

分类号：

密级：公开

学校代码：10140

学号：40390295



遼寧大學
LIAONING UNIVERSITY

硕士学位论文

THESIS FOR MASTER DEGREE

论文题目： 碳排放约束下我国能源利用效率的研究

Carbon Emission Constraint and Research of China

英文题目： Energy Efficiency

论文作者： 黄楠楠

指导教师： 郭万山 教授

专 业： 数量经济学

完成时间： 二〇一二年四月

申请辽宁大学硕士学位论文

碳排放约束下我国能源利用效率的研究

Carbon Emission Constraint and Research of China
Energy Efficiency

作者: 黄楠楠

指导教师: 郭万山 教授


专 业: 数量经济学

答辩日期: 2012年5月12日

二〇一二年四月·中国辽宁

辽宁大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是本人在导师的指导下独立完成的。论文中取得的研究成果除加以标注的内容外，不包含其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果，不包含本人为获得其他学位而使用过的成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体均已在文中进行了标注，并表示谢意。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：  2012 年 5 月 15 日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的原件、复印件和电子版，允许学位论文被查阅和借阅。本人授权辽宁大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文。学校须按照授权对学位论文进行管理，不得超越授权对学位论文进行任意处理。

保密（），在____年后解密适用本授权书。（保密：请在括号内划“√”）

授权人签名：  指导教师签名： 

日期： 2012 年 5 月 15 日 日期： 2012 年 5 月 15 日

摘 要

目前我国作为世界上人口最多的国家,且又处于经济飞速发展时期,不可避免的会增加二氧化碳排放量。据统计,到2007年为止,我国二氧化碳排放量达到6071.77百万吨,已经超美国成为世界上第一大二氧化碳排放国。我国已正式提出减少二氧化碳排放强度的约束目标,即到2020年我国二氧化碳排放强度是2005年的40%–50%。为研究至2020年为止,如何达到这个约束目标,本文分析了影响我国二氧化碳排放量的各项因素,发现能源利用效率是有效抑制二氧化碳排放量的因素。近些年我国的能源利用效率虽然稳步提高,但相对于发达国家来说,我国的能源利用效率低下,有上升的空间。能源利用效率的提高可以抑制我国二氧化碳排放量。所以,研究能源利用效率有助于研究如何减少二氧化碳排放量。

本文首先介绍了我国碳排放约束条件产生的背景,在这一章中详细阐述了二氧化碳对环境的影响,进而对人类生存造成威胁,以及我国的应对之策。其次在第一章中对我国二氧化碳排放现状进行分析,并用对数平均 Divisia 分解法分析我国二氧化碳排放量的影响因素,并得出能源利用效率是抑制我国二氧化碳排放的重要因素的结论。在第二章中对我国能源消耗总量进行分析,并用 DEAP2.1 软件测算了我国的全要素生产率,并对我国全要素生产率做出评价。第三章按碳排放量约束性指标测算了2020年我国需要达到的能源强度值,并分析了影响我国能源利用效率的因素。最后,根据本文的分析,提出了在碳排放约束下提高能源利用效率应调整产业结构等建议。

关键词: 碳排放强度 能源利用效率 Malmquist-Luenberger 指数

ABSTRACT

As the world's most populous country, and because of the rapid economic development, China will inevitably increase the carbon dioxide emissions. According to statistics of 2007, China's carbon dioxide emissions is 6071.77 million tonnes which was over the United States and China became the world's largest emitter of carbon dioxide. China has formally proposed to be bound targets to reduce carbon dioxide emissions intensity, China's carbon dioxide emission intensity is 40% to 50% in 2005 to 2020. In order to study how to achieve this constraint in 2020, this paper analyzes the various factors to affect China's carbon dioxide emissions. Energy efficiency is the efficiency of the inhibition of carbon dioxide emissions factors. In recent years, China's energy use efficiency is steadily improving, but relative to developed countries, China's energy efficiency is still very low, there is room for growth. The efficiency of energy use can inhibit China's carbon dioxide emissions. Therefore, the efficiency of energy use can help study how to reduce carbon dioxide emissions.

This paper first introduces the background of China's carbon emission constraints, this chapter elaborated the impact of carbon dioxide on the environment, into Seoul threatens human survival, as well as China's policies to deal with. Followed in the first chapter of the status quo of China's carbon dioxide emissions and the logarithmic mean Divisia decomposition method to analyze the impact of China's carbon dioxide emissions factors, and draw the conclusions that energy efficiency is an important factor in the suppression of China's carbon dioxide emissions. The second chapter, estimates China's total factor productivity and use DEAP2.1 software, and total factor productivity in China to make the evaluation. Chapter III analyzes the binding targets of carbon emissions, energy intensity values measured in 2020 which China needs to achieve, and to analyze the factors that affect our energy efficiency. Finally, according to this analysis, we should adjust the industrial structure in the carbon emission constraints

Key words: carbon intensity energy efficiency Malmquist-Luenberger index

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	II
绪 论	1
1 我国碳排放现状、特点及主要影响因素	10
1.1 我国碳排放现状和特点	10
1.1.1 我国碳排放总量分析及国际比较	10
1.1.2 我国碳排放强度分析及国际比较	12
1.2 二氧化碳排放因素分析	14
1.2.1 基于 LMDI 方法的碳排放因素分解模型	14
1.2.2 数据选取	14
1.2.3 实证结果及分析	15
2 我国能源消耗现状和能源利用效率的测度	19
2.1 我国能源消耗现状分析	19
2.1.1 能源消耗总量及构成	19
2.1.2 我国能源消耗国际比较	22
2.2 我国能源利用效率的测度	25
2.2.1 全要素能源效率	25
2.2.2 数据选取	26
2.2.3 实证结果	26
3 我国能源利用效率与碳排放关系实证分析	28
3.1 我国 2020 年二氧化碳排放量和能源强度估算	28
3.1.1 估算方法	28
3.1.2 计算结果及分析	29
3.2 能源利用效率影响因素	30
3.2.1 能源利用效率影响因素理论阐述及变量选择	30
3.2.2 能源利用效率的影响因素计量模型	32
3.2.3 能源利用效率影响因素实证结果及分析	33

4 碳排放约束下提高能源利用效率的对策建议	38
4.1 加快产业结构升级，提高能源利用效率	38
4.2 加快调整能源的结构，提高能源利用效率	39
4.3 制定合理能源价格，提高能源利用效率	39
4.4 健全完善碳市场交易，提高能源利用效率	40
参考文献	42
致 谢	45
攻读学位期间发表论文以及参加科研情况	46

图表目录

图目录

图 1-1 1971-2009 年我国与美国二氧化碳排放总量	10
图 1-2 2009 年世界部分国家碳排放量占全世界排放量比例.....	11
图 1-3 1971-2009 年世界部分国家人均二氧化碳排放量	11
图 1-4 1971-2009 年世界部分国家二氧化碳排放强度	13
图 1-5 人均二氧化碳排放量各项影响因素的贡献值.....	17
图 1-6 人均二氧化碳排放量各项影响因素的贡献率.....	17
图 2-1 1991-2011 年我国能源消费总量.....	19
图 2-2 1992-2011 年我国 GDP 及能源消费总量的增长率.....	21
图 2-3 1991-2011 年我国能源消费构成的变化情况.....	22
图 2-4 2010 年主要国家能源消费结构表.....	24
图 3-1 能源利用效率对产业结构冲击的反应.....	34
图 3-2 能源利用效率对能源结构冲击的反应.....	35
图 3-3 能源利用效率对技术进步冲击的反应.....	35
图 3-4 能源利用效率对能源价格冲击的反应.....	36
图 3-5 各影响因素对能源利用的贡献率.....	37

表目录

表 1-1 能源排碳系数.....	15
表 1-2 人均二氧化碳排放量各项影响因素的贡献值和贡献率.....	16
表 2-1 中国 2009-2010 年一次能源消费及世界总量的比较	23
表 2-2 我国全要素能源效率的 Malmquist-Luenberger 指数及其分解.....	26
表 3-1 2020 年 GDP 及人均 GDP.....	28
表 3-2 2020 年二氧化碳和能源相关指标数值.....	29
表 3-3 2009 年二氧化碳和能源相关指标数值.....	29
表 3-4 单位根检验结果.....	33

绪 论

0.1 碳排放目标提出的背景

气候变化即全球性气候变暖，目前已经成为一个备受世界关注的环境问题。近百年来，全球气温显著上升，特别是八十年代以后，地球部分地区最高气温不断突破历史记录。气候变化也引发了一系列异常气候现象，如：厄尔尼诺现象在近十几年来发生的越来越密集，而拉尼娜现象可能因为地球变暖而逐渐减少。全球性的气候变化对人类赖以生存的地球环境的破坏是巨大的。近代，由于工业的蓬勃发展，排放到大气中的二氧化碳等温室气体对环境造成的影响是无法估计的。而就在现在，人类为了舒适的生活而排放的二氧化碳量也是历史上不曾出现过的，我们在改善生活环境的同时，也在改变着地球的自然环境，显然这种改变速度已超出地球可以自我调节的速度，冰川融化，海平面升高，气候灾害频繁等各种自然界的回应，让人们越来越关注我们生活的环境，力求通过人类的努力减缓地球气候变暖的速度。

温室气体被认为是现今社会造成地球气候变化的因素，《2006年 IPCC 国家温室气体清单指南》列举出现阶段被认为是温室气体的有：二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢氟烃、全氟碳、六氧化硫等等。为减少温室气体的排放，《联合国气候变化莫测框架公约》及其后一系列的针对地球气候治理问题的国际会议，逐步形成了发达国家和发展中国家“共同但有区别的责任”的方针，即：发达国家强制性减少二氧化碳的排放量，而发展中国家自主减少二氧化碳的排放量。

中国由于人口众多且处于发展阶段，二氧化碳排放总量逐年上升，2009年二氧化碳排放量已达到 68.77 亿吨，已超越美国，成为世界上二氧化碳排放量最大的国家。做为一个负责任的大国，我国在哥本哈根会议上承诺我国减排的目标，即到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~50%，并就减排过程中的资金和技术支持等问题进行讨论和协商，积极参与减缓气候变化的活动中。

0.1.1 全球气候变化简述

随着对气候数据的采集、整理和分析，相关的研究人员发现近代地球上的气候变化较以往历史时期的变化大，虽然全球气温还如历史时期一样，不断的重复冷—暖—冷—暖的波动，但平均气温明显呈上升趋势。专家对这气温变化的异常现象进行了分析。

1.全球气候变化规律及预测

十九世纪时，地球处于小冰期，平均气温比现在低 2~6℃。自十九世纪末开始，地球气候进入回暖期，全球气温缓慢升高，平均升幅在 0.6%左右。至二十世纪四十年代达到最高点，其后开始降温，八十年代后又开始回暖，但气温明显上升。

随着气温的不断上升，世界各地不断出现高温天气。科学家们发现了这一异常现象，做了大量的研究，有两个研究特别引人注目，这两个研究皆来自于美国国家大气研究中心。

第一份研究报告来自于魏雷格，他认为当大气中的温室气体增加时，海洋不会马上做出相应的反应，而会在之后十几年逐渐的反应出来，也就是说大气中的温室气体增加，海洋的温度不会立即升高，而是在之后的一段时间逐渐升高。所以他认为八十年代后地球气温持续升高是由于以前温室气体排放而造成的。在这个结论基础上，他估算了现阶段大气中温室气体量，并预测大气中温室气体量会使全球气温平均升高 1℃，这个数据意味着海平面每百年会上升十厘米。魏雷格认为，这个估计是最乐观的，实际上可能会上升的更多。同时他也指出，不论下阶段人类如何控制温室气体排放，海平面上升已是必然的结果。另一份研究报告来自于梅尔等人。他们认为之前的学者们对海平面上升的预测中没有考虑到冰川融化这个因素，在考虑这个因素后，至二十一世纪末海平面至少上升十一厘米。

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的数据显示，预计至二十一世纪末全球气温会上升 1.4℃-5.8℃，这是在人类掌握的历史数据中不曾出现的大幅度上升。全球气候变化会给人类带来巨大的影响。

2. 全球温度升高的影响因素

导致全球变暖的因素有很多，可以将它们概括成为自然因素和人为因素两种。两种因素都影响着地球的气候变化，但据 IPCC 最近一次报告显示近半个世纪以来地球气候变暖主要是人为因素造成的。因而本节主要介绍影响气候变化的人为因素。

人类的社会生产和生活会排放大量的温室气体，IPCC 报告中已列举了如二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、氢氟烃、全氟碳、六氧化硫等温室气体，其中，二氧化碳在大气中的温室气体中所占比例最大的，也是对环境影响最大的。在生产过程中，需要消耗大量的一次能源，而在消耗过程中都会排放大量二氧化碳；在人类生活中，也会排放大量二氧化碳，例如每天人呼出的二氧化碳。一方面，虽然绿

色植被可以捕捉空气中的二氧化碳，但随着人类活动范围的不断加大，森林面积不断减少，捕捉二氧化碳的日益减少；另一方面，随着人类活动日益频繁，排出的二氧化碳逐渐增多。在这两方面共同作用下，地球的自我调节能力下降，导致排放到大气中的二氧化碳日益增多。IPCC 于 2007 年公布的第四次全球气候评估报告显示，大气中二氧化碳的排放总量占有所有温室气体排放量的 80% 左右，而其产生的增温效应占有所有温室气体增温效应的 63%，所以，二氧化碳被认为是最为主要的温室气体，在关于温室气体的研究中也多以研究二氧化碳排放量为主。而主要导致大气中二氧化碳排放量增加的人为因素主要可以归纳为以下五点：

(1)人口增加。导致二氧化碳增加的主要因素之一是人口的急剧增加，据不完全统计，现在全球人口总数是二十世纪初的二倍，而实际上增长速度最快的时期是从二十世纪六十年代才开始的。当时的人们没有意识到人口的增长会间接造成地球气候变暖，而现今全世界人口已达到了 70 亿，如此多的人口，每日仅呼出的二氧化碳量已是不小的一个数字。

(2)工业化发展。在过去很长一段时间里，人类的生产力水平低下，生产和生活中改变自然环境的程度很小，但随着工业时代的到来，人类生产力水平大幅提高，生产过程中，由于燃烧化石燃料而排放出大量二氧化碳，而汽车在近代的大量生产和使用，也使得大量汽车尾气排放到大气中，增加了大气中二氧化碳的排放量。工业和交通业排放的大量二氧化碳对气候变暖有不可推卸的责任。

(3)土壤的破坏。研究证明，绿色植被可以避免水土流失，调节大气温度。但近代以来，由于人类生产、生活范围不断加大，越来越多的植被被破坏。植被的破坏使得越来越多的土壤失去肥力和保水的能力，土壤沙化现象严重。因为很难在沙化的土地上种植植被，导致土地直接暴露在太阳的照射下。阳光在没有植被遮挡的情况下，直接以热能的形式存在于地球表面，增加了地球表面的温度。

(4)绿色植被的破坏。在人类改善生活环境的同时，也在改变着地球上的自然环境。人类为了满足不断提升的生活文化需求，大量破坏绿色植被，开垦土地建工厂、住房，砍伐森林，获取自然资源以修建房屋，制造纸张。在二十世纪六十年代全球的森林覆盖面积占陆地总面积的四分之一，而现在，这个比例已经变成了五分之一左右，森林正在大面积的消亡。绿色植被面积减少后，不仅捕捉空气中二氧化碳排放量的能力减小，而且其中一些不能利用的植物用作燃料被燃烧，又会释放出大量的二氧化碳，从而增加了大气中二氧化碳排放量。

(5)脏雪^①。在现代人类生产生活的活动中，汽车尾气，矿物质燃烧产生的煤烟进入到大气中，如果此时天气寒冷，且有降雪的天气环境，那么这些煤烟类物质会被雪冰冻，随着雪花而回到地面。这些雪由于含有煤烟等深色物质而颜色比一般的雪深，被称为脏雪。没有受到污染的雪可以将太阳照射的阳光反射到空气中，这样也可以将热量反射到空中。而脏雪却由于颜色深，吸收阳光，从而吸收更多来自太阳的热量，这样会增加地表的温度。而脏雪融化后，其上煤烟类的物质会留在地表，使地表颜色加深，从而吸收更多的太阳的热量。现在脏雪已被科学家们认为是导致北极变暖的主要因素，由于空气污染，大气中的煤烟含量较高，而大气是流动的，北极也不可避免的出现脏雪，据研究人员统计，过去的两百年里，北极的温度提高了 2℃左右，脏雪是主要的原因。不仅是北极，亚洲东部地区，美国北部地区的脏雪现象也很普遍。脏雪正在气候变暖中扮演重要的角色。

0.1.2 人类面临生存危机

地球气候变暖会造成海平面升高，因为气候异常变化而带来很多自然灾害，地球上的环境变化，导致部分物种不能适应突变的环境而灭绝，人类的生产生活皆受到影响，人类正在承受改变环境所带来的后果。

1.日常生活受到影响

全球气候大幅升高，产生一系列的影响。例如生活在北极的爱斯基摩人。爱斯基摩人以捕食鱼类和北极熊等动物为生，但气温上升使得北极的自然环境改变，北极熊不能适应如此之快的变化，许多北极熊因找不到食物而骨瘦如柴，其他鱼类也如北极熊一样，爱斯基摩人获取食物量正在减少。

2.粮食危机

全球性的气候变暖给非洲人民带来灾难。据了解，非洲大陆上存在着半干旱地区，非洲大陆上气候变化使得这些地区的土地退耕现象严重，同时由于气温上升，海平面上涨，非洲部分流域不断出现洪涝灾害，这使本就粮食不足的非洲国家陷入了困境。

3.岛国危机

海平面升高后，使得如马尔代夫这样的国家面临着灭顶之灾。马尔代夫大部分国土仅比海平面高出 1~2 米。如全球温度继续如此大幅的增高，那么在不久的

^① 孙桂娟等.低碳经济概论[M].山东：人民出版社，2010，9.

将来，如马尔代夫这样的国家将不复存在，他们的人民将无居住的地方。

0.2 国际上应对环境问题采取的措施

全球气候正在大幅变暖，马尔代夫这样的国家因为海平面升高而举国搬迁，世界各地自然灾害不断发生，这些事件无一不在对人类的生存产生危机。因此控制地球变暖，为子孙后代留下可以长期生存的地球环境成为今天人类的主题。为此，多国首脑聚集，共商应对气候变化问题。

最早的控制气候变化的文件是《联合国气候变化框架公约》，它于 1994 年 3 月 1 日生效。它将 189 个公约参加国和 5 个观察员国纳入公约的约束范畴。这个公约确定的“最终目标”是“将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上”。但由于没有较强的约束性，这个公约并没有起到预想的作用，气候变化并没得到很好的控制。即便是这样，这个公约有他特有的存在意义，它建立了一个体制，以后的《京都议定书》、《马拉喀什协定》、《巴厘岛路线图》、《哥本哈根协定》都是在这个公约基础上提出的，这份公约为之后的关于气候变化控制的一系列协定奠定基础。

《公约》正式生效后的第三年，也就是 1997 年，根据公平原则以及“共同但有区别的责任”原则，《公约》的缔约方第三次会议（COP3）在日本京都正式召开。包括我国在内的 149 个国家和地区的代表通过了旨在限制发达国家温室气体排放量以抑制全球变暖的《京都议定书》，具体确定了各国在应对气候变化中的减排责任。

这是一次成功的、具有历史性的会议。会议中规定了主要工业国家的减排任务，提出了“排放权交易”这个概念和集团方式减排。它是现今世界上唯一一份关于减少二氧化碳排放量的公约，这是全球低碳社会建立的依据和里程碑。

面对 2012 年之后如何进一步降低温室气体的排放，即所谓“后京都”问题，还有待举行新的谈判解决。因此，为了制定《京都议定书》的详细实施规则，京都会议之后又进行了几次取得重要进展的缔约方大会。

经过 1998 年在阿根廷举行的 COP4、1999 年在德国波恩召开的 COP5、2000 年在荷兰海牙举行的 COP6 这三次会议的讨论和谈判之后，2001 年各国政府终于就如何执行《京都议定书》达成了比较全面的规则，就清洁发展机制体制、运行规则和监测核实公证程序达成了高级别的政治协议——《马拉喀什协定》。《马拉喀什协定》还试图为各国政府考虑批准《京都议定书》提供充足的透明度，并为企

业、非政府组织和其他主体在政府的权威与职责下参加机制提供了途径。随后，2002年在印度新德里举行的COP6上通过了《德里宣言》，更多集中于《京都议定书》减缓温室气体排放的技术与操作层面的问题。《京都议定书》生效后，2005年在加拿大蒙特利尔举行的COP11和2006年在肯尼亚首都内罗毕举行的COP12，通过了启动《京都议定书》2012年之后第二承诺期谈判等诸多重要议题，将“后京都”问题的解决作为主要议题。

2007年12月，《公约》第13次缔约方大会通过了《巴厘岛路线图》，启动了加强《公约》和《京都议定书》全面实施的谈判进程，致力于在2009年年底前完成《京都议定书》第一承诺期到期后全球应对气候变化新安排的谈判，并签署有关协议。但《巴厘岛路线图》所规定的发展中国家的减排任务艰巨，被我国严词拒绝。2009年哥本哈根会议上通过了《哥本哈根协议》，此次协议制定的减排政策得到了大多数国家的广泛的认同，就是在这次会议上，我国主席胡锦涛同志对世界做出承诺：到2020年中国单位国内生产总值二氧化碳排放量比2005年下降40%–50%，到2020年中国化石能源占一次能源消费的比例达到15%左右；同时也承诺通过植树造林和加强森林管理，森林面积比2005年增加4000万公顷，森林蓄积量比2005年增加13亿立方米。

0.3 国内外文献综述

0.3.1 能源利用效率评价研究

能源利用效率也称能源效率，Murray G. Patterson (1996)总结了传统意义上能源效率的内涵，并从热力学、物理热力学、经济热力学、经济学的角度对能源效率的内涵进行了界定并对能源效率的计量方法进行了总结。我国学者王庆一(2001)也对衡量能源效率的指标进行了描述，他认为该指标可以分为物理能源效率和经济能源效率。物理能源效率指标又分为单位产品或服务能耗和物理能源效率。经济能源效率指标又可分为单位产值能耗和能源成本效率。其中有两个指标最为常用，一个叫做能源消耗强度，该指标是用一个地区或国家在一段时间内消耗的能源比该地区或国家在这段时间内增加的GDP而得出，另外一个指标是能源生产率，与能源消耗强度相反，该指标是一个地区或国家在这段时间内增加的GDP比该地区或国家在一段时间内消耗的能源而得出，故而这两个指标互为倒数。而这种只用能源做能源利用效率影响因素的指标，我们称其为单要素能源利用效率指标。

单要素能源利用效率指标虽然经常做为评价能源使用率的指标但仍有自身的

缺陷, Boyd 和 Pang (2000) 认为能源投入结构变动, 能源价格变动或是产业结构变动都能显著影响能耗强度和能源生产率的数值, 这就使得指标在评价能源利用效率的应用上存在干扰因素, 有可能使评价并不准确。

在考虑各种因素影响下, Jinli Hu 和 Shihchuan Wang (2006) 提出了用全要素能源利用效率做为区域的能源利用效率评价指标。全要素能源利用效率指标是包含多个投入与产出的投入产出模型, 这种模型的优点在于他可以更精确的测算能源利用效率。

现有的文献中, 大部分采用非参数的数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 来测算全要素能源效率。Chames A, Cooper 和 Phoades (1978) 提出了第一个 DEA 基本模型, 即 CCR 模型。这个模型假定规模报酬是不变的, 同时采用线性规划法估计生产边界, 以衡量每一个决策单元的相对效率。

在考虑各种因素影响下, Jinli Hu 和 Shihchuan Wang (2006) 提出了用全要素能源利用效率做为区域的能源利用效率评价指标。全要素能源利用效率指标是包含多个投入与产出的投入产出模型, 这种模型的优点在于他可以更精确的测算能源利用效率。魏楚和沈满洪 (2007) 基本延续了他们的方法运用 CCR 模型计算了中国省际的全要素能源效率。杨红亮 (2008) 使用一种单要素方法和三种全要素方法对以 2005 年数据为基础的中国各地区的能源效率的比较研究表明全要素方法在揭示一个地区要素禀赋结构对其能效的影响方面有着传统的单要素方法替代不了的优势。

0.3.2 能源利用效率影响因素研究

能源利用效率的影响因素比较多, 能源消耗结构、产业结构、能源价格和技术进步等因素都对其有影响。大多数学都认为影响能源利用效率的众多因素中, 产业结构和技术进步是主要的影响因素, 对于这两个影响因素的研究比较多, 但由于采用的数据历史跨度不同、指标不同和研究方法各异等等因素, 最终的研究结论并不一致, 有研究得出产业结构调整是能源利用效率的决定因素的结论, 也有研究认为决定因素是技术进步。

现有研究中, 有学者认为, 产业结构变化对能源利用效率起主要作用, 产业结构变动是降低能耗的主要途径, 杨洋 (2008) 利用我国 1978—2006 年的相关数据, 运用最小二乘法对影响我国能源强度的因素进行实证研究, 表明产业结构变动对能源强度的降低影响程度最大。技术进步也是影响能源效率的一个重要因素。Garbaccio 等 (1999) 采用因素分解法研究了我国 1987—1992 年间导致能源强度下降的主要因素, 研究结果表明技术进步是影响它的主要因素。能源价格也是影响能源利用效率的主要因素之一, 张卓元 (2006) 的研究表明, 我国能源价格偏低,

造成了我国高投入，高能耗的经济模式。能源价格低会导致能源投入过多，不利于能源利用效率的提高。市场化水平也在一些文献里被证实了是影响能源效率的因素，如史丹（2002）、吴巧生（2005）和 Fan（2007）等通过研究都证实了市场化程度的加深有助于提高我国能源效率。市场化水平也表示政府对市场经济的干预程度。

0.3.3 碳排放约束研究

我国十一届人大代表会议提出将碳排放约束性指标列入十二五计划中，并在之前的国务院常务会议中决定，到 2020 年为止，我国单位国内生产总值二氧化碳排放量要比 2005 年下降 40%–45%。林伯强，姚昕等（2010）在节能和碳排放约束下，对我国能源结构战略调整进行分析评价。将二氧化碳排放量做为约束条件，从供给和需求两方面来分析能源需求，并得出在碳排放约束下调整产业结构会使我国能源消耗成本增加，对宏观经济会产生负的影响，通过产业结构调整来实现节能减排不符合我国国情。查建平，唐方方（2011）在碳排放约束下对工业技术效率评价，利用方向距离函数，在最优化的思想下，以碳排放量为约束条件，对我国 30 个省 2003–2008 年的相关数据进行分析，并评价了各省的工业技术效率。

0.3.4 指数分解方法研究

Hulten(1973)首次将指数分解方法应用于能源问题的研究，以后许多学都的研究都是在 Hulten 方法的基础上进行的。随着这种方法的应用，其缺陷逐渐暴露出来。Boyd（1987）和 Boyd（1988）分别提出了算数平均的 Divisia 指数法（AMDI）的乘法和加法形式，Howarth 等（1991）和 Park（1992）对该方法进行了标准化的改进。Ang 和 Liu（2000）提出了对数平均 Divisia 分解法（LMDI）。LMDI 分解法有乘数分解和加和分解两种形式。

Torvanger（1991）第一次采用指数分解法研究能源相关的环境问题，之后出现了一些以我国为背景的文献。Shrestha 和 Timilsina（1996）分析了 12 个国家及地区有关电力部门的二氧化碳排放情况，得出结论：影响电力部门碳排放量的主要原因为能源强度指标。Ang B W 等（1998）分析了我国工业能源消耗指标与二氧化碳排放指标之间的关系，得出结论：工业部门，二氧化碳排放量的主要影响因素为工业增加值。齐中英（1998）采用因素分解模型，测算了能源密度、能源结构等因素对二氧化碳排放量和人均指标的影响程度。

0.4 本文的研究方法、总体思路与创新之处

0.4.1 本文的主要研究方法

本文应用多种数量经济学的研究方法对能源利用效率进行分析，归纳为以下两个方面：

1. 统计分析方法。本文对国内外二氧化碳排放和能源的消耗总量数据做了归纳整理，将我国能源消耗数据与同一时期国外的数据相比，以描述我国在国际上的二氧化碳排放和能源使用情况。

2. 计量分析方法。本文首先采用了 LMDI 法对影响我国碳排放的因素做了分析，得出能源利用效率是减少碳排放量的关键因素。然后，应用了数据包络分析方法。应用数据包络分析 (DEA)，着重分析中我国全要素能源效率，探讨在碳排放约束下如何提高我国能源利用效率，研究中国能源效率的影响因素和作用机制。

0.4.2 本文总体思路

本文主要研究在碳排放约束下能源利用效率及影响能源利用效率的因素。从碳排放约束角度出发，即将二氧化碳排放量做为非合意性产出，估计我国能源利用效率，并对影响能源利用效率的因素做了分析。以期掌握我国能源利用效率的现状和存在的问题。本文要回答以下疑问：

什么是能源利用效率？什么是碳排放约束？为什么要研究碳排放约束下的能源利用效率？评价能源效率的指标是什么？我国的能源效率处于什么样的水平？什么因素影响我国能源利用效率？有什么样的对策可以提高我国能源利用效率且减轻我国二氧化碳减排的压力？本文期望通过分析以上问题，能对我国能源利用效率有正确的了解，从而制定出既能提高我国能源利用效率，又能减少碳排放量的两全其美的对策。

0.4.3 本文创新之处

1. 已有研究能源利用效率的文献，主要利用全要素生产率评价能源利用效率，并分析影响能源利用效率的因素，以期得到能源利用效率存在的问题。但是在生产过程中，除了会生产出我们想要生产的合意性产出，还会产生像二氧化碳一样的非合意性产出，但现在的文献中对于这方面的研究还相对较少，本文就是基于碳排放约束条件下对能源利用效率问题研究。

2. 对 2020 年我国能源强度进行了大致估计，使碳排放约束与能源强度联系起来，有利于基于碳排放约束下的能源利用效率的研究。

1 我国碳排放现状、特点及主要影响因素

我国作为世界上人口最多的国家，且又处于经济飞速发展时期，不可避免的增加我国二氧化碳排放量。据统计到 2007 年为止，我国二氧化碳排放量达到 6071.77 百万吨，已经超美国成为世界上第一大二氧化碳排放国。我国已正式提出减少二氧化碳排放强度的目标，研究怎样保证经济稳步增加的同时又能减少二氧化碳的排放量，就必须清楚现阶段我国二氧化碳排放的程度及影响它的因素。

1.1 我国碳排放现状和特点

1.1.1 我国碳排放总量分析及国际比较

随着人口的不断增加和经济繁荣发展，我国二氧化碳排放量也一直保持着持续增长的态势。1971 年我国二氧化碳排放量为 809.551 百万吨，而至 2009 年我国二氧化碳排放量已增加至 6877.195 百万吨，是 1971 年的 8.5 倍。其间，1999 年二氧化碳排放量为 3090.532 百万吨，较 1998 年的 3197.271 百万吨减少了 106.7388 百万吨，这主要是由于 1999 年我国能源消费量减少了。2000 年后我国的碳排放量又恢复了增长，而其中 2003、2004 年分别以 15.6% 和 18.7% 高增长率大幅度增加碳排量。2000 年以后，二氧化碳排放量以平均每年 9.5% 的增长速度快速增长，排放总量也由 2000 年的 3077.159 百万吨增加至 2009 年的 6877.195 百万吨，增长了 1.2 倍。图 1-1 显从 1971 年到 2009 年我国与美国二氧化碳排放总量。1971 年美国二氧化碳排放量约是我国的 4 倍，而 2007 年我国二氧化碳排放量已超过美国，如此大的增长速度与增长量给我国控制碳排放量带来一定的难度。

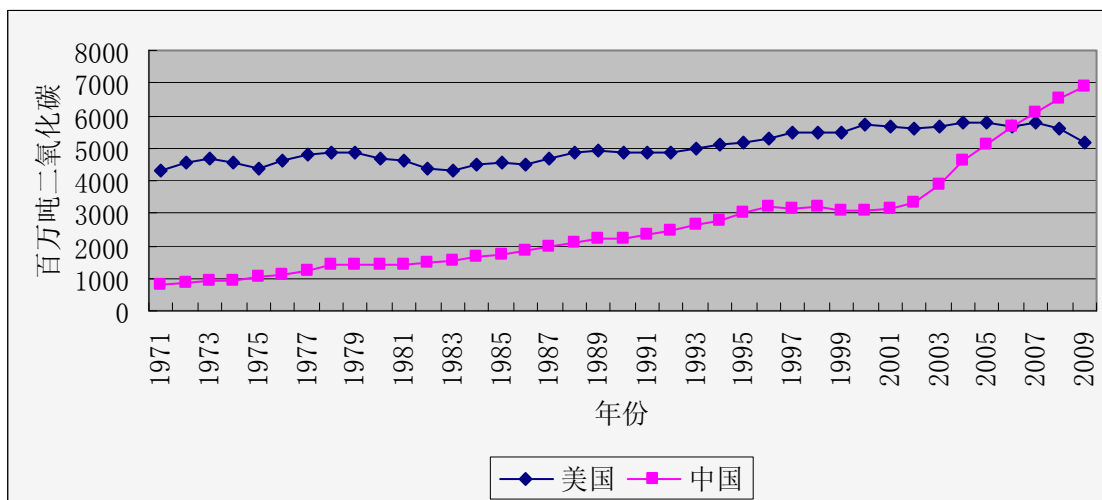


图 1-1 1971-2009 年我国与美国二氧化碳排放总量

数据来源：OECD/IEA, CO2 Emission from Fuel Combustion Highlights, 2010.

从图 1-2 中可以看出，2009 年，仅我国，美国，印度和日本四个国家的二氧化碳排放量就已达到全球二氧化碳排放量的 51%，占全球碳排量一半以上。而中国和美国是世界上碳排放量最多的两个国家，占全球碳排放总量的 42%。其中，美国 2009 年的碳排放量是 5195.018 百万吨，中国比美国多了 1682.177 百万吨，这要比 2009 年印度的碳排放量 1585.817 百万吨还要多 6 百万吨以上，比日本的 1092.859 要多 500 百万吨以上。可以看出我国的二氧化碳的排放量之大。

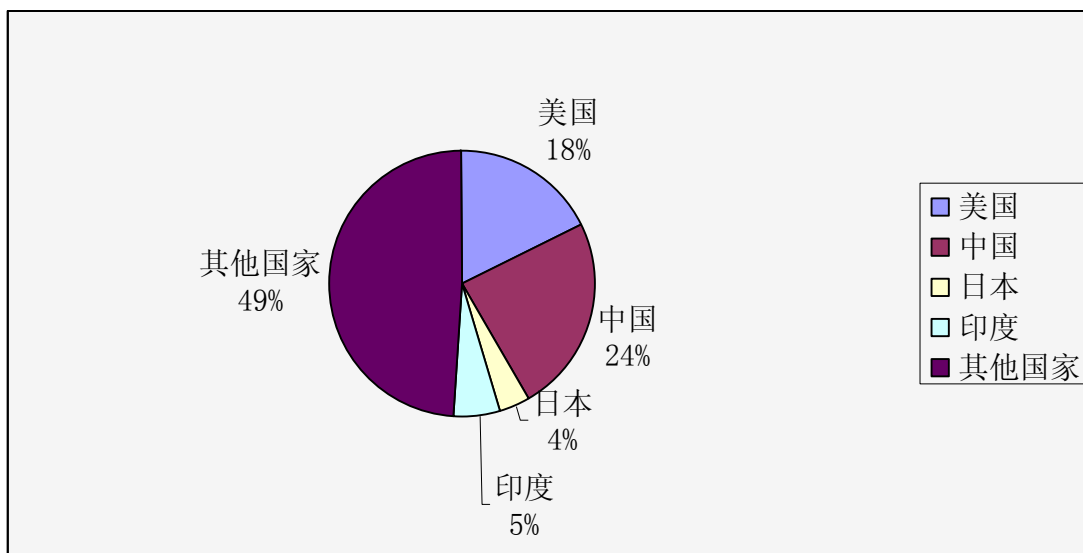


图 1-2 2009 年世界部分国家碳排放量占全世界排放量比例

数据来源：OECD/IEA，CO₂ Emission from Fuel Combustion Highlights,2010.

我国二氧化碳排放总量很大，但由于我国人口众多，我国人均二氧化碳的排放量并不大。下图描绘的是我国、美国、日本及世界人均二氧化碳排放量。

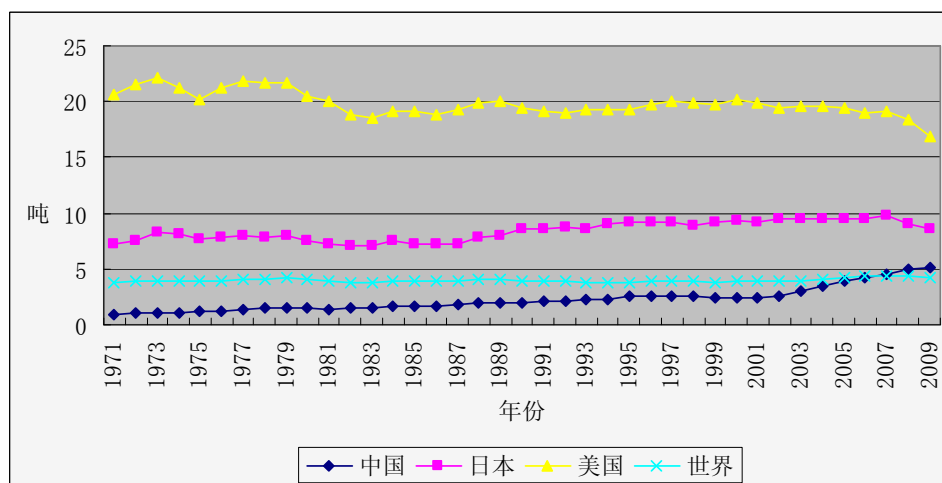


图 1-3 1971-2009 年世界部分国家人均二氧化碳排放量

数据来源：OECD/IEA，CO₂ Emission from Fuel Combustion Highlights,2010.

由图 1-3 可知 1971 年我国人均二氧化碳排放量为 0.9579 吨，同年世界人均碳排放平均水平为 3.7442 吨，是我国的 3.9 倍，而同年美国和日本的人均碳排放量分别为 20.6619 吨和 7.2278 吨，即使至 2009 年我国人均二氧化碳排放量也仅仅为 5.1381 吨，没有达到美国和日本这样的发达国家 1971 年的人均碳排放量。在 2007 年以前，我国人均二氧化碳排放量没有超过世界平均水平，而 2007 年我国的人均二氧化碳排放量为 4.5831 吨，初次超过世界平均水平。

2009 年我国人均二氧化碳排放量为 5.1381 吨，超出世界平均水平 0.8487 吨，而美国和日本 2009 年的人均碳排放量分别为：16.8953 吨和 8.583 吨，分别是我国的 3.3 倍和 1.7 倍。

1.1.2 我国碳排放强度分析及国际比较

上一小节分析了我国二氧化碳排放总量和人均二氧化碳排放量，本小节主要介绍我国碳排放强度，这个指标也是我国做出减排承诺时所选用的指标。

碳排放强度，是用碳排放量比国内生产总值得出来的。表示增加一单位国内生产总值所增加的碳的排放量。公式为：

$$A = C / GDP \quad (1-1)$$

其中，A 为碳排放强度，C 为碳排放量，GDP 为国内生产总值。

我国选取碳排放强度这个指标做为碳排放约束的指标主要是考虑到，虽然我国碳排放总量大，但因为我国人口众多，人均碳排放量比较小，与世界人均碳排放水平基本持平，远远低于发达国家。仅根据以上分析虽然碳排放量居世界之首，但因为人均碳排放量不高，既要保证经济增长又要减少碳排放量的可行性不高。但我国能源利用效率低，增加一单位国内生产总值所需的能源消耗量大，随之排出的二氧化碳量也多，所以我国的碳排放强度大。故在提高能源利用效率的前提下，有减少碳排放量的可行性。所以碳排放强度指标做为我国减排的指标是非常恰当的。温室气体中都含有一定量的碳，其中二氧化碳的碳含量最多，相对于其他温室气体而言能引起最大的温室效应。二氧化碳排放强度为二氧化碳排放量比国内生产总值。

从图 1-4 可以看出，我国二氧化碳排放强度一直高于世界平均水平，1971 年到 2009 年我国二氧化碳平均排放强度是世界二氧化碳平均排放强度的 5 倍以上，其中 1978 年我国二氧化碳排放强度最高，为 8.8433 吨- CO_2 /美元，是当年世界

二氧化碳排放强度的 8.5 倍。而 1978 年以后我国二氧化碳排放强度一直呈下降趋势。对于这种现象，有一种解释是我国在 1971 年到 1978 年是处于文化大革命时期，当时资源浪费现象很普遍，造成我国二氧化碳排放强度异常高，而 1978 年以后，我国实行改革开放政策，外国企业可以到我们国家开设工厂，虽然我国以高的投入和环境污染换取国内生产总值的增加，但由于外国的先进技术进入我国，增加一单位 GDP 而需要的各项投入减少，对我国的二氧化碳排放强度的降低可以起到一定的作用。

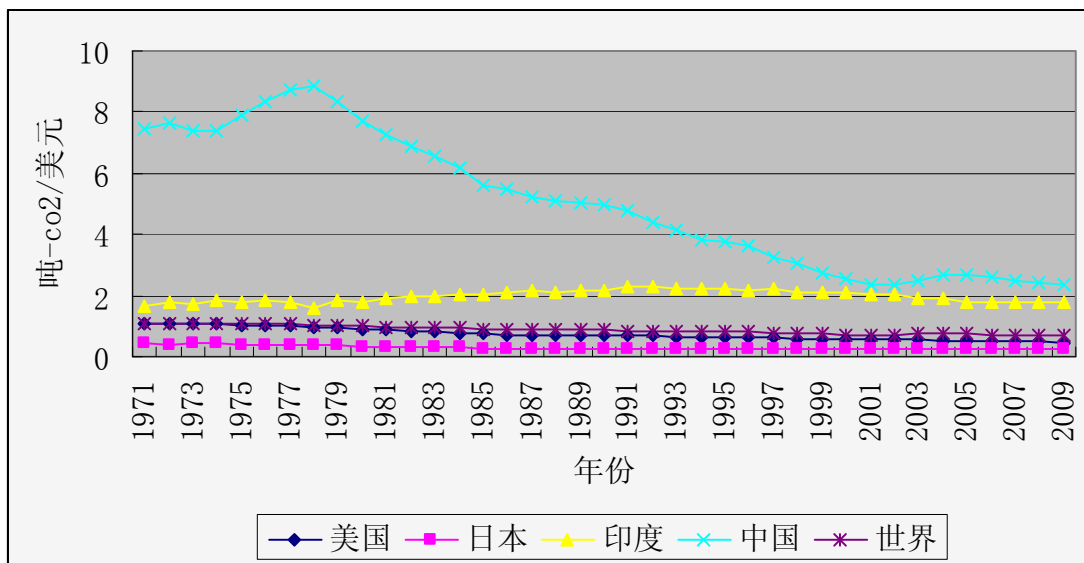


图 1-4 1971-2009 年世界部分国家二氧化碳排放强度

数据来源：OECD/IEA, CO2 Emission from Fuel Combustion Highlights,2010.

从上图中还可以看出，日本的二氧化碳排放强度低于世界平均水平，大约是世界平均工资水平的 1/4。美国二氧化碳排放强度一直保持接近且略低于世界平均水平的程度。2001 年以后中国的二氧化碳排放强度基本保持在 2-3 吨- CO_2 / 美元，与印度二氧化碳排放强度为 2 吨- CO_2 / 美元左右基本处于一个水平。

由以上分析可以看出我国二氧化碳排放及其能源强度的特点。首先，现今我国二氧化碳排放总量已居世界第一位，2009 年我国二氧化碳排放量为 6877.195 百万吨，占全世界二氧化碳排放量的 24%，是备受世界关注的碳排放大国。但由于我国人口数量大，且处于经济发展阶段，2009 年我国人均二氧化碳排放量为 5.1381 吨，刚刚达到世界平均水平。其次，我国二氧化碳排放强度比较大，与发达国家相差比较大，2009 年我国碳排放强度是美国和日本的 3 倍左右，有降低碳排放强度的空间。

1.2 二氧化碳排放因素分析

为完成我国公布的二氧化碳排放约束，我国应在保持经济增长的同时减少二氧化碳的排放量，但影响二氧化碳的因素有哪些，他们都是怎样影响二氧化碳排放量的，这个问题仍需要进一步研究。据分析，能源利用效率，能源结构及经济发展是影响二氧化碳排放的因素。本文选取 Divisia 对数平均分解法（LMDI）研究能源利用效率等因素对二氧化碳排放量的影响。

1.2.1 基于 LMDI 方法的碳排放因素分解模型

LMDI 分解模型是基于 Kaya 对二氧化碳排放量的分解公式来计算的，公式为：

$$C = \sum_i C_i = \sum_i \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{Y} \times \frac{Y}{P} \times P \quad (1-2)$$

其中，C 为二氧化碳排放量，E 为能源消耗总量，Y 为国内生产总值，P 为人口数。

定义人均二氧化碳排放量为 A，公式为：

$$A = \frac{C}{P} = \sum_i F_i S_i I R \quad (1-3)$$

其中， $F_i = \frac{C_i}{E_i}$ 表示增加一单位 i 种能源的消费增加的二氧化碳排放量，

$S_i = \frac{E_i}{E}$ 表示第 i 种能源消耗量占总的能源消耗量的百分比，这个指标为能源结构

指标， $I = \frac{E}{Y}$ 表示增加一单位国内生产总值所需消耗的能源总量，即为能源利用

效率因素，是单要素能源效率， $R = \frac{Y}{P}$ 即人均国内生产总值，代表经济因素。

这个公式把二氧化碳的排放量分解为能源利用效率、能源结构、经济因素和各能源二氧化碳排放量的乘积。即把影响二氧化碳排放量分解成各个因素的乘积。根据上述公式，本文使用 LMDI 分解方法，对二氧化碳排放量的影响因素的贡献值和贡献率分别进行计算。

1.2.2 数据选取

本节选取了 1980—2009 年的能源利用效率、能源结构、能源碳排放系数和经

济发展四个因素，并计算了 1980—2009 年人均二氧化碳排放量的数据。以下是数据的来源及计算方法。

1.能源利用效率数据

从上小节的能源利用效率公式可以看出，这里的能源利用效率是选用能源强度指标代替的，即为单位国内生产总值的能源消耗量。用每年的能源消耗总量数据比国内生产总值。数据来源于《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》

2.能源结构数据

能源结构数据是指各种能源占一次能源消费的比例。本文选取了石油、天然气、煤和水电占一次能源的比例来做为能源结构的样本数据。数据来源于《中国能源统计年鉴》。

3.各种能源排碳系数

世界上很多能源组织都给出了能源排碳系数。本文选取我国国家发展和改革委员会能源研究所给出的数据。

表 1-1 能源排碳系数

	煤	石油	天然气	水电
F(吨碳/万吨标准煤)	0.7476	0.5825	0.4435	0

4.经济发展数据

由上小节公式得本文中经济发展数据采用的是人均国内生产总值。数据采用当年价。来源于《中国统计年鉴》。

5.人均二氧化碳排放量数据

我国人均二氧化碳排放量用公式（1-3）计算。这也是 IPCC 建议的计算二氧化碳排放量的算法，式中的能源结构数据与能源排碳系数数据已在上文给出出处，一次能源消耗总量的数据来自于《中国能源统计年鉴》。

1.2.3 实证结果及分析

能源利用效率，能源结构及经济发展因素对我国二氧化碳排放量的影响如表 1-2 所示：

将表 1-2 中各影响因素的贡献值和贡献率分别绘制成图，见图 1-5 和图 1-6。在绘制贡献率图时，由于能源结构的能源利用效率是人均二氧化碳排放量的负的

影响指标，所以将这两个影响因素的贡献率皆取倒数，这样就把原本代表提高人均二氧化碳排放量贡献率变为抑制人均二氧化碳排放量的贡献率，这样有助于我们更直观的分析各抑制指标对人均二氧化碳排放抑制作用。

表 1-2 人均二氧化碳排放量各项影响因素的贡献值和贡献率

年份	人均排放		经济发展		能源结构		能源效率	
	贡献值	贡献率	贡献值	贡献率	贡献值	贡献率	贡献值	贡献率
1981	-0.01	0.97	0.02	1.06	0.00	1	-0.04	0.91
1982	0.00	1.00	0.05	1.14	0.00	1	-0.05	0.88
1983	0.02	1.04	0.10	1.27	0.00	1	-0.08	0.83
1984	0.05	1.11	0.18	1.50	0.00	1	-0.13	0.74
1985	0.08	1.19	0.28	1.85	0.00	1	-0.2	0.64
1986	0.10	1.24	0.33	2.06	0.00	1	-0.24	0.6
1987	0.13	1.31	0.41	2.38	0.00	1.01	-0.29	0.55
1988	0.16	1.38	0.52	2.92	0.00	1.01	-0.37	0.47
1989	0.17	1.42	0.58	3.25	0.00	1.01	-0.41	0.43
1990	0.17	1.42	0.62	3.54	0.00	1	-0.45	0.4
1991	0.20	1.47	0.71	4.07	0.00	1.01	-0.51	0.36
1992	0.22	1.53	0.82	4.97	0.00	1	-0.61	0.31
1993	0.25	1.60	0.98	6.46	0.00	1	-0.73	0.25
1994	0.27	1.67	1.17	8.74	0.00	1	-0.89	0.19
1995	0.31	1.76	1.32	10.80	-0.01	0.99	-1	0.16
1996	0.32	1.79	1.41	12.57	-0.01	0.99	-1.08	0.14
1997	0.31	1.76	1.46	13.97	-0.01	0.98	-1.14	0.13
1998	0.31	1.75	1.48	14.76	-0.01	0.98	-1.16	0.12
1999	0.33	1.80	1.54	15.54	-0.01	0.98	-1.2	0.12
2000	0.34	1.83	1.61	17.22	-0.01	0.97	-1.25	0.11
2001	0.35	1.86	1.68	19.11	-0.02	0.96	-1.31	0.1
2002	0.39	1.96	1.78	20.89	-0.02	0.96	-1.37	0.1
2003	0.52	2.27	2.01	23.32	-0.02	0.97	-1.47	0.1
2004	0.66	2.61	2.29	27.43	-0.02	0.97	-1.61	0.1
2005	0.77	2.88	2.52	31.32	-0.02	0.97	-1.73	0.09
2006	0.88	3.14	2.77	36.59	-0.02	0.97	-1.87	0.09

2007	0.98	3.38	3.06	44.99	-0.02	0.97	-2.06	0.08
2008	1.01	3.46	3.25	53.52	-0.03	0.96	-2.2	0.07
2009	1.08	3.62	3.40	57.71	-0.03	0.96	-2.29	0.07

由图 1-5 可以看出各项影响因素对人均二氧化碳排放量的贡献值。能源利用效率和能源结构是人均二氧化碳排放量的抑制因素，而经济发展是人均二氧化碳排放量的拉动因素。其中，能源利用效率对人均二氧化碳排放量的抑制要比能源结构强。

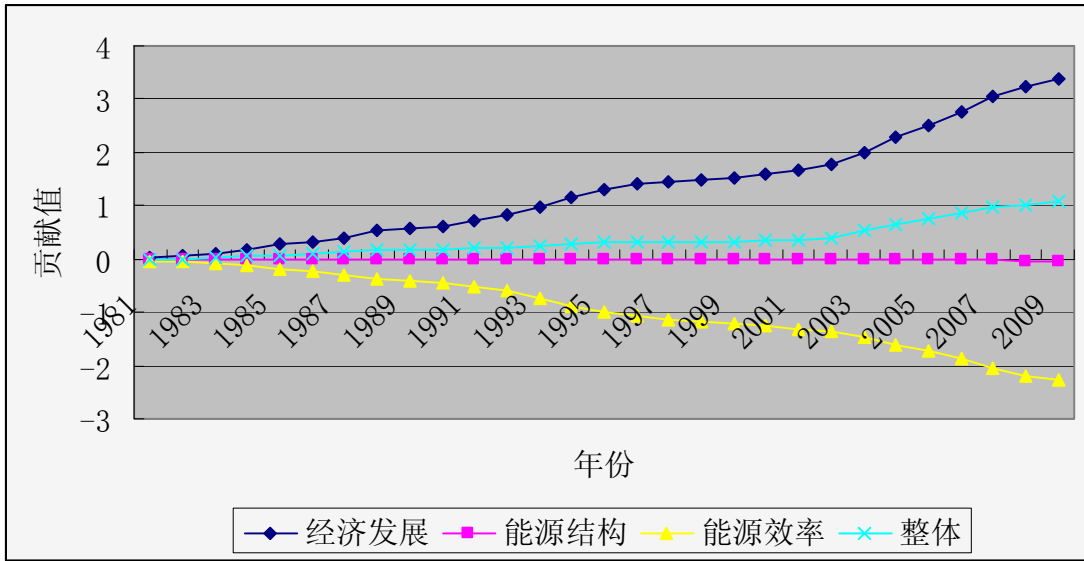


图 1-5 人均二氧化碳排放量各项影响因素的贡献值

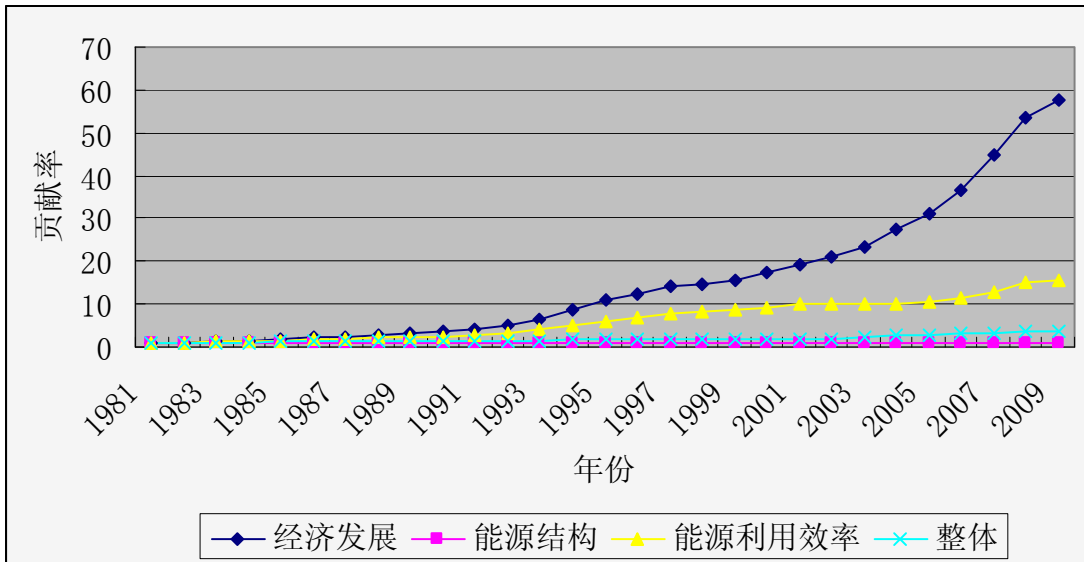


图 1-6 人均二氧化碳排放量各项影响因素的贡献率

由图 1-6 可以直观观察到，对拉动人均二氧化碳排放量贡献最大的是经济发展，经济发展是二氧化碳排放量急剧上升的重要原因，能源利用效率可以抑制我

国人均二氧化碳排放量，但他的抑制效果远低于经济发展的拉动效果。而能源结构对我国人均二氧化碳的排放量的贡献率很小，但也是抑制其发展的，这主要是由于我国能源结构长期以煤炭为主，能源结构变化不大造成的。

在抑制人均二氧化碳排放量的因素中，能源利用效率是贡献率最大的，那么，要研究如何减少我国二氧化碳排放强度，就要具体研究分析我国能源利用效率的现状和影响我国能源利用效率的因素有哪些。

2 我国能源消耗现状和能源利用效率的测度

上节研究了二氧化碳排放现状和影响二氧化碳排放的因素，对我国二氧化碳排放量贡献率最大的是能源利用效率。本节对我国能源消耗现状做了分析，并用数据包络模型对我国能源利用效率做了整体评价。

2.1 我国能源消耗现状分析

2.1.1 能源消耗总量及构成

能源消费总量，是指一定时期内全国物质生产部门、非物质生产部门和生活消费的各种能源的总和，是能源消费水平、构成和增长速度的总量指标。1991-2011年，我国能源消费总量呈持续增长态势，从1997年开始我国的能源消费总量有所回落，这种国家能源消费总量增长速度慢的情况一直持续到1999年，而从2000年开始，国家的能源消费总量又呈现了加速增长的状况。从1999年的10.4亿吨标准煤到2011年的34.8亿吨标准煤，增长了3倍多。这一增长状况与我国现阶段的工业化发展进程相适应，反映了这一阶段的经济增长方式和产业结构状况。

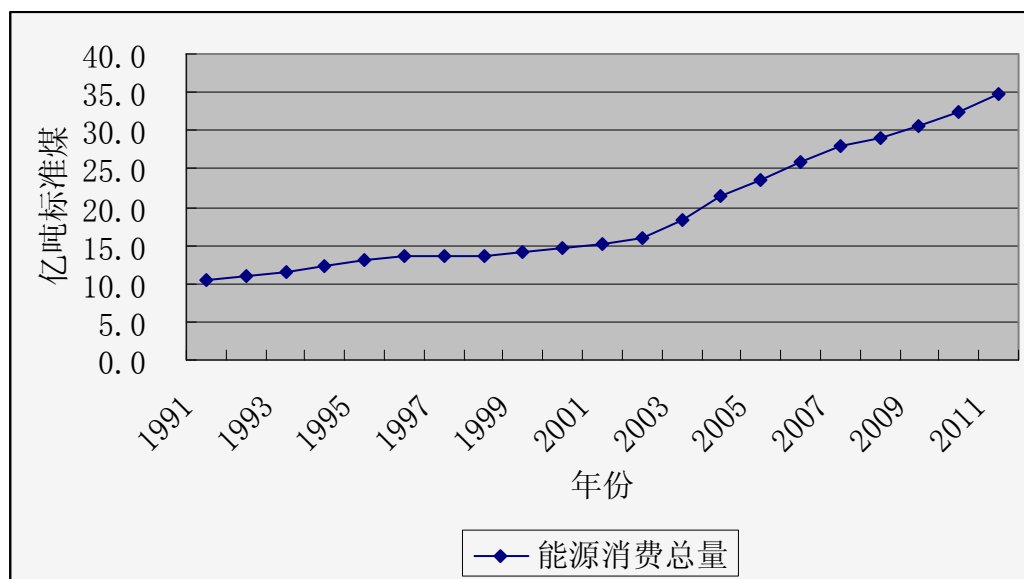


图 2-1 1991-2011 年我国能源消费总量

数据来源：中国能源统计年鉴 2010 及 2010、2011 年统计公报

注：1991 年至 2009 年数据来源于中国能源统计年鉴，2010 年和 2011 年数据来源于年度统计公报。

从我国 GDP、能源消费总量增长率图 2-2 看，能源消费总量增长率与 GDP 增

长率的趋势大体相同，但 1992-1996 年出现了 GDP 增长率大幅变动，而能源消费总量增长率却保持在 5%左右的异常情况，这与中国 1993-1996 年的通货膨胀有关。1992 年邓小平同志针对 1988 年通货膨胀造成的经济下滑的问题，提出了加快改革和发展的号召，全国掀起新的发展热潮，经济又恢复了快速发展。但当时政府没有推出有效的财政政策，而采取了积极的货币政策，导致金融市场和房地产投资急剧增加，直到 1993 年上半年，通货膨胀已非常明显，据统计 1993 年全社会固定资产投资增长 61.8%，居民消费价格上升 14.7%，商品零售价格上升 13.2%，一次投资热演变成我国的第四次通货膨胀。此年 7 月政府采取紧缩的财政政策和货币政策，加强宏观调控，至 1996 年底过热的金融和房地产投资造成的混乱状况才得以改善。这也是为什么 1992-1996 年 GDP 增长率大幅波动的原因，故 GDP 的变动不意味着经济大幅增长，更多的是国内消费品价格增长。但能源消费总量不同与以货币作为衡量标准的 GDP 指标，在本文中其单位是万吨标准煤，这就解释了为什么 GDP 增长率大幅变动而能源总量增长率不变的异常情况。根据以上分析可以将但 1992-1996 年的异常情况忽略，认为能源消费总量增长率和 GDP 增长率大体同趋势变动。这种趋势反映了能源消费的影响因素：一是能源消费受不同时期国家整体经济增长形势的影响。例如，1999 年能源消费负增长就与东南亚金融危机导致的生产和出口下降有关。二是能源消费受国家经济发展政策导向的影响，反映我国经济从高投入、高消耗的粗放型生产方式向节能高效的集约化生产方式转变。三是实行节能减排政策措施会直接影响能源的消费状况。2005 年之后能源消费增速迅速下降，与国家重视节能减排工作、相关政策落实力度不断增强密切相关。虽然我国近年来能源利用效率有所提高，但是未来一段时期能源消费总量仍将维持不断增长的态势，这是由我国的经济增长方式及当前所处的经济发展阶段所决定的。一是我国当前正处于赶超式发展阶段，被国际社会称为“新兴经济体国家”。要实现赶超先进国家的目标，必须保障经济在较长一段时期持续稳定高速增长。我国经济这种赶超式的发展，要求在经济和科技领域完成发达国家已经完成的工业化进程，同时紧跟发达国家的信息化进程，进而实现全面的超越。无论是赶超式经济发展阶段，还是工业化、城镇化进程，都决定了第二产业特别是工业，在未来较长的时期还将是我国经济发展中最重要的组成部分。二是我国经济还是典型的以投资和出口拉动为主导的增长模式。

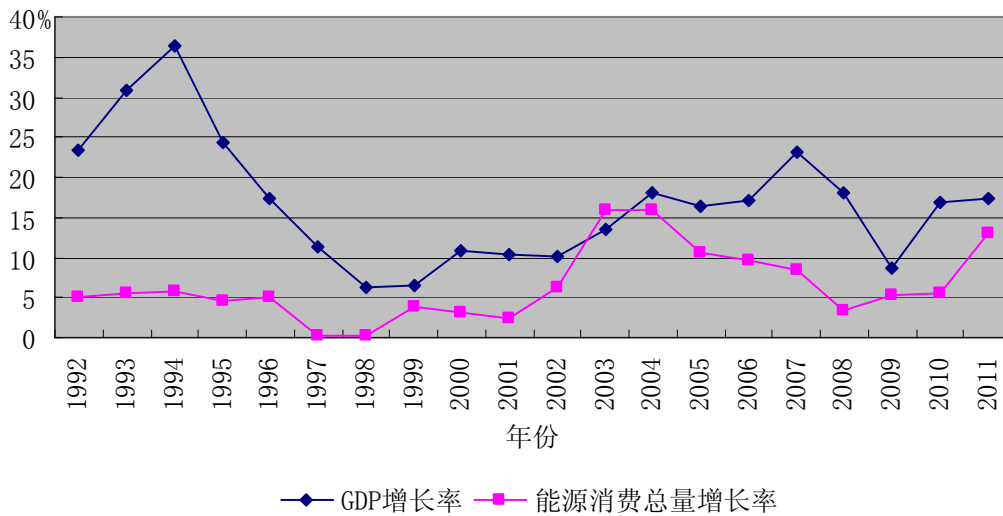


图 2-2 1992-2011 年我国 GDP 及能源消费总量的增长率

数据来源：中国统计年鉴 2010、中国能源统计年鉴 2010 及 2010、2011 年统计公报

注：1991 年至 2009 年数据来源于中国统计年鉴和中国能源统计年鉴，2010 年和 2011 年数据来源于年度统计公报。

从我国能源消费构成图 2-3 来看我国主要年份里能源消费结构变化情况，可以看出，我国的 1991 年到 2011 年煤炭的消费构成一直居高不下保持在 70%左右，并略呈现下降趋势，可以说明煤炭是我国主要能源支撑。目前我们还不能摆脱煤炭为主的消费现状，我国仍然需要很长一段时间要依赖煤炭能源。石油的消费构成在 1991 年至 2002 年稳步的上升，之后又呈现略微下降的趋势，石油消费构成大致稳定在 20%左右。天然气消费构成（3%左右）虽然所占的比重不大，但在这段期间呈现略微的上升趋势。三者总和在 90%以上。很明显我国能源消费呈现过度依赖化石燃料的特征。水电、风电和核电消费构成作为新能源的代表也不断的上升。消费构成的变化时间序列可以看出我国的新能源消费在缓慢的增加，化石能源的消费在小幅度的逐渐减少。总体上看我国的煤炭和石油消费比重有所下降，水电等新能源消费比重有所上升；我国化石能源消费比重虽说有所下降，但从长期看化石能源的比重仍居高不下。从 1991 年到 2011 年煤炭消费量只下降了大概 5 个百分点，因此在短期内我国很难改变目前我们所面对的这种消费结构。

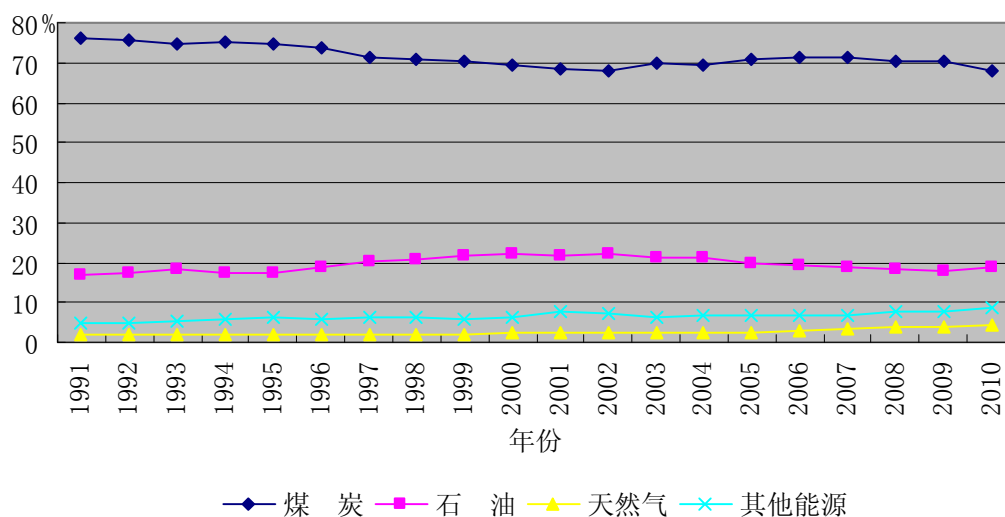


图 2-3 1991-2011 年我国能源消费构成的变化情况

数据来源：中国能源统计年鉴 2011

2.1.2 我国能源消耗国际比较

一次能源是指从自然界取得未经改变或转变而直接利用的能源。如原煤、原油、天然气、水能、风能、太阳能、海洋能、潮汐能、地热能、天然铀矿等。一次能源又可分为可再生资源 and 不可再生资源，可再生资源指能够重复产生的天然能源，如太阳能、风能、水能、生物质能等，这些能源均来自太阳，可以重复产生；后者主要是各类化石燃料、核燃料等。

2010 年，全球一次能源消费(2010 年首次增加商业化可再生能源的时间序列)增幅为 5.6%^②。是 1973 年以来增长最快的一年(按百分比计算)。经合组织国家的一次能源消费增幅为 3.5%，达到 1984 年以来的最高水平，尽管经合组织国家的消费基金水平仍然大致与 10 年前相当。非经合组织国家的一次能源消费增长 7.5%比 2000 年提高 63%。2010 年，各地区能源消费增长加速，均高于各地区水平。中国的能源消费增幅为 11.9%，中国赶超美国成为世界最大能源消费国。

^② BP 公司.BP 世界能源统计 2011.

表 2-1 中国 2009-2010 年一次能源消费及世界总量的比较

年份	类别	石油	天然气	煤	核能	其他能源	总量
2009	中国	388.2	80.6	1556.8	15.9	146.2	2187.7
	世界	3908.7	26614	3305.6	614	753.7	11353.2
	比例	9.9	0.3	47.1	2.6	19.4	19.3
2010	中国	428.6	98.1	1713.5	16.7	175.2	2432.1
	世界	4028.1	2858.1	3555.8	626.2	934.2	12002.4
	比例	10.6	3.4	48.2	2.7	18.8	20.3
	增加	40.4	17.5	156.7	0.8	29	244.4
	上升率	10.4	21.7	10.1	5.0	19.8	11.2

数据来源：《BP 世界能源统计年鉴 2011》

注：表中数据单位为万吨标准

石油：2010 年中国的石油消费量为 428.6 万吨标准煤，与 2009 年相比增加 40.4 万吨标准煤，增加了 10.4%，占世界消费总量从 2009 年的 9.9% 上升到 10.4%。石油消费占国内一次能源消费的 10.6%，是国内一次能源消费的次要力量。

天然气：2010 年中国的天然气消费量为 80.6 万吨标准煤，与 2009 年相比增加 17.5 万吨标准煤，增加了 17.5%，占世界消费总量从 2009 年的 0.3% 上升到 21.7%。天然气消费占国内一次能源消费的 3.4%。

煤炭：2010 年中国的煤炭消费量为 1713.5 万吨标准煤，与 2009 年相比增加 156.7 万吨标准煤，增加了 10.1%，占世界消费总量从 2009 年的 47.1 升到 48.2。煤炭消费占国内一次能源消费的 48.2%。从这里可以看出，中国一次能源消费主要以煤炭为主，且有逐年上涨的趋势，反映了能源结构的不合理。

核能：2010 年中国的核能消费量为 15.9 万吨标准煤，与 2009 年相比增加 0.8 万吨标准煤，增加了 5.0%，占世界消费总量从 2009 年的 2.6 升下降到 0.8。核能消费占国内一次能源消费的 5.0%。

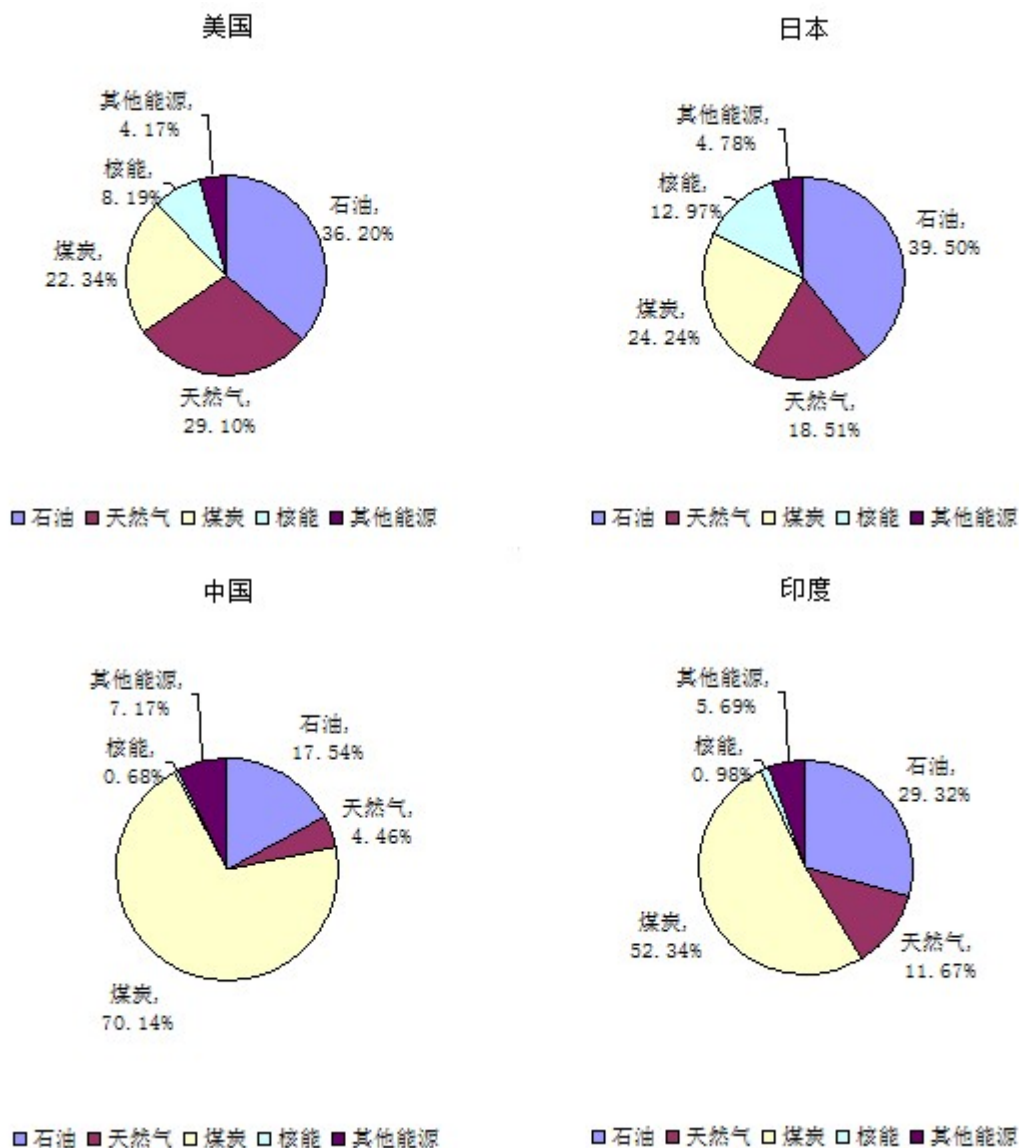


图 2-4 2010 年主要国家能源消费结构表

数据来源：《BP 世界能源统计年鉴 2011》

由图 2-4 可以看出，美国能源消费比例比较均衡，石油，天然气，煤炭占比约在 30%左右，石油占比最高，为 36.2%，核能和水电等能源消费占比不到 10%。总体来看，美国在能源消费中用化石燃料比例比较小，化石燃料在燃烧过程中排放大量的二氧化碳，清洁能源占比较高，有利于减少二氧化碳的排放，提高能源利用效率；日本能源消费结构也比较均衡，石油在能源消费中占 39.50%，而煤炭占比仅 22.34%，我国的煤炭消费占总能源消费的 70.14%，据预测这个数据短期内不会有太大的变化。

2.2 我国能源利用效率的测度

我国研究能源利用效率的文章很多，能源利用效率根据不同的标准可以划分为很多种类，其中考虑到生产要素的数量，可以把能源利用效率分为单要素能源效率和全要素能源效率。

单要素能源效率常定义为经济增长值与经济增长所消耗的能源量的比值。这里的经济增长值一般选用国内生产总值，表示消耗一单位能源所增加的国内生产总值。具体公式为：

$$\eta = GDP / E \quad (2-1)$$

其中， η 为单要素能源效率，GDP是不变价国内生产总值，E是能源消耗总量。而 η 的倒数即为能源强度，是我国研究能源的重要指标。

单要素能源效率只考虑了能源消耗与国内生产总值对能源效率的影响，并没有考虑其他投入要素如劳动资本和碳排放量对能源的影响。不利于分析能源利用效率。但由于单要素生产率便于计算，而且在仅研究能源消耗的利用率这种宏观的指标时，单要素生产率具有直观性，因此在宏观的描述能源效率时常使用单要素生产率，如能源强度就是我们常使用的指标。由于本文要具体的分析我国的能源利用效率，所以选用全要素能源效率做为评价我国能源利用效率的指标。

2.2.1 全要素能源效率

目前，我国全要素生产率的研究方法主要有数据包络分析（DEA）和随机前沿分析（SFA）两种。其中 SFA 需要对效率评价假定一种方程形式，这会增加使用的风险，现在在能源效率测度中应用最广泛的是 DEA。

DEA 是一种用于评价具有相同类型投入和产出的若干决策单元（DMU）相对效率的一种方法，该方法以样本投入产出数据为基础，旨在寻找一个包揽所有决策单元的分段性生产曲面，该曲面的边界即所谓的最佳实践生产前沿面，通过计算所有决策单元实际生产点与最佳前沿面的距离，得到各自效率的测度，该效率值度量的是决策单元相对于生产前沿面的最佳投入或产出比率，本质上即为经济学中的帕累托最优。

本文选用的是 DEA 中的 Malmquist 指数法，这种方法是上个世纪四五十年代提出的，但应用到测算全要素能源效率上，是二十世纪末。因为 Malmquist-Luenberger 指数模型将我国的全要素能源效率分解为技术效率变化和技术进步率，故本文采用 Malmquist-Luenberger 指数模型对我国的全素能源效率

进行测算。

2.2.2 数据选取

本文选取了 30 个省、市、自治区（由于西藏数据缺失，暂时不列入研究范围内）的数据来测算我国全要素能源效率。数据分别是各地区国内生产总值、劳动力、资本和能源投入量，并将二氧化碳排放量做为非合意性产出列入究中。具体的指标选取和处理如下：

(1) 各省国内生产总值。本文选取了 2000-2008 年各省的国内生产总值做为分析的数据，并对其做了相应处理，将其转换为以 2000 年为基期的实际国内生产总值。各省国内生产总值在模型中做为产出指标，单位为亿元。数据来源《中国统计年鉴》

(2) 各省劳动力投入。本文选取了各省从业人员数做为劳动力投入的替代变量，在模型中做为投入指标，单位为万人。数据来源《中国统计年鉴》

(3) 各省资本投入。本文选取了单豪杰计算的各省 2000-2008 年的固定资本形成总量指数，并对其处理以 2000 年为基期的数据。同样的，也是做为投入指标。

(4) 各省能源投入。本文选取了各省 2000-2008 年能源消费总量，包括煤炭、石油、天然气和水电等能源消费，是投入指标，单位为万吨标准煤。数据来源《中国能源统计年鉴》。

(5) 各省二氧化碳排放量。因为二氧化碳的数据在现有的资料中无法直接找到，固本文采用各省煤炭、原油和天然气这三种一次能源的消费量与其相对应的排放系数的乘积和做为二氧化碳排放量的估计量，在本文模型中二氧化碳排放量做为一种坏的产出，单位为万吨。

2.2.3 实证结果

表 2-2 我国全要素能源效率的 Malmquist-Luenberger 指数及其分解

年 度	MLEC	MLTC	ML
2000~2001	0.901	1.119	1.008
2001~2002	0.975	1.046	1.019
2002~2003	0.986	1.081	1.066
2003~2004	1.162	0.857	0.996
2004~2005	0.998	0.941	0.939
2005~2006	0.99	1.158	1.146
2006~2007	0.996	1.023	1.019
2007~2008	0.992	1.019	1.011
均值	0.998	1.026	1.024

上表中，ML 代表全要素能源效率，MLEC 表示技术效率变化，MLTC 表示

技术进步率。由 Malmquist-Luenberger 指数算出的全要素能源效率，数值大于 1 意味着在这一年的全要素能源效率是增长的。增长率为大于 1 的部分，例如表中 2007~2008 的全要素能源效率为：1.011，这个数值表示，2008 年的全要素能源效率比 2007 的增长了 1.1%。反之，如果全要素能源效率的数值小于 1，则表示此年的能源效率较上年降低了，比 1 小的部分就是降低率。

由表中 ML 值可以看出我国全要素能源效率在 2001~2003 年和 2006~2008 年都是上升的，只有 2004 和 2005 年两年是下降的，分别是：0.996 和 0.939，下降幅度不高。可以看出从 2000 年到 2008 年我国的全要素生产率基本呈上升趋势。其中，2006 年的涨幅最大，为了 14.6%，这与前一年全要素能源效率降低有一定关系。

在 Malmquist-Luenberger 指数模型中将 ML 分解成 MLEC 和 MLTC。用公式表示为：

$$ML = MLEC \times MLTC \quad (2-2)$$

由表中数据可知，MLEC 只有在 2003~2004 年大于 1 其他年份皆小于 1，而 MLTC 在 2003~2004 和 2004~2005 年间下降，而且这三年间，全要素能源效率也是下降的，而其他年间都是上升的，与全要素能源效率也是一致的。故可以说明全要素能源效率上升主要是由技术进步引起的。

总体来看我国全要素能源效率是上升的，2000~2008 年间，全要素能源效率平均上涨率大约为 2.4%，技术效率变化平均下降 2% 而技术进步率平均上升 2.6%，这也可以说明我国 2000~2008 年间的全要素能源效率的提高主要依靠技术进步的提高。

3 我国能源利用效率与碳排放关系实证分析

我国做为全世界二氧化碳排放量最大的国家，非常重视环境问题。在哥本哈根会议中，没有要求发展中国家必须减少二氧化碳排放量的情况下，我国做为一个负责任的大国，主动承诺减少二氧化碳排放量。我国力求建立环境友好型的发展模式，这是对我国人民及世界负责任的表现。

本文在第一章分析了我国二氧化碳排放情况，得出能源利用效率提高可以有效的减少二氧化碳的排放量。在第二章分析我国目前能源消耗情况并计算出我国能源利用效率，了解我国能源利用效率现状。本节主要估算了 2020 年我国的二氧化碳排放强度和能源强度，得出至 2020 年达到碳排放目标，我国能源强度所需要降低多少，并在此基础上分析了影响我国能源利用效率的因素，以期为以后政策决定有所帮助。

3.1 我国 2020 年二氧化碳排放量和能源强度估算

我国目前做出的减排承诺是一个系列的承诺，本文关注的是其中关于二氧化碳排放量的约束指标。即：到 2020 年我国的二氧化碳排放强度是 2005 年的 40%~50%。为了明确这个约束指标，本文对 2020 年的各项指标数据做了简单的估算。

3.1.1 估算方法

本文对 2020 年能源和二氧化碳各项指标的估算是建在 2020 我国 GDP 估算出的基础上。首先，假设至 2020 年为止，我国的能源碳排放系数及能源消耗结构是不变的。即：一单位能源的消耗产生的二氧化碳数量是不变的，用符号表示为 CO_2/E 是不变的。其次，要根据二氧化碳排放强度约束估算 2020 年能源强度，就要对 2020 年的 GDP 进行估算，本文引用了刘建翠（2011）中的数据，见下表：

表 3-1 2020 年 GDP 及人均 GDP

	GDP (亿元, 2007 年价)	人口 (亿人)	人均 GDP (元, 2007 年价)
2020 年估计值	586989	14.36	40300

估算时主要用了以下的式子：

$$A = CO_2 / GDP \quad (3-1)$$

$$B = E / GDP \quad (3-2)$$

$$A / B = CO_2 / E \quad (3-3)$$

其中， A 为二氧化碳排放强度， B 为能源强度， E 为能源消耗总量， A/B 为消耗一单位能源产生的二氧化碳量。

计算时根据 2005 年二氧化碳排放强度 0.027464 百万吨/亿元，及碳排放目标计算出 2020 年的二氧化碳排放强度 A ，再根据 2020 年 GDP 数值计算出 2020 年二氧化碳排量，已假设 A/B 值至 2020 年不变，计算出 2020 年能源强度。

3.1.2 计算结果及分析

根据上小节的计算方法得出下表：

表 3-2 2020 年二氧化碳和能源相关指标数值

	CO ₂ 排放量 (百万吨)	能源消耗量 (万吨标准 煤)	CO ₂ 排放强 度 (百万吨/ 亿元)	能源强度 (万吨标准 煤/亿元)
40%水平	6448.511	287532.4	0.010986	0.489843
50%水平	8060.639	359415.5	0.013732	0.612304

表 3-3 2009 年二氧化碳和能源相关指标数值

	CO ₂ 排放量 (百万吨)	能源消耗量 (万吨标准 煤)	CO ₂ 排放强 度 (百万吨/ 亿元)	能源强度 (万吨标准 煤/亿元)
2009 年数 值	6877.195	306647	0.021927	0.977714

注：计算表 3-2 表 3-3 数据时使用的 GDP 数值皆以 2007 年为基期

根据上表可以看出，若要达到我国提出的二氧化碳排放强度约束，2020 年二氧化碳排放强度是 2005 年的 40% 时，我国 GDP 为 273352.2 亿元时，能源消耗要

比 2009 年的能源消耗总量减少 19114.56 万吨标准煤,我国现在还处于发展阶段,根据发达国家发展时的经验和数据,处于这个阶段的国家,在 GDP 增加时能源消耗却在减少的概率很小。

2020 年二氧化碳排放强度是 2005 年的 50%时,且我国 GDP 增长 273352.2 亿元时,我国二氧化碳排放量为 6877.195 百万吨,二氧化碳排放强度要比 2009 年减少 40%左右。我国的能源消耗量仅要增长 52768.54 万吨标准煤,而仅 2009 年一年的能源消耗总量的增长就有 15199 万吨标准煤。这就要求我们提高能源强度,以达到这个约束条件。

我国 2009 年的能源强度为 0.977714 万吨标准煤/亿元,是估计 2020 年的 1.5-2 倍,即大略估计下,到 2020 年为止,我国至少要降低的能源强度为 2009 年的 30%,即为 0.612304 万吨标准煤/亿元。据统计,历史上处于工业化后期的国家的能源强度基本都不小于 1。按照这个数据来看,我国能源利用效率提高的困难很大。

3.2 能源利用效率影响因素

上一节分析了我国提高能源利用效率的必然性。这一节主要研究影响能源利用效率的因素,及其如何影响能源利用效率。

3.2.1 能源利用效率影响因素理论阐述及变量选择

本节选取能源强度为能源利用效率的替代变量,其定义已在前文阐述过。

影响能源利用效率的因素有很多,本文列举了以下因素:

1.产业结构。据分析产业结构是能源利用效率的重要影响因素,调整产业结构,使其合理,会在短时间内提高能源利用效率。且使调整后的能源效率不会反弹,因为产业结构是相对比较稳定的,而对于每个产业来说,当这个产业的生产技术没有改进时,这个产业的平均能源利用效率是一定的。据统计,我国第二产业生产中需要消耗大量的能源,是三次产业中平均能源利用效率最低的行业,即,如果一个国家第二产业在三次产业中所占的比重大,那么这个国家的能源利用效率就相应的高,所以产业结构的合理化,是提高能源利用效率的首要选择。

合理的产业结构并不是说要将能源利用效率低的产业清除,留下能源利用效率高的产业。因为人类社会生活中需要各种生活商品来满足日常生活所用。正是耗能较大的第二产业生产了这些产品。所谓的合理是说我们要构建一个最节约能

源又能满足经济发展的产业结构。

2.能源消费结构。能源消费结构也是一个影响能源利用效率的极其重要的影响因素。现今世界上能源主要是由石油，天然气，煤这类矿物质和核能水能等清洁能源组成。使用核能和水能等清洁能源二氧化碳排放量少，是世界上提倡使用的清洁能源。但这类清洁能源不易取得且在世界能源使用中占比较小，大量使用清洁能源在目前来说可能性小。石油，天然气和煤等矿物质能源，燃烧完毕留存的杂质较多，相对于清洁能源。在石油，天然气和煤这三种矿物质能源中，尤其是煤的能源利用效率最低。

本文第二章里描述了美国和日本的能源结构，图中显示这两个国家多使用石油和天然气，煤使用的比例较小，而事实证明这两个国家的能源利用效率很高。我国煤炭使用却占全部能源消耗的 70%。

3.技术进步。技术进步是比较主要的影响能源利用效率的因素之一。技术进步有助于能源利用效率的提高，如工业部门某项技术研究取得成果，可以使生产一单位其部门的产品所需消耗的能源降低，那么这个部门就因为技术进步而提高了能源利用效率，且这种提高也是长期稳定的。但由于技术的进步需要耗用大量的科研人员与资金，且需要科研时间，所以总体来说技术进步对能源利用效率的影响总体来说不是最大的。

4.能源价格。能源价格对能源利用效率的影响可以分解为两个部分，一方面若能源价格上涨，则大量使用能源生产的部门会提高成本，这就迫使他们投入人力财力研究如何提高能源利用效率，对能源利用效率有正方面的影响。另一方面，一种能源价格上涨，有的企业会选用别的能源来替代这种能源，若替代能源的利用效率高则会提高能源利用效率，反之就会降低能源利用效率。所以能源价格对能源利用效率的影响有正向的也有负向的。但总体来说能源价格上涨有助于提高能源利用效率。

本文选取以上四种变量来研究他们对能源利用效率的影响。其中，选取第三产业占我国三次产业的比重来代替产业结构变量。样本由第三产业增加值比国内生产总值得出的数值组成。能源结构数据由每年非煤炭能源使用量占一次能源消费总量的比例来替代，技术进步数据用我国 R&D 经费支出来替代，能源价格数据用燃料、动力价格购进指数替代。市场化水平也表示政府对市场经济的干预程度，本文选取我国政府财政支出占 GDP 比重表示市场化水平。以上数据来源于《中

国统计年鉴》和《能源统计年鉴》。选取 1993-2010 年的各项数据。

3.2.2 能源利用效率的影响因素计量模型

1. 向量自回归^③ (vector auto-regression, VAR) 模型通常用于多变量时间系统的预测和描述随机扰动对变量系统的动态影响。其实际上是向量自回归移动平均 (VARMA) 模型的简化, 后者因参数过多带来很多问题而少有应用。最一般的 VAR(P) 模型如下:

$$Y_t = A_1 Y_{t-1} + \dots + A_p Y_{t-p} + B_1 X_t + \dots + B_r X_{t-r} + \varepsilon_t \quad (3-4)$$

其中, Y_t 是 m 维内生变量; X_t 是 n 维外生变量; $A_1 \cdots A_p$ 和 $B_1 \cdots B_r$ 是待估计参数矩阵, 内生变量和外生变量分别有 p 和 r 阶滞后期; ε_t 是随机扰动项。

本文选取的模型为:

$$Y_t = \alpha + A_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3-5)$$

其中, A_i 是系数矩阵, ε_t 是随机误差项, t 表示时期, i 表示滞后期。而 Y_t

是由能源效率, 产业结构, 能源结构, 技术进步, 能源价格等变量的样本所组成的列向量。

2. 单位根检验

现在学者普遍认为应用向量自回归模型估计变量间关系时, 使用的时间序列数据应该是平稳的, 若数据不平稳, 则可能造成“伪回归”, 即两个变量间的关系估计出来后, 但不是两变量真正的关系, 得出的两个变量的函数反映出的关系是不对的。而单位根检验^④就是检验时序平稳性的有效方法。

单位根检验分为 DF 检验和 ADF 检验, ADF 检验是 DF 检验的推广, 本文只介绍 ADF 检验。

做 ADF 检验时的检验方程为

$$\nabla y_t = \delta y_{t-1} + \beta_1 \nabla y_{t-1} + \beta_2 \nabla y_{t-2} + \Lambda + \beta_{p-1} \nabla y_{t-p-1} + \varepsilon_t \quad (3-6)$$

其中, y_t 是时间序列, δ 和 β_i 是待估参数, ε_t 为随机扰动项, p 这滞后阶数, 其值的选取为使得 ε_t 为白噪声的最小值。

检验时, 根据时间序列随时间变化的某种趋势, 选择带有常数项, 带有常数

^③易丹辉. 数据分析与 Eviews 应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005: 166-167

^④易丹辉. 数据分析与 Eviews 应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2005: 144-149

项和趋势项和既不包含常数项也不包含趋势项三个模型中的一个，确定模型后进行平稳性检验，找出使时序平稳的最小的 p 值。

如时间序列不平稳可以通过对时间数据处理的方法，常用试使时间序列平稳。常用的方法有取对数法和差分法，取对数是把原时间序列都取对数，形成一个新的时间序列，这种方法优点在于会保留原数据的信息，有利于对数据详细分析；另一种方法为差分法，差分法是将原时间序列通过差分而产生一个新的时间序列，差分是指第 $i+1$ 期数据减去第 i 期数据得到的新的数为新的时间序列的第 i 项。这样的时序只显示了变量的变化量而去掉了变量原本的数值大小，数据所含的信息量减少，对分析数据造成一定的影响。如，100 与 101，1 与 2 皆相差 1，但是 101 是 100 的 1.01 倍，而 2 是 1 的 2 倍。

对能源强度和四个影响因素变量做单位根检验，得到以下结果：

表 3-4 单位根检验结果

变量	ADF 统计量	估计值	模型 (c, t, k)	水平值下是否 平稳
能源利用效率 变量	-2.99	-2.67 *	(c, 0, 3)	平稳
产业结构变量	-3.13	-3.07 * *	(0, 0, 3)	平稳
能源价格变量	-3.51	-2.72 * *	(c, 0, 3)	平稳
能源结构变量	-4.07	-3.99 * * *	(c, t, 2)	平稳
技术进步变量	-5.71	-4.80 *	(c, t, 3)	平稳

注：* 表示置信水平为 1%，* * 表示置信水平为 5%，* * * 表示置信水平为 10%模型 (c、t、k)，c 和 t 分别表示 ADF 检验带有常数项和趋势项，0 表示无常数项和趋势项；k 表示滞后阶数，由 AIC 和 SC 准则确定

3.2.3 能源利用效率影响因素实证结果及分析

根据上小节介绍的理论我们首先先对各样本做了单位根检验，各样本都通过了检验，是平稳的时间序列，可以做脉冲响应和方差分解分析。

1. 脉冲响影分析。

脉冲响应分析^⑤是在向量自回归模型基础上的。作用机理是时间序列中的一个

^⑤易丹辉. 数据分析与 Eviews 应用[M]. 北京：中国人民大学出版社，2005：173-176

内生变量的一个冲击对其他内生变量和自己的影响。即第 i 个内生变量的一个冲击不仅直接影响到第 i 个变量，而且还通过 VAR 模型的动态结构传递给其他的内生变量，脉冲响应函数试图刻画这些影响的轨迹，显示任意一个变量的扰动是如何通过模型影响所有其他变量，最终又反馈到本身的过程。其中 VAR 模型中的随机扰动项称为新息，是因为在预测时实际受到了误差项的动态影响。若随机扰动项即新息发生变化，不仅当前的 p 值立即改变，而且还会通过当前的 p 值影响到变量 y 和 x 今后的取值。本节用 Eviews6.0 得出下列结果。先根据 AIC 和 SC 准则最小化的准则，最后确定模型的滞后期为 1。随后本文采用广义脉冲法建立能源利用效率与能源价格、产业结构、技术进步和能源结构的脉冲响应函数模型。

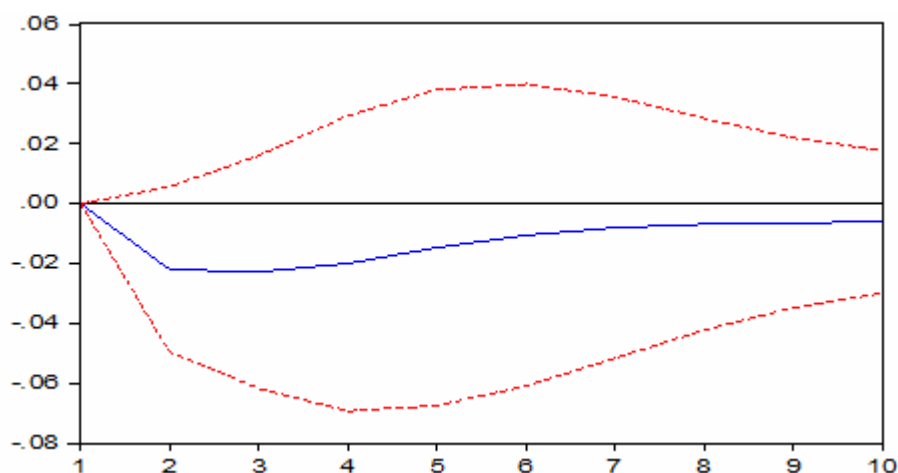


图 3-1 能源利用效率对产业结构冲击的反应

(1) 产业结构对能源利用效率有正影响

由图 3-1 可以看出产业结构对能源利用效率有正影响。对于产业结构的一个冲击，能源利用效率的变化为先下降后上升然后趋于平稳状态，这个冲击会持续 10 期。本文选用的产业结构数据是第三产业的 GDP 增加值占 GDP 的比例，也就是说当第三产业占总产业的比例增加时，能源利用效率升高。下降范围在 0 到 -2 之间。这是因为第三产业能源需求小，整个产业能源利用效率较高，当增加第三产业占三产业的比重时，可以有效提高我国能源利用效率，故产业结构对能源利用效率有正影响。

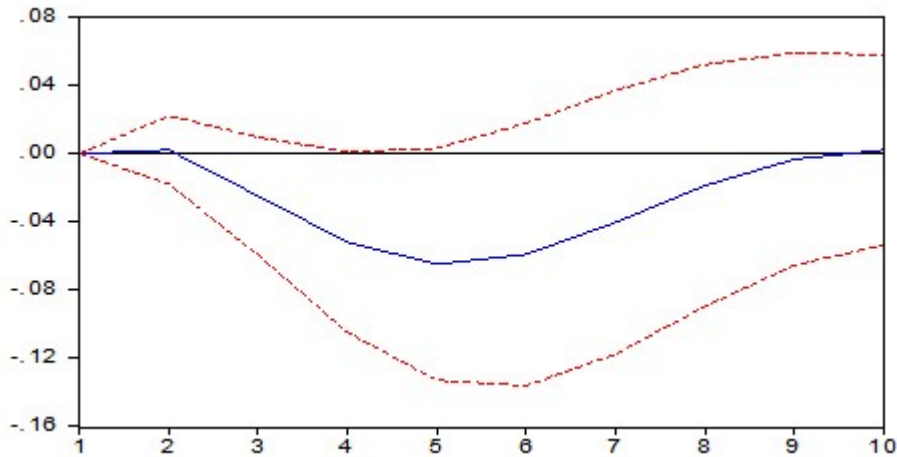


图 3-2 能源利用效率对能源结构冲击的反应

(2) 能源结构对能源利用效率有正影响

能源结构和产业结构相同对能源利用效率有一个正向的影响。同样是能源结构的一个冲击会造成能源利用效率先下降再上涨的趋势。本文选用的能源结构变量是我国非煤炭消耗占总的能源消耗的比重。煤炭燃烧后的残留物质较多，是一次能源中能源利用效率较低的化石能源，当非煤炭消耗量占总的能源消耗量的比重增加时，也就是减少使用煤炭，而用能源利用效率更高的其他能源代替煤炭时，能源利用效率就得到了提高。

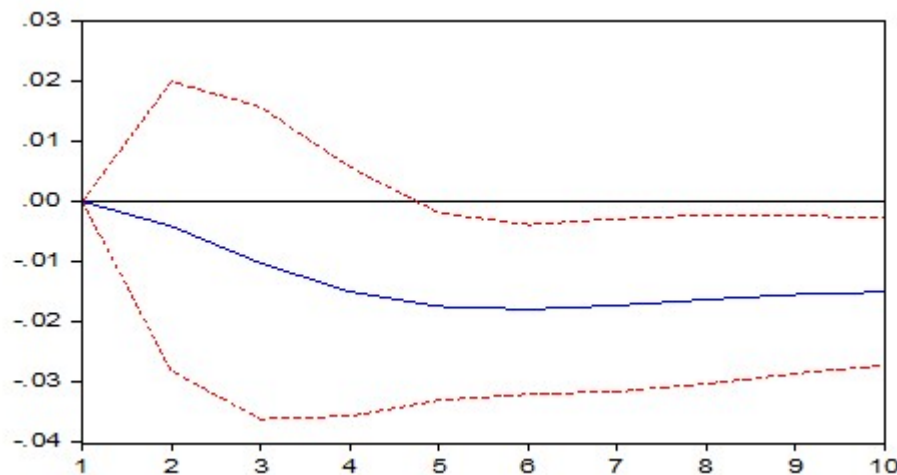


图 3-3 能源利用效率对技术进步冲击的反应

(3) 技术进步对能源利用效率有正影响

技术进步对能源利用效率有一个正向的影响。同样是技术进步的一个冲击会造成能源利用效率先下降再上涨，但技术进步的冲击持续期很长。技术进步出现时我国能源利用效率有提高的作用，而且作用期持久。技术的进步有助于改变生

产方式，提高生产效率，可以直接或间接的提高能源利用效率。例如，改进了能源开采的技术，减少开采过程中的能源浪费，实际上增加了能源的产量，是能源利用效率的提高；改进生产技术，使单位产值的能耗降低，也是提高了能源利用效率，故技术进步对能源利用效率有正影响。

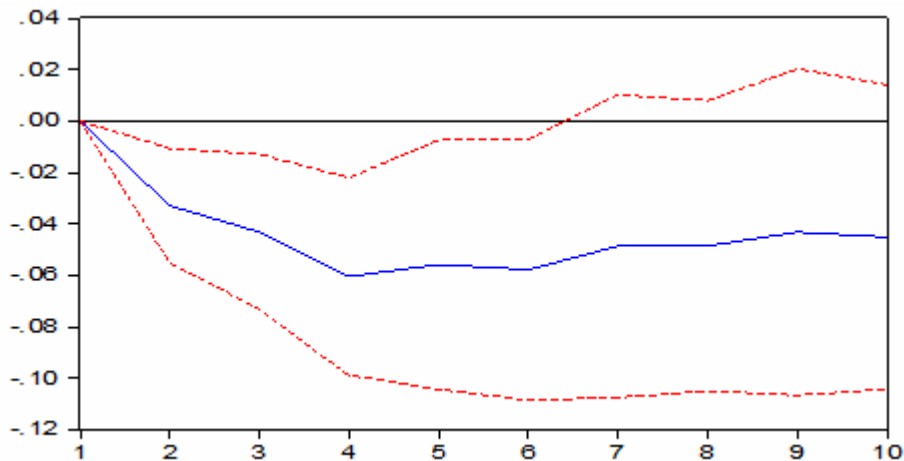


图 3-4 能源利用效率对能源价格冲击的反应

(4) 能源价格对能源利用效率有正影响

能源价格对能源利用效率有一个正向的影响。同样是能源价格的一个冲击会造成能源利用效率持续上涨，冲击持续期很长，直致 10 期还在上涨，且涨幅很大。能源源价格升高时我国能源利用效率有提高的作用，而且作用期持久。能源价格之所以对能源利用效率有正影响是因为能源价格上涨会使得企业希望减少能源的使用，为保证企业的正常运转，他们会自觉寻求提高能源利用效率的方法。

2. 方差分解

基于 VAR 的方差分解可以研究模型的动态特征。其主要思想是把系统中每个内生变量（共 m 个）的波动（ k 步预测均方误差）按成因分解为与各方程新息相关联的 m 个组成部分，从而了解各新息对模型内生变量的相对重要性。下图显示 Eviews6.0 计算的各影响因素对能源效率的贡献率：

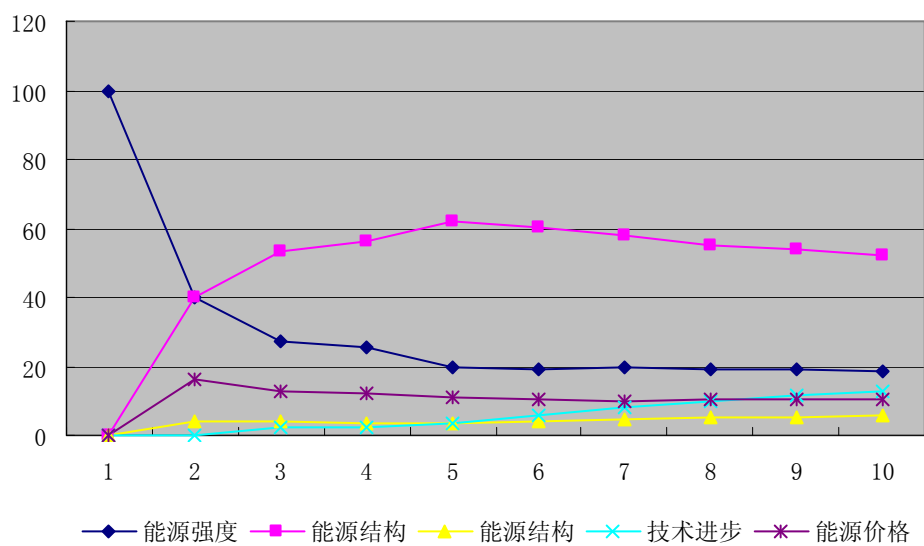


图 3-5 各影响因素对能源利用的贡献率

从图 3-5 可以看出，产业结构当期对能源效率的贡献最大，随着时间的推移其对能源效率的贡献趋于平稳，这主要是因为第三产业增加虽然可提高能源利用效率，但考虑到产业结构合理化，不能无限制的增加第三产业的比重，所以前期可以通过增加第三产业比重提高能源效率，这种方式见效快但是达到一定水平后，效果并不大。能源利用效率对其自身的贡献也呈现着下降的趋势，这说明能源利用效率的功效有衰减的迹象。能源价格、能源结构和技术进步对能源利用效率的贡献较小。

4 碳排放约束下提高能源利用效率的对策建议

第三章对能源利用效率的影响因素进行了分析，得出产业结构对能源利用效率的影响系数是三个变量中最大的，能源结构对能源利用效率虽然也有一定的影响，但不如产业结构的影响大，技术进步对能源利用效率的影响相对于其他两个变量比较小，本章主要针对上一章得出的结论做出本人如何提高能源利用效率的建议，以期这些建议能对 2020 年我国能达到承诺的碳排放强度有一定的帮助。

4.1 加快产业结构升级，提高能源利用效率

在我国的产业结构中，工业一直占较高的比重，而且这一现象将会持续很长时间，但是重工业消耗能源多，且会排放出大量的温室气体，煤烟，对环境造成负的影响。发达国家处于工业期时皆是走先污染后治理的道路，处于科学水平发达的今天，我国在考虑到发展对环境的影响下，着重于长远利益，应该升级产业结构。具体有以下四种策略。

1. 转变经济发展方式和消费方式

我国在需要满足碳排放强度约束下，要构建低碳化的中国产业结构，同时也要在消费领域，特别是人民生活中推广和普及能源节约技术和思想，合理引导消费，使我国成为节约型发展的社会主义现代化国家。

2. 加快高能耗产业整合

加快高能耗产业，淘汰不合理的，科学技术落后的，能源利用效率不高的产业有助于我国低碳社会的建立。例如，我国的煤炭企业，超过亿吨产量的国有企业有两家，而小煤矿却在我国到处皆是。故我国应将煤碳业整合，以提高我国煤碳开采时的物理能源利用效率。

3. 调整产业结构

目前我国产业结构不合理，第二产业占比较高，且第二产业中有很多产业结构老化，能源使用不合理，污染严重。对待这样的产业，我们应该逐步淘汰，用低能耗，且技术先进的产业来代替。对于能源消耗量大，且产品没有市场优势的产业，应提倡将其关闭；而对于能源消耗量大或产业内生产结构不合理而引起的能源利用效率低下的产业，如果其产品有一定的市场，且可以通过引进先进技术或调整产业内生产结构来提高能源利用效率，可以建议产业停产一阶段，当其产业能源利用效率提高后再进行生产；对于一些能源消耗大的，产品有市场竞争力

的产业，我们还可以到国外招标，在国外建厂，我国出资金和技术，一方面可以保持产品生产，另一方面可以带给该国就业机会，促进其发展。

4. 政府引导产业升级

良好的制度可以产生强进的改革动力。我国政府应做好政策制度，用制度带动改革，用制度促进创新，用良好的制度加快我国建设低碳社会的步伐。

4.2 加快调整能源的结构，提高能源利用效率

研究中煤炭的消费阻碍我国能源效率的提高，我国以煤炭为主的能源资源条件，不符合节能对能源效率和能源质量的目标要求，因此，随着经济的发展与经济结构的高度化，保护生态环境的需要与压力与日俱增，有必要引导能源消费政策向优质、高效、环保的方向发展。九十年代以来，政府开始对严重供过于求的煤炭工业实行压产、限产政策，鼓励进行电力建设，从而促进煤炭消费从终端能源向二次能源转换，同时进行国际市场出口富裕的煤炭资源，进口石油、天然气等优质清洁能源，此外，加大新能源与可再生能源如太阳能源、风能、地热能、海洋能的开发与利用等，这些政策都对能源效率的提高有促进作用。目前，政府对开发利用可再生能源的激励手段局限在优惠政策和补贴上，同时过于依赖企业、社会的环保意识来进行可再生能源市场的推动。相关的直接投入则过度集中于少数企业，忽视了可再生能源的市场机制和产业培育。因此，要推动可再生能源产业化与规模化，必须要建立一整套包括竞争机制、融资机制、补偿机制、交易机制、管理服务机制等在内的市场机制运行机制，有效刺激可再生能源市场的发育和完善。这其中特别强调对新型煤转化技术的发展。在第二章中对能源消耗总量的分析中已经指出我国煤炭量储藏量丰富，是富煤的国家，而且我国一次能源消费结构中，煤炭的消费量也占总体消费量的 70%左右，而且在短期内煤炭消耗占能源消耗的主体地位不会改变。就这要求我们要大力发展新型煤转化技术，生产洁净能源。

4.3 制定合理能源价格，提高能源利用效率

目前我国能源价格制定中不仅没有体现出资源的环境成本，而且也没有反映出资金源的稀缺成度，这就需要建立反映能源稀缺程度不同的价格机制，充分发挥市场配置资源的基础性作用。

1.双重价格，逐渐调节能源价格。绿色能源是清洁，能源利用效率高的能源，但是由于绿色能源的价格较高，许多企业负担不起，所以政府在引导资源消费时，应逐步抬高绿色资源价格，在开始时，可以采用政府补贴等政策，压低绿色资源价格，待其行业发展逐渐成熟时再逐步放手，抬高价格。但由于这样政策可能会导致人们在最初因绿色资源价格压低而过量消费，帮应采用累进价格，用加价的方法抑制过量消费绿色资源。

2.采用可再生能源的平均价格调节能源供求。在目前再生能源价格较高的情况下，用能源高价政策促进结构调整，加快节能事业的发展，转变消费观念和形式，同时国家应采用多种方式，确保矿物能源和煤电价格上涨部分用于再生能源的开发，用市场的力量促进再生能源的研究、开发和生产，降低再生能源的成本，加大供给能力。与此同时，理顺矿物能源价格。当再生能源的生产价格低于矿物质能源的再生产价格时，矿物能源就会被市场逐渐排斥。

4.4 健全完善碳市场交易，提高能源利用效率

1997年《京都议定书》提出包括二氧化碳在内的六种温室气体，限制温室气体排放量，并规定其他温室气体排放量皆换算成二氧化碳排放量，即规定二氧化碳排放量的限制。规定发达国家和转型国家应承担减少二氧化碳排放量的承诺，发展中国家因经济原因，很难做出减少排放量的承诺，但应作出相应的努力。《议定书》规定了发达国家和转型国家必须减少的二氧化碳排放量，但有的国家达不到所规定的减排量，此时，这些不能达到减排量的国家可以向那些超额完成减排量的国家购买余下的碳排放权。这样就逐渐形成了碳交易市场。

目前我国碳交易市场主要存在三个难题。一是我国碳交易市场划分限制了碳排放交易。我国政府将二氧化碳排放指标分解到各省，导致了A省的二氧化碳排放指标不能卖给B省的情况。二是我国碳核算单位不统一。我国碳核算目前没有一个统一的标准，这给我国的碳交易市场的发展带来了局限性。三是政府监管力度不强。目前，我国碳交易市场没有较完善的碳交易体制，碳交易市场混乱，这就需要我国政府加强监管力度，协助建立一个完善的体制。

完善我国的碳交易市场应做到以下几点：

1.合理分解我国的减排指标。上文已经指出，我国将减排指标分解到各省，限制了碳交易。为解决这个问题，我国政府在“十二五”期限间将减排指标分解到各个行业，行业的减排指标可以在各个行政区之间交易。

2.有效规范我国的碳核算体制。我国应设立有关碳核算的相关研究机构，用来统一核算我国的产品制造和使用过程中的二氧化碳排放量，并对产品按排放二氧化碳量的多少排序，提倡人们使用低碳的产品。

3.适当加强我国的政府监管。目前碳交易在我国是新兴的行业，交易时不规范，缺少相关政策，法律法规约束碳交易市场上的交易行为。所以应加大我国政府对碳交易市场的监管。建立相关的监管部门，制定与之配套的监管法律法规，促进碳交易市场健康发展。

参考文献

- [1] Abdulnasser, H.,Manuchehr, I.Energy consumption and economic growth in Sweden: a leveraged bootstrap approach, (1965-2000) [J].International Journal of Applied Econometrics and Quantitative Studies。2005, (2-4) :87-98
- [2] Asafu-Adiaye,J.The relation between electricity consumption,electricity prices and economic growth:time series evidence from Asian developing countries[J].Energy Economics,2000,22:615-625
- [3] Cleveland C.J,Costanza R,Hall C.A.S.,R.K.Kaufmann,Energy and the US economy:abiophysical perspective[J],Science,1984,225,890-897
- [4] Fisher Anthony C.,Energy taxes and economic performance :A regional general equilibrium analysis[J],Energy Economics,1980,11,479-496
- [5] GEORHE H, SARANTIS L, EVANGELIA P.Energy Consumption and Economic Growth: Assessing the Evidence from Greece[J].Energy Economics, 2002 (24): 319-336
- [6] Glasure Y U, Lee A R.Co integration,error-correction,and the relationship between GDP and case of South Korea and Singapore[J].Resource and Electricity Economics,1997,20:17-25
- [7] H.Hashem Pesaran, Yongcheol Shin。 Generalized impulse response analyais in linear multivariate models[J].Economics letter, 1998, (58): 17-29
- [8] Kraft,J.,Kraft.,On the relationship between energy and GNP[J].Journal of Energy and Development,1978(3):401-403
- [9] Masih A.M,Masih R. Energy consumption,real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-书馆 correction modeling techniques [J].Energy Economics,1996,18:165-183
- [10] Stem, D.I.Multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy[J].Energy Economics, 2000, (22): 267-283
- [11]]韩智勇, 魏一鸣和焦建玲, 等. 中国能源消费与经济增长的协整性因果关
系分析[J]. 系统工程, 2001, 10 (5): 441-446
- [12] 韩智勇, 魏一鸣和范英. 中国能源强度与经济结构变化特征研究[J]. 数量统计与管理, 2004, 23 (1): 1-6

- [13] 姜磊, 吴玉鸣. 中国省域能源边际效率评价—来自面板数据的能源消费结构考察[J]. 资源科学, 2010
- [14] 李建武, 王安建, 王高尚. 中国能源效率及节能潜力分析[J]. 地球学报, 2010
- [15] 李金凤, 陆建明. 我国能源使用效率的变化及其影响因素分析[J]. 财经问题研究, 2009
- [16] 李蓬勃. 中国能源效率及消费与经济增长关系研究[D]. 硕士学位论文, 首都经济贸易大学, 2009
- [17] 李艳梅, 程晓凌. 结构与效率因素的节能效果分析[J]. 自然资源学报, 2010
- [18] 李艳梅, 张雷. 中国能源消费增长原因分析与节能途径探讨[J]. 中国人口. 资源与环境, 2008, 18 (3): 83-87
- [19] 廖华. 能源效率的计量经济模型及其应用研究[D]. 北京: 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 2008
- [20] 林伯强. 现代能源经济学[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2007
- [21] 林伯强. 中国能源政策思考[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2009
- [22] 刘兴家. 节能与环境保护[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2001
- [23] 宁泽逵. 能源消费与经济增长协整分析: 基于宏观数据的比较分析[J]. 统计与信息论坛, 2010, 3 (3): 81-85
- [24] 欧晓万. 能源消费对产业结构调整长期与短期约束[J]. 统计观察, 2007, 7:68-71
- [25] 屈小娥, 袁晓玲. 中国能源消费与经济增长的灰色关联分析[J]. 统计与决策, 2008, 14:86-88
- [26] 屈小娥. 中国省际全要素能源效率变动分解[J]. 数量经济技术经济研究, 2009
- [27] 施发启. 对我国能源消费弹性系数变化及成因的初步分析[J]. 统计研究, 2005 (5): 9-11
- [28] 史丹. 中国经济增长过程中能源利用效率的改进[J]. 经济研究, 2002
- [29] 汪克亮, 杨宝臣和 杨力. 考虑环境效应的中国省际全要素能源效率研究[J]. 管理科学, 2010
- [30] 汪旭辉, 刘勇. 中国能源消费与经济增长: 基于协整关系和 Granger 因果检验[J]. 资源科学, 2007, 9 (5): 57-61
- [31] 王德伟, 周德群. 中国全要素能源效率变动的实证研究[J]. 系统工程, 2008, 26 (7): 74-79

- [32] 王迪, 聂锐. 能源效率、结构变动与经济增长关系的实证研究[J]. 经济研究, 2009
- [33] 王瑛. 中国可再生能源消费与经济增长的时间序列分析[J]. 工业技术经济, 2008, 11 (27): 96-99
- [34] 魏楚、沈满洪. 能源效率及其影响因素: 基于 DEA 的实证分析[J]. 管理世界, 2007
- [35] 吴琦, 武春友. 我国能源效率关键影响因素的实证研究[J]. 科研管理, 2010
- [36] 武春友, 吴琦. 基于超效率 DEA 的能源效率评价模型研究[J]. 管理学报, 2009
- [37] 奚潭. 中国能源利用效率改进作用机制研究[J]. 统计观察, 2010
- [38] 熊焰. 低碳之路 重新定义世界和我们的生活[M]. 北京市: 中国经济出版社, 2010
- [39] 杨红亮, 史丹. 能效研究方法和中国各地区能源效率的比较[J]. 经济理论与经济管理, 2008 (3): 12-20
- [40] 叶宗裕. 中国资本存量再估算: 1952-2008[J]. 统计与信息论坛, 2010
- [41] 张军. 资本形成、工业化与经济增长: 中国的转轨特征[J]. 经济研究, 2002
- [42] 张丽峰. 我国三次产业能源消费与节能状况的实证分析[J] 东北大学学报, 2008, 3(2):127-132
- [43] 张唯实. 能源效率与中国经济增长关系研究[J]. 经济问题, 2010
- [44] 张炎治, 陶亚文. 中国能源强度演变的多因素动态冲击响应[J]. 求索, 2009
- [45] 赵进文, 范继涛. 经济增长与能源消费内在依从关系的实证研究[J]. 经济研究, 2007 (8): 31-42
- [46] 赵娅, 我国能源效率、能源消费与经济增长关系的实证研究[D]. 硕士学位论文, 山东大学, 2007
- [47] 郑江绥. 能源效率及其测度指标体系研究[J]. 求索, 2010
- [48] 周大地. 中国能源问题[M]. 北京: 新世界出版社, 2006
- [49] 庄贵阳. 低碳经济 气候变化背景中国的发展之路[M]. 北京: 气象出版社, 2007

致 谢

转眼之间三年的硕士研究生生活即将结束，这三年是我人生重要的历程。还记得刚刚成为辽大一员时，怀着对未来的憧憬，向老师学习知识、文化和做人的道理。老师们不仅在专业知识上对我严格要求，更教导我要有严谨的治学态度。让我在以后的生活和学习中，树立了崭新的人生观、价值观、世界观。在论文完成之际，我衷心的感谢我的导师郭万山教授，在论文的选题构思、研究和写作过程中给予我悉心的指导和帮助。他严谨的治学态度、深厚的理论基础和广博的学识，使我受益匪浅。我的学业能够顺利完成，至始至终都凝聚着导师的心血，对导师的感激之情我将终生难忘。感谢学院的领导和各位老师，他们的传道授业，使我提高了知识层次、思维方式、综合能力和素质，并为撰写论文奠定了坚实的理论基础。感谢我的家人，感谢他们给予我无私的爱与支持。感谢 212 的舍友们，感谢她们替我查找资料、完成我不在校期间的的事情，是她们的帮助和交流让我能学的更多、分享的更多。

黄楠楠

二〇一二年五月

攻读学位期间发表论文以及参加科研情况

一、科研项目

1. 参与辽宁省财政科研基金项目，“国际金融危机背景下扩大就业的财政政策选择”，（2009—2011），已结题。
2. 参与辽宁省社会学会项目，“辽宁现代服务业发展路径探析”，（2010—2010），已结题。
3. 参与辽宁省社会学会项目，“关于沈阳市生态宜居环境建设的对策和建议”，（2011-2011），已结题。



遼寧大學
LIAONING UNIVERSITY

硕士学位论文

THESIS FOR MASTER DEGREE