

分类号:

密级: 公开

学校代码: 10140

学号: 4031130095



遼寧大學

LIAONING UNIVERSITY

硕士学位论文

THESIS FOR MASTER DEGREE

论文题目: 影响全国二氧化碳排放驱动因素分析

英文题目: The factor affecting the discharge of CO₂ in china

论文作者: 雷泽坤

指导教师: 李平 教授

专 业: 西方经济学

完成时间: 二〇一四年四月

申请辽宁大学硕士学位论文

影响全国二氧化碳排放驱动因素分析

The factor affecting the discharge of CO₂ in china

作 者:	雷泽坤
指导教师:	李平 教授
专 业:	西方经济学
答辩时间:	2014 年 5 月 10 日

二〇一四年四月·中国辽宁

摘要

随着经济的飞速发展,气候不断变暖已经造成了不可忽视的影响,严重的威胁着人们的生存和经济的可持续发展。我国已经越来越重视把节能减排以及环境的可持续发展,因此我国把控制并极力减少二氧化碳的排放看成是一个攸关生态环境的大问题。然而利用降低经济发展的代价来换取减少温室气体的排放并不是一个两全其美的做法。因此,寻求一条以低碳排放为特征的经济增长方式已经显得尤为重要。我国承诺:到2015年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比2012年下降17个百分点。要达到这个目标并非轻而易举的事,需要政府和居民共同的努力。目前,我国的基本国情仍是一个发展中国家,正处在城镇化、以工业为主的第二产业迅速发展的时期,对于控制温室气体排放有很大压力,这就对任务的完成增加了一定的难度,我们必须付出艰辛的努力。本文的研究对于降低我国二氧化碳排放量、优化环境、合理利用环境,促进我国经济健康可持续的发展以及我国居民能耗效率提高,具有重要的理论意义和现实意义。

本文首先对改革开放以来我国二氧化碳排放情况进行分析,并利用灰度预测模型对未来十年的二氧化碳排放量进行预测。然后,基于LMDI对数分解法,把影响非居民日常生活产生的碳排放分解为经济增长、能源强度、能源结构、产业结构以及能源的二氧化碳强度五个驱动因素,对各个因素的影响程度进行定量分析。根据分析结果,寻求影响我国二氧化碳排放的原因和解决途径。此外,对于居民日常消耗排放的二氧化碳量同样不可忽视,文章最后对居民日常消耗排放的二氧化碳量同样利用LMDI模型进行了分析,基于分析结果提出合理的减排建议。

通过上述的分析,本文得出的结论是:从1999年-2011年,对我国碳排放量影响的主要驱动因素是经济增长和能源强度。其次是产业结构和能源的二氧化碳强度。但是,牺牲经济增长来寻求抑制二氧化碳的方式显然是不合理的,因此,只能从其他三个方面入手找到节能减排的有效途径。对于居民消费碳排放的因素分析得到,二氧化碳强度和人均耗能量是主要的驱动碳排放因素,其次是能源结构和人口规模,由于热能、电能的大量使用,能源结构由煤炭、煤油等高排放的能源向天然气等能源的过度并没有从根本上解决能源结构的优化。

关键词:能源结构 产业结构 能源强度 LMDI模型 灰度预测模型

Abstract

With the rapid development of the economy, climate warming has caused the influence, serious threat to the survival of people and the sustainable development economic. China has increasingly attached great importance to control the energy conservation and emissions reduction, reducing carbon dioxide emissions, tread that as a big problem about ecological environment. However ,reducing the cost of economic development in exchange for reducing emissions of greenhouse gases is not the best of both worlds, therefore, seeking a way that be good to economic growth to reduce carbon emissions is very important. China has made a commitment that: By 2015, China unit of GDP of carbon dioxide emissions will reduce 17% less than 2012. China is still a developing country, which is in the fast developing period of urbanization, industrialization, and has a lot of pressure to control greenhouse gas emissions, this task is not easy to finish. It must make arduous efforts. Research of this paper to reduce China's carbon dioxide emissions, optimize environment and rational utilization of the environment, promoting China's economic health of sustainable and more efficient energy consumption of residents in our country, has important theoretical significance and practical significance.

First the article first analyze the co2 emission in China since reform and opening to the outside situation, and by using gray prediction model to forecast the carbon dioxide emissions in the next decade. Then, devise the influence of carbon emissions into five factors, such as decomposed into economic growth, energy intensity, energy structure, industrial structure and energy intensity of carbon dioxide, based on LMDI logarithmic decomposition method, and quantitative analysis on the influence degree of various factors. Then seek influence of China's emissions of carbon dioxide causes and solutions according to the analysis result. In addition, the residents' consumption emissions of carbon dioxide also cannot be ignored, finally to the residents' consumption emissions of carbon dioxide using same LMDI model are analyzed, and based on the results of the analysis put forward reasonable Suggestions to reduce emissions.

Through the analysis above, the conclusion of paper is that: From 1999-2011, the impacts on China's carbon emissions are the main driving factors of economic growth and energy intensity. The second important factor is the industrial structure and energy intensity of carbon dioxide. It is not obviously unreasonable to expense economic growth to seek to curb carbon dioxide, therefore, we can only from the other three aspects to find an effective way of energy saving and emission reduction. Carbon dioxide intensity and carbon per capita energy consumption is the main driving factors from all the factors, followed by the energy structure and population scale. AS we use large amounts of heat, electricity, Using natural gas instead of coal and other high emissions energy, we can not solve the problem fundamentally.

Keywords: Energy structure Industrial structure Energy intensity
LMDI model Gray prediction model

目 录

摘要.....	
ABSTRACT.....	
1. 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的及意义.....	3
1.2.1 研究目的.....	3
1.2.2. 研究意义.....	3
1.3 研究思路与研究方法.....	4
1.4 研究创新与不足之处.....	5
1.5 国内研究综述.....	6
1.5.1 国外文献综述.....	6
1.5.2 国内文献综述.....	7
2. 理论基础与研究方法.....	8
2.1 低碳理论.....	8
2.2 环境经济学理论.....	9
2.3 环境库兹涅茨曲线 (EKC).....	10
2.3.1. 技术效应、规模效应以及结构效应.....	12
2.3.2. 环境规制.....	12
2.3.3. 环境质量需求.....	13
2.3.4. 市场机制.....	13
2.3.5. 减污投资.....	13
2.4 能源经济学理论.....	14
2.5 灰色预测 GM (1,1) 模型.....	15
2.6 LMDI 模型.....	16
3. 我国碳排放现状及其趋势预测.....	18
3.1 改革开放以来,我国二氧化碳排放总量与排放强度.....	18
3.2 我国的碳排放交易.....	21
3.3 我国目前主要的二氧化碳减排政策.....	22
3.4 基于灰色预测模型 GM (1,1) 方法对我国二氧化碳排放的预测.....	24
4. 基于 LMDI 模型对影响我国碳排放量因素进行分析.....	27
4.1 Kaya 等式的改进.....	27
4.2 LMDI 对数分解方法.....	28
4.3 影响二氧化碳排放总量的因素分解.....	29
4.3.1 经济增长对我国碳排放的影响.....	32
4.3.2 产业结构对我国碳排放的影响.....	32
4.3.3 能源结构对我国碳排放的影响.....	33
4.3.4 能源强度对我国碳排放的影响.....	34

5. 影响我国居民日常生活排放二氧化碳总量的驱动因素分析.....	36
5.1 我国居民日常生活二氧化碳排放总量.....	36
5.2 影响生活消费二氧化碳排放量因素分解.....	37
5.3 影响生活消费二氧化碳排放量因素分析.....	38
参考文献.....	44
致谢.....	45

图 表 目 录

图 目 录

图 3-1 1978 年-2013 年全国二氧化碳排放总量.....	24
图 3-2 1978 年-2023 年全国二氧化碳排放总量、预测总量.....	27
图 4-1 1999 年-2013 年全国二氧化碳排放量增长率.....	30
图 4-2 我国第一、第二、第三产业二氧化碳排放量.....	33
图 4-3 1999 年到 2011 年煤炭消费量占比.....	34
图 4-4 1999 年-2011 年全国消耗能源强度.....	35
图 4-5 第一、第二、第三产业的能源强度.....	35
图 5-1 我国居民生活二氧化碳排放.....	36

表 目 录

表 3-1 1978 年-2010 年全国二氧化碳排放情况.....	19
表 3-2 1978 年-2010 年二氧化碳排放强度.....	20
表 3-3 灰色模型的拟合值计算表.....	26
表 3-4 2014-2023 年碳排放预测表.....	26
表 4-1 各类能源的碳排放系数.....	30
表 4-2 2000 年-2011 年四种因素对二氧化碳排放的影响效果.....	31
表 4-3 2000 年-2011 年四种因素对二氧化碳排放的影响占比%.....	31
表 4-4 1999-2011 年人均 GDP 增长率%.....	32
表 5-1 1996 年-2011 年居民消费排放二氧化碳驱动因素.....	38
表 5-2 1999 年-2011 年居民能源消费情况.....	39

1.绪论

工业革命的到来，给人们带来了经济的迅速增长，人们的物质生活和精神生活极大的得到了丰富，人们享受着工业革命带来的物质和精神财富的同时，也付出着巨大的代价。地球上的资源被人们过度的消耗，以石油、煤炭为主的不可再生资源大量的开采使人们面临资源枯竭的能源危机。与此同时，能源的大量消耗极大的加剧了温室效应，二氧化碳等温室气体的大量排放，造成了一系列的环境问题。尤其是近几年，随着能源消耗的加剧，全球气候变暖、冰川的大量融化，海平面持续上升以及危及全国人民健康的雾霾天气等等，都是人类对环境的破坏所酿成的恶果。长此以往，若不采取适当地措施抑制环境的继续恶化，不仅会影响到生态平衡、环境的可持续发展，更会波及到能源与环境之外的政治、经济和文化等各个领域。因此，减少排放温室气体的大量排放，已经被全世界各个国家高度重视。提倡节能减排和大力发展低碳经济刻不容缓。

1.1 研究背景

近些年，气候的不断变暖已经对世界各个国家的发展造成了不可忽视的影响，严重的威胁着人们的生存和经济的可持续发展。世界各国已经越来越高度重视把节能减排，控制并极力减少二氧化碳的排放，将其看成是一个攸关生态环境的大问题。1997年12月份，为了解决全球性的气候变暖问题达成一致，保护人类赖以生存的家园，在日本首都东京召开了第三次《联合国气候框架变化公约》大会。参与该会议的国家就二氧化碳排放问题进行了激烈的探讨，大家所熟知的《京都协议书》。其中《京都议定书》包括38个工业化国家（11个中东欧国家也在其中），并为这些国家设定了强制性的温室气体减排的最终目标，节能减排的目标分为两个阶段完成。第一承诺期在2008-2012年，在该年间，发达国家整体温室气体排放量要比1990年平均减少5.2个百分点。《京都议定书》的第二期承诺在2013年开始实施。对于发展中国家，《京都议定书》并没有关于碳排放的硬性要求。然而，直到2003年，在有关建设能源的白皮书《我们能源的未来：创建低碳经济》的英国政府文件中，首次提出了低碳经济的概念。英国经历了辉煌的工业革命时期，可以说英国真正的发展就是从工业革命开始的，但是，

工业革命发展的同时也消耗了大量的能源,使英国面临温室气体加剧的危机。对此,英国试图从改变消费结构入手,对于一些高排放、高污染的产品,由自己生产转向了由国外进口。与此同时,加大对高新技术和节能环保产品的开发,转变经济发展模式。低碳经济越来越受到人们的关注,与低碳经济相关的产业也相继发展起来。除了英国之外,其他西方国家看到了低碳经济未来发展趋势,依次对贸易对象、能源使用结构以及产业体系进行低碳式的改革,加大对低碳技术的投入,优先的占据的低碳产业升级市场。在亚洲,具有代表性的低碳经济发展国家是日本,对于低碳技术的使用已经获得了一定的成功,并将低碳排放技术运用的产业当中,取得了明显的减少碳排放的效果。

在我国,改革开放以来我国经济飞速发展足以让世界震惊,但高速度的发展是伴随着高耗能、高排放为代价的。目前,环境质量已经大不如从前,温室效应已经在近几年逐渐的显现。显然,仅利用降低经济发展的代价来换取减少温室气体的排放并不是一个两全其美的做法。因此,我国也必须寻求一条以碳排放为特征的经济增长方式。2009年 IEA 发表的环境报告显示:在 2007 年,因化石燃料的大量消耗而产生的二氧化碳排放量就已经超过了美国,成为世界二氧化碳排放量最高的国家,二氧化碳排放量达到了 60.2 亿吨。最近几年,雾霾天气又在中国北方大部分城市频繁的发生以及近些年的暖冬现象,无疑又对环境的污染以及有害气体排放敲响警钟。

近年来,我国二氧化碳排放量持续增长,政府间气候变化专门委员会(IPCC)在 2007 年发布第四次评估报告《气候变化 2007:自然科学基础》,报告显示:工业革命前我国大气浓度为 280ppm,到来 2005 年已经达到 379ppm。目前,虽然国家已经高度重视温室气体排放和环境污染问题,制定了一系列相应的政策来降低环境的污染水平。但我国目前还是需要大量的低廉能源来支持工业生产,达到彻底用清洁能源取代高排放的化石燃料的目标在短时间内难以完成。因此,寻求一条经济与环境友好发展的增长方式是实现经济可持续发展、建立和谐社会的重要保障。

中国的二氧化碳排放近些年来持续快速增长,这是由中国在短期内能源的刚性需求和经济增长速度所决定的。作为《联合国气候变化框架公约》、《京都协议》缔约国家,我国力争到 2020 年的二氧化碳排放强度比 2005 年降低 40 到 50 个

百分点(二氧化碳排放强度指单位 GDP 的二氧化碳排放量)。此外,我国还承诺:到 2015 年中国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2012 年下降 17 个百分点。国务院于 2013 年 9 月发布《大气污染防治行动计划》,开始对大气污染采取严厉的措施进行治理。该《计划》共颁布了 35 项有效的治理措施,力争在 5 到 10 年的时间里有所改善大气污染。我国仍是一个发展中国家,正处在城镇化、工业化迅速发展的时期,对于控制温室气体的排放受到经济发展、产业结构等多种因素的现状,这个任务并非轻而易举就能完成,我们必须付出艰辛的努力。

1.2 研究目的及意义

1.2.1 研究目的

在全球各国对气候变暖和节能减排广泛关注的形势下,低碳经济、低碳生活、低碳城市以及碳足迹成为公众关注的热点问题。世界各个国家在为实现经济的可持续发展尽最大的努力,我国更极力建设环境友好型和资源节约型社会,实现人与环境的协调发展。本文首先对我国近几年二氧化碳排放量进行总结分析,并利用灰色预测法对我国未来几年的二氧化碳排放量进行预测,分析我国减少二氧化碳排放强度所面临的严峻形势。然后立足于能源强度、经济发展、产业结构、能源碳强度和能源结构及其相互影响关系等因素,并主要运用 LMDI 模型对二氧化碳排放影响因素进行分析,结合我国曾经提出的碳强度优化目标,根据现有的经济、文化、社会等条件,制定相应的措施,为我国加快转变经济发展方式、调整能源结构、节能减排做出有益的参考借鉴,并针对分析结果提出相应的政策建议。最后,根据我国居民日常生活所消耗的各种能源总量统一转化成标准煤计量,再通过计算得到居民消费二氧化碳排放量,同样给予 LMDI 模型对其进行因素分析,提出减少居民生活碳排放量的有效措施。

经过大量的文献查阅和总结分析,并结合国内外对二氧化碳排放前沿的研究和我国当前的碳排放情况,本文拟从以下几个方面对我国碳排放相关问题进行定量分析:经济发展、产业结构、能源强度、能源的碳强度、能源结构。此外,对于日常生活能源的消耗量同样基于 LMDI 模型进行了单独的分析。

1.2.2. 研究意义

全球范围的温室效应、海平面上升、臭氧层空洞以及冰川的融化已经是有目共睹的事,能源的高度消耗不经极大的污染了环境,经济发展也受到了其制约。

我国作为世界上最大的发展中国家，早在 2007 年二氧化碳排放总量已经超过了美国，成为世界上最大的二氧化碳排放国。节能减排尤其是控制二氧化碳的排放量已经成为制约我国经济发展的重要因素。面对诸多的环境压力、国际呼声以及中国今后的可持续发展问题，研究影响我国碳排放驱动因素及其各种因素对我国二氧化碳排放的影响程度意义重大。

理论意义

从理论意义来看，本文以可持续发展理论、环境经济学理论、循环经济理论为理论基础，能源与经济的关系越来越受到重视，通过研究产业结构、能源强度、能源结构等因素对碳排放量的影响的实证分析，提出了有益的碳排放建议以及措施，对我国节能减排、环境保护、规划发展等有重要的理论价值，不仅有利于缓解经济发展与能源短缺之间的矛盾，而且有利于缓解我国的可持续发展。

实践意义

从实际意义来看，能源短缺环境污染已经成为制约我国可持续发展的重要因素，我国经济发展越来越受到环境因素的制约。因此，必须采取有效的措施来解决这两个问题。经济发展和能源需求的阶段性特征和节能减排的基本国策也都需要中国的能源战略有相应的调整。我国已经承诺：到 2020 年碳强度较 2005 年降低 40%至 45%。目前形式来看，达到这个目标并非是轻而易举的事。本研究成果可以为我国能源低碳经济发展方向、调控措施提供必要的理论和实践依据。

1.3 研究思路与研究方法

在丰富的理论与实践体系的支撑下，本文主要针对中国二氧化碳排放现状，对改革开放以来我国二氧化碳排放量进行分析，并基于灰色预测模型利用现有数据对未来几年二氧化碳排放量进行了预测。本文主要建立基于 LMDI 碳排放因素分解模型，对影响我国碳排放因素进行详细分析，并提合理的解决方案，就节能减排问题提出建设性政策上的意见。本文研究内容基本上可分为五大部分：

第一部分是本文的理论基础部分。主要介绍了本文所涉及的理论基础和经济模型，包括低碳经济理论、环境经济学理论、能源经济学理论以及环境库兹涅茨曲线（EKC），LMDI 模型和灰色预测 GM（1,1）模型。

第二部分主要介绍改革开放以来，我国二氧化碳排放现状，包括二氧化碳排放总量、我国目前采取的节能减排措施以及对碳交易进行介绍。我国二氧化碳

排放总量建立了 GM(1,1)灰色预测模型,预测了 2014-2023 年间的二氧化碳排放总量,结果表明在现有的技术和制度下,如果不采取技术、制度或者节能减排的其他措施,我国二氧化碳的排放总量会持续上升,不会出现库兹涅茨拐点。

第三部分主要建立本文的重点——LMDI 对数分解方法。建立了关于影响全国非居民日常消耗二氧化碳排放因素的对数分解模型,分别从经济发展、产业结构、能源强度、二氧化碳排放强度、能源结构等方面对影响碳排放的因素进行分析,比较各因素对我国二氧化碳排放量的影响。

第四部分基于第三部分分析得到的数据结构,仔细深入的分析影响我国二氧化碳排放的深层原因,分别从能源强度、产业结构、经济发展以及能源的碳排放强度等方面,针对各种原因提出解决高碳排放的对策,最后,对于我国二氧化碳排放问题提出可行的建设性的意见和建议。

第五部分由于居民生活消耗引起的二氧化碳排放量也不容忽视,经过数据统计与计算得出,我国居民日常生活消费所排放的二氧化碳达到我国二氧化碳排放总量的 10%左右。第五部分主要利用 LMDI 方法将居民消费二氧化碳分解为经济增长、能源的二氧化碳排放强度、能源结构等因素。深入分析影响我国居民二氧化碳排放量之后,提出减少居民二氧化碳排放的合理措施,从居民日常生活的角度减少二氧化碳的排放。

1.4 研究创新与不足之处

本文的创新

本文从全国的视角出发,对各个影响我国二氧化碳排放因素进行分析,建立 LMDI 对数指数分解模型,分析影响我国二氧化碳排放量的因素,提出建设性的意见。

基于 LMDI 模型研究碳排放理论分析方面的文章很多,无论是针对我国各个省市还是不同地域,但所有文章几乎都没有考虑日常生活消费对二氧化碳排放量的影响。都将我国生产消耗二氧化碳和生活消耗二氧化碳笼统的放在一起分析,经过数据统计与计算发现生活消耗二氧化碳正在逐年的与日俱增,并且排放总量越来越大,除了第一、第二和第三产业,日常生活消费所排放的二氧化碳也不容忽视,并且二者的影响因素也不尽相同,所以将生活消费排放的二氧化碳从我国二氧化碳排放总量中剔除是非常有必要的。本文从我国二氧化碳排放总量中剔除

了生活消费所排放的二氧化碳量，首先对剔除后的影响二氧化碳量从第一、第二和第三产业的视角分析，提出建设性的意见。然后单独对影响生活消费产生的二氧化碳量的因素基于 LMDI 对数指数分解法进行分析，提出节能减排方案，呼吁节能减排从每个公民做起。

本文的不足之处

首先，本文从经济发展、能源结构、能源强度、能源的碳排放强度以及产业结构五个方面对碳排放的驱动因素进行分析，缺少对其他方面影响因素深入有效的分析。这主要是其他方面的数据很难量化和收集，而且没有合适的模型对其进行分析，所以分析因素方面不够全面。此外，本文是针对全国的二氧化碳排放情况进行分析，我国不同地区之间的排放状况同样存在很大差异，由于篇幅有限，在这里对于区域间的分析没有深入进行。

最后，本文是从碳排放的角对其影响的驱动因素进行分析，并没有涉及到碳吸收的情况，就我国碳吸收问题的数据和资料很难收集并且篇幅有限，没有对我国碳吸收情况进行深入有效的研究。另外，本文研究范围比较广，面向全国，在原因分析的细致程度上有所欠缺。

1.5 国内研究综述

1.5.1 国外文献综述

就国外而言，最早用于研究二氧化碳排放影响因素的模型是 Ehrlich et al (1971) 提出的 IPAT 模型，即环境压力等式。James C Cramer 将美国加州地区影响二氧化碳排放量因素分解为政策效应、人口数量和人均收入情况三个因素，然后利用 IPAT 模型对其影响因素进行分析。随后 Kwon 借助于 IPAT 模型对影响英国交通运输行业碳排放量的因素进行分析。但 IPAT 模型只包含了人口数量、生产技术和富裕程度三个因子，无法用于更多的影响因素分析，因此对研究范围有很大的局限性。

Hu l ten (1973) 首先运用指数分解方法研究能源问题，开启了利用指数分解法研究能源问题的先河。然而，现实问题的不断暴露和实际情况的变化，指数分解方法不断的遇到新的问题，Boyd (1988) 提出了算数平均 Divisia 指数分解法 (AMD I) 的两种方式，分别是乘法分解方式和加法分解方式。对数平均 Divisia 分解法 (LMDI) 是由 Ang 和 Liu (2000) 首次提出的。对数分解法也包含乘法、

加法分解法两种方法。相比较 AMDI 使用的算数平均权重数法，LMDI 则利用对数平均权重数法。虽然，AMDI 方法比 LMDI 方法简单很多，并且在可以代替 LMDI 方法来使用，但是 AMDI 方法致命的缺点，首先它不能进行逆向因素的检验，会残留一个很大的余项。然后 AMDI 方法在数据集包含零值时就失去效用了。因此，学者们越来越青睐 LMDI 方法。

1.5.2 国内文献综述

国内对二氧化碳排放量研究比较早的学者就是张德英（2005），借助于系统仿真的方法对碳排放量进行了比较准确的预测，同时对工业部门的系统的碳排放机制进行了分析。系统仿真方法是在实体上或者借助于计算机建立系统、有效的模型，并利用系统实验的方法借助于模型对二氧化碳进行深入的研究分析。

徐国泉（2006）在碳排放基本等式的基础上，运用对数平均 Divisia 分解法，对 1995-2004 年间的经济发展、能源效率、经济结构对中国人均碳排放的影响进行了分析。结果表明：在研究期间，人口的增长是造成我国二氧化碳排放量不断增加的主要驱动因素，但是能源结构对我国二氧化碳排放量的影响确呈现出了倒“U”型。这与环境的库兹涅茨曲线表现出的倒“U”型及其相似，之后也有一些学者得到相似的结论。例如：王中英（2006）、杜婷婷（2007）等人就借助于库兹涅茨（EKC）曲线，表明碳排放与收入水平呈到“U”曲线型关系。

目前，在我国能源经济领域影响比较深的当属厦门大学能源研究所的林伯强学者。林伯强、刘希颖等人对我国城市化进程对二氧化碳排放量的影响，并根据其分析结果得到了减少二氧化碳排放量的可行措施。认为中国工业化进程到 2020 年才会基本结束，在此之前，仍旧对煤炭使用的高度依赖，必将造成二氧化碳排放量的持续增长。林伯强（2009）等人，首先在考虑能源结构、产业结构、能源效率的前提下对二氧化碳排放量进行预测，得出与只有人均收入作为自变量时不同的结果，认为库兹涅茨拐点不会在 2020 年出现的观点，并基于 LMDI 方法对影响二氧化碳排放量的因素进行分析，中国中长期的经济增长对能源刚性需求和煤为主能源消费结构造成了二氧化碳排放的持续增长。但是我国经济出于高速发展阶段、我国的城市化进程也不断加深以及对廉价的煤炭资源的大量需求，决定了我国重工业化的产业结构和以煤炭资源为主的消费结构，对二氧化碳排放影响较大。

此外,复旦大学的陈诗一学者对二氧化碳排放驱动因素分析方面的研究也比较深入。他重点对能源结构、产业结构和能源强度进行分析,并在《中国碳排放强度的波动下降模式及经济解释》中提出:能源结构、产业结构和能源强度是影响二氧化碳排放的主要驱动因素,其中二氧化碳排放强度是最直接的决定因素,工业结构的调整和能源结构的改变也有利于降低二氧化碳的排放。

赵奥(2010)、武春友(2010)基于改进的 Kaya 恒等式并借助于 LMDI 对数分解法,对 1990 到 2008 年间的影响二氧化碳排放量驱动因素进行深入的分析和研究,并与实证研究结果相结合,并提出解决问题相应的方法。此外,杨荣(2012)等人,基于 LMDI 对数平均 Divisia 方法对西部地区的影响碳排放驱动因素从产业结构到地域差异进行了分析,研究结果显示:造成西部地区碳排放连续的增加的主要原因是西部地区经济的高速增长。黄芳(2012)、江可申(2012)借助于 LMDI 对数分解法对我国 1996 年-2009 年的二氧化碳排放强度进行分析。在分析过程中,将产业分为农业、工业、建筑业、交通业、批发零售及其他行业。结果显示:二氧化碳排放强度最高的是交通运输业,其次是工业。在对二氧化碳排放量研究的文献中,由于 LMDI 对数平均 Divisia 方法的优点,被广泛应用到对二氧化碳排放量的研究当中。

2.理论基础与研究方法

2.1 低碳理论

温室气体的大量排放导致全球气候变暖日益加剧,在这个背景下低碳经济应运而生。2003 年,低碳经济首次在英国政府发表的《能源白皮书》中出现,之后这一概念便引起了学者们的广泛研究。欧美、日本等国家也展开了低碳经济的研究。哥本哈根气候大会在 2009 年落下帷幕,各国并没有就怎样应对气候变化达成一致,又掀起了一轮“低碳经济”的热潮。就目前来看,虽然对于低碳经济的概念,学术界还没有达成共识,但各国都已经意识到低碳经济这个必然的大趋势和发展低碳经济的紧迫感。

我国也意识到发展低碳经济的重要性,近些年来大力支持发展低碳经济。我国提出的可持续发展理念、建立环境友好型资源节约型社会,都是保障低碳经济

发展的有力举措,通过技术创新和制度改革转变产业体系和经济发展方式,抑制温室气体的排放。我国学者庄贵阳、付加锋认为要实现低碳经济需要一定的生产水平和技术水平作为保障,只有达到一定的经济发展水平,才有能力降低污染、降低能耗、降低碳排放,达到一个低碳的经济状态实现社会以及环境的友好发展。低碳经济的内涵十分丰富,它涉及到了生活方式、生产模式、国家权力等方面,低碳经济的发展不仅是一个国家和政治的问题,而且也是一个环境、社会以及经济综合在一起的问题。低碳经济还需要技术的进步,通过先进的技术达到能源效率的提高,同时使二氧化碳的排放强度得到降低。此外,还可以通过消费模式和产业体系以及能源消费结构等因素的改变降低对二氧化碳的排放。发展低碳经济的途径十分广泛,政府、企业以及居民共同努力“三管齐下”,通过推进清洁能源的使用,产业结构的调整,加大低碳技术的研发力度,加强宣传和促进公众参与等途径共同实现发展低碳经济的目标。

2.2 环境经济学理论

我国学者刘传江在 2006 年提出:环境经济学是经济学的分支学科之一,其主要研究环境对经济的影响以及针对该影响所实施的一系列政策。环境经济学可以引入从经济学的视角经济发展和环境保护之间的关系,从而指导人们选择有利于人类经济发展模式,并为人类创造舒适的工作与生活环境。

环境经济学主要探讨的内容是如何保护环境和抑制环境的继续恶化,但是达到目的的途径是利用经济学的手段,使环境融入到我们的日常生活和生产过程当中,抑制住了人们大肆的消费资源和无止境的破坏环境,目前我国主要利用经济杠杆来解决资源浪费和环境污染的问题。环境经济学、资源经济学和生态经济学三者之间有一定的联系,即有交叉的部分,又有彼此相异的部分。有学者认为生态经济学是其他两门学科的基础,也有学者认为它们三者之间是彼此独立的,虽然有相互交叉的部分,但彼此的侧重点是完全不同的。目前,学术界对三者之间的联系与区别还没有完全的定义。

目前,有些学者认为:不能把由经济的不断发展导致的环境破坏认为是一种特殊的福利经济现象。随着环境经济学的不断发展,认为可以把环境看作是一种商品,消费环境同样也要“付费”;或者要求生产者弥补环境破坏的“费用”。还有学者提出把环境问题考虑到发展规划中去。这些都没有看到环境污染的本

质，找到真正解决环境污染的最有效途径。

我国的环境遭受到了严重的污染和破坏，尤其在近几年，破坏速度不断的加剧。究其原因，除了人们未能认识到，自然规律和生态平衡外，在经济学的角度分析，人们只认识到了近期眼前的利益，而不能从长远的角度来看待环境与可持续发展的问题。更普遍的是，人们总是认为空气、水以及其他自然资源不会随着我们的大量使用甚至浪费而枯竭，并且使用过程中是没有任何代价的，经过净化和不断生产，大自然有能力再生这些资源。人们以为这些资源的消费是不具有排他性和竞争性的资源。在这种思想引导下的经济方式只适用于人口稀少、生产规模很小并且对自然资源影响不大的理想社会，这种时间和空间上都是有限的。

新中国成立以后，由于我国人口不断增加、生产规模日益扩大以及经济迅速发展，都是依托于高耗能、高排放的工业带动起来的。我国的煤炭等资源早已经面临过度开采的危机，在能源过度消耗的同时伴随着环境的不断恶化。随着经济的不断发展，社会产品不断丰富，医疗保障不断完善，人们生活水平不断的提高，人口迅速膨胀以及能源投入的不断增加，多种自然资源面临着枯竭的危险。与此同时，资源的大量使用排放处很多的温室气体等污染物，严重的破坏了环境和生态的平衡，引发了全球的环境与生态危机。现在，人们已经意识到能源与环境的危机，许多学者投身到治理环境的工作中，对造成污染的原因进行分析，寻求解放方案，找到防治环境污染的有效方法，提高经济效益，找到防止污染经济学方案。

2.3 环境库兹涅茨曲线（EKC）

西蒙·史密斯·库兹涅茨通过对大量资料的研究以及分析，认为相比较处于发展期后期的发达国家，发展早期的发展中国家存在的收入不平等现象更加严重，并提出经济增长与收入分配差距的关系，将此命名为库兹涅茨曲线。即随着经济的不断增长，收入的差距会逐渐增大，但经济增长到一定的水平之后，随着物质水平的提高，收入差距反而会缩小，两者的关系形成了倒U型的曲线。自此之后，西蒙·库兹涅茨的观点在全世界引起了激烈的讨论，有支持他的学者认为这是“获得了经济学规律的支持”，也有反对的声音认为“经济发展中的收入分配轨迹并没有什么‘经济规律’可循”。改革开放以来，我国经济发展迅速，进入了经济腾飞的年代。我国的经济增长与收入分配的差距进一步扩大，但近几年

的发展来看，收入分配不平衡的矛盾已经越来越严重。所以说，我国基本满足经济增长与收入差距的关系呈现的“倒 U”的趋势。随后，一些学者又根据经济增长与收入差距的这种“倒 U”的关系又延伸到其他领域，引申出其他的关于经济与社会发展的库茨涅兹曲线。

环境库兹涅兹曲线即是由西蒙·库兹涅茨的收入不平等分配的库兹涅兹曲线引申而来。1991年，在针对北美自由贸易区的谈判中，美国经济学家 G·格鲁斯曼和 A·克鲁格于首次提出关于环境污染和收入水平之间的库兹涅兹曲线。他们提出：环境的污染和人均收入之间存在紧密的关系，这种关系可以概括为环境污染在人均收入水平较低的时候随着人均收入的增加而增加，在人均收入水平较高时，随着人均收入或者 GDP 的增长而减少。世界银行在 1992 年发表了《世界发展报告》，该报告把“发展与环境”作为主题，使人们更加重视环境污染与经济增长两者的相互影响。直到 1996 年 Panayotou 首次利用库兹涅茨定义的经济增长与收入不均等之间的“倒 U”型曲线，并将这种环境质量与人均收入间的关系称之为环境库兹涅兹曲线（EKC）。

环境的库兹涅兹曲线描述的是发达国家经济增长和环境污染之间的“倒 U”型关系。即当一个国家处在工业发展的初期阶段，环境污染程度随着经济的不断发展而日趋严重，当改国家的经济发展到一定的水平以后，环境污染反而随着经济的不断发展而逐渐恢复。针对于该现象 Panayotou 认为：经济发展对环境污染的影响较为明显。随着经济的不断发展，人民生活水平也不断提高，生活质量逐渐改善的同时，资源等消耗也逐步增加，因而环境污染持续恶化。但当经济发展的一定的水平是，随着科技和对资源的利用率等不断的提高，环境污染会随着经济的发展而日渐恢复，即出现了所描述的“倒 U”型曲线。两者之间的这种关系的出现得益于经济发达的国建对经济结构的不断调整、能源结构的不断规划以及科学技术的不断提高，这些因素都加速了“倒 U”的环境污染路径。对于我国而言，我国目前的经济发展不断增加，我国工业化不断推进，城镇化的不断普及一节对低成本高排放的能源的高度依赖，使我国二氧化碳排放不断增加，针对这一现象，虽然我国已经采取了相应的措施，但是结果仍旧不太明显，仍需要进一步的努力。环境库兹涅兹曲线提出后，环境质量与收入间关系引起了学者们的激烈讨论，同时也丰富了对 EKC 理论的解释。

2.3.1. 技术效应、规模效应以及结构效应

技术效应、规模效应以及结构效应由美国经济学家 Grossman 和 Krueger 在 1995 年提出，他们认为，环境主要从技术效应、规模效应以及经济效应三方面受经济增长的影响。首先，更加先进的环境保护技术以及更加发达的科技会带来更高的收入水平，这就是技术效应。也就是说，在一国经济不断的向前发展的过程中，加大对研发的投入，使技术水平得到提高，会带来两个方面的有益效应。当其他条件不变时，高水平的技术不仅会增加生产能力，而且还会降低生产过程中对环境产生的负面影响。随着清洁能源、清洁技术的不断使用，使能源得到更充分的利用，节省了资源的同时保护了环境。其次，随着经济的不断发展的同时，也会对环境造成一系列的负面影响。经济的发展不仅需要增加投入的成本，加大资源的使用，而且还会产生更多有害于环境的气体 and 垃圾，造成环境的严重污染，这就产生了环境的规模效应。最后，他们提出了结构效应。在经济增长过程中，为了获得更快的增长速度，大量使用廉价能源。在收入水平提高的同时，产出、投入结构发生了改变。首先，由于农业的产出不能满足人们的需要，逐步转变成了资源密集型的工业，大大增加了环境的负担。然后，第三产业逐渐发展起来，由重污染的能源密集型工业由向着劳动密集型和知识密集型的第三产业发展，在这个过程中，能源得到节约，环境得到保护。因此，规模效应的发生会对环境起到负面作用，技术效应、结构效应出现，有利于提高我们的环境质量。在经济刚刚腾飞的阶段，规模效应相比较其他相应更加显著，例如大部分的发展中国家，能源会大量的消耗，环境遭到破坏。在经济发展到一定程度，例如大部分发达国家，新技术、新能源得到良好的利用，技术效应和结构效应能够更好地得到发挥，降低了环境的污染。

2.3.2. 环境规制

环境保护单纯的依靠人们的自觉意识是远远不够的，必须有政府的强制实施的环境规制。由人们收入的上升引起的环境重视毕竟有限，而对环境的保护更多来源于环境规制。目前，环境规制越来越完善，关于环境破坏责任的界定、环境的相关法律以及环境质量的考核等制度和信息进一步健全。环境规制不仅使地方和社区的环保力度得到提升，政府本身的环境监控能力得到提高，更重要的是使经济结构不断的向低排放、低污染的方向推进。

2.3.3. 环境质量

一个社会环境的保护程度会与该社会收入水平成正比,在处于低收入水平时没有更多的精力和财力去保护和改善环境。低收入会加剧环境恶化,高收入会缓解环境的破坏。高收入的人群会更关心生活质量的提高,享受高水平的生活,这就促使他们为了未来生活质量去投入,更会积极的参与到保护环境的行列中。例如,购买低能耗的产品,强化自己和周围人群的保护环境意识,愿意配合政府实施的环境保护规制,最终,使经济增长发生了结构性的变化,使环境得到了保护。

2.3.4. 市场机制

随着收入水平的不断提高,市场交易的作用越来越显得重要,这样环境资源也会跟好的在市场中进行交易,交易的过程中会由于环境的不断稀缺使其价格提高,环境也间接的得到了保护。市场对环境的作用主要包括三个阶段:第一阶段是自然资源比较丰富,但随着资源的不断消耗,资源储量得到降低,但人们并没有感觉到资源的稀缺。第二阶段当经济增长到一定的程度后,自然资源的稀缺性逐渐显现,社会开始寻求其他提高资源使用效率的途径,解决资源稀缺的问题。第三阶段,随着自然资源的不断消耗,资源的稀缺性越来越严重,市场更加重视环境的检测,这无疑对环境的保护施加了压力,例如,银行更愿意为环境友好型的企业提供资金支持。

2.3.5. 减污投资

对于环境的减污投资根据经济发展过程中的资本充足量有关,资本量越充足环境的投资规模越大。美国经济学家 Dinda 认为:根据资本的用途不同,可以将资本分为两部分,分别用于商品生产和减污投资。用于商品生产的增加了环境污染,用于减污投资的降低了环境污染。当人们收入较低时,会将全部资本用于商品购买,无暇顾及减污投资,从而是环境发生了恶化。当人们收入较高时,会将部分资本用于环境保护,使环境的质量得到了提高。因此,积累足够的资本是进行减污投资的前提。经济发展初期,环境会随着经济的发展而不断的恶化,当经济发展到一定时期,减污投资对环境的保护大于了经济发展对环境的破坏,从而环境污染会有减小的趋势,两者关系形成了倒 U 的形式。

总的来说,随着收入的不断提高,产业结构不断的转变,信息技术和服务不断的演变,清洁能源以及环保要求的不断加强,环境和市场机制的不断强制实施,环境的质量经历了下降到上升的过程。

2.4 能源经济学理论

能源经济学是研究能源生产、交换、消费和分配的经济关系和经济规律的学科。能源经济学为国家和地区制定有关能源工业发展的方针、策划以及规划提供理论依据。关于能源经济学的定义,国内外学者有着不同的理解。此外,能源转化问题在社会生产以及消费过程中也应受到重视。另外英国能源经济学家,里查德·艾登和米查尔·波森那也曾指出:能源经济学重点研究的问题应该是能源资源的可利用性,日常的消费活也与能源消耗是分不开的。此外,经济活动还研究了能源消耗和经济活动之间的关系,以及能源的大量消耗造成了能源的枯竭对我们经济的影响程度和经济对能源短缺的承受能力。总之,能源经济学研究的是能源与经济之间的关系。

对于能源经济学的定义,国内学者和国外学者存在一定微小的差异,但基本思路大致相同。其中,我国学者蓝田从政治经济学和工程经济学的角度对能源经济学进行了研究,并认为能源经济学是由上述两门学科延伸而来的,能源经济学之所以出现的原因就是为工业能源提供服务,工业能源消耗量非常大,从而使经济得到全面的发展。我国学者孙洪铮认为,能源经济学研究的主要问题仍然是能源问题,例如:能源的开发、加工、使用效率等。但是在研究方法确是借助于经济学的途径,并根据研究分析制定相应的对策的一门学科。能源经济学在我国兴起的时间比较晚,对能源的研究也是近些年才出现的。我国仍旧是一个发展中的国家的事实没有改变,我国目前工业为主的第二产业占据了我国 GDP 的半壁江山,面对国际以及我国资源消耗的现实,能源已经对我国经济造成了一定的限制,研究能源与经济的关系是我国经济健康持续发展的必要条件。

能源经济学根据时间顺序大致可谓为三个阶段:第一阶段,研究如何开发具体的能源产品并且能够顺利供给。19世纪20年代以前的研究主要是针对煤炭的开采和煤炭的使用。随着科学技术的发展到了20世纪后期,人们开始研究对石油的开采、输送、使用。因此,当时能源相关的经济学开始盛行,例如石油经济学、煤炭经济学就是当时展开的。第二阶段发生在19世纪70年代中期,经过能

源的大量开采和消耗，人们已经发觉能源储量正在减少，因此，第二阶段致力于研究不同能源相互替代的关系，并且着手研究能源消耗和经济增长的关系。能源危机的出现，使人们开始意识到能源节约能源与能源枯竭会抑制经济增长，开始越来越注意能源的替代性研究。第三阶段主要致力于能源外部性，在能源使用的过程中对空气等周围环境造成的影响也会涉及到其他的人，这就需要界定环境的外部性及其责任。经济学家在研究经济增长是意识到这样一个现实问题，为什么经济增长不能与人类同步进行，生态的不平衡以及环境的破坏为什么成为经济增长的沉痛代价等。能源经济学有形成到发展表明了人类对于经济运转对环境的影响已经得到了不断的完善，有简单的分析到复杂的过程，能源经济学就是这样不停的完善和发展中建立起来的。

2.5 灰色预测 GM (1,1) 模型

灰色系统不同于白色系统和黑色系统，灰色系统指系统之内的信息一部分是已知的，而另一部分是未知的，并且，系统内各个因素之间的关系是不确定的。而白色系统是指一个系统内全部要素的特征是已知的，也就是说对系统内的信息的了解是完全充分的。黑色系统是指一个系统内部的信息对外界来说是完全不清楚的，只能通过它与外界的联系对其进行分析和研究。那么，灰色预测法就是对因素之间关系不确定的一部分信息进行研究。所谓的灰色预测就是对这样的一些信息进行预测，即含有确定的因素在内，有含有不确定的因素在内。灰色预测法对数据没有精确、苛刻的要求，是根据已知数据内部的一定关联性，构造出灰色预测系统，来预测未来某一段时间的特征向量。

灰色预测系统是一种常用的预测方法，适用性比较广泛。灰色预测根据预测对象的特征划分为不同的种类，例如：数列预测，主要是对有一定规律的数组进行的预测。灾难预测：是对一些自然灾害的预测。此外还包括拓扑预测、季节灾变预测以及系统预测。本文根据被预测数据的特定使用数列预测。灰度预测首先要对原始数据进行整理，得到生成数列。得到生成数列的方法有三种分别是：累加生成、累减生成和映射生成。累加生成是最常用的生成数列方法，即将各个原始数量累加得到新的数列。累减生成：即根据前两个数的差，累加生成的逆运算。除累加生成和累减生成以外的生成方式都叫做映射生成。

灰色预测模型的标准方程式 GM (1 , N) 模型 , 其中 (1 , N) 表示 1 阶的 , N 个变量的微分方程模型。即预测对象是一组一阶 N 个变量的数组。GM (1 , 1) 模型是 GM (1 , N) 模型的特殊情况 , 1 阶且一个变量的微分方程模型 , 由于数据的特点 , 本文采用的是 GM (1 , 1) 模型。

建立灰度预测模型过程如下 :

已知原始变量 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$,

根据原始变量 , 累加得到生成列 :

$$X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\} ;$$

$$\text{累加方法 } X^{(1)}(i) = \sum_{j=1}^{i-1} X^{(1)}(j)$$

得到白化微分方程为 : $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u$;

背景变量形式 : $a^{(1)}(x^{(1)}(k+1)) = -aX^{(1)}(k+1) + u$;

基本关系式 : $a^{(1)}(x^{(1)}(k+1)) = x^{(0)}(k+1)$;

$$X^{(1)}(k+1) = \frac{1}{2}(x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k+1)) ;$$

参数列 \hat{a} 为 : $\hat{a} = [a, u]^T$;

参数算式 : $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T y_N$;

$$\text{其中 : } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}, y_N = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}。$$

最后根据基本关系式求出预测值。

2.6 LMDI 模型

目前 , 比较常用的影响碳排放驱动因素分解的方法主要有 Laspeyres 拉式指数分解法和 LMDI 迪式指数分解法。拉式指数分解法主要包括 Fisher 理想分解法、Shapley 值分解法、Marshall-Edgeworth 方法等。由于拉式指数分解法的前提是假定其他条件不会改变 , 从而可以对各个因素进行直接的微分 , 来求出其中

某一因素的改变对其他分解变量的影响。所以在应用拉式指数分解法分解某一因素影响时，其他因素维持基本水平，这种方法通常产生较大的余项。除此之外，以拉式指数分解法为基础的结构分析模型存在的最大问题就是测算结果不唯一，对于由 n 个独立自变量组成的因变量而言，各自变量变动贡献的测算方法有 $n!$ 种。这种测算结果不唯一性也给结构分析模型的实际应用带来一些麻烦。拉式指数分解法在 20 世纪 70、80 年代占据相关研究的主导地位。

迪式对数分解法 (Logarithmic Mean Divisia Index Method, LMDI) 是由 Ang B·W 提出的，该方法的优点是可以完全分解对分解对象进行分解，在分解过程中不会受其他问题的困扰。解决了拉式指数分解法存在较大余项的问题。此外，迪式对数分解法还可以解决数据中 0 和负值的问题，解决了很多数据因素分解中的棘手问题，使得其他分解方法不能分析的问题都可以用其来分解，因而受到广大学者的青睐。迪式对数分解法从 20 世纪 90 年代开始逐渐盛行起来。

我国学者李国璋指出 LMDI 对数分解法主要存在以下四个方面的优点：首先，LMDI 分解方法具有更强的说服力，它解决了包含残余项的问题，使分析结果更加的合理。其次：当使用乘法分析时，对分析结果去对数后，便得到了加法的形式。因此，在计算结果时只针对一种形式进行计算即可。再次，加法分解法和乘法分解法之间有一个正比例关系，比例系数为 K 时，有 $\frac{\Delta V_{tot}}{\ln D_{tot}} = \frac{\Delta V_{xk}}{\ln D_{xk}}$ ，这样就便于计算，只需计算加法的形式，乘法形式便可以直接的推出来。最后，LMDI 分解法中，总的影响因素是各因素影响度的加总(加法分解法)和乘积(乘法分解法)。因此，不同的分部门的效应总和与总体的效应水平是相同的，这样可以比较容易比较各种因素之间影响程度的比较。

LMDI 模型分解结果包括加法形式和乘积形式。

设 $A = x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$ A 因变量即总的影响因子， x_{ij} 是自变量即表示影响 A 的几种因素，其中 i 表示 x_n 的不同的类别。设 0 期为基本期， t 期比较期，当 $x_{ij}^0 \neq x_{ij}^t$ 时，加法形式可分解为 $\Delta A = A^t - A^0 = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n + \Delta A_{rsd}$ ；乘法形

式可以分解为： $D = \frac{A^t}{A^0} = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n \times D_{rsd}$ 。其中， ΔA_i 、 D_i 为各种影响因素，

ΔA_{rsd} 、 D_{rsd} 为分解余量。
$$\Delta A_{x_j} = \sum_i \frac{A_i^t - A_i^0}{(\ln A_i^t - \ln A_i^0)} \ln \left(\frac{x_{ji}^t}{x_{ji}^0} \right),$$

$\Delta A_{rsd} = \Delta A - (\Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n)$ ，并且经过数学计算， $\Delta A_{rsd} = 0$ 。当 $x_{ij}^t = x_{ij}^0$ 时，

$\ln \frac{x_{ij}^t}{x_{ij}^0}$ 的系数为 x_{ij}^t 。从而
$$D_{x_j} = \exp \left[\sum_i \frac{(A_i^t - A_i^0) / (\ln A_i^t - \ln A_i^0)}{(A^t - A^0) / (\ln A^t - \ln A^0)} \right] \ln \left(\frac{x_{ji}^t}{x_{ji}^0} \right),$$
 其中

$D_{rsd} = 1$ 。LMDI 分解法最大的优点是可以无剩余的对分解项进行分解，使分解各个项无残留，因此受到广大学者的热爱。

3.我国碳排放现状及其趋势预测

3.1 改革开放以来，我国二氧化碳排放总量与排放强度

近些年来，全球气候变情况不断的加剧，虽然关于气候变暖的其他成因还存在分歧，但是二氧化碳排放引起的全球气候变暖已经被公认。改革开放以来，我国二氧化碳排放总量急速上升，在 1978 年到 2013 年间，我国二氧化碳排放总量由 1.5×10^9 t 达到 1.0×10^{11} t，年均增长量约为 8.2%。但是，对于二氧化碳排放强度，虽然在 1999 年下降程度出现下滑趋势，在这期间排放强度总体不断降低，这说明我国改革开放以后对能源的利用效率是不断提高的。随着能耗量的不断增加，总体上我国二氧化碳排放总量呈现出递增的趋势。

表 3-1 1978 年-2010 年全国二氧化碳排放情况

年份	排放总量 10 ⁴ kt	比上年增长% %	人均排放量 t/a	比上年增长 率% %
1978	146	-	1.53	-
1980	147	2.1	1.5	6.9
1985	197	8.8	1.87	-2.6
1990	246	6.9	2.17	1.0
1995	332	8.5	2.76	7.4
2000	341	2.7	2.7	1.9
2001	349	2.3	2.74	1.5
2002	369	5.7	2.89	5.5
2003	453	22.7	3.51	21.5
2004	529	16.8	4.08	16.2
2005	579	9.5	4.44	8.8
2006	641	10.7	4.89	10.1
2007	679	5.9	5.15	5.3
2008	704	3.6	5.31	3.1
2009	769	9.2	5.78	8.9
2010	829	7.8	6.19	7.1

改革开放以来我国的二氧化碳排放无论是在总量还是人均排放量上都表现出显著的阶段性特征。从 1978 年到 1996 年，我国二氧化碳排放总量保持基本稳定的增长率，年均增长率在 5% 左右。从 1997 年到 2002 年间，我国二氧化碳排放总量确出现下滑趋势，平均年增长率降到 2% 左右，甚至在 1998 年和 1999 年达到了负增长和零增长。2003 年到 2006 年四年间，我国二氧化碳排放总量阶段性的上升，在 2003 年二氧化碳排放总量的增长率高达 22.7%，是近些年的最高值。2007 年以后，虽然增长率有所下降，但仍旧达到 8% 左右。我国人均二氧化碳排放增长率较排放总量来说相对平缓，但最高值仍旧出现在 2003 年到 2006 年间，也在 2003 年达到最高的增长率 21.5%，远远高于美国、日本以及其他的

发达国家。

总的来说,在我国二氧化碳排放总量以及人均排放量不断增加的形式下,我国二氧化碳排放强度是呈现下降的趋势,这主要是得益于我国飞速发展的经济。但是,与其他发达国家相比,我国仍旧保持较高的碳强度。

数据来源于《中国统计年鉴》和 WDI data 世界发展指标数据库, GDP 按 1980 年不变价格计算。

表 3-2 1978 年-2010 年二氧化碳排放强度

年份	排放总量 10 ⁴ kt	国民生产总值 GDP	二氧化碳强度	比上年增长 率%
1978	146	3938	0.037	-
1980	147	4568	0.032	-3.2
1985	197	7595	0.026	-4.1
1990	246	11092	0.022	-3.4
1995	332	19778	0.0168	-6.1
2000	341	29923	0.0114	-9.3
2001	349	32407	0.0108	-5.8
2002	369	35350	0.0104	-3.2
2003	453	38894	0.012	10.4
2004	529	42817	0.012	5.7
2005	579	47659	0.012	-1.7
2006	641	53701	0.012	-1.8
2007	679	61306	0.011	-7.8
2008	704	67213	0.010	-5.7
2009	769	73406	0.010	-0.02
2010	829	81075	0.0102	-2.5

由表 3-2 可知二氧化碳排放总量在不断的增加,但是二氧化碳强度即二氧化碳排放总量与 GDP 的比值,呈现出下降的趋势。由表可知,二氧化碳排放强度由 1978 年的 37t 下降到 2010 年的 10.2t, 年均下降 2.7%。

经过数据分析可知,二氧化碳排放强度可以分为三个阶段。第一阶段是 1978 年到 2001 年,在该阶段二氧化碳排放强度持续稳定的下降,平均降幅在 5%左右。第二阶段是 2002 年到 2004 年,二氧化碳排放强度出现反弹,有增加的趋势,这是由于在这几年间二氧化碳的高排放造成的。第三阶段为 2004 年到 2010 年,在此期间二氧化碳排放强度总体呈下降趋势,但是降幅明显的波动,2007 年达到最高为 7.2%。

总的来说,在 1978 年之后二氧化碳排放强度几乎是平稳的下降趋势,但是过了 2002 年,下降的趋势开始变得缓慢。尤其是到了 2003 年和 2004 年出现短暂反弹。此外,二氧化碳排放强度在“十一五”期间明显的低于其他的时期。

按汇率法和不变美元计算,2010 年我国万美元二氧化碳排放量为 26.5t,是世界平均水平的 3.4 倍,日本的 9.8 倍,德国的 6.5 倍,巴西的 5.2 倍,美国的 4.8 倍,印度的 1.5 倍。从动态来看,2003-2010 年我国二氧化碳排放强度下降了 3.6%,也低于日本、德国、美国、印度。

购买力平价法又称 ppp 法,该方法是依据各个国家差别的价格水平来算出不同的币种间的等值系数。依照这种方法计算的二氧化碳排放强度会明显的高于国际水平,但低于现在的价格。我国 2010 年以购买力评价法计算的二氧化碳排放强度是 9.4t,而当时的世界平均水平仅有 4.9t。此外,日本仅有 3.5t,德国 3.1t,巴西 2.5t,美国 4.8t,印度 4.5t。总的来说,2005 年到 2010 年间,我国的二氧化碳排放强度年均下降 3.3%,这个数值足以低于世界平均水平,更低于德国、日本、美国、印度等国家。利用购买力评价法计算的理论汇率和实际汇率会有一定的出入,但是在已知购买力平价法对人民币汇率可能高估的情况下,二氧化碳强度仍旧高于世界平均水平,是二氧化碳强度较高的国家。

3.2 我国的碳排放交易

碳排放交易是在致力于以二氧化碳为主的温室气体减排背景下产生的一种市场机制。在 1995 年 5 月由联合国气候变化专门委员会通过了《联合国气候变化框架公约》(简称《公约》),并于 1997 年通过了《京都议定书》——第一个《公约》附件。《京都议定书》立足于用市场机制的作用解决碳排放问题,也就是说将二氧化碳排放权力商品化进行交易,该交易又叫做碳排放交易。碳排放交易相当于把二氧化碳排放权作为商品,每个国家都有一定的碳排放指标,如果某国的

碳排放量超过了该国家的分配到的碳排放指标,那么该国可以购买其他国家的碳排放交易权力。

碳排放交易主要分为基于项目交易和基于配额交易。作为《京都协议书》的非附件一国家,我国只能进行基于项目的交易。我国目前交易主要是场外交易,交易制度不够健全并且缺乏完善的价格体系,因此,成交价远远低于国际平均价格,使我国在国际碳排放交易处于劣势地位。《京都协议书》规定:发展中国家不可以直接进行在欧洲市场的碳排放交易配额,这使我国企业根本无法直接跟欧洲市场的买家沟通,在碳排放交易中受到了一定的限制。此外,目前仍由国际机构决定碳排放交易市场规则的设定权,这对我国涉足碳金融领域收到了限制。

国家发改委办公厅于2011年11月下发《关于开展碳排放交易试点的通知》,至此,我国共有北京、上海、天津、重庆、深圳、广州、湖北7个碳排放交易工作试点。目前,已经成立了北京环境交易所、上海能源交易所、深圳排放权交易所和天津排放权交易所四个交易所。“十二五”期间,我国特别重视减少以二氧化碳为主的温室气体减排问题,并计划建立自愿减排交易管理办法和碳排放交易管理系统(即ETS)。这些计划将有利于在我国碳排放交易减排的进行以及资源的合理配置、温室气体的控制等。此外,还有利于金融化碳排放交易权。碳排放交易权的金融化已经在初见雏形,例如碳排放交易权下的融资业务已经在兴业银行首次展开。目前,碳排放那个交易市场在我国刚刚发展,交易机制、市场以及法制等还远远不够完善,怎样既能公平而又有效率的分配碳排放交易权,是我国碳排放交易市场顺利形成的关键。

3.3 我国目前主要的二氧化碳减排政策

我国近些年工业的飞速发展和城镇化不断推进,使我国不论是工业还是居民消费所排放的二氧化碳不断的加剧,为了抑制二氧化碳的排放,我国有必要采取合理的减排政策。

实现二氧化碳减排的政策多种多样,各国需要选择适合本国发展体制的减排政策。在美国、日本等发达国家主要利用的政策有:财政政策、低息贷款以及税收政策等,这些政策都取得了不同程度的效果。其中,财政政策是发达国家比较普遍的一个节能减排政策,原因在于节能减排强度的工作量和投入量,缺少国家财政的支持很难达到目的。例如:英国针对节能设备的开发和投资给予免息或

者贴息的贷款，实施加速折旧政策。此外，税收政策也经常作为国家政策运用在节能减排当中。2003年，美国制定相应的节能减排税收政策，对乙醇汽油的减税额度达到了10%、20%，有效推广了乙醇汽油的生产和使用。

对于我国来说，对能源还存在刚性的需求，主要是以价格低廉的煤炭为主的能源消费结构，其中，煤炭的消费量占总能源消耗量的70%左右。目前，使用最广泛的节能减排方式就是行政规制。

政府规制就是政府制定相应的法律法规、条款以及通过定价或者指令等控制二氧化碳的排放。政府可以通过政府定价和指令标准两种方式控制二氧化碳的排放。政府定价即政府直接固定一些能源的价格，例如石油、汽油等。指令标准则是指对一些高耗能的产业、设备等制定相应的准入标准。行政规制不仅在我国，在西方发达国家也经常使用。其优点是实施起来比较简单、效果明显而且见效快，各国政府比较青睐。但是，一些学者在经济学的角度来看并不是支持这种做法，原因在于政府规制不符合经济市场价格自我调控的规律，成本会远远大于其他的手段。此外，政府规制还有可能造成市场的垄断和腐败现象。财政补贴也是我国常用来制定的节能减排的政策。国家常用来对农产品进行补贴。财政补贴顾名思义，就是政府对一些节能减排的项目或者技术给予财政上的支持。在我国实施财政补贴的过程中，国家对所补贴的能源种类以及补贴程度的确定是至关重要的一个环节。国家选择的补贴对象不同会得到截然不同的补贴效果。目前国家主要的节能减排的补贴项目主要包括：清洁能源、可再生资源以及节能技术的投资和开发项目等。碳税是一种被大多数学者所支持的一种节能减排的有效途径。碳税直接深入到消费者和生产者之中，能过别消费者切身的体会到、感受到，促进了双方对节能减排的努力。碳税相对于其他的节能减排手段来说更加的公平，受制范围比较广泛，尤其指针对一些高耗能、高排放的企业带来了比较大的负面影响。但是，碳税会存在与政府总体制定的目标不一致的现象，这也是没有前面提到的节能减排政策使用广泛的原因。

我国在抑制温室气体尤其是二氧化碳排放的过程中还需要进一步的努力，要进一步制定和优化节能减排的政策。节能减排靠企业以及消费者自觉是不可能实现的，必须有国家的强制性。目前，我国节能减排政策过多依赖于政府规制，这样成本较大，不利于实现有效的经济体制，导致了能源浪费和低效率使用。对

于政府来讲，大大加剧了政府的财政支出。因此，我国需要找到一个合理有效的节能减排政策。

3.4 基于灰色预测模型 GM (1, 1) 方法对我国二氧化碳排放的预测

我国学者林伯承虽然在只引入人均收入一个变量时预测的我国二氧化碳排总量时得到：人均收入 37170 元是一个二氧化碳排放量的拐点。当人均收入小于 37170 元时，二氧化碳排放量会随着收入的增高而增长，当人均收入大于 37170 元时，二氧化碳排放量会随着收入的增加而减少。并且经计算，该收入大约在 2020 年可以达到。但是，林伯承指出，这并不能说明我国将会在 2020 年出现二氧化碳排放量的拐点。因为，该曲线考虑的因素有限，只考虑了人均收入一个因素，该点并不是真正的二氧化碳排放量的拐点。随后，林伯承又利用一次能源需求和能源消费结构对二氧化碳排放量进行预测，结果表明，从 2008 年到 2040 年间，二氧化碳排放量在现有的政策下会逐渐增加，但增长率会逐渐变小。

目前，分析法就是一个比较常用的数据分析方法，但是回归分析法对数据的精确度要求较高，不是和对全国二氧化碳排放总量的预测。对于二氧化碳排放量的预测存在很多问题，例如信息不足、样本数据不全面等。灰度预测法正好可以克服这些弱点，不仅运算简单而且精度也很高，比较适合类似人口，碳排放量这些小样本的数据预测。

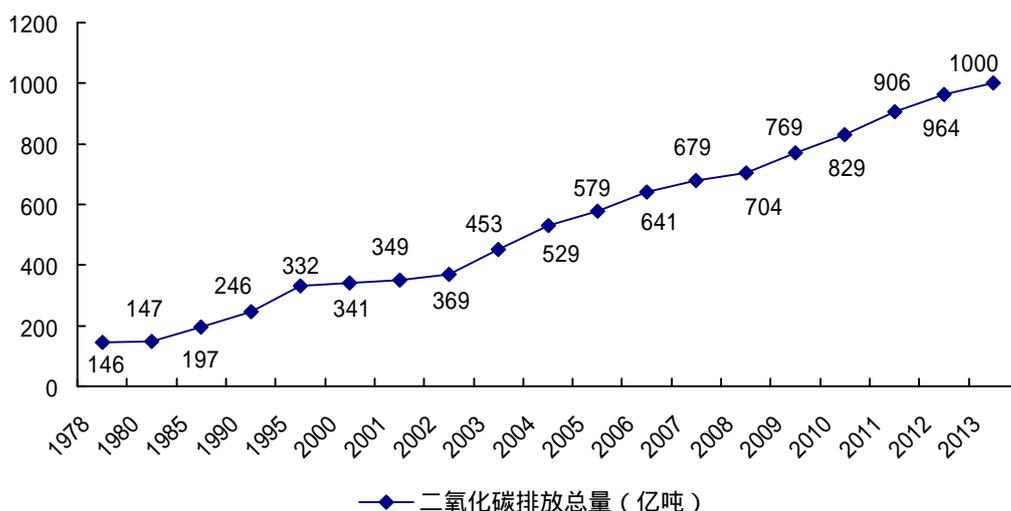


图 3-1 1978 年-2013 年全国二氧化碳排放总量

对于我国二氧化碳排放总量的预测采用 GM (1, 1) 模型中的数列预测，数列预测是指对特征值大小的发展变化进行预测，成为系统行为数据列的变化预

测,比较符合二氧化碳排放量的变化规律。本次预测针对 2000 年到 2013 年间的二氧化碳排放量,对未来十年的二氧化碳排放量进行预测。

3.4.1 建立模型

原始数据:由于 2000 年以前的数据时间较为久远,与未来十年的数据特征相差很大,所以不利于未来数据预测的准确度,因此本文选择 2000 年到 2013 年间的的数据作为原始数据。

$$X^{(0)} = \{ 341, 349, 369, 453, 529, 579, 641, 679, 704, 769, 829, 906, 924, 1000 \};$$

经数据计算得到: $X^{(1)} = \{ 690, 1059, 1512, 2041, 2620, 3261, 3940, 4644, 5413, 6442, 7148, 8221, 9112 \}$.

经过对历年二氧化碳排放数据的处理,得出:

$$B^T = \begin{bmatrix} -533.5, -944.4, -1435.5, -1989.5, \dots, -5486.5 \\ 1, 1, 1, 1, \dots, 1 \end{bmatrix},$$

$$y^T = [369, 453, 529 \dots, 829],$$

$$a = -0.17354, u = 265.283.$$

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 1877e^{+0.17354k} - 1528.65.$$

3.4.2 数据计算

将原始数据经过处理带入到建好的灰度预测模型中,经过计算得到预测数据。

从表 3-3 中可以看出,经过对拟合值和真实值的比较发现,各个数值都在合理的范围内,误差最大的出现在 2013 年,残差值达到 68.7,相对误差为 6.87%,仍旧在可以接受的范围内。2000 年到 2007 年间的相对误差比较小,而在 2008 年以后的年份拟合值误差比较大。而且 2008 年爆发了金融危机,所以 2008 年的实际值与其他年份的规律性偏差大,这是造成 2008 年拟合值与实际值偏差较大的主要原因。对 2000 年到 2013 年间的数值进行拟合并不是需要得到这些年预测值,而是对所做的灰度预测模型进行验证,检验其是否达到需要的准确度,结果良好。

表 3-3 灰色模型的拟合值计算表

单位：亿吨

原始数据	实际值 $X^{(0)}(k)$	残差值 $E(k)$	相对误差 $e(k)$
341	348.4	7.4	0.021
349	357.2	8.2	0.023
369	378.0	9	0.024
453	469.3	16.3	0.036
529	520.3	-8.7	-0.016
579	591.2	12.2	0.021
641	651.5	10.5	0.016
679	690.6	11.6	0.017
704	721.8	17.8	0.025
769	753.2	15.8	0.021
829	842.1	13.1	0.015
906	890.9	-15.1	-0.016
924	958.7	34.7	0.037
1000	1068.7	68.7	0.0687

表 3-4 2014-2023 年碳排放预测表

单位：亿吨

年份	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
预测值	1098	1129	1234	1346	1520	1690	1827	2030	2252	2403

从图 3-2 和表 3-4 中 2014 年到 2023 年的观察值可以看出，在当前的二氧化碳减排政策不变的形式下，我国的二氧化碳排放总量将达到 2402.9 亿吨。排放总量逐年递增，并且增长幅度不断的加大。我国曾向世界各国承诺：2020 年的二氧化碳排放强度比 2005 年降低 40 到 50 个百分点（二氧化碳排放强度指单位 GDP 的二氧化碳排放量）。从我国目前的经济形势和本文对我国二氧化碳排放量预测来看，实现目标存在一定的难度，需要我国加强实施相应的政策，各个企业以及居民共同努力，实现二氧化碳减排。所以，有必要对我国二氧化碳排放总量及影响其排放的驱动因素进行分析，找到各个影响因素的根源和影响程度，才能从根源解决二氧化碳减排的目标。

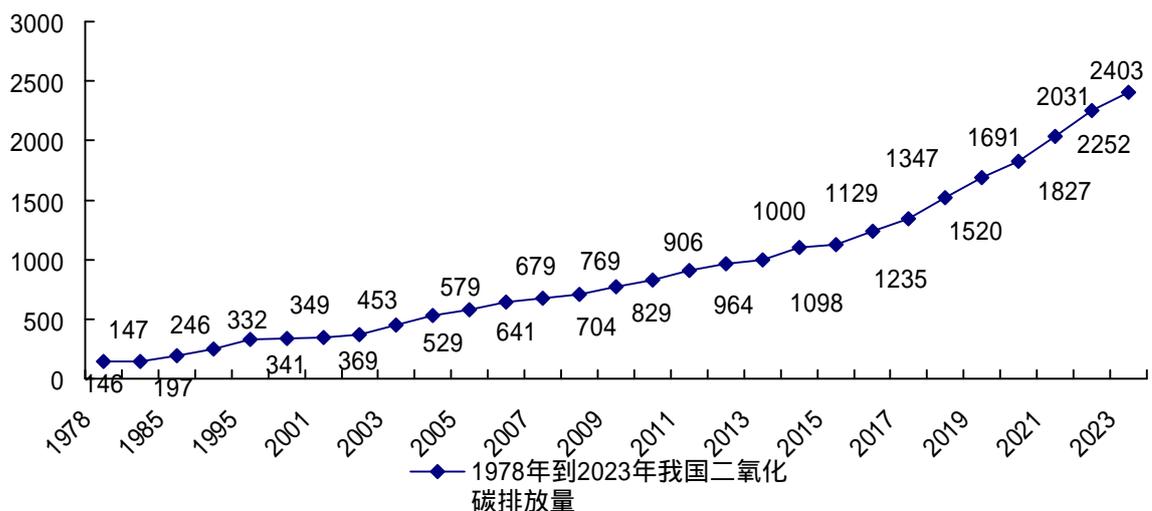


图 3-2 1978 年-2023 年全国二氧化碳排放总量、预测总量 单位 : (亿吨)

改革开放以来，我国二氧化碳排放总量一直保持增长的趋势，从 2000 年我国加入 WTO 以来，二氧化碳排放量不断增加，并且增长率逐年递增。从 2014 年的预测值可以看出，我国二氧化碳排放形式不容乐观，如果不采取相应的有效措施，必然会影响我国的经济发展水平。

4. 基于 LMDI 模型对影响我国非居民碳排放量因素分析

4.1 Kaya 等式的改进

Kaya 等式是由日本学者 Yoichi Kaya 教授在 IPCC 的第一次研讨会上提出的。通常用于国家层面上的二氧化碳的排放量变化的驱动因子分析，该等式表达了政治、经济、人口与二氧化碳排放量之间的关系，表达式公式 (1)：

$$ECO_2 = \frac{CO_2}{PE} \times \frac{PE}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times POP \quad (1)$$

式中： ECO_2 、PE、GDP、POP 分别代表二氧化碳排放总量、一次能源消耗总量、国内生产总值、国内人口总量。

由于影响二氧化碳排放总量除了人口数量、能源消费规模、经济产出因素外，能源结构、产业类型、能源强度以及居民日常生活都与二氧化碳排放有密切关系。综合考虑国内外学者的研究，将 Kaya 模型扩展为公式 (2)：

$$\frac{ECO_2}{POP} = \sum \sum \frac{GDP}{POP} \times \frac{GDP_i}{GDP} \times \frac{PE_i}{GDP_i} \times \frac{PE_{ij}}{PE_i} \times \frac{CO_{2ij}}{PE_{ij}} \quad (2)$$

式中：i 用于区分产业类型以，j 用于区分能源品种。

为了是表达是更加简洁，令 $c = \frac{ECO_2}{POP}$ ， $y = \frac{GDP}{POP}$ ， $s_i = \frac{GDP_i}{GDP}$ ， $e_i = \frac{PE_i}{GDP_i}$ ，

$$m_{ij} = \frac{PE_{ij}}{PE}， \quad f_{ij} = \frac{CO_{2ij}}{PE_{ij}}。$$

则扩展的 Kaya 模型可表述为公式 (3)：

$$c = \sum \sum y \times s_i \times e_i \times m_{ij} \times f_{ij} \quad (3)$$

式中：c 表示人均二氧化碳排放量，y 表示人均国内生产总值， s_i 表示产业结构， e_i 表示能源强度， m_{ij} 表示能源结构， f_{ij} 表示能源的二氧化碳排放强度。

4.2 LMDI 对数分解方法

LMDI 作为一种先进的指数因素分解技术近年来在低碳经济研究领域得到了广泛的应用。下面分别用“加和分解法”和“乘积分解法”对改进的 Kaya 等式进行分解。

$$\Delta c = c^t - c^0 = \sum_i \sum_j (c_{ij}^t - c_{ij}^0) = \sum_i \sum_j (y^t \times s_i^t \times e_i^t \times m_{ij}^t \times f_{ij}^t - y^0 \times s_i^0 \times e_i^0 \times m_{ij}^0 \times f_{ij}^0)$$

(4)

因此，在“加和分解法”中各因素贡献值表达式为：

$$\text{经济产出因素影响 } \Delta c_Y = \sum_i \sum_j W_{ij}' \ln \frac{y^t}{y^0}；$$

$$\text{产业结构因素影响 } \Delta c_{S_i} = \sum_i \sum_j W_{ij}' \ln \frac{s_i^t}{s_i^0}；$$

$$\text{能源强度因素影响 } \Delta c_{E_i} = \sum_i \sum_j W_{ij}' \ln \frac{e_i^t}{e_i^0}； \quad (5)$$

$$\text{能源结构因素影响 } \Delta c_{M_{ij}} = \sum_i \sum_j W_{ij}' \ln \frac{m_{ij}^t}{m_{ij}^0}；$$

$$\text{能源的二氧化碳强度因素影响 } \Delta c_{F_{ij}} = \sum_i \sum_j W_{ij}' \ln \frac{f_{ij}^t}{f_{ij}^0}；$$

$$\text{其中 } W_{ij}' = \frac{c_{ij}^t - c_{ij}^0}{\ln(c_{ij}^t / c_{ij}^0)}。$$

在“乘积分解法”中各因素贡献值表达是为：

$$\text{经济产出因素影响 } D_Y = \exp(w\Delta c_Y)；$$

$$\text{产业结构及生活消费因素影响 } D_{S_i} = \exp(w\Delta c_{S_i})；$$

$$\text{能源强度因素影响 } D_{E_i} = \exp(w\Delta c_{E_i})；$$

$$\text{能源结构因素影响 } D_{M_{ij}} = \exp(w\Delta c_{M_{ij}})；$$

$$\text{能源的二氧化碳强度因素影响 } D_{F_{ij}} = \exp(w\Delta c_{F_{ij}})；$$

$$\text{其中， } W = \frac{\ln c^t - \ln c^0}{c^t - c^0}。$$

4.3 影响非居民消费排放二氧化碳排放总量的因素分解

我国二氧化碳排放总量在 1995 年到 2003 年基本保持平稳，波动幅度不大，从 2004 年开始，我国二氧化碳排放总量逐年递增，虽然增幅并没有扩大且在 2009 年出现下降的趋势，但如果不采取任何措施，二氧化碳排放总量不会达到我国节能减排的目标。

首先，将我国居民日常生活排放的二氧化碳从二氧化碳总量中剔除，基于 LMDI 指数因素分解模型。然后，对我国影响我国二氧化碳排放因素分为：经济增长、能源结构、能源效率、产业结构以及能源的二氧化碳强度五个方面。最后，将整理好的数据经过计算得到模型结果。

本文的数据来自《中国统计年鉴》和 WDI data 世界发展指标数据库以及对上述数据的整理和计算，其中石油、天然气等其他能源都相应的转化成了标准煤。数据区间主要选择了 1999 年到 2011 年，原因是这段区间内的数据比较有代表性。1999 年以前的数据时间跨度太长，失去了研究价值，固在这里不对其进行研究。进而又分为 1999 年-2002 年、2003 年-2006 年以及 2006 年到 2013 年三个阶段，其中，第一阶段二氧化碳排放量的增长率比较平稳而且较低，基本稳定在 2%左右。第二阶段增长率波动幅度比较大，各个年度基本都达到了 10%以上，尤其是 2003 年，达到了 22.7%的年增长率。第三阶段增长率

形成了上下浮动的态势，基本围绕在 8%左右的波动幅度，说明我国二氧化碳政策在几年取得了一定的效果，但要达到承诺的标准还需要进一步的努力。

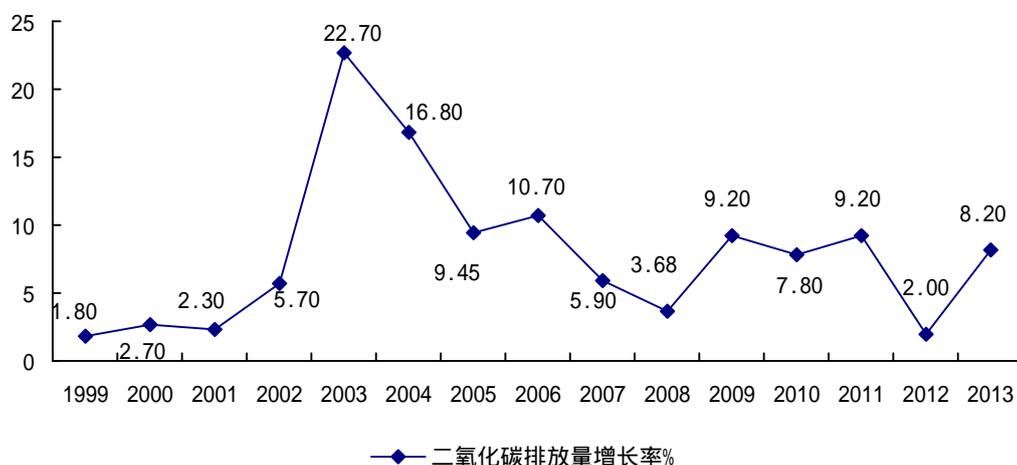


图 4-1 1999 年-2013 年全国二氧化碳排放量增长率

在建立 LMDI 模型中，产业结构包括：第一产业、第二产业和第三产业，能源按其物理状态划分，分为：固体能源、液体能源和气体能源，并且都转化成了标准煤单位进行计量，固体燃料主要包括煤炭，液体燃料包括石油、煤油等，气体燃料包括天然气、煤气等。此外，经济增长利用我国各个年度的人均 GDP 表示，由于能源都通过标准煤进行了转化，所以各个年度的能源的二氧化碳排放强度相当于零。通过对数据的整理、计算、带入模型分析等工作，得到表 4-2 的结果。

从模型分析结果来看，影响我国二氧化碳排放因素程度最大的是经济增长和能源强度，但能源强度影响幅度波动比较大，这与我各年的 GDP 波动幅度相对较大有一定关系。产业结构和能源结构对我国二氧化碳排放影响程度较小，并且产业结构影响因素的波动幅度特别平稳，这是由于我国对能源的刚性需求决定的。目前清洁能源成本较高和我国正处于经济飞速发展时期，仍旧需要大量使用煤炭这类成本低供应量大的高二氧化碳排放能源。

表 4-1 各类能源的碳排放系数

项目	煤炭	石油	天然气	水电、核电
单位：t 碳/万 t 标准煤	0.7476	0.5825	0.4435	0.0

资料来源：国家发展和改革委员会能源研究所. 中国可持续发展能源暨碳排放情景分析 [R]. 2003.

表 4-2 2000 年-2011 年四种因素对二氧化碳排放的影响效果

	经济增长		产业结构		能源强度		能源结构	
	ΔA_y	ΔD_y	ΔA_s	ΔD_s	ΔA_e	ΔD_e	ΔA_m	ΔD_m
1999-2000	234.11	2.18	29.59	1.10	-241.04	0.44	43.38	1.15
2000-2001	70.017	1.26	3.10	1.01	-38.66	0.88	6.33	1.02
2001-2002	234.11	2.08	6.51	1.02	-50.81	0.85	3.16	1.01
2002-2003	472.88	3.65	32.26	1.09	581.88	4.92	244.37	1.95
2003-2004	140.36	1.37	8.56	1.02	88.88	1.22	23.18	1.05
2004-2005	143.23	1.33	15.78	1.03	746.81	4.50	-136.05	0.76
2005-2006	87.42	1.17	3.15	1.01	-16.32	0.97	1.17	1.00
2006-2007	61.97	1.11	7.78	1.01	-30.77	0.95	2.60	1.00
2007-2008	234.11	1.46	2.21	1.00	10.84	1.01	204.41	1.39
2008-2009	472.88	2.05	-2.21	0.99	-17.70	0.97	1.92	1.00
2009-2010	81.88	1.12	7.33	1.01	-60.10	0.92	-253.72	0.70
2010-2011	45.91	1.06	4.23	1.00	10.31	1.01	251.72	1.38

表 4-3 2000 年-2011 年四种因素对二氧化碳排放的影响占比%

年份	经济增长	产业结构	能源强度	能源结构
1999-2000	43	5.4	-44	7.9
2000-2001	59	2.6	-33	5.4
2001-2002	79	2.2	-17	1.1
2002-2003	36	2.4	44	18
2003-2004	54	3.3	34	8.9
2004-2005	14	1.5	72	-13
2005-2006	81	2.9	-15	1.1
2006-2007	60	7.5	-30	2.5
2007-2008	52	0.5	2.4	45
2008-2009	87	-4.5	-3.5	3.8
2009-2010	20	1.8	-15	-63
2010-2011	1.5	1.4	3.3	81

由于不同能源的碳排放量是固定的，所以在此认为 $\Delta A_f=0$ ， $\Delta D_f=1$ 。

4.3.1 经济增长对我国非居民碳排放量的影响

从人均 GDP 增长率表中可以看出我国近几年 GDP 持续稳定的增长,尤其是在 2005 年到 2007 年间都超过了 10%。由于 2008 年受金融危机的影响,增长率有所下降,但仍旧高于 8%的增长率。我国经济的高速增长,使经济增长成为加速我国碳排放的主要因素。

表 4-4 1999-2011 年人均 GDP 增长率%

年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
增长率	6.9	7.6	7.5	8.4	9.4	9.5	10.7	12	13.6	9.1	8.7	10	8.8

从表 4-4 中可以看出在影响我国碳排放的诸多因素中,影响幅度最大的就是经济的增长,这与我国近些年快速的经济增长有关。经济增长的加速刺激了能源消费,从而导致了碳排放的增长。2009 年相对于 2008 年经济增长对碳排放的影响最大,可能是由于 2008 年的金融危机极大的影响了我国的经济增长,2009 年经济的升温,是经济增长对碳排放的影响力度加大。近几年,经济增长对碳排放的影响力度逐渐减小,尤其是 2011 年度,达到了近年的最小值,这可能是由于我国经济受金融危机影响后逐渐恢复,在 2010 年以后经济日趋平稳发展导致的。经济增长是国家强大、人民生活水平提高的基本保障,虽然我国经济增长对二氧化碳排放的影响相对较大,但以牺牲掉经济增长来降低二氧化碳的排放量是不科学更是不可取的。

4.3.2 产业结构对我国非居民碳排放量的影响

从模型结果来看,产业结构对我国二氧化碳排放总量的影响较小,排放总量影响占比均低于 10%。并且各个年度对二氧化碳的影响波动不大,这是由于产业结构的短期不可改变性造成的,随着第一、第二产业的不断变化,这些影响主要是第二产业的不断扩大造成的。虽然影响程度不大,但可以看出各个年度的影响效果逐渐递减。说明我国近些年来大力发展第三产业,调整我国产业结构,对节能减排起到了一定的积极作用。

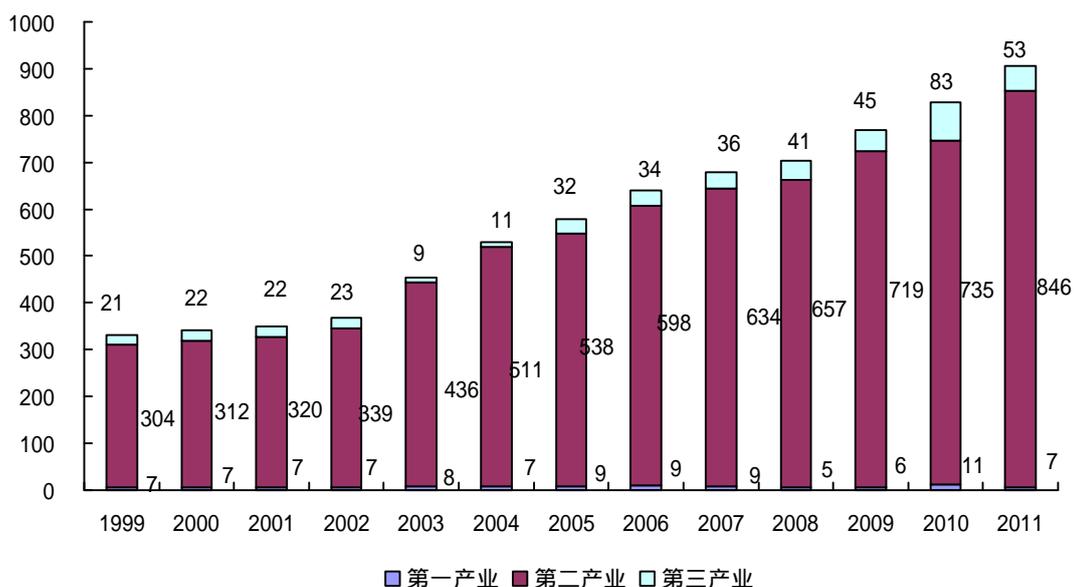


图 4-2 我国第一、第二、第三产业二氧化碳排放量 单位：亿吨

从图中可以看出，在 1999 年到 2011 年间，以工业为主的第二产业一直碳排放的“第一大门户”，占二氧化碳排放总量的 80%以上。第三产业碳排放量位列第二，第一产业碳排放量最低。在第二产业中，工业的比重达到 90%，其次是交通运输业，这是第二产业二氧化碳排放量最高的根本原因。我国所处经济发展阶段决定，工业对低廉的高耗能、高排放能源的需求以及相对于西方发达国家来说我国第三产业落后，造成了我国工业二氧化碳排放量高于其他的产业部门。尤其是石化企业，是典型的“三高”（即高污染、高排放和高耗能）企业。如果不采取相应的技术改造等措施将会影响我国节能减排的推进，同时也不会达到企业的环保要求。企业在生产设备、技术以及工艺改进的同时更要注重新能源的开发，积极开发一些新能源，例如：风能、光伏、水能等。总的来说，我国产业结构在节能减排方面还存在很多的提升空间，并且，工业减排使我国节能减排的重点工作。

4.3.3 能源结构对我国非居民碳排放量的影响

从模型结果来看，能源结构对我国二氧化碳排放的影响较小，影响程度仅仅大于产业结构，但能源结构对碳排放影响及其作用方向不稳定，在 2006 年和 2007 年，能源结构影响仅仅占据总影响的 1.1%和 2.5%，但在 2011 年，占比竟达到 81%，数字的波动主要是经济的不稳定造成的，在 2006 年和 2007 年的经济

增长高达 12.1%和 13.6%，而 2011 年的经济增长仅为 8.8%，高速的经济增长占据了能源结构对碳排放的影响程度，并不是我国对能源结构的调整起到的效果，我国对低成本能源尤其是煤炭的刚性需求现状并没有改变。此外，由图可以看出，在其他因素不变的情况下，能源结构基本上正向驱动我国二氧化碳的排放。

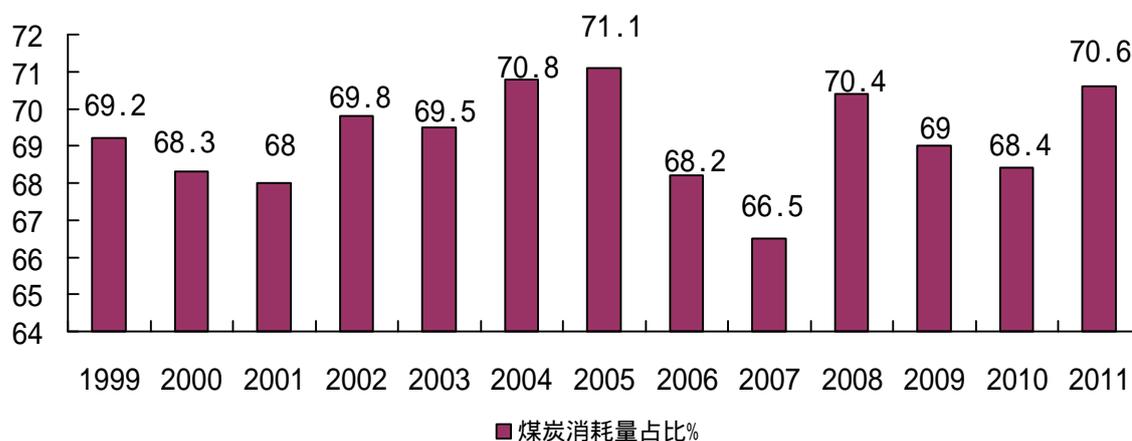


图 4-3 1999 年到 2011 年煤炭消费量占比

从我国煤炭消耗总量占能源消耗总量比重不难发现，能源结构对我国二氧化碳消耗量影响程度与我国煤炭资源的占比走势基本相似，没有完全吻合的原因还是在于经济增长对能源强度影响的结果。2007 年-2008 年、2010 年-2011 年的煤炭使用增长率分别达到 5.9%和 4%，这两阶段对应的能源结构影响程度分别达到 45%和 81%。可见，煤炭资源对我国主导了能源结构碳排放的影响。煤炭资源消耗的上升能带动能源消费结构碳强度反弹程度的上升，所以降低煤炭资源的消费比例能明显降低我国二氧化碳的排放总量。所以，我国可以从改变能源结构的角度入手，减少使用煤炭、焦炭等高排放的能源，大力开发太阳能、水能以及风能等可再生的清洁能源，发展新型能源，实现能源利用的可持续发展。

4.3.4 能源强度对我国非居民碳排放量的影响

能源强度是影响我国碳排放增长的重要力量，研究期间能源强度对二氧化碳排放总量的贡献率仅次于经济增长。从分析结果看，能源强度对碳排放的影响结果波动最大、最不平稳，这主要是由于经济增长率的浮动造成的。例如，在 1999 年-2002 年时间段，能源强度对碳排放的影响时负向的，在 2003 年-2005 年这个时间段能源强度的影响是正向的，以后正负交替出现。在 2005 年能源强度最大，达到了 72%。总体来说，能源强度对碳排放的影响是负向的，说明我国的能源强

度正在逐渐降低，向有利节能减排的方向发展。近几年能源强度逐渐变小，个别年度达到负值即反向驱动我国二氧化碳排放，这主要是由于技术的进步，是我国的能源效率得到了提高。

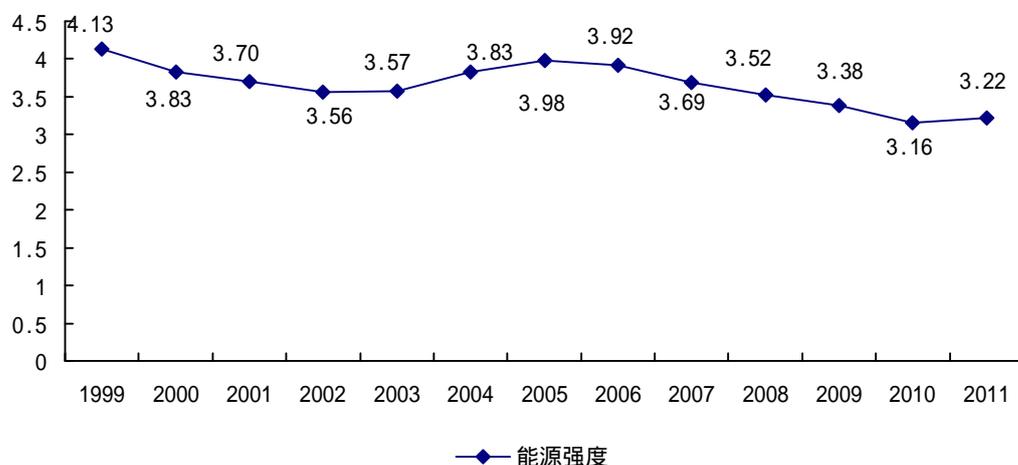


图 4-4 1999 年-2011 年全国消耗能源强度

从图 4-4 中可以看出，我国的能源强度总体变化趋势是在平稳中有所下降，说明随着科技的进步，我国的能源强度逐渐降低，这与前面所做的碳排放驱动因素分析结果比较吻合。从 1999 年到 2002 年，能源强度均呈下降趋势，虽然降幅较小。从 2003 年到 2005 年又出现反弹，能源强度缓慢上升，并且在 2005 年达到了最大值。从 2005 年以后，能源强度均出现下降趋势，直到 2011 年出现小幅度的上升。

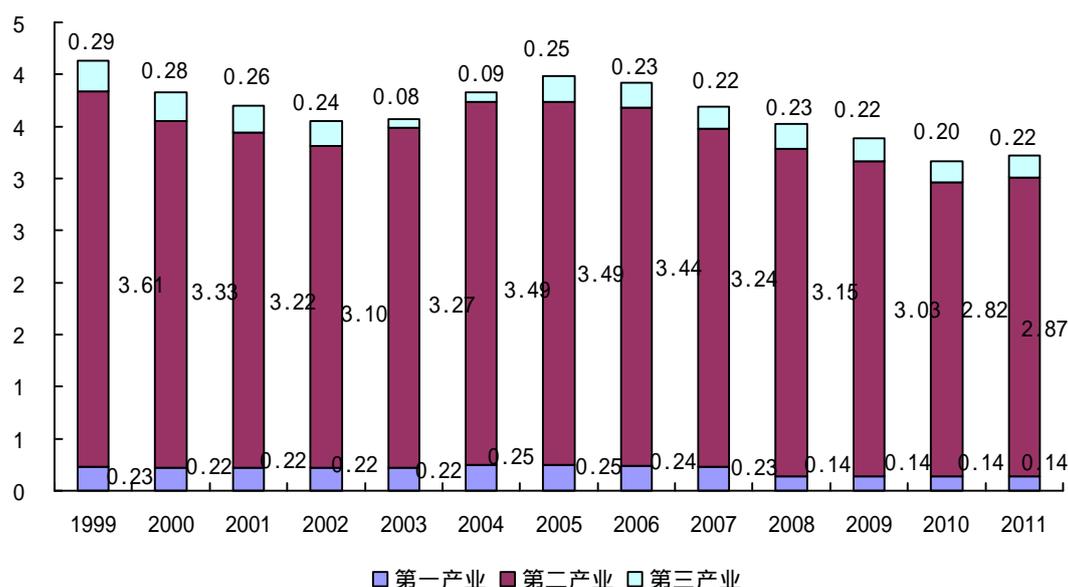


图 4-5 第一、第二、第三产业的能源强度

能源强度的降低从分析结果来看主要是各个产业能源强度的降低和能源消费的结构变化所引起的。从图中可以看出,除了在 2004 年到 2007 年能源强度有所反弹之外,第一、第二和第三产业的能源强度总体上呈下降趋势。从图中还明显的看出,第二产业的能源强度远远高于第一产业和第三产业,这也印证了前面所分析的第二产业是造成产业结构不合理引起的碳排放增加的主导因素。为了降低能源强度,首先要降低以工业为主的第二产业的能源消耗强度,从调整产业结构和能源结构两方面入手。我国在“十一五”规划中提出单位国内生产总值能耗比“十五”期间降低 20%左右。“十一五”以来,我国围绕提高能源效率为重点、以提高技术和完善管理为核心、强化节能目标,使节能工作在全国范围内得到了开展,取得了一定的结果。

5. 影响我国居民日常生活排放二氧化碳总量驱动因素分析

5.1 居民日常生活二氧化碳排放总量

我国各年度居民生活排放二氧化碳根据居民生活消耗的能源量和我国消费的能源总量统一转化为标准煤计量,然后求出居民生活消耗的能源在消耗的总能源中的占比,作为居民生活排放二氧化碳总量的占比,求出居民消费二氧化碳总量。



图 5-1 我国居民生活二氧化碳排放

从图 5-1 中可以看出我国居民生活二氧化碳排放总量不断攀升,主要可分为两个阶段。第一阶段是 1995 年到 2002 年,我国居民消费产生的二氧化碳总量

上下波动，总体比较平稳。第二阶段是 2003 年到 2013 年，居民二氧化碳排放量逐年上升，这是由于我国城镇化的不断推进造成的，平均增幅达到了 8%，在 2012 年的排放总量达到了 11.18 亿吨。

5.2 影响生活消费二氧化碳排放量因素分解

如图所示我国居民生活二氧化碳排放呈现逐年递增趋势，并且 2012 年是 1990 年的三倍。下面对影响我国生活二氧化碳排放因素进行分解：

对于影响生活消费人均碳排放量的因素从以下三个方面分析：能源的碳强度、能源结构和人均二氧化碳排放量。Kaya 等式如下：

$$\frac{ECO_2}{POP} = \sum_i \frac{CO_{2i}}{PE_i} \times \frac{PE_i}{PE} \times \frac{PE}{POP} \times POP ;$$

同理：令 c 表示人均二氧化碳排放量， f_i 表示能源的二氧化碳排放强度， m_i 表示能源结构， q 表示人均能源消耗量， p 表示总人口。

$$c = \sum_i f_i \times m_i \times q \times p。$$

建立 LMDI 模型，对上述因素进行分解。

通过 LMDI 模型，对影响我国二氧化碳排放的驱动因素分为：二氧化碳排放强度、能源结构、能源强度和人口增长四个因素。各因素对我国二氧化碳排放影响结果如下。

在数据处理中，数据主要来源于《中国统计年鉴》以及对《年鉴》数据的计算和整理，二氧化碳排放量相关数据来源于 WDI data 世界能源排放指标数据库。统一选取 1995 年为基期，各年度的变化量均是相对于 1995 年。各年度二氧化碳排放量是根据标准煤的消费比例从总量中折合得到。

表 5-1 1996 年-2011 年居民消费排放二氧化碳驱动因素

单位：亿吨

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ΔA	5.49	1.94	-4.76	-5.48	-3.26	-1.41	0.72	9.02	12.89	22.23	28.95	34.74	37.20	45.02	48.32	57.5
ΔD	1.13	1.02	0.84	0.80	0.83	0.86	0.91	1.14	1.24	1.48	1.64	1.71	1.83	2.02	2.07	2.23
ΔA_f	1.94	2.90	5.33	4.76	6.74	9.56	11.65	18.05	22.11	24.22	29.65	35.02	40.94	48.07	50.41	55.86
ΔD_f	1.05	1.07	1.15	1.14	1.19	1.28	1.34	1.5	1.62	1.62	1.75	1.88	2.07	2.24	2.29	2.38
ΔA_m	3.58	-1.3	-10	-10.23	-10.7	-11.46	-11.69	-10.51	-11.34	-4.41	-3.89	-4.4	-8.17	-8.41	-8.18	-7.13
ΔD_m	1.08	0.97	0.77	0.76	0.77	0.75	0.75	0.79	0.78	0.92	0.93	0.92	0.87	0.87	0.87	0.9
ΔA_q	2.12	-3.91	-13.88	-15.16	-15.52	-17.92	-18.91	-18.25	-18.76	-12.72	-13.04	-14.62	-18.55	-19.09	-19.44	-19.17
ΔD_q	1.05	0.91	0.69	0.66	0.67	0.63	0.62	0.66	0.67	0.78	0.78	0.77	0.72	0.73	0.73	0.74
ΔA_p	6.07	0.93	1.13	1.39	1.71	2.02	2.37	2.92	3.33	3.68	4.26	4.82	4.91	5.56	6.07	6.35
ΔD_p	1.05	0.91	0.69	0.66	0.67	0.63	0.62	0.66	0.62	0.66	0.67	0.78	0.78	0.77	0.72	0.73

5.3 影响生活消费二氧化碳排放量因素分析

从分析结果来看,从加法的形式下,影响居民消费排放二氧化碳量的四个因素即碳排放强度、能源结构、人均消耗二氧化碳量以及总人口中,二氧化碳强度对碳排放的影响最为强烈,起到决定性的作用,拉动了碳排放量的增长,从1996年到2011年间,拉动碳排放增长55.86亿吨,在2011年达到了50.7%的贡献率。人均消耗二氧化碳量对碳排放的影响紧随其后。人均消耗二氧化碳量的驱动影响主要分为两个阶段。从1996年到2003年,人均二氧化碳排放量对碳排放总量起到了正向拉动的作用,这与这几年间持续递减的人均二氧化碳排放量有关。从2004年到2011年,人均二氧化碳排放量对总影响的作用上下波动,但总体影响是趋于拉下碳排放总量。能源结构与人均耗能量对居民生活消费产生的碳排放影响较小。由于人均耗能量和总人口主要受中国人口增长规模的限制,在这里主要讨论能耗强度和能源结构对居民消耗产生的二氧化碳的驱动影响。二氧化碳强度

主要是受能源的特点、技术进步等影响，只能通过改变技术从而增加能源的使用效率。大力发展低碳经济、支持清洁能源的发展一直是我国的重要国策。

数据来源于《中国统计年鉴》，煤炭、煤油、液化石油均转化成标准煤。

煤气、天然气单位：亿立方米，标准煤单位：十万吨

表 5-2 1999 年-2011 年居民能源消费情况

年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
煤炭	841	846	783	760	818	817	1000	1000	976	915	912	916	913
煤油	7.1	7.2	7.5	6.1	5.6	2.7	2.6	2.3	2.0	1.3	1.9	1.9	2.4
液化石油	88	86	101	117	129	135	133	146	164	146	150	146	160
煤气、天然气	107	158	163	176	188	205	224	269	229	224	334	390	410

从居民消耗能源角度来看，由表可以得出，我国居民能耗消费一直是以煤炭为主的基本状况没有改变。但是，2005 年-2006 年是煤炭消费的一个分水岭。在该时间点以前，煤炭消费量是逐年递增的，在该时间点以后，煤炭消费量出现了下降的趋势。而煤油的消费量则在整个观察区间都呈现出缓慢的下降趋势。此外，液化石油、煤气和天然气的消费量一直是缓慢递增趋势。因此，随着生活消耗的能源量不断增加，不难看出居民消耗的煤炭和煤油等高排放的能源正在减少，取而代之的是石油、天然气等相对低碳的能源。这似乎说明我国能源消费已经逐渐从高碳排放的能源结构逐步向低碳排放的能源结构过度，但是，我国总的居民生活耗能碳排放量并没有相应减少，部分原因是由于消耗基数较大的原因，更主要的是我国在近几年热力、电力消耗不断增大。而电力主要火力发电，消耗的大部分是煤炭资源，核电、热电仅占小部分，这样本质上并没有从能源结构的根本解决居民高能耗的问题。

再看其他的影响因素，着重分析加法模式，推动碳排放量不断增加的另外的重要因素人口规模和人均耗能决定的。总人口对碳排放的影响较小，而且总人口主要是由我国的人口因素决定的，不受其他条件的影响。对于人均耗能强度，我们也可以利用生活耗能的结构来对其进行优化。因此，改变生活能源消耗结构还可以间接的影响到人均耗能量。但是，能源结构虽然有利于减排，但是影响程度相对于其他几个因素来讲还是比较小的。乘法模式分解的结果与加法分解模式分

解的结构相同，在各个观察期内，能源的二氧化碳强度都是影响碳排放最主要的因素，人均耗能量次之。总人口和能源消耗结构贡献率比较小。总而言之，我们应该从源头减少二氧化碳的排放，大力发展风能、太阳能等其他的清洁能源和绿色能源。

参 考 文 献

- [1]Ang BW, Pandiyan G. Decomposition of energy-induced CO₂emissions in manufacturing[J]. Energy Economics, 1997, 19 (3): 363-374
- [2] Ang BW, LIU F L. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation [J]. Energy, 2000, 26(6): 537-548
- [3]Ang BW. Liu F L. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation[J]. Energy, 2001, 26(6): 537-548
- [4]Birdsall N. Another see population and global warning. Population, health, and nutrition policy research [R]. Washington, DC: World Bank, WPS 1020: 1992.
- [5]Bhattacharyya S C,Ussanarassamee A Decomposition of energy and CO₂ intensities of Thai industry between 1981 and 2000 [J]. Energy Economics, 2004, 26(5): 765-781
- [6]Cole M.A.,Rayner A.J.,J.M.Bates.The Environmental Kuznets Curve:an empirical analysis[J].Environment and Development Economics,1997(2):401-416.
- [7] Chang Y F,Lin S J. Structural decomposition of industrial CO₂ emission in Taiwan:An input-output approach[J]. Energy Policy,1998,26:5-12.
- [8]Friedl B.,M.Getzner.Determinants of CO₂ emission in a small open economy[J].Ecological Econimics,2003(45):133-148.
- [9]Fan Ying, Liu Lancui, Wei Yiming, et al. Changes in carbon intensity in China: Empirical findings from 1980-2003 [J]. Ecological Economies, 2007, 62: 683-691.
- [10]Grossman, G. and A. Krueger, Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement [Z]. 1991, Paper prepared for the Conference on United States-Mexico Free Trade Agreement.
- [11]IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. IPCC Secretariat, 2007.
- [12]Johan A, Delphine F, Koen S.A Shapley Decomposition of Carbon Emissions without Residuals[J]. Energy Policy, 2002, 30: 727-736

- [13] Lorna A G, William B D, Schipper L. Comparison of six decomposition methods Application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries [J]. Energy Economics, 1997, 19: 375-390.
- [14] Liu N A, Ang BW. Factors shaping aggregate energy intensity trend for industry: energy intensity versus productmix[J]. Energy Economics, in press. 2007.
- [15] Park S H. Decomposition of industrial energy consumption: An alternative method [J]. Energy Economics, 1992, 14(4): 265-270.
- [16] Rhee Hae-chun, Chung Hyun-sik. Change in CO2 emission and its transmissions Between Korea and Japan using international input-output analysis [J]. Ecological Economics, 2006, 58: 788-800.
- [17] Sun J W, Ang B W. Some properties of an exact energy decomposition model [J]. Energy, 2000, 25(12): 1177-1188.
- [18] Torvanger A. Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries: 1973-1987 [J]. Energy Economics, 1991, 13(3): 168-186.
- [19] Wang C, Chen J, Zou J. Decomposition of energy-related CO2 emissions in China: 1957-2000 [J]. Energy, 2005, 30: 73-80.
- [20] Zhang Zhongxiang. Estimating the size of the potential market for the Kyoto flexibility mechanisms [J]. Review of World Economics, 2000, 136(3): 491-512.
- [21] 邓聚龙. 灰预测与灰决策 [M], 武汉: 华中科技大学出版社, 2005, p(103).
- [22] 邓聚龙. 灰色系统基本方法 (汉英对照) [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [23] 邓聚龙. 灰理论基础 [M], 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- [24] 丰华为. 湖南省碳排放的影响因素与政策研究 [D]. 湖南科技大学, 2012.
- [25] 何艳秋. 中国能源二氧化碳排放控制目标和地区分配的统计研究 [D]. 西南财经大学, 2013.
- [26] 金三林. 我国二氧化碳排放的特点、趋势及政策取向 [J]. 中外能源, 2010, 06: 18-22.
- [27] 李龙. 全球变暖与二氧化碳政策的初步研究 [J]. 中国高新技术企业 2010, 21: 104-105.
- [28] 林伯强. 危机下的能源需求和能源价格走势以及对宏观经济的影响 [J]. 金

- 融研究,2010,01:46-57.
- [29]林伯强,李爱军. 碳关税对发展中国家的影响[J]. 金融研究,2010,12:1-15.
- [30]林伯强,蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界,2009,04:27-36.
- [31]林伯强,孙传旺. 如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标[J]. 中国社会科学,2011,01:64-76+221.
- [32]刘秀丽,汪寿阳. 2011年我国分行业一次能源消费产生的二氧化碳排放量预测[J]. 科技促进发展,2011,01:22-33.
- [33]刘小川,汪曾涛. 二氧化碳减排政策比较以及我国的优化选择[J]. 上海财经大学学报,2009,04:73-80+88.
- [34]裴克毅,孙绍增,黄丽坤. 全球变暖与二氧化碳减排[J]. 节能技术,2005,03:239-243.
- [35]邝生鲁. 全球变暖与二氧化碳减排[J]. 现代化工,2007,08:1-12.
- [36]宋杰鲲. 基于LMDI的山东省能源消费碳排放因素分解[J]. 资源科学,2012,01:35-41.
- [37]王铮,蒋轶红,吴静等. 技术进步作用下中国CO₂减排的可能性[J]生态报,2006,(02): 423-431.
- [38]王锋等. 中国碳排放增长的驱动因素及减排政策评价[M]. 北京: 经济科学出版社, 2011.
- [39]王铮,蒋轶红,吴静等. 技术进步作用下中国CO₂减排的可能性[J]生态报,2006,(02): 423-431.
- [40]王栋,潘文卿,刘庆,高旭东. 中国产业CO₂排放的因素分解:基于LMDI模型[J]. 系统工程理论与实践,2012,06:1193-1203.
- [41]魏一鸣,刘兰翠,范英,吴刚等. 中国能源报告(2008):碳排放研究[M]. 北京科学出版社,2008.
- [42]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.
- [43]徐军委. 基于LMDI的我国二氧化碳排放影响因素研究[D]. 中国矿业大学(北京),2013.

- [44]杨嵘,常烜钰. 基于 LMDI 的西部地区碳排放因素分解[J]. 资源与产业,2012,02:172-179.
- [45]杨帆. 基于灰色预测模型的山东省公路货运量预测分析[J]. 现代营销(学苑版),2013,06:156-158.
- [46]袁鹏,程施. 辽宁省碳排放增长的驱动因素分析——基于 LMDI 分解法的实证[J]. 大连理工大学学报(社会科学版),2012,01:35-40.
- [47]岳超,王少鹏,朱江玲,方精云. 2050 年中国碳排放量的情景预测——碳排放与社会发展 [J]. 北京大学学报(自然科学版),2010,04:517-524.
- [48]张伟,张金锁,邹绍辉,许建. 基于 LMDI 的陕西省能源消费碳排放因素分解研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,09:26-31.
- [49]张旺,周跃云. 北京能源消费排放 CO₂ 增量的分解研究——基于 IDA 法的 LMDI 技术分析[J]. 地理科学进展,2013,04:514-521.
- [50]中国统计年鉴—2011[J]. 中国统计,2011,11:2.
- [51]郑有飞,李海涛,吴荣军,王连喜. 技术进步对中国 CO₂ 减排的影响[J]. 科学通报,2010,(16): 1555-1564.

致 谢

时光荏苒，转眼间三年的研究生生活即将结束，2011年9月我来到辽大，加入了经济学院这个大家庭。在辽大度过的每一天仍历历在目，让我感慨颇多。在这毕业来临之际，我想对所有关心我、帮助我的老师、同学和朋友们表示诚挚的谢意。

首先，我要感谢我的导师李平教授。李平老师渊博的知识和独具特色的人格魅力深受广大同学的喜爱。对于本文，从选题到最终定稿都少不了李平老师细心的指导。李平老师最值得我学习的地方是严谨的治学态度和深厚的专业功底，使我终身受益。

其次，我要感谢和我共度三年美好时光亲爱的舍友们，是你们让我的生活丰富多彩，是你们让我感受到了友情的真谛。忘不了我们为了考试而挑灯夜战的场景，忘不了我们一起游玩的快乐时光，忘不了太多太多。

最后，我要感谢我的父亲母亲。感谢父母对我的支持，无论成功与失败都在我的背后给我坚定的支持！

雷泽坤

二 一四年四月



遼寧大學
LIAONING UNIVERSITY

硕士学位论文
THESIS FOR MASTER DEGREE