代化,2020,40(03):20-24.
- [25]刘瑞翔,姜彩楼.从投入产出视角看中国能耗加速增长现象[J].经济学(季刊),2011,10(03):777-798.
- [26]刘宇.中国主要双边贸易隐含二氧化碳排放测算——基于区分加工贸易进口

- 非竞争型投入产出表[J].财贸经济,2015(05):96-108.
- [27]陆平,乔标.我国制造业能源消费变化趋势的因素分析——基于规模、效率与结构的三维视角[J].工业经济论坛,2016,03(06):608-616.
- [28]罗家鑫.产业结构、能源消费与大气污染[D].兰州财经大学,2019.
- [29]马国霞,於方,齐霁,王金南.基于绿色投入产出表的环境污染治理成本及影响模拟[J].地理研究,2014,33(12):2335-2344.
- [30]马珩.制造业高级化对能源强度的影响研究——来自制造业强省的经验证据[J].江苏社会科学,2015(03):32-38.
- [31]马丽梅,张晓.中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响[J].中国工业经济,2014(04):19-31.
- [32]穆智蕊,杨翠红.出口结构及其变动对国民经济影响的分析[J].国际商务(对外经济贸易大学学报),2009(02):39-44.
- [33]彭俊铭,吴仁海.基于 LMDI 的珠三角能源碳足迹因素分解[J].中国人口·资源与环境,2012,22(02):69-74.
- [34]邵帅,李欣,曹建华,杨莉莉.中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角[J].经济研究,2016,51(09):73-88.
- [35]史丹.结构变动是影响我国能源消费的主要因素[J].中国工业经济,1999(11):38-43.
- [36]孙建,毛明明.重庆制造业能源消费碳排放因素实证研究[J].重庆理工大学学报(社会科学),2014,28(11):52-58+74.
- [37]陶玉国,黄震方,吴丽敏,余凤龙,王坤.江苏省区域旅游业碳排放测度及其因素分解[J].地理学报,2014,69(10):1438-1448.
- [38]王德发,阮大成,王海霞.工业部门绿色 GDP 核算研究——2000 年上海市能源—环境—经济投入产出分析[J].财经研究,2005(02):66-75.
- [39]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,2010,45(02):123-136.
- [40]王丽,郝凤明,王娇月.辽宁省能源消费与经济增长的灰色关联[J].应用生态学报,2016,27(03):920-926.
- [41]魏巍贤,马喜立.能源结构调整与雾霾治理的最优政策选择[J].中国人口·资源

与环境,2015,25(07):6-14.

[42] 武义青,赵亚南.京津冀能源消费、碳排放与经济增长[J].经济与管理,2014,28(02):5-12.

[43] 徐如浓,吴玉鸣.长三角城市群碳排放、能源消费与经济增长的互动关系——基于面板联立方程模型的实证[J].生态经济,2016,32(12):32-38.

[44] 尹伟华.中国制造业产品全球价值链的分解分析——基于世界投入产出表视角[J].世界经济研究,2016(01):66-75+136.

[45] 原毅军,贾媛媛.技术进步、产业结构变动与污染减排——基于环境投入产出模型的研究[J].工业技术经济,2014,33(02):41-49.

[46] 张朕,周京奎,蔡礼辉.中日印制造业全球价值链分工与地位的比较研究[J].经济问题探索,2019(08):116-126+168.

[47] 赵选民,卞腾锐.基于 LMDI 的能源消费碳排放因素分解——以陕西省为例[J].经济问题,2015(02):35-39.

[48] 郑义,徐康宁.中国能源强度不断下降的驱动因素——基于对数均值迪氏分解法(LMDI)的研究[J].经济管理,2012,34(02):11-21.

[49] 周国富,田孟,刘晓琦.雾霾污染、能源消耗与结构分解分析——基于混合型能源投入产出表[J].现代财经(天津财经大学学报),2017,37(06):3-14.

[50] 宗刚,牛钦玺,迟远英.京津冀地区能源消费碳排放因素分解分析[J].生态科学,2016,35(02):111-117.

后记

本学位论文是在导师韩君教授的悉心指导下完成的。回首三年的研究生生涯,只觉得短暂而精彩,初入学时还觉得毕业遥遥无期,一转眼便到了毕业的日子。回首望去,三年中经历过喜悦、收获、也有痛苦、彷徨与纠结,在时间的洗礼下,那些努力和奋斗岁月显得弥足珍贵、那些遗憾和纠结再次回味起来涩涩发甜,想起当初自己对读研生活的憧憬和规划,此刻内心涌现出奇妙的情愫,泪水湿润了眼眶。在临毕业之际,脑海中浮现出许多可爱亲切的面孔,太多的人需要感谢。

首先,感谢韩君老师在学术和生活方面给予我的诸多帮助和引导,三年求学生涯中,韩老师一次次不厌其烦的指导,谆谆教诲始终铭记于心。从我论文的选题到结构框架,从模型应用到最终定稿,韩老师悉心指导,给予了很多宝贵的修改意见,倾注了大量的时间和精力。很荣幸可以成为韩老师的学生,更加幸运的是可以有机会参加韩老师组织的学术讨论班,让我不仅学习到了各种计量经济模型,同时也学习到了相关模型的软件操作,夯实了我的理论基础和解决学术问题的能力。在生活中,韩老师经常在我彷徨迷茫的时候给予关心和帮助,韩老师认真严谨的学术作风是我学习的榜样。在讨论班有幸听到了罗家鑫师兄讲的投入产出模型,明确了自己的毕业论文方向。

其次,感谢统计学院的老师们对我学业上的帮助,感谢统计学院的小伙伴们和 621 的室友们给予我生活上的帮助,感谢我的舍友赵杉杉同学在三年的读研生活中与我一同分担悲伤喜悦分享快乐,感谢师兄罗家鑫、袁慎以及同门吴俊珺、李文星在我日常点点滴滴学习生活中给予的帮助,是你们让我的研究生生活充满快乐,变得精彩。

最后,感谢我的家人对我的关心和帮助。感谢父母给予我精神和物质上的极大支持,让我可以心无旁骛的学习,是你们给予我越挫越勇、乘风破浪的勇气。