

分类号

密级

中国地质大学（北京）  
硕士学位论文

基于系统动力学的中国天然气  
需求预测与分析

学 号：2007130012

研 究 生：陈红仙

专 业：应用经济学

研 究 方 向：产业经济理论与发展战略

指 导 教 师：沙景华教授

2016 年 5 月



## 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国地质大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签 名： 陈红仙 日 期： 2016年5月

## 关于论文使用授权的说明

本人完全了解中国地质大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

☒公开    ☐保密（\_\_\_\_年）    （保密的论文在解密后应遵守此规定）

签 名： 陈红仙 导师签名：  日 期： 2016年5月

分类号

密级

中国地质大学（北京）  
硕士学位论文

基于系统动力学的中国天然气  
需求预测与分析

学 号：2007130012

研 究 生：陈红仙

专 业：应用经济学

研 究 方 向：产业经济理论与发展战略

指 导 教 师：沙景华教授

2016 年 5 月

**A Dissertation Submitted to  
China University of Geosciences for Master Degree**

**Forecasting and Analysis of China's Natural Gas  
Demand Based on System Dynamics**

**Master Candidate: Chen Hongxian**

**Major: Applied Economics**

**Study Orientation: Industrial Economic Theory  
and Development Strategy**

**Dissertation Supervisor: Prof. Sha Jinghua**

**China University of Geosciences (Beijing)**

## 摘要

2014 年国务院出台《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》，提出促进天然气产业发展，计划明确指出到 2020 年天然气消费在一次能源消费中的比重从 5% 提高到 10% 以上。在新背景下，研究天然气需求，科学合理地进行预测，对国家制定相关能源发展政策以及能源部门决策部署具有重要的现实意义。

本文依据资源需求理论，运用系统动力学理论与方法，对我国天然气需求相关问题进行了分析，阐述了影响我国天然气需求的因素，建立了天然气需求系统动力学模型，通过中国统计年鉴和中国能源统计年鉴的 2005-2013 年的数据，运用所建立的模型预测分析了我国 2015-2020 年的天然气需求。具体内容如下：

（1）中国天然气产业的发展现状分析。分析包括天然气储产运现状、能源消费现状、天然气消费现状及天然气消费结构，在此基础上，指出了中国天然气产业发展存在的主要问题。

（2）模型构建及模型检验。对天然气消费的影响因素进行了详细阐述，划分出天然气的七个终端消费领域，构建了中国天然气需求系统动力学模型，并通过模型检验，说明建立的模型能够有效预测未来天然气需求。通过拟合程度测试，误差在允许范围内。通过灵敏度检验，发现天然气消费量对经济增长速度较其他因素敏感。

（3）系统仿真与情景分析。系统仿真结果显示：天然气消费量从 2015 年的 2040.54 亿立方米增长到 2020 年的 3112.8 亿立方米。对外依存度从 2015 年的 37.31% 上升到 2020 年的 42.41%。情景分析结果显示：天然气的消费量和 GDP 增长率呈正比的关系。

综上，随着我国经济的发展，天然气需求增速快于产量增速，天然气的供需矛盾突出。政策建议为：（1）加大勘探开发力度，增加天然气产量；（2）加快国内天然气基础设施建设；（3）多渠道进口、寻求替代的清洁能源、使能源供给多元化；（4）建立天然气战略储备；（5）加快同国外合作；（6）加快理顺国内天然气价格，建设天然气期货市场。

**关键词：**天然气，需求预测，系统动力学，情景分析

## Abstract

In 2014, The State Council has issued Energy Development Strategy Action Plan (2014-2020), the plan is mainly related to promote the development of the natural gas industry, which clearly put forward that by 2020 the proportion of natural gas in primary energy consumption will increase from 5% to more than 10%. Under the new background, to carry out research on natural gas demand and forecast the natural gas demand scientifically and reasonably have important practical significance to the state on formulating relevant energy development policy and the natural gas business enterprise on making decision deployment.

This paper analyzed the related problems of natural gas demand in our country based on the theory of resource requirements , used the system dynamics theory and method, expounded the factors which affect the natural gas demand of our country, established the natural gas demand system dynamics model, used the data from 2005 to 2013 of the China statistical yearbook and China energy statistical yearbook, used the model to predict China gas demand of 2015-2020 and analysis the results .The specific content is as follows:

Firstly, this paper analyzed the development of China's natural gas industry. The analysis included about the present situation of natural gas production; the situation of energy consumption; natural gas consumption and the natural gas consumption structure. On the basis of these analyses, this paper pointed out the main problems which exist in the development of China's natural gas industry.

Secondly, this paper established the natural gas demand system dynamics model and tested the model. This paper expounded the influence factors of gas consumption, divided the natural gas consumption demand into seven terminal consumption fields, and established the natural gas demand system dynamics model, and through the model test, the result shows that the model can effectively predict the future demand for natural gas. Through the fitting degree testing, the result shows that the degree of

fitting is good. By sensitivity test, the result shows that the gas consumption is sensitive to economic growth than other factors.

Lastly, this paper carried out the system simulation and scenario analysis. System simulation results show that: from 2015 to 2020, the natural gas consumption from 204.054 billion cubic meters up to 311.28 billion cubic meters; external dependency from 37.31% up to 42.41% .Scenario analysis result shows that the relationship between the gas consumption and GDP growth rate is direct proportion.

In conclusion, with the development of our economy, the natural gas demand growth rate become faster than output growth rate, the contradiction between supply and demand of natural gas becomes prominent. Policy Suggestions are as follow: (1) strengthening exploration and development, increasing natural gas production; (2) accelerating the domestic natural gas infrastructure construction; (3) importing through various channels, seeking alternative clean energy and diversifying energy supply; (4) establishing strategic reserves of natural gas; (5) speeding up the cooperation with foreign country; (6) speeding up the straighten out the domestic price of natural gas, building natural gas futures market.

**Key words:** natural gas, Demand forecasting, System dynamics, Scenario analysis

# 目 录

1 绪论 .....	1
1.1 选题背景与项目依托 .....	1
1.1.1 选题背景 .....	1
1.1.2 项目依托 .....	2
1.2 研究目的与研究意义 .....	2
1.2.1 研究目的 .....	2
1.2.2 研究意义 .....	2
1.3 研究现状与存在问题 .....	3
1.3.1 国外研究概况 .....	3
1.3.2 国内研究概况 .....	4
1.3.2 研究现状总结及本文突破点 .....	7
1.4 研究内容与方法 .....	8
1.4.1 研究内容 .....	8
1.4.2 研究方法 .....	8
1.4.3 技术路线 .....	9
2 相关概念界定及理论基础 .....	11
2.1 相关概念界定 .....	11
2.1.1 天然气定义 .....	11
2.1.2 天然气资源的基本属性 .....	11
2.1.3 天然气的终端消耗 .....	12
2.2 相关理论基础 .....	13
2.2.1 资源需求理论 .....	13
2.2.2 系统动力学理论基础 .....	13
3 中国天然气产业发展现状 .....	17
3.1 中国天然气资源储产运情况 .....	17
3.1.1 中国天然气资源储量 .....	17
3.1.2 油气勘探开发 .....	18
3.1.3 天然气管道建设 .....	18
3.2 中国天然气供给现状 .....	19
3.2.1 天然气产量 .....	19
3.2.2 天然气贸易 .....	20
3.3 中国天然气消费现状 .....	20
3.3.1 中国能源消费现状 .....	20
3.3.2 中国天然气消费现状 .....	23
3.4 中国天然气消费结构分析 .....	25
3.5 中国天然气产业发展存在的问题 .....	26
4 天然气需求影响因素及模型构建 .....	28
4.1 影响天然气需求的因素分析 .....	28
4.1.1 经济发展水平 .....	28
4.1.2 价格因素 .....	28
4.1.3 产业结构 .....	29



4.1.4 人口因素.....	30
4.1.5 天然气生产量.....	30
4.1.6 能源消费结构.....	30
4.1.7 城市化进程.....	30
4.1.8 能源政策因素.....	31
4.2 模型构建.....	31
4.2.1 系统界定及边界.....	32
4.2.2 模型的因果关系分析.....	34
4.2.3 系统流程图的绘制.....	35
4.2.4 系统方程式.....	36
4.3 模型的检验.....	39
4.3.1 模型结构的适合性检验及与实际系统一致性检验.....	39
4.3.2 模型与真实系统的拟合程度测试.....	39
4.3.3 灵敏度检验.....	40
5 天然气需求系统基本行为仿真与情景分析.....	42
5.1 基本行为仿真分析与需求预测.....	42
5.1.1 基本行为仿真分析.....	42
5.1.2 预测量总量分析.....	45
5.1.3 预测量结构分析.....	46
5.2 不同机构对中国天然气需求预测及比较分析.....	47
5.2.1 不同机构对中国天然气需求预测.....	47
5.2.2 不同机构对需求预测结果的比较分析.....	48
5.3 情景分析与预测.....	48
5.3.1 情景设定.....	48
5.3.2 情景预测结果分析.....	49
6 结论与政策建议.....	52
6.1 结论.....	52
6.2 中国天然气产业发展对策建议.....	53
6.3 研究不足与展望.....	55
致 谢.....	57
参考文献.....	59
附 录.....	64

# 1 绪论

## 1.1 选题背景与项目依托

### 1.1.1 选题背景

2014 年底国家发布了《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》。计划明确提出要提高天然气的消费比重，同时降低煤炭的消费比重，天然气比重在 2020 年将要达到 10% 以上。“十三五”期间是我国能源发展转型的重要战略机遇期，国家对能源结构的优化和环境污染的控制将推动天然气消费增长。

（1）在国家提出能源发展战略行动计划大力发展天然气的新背景下，研究天然气需求具有现实的战略意义。

（2）天然气是经济-能源-环境协调发展的现实选择。随着经济的增长，能源消费也在增长，在消费大量能源的同时，生态环境问题越来越严峻。中国已经是世界上的第一大能源消费国，2014 年的煤炭消费比重为 66.03%，而世界的煤炭消费比重为 30.03%，我国煤炭消费比重是世界平均水平的 2 倍。我国能源消费总量大，又以煤炭为主要能源消费燃料，在这样的情况下，环境问题日益凸显。

迫切需要调整中国目前不合理的能源消费结构——低碳经济的要求。在当前低碳经济领域已经成为全球竞争和利益格局调整主战场的复杂形势下，天然气因其储量丰富、用途广泛及环保低碳的属性受到全球各国的普遍重视，成为全球增长最快的主要能源之一，调整我国能源结构，加大天然气和其他可再生能源的比重势在必行。在当前发展低碳经济正在成为全球共识的背景下，优化我国以煤炭为主的能源结构，实现对煤炭的低碳能源替代至关重要。在此背景下，天然气成为改善中国能源消费结构的现实选择。

（3）城市化、工业化将会大幅度地拉动天然气需求。依据能源发展战略行动计划（2014-2020 年）的战略目标，鼓励城镇居民选用清洁的能源，优先保障居民生活的天然气供应，要保证城镇居民在 2020 年的时候基本用上天然气，实施气化城市民生工程。在国家新战略计划出台及加快城市化、工业化进程的背景下，对中国天然气需要预测提出了新的要求。

### 1.1.2 项目依托

中国国土资源经济研究院委托国土资源部油气资源战略研究中心的项目《国内外油气资源市场监测与评价》所属工程项目《重要矿产资源市场监测与综合评价》，2014年4月—2015年4月，主要开展中国及世界油气资源状况分析，开展油气市场监测，并提出我国应对之策。

## 1.2 研究目的与研究意义

### 1.2.1 研究目的

系统动力学为天然气需求预测与分析提供了一个新的研究思路与方法，本研究目的在于：运用系统动力学理论和方法预测中国天然气需求。具体是通过了解我国天然气产业发展的现状，分析我国天然气产业发展存在的问题，分析影响我国天然气需求的因素，并在此基础上构建我国天然气需求系统动力学模型，结合情景分析法预测2015-2020年我国天然气需求，为促进我国的天然气供需平衡发展提出相应的对策建议，为国家及相关部门政策制订提供参考。

### 1.2.2 研究意义

国家提出能源发展战略行动计划（2014-2020年），大力发展天然气产业，在新的新背景下，科学地、合理地预测我国天然气需求，为国家及相关部门制定相关能源发展政策具有重要现实意义。

在新的背景下，本文对天然气需求量进行预测和分析，主要意义如下：

（1）有利于国家整个宏观面的天然气供需调配，节约建设资金

对天然气的需求量进行合理准确的预测有利于国家宏观统筹，这样既有利于气源地相关单位制定合理的生产计划，也有利于输气管网等基础设施、用气单位等储气设施的建设规划。天然气基础设施的建设需要投资大量的资金，因此，对未来需求量有一个比较准确的预测，有利于输气管线建设与实际需求情况相匹配，从而避免建设资金的浪费。

（2）有利于缓解天然气的供需矛盾

对天然气的需求量进行合理准确的预测，有利于国家及相关部门决策者认识到天然气的供需缺口情况，从而调整产业结构、能源消耗结构、加强地区之间的协同发展，缓解天然气供需矛盾，来保障我国能源消费合理发展。

### (3) 有利于相关部门参考制定发展规划

对天然气的需求量进行合理准确的预测,国家根据未来天然气需求做出相应的发展规划,这有利于相关部门参考并制定相应的发展规划,比如能源替代部门,可以参考天然气的发展规划来制定相应的发展规划。

## 1.3 研究现状与存在问题

### 1.3.1 国外研究概况

#### 1.3.1.1 天然气需求影响因素

天然气相对于其他能源来说具有安全、清洁、高效的优点,环境保护问题越来越受到全球范围的关注,因此,对天然气需求的研究一直都是学术界研究的热点问题。

从上世纪四十年代开始,国外学者进行了大量的关于天然气需求相关问题的研究,多半是关于需求弹性的研究。LIU(1983)分析了美国不同地区和部门的天然气价格弹性。Abdel(1988)分析了埃及能源消耗的收入和价格弹性。Bentzen, Engsted(1993)分析了短期和长期的能源需求弹性。Lowe(2003)理论分析了多级能源转换系统中的能源需求价格弹性。大部分都研究了天然气需求弹性的估计,但关于影响天然气需求的因素,他们都没有给出统一的结论。Houthakker(1966)最早分析了影响能源需求的相关因素。Bohi D R(1984)较系统论述了关于天然气需求的数学模型,随后 Bohi D R, Zimmerman M B(2003)在之前研究结果的基础上进行了补充和完善。

国外虽然对于影响天然气需求的因素没有统一结论,但是他们都认为经济发展水平和天然气的价格这两个因素是影响天然气需求众多因素中的最为重要的因素。

#### 1.3.1.2 天然气需求预测方法

国外能源预测方面的研究起步比较早,在这方面的研究也取得了很多的研究成果。在国外有关能源供需预测的文献中,主要通过建立各种定量数学模型对不同国家、地区,不同时间内的能源需求量的变化进行研究。早期阶段能源供需预测大多以传统的计量方法为主,主要是线性回归、非线性回归以及时间序列法等。后来,随着对模型预测精度的提高以及相关变量因素的不断改变,陆续出现了许多方法,包括人工神经网络、系统动力学等。

Mackay, Probert (1994) 通过对 logit 函数进行修正, 构建了油气需求预测模型。Jan Bentzen, Tom Engsted (2001) 运用自回归分布滞后模型对丹麦的住宅能源消费需求进行研究, 并将预测的结果与运用协整技术和误差校正技术所得结果进行了比较。Nouredine Krichene (2002) 年建立了世界原油及天然气的需求供给的计量模型。Paul Crompton, Yanrui Wu (2005) 运用贝叶斯向量自回归模型对我国 2010 年的能源消费量进行了预测, 并进一步讨论了影响我国能源消费的潜在因素。Primoz Potocnik (2007) 等从能源消费预测角度出发, 通过对系统数据进行分析得出合理误差范围内的预测结果, 得出一个风险模型, 用来反映整体预测结果的误差水平。Istvan Vajk, Jeno Hetthessy (2005) 构建了一个非线性短期预测模型, 并作了实证研究。Brabc Marek, Emil Pelikán, Marek Maly (2008) 从人体消费者角度建立了一个非线性混合效应的计量模型预测天然气消耗, 并将计算结果与传统的 ARIMA 模型进行对比。Ryad Zemouri, Danniell Racocceanu, Nouredine Zerhouni (2003) 对时间序列预测进行了适当改进, 将带回路的径向基神经网络应用其中。Smith, Husein, Leonard (1996) 构建了一个专家系统, 并应用此系统对英国某地区的天然气消费量进行预测。

系统动力学由 forester 于 1961 年创立以来, 被广泛应用于社会经济方面的研究。在能源方面, Naill RF (2007) 年提出了美国天然气行业动态系统动力学模型。Chi KC, Nut tall WJ, Reiner DM (2009) 运用系统动力学模型研究了英国天然气行业长期能源政策分析。Kiani B, Pourfakhraei M (2010) 运用系统动力学模型, 考虑了供给、需求和石油收入之间的反馈关系, 预测了伊朗未来在不同情景下的油气需求与产量。Li J, Dong X, Shangguan J, et al (2011) 建立了一个系统动力学模型预测了中国的天然气需求。

虽然国外在能源预测方面的研究起步早, 也有很多研究成果, 采用的预测方法也很多, 但是运用不同的方法对天然气需求的研究, 还停留在可行性探讨阶段。每种预测方法都有其固有的适用情况, 在实际应用时, 应当考虑具体预测对象以及所选取数据的特点, 有针对性的选取合适的预测方法。

## 1.3.2 国内研究概况

### 1.3.2.1 天然气需求影响因素

凌爱军 (2002) 将天然气长期消费的主要影响因素总结为工业产值和天然气



的价格；刘丹（2006）将工业总产值、第三产业生产总值、城镇人口和历史趋势等视为影响天然气消费的主要因素；赵晓琴（2008）采用灰色关联分析通过计算相关指标对天然气消费量的关联度，最后筛选出 GDP、第二产业产值及人口作为影响天然气需求的主要因素；周跃忠（2008）将经济发展水平、天然气市场发展成熟度、价格：包括天然气的价格和替代能源的价格，这三大类因素视为影响天然气需求的主要因素。

天然气需求是一个复杂的大系统，影响因素众多，目前的研究对于影响天然气需求的影响因素没有统一定论，本文在前人研究的基础上，可以总结得到影响天然气需求的主要因素包括：国民经济因素、价格因素、能源政策因素、人口因素、产业结构因素和能源消费结构因素等等。

### 1.3.2.2 天然气需求预测方法

在国内关于天然气需求量预测的主要模型有：神经网络模型、灰色预测模型、结构分析模型、时间序列模型、计量经济学模型、系统动力学模型。主要方法包括灰色系统法、神经网络法、指数平滑法、弹性系数法、回归分析法、时间序列法、组合预测方法、系统动力学方法等。其中,常用于中长期预测的方法包括灰色系统法、弹性系数法、回归分析法，系统动力学方法，而单纯的神经网络法、指数平滑法和时间序列法常用于短期预测,另外由于各种预测方法所存在的不足与缺陷，将两种方法结合在一起，便产生了组合预测方法，例如将灰色系统与神经网络相结合、时间序列与神经网络相结合等方法。

本世纪以来，随着天然气消费在一次能源结构中的比例的提高，对于天然气供需预测，国内学者相继提出了多种方法，取得了很多研究成果。

（1）指数平滑法。比较有代表性有：焦文玲（2001）构建了指平滑预测模型。刘能铸（2009）构建了二阶指数平滑模型，并实证分析预测了 2008 年的重庆市天然气消耗量，研究结果显示了运用二阶指数平滑法预测天然气消耗量的准确性和可靠性。

（2）时间序列法。焦文玲（2002）运用了时间序列模型分析并预测了天然气的短期周期负荷。李延明（2011）综合采用了时间序列和线性规划方法，分析了我国 2020 年的能源消费结构。

（3）灰色系统法。谢乃明（2009）运用灰色模型研究了江苏省的能源消费总量和消费结构。崔立志（2010）对灰色预测技术展开研究，综合其他理论和灰

色模型,提出了基于其他理论和灰色模型的新的模型。毛文晋(2010)对传统模型进行模型系数修正优化,构建了改进的 GM(1,1)预测模型,并运用改进后的模型预测了四川省天然气需求,预测结果显示改进后的 GM(1,1)模型能够准确有效的预测天然气的需求量。

(4) 神经网络法。杨昭(2003)基于 BP 神经网络理论和方法构建了天然气负荷预测模型。焦文玲(2006)运用了 BP 神经网络解决天然气短期负荷预测问题。

(5) 向量机模型。刘鑫(2009)运用向量机模型对城市天然气需求总量进行了中长期预测。总结了影响天然气需求量中长期预测的主要因素,运构建了基于粒子群——最小二乘支持向量机(PSO-LSSVM)的预测模型。刘涵(2004)建立了基于最小二乘支持向量机的天然气负荷预测模型,对西安地区城市天然气负荷进行分析预测。

(6) 消费系数法。牛建娣(2007)采用了消费系数法预测了我国天然气的需求,说明了运用此方法进行预测的可行性,进一步分析了我国天然气需求量的增加变动情况和天然气消费结构的增减变动情况。段兆芳(2009)采用了消费系数法,综合考虑我国经济发展、人口增长、城镇化率、产业结构调整、化工和发电发展等多种因素,立足能源体系的大背景,采取对比、类比、外推等多种手段,统筹国内外天然气供应情况,系统地分析和预测了我国未来天然气的消费需求。

(7) 计量经济学方法。张丹(2008)指出计量经济模型在国外天然气需求预测上取得了很多理论研究成果,国内学者却没有意识到此方法在天然气需求预测方面的应用价值,于是总结出运用计量经济学模型对天然气需求进行预测的一般形式及求解步骤。张丹(2009)采用了计量经济学和细分市场的方法研究了 2009—2015 年上海天然气市场供需平衡。冯良(2009)建立了上海市天然气需求的计量经济学模型,并分析预测了上海市的天然气需求。

(8) 组合预测方法。张伟(2005)综合运用了时间序列和灰色系统法等方法预测了中国天然气市场需求。张明涛(2007)分别用人工神经网络方法和灰色预测模型方法对我国天然气的供应量和需求量进行预测。程柏良(2013)综合运用了灰色模型等三种模型,预测了 2015-2020 年福建省天然气消费需求量。王文俭(2013)应用灰色线性回归组合预测模型对于天然气需求量的预测得到更高的精度。张立峰(2006)根据构建的能源预测模型,综合运用系统动力学模型、灰

色系统模型、向量自回归模型、变权重组合预测模型，对我国能源供给和需求总量与结构进行中长期预测。

（9）系统动力学方法。李连德（2009）基于系统动力学方法及相关经济学原理，构建了能源供需系统动力学模型；利用这些模型对中国能源的供需进行了模拟分析和决策分析，并用情景分析法对中国能源供应和需求的总量进行分析。蒲萧云（2011）展开了城市天然气供需市场的复杂系统分析，运用系统实证分析了城市天然气供需市场，分析系统中的不稳定因素对系统的影响变动情况，并通过调控这些不稳定因素来增加天然气市场供需平衡的稳定性。

目前天然气需求预测方法很多，但是运用不同的方法对天然气需求的研究，还停留在可行性探讨阶段。每种预测方法都有其固有的适用情况，在实际应用时，应当考虑具体预测对象以及所选取数据的特点，有针对性的选取合适的预测方法。

### 1.3.3 研究现状总结及本文突破点

（1）国内对天然气供需的研究着重在供需总量平衡的研究，对天然气需求的预测大都是从总量的角度出发，对天然气需求总量进行预测。本文将从天然气终端需求的角度，对各类天然气用户的需求量进行预测。

（2）影响天然气需求的因素非常多，但是现在大多数计量方法考虑的因素有限。本文在前人研究的基础上，结合资源需求理论及系统动力学理论，系统全面总结分析影响天然气需求的因素。

（3）目前天然气需求预测方法很多，各有优缺点。而且预测方法都有各自的适用条件，在预测我国天然气需求时，应该选择与我国天然气消费特点相适应的方法。我国天然气市场刚起步，从 2006 年开始才大规模消费，消费区域也比较局限。仅仅依据十年左右的数据建立一些预测模型，比如计量经济学模型来预测天然气需求，预测结果的准确性其实具有不确定性。

因此，在阅读大量文献和学习方法的情况下，综合考虑我国天然气消费的特点，本论文在预测天然气需求时，采用了系统动力学的方法。系统动力学的方法具有很多优点，其中就包括对数据要求不是很高，当有数据缺失时，也得到精确度较高的预测值。综合考虑我国经济发展因素、产业结构调整、人口因素、城镇化率等因素，对我国未来天然气需求进行系统的分析和预测。

## 1.4 研究内容与方法

### 1.4.1 研究内容

本文主要划分为六章，研究内容如下：

第一章，引言。介绍了论文的研究背景、研究目的和研究意义，对国内外研究现状及进展进行了综述，介绍了本论文的研究内容、研究方法和技术路线；

第二章，相关概念、理论及方法。本章主要介绍了论文涉及到的相关的概念、理论和方法，界定了研究范围、研究内容和相关的基础理论和方法；

第三章，中国天然气产业的发展情况。本章主要针对中国天然气产业发展现状及供需形势进行了分析，在此基础上指出了我国天然气资源在开发、利用和消费过程中存在的问题；

第四章，影响天然气需求的因素分析及模型设计。本章主要分析了天然气需求的主要影响因素，介绍了天然气终端消费领域，并在此基础上建立了天然气需求系统动力学模型，并对模型进行了检验；

第五章，系统仿真及情景预测。运用 2005-2013 年的数据进行系统仿真，并对仿真模拟结果进行分析，对比了不同机构对我国天然气需求预测结果，然后依据经济发展历史情况及“十三五”规划设定了三种经济发展情景，分情景对天然气需求进行情景预测与分析；

第六章，结论与建议。总结了本文的研究结论，并针对我国天然气行业发展存在的问题提出了对策建议，最后指出了本文的研究不足与展望。

### 1.4.2 研究方法

#### （1）文献资料收集法

运用现有的文献检索收集渠道，检索出与本文研究密切相关的中外文文献，通过对相关中外文文献归纳整理，得到天然气需求的国内外研究情况，找出本文研究的内容和方法。

同时，搜集相关参考资料，比如搜索英国石油公司网站（BP）、中国统计年鉴、中国能源年鉴及国内外油气资源简明数据手册等，对我国天然气需求相关数据进行收集处理。

#### （2）系统动力学方法

运用系统动力学方法，首先明确研究对象的边界与范围，把天然气需求看作

是具有复杂结构的动态系统，分析影响天然气需求因素之间的关系，画出系统流程图，定量化变量之间的关系，建立天然气需求系统的方程式，建立天然气需求系统动力学模型。

### （3）情景分析法

情景展示了未来可能的发展方向。情景分析是基于一定的假设条件，对研究对象未来可能出现的情况进行研究分析。依据经济发展历史情况及“十三五”规划设定了三种经济发展情景，分情景对天然气需求进行情景预测与分析。

### 1.4.3 技术路线

首先，提出研究课题，在新的研究背景及文献综述的基础上，确定了本文的研究题目；运用系统动力学的理论及方法，并结合资源需求理论，研究了中国天然气产业的发展现状，总结了我国天然气产业发展存在的问题；分析了影响我国天然气需求的影响因素，然后从天然气终端消耗的角度，建立了我国天然气需求系统动力学模型；对模型进行检验，运用系统动力学模型，利用 2005-2013 年的数据进行了基本行为仿真分析；最后，采用情景模拟的分析方法对我国不同经济发展模式下天然气的消耗量进行了预测和分析，并提出了针对我国天然气资源的一些发展策略。



本文的技术路线图如图 1-1 所示。

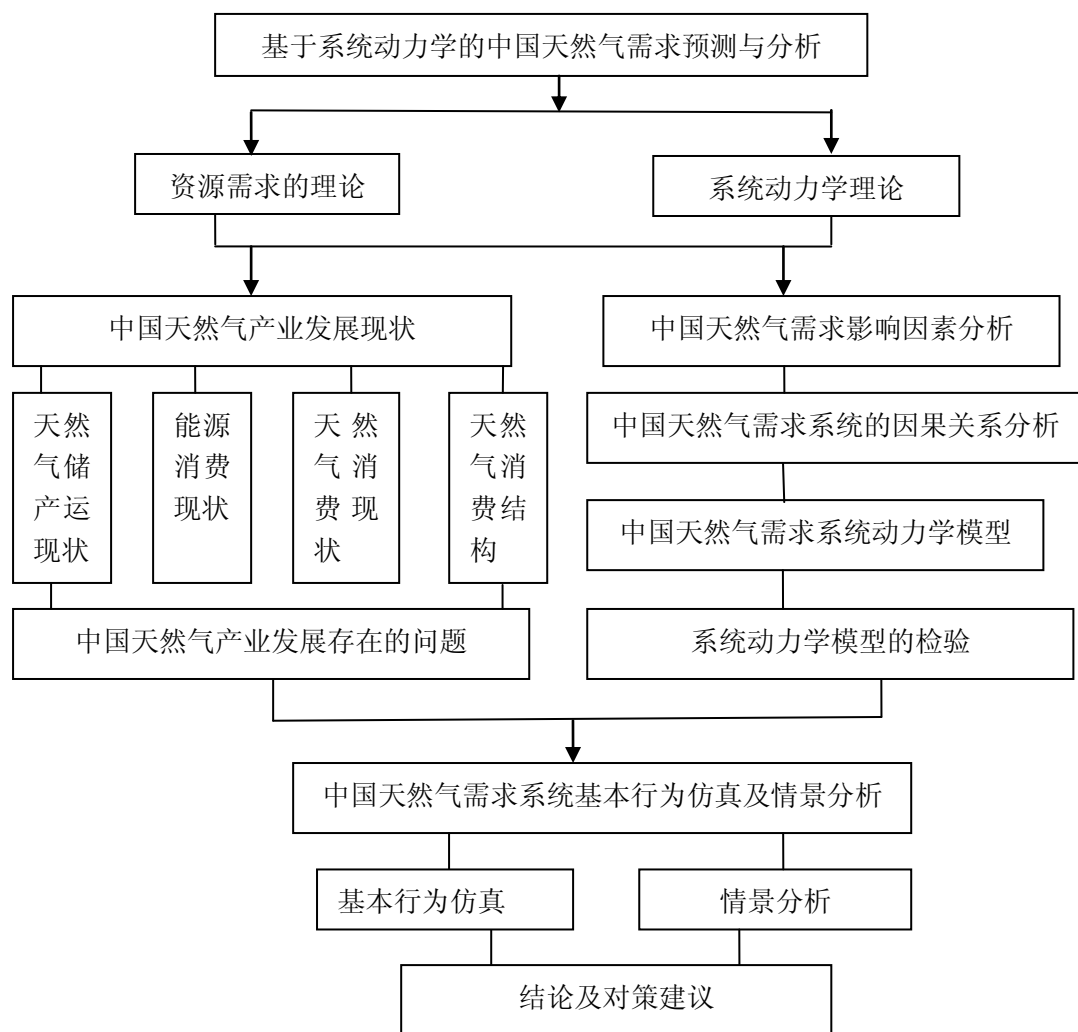


图 1-1 技术路线图

## 2 相关概念界定及理论基础

### 2.1 相关概念界定

#### 2.1.1 天然气定义

长期以来，我们所说的天然气就是狭义的天然气，是从能量角度来定义的，本文所研究的就是狭义的天然气。狭义的天然气是指天然蕴藏于地层中的烃类和非烃类气体的混合物，是一种主要成分为甲烷的优质能源。

天然气是属于安全性较高的燃气，是一种高效的清洁能源。其优点主要有：

（1）绿色环保。天然气是一种清洁优质能源，作为燃料燃烧后的排放物所含硫化物和粉尘等其他有害物质很少，排放物主要二氧化碳也较其他化石燃料少，由于天然气燃烧而造成的温室效应比较低，这样提高天然气的消费比重有利于环境保护。

（2）经济实惠。比较热值和价格，天然气和人工煤气相当，但是天然气另外具有清洁干净的特点，这样长期来看，使用天然气相当于其他燃气来说能延长灶具等工具的使用年限，同时可以使得用户维修费用减少。

（3）安全可靠。天然气主要成分为甲烷，比空气轻，容易散发，不容易因为聚集而产生爆炸，并且天然气没有毒性，是一种比较安全的燃气。

（4）改善生活。随着人们生活水平以及人们对安全意识的提高，越来越大家庭使用具有安全可靠特点的天然气，这样可以在很大程度上改善家居环境，提高人们的生活质量。

#### 2.1.2 天然气资源的基本属性

天然气是优质的清洁能源，属于非再生的矿产资源资源。天然气同其他矿产资源一样具有矿产资源两大基本属性：不可再生性和稀缺性。

（1）不可再生性。天然气是非再生资源，从天然气资源形成开始，它的量就已经确定，不能随人的意志转移。我们只能探明更多天然气资源、寻找可替代资源以及提高现有资源的使用效率等。

（2）资源的稀缺性。因为天然气资源具有不可再生性，随着天然气资源的探明、开采、生产、消费，它的总量会越来越少，甚至耗尽，所以天然气资源也

具有稀缺性的特点。它的稀缺主要表现在它的价格方面，当天然气资源的需求大于其供应时，价格就会逐渐上升，开发生产商就会更努力地进行开采生产，来增大供应量满足消费需求。同时，资源的稀缺性又会使得开采成本的增加，这样又会导致天然气的稀缺性。也就是说，作为储量有限的能源矿产，随着人们的开发，天然气资源就会越来越少。

根据资源具备可被回收的特性与否来划分，属于一次性能源天然气消耗完后不具备可回收特性。本论文中将要研究的重要资源天然气，属于不可回收的资源。

天然气资源被开采后就具有经济价值，是人类对能源的物质需求。除了不可再生性和稀缺性以外，天然气资源还具有经济属性和价值属性。此外，天然气属于国家的战略储备资源，因此它又具备政治属性。

(1) 经济属性。社会经济的发展需要能源资源的推动。有研究表明能源需求与经济增长存在长期的均衡关系。

(2) 价值属性。天然气资源在开发开采过程中，产生了开发开采成本，开发开采后成为商品，具有价值和使用价值两大基本属性。

(3) 政治属性。天然气是不可再生的稀有资源，也是所有国家经济发展不可或缺的动力来源，世界上很多发达国家在其经济快速发展的初期就已经关注能源资源的战略管理问题。尤其是能源战略储备问题，对能源战略储备的认识已经上升到国家安全战略层面。

### 2.1.3 天然气的终端消耗

天然气主要消费对象是终端用户，天然气消费运用得是否合理也终端消费紧密相关，因此本文对天然气终端消费进行预测具有现实指导意义。在天然气消费方面，本论文从天然气的终端消费为出发点。本文从国民经济产业结构入手，将终端消费分为：第一产业用气，第二产业用气，第三产业用气和生活用气四个方面，这四个方面总共 7 个领域，其中第一产业用气主要为农林牧渔水利用气；第二产业用气又分为：工业用气、建筑业用气；第三产业用气分为：交通运输用气、批发零售用气、其他行业用气。因此，本文的天然气的终端用户包括：第一产业用气、工业用气、建筑业用气、交通运输用气、批发零售用气、其他行业用气及生活消费。

## 2.2 相关理论基础

### 2.2.1 资源需求理论

需求是指在一定时期内消费主体能够而且愿意购买的该商品的数量。依据不同的消费主体，可以把需求分为单个需求和市场需求。以单个消费者为消费主体的是单个需求，以同种商品的消费者总体为消费主体的是市场需求。本文研究的天然气需求属于市场需求。

资源需求包含两层含义：消费主体既有购买的欲望，又有支付该商品的购买能力。该类主体购买了资源，但也不一定消耗此资源。有资源的市场需求，就会有相应的资源的市场供给。需求和供给属于经济学范畴，当需求等于供给时为供需平衡，当需求小于供给时为供过于求，反之供不应求。为了市场经济的稳定，国家希望资源供需平衡，但是在现实生活中对需求量的预测很难准确达到。

天然气消耗并不能直接等于天然气需求，当市场供给小于市场需求的时候，天然气消耗小于天然气需求，它们只有在特定情况下才等同，如当天然气市场供给大于天然气市场需求的时候，天然气消耗与天然气需求相等。国际及国家以往的各种统计资料，比如统计年鉴，把过去的天然气消耗量作为天然气的需求量，因此，本论文的天然气需求预测也就是天然气的消耗预测。

天然气消费需求的动力主要来自三个方面：国民经济的发展、油气勘探开发产业的推动以及能源自身的消耗。首先，国民经济方面，天然气是优质高效清洁型能源，是工业产业的重要燃料，是经济发展的基础。国民经济的发展，需要各个产业的构建来推动，而能源产业的发展又必须要有能源的消耗来带动。其次，油气资源勘探开发产业方面，为了维持和满足矿产开采或者是扩大再生产，需要消耗一定的能源资源来发现更多的能源。最后，能源自身消耗方面，如天然气发电的生产过程，需要消耗多于天然气量的天然气储量。

### 2.2.2 系统动力学理论基础

#### 2.2.2.1 系统动力学概述及特点

系统动力学是英文“System Dynamic”的译文，也有学者译为“系统动态学”、“系统动态研究”等等。根据王其藩（2009）可知系统动力学（System Dynamic 缩写为 SD）于 1956 年始创，在 20 世纪 50 年代末成为一门独立完整的学科，它

的创始人是美国麻省理工学院的福雷斯特 (Jay W. Forrester) 教授。在应用方面, 初期主要应用于工业管理领域, 称为“工业动力学”。在西方学术界, 它被给予高度评价并受到广泛的欢迎。随着其理论和方法的不断发展和完善, 其应用领域不断扩大, 逐步被应用到社会、经济、管理、科技和生态等多种领域, 用于解决各种复杂的系统性问题, 并取得显著的成果。

系统动力学是一直跨学科的方法论, 是沟通社会科学和自然科学的横向学科, 它是在系统论、控制论、系统力学、决策论、仿真与计算机科学等 5 种理论和技术的基础上, 通过系统动力学众多研究者的创造性工作形成的, 它是吸取了很多学科的长处而形成的崭新学科, 具有自己的特色。一般来讲, 系统动力学方法具有如下特点:

(1) 多变量, 认为在每个系统中都存在着信息反馈机制, 把所有系统都当作信息反馈系统来研究。

(2) 定性分析和定量分析相结合, 系统动力学模型由流程图和数学方程组成, 整个分析过程将定性分析和定量分析相结合。

(3) 可处理高阶次, 多回路和非线性的复杂系统问题, 系统动力学可以进行动态研究, 能较处理好延迟现象, 使得模型能够更接近地反映现实系统。

(4) 以仿真实验为基本手段和以计算机为工具, 系统动力学作为一种计算机仿真分析方法, 可以利用 VENSIM 等软件进行仿真分析和政策实验, 对解决战略决策和政策问题更为有效。

#### 2.2.2.2 本文选择系统动力学方法的原因

天然气系统是一个复杂的大系统, 天然气需求只是其中的一个组成部分, 可以看成是它的一个子系统。天然气需求的影响因素很多, 有的因素与天然气需求是线性的关系, 有的是非线性的关系, 有的因素与天然气需求具有确定的数量关系, 有的关系不确定。

关于天然气需求预测的方法有很多, 如时间序列方法、计量经济模型、灰色预测模型、人工神经网络模型等, 每种数学模型都有各自的适用范围, 各有优点和缺点。

本论文选择系统动力学模型进行预测, 因为系统动力学具有其独特的优势:

(1) 擅长处理周期性、长期性问题。系统动力学研究的问题一般具有实时



即随时间变化的性质，该模型最注重的部分是内部结构，通过系统的、动态的内部结构来分析，从内部寻找规律，需要的外部变量较少。许多模型解决的主要是因素间复杂关系问题，对于具有实时性的问题研究较少或者无法体现。系统动力学的方法比较适合周期性的问题，通过寻找其内部的规律以及以往历史数据，来进行政策模拟，对以后的预测提供了一定的帮助，同时该方法还会对结果进行真实性检测等，使模型更具真实性。运用系统动力学方法的仿真时间可以比较长，这对于研究具有波动性和较大惯性的社会经济系统是十分有必要的。

（2）适合进行数据缺少条件下的研究。因为系统动力学模型结构的特点，系统动力学对数据的要求较不严格，甚至允许部分数据空缺，只要估计的参数在误差允许的范围内，系统动力学方法仍可以研究系统的趋势等问题。

（3）比较适合处理高阶次，多回路和非线性的时变复杂系统问题。社会经济系统是复杂系统，现实生活中的大多问题都属于非线性问题，而一些解决方法如回归分析法、时间序列法等，反映的是影响因素间的线性关系，而系统动力学模型主要解决复杂的、高阶的、非线性的问题，因而具有一定的优势。

（4）常被用来进行情景分析。社会经济系统属于含有受控要素的系统，系统动力学进行政策实验的基本思路是在情景假设的前提下对未来进行预测和分析的，这样才能做出符合实际的预测。

### 2.2.2.3 系统动力学建模步骤

系统动力学建模分为以下五个步骤：

（1）认识和定义问题。首先需对要处理的问题和处理问题程度有充分的了解，明确要解决的问题。

（2）系统的概念化。将系统概念化，确定系统的边界、结构以及系统中的影响因素，并且根据影响因素绘制因果关系图，明确模型中的存量、变量和辅助函数以及参数，最后根据因果关系图绘制系统流图。

（3）建立模型。在绘制好系统流图后，根据图中的关系，编写相应的方程和程序，找出相关参数的数据以及初始值。

（4）计算机模拟与分析。在模型建好后根据编写的程序以及数据通过仿真软件进行模拟，然后对模拟的结果进行调试，直到模拟出合理的结果为止。

（5）模型的评估以及运用。模型的评估主要是对模型进行测试检验是否符合

合现实的真实性。通过检查参数以及表函数是否能真实反映系统的决策过程，以及调节敏感参数做测试等，同时由评估结果确定策略。如果评估结果与参考数据的误差过大，那么模型需要进行修正，直至误差合理化。

因果关系图、流图、方程和仿真平台是系统动力学模型的构成工具，因果关系图用来描述系统要素之间的联系，流图用来描述系统要素的性质和整体框架，方程用来将系统要素之间的局部关系定量描述，仿真平台是将系统动力学模型输入计算机进行仿真和调试的环境。

#### 2.2.2.4 系统动力学仿真软件介绍

本文建立天然气需求系统动力学模型采用的是 Vensim PLE 仿真平台，这是当前应用最为广泛的系统动力学仿真软件。Vensim 仿真软件可以采用图示化编程，在建模时，可以同时也在模型建立窗口构建流图和通过公式编辑器编辑方程、输入数据，就可以建立模型。在构建模型后，可以进行模型真实性检验，模型通过检验后，进行系统行为仿真，软件操作简单，运行系统后，系统就可以获得大量的输出信息，得到模拟的结果。模型还可以进行情景分析，可以进行政策优化。

Vensim 仿真软件的主要元素有：存量、流量、辅助变量、物流。其中，存量主要用于标识系统的当前状态；流量用于表示存量在单位时间里的变化情况；辅助变量表示数据或信息的长生和转换；物流主要用来连接有相互作用关系的元素，实现信息的传递或反馈。

### 3 中国天然气产业发展现状

中国是最大的发展中国家，同时也是最大的能源消费国、生产国和净进口国。目前中国能源消费增速和生产增速都低于近期历史平均水平，但是中国仍然主导着世界能源市场。

#### 3.1 中国天然气资源储产运情况

##### 3.1.1 中国天然气资源储量

目前 2013 年的全国天然气资源评价结果显示，中国天然气地质资源量为  $68.11 \times 10^{12}$  立方米，可采资源量为  $40.11 \times 10^{12}$  立方米，这一结果与新一轮评价（2003-2007）评价结果相比，分别增加了  $33.08 \times 10^{12}$  立方米、 $20.08 \times 10^{12}$  立方米，增长了 94.43% 和 91.15%。

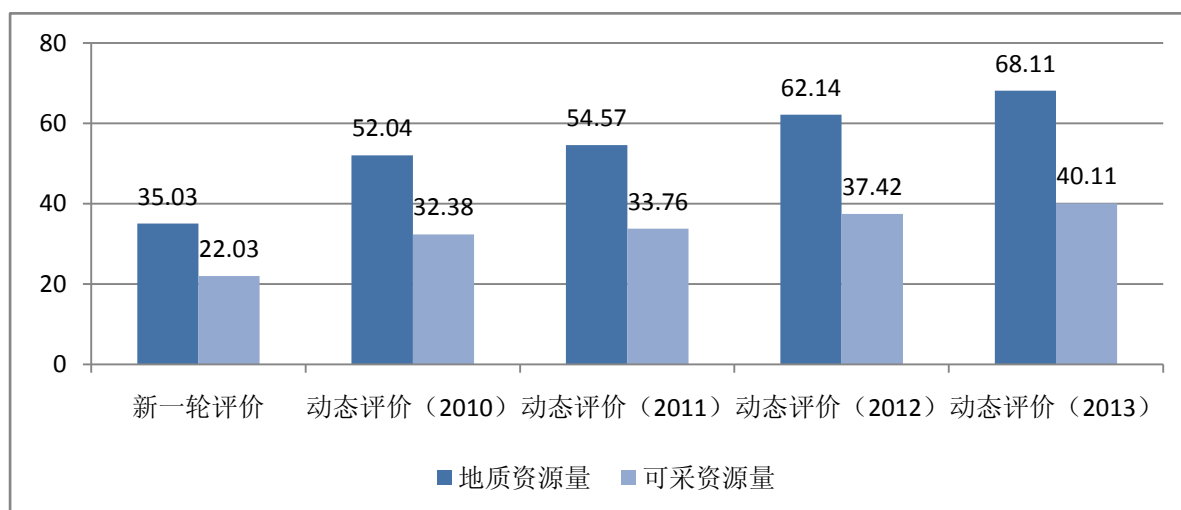


图 3-1 全国天然气资源评价结果变化图（单位：万亿立方米）

数据来源：《国内外油气资源简明数据手册》（2015 版）

虽然中国天然气资源人均不丰富，但是天然气资源的开发潜力较大。截止 2014 年底，地质资源量  $68 \times 10^{12}$  立方米，可采资源量  $40 \times 10^{12}$  立方米，累计探明量  $12 \times 10^{12}$  立方米，探明程度 18%，所处地质勘探期为早期，所以天然气资源前景广阔。

### 3.1.2 油气勘探开发

近年来,中国增加了油气资源的勘探开发的重视程度,但最近两年,油气勘探开发投入出现了下降的情况。得到2006年中国油气资源勘探投入为447亿元,从2006年开始到2012年油气勘探投入一直稳步上升,但是2013年与2012年持平,2013年后开始下降,到2015年油气资源勘探投入降幅较大。

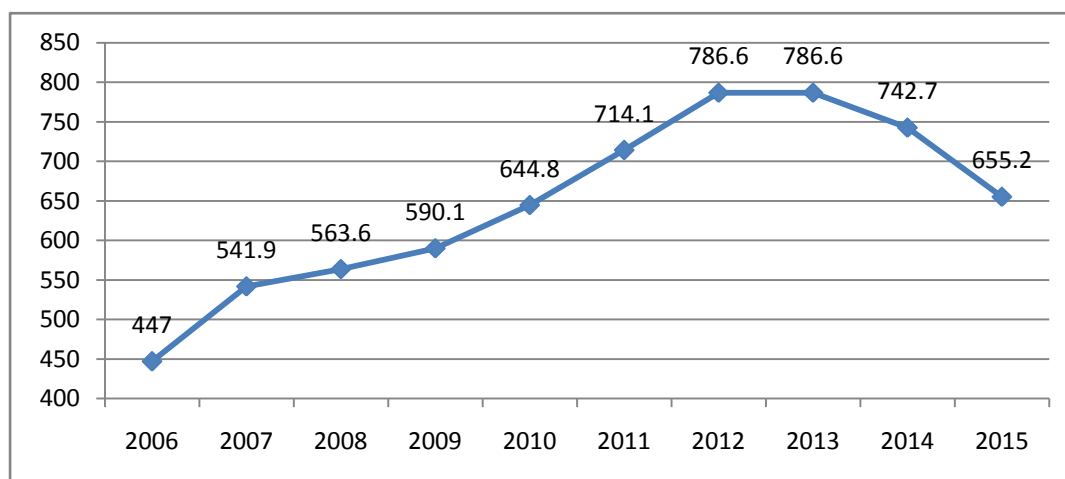


图 3-2 2006-2015 年全国油气资源勘探投入统计 (单位: 亿元)

数据来源:《国内外油气资源简明数据手册》(2015 版)

### 3.1.3 天然气管道建设

天然气管道等配套设施的建设对天然气的发展至关重要,天然气必须通过天然气管道才能到达需求地区,因此天然气管道是天然气市场发展的一个必不可少的环节。近几年,中国油气管线建设快速发展。2012 年中国天然气管道总长度为 5.5 万公里,占中国油气管道总里程的 58.8%。截止 2014 年,中国天然气管道总长度为 6.9 万公里,占中国油气管道总里程的 59%,如表 3-1 所示。

表 3-1 2014 年中国油气管道里程表

种类	长度 (10 <sup>4</sup> 千米)	所占比例 (%)
原油	2.7	23.1
成品油	2.1	17.9
天然气	6.9	59
合计	11.7	100

数据来源:《国内外油气资源简明数据手册》(2015 版)

到 2014 年底,我国天然气管道里程为  $6.9 \times 10^4$  千米。2008 年,我国天然气长输管道  $3.2 \times 10^4$  千米,美国输气管道里程为  $80 \times 10^4$  千米,俄罗斯输气管道里程为  $22 \times 10^4$  千米,日本输气管道里程为  $20.7 \times 10^4$  千米。(赵晓琴,康正坤,2008)与其他国家相比,我国天然气管道的基础建设水平远远低于发达国家水平,我国天然气管道的基础建设任重道远。

## 3.2 中国天然气供给现状

中国是个油气大国,但人均油气资源相对贫瘠,勘探开发难度日益增大。虽然近年来我国天然气产量快速增长,但是增长速度不及消费量的增长速度,从 2006 年开始我国已经从天然气自己自足的国家,变为天然气的净进口国。从 2006 年开始,我国进口天然气量也以较快的速度增长,对外依存度不断提高。

### 3.2.1 天然气产量

图 3-3 是 2004-2014 年我国天然气产量及其增速图,由图可以看出,2013 年全年天然气产量为 1249 亿立方米,较上一年增加 106 亿立方米,增速为 9%;2014 年,全国天然气产量 1345 亿立方米,较 2012 年增加了 96 亿立方米,增速为 8%。2014 年天然气产量增幅和增速较 2013 年都有所下降。

200-2008 年我国天然气产量增速平均为 18.01%,2009-2014 增速波动变化,平均为 8.41%,近两年天然气产量增速有所下降。(见图 3-3)。

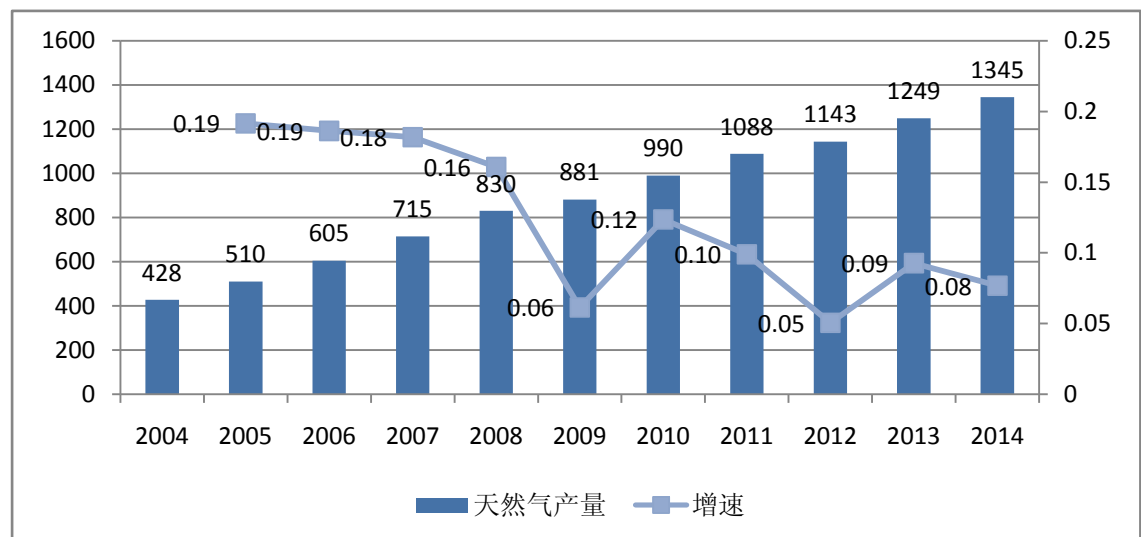


图 3-3 2004 年-2014 年中国天然气产量 (10<sup>8</sup> 立方米) 及其增速

数据来源: BP 世界能源统计 (2015)

### 3.2.2 天然气贸易

天然气消费需求随着经济不断增长而快速增长,国家提出的新能源规划更加加速天然气消费需求的快速增长。在国内产量不能满足需求的情况下,必然会向国外进口天然气以弥补供需缺口。

我国从 2006 年开始进口天然气,进口量从 2006 年的 9.5 亿立方米突然增长到 2007 年的 40 亿立方米,又从 2007 年开始持续增长到 2014 年的 591 亿立方米,是 2006 年进口量的 62 倍之多,是 2007 年进口量的近 15 倍。

表 3-2 2007-2014 年中国天然气进出口量表 单位:  $10^8$  立方米

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
进口量	9.5	40.2	46	76.3	164.7	311.5	420.6	525.4	591
出口量	29	26	32.5	32.1	40.3	31.9	28.9	28.9	26

资料来源:中国统计年鉴(2015)

## 3.3 中国天然气消费现状

### 3.3.1 中国能源消费现状

中国是全球最大的能源消费国,随着经济的发展,能源消费也不断增长。长期以来,中国以煤炭为主要能源。中国的能源结构持续改进。2014 年,中国能源消费量增长 2.2%。化石能源中,消费增长最快的是天然气,增长 8.6%,其次是石油 3.3%和煤炭 0.1%。表 3-2 是我国 1980 年到 2014 年的能源消费量及构成表。

如表 3-3 所示,从总量看,我国能源从 1980 年开始持续快速增长,从 1980 年的 60275 万吨标准煤到 2014 年的 426000 万吨标准煤,是 1980 年能源消费量的 7 倍多。从能源消费结构来看,2014 年煤炭仍然是中国能源消费的主导燃料,占比为 66%,创历史新低。近年来煤炭消费占比最高的是 2005 年前后的 74%。1980 年天然气消费量占比为 3.1%,近几年天然气消费占比在 5%左右,2014 年天然气消费占比为 5.7%,天然气消费占比有所增加,但总的来说增幅不大。



表 3-3 1980-2014 年中国能源消费总量及构成表

年 份	能源消费总量（万吨标准煤）	各能源占能源消费总量的比重(%)			
		原 煤	原 油	天然气	一次电力及其他能源
1980	60275	72.2	20.7	3.1	4.0
1990	98703	76.2	16.6	2.1	5.1
2000	146964	68.5	22.0	2.2	7.3
2008	320611	71.5	16.7	3.4	8.4
2009	336126	71.6	16.4	3.5	8.5
2010	360648	69.2	17.4	4.0	9.4
2011	387043	70.2	16.8	4.6	8.4
2012	412038	68.5	17.0	4.8	9.7
2013	416913	67.4	17.1	5.3	10.2
2014	426000	66.0	17.1	5.7	11.2

资源来源：《中国统计年鉴 2015》

### 3.3.1.1 主要国家能源消费结构对比

天然气具有清洁、优质、高效等优点，是仅次于石油的第二大能源。表 3-4 是世界及主要国家能源消费结构对比情况。从表可以看出，中国能源结构中煤占的比例最高，油气资源的比重较低，发达国家的石油比例最高，天然气比例第二，油和气总量占总消费的近 70%，煤的比例次于油气，居第三位，美国煤炭消费占比为 19.72%，欧盟煤炭消费占比为 16.84%，世界煤炭消费占比为 30.03%，而中国煤炭消费占比最高，占比为 66.03%，是世界平均水平的 2 倍多。

天然气消费在美国的能源结构中占 28.68%，在欧盟的能源结构中约占 32.11%，日本天然气消费在其能源结构中占 22.19%，2014 年世界天然气的消费占能源消费比重平均水平为 27.89%，而中国天然气的消费占能源消费水平只有 5.62%，与发达国家相比，差别非常大。

表 3-4 主要国家能源消费结构对比

	石油比重	天然气比重	煤炭比重	核能比重	水电比重	可再生能源比重
美国	36.37	28.68	19.72	8.26	2.57	2.83
欧盟	30.35	32.11	16.84	9.40	6.91	4.40
日本	43.15	22.19	27.74	0.00	4.34	2.54
中国	17.51	5.62	66.03	0.96	8.10	1.79
世界	32.57	27.89	30.03	4.44	6.80	2.45

数据来源：BP 世界能源统计（2015）

### 3.3.1.2 中国、美国和世界能源消费结构对比

目前虽然我国的能源结构有所改进，煤炭仍然是中国能源消费的主导燃料，占比为 66%。我国天然气消费比重还是很低，天然气所占比重仅为 6%，而美国天然气消费占比为 29%，世界平均天然气消费占比为 28%，如图 3-4 所示。

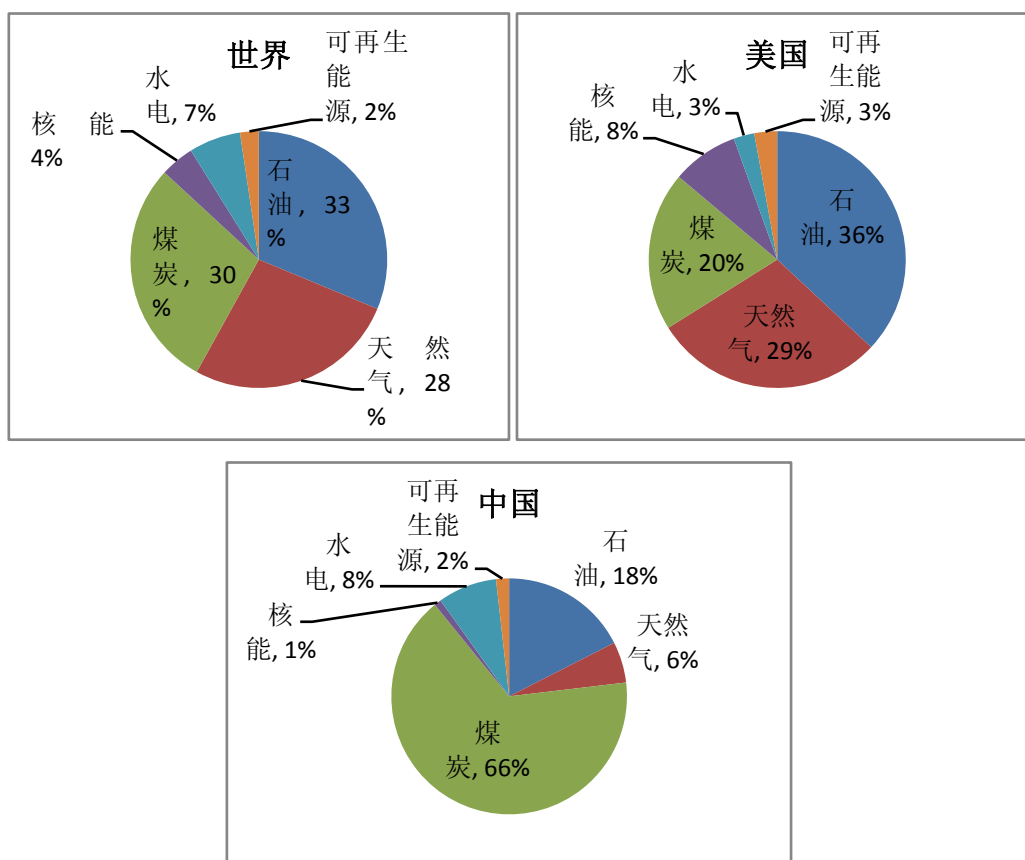


图 3-4 2014 年中国、美国和世界一次能源消费结构对比图

资料来源：BP 2015、国家统计局

另外从图中我们可知，我国仍然以煤炭为主要能源消费资源，石油排第二，尽管我国的水利资源相对丰富，但水电的比重也仅仅占到 8%，煤炭和石油都属于不可再生资源，仅仅依靠有限的不可再生能源将会导致资源枯竭，长期来看必然会影响国民经济的发展。我国天然气消费只占到 6%，具有很大的增长空间，近几年来天然气消费的快速增长预示着未来天然气供需矛盾日益突出。

### 3.3.2 中国天然气消费现状

近十几年来，我国天然气消费量持续快速增长。2001 年，天然气消费量为 274.3 亿立方米，到 2014 年，天然气消费量上升到 1805.8 亿立方米，消费量是 2001 年的 6.6 倍。天然气消费增速也逐年上涨，尤其是从 2003 年以来，天然气消费量每年以 16% 以上的速度递增。随着天然气消费量的快速持续上涨，我国天然气进口量也逐年提高，从 2006 年开始进口天然气以来，我国对外依存度逐年提高，2013 年对外依存度为 30.8%，2014 年达到 30.9%（如表 3-5）。

表 3-5 2001-2014 年中国天然气消费量表

年份	消费量 (10 <sup>8</sup> 立方米)	增速 (%)	对外依存度 (%)
2001	274.3	12	-
2002	291.8	6.4	-
2003	339.1	16.2	-
2004	396.7	17	-
2005	467.6	17.9	-
2006	561.4	20.1	-3.5
2007	705.2	25.6	2
2008	812.9	15.3	1.7
2009	895.2	10.1	4.9
2010	1075.8	20.2	11.6
2011	1307.1	21.5	22
2012	1413.8	8.2	26.8
2013	1631.4	15.4	30.8

资料来源：国家统计局

图 3-5 是 2004 年—2014 年中国天然气消费量及其增速图,从图中可以看出,随着经济的发展,我国天然气消费呈直线上升趋势,每年上涨幅度都很大,消费量从 2001 年的 274.3 亿立方米一路上涨到 2014 年的 1805.8 亿立方米。主要受经济等因素的影响,天然气消费增速波动变化,从 2003 年到 2007 年,天然气消费增速也直线上升,从 16.2%到 25.6%。2008 年到 2014 年天然气消费增速波动变化,其中 2009 年、2012 年受经济等因素的影响较大,天然气消费增速较其他年份小。2013 年天然气消费增速为 15.4%,2014 年天然气消费增速为 10.7%,有所回落,但由于基数越来越大,其实天然气消费量的增加量还是相当大的。

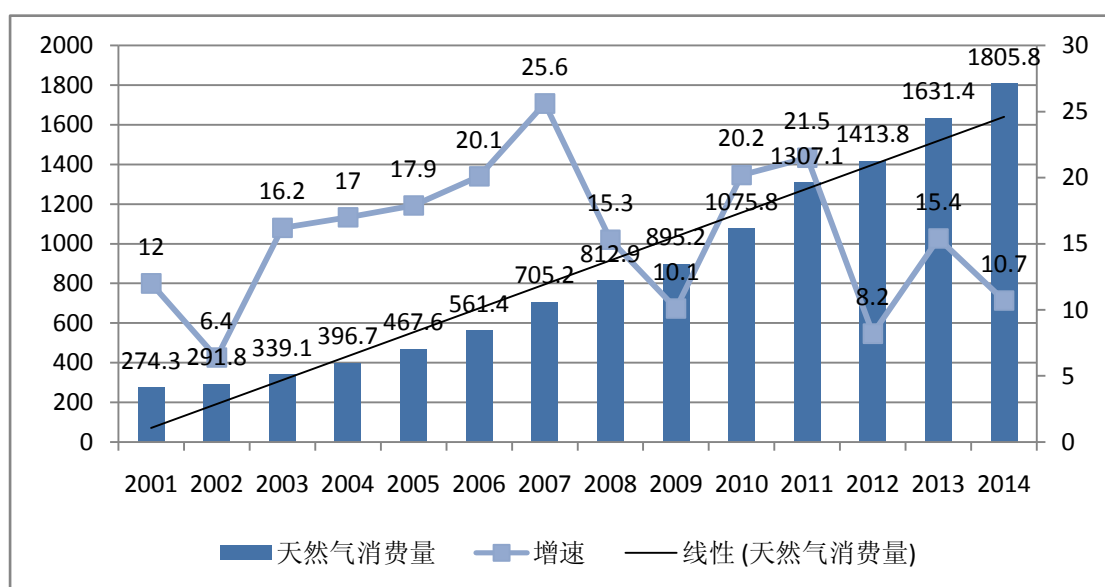


图 3-5 2004 年—2014 年中国天然气消费量 (10<sup>8</sup> 立方米) 及其增速

资料来源: 国家统计局

图 3-6 是我国 1980 年到 2014 年的天然气消费占一次能源消费的比率图。从图中我们可以看出,随着经济的发展,能源消费必然是逐年增长的,但是时间跨度几十年间,天然气消费占比率变化不大,从 1990 年的 2.1%到 2014 年的 5.7%。目前,我国天然气消费只占到 6%,因此,随着经济的发展,我国天然气消费具有很大的增长潜力,近几年来,天然气消费的快速增长预示着未来供需矛盾日益突出。

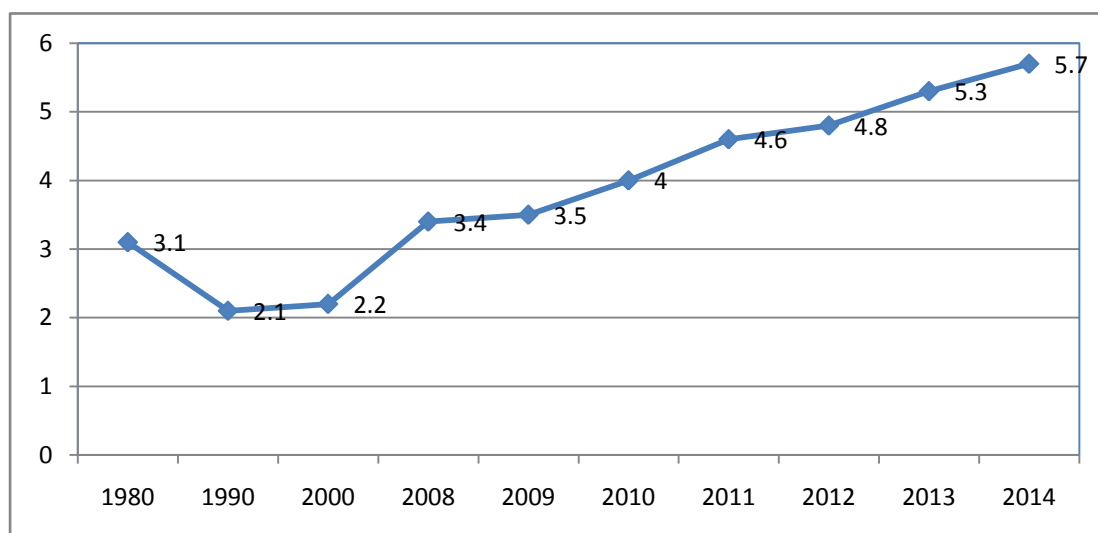


图 3-6 天然气消费占比率

数据来源：中国统计年鉴 2015

### 3.4 中国天然气消费结构分析

按照中国能源统计年鉴中能源平衡表的划分，我国天然气消费主要分为 7 个方面：（1）第一产业用气，（2）工业用气，（3）建筑业用气（4）交通运输仓储邮政业用气，（5）批发零售住宿餐饮业（商业），（6）其他用气，（7）生活消费用气。

图 3-7 是中国天然气主要消费结构图，从图中可以看出，我国工业使用天然气占行业中比例最高，工业天然气消费量 2005 年为 70.21%，2013 年为 66.21%，较 2005 年比例有所下降。占比排第二的是生活消费量，2005 年生活消费用气占比为 17.04%，2013 年这一比例有所上涨，比例为 18.93%。占比排第三的是交通运输仓储邮政业消费量，2005 年所占比例为 8.15%，2013 年交通运输仓储邮政业天然气消费占比上涨到了 10.31%。占比排第四、第五的是商业用气和其他行业用气，这两者的天然气消费占比变化不大，商业用气占比在 2.3%左右，其他行业用气占比在 2%左右。占比排第六的建筑业用气占的比重较小，建筑业天然气消费占比有所下降，2005 年为 0.32%，2013 年降到 0.21%。第一产业是用气占比最小的行业，2005 年用气比例为 0，2013 年用气占比为 0.04%。

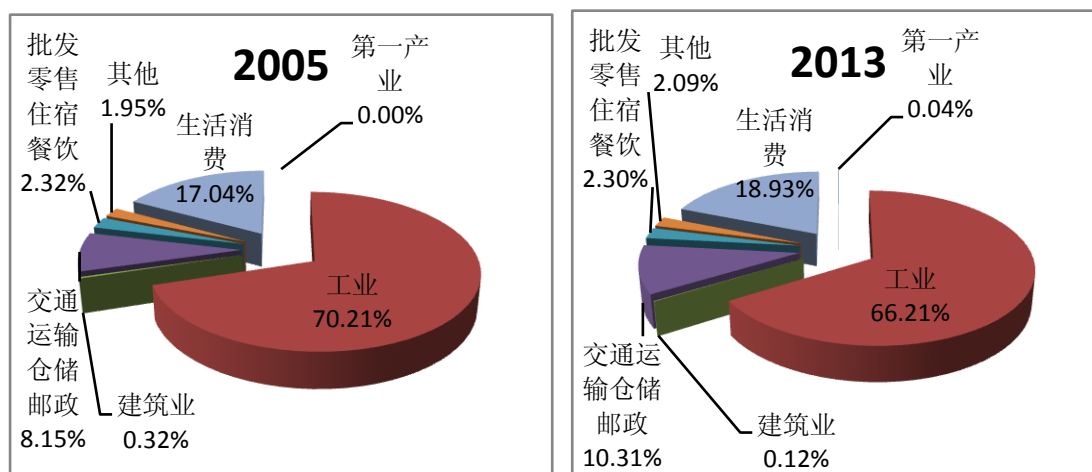


图 3-7 中国天然气主要消费结构

数据来源：中国能源统计年鉴 2014

随着经济的发展，国家对天然气行业发展的重视程度的提高，我国天然气消费快速增长，用气结构也有所调整。从 2005 年与 2013 年的天然气消费在各行业的占比情况看，工业行业用气比例从 2005 年到 2013 年有所下降，但仍然是用气比例最高的行业，2013 年占比为 66.21%。占比排第二、第三的生活消费和交通运输消费占比都有所增加，其中交通运输消费占比增长幅度大于生活消费增长幅度。商业用气和其他行业用气占比变化不大。建筑业用气比例有一定的降幅。第一产业从用气占比为零到占比为 0.04%。

### 3.5 中国天然气产业发展存在的问题

根据 BP 公司 2015 公布的数据排名显示，中国 2015 年的探明储量为  $3.5 \times 10^{12}$  立方米，占世界的 1.8%，在 2015 年储量前五为国家之列，排在第十三位。在总量上中国天然气资源探明储量相对较大，但是中国天然气产业发展仍然存在以下问题：

（1）中国作为油气大国，天然气发展潜力巨大，但是人均油气资源相对贫乏，勘探开发难度也在不断加大，勘探投入也有下降趋势。

（2）从天然气的基础设施建设来看，尽管我国油气管线建设有较大进展，与其他国家相比，我国天然气管道的基础建设水平远远低于发达国家水平。我国天然气管道等配套设施建设发展潜力非常大，任重而道远。

（3）天然气在一次能源消费中的占比低，中国能源结构不合理，煤炭消费

比重太高，油气消费比重低，特别是天然气消费比重过低。

（4）从天然气消费、生产、进口情况来看，中国天然气生产和消费都是逐年增长，但是天然气消费增速越来越快于生产量增速，特别是从 2006 年开始，天然气消费量增速一直大于生产量增速。由于天然气国内产量越来越不能满足国内消费需求，从国外进口天然气是必然选择，中国从 2006 年开始从国外进口天然气以来，天然气的对外依存度逐年提高，而且有进一步提高的趋势。

目前，中国天然气产业发展存在的问题中，最突出的问题是天然气需求快速增长，对外依存度不断提高，在这样的情况下，国家发布能源战略行动计划，提出将天然气消费占比从 5%提高到 10%，这必然会进一步增加天然气的消费需求，“十三五”期间天然气供需矛盾日益突出，为了平衡未来天然气的供需矛盾，就需要对天然气需求进行科学准确地预测。

## 4 天然气需求影响因素及模型构建

### 4.1 影响天然气需求的因素分析

要建立构建天然气需求预测系统动力学模型,必需分析影响天然气需求的相关因素。通过阅读和分析大量文献,在凌爱军(2002)、刘丹(2006)、纪向岚(2007)、赵晓琴,康振坤(2008)、周跃中、李婷(2008)、郭菊娥,柴建(2008)、邓志茹,范德成(2010)等前人的基础上,本文总结出影响天然气消耗的因素主要包含以下9个方面:国民经济因素、价格因素、产业结构、人口因素、天然气生产量、能源消费结构、天然气管道建设因素、城市化率、能源政策因素。

#### 4.1.1 经济发展水平

天然气是重要的能源资源,能源工业是一个长期需要高投入的产业,天然气产业的发展直接受到经济发展水平的影响。我国天然气需求量与GDP之间存在着非常密切的关系,张琼(2013)在基于孙彦平(2007)研究的基础上,实证分析了我国天然气需求量与GDP之间的相关关系及相关性的大小,研究成果显示:我国天然气需求量与GDP之间存在着正比例关系,考察的短期内,GDP与天然气需求量同方向变化,变化比率为0.83。因此,经济水平对天然气消耗的影响非常显著。本文选取实际GDP作为影响天然气需求的一个重要影响因素。

#### 4.1.2 价格因素

##### (1)天然气价格

根据经济学中的需求理论,决定一直商品需求数量的多少的一个重要因素就是商品的价格。依据此理论天然气的需求量应该围绕价格上下波动。

我国天然气市场处于起步阶段,一般情况下应该是价格的上涨会抑制市场对天然气的需求。张琼(2013)运用最小二乘法、数学和计量经济学的方法协整分析了广东省和全中国的LNG进口量与价格和气温的关系,研究结果表明:价格和气温都与天然气进口量明显无关。

观察我国天然气市场发展情况,天然气消耗连续增加,天然气消耗量并没有受到天然气价格的影响。深究其原因,主要是因为我国天然气订价机制与国外不同。我国天然气价格管理实行的是当局指导订价,采取的是成本加成订价法。可



以看成是上、中游国家指导定价，下游地方政府指导定价。并且我国天然气价格总体上处在较低水平，而国内天然气消耗呈刚性增长，需求弹性小，在一定的可承受范围内，价格上涨幅度比较平缓的情况下，不会影响抑制天然气需求量。

由于天然气市场还处于发展初期，大部分价格采取政府定价，并且中国统计部门没有正式公布各个能源价格，包括天然气价格，纪向岚（2007）利用生产量作为能源需求的影响因素之一，用产量间接反映能源价格的变化。

## （2）相关能源价格

相关能源价格与天然气价格差距加大时，相关能源价格对天然气需求影响较大。但是目前中国天然气价格不与相关能源价格挂钩，当不考虑对环境的影响情况下，天然气价格按照与相关能源的等热值比较时，天然气价格相对十分低廉，这也是我国天然气需求持续增长的一个原因。

天然气价格在相关能源价格对其需求量的影响过程中是一个起到桥梁作用，相关能源价格对天然气需求的影响，通过价格体现，然而目前国内，由于我国天然气价格是政府指导定价，政府为了鼓励天然气产业的发展，采取了优惠补贴的政策，我国天然气价格较低且价格浮动空间小。因此，政策原因导致相关能源价格对天然气需求的影响不显著。

本文在假定价格不变的情况下，着重研究经济结构等其他多因素对天然气需求的影响。

### 4.1.3 产业结构

依据李锐，李平，孔令丞（2008）的三次产业划分法，我国三次产业划分为第一产业、第二产业和第三产业。第一产业为农业，包括林业、牧业、渔业等；第二产业包括工业和建筑业；第三产业为除了第一、第二产业以外的其他各业。不同产业的能源消耗强度不同，所以三次产业结构中各个组成部分的占比对天然气消耗的影响较大。2005年-2014年，我国第一产业产值、第二产业产值、第三产业的产值在国内生产总值中的平均占比为10.02%、45.72%、44.25%，第二产业占比重大，并且各产业能耗指数相差较大，第二产业的能源消耗强度大于其他两个产业的能源消耗强度。产业结构随着经济发展而发生变化，三次产业结构的变化也给天然气消耗带来一定的变动。因此，产业结构的调整会影响到天然气需求量。目前我国正处于工业化推进阶段，工业部门的天然气需求量比重一直保

持较大比重。因此，本文把工业等其他行业占国内生产总值的占比作为天然气需求的影响因素。

#### 4.1.4 人口因素

人口是社会系统中最根本的组成部分，天然气的消耗需求因人而产生，人口的多少会影响到天然气的需求总量，也直接影响到天然气的消费利用方式。一般认为，在其他条件不发生变化的条件下，可以人口数量与天然气的总需求成正向变动关系，即人口数量越大，天然气消费总需求越大。人民生活水平随着经济的发展而得到改善，人口的增长也会增加天然气的消耗需求。随着我国全面发开二胎政策，在未来相当长时间内，预计我国人口将会增长。我国人口基数大，这同时是我国是亚太地天然气消费最具潜力的一个因素。因此，人口是天然气需求的一个重要原因。

#### 4.1.5 天然气生产量

在其他前提不变的情况下，供给的变动影响价格的变动，价格的变动影响需求的变动。天然气国内产量和进口构成其供给。天然气生产量的增加，会使天然气供给增加，供给的增加会使得均衡价格下降，从而促进天然气的消费。由于天然气市场还处于发展初期，价格采取政府定价，并且中国统计部门没有正式公布各个能源价格，包括天然气价格，纪向岚将生产量视为能源需求的一个影响因素，用以间接反映能源价格的变动（邓志茹，范德成（2010））。

#### 4.1.6 能源消费结构

各种能源占一次能源消费总量的比重构成了能源的消费结构。在我国的能源消费结构中，煤炭的消费比例非常高，占整个能源消费的，但是煤炭的利用效率及环保效益要与天然气相比相差甚远。天然气是高效洁净能源，利用效率高，环境污染系数小。随着我国经济的不断发展，环境问题也越发严重，国家也对环保问题越来越重视，国家出台相关政策要提高天然气在一次能源消费的比例，从目前的5%提升到2020年的10%，天然气在一次能源中的占比的提高势必会影响天然气需求总量。

#### 4.1.7 城市化进程

现在我国仍处在工业化和城市化双快速发展阶段，以住房、汽车为主的居民

生活消费结构升级带动产业结构的升级。城市化进程加速推进，提高了城镇人口比重，使得天然气生活消费人口增多，促进天然气生活消费的增长。本文将城市人口比例视为天然气消费的影响因素之一。

#### 4.1.8 能源政策因素

国家出台的关于能源的政策对于天然气消耗量的变化具有重要影响。政府关于天然气的立法和政策对天然气市场的发展起着决定性的作用。美国天然气市场的发展就是一个典型的例子，美国联邦政府根据其天然气市场发展情况，出台相关天然气法，对天然气进行价格管制，这一系列政策使得天然气市场不断扩大和发展。近几年，天然气生产和消费都在持续稳定增加，国家越来越重视环境保护问题，在政策上鼓励天然气产业的发展，比如采取补贴的方式来刺激天然气的消费等等，国家的政策为增加天然气消费、天然气市场的扩大和发展提供了支持与保障。

由以上分析可知，影响天然气需求的因素众多，但本文在建立天然气供需系统动力模型时并没有把以上所有因素都考虑进去。主要原因有以下三点：

（1）经济现象之间相互影响，各个因素之间关系错综复杂，这些因素中必然有一些对天然气需求的影响不大，把一些影响不大的因素考虑进去，反而会消除重要因素的影响；

（2）有一些因素对结果的影响不好量化，比如政策因素，由于本人认识的局限性，分析能力所限，在设定模型时，无法把所有的因素都考虑进去。

（3）本文建立的天然气需求预测模型只是现实的简化模拟。

本文主要考虑到以下几个因素：（1）国民经济因素；（2）产业结构；（3）人口因素；（4）天然气生产量；（5）天然气消费强度；（6）城市化率。

## 4.2 模型构建

本文建立天然气供应需求模型的主要目的是探讨天然气的供应、需求、经济增长、能源强度、产业结构等因素之间的关系，用以预测在新的背景下，天然气需求量及供需缺口，以期对天然气的发展提供政策建议。

本模型借鉴了李连德(2009)、李君臣,董秀成,高建(2010)、柯文岚(2012)、陈园(2013)的系统动力学模型，在此基础上，根据天然气需求的现状、影响因素及数据获得情况来构建本文的天然气需求系统动力学模型。

首先天然气需求系统概念图，确定模型边界与子系统，在此基础上绘制系统因果关系图，定性描述系统中变量间因果关系，然后通过流程图确定模型内部各要素的相互关系，通过方程确定天然气需求系统间的数量变动关系，最后通过模型检验，验证模型对天然气需求变动的还原程度。

## 4.2.1 系统界定及边界

### 4.2.1.1 系统概念图

天然气需求系统是一个涉及天然气生产、天然气进口、天然气供给、天然气消费、供需差、人口及经济发展，产业结构及能源强度等多因素的复杂系统。

想要对天然气的需求进行预测，必须分析影响天然气需求的相关因素。天然气的消耗来源于天然气的供给，供给又包括国内生产量和国外进口，所以在分析天然气消耗的同时，需要引入供应的变量、生产量、进口量。根据影响天然气需求的因素分析，得到了天然气需求系统动力学模型结构图，如图 4-1 所示，天然气需求系统动力学模型主要包括 8 个部分，分别是天然气生产，天然气进口，天然气供给，天然气需求，人口，经济发展，产业结构和能源强度。

根据结构图确定了天然气需求系统包括：消费、经济、供需和人口四个子系统。通过子系统之间相互影响、相互作用，共同拟合出当前天然气需求现状。

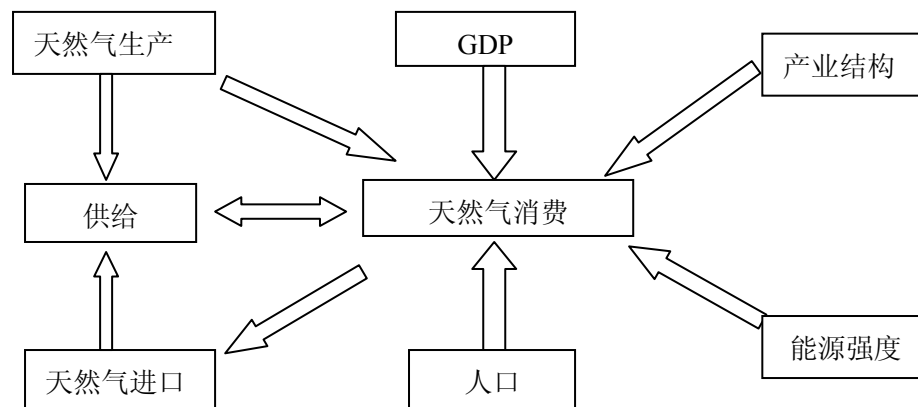


图 4-1 天然气需求系统动力学模型概念图

### 4.2.1.2 系统边界

#### （1）消费子系统

天然气主要消费对象是终端用户，天然气消费运用得是否合理也终端消费紧密相关。在消耗方面，本论文从天然气的终端消耗为出发点，从国民经济产业结

构入手，将终端消费分为：第一产业用气，第二产业用气，第三产业用气和生活用气四个方面，其中第一产业用气主要为农林牧渔水利用气；第二产业用气又分为：工业用气、建筑业用气；第三产业用气分为：交通运输用气、批发零售用气、其他行业用气。因此，本文的天然气的终端用户包括 7 个领域：第一产业用气、工业用气、建筑业用气、交通运输用气、批发零售用气、其他行业及生活消费。

### （2）经济子系统

经济子系统反应的是一二三产业结构状况，通过经济子系统，将产业、产值、行业天然气消费强度，行业天然气消费等关联起来。系统中包含了 GDP、GDP 增长率，第一产业占比，第二产业占比、第三产业占比、第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值、工业产值、建筑业产值、交通运输仓储邮政业产值、批发零售住宿餐饮业产值、其他行业产值等。

### （3）供需子系统

供需子系统反应了天然气供给与需求的供需差情况，通过供需子系统，将天然气生产、进口、供给及天然气需求等关联起来。系统中包含的指标有天然气产量、天然气进口量、天然气供给量、天然气需求量、天然气进口依存度、天然气供需差。

### （4）人口子系统

人口是社会系统中最根本的因素，天然气的消费需求因人而产生，人口的数量会影响天然气的需求总量，也直接影响天然气的消费利用方式。人口子系统中包含的指标有：总人口，人口自然增长量，人口自然增长率、城市化率、城市人口等。

#### 4.2.1.3 时间界定

模型的实际跨度为 2005 年到 2020 年，仿真时间间隔为 1 年。基准年为 2005 年，其中 2005 年到 2013 年为历史统计数据年，模型运用 9 年数据模拟当前天然气需求现状，2014 年到 2020 年为仿真预测年份。

数据来源于 BP statistical review of world energy (2015)；中国统计年鉴 (2005-2014)；中国能源统计年鉴(2014)；国内外油气资源简明数据手册(2015)及国家统计局网站。

## 4.2.2 模型的因果关系分析

### 4.2.2.1 因果关系图

根据前面绘制的天然气需求系统概念图，确定模型边界与子系统，在此基础上绘制系统因果关系图，定性描述系统中变量间因果关系，这是系统动力学模型的基础。通过对天然气需求系统结构和系统内部各要素之间因果关系的具体分析，绘制了天然气需求系统动力学因果关系图，如图 4-2 所示，反应了天然气需求系统中各因素对天然气需求的影响因果关系。

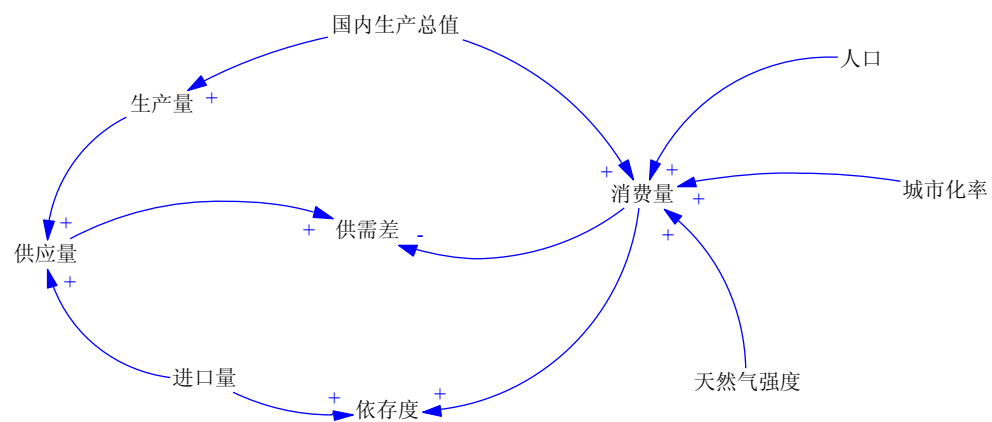


图 4-2 天然气供需系统动力学模型因果关系图

从因果关系图 4-2 中可以看出，国内生产总值、天然气强度、人口、城市化率对天然气消费量具有正的作用，GDP 对生产量具有正的作用，生产量和进口量对供应量具有正的作用，进口量和消费量对天然气依存度具有正向作用，供应量增长会使得供需差增多，消费量增长会使得供需差减少。

### 4.2.2.2 天然气消费量的原因树状图分析

根据以上因果关系图的分析，运用 vensim 软件形成天然气消费量的原因树状图，有助于理解天然气需求系统变量之间的因果关系。图 4-3 是天然气需求量的原因树状图。

国民经济的发展，需要各个产业的构建来推动，而能源产业的发展又必须要有能源的消耗来带动。从图 4-3 可以看出，通过国内生产总值、三次产业结构及

各个产业的比重可以得到各个产业的产值，各个行业的产值与各个行业的天然气消耗强度可以得到各个行业的天然气消耗量，通过各个行业的天然气消耗量可以计算出总的天然气消耗量。

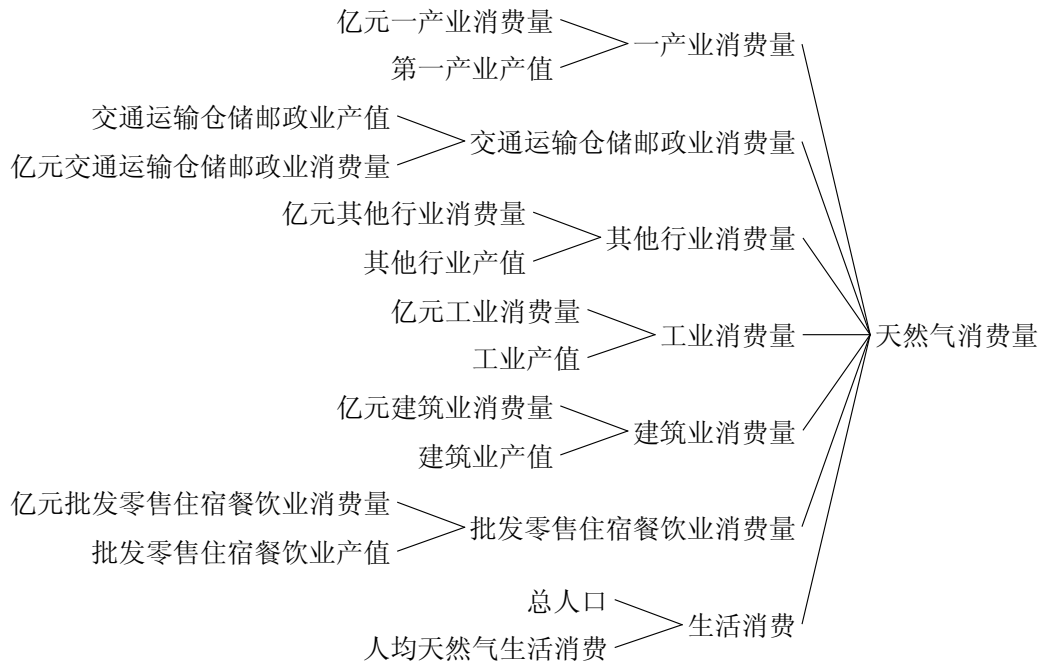
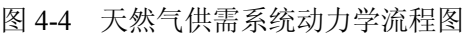


图 4-3 天然气消费量的原因树状图

#### 4.2.3 系统流程图的绘制

系统流程图是在对因果关系图进一步分析的基础上，区分变量的性质，以更加直观的符号来表示系统要素之间的逻辑数量关系，系统中的变量分为状态变量、速率变量和辅助变量，根据系统动力学流图的构建原理，绘制天然气需求系统的系统流程图（图 4-4）。

在天然气需求预测系统中，设定的状态变量有 GDP、产量和总人口；速率变量有 GDP 增长量、产量变化量、人口净增量；辅助变量有第一产业产值、第二产业产值、第三产业产值、工业产值、工业天然消费量、生活消费量等等；表函数有 GDP 增长率、二产占比、自然增长率等等。本文的 GDP 值为实际值，GDP 增长率为年平均增长率。



在以上因果关系图分析、流图分析的基础上，得到天然气供需系统动力学模型（图 4-4），模型的变量和方程如下（表 4-1），其中 L 为状态变量，R 为速率变量，A 为辅助变量，C 为常量，T 为表函数，模型中共计 50 个变量，其中 3 个状态变量，3 个速率变量，22 个辅助变量，6 个固定变量，16 个表函数。

表 4-1 中国天然气需求系统动力学模型变量及方程

36



6	第二产业产值	亿元	A	第二产业产值=GDP*二产占比
7	第一产占比	Dmnl	C	第一产占比=0.1
8	第二产占比	Dmnl	C	第二产占比=0.46
9	第三产占比	Dmnl	C	第三产占比=0.44
10	工业产值	亿元	A	工业产值=工业占比*第二产业产值
11	工业占比	Dmnl	T	工业占比=table (time)
12	建筑业产值	亿元	A	建筑业产值=建筑业占比*第二产业产值
13	建筑业占比	Dmnl	T	建筑业占比=table (time)
14	交通运输仓储邮政业产值	亿元	A	交通运输仓储邮政业产值=第三产业产值*占比 1
15	占比 1	Dmnl	T	占比 1=table (time)
16	批发零售住宿餐饮业产值	亿元	A	批发零售住宿餐饮业产值=占比 2*第三产业产值
17	占比 2	Dmnl	T	占比 2=table (time)
18	其他行业产值	亿元	A	其他行业产值=占比 3*第三产业产值
19	占比 3	Dmnl	T	占比 3=table (time)
20	产量	$10^8\text{m}^3$	L	产量=INTEG (产量变化量,493.2)
21	产量变化量	$10^8\text{m}^3$	R	产量变化量=产量*产量增长率
22	产量增长率	Dmnl	A	产量增长率=天然气生产弹性系数*调节系数*GDP 增长率
23	调节系数	Dmnl	C	调节系数=0.85
24	天然气生产弹性系数	Dmnl	T	天然气生产弹性系数=table (time)
25	进口量	$10^8\text{m}^3$	A	进口量=天然气消费量*对外依存度
26	对外依存度	Dmnl	T	对外依存度=table (time)
27	供应量	$10^8\text{m}^3$	A	供应量=产量+进口量
28	供需差	$10^8\text{m}^3$	A	供需差=供应量-天然气消费量
29	总人口	亿人	L	总人口= INTEG (人口净增量,13.0756)
30	人口净增量	亿人	R	人口净增量=总人口*自然增长率

31	自然增长率	Dmnl	T	自然增长率=table (time)
32	城市人口数	亿人	A	城市人口数=城市人口比例*总人口
33	城市人口比例	Dmnl	T	城市人口比例=table (time)
34	消费天然气人口	亿人	A	消费天然气人口=城市人口数*消费天然气人口比例
35	消费天然气人口比例	Dmnl	C	消费天然气人口比例=0.20
36	人均天然气生活消费	立方米/人	T	人均天然气生活消费=table (time)
37	生活消费	$10^8\text{m}^3$	A	生活消费=消费天然气人口*人均天然气生活消费
38	第一产业消费量	$10^8\text{m}^3$	A	第一产业消费量=亿元第一产业消费量*第一产业产值
39	亿元第一产业消费量	立方米/元	T	亿元第一产业消费量=table (time)
40	亿元工业消费量	立方米/元	T	亿元工业消费量=table (time)
41	工业消费量	$10^8\text{m}^3$	A	工业消费量=亿元工业消费量*工业产值
42	亿元建筑业消费量	立方米/元	T	亿元建筑业消费量= table (time)
43	建筑业消费量	$10^8\text{m}^3$	A	建筑业消费量=建筑业产值*亿元建筑业消费
44	亿元交通运输仓储邮政业消费量	立方米/元	T	亿元交通运输仓储邮政业消费量=table (time)
45	交通运输仓储邮政业消费量	$10^8\text{m}^3$	A	交通运输仓储邮政业消费量=交通运输仓储邮政业产值*亿元交通运输仓储邮政业消费量
46	亿元批发零售住宿餐饮业消费量	立方米/元	T	亿元批发零售住宿餐饮业消费量=table (time)
47	批发零售住宿餐饮业消费量	$10^8\text{m}^3$	A	批发零售住宿餐饮业消费量=批发零售住宿餐饮业产值*亿元批发零售住宿餐饮业消费

				量
48	亿元其他行业消费量	立方米/元	T	亿元其他行业消费量=table (time)
49	其他行业消费量	$10^8\text{m}^3$	A	其他行业消费量=其他行业产值*亿元其他行业消费量
50	天然气消费量	$10^8\text{m}^3$	A	天然气消费量=第一产业消费量+工业消费量+建筑业消费量+交通运输仓储邮政业消费量+批发零售住宿餐饮业消费量+其他行业消费量+生活消费

### 4.3 模型的检验

系统动力学模型的检验可以划分为四组：（1）模型结构的适合性检验——量纲的一致性测试、极端条件测试、系统边界测试；（2）模型结构与实际系统一致性检验——外表相像性检验、参数含义及其数值检验；（3）模型行为适合性检验——参数灵敏度、结构灵敏度；（4）模型行为与实际系统一致性检验——模型与真实系统的拟合程度测试、极端条件模拟、奇特行为测试。

#### 4.3.1 模型结构的适合性检验及与实际系统一致性检验

在建立天然气消费系统动力学模型的过程中，反复分析实际情况与现有资料，咨询相关学者等方式，检验系统因果关系、变量设置、系统流程图，初步可以判定系统方程表述合理；设置方程的过程中，始终保持方程两边的量纲一直，可以判定模型通过量纲一致性检验；在建模过程中调试系统并仔细核对，的天然气消费系统动力学模型已基本通过模型的适合性检验及模型结构与实际系统外表相像性检验。

#### 4.3.2 模型与真实系统的拟合程度测试

表 4-2 系统动力学消费量拟合程度测试

年份	总消费实际值	总消费预测值	相对误差 (%)
2005	466	461.21	-1.03
2006	573	553.794	-3.35
2007	705	657.6	-6.72

2008	813	745.143	-8.35
2009	895	826.126	-7.70
2010	1080	984.74	-8.82
2011	1341	1268.84	-5.38
2012	1497	1422.9	-4.95
2013	1705	1648.2	-3.33

(注：实际值来源于中国能源统计年鉴 2014)

关于模型与真实系统的拟合程度测试, 本文用已有的历史数据与仿真结果预测值进行误差检验, 由于篇幅限制, 本文选取天然气消费量指标进行拟合程度检验。检验的起始年份为 2005 年, 结束年份为 2013 年, 将时间步长设置为 1 年, 检验年限为 9 年, 表 4-2 是系统动力学天然气消费量拟合程度检验的结果。从表中可以看出, 天然气消费的预测值与实际值相对误差在 10% 以内, 预测值与实际值变动趋势也一致。模型中的其他变量的拟合程度检验也同天然气消费量的情况类似。因此本文的天然气需求预测系统动力学模型通过拟合程度检验, 可以用来预测中国天然气未来的消费趋势。

#### 4.3.3 灵敏度检验

本文建立天然气供需的系统动力学模型主要目的是预测天然气未来的消费量, 本文将天然气消费主要分为 7 个领域: 工业用气、建筑业用气、第一产业用气、交通运输仓储邮政业用气、批发零售住宿餐饮业用气、其他行业用气及生活消费用气。其中各行业天然气消耗量与各行业产值有关; 生活消费与人口有关。由此可以看出, 影响天然气终端消费的主要因素有人口、国内生产总值 (GDP) 以及一、二、三产业的产值比重等因素。因此我们选取与上述因素密切相关的因子如 GDP 增长率、人口自然增长率、第二产业所占比重来分析模型的灵敏度。在其他参数不变的情况下, 将 GDP 增长率、人口自然增长率、第二产业产值所占比重分别增加 1% 后, 得到这三种情况与基准情况下的仿真结果, 如图 4-5 所示。

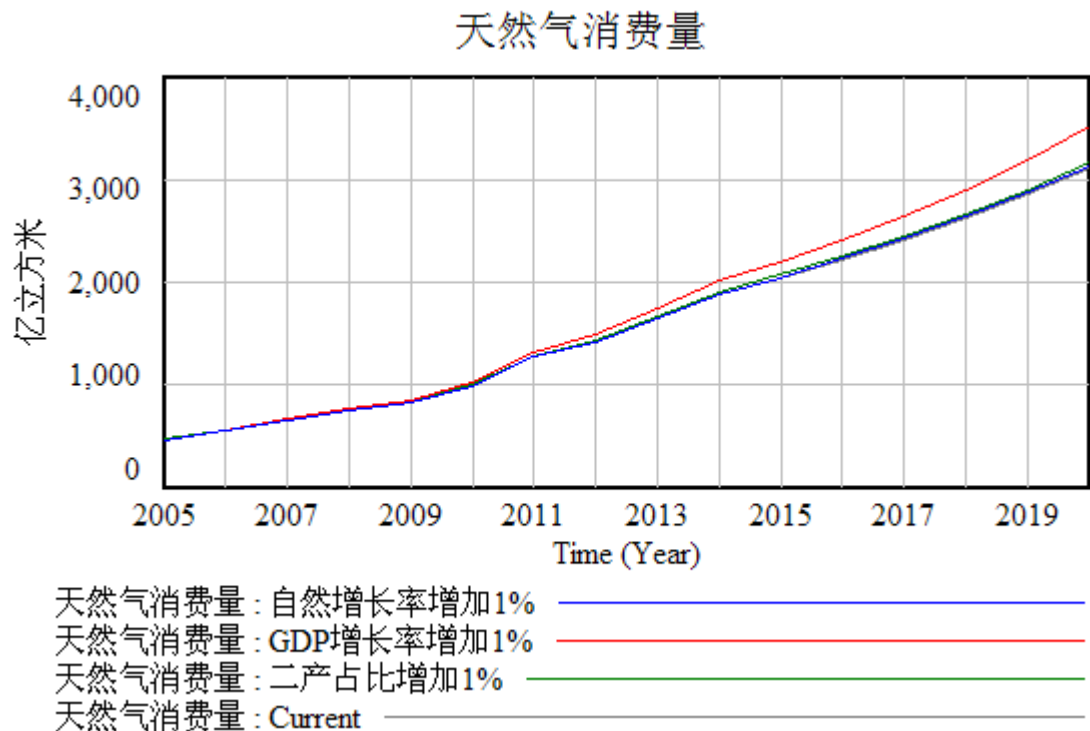


图 4-5 天然气消费量的灵敏度分析

从图 4-5 可以看出，在其他参数不变的情况下，GDP 增长率、人口自然增长率、第二产业产值所占比重分别增加 1%后，与基准情况下模型的模拟结果相比变化幅度不大。其中 GDP 增长率增加 1%的情况下，天然气消费量增加幅度相对是最大的，但是其与基准情况相比幅度还是比较平缓。GDP 增长率的增加会影响 GDP 变化量的增加，进而影响 GDP 总量的增加，而 GDP 总量的增加会直接影响工业、建筑业、第一产业、交通运输仓储邮政业、批发零售住宿餐饮业、其他行业 6 个领域的天然气消费量，因此 GDP 增长率变动会影响天然气消费量的变动，符合发展规律。

在其他条件不变，而第二产业产值占比增加 1%和人口自然增长率增加 1%这两种情况下，天然气消费量增长幅度非常小。其中第二产业产值占比增加 1%会相应的减少第一产业和第三产业的占比，GDP 在当年的总量没有增加，只是影响三产业之间的分配，因此在第二产业产值占比增加 1%的情况下与基准情况下的天然气消费量的结果相比幅度不大。生活消费量的主要因素为人口因素，模型中的人口的计量单位为亿人，人口自然增长率的数值是千分之几，相对以亿计算的人口来说非常低，因此当人口自然增长率增加 1%时，天然气消费量与基准情况下的结果相差不大。本论文模型对参数的变化不敏感，能够进行有效的预测。

## 5 天然气需求系统基本行为仿真与情景分析

### 5.1 基本行为仿真分析与需求预测

#### 5.1.1 基本行为仿真分析

构建了天然气需求预测的系统动力学模型后,运用 *vensim* 软件进行仿真,开始年份为 2005 年,结尾年份为 2020 年,将时间步长设置为 1 年,仿真年限为 16 年,运用我国 2005 年至 2013 年的实际 GDP 数据算得 GDP 平均增长率为 10.14%,因此本文将 GDP 增长率设定为 10.14%。2013 年以前的对外依存度值用历年历史值来设定,2013 年后的对外依存度的值用 2013 年的对外依存度值 30.8%来设定,运用系统进行仿真及预测。

通过运用 *vensim* 软件进行仿真,得到了 2005-2013 年期间我国天然气在其 7 大领域的消费预测情况,如表 5-1 所示,从表中的数据可以看出,天然气在各个领域的消费预测值与实际值并不是完全相等,有一定的出入,但两者拟合良好,这就说明了运用系统动力学模型进行天然气消费预测的真实性和准确性。

表 5-1 2005-2013 年我国天然气消耗总量及各领域预测值与实际值对比情况

领域	时间	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
总消费量	实际值	466	573	705	813	895	1080	1341	1497	1705
	预测值	461.21	553.79	657.60	745.14	826.13	984.74	1268.84	1422.90	1648.20
工业	实际值	327	399	480	532	578	692	876	981	1129
	预测值	320.17	380.34	436.54	575.96	522.63	612.30	816.07	925.05	1085.94
建筑业	实际值	1	2	2	1	1	1	1	1	2
	预测值	0.97	1.86	1.83	1.04	0.96	0.94	0.98	1.02	2.12
第一产业	实际值	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	预测值	0	0	0	0	0	1.11	1.06	1.09	1.17
交通运输 仓储邮政业	实际值	38	44	47	72	91	107	138	155	176
	预测值	39.05	42.58	43.03	60.38	78.30	90.86	122.48	130.40	162.37
批发零售 住宿餐饮业	实际值	11	13	17	18	24	27	34	39	39
	预测值	11.60	12.63	16.18	15.93	21.93	16.18	32.24	36.70	36.92

其他行业	实际值	9	13	16	21	24	26	27	33	36
	预测值	9.67	13.79	15.90	21.72	24.64	27.18	30.31	32.83	36.51
生活消费	实际值	79	103	143	170	178	227	264	288	323
	预测值	79.76	102.59	144.12	170.12	177.66	228.19	265.70	287.79	323.16

（注：实际值来源于中国能源统计年鉴 2014）

同时我们可以看出，天然气在不同领域的消费量不同，同一领域的天然气消费量在不同的时间段也有所不同，但在各个行业的消费量的变动方向是一样的，都是呈上升的趋势，这也使得天然气总消耗量呈快速上升趋势。

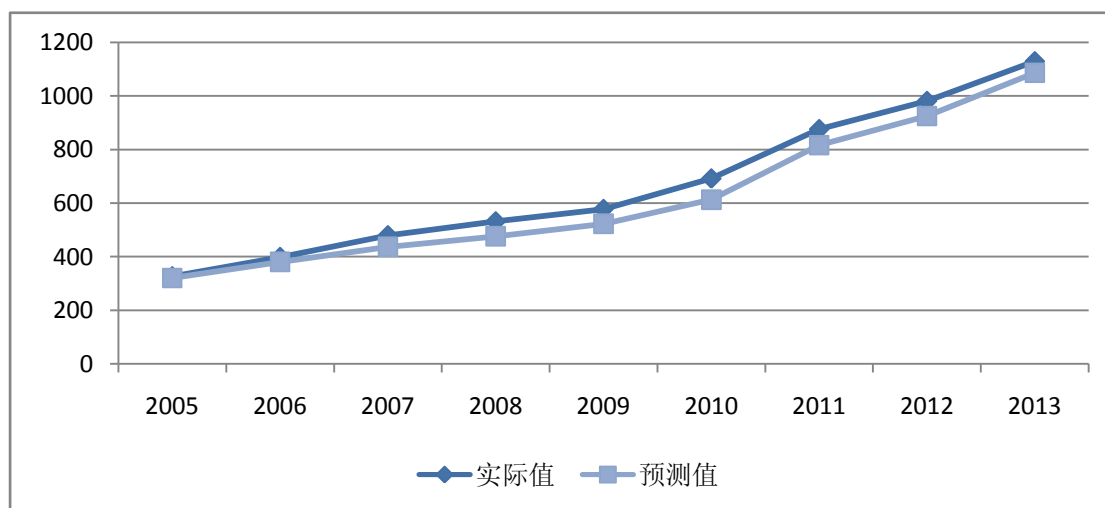


图 5-1 2005-2013 年我国天然气工业消耗量的实际值与预测值对比

在我国天然气的 7 大行业终端消费领域中，工业领域消费最大。图 5-1 是我国 2005-2013 年我国天然气工业消费量的实际消费与预测消费对比情况。由图 5-1 可以看出，天然气工业消费量的预测值与实际值存在一定的出入，但是变化趋势一致。

同时由图 5-1 可以看出我国工业天然气消耗呈稳定增长的趋势，而且每年上涨的幅度比较大，根据对图的分析，我国天然气工业消费量在未来一段时间内仍会保持稳定增长的趋势。

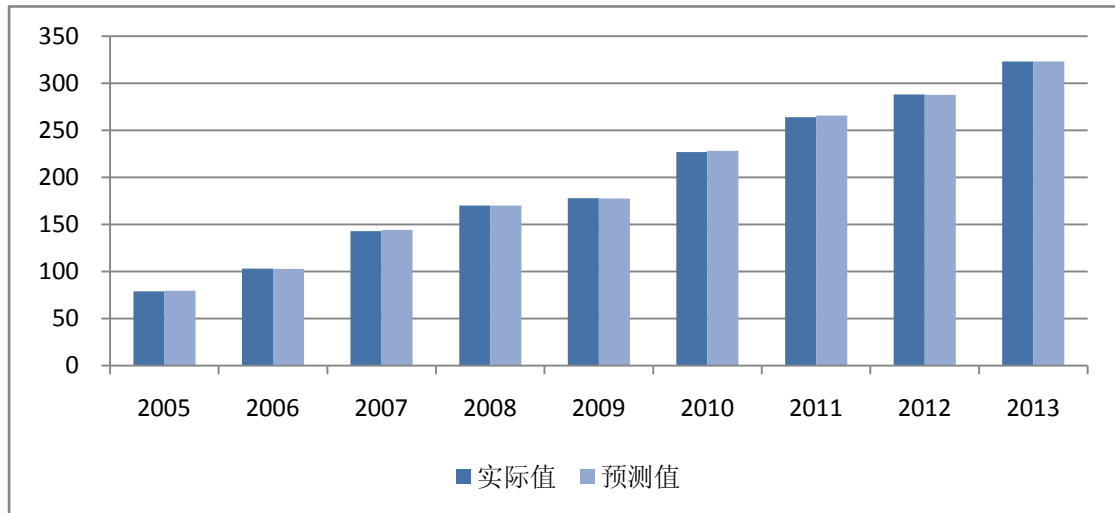


图 5-2 2005-2013 年我国天然气生活消耗量的实际值与预测值对比

在我国天然气的 7 大行业终端消耗领域中，工业领域消耗最大，其次就是生活消费。图 5-2 是 2005-2013 年我国天然气生活消耗量的实际值与预测值对比情况。由图可以看出，我国生活天然气消费呈稳步增长的趋势，每年上涨的幅度也相对较大。根据对图的分析我国天然气生活消耗量在未来一定时间段内也会保持稳定增长的态势。

随着国内经济的增长，工业化和城市化进程的步伐加速，人民生活水平的不断提升，国家政策等因素的带动，天然气消耗能力增强，天然气消耗量快速增加。

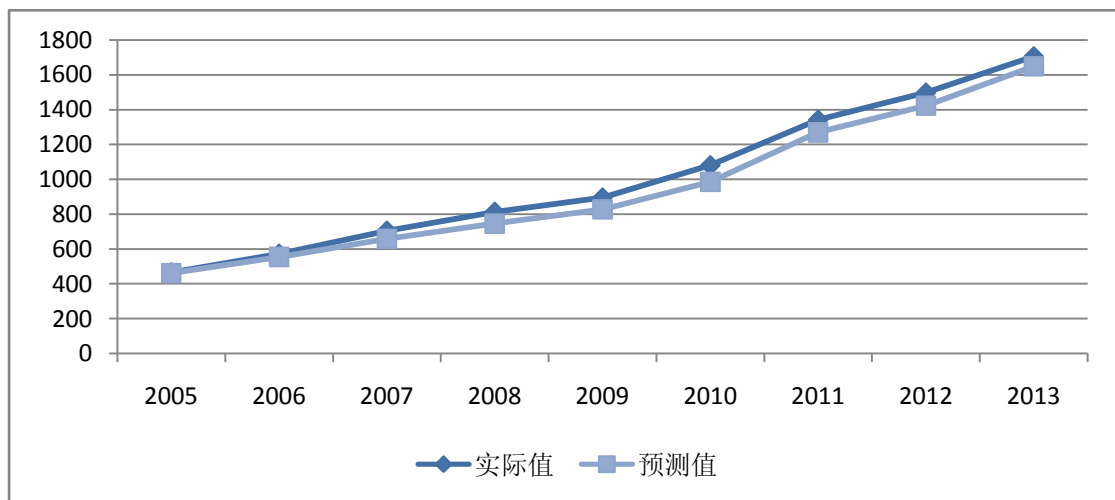


图 5-3 2005-2013 年我国天然气消耗总量的实际值与预测值对比

将天然气的各个终端消耗量加总就可得到我国天然气的整体消耗情况。图 5-3 是我国 2005-2013 年天然气消耗总量的实际值与预测值对比情况。由图可以



看出，我国天然气消耗总量的预测值与现实值拟合良好，两者总体都是呈现出稳定增长的态势。因此，本文运用天然气消费系统动力学模型能够准确把握我国天然气未来消费情况，为我国天然气的利用和开发提供重要的依据。

### 5.1.2 预测量总量分析

通过模型的仿真，得到了 2015-2020 年期间我国天然气的消费量、生产量、进口量、供应量及供应量与消费量的差值的预测情况，如表 5-2 所示。

表 5-2 2015-2020 年我国天然气消费量、供应量及供需差的预测值 单位： $10^8$  立方米

年份	消费量	产量	供应量	进口量	供需差	实际进口量	对外依存度
2015	2040.54	1279.17	1908.07	628.9	-132.47	761.37	0.3731
2016	2215.97	1368.48	2051.44	682.96	-164.53	847.49	0.3824
2017	2409.03	1464.02	2206.48	742.46	-202.55	945.01	0.3923
2018	2621.5	1566.23	2374.18	807.95	-247.32	1055.27	0.4025
2019	2855.37	1675.57	2555.6	880.03	-299.77	1179.80	0.4132
2020	3112.8	1792.55	2751.91	959.36	-360.89	1320.25	0.4241

（注：供需差是按对外依存度=30.8%（2013 年值）得到的。）

表 5-2 可以看出，随着国民经济的快速增长，天然气的消费速度也大大提高，国内生产量无法满足不断增长的天然气需求，我国已经自 2006 年起须要向海外进口天然气，只有这样才能弥补国内供需缺口。我国的天然气消耗量从 2015 年的 2040.54 亿立方米增长到 2020 年的 3112.8 亿立方米，而产量由 2015 年的 1279.17 亿立方米增加到 2020 年的 1792.55 亿立方米。按照 2013 年的对外依存度 30.8% 计算的进口量从 2015 年的 628.90 亿立方米到 959.36 亿立方米，这样产生的供需差从 2015 年的 -132.47 亿立方米到 2020 年的 -360.88 亿立方米。根据 2013 年的对外依存度 30.8% 计算的供需差为负数，说明供需缺口需要增加进口才能满足国内需求，其实际进口量因将进口量加上供需差，于是实际进口量 2015 年为 761.37 亿立方米增长到 1320.25 亿立方米，相应的对外依存度从 2015 年的 37.31% 上升到 2020 年的 42.41%，进口量的逐年上涨将导致我国天然气对外依存度不断提高。

根据模型的预测结果，我们可以得出天然气的需求量增长速度很快。要想天然气供给量满足需求的增长，必须保障天然气的进口得以顺利进行。由表可以看到供应量与需求量的差值为负值，而且差距越来越大，说明按 2013 年的对外依

存度 30.8%计算的进口量越来越不能满足国内的消费量,可见我国仍需要加大进口来满足国内的消费需求,这样会导致对外依存度越来越高,我国必须采取措施,以保障我国天然气的供应安全。

### 5.1.3 预测量结构分析

表 5-3 给出了我国天然气从 2015 年到 2020 年在各个领域的消费情况。由表可以看出,工业消费是我国天然气消费中比例最大的,而且具有持续增长的趋势,从 2015 年的 66.44%增加到 2020 年的 73.78%,如图 5-4 所示。随着经济的增长,占比重较大的工业产值也随着经济的增长而增长,进而产值的增长又刺激工业天然气消费的增加,工业天然气消费仍是带动天然气消费的主要动力。

表 5-3 2015-2020 年天然气各个领域消费量预测值 单位:  $10^8$  立方米

年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020
天然气消费量	2040.54	2215.97	2409.03	2621.50	2855.37	3112.80
工业	1416.89	1560.56	1718.80	1893.09	2580.05	2296.47
建筑业	2.57	2.83	3.12	3.44	3.78	4.17
第一产业	1.42	1.56	1.72	1.89	2.08	2.30
交通运输仓储邮政业	196.97	216.94	238.94	263.17	289.85	319.24
批发零售住宿餐饮业	49.19	54.18	59.68	65.73	72.39	79.73
其他行业	47.15	51.93	57.20	63.00	69.39	76.42
生活消费	326.35	327.96	329.57	331.19	332.82	334.46

2015 年天然气消费比例排第二的是占比为 15.99%的生活消费量,2020 年生活消费占比为 10.74%。2015 年天然气消费比例排第三的是占比为 9.65%的交通运输邮政仓储业,到 2020 年交通运输仓储邮政业的天然气消费占比上升为 10.26%。

可以看出交通运输仓储邮政领域的天然气消费增长迅速,在 2020 年交通运输仓储邮政领域的天然气消费占比与生活消费占比相差仅 0.48%。由于国家大力发展第三产业,作为第三产业组成部分的交通运输仓储邮政业产值增长较快,带动天然气消费较快。而影响生活消费的是人口,以亿人为单位的人口变化不大,城市化进程带动的天然气消费能力有限。因此生活领域的天然气消耗量的增长速度小于交通运输邮政仓储业。

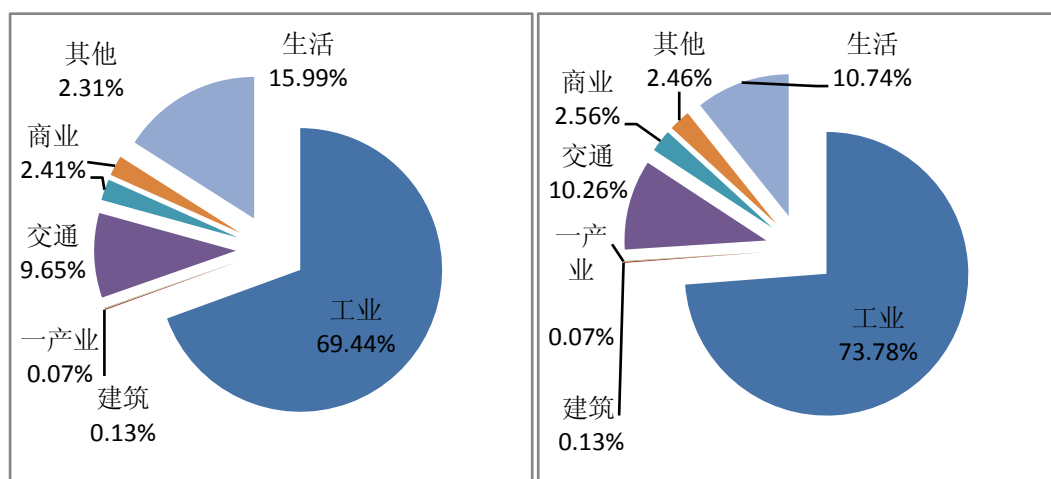


图 5-4 2015 年与 2020 年消费结构对比

其他几个领域同样会受到经济发展等因素的影响，各个行业的产值会增加，进而会增加各个领域天然气消费量，根据各行业对天然气消费强度的不同，各个行业天然气消费上涨的幅度也就不同，总体上会使得整个天然气消耗量上涨。

## 5.2 不同机构对中国天然气需求预测及比较分析

### 5.2.1 不同机构对中国天然气需求预测

表 5-4 是不同机构对 2020 年我国天然气需求的预测情况，中国石油经济技术研究院对 2020 年天然气需求的预测值为 2690-3337 亿立方米；中国石油规划总院对 2020 年天然气需求量的预测值为 3200-3600 亿立方米；IEA 和 HIS 对我国 2020 年天然气需求预测值为 3588 亿立方米和 3590 亿立方米；国务院发展研究中心对 2020 年我国的天然气消耗量预测值为 4100 亿立方米；国土资源部油气资源战略研究中心对 2020 年我国天然气消耗量的预测值 2020 年为 4200-4500 亿立方米，国内的产量为 2200-2500 亿立方米。本文的天然气需求量预测值 2020 年为 3924.56 亿立方米，产量值为 2082.98 亿立方米，需进口 1841.59 亿立方米。

表 5-4 不同机构对 2020 年我国天然气需求量的预测 单位： $10^8$  立方米

预测机构	中国石油经济技术研究院	中国石油规划总院	IEA	HIS	国务院发展研究中心	国土资源部油气中心
低方案	2690	3200	3588	3590	4100	4200-4500
高方案	3337	3600				

资料来源：国际石油经济网及作者整理

### 5.2.2 不同机构对需求预测结果的比较分析

本文对 2020 年天然气需求的预测值为 3112.8 亿立方米, 介于中国石油规划总院、IEA、HIS 和国务院发展研究中心、国土资源部油气中心之间, 每个机构预测时侧重的因素有差别, 预测结果就会存在差异, 符合常理。

本文预测结果低于国务院发展研究中心和国土资源部油气中心的预测值, 主要原因有以下几点: (1) 虽然本文中 GDP 是实际值, GDP 增长率按实际值计算, 但本文的天然气需求预测系统没有考虑天然气价格因素, 当其他条件不变时, 能源价格下降, 虽然终端价格并未下降太多, 但是天然气企业仍然获利, 还是会刺激天然气需求的上涨。(2) 本文的天然气需求预测系统没有考虑政策因素, 例如现实中的煤制气的政策大力发展。(3) 本文没有考虑环境因素以及人们对能源的消费偏好, 天然气是安全高效清洁能源, 对环境的污染小, 随着人们对污染越来越敏感, 人们出于对环境污染的规避会倾向于选择环境污染小的天然气进行消费。

## 5.3 情景分析与预测

### 5.3.1 情景设定

改变模型的参数值进行模拟, 并将其结果与模型基准情况进行比较, 这一过程称为模型对参数的灵敏度测试, 有时此过程也可以被称为对实际系统的决策分析调试。

社会经济模型中的某些参数可被称为政策参数, 即在实际系统中它的数值范围在一定程度上受人控制。一般可以认为, 在进行模型的政策参数的灵敏度测试时, 可以近似看成是在实际系统进行相应的政策变动的灵敏度测试。在测试中要是发现有较为敏锐的参数, 这就说明这个参数恰是现实系统政策分析所探求的杠杆作用点。

在第四章中, 我们讨论了模型的灵敏度问题。发现在变更 GDP 增长率、人口自然增长率、第二产业所占比重几个参数值的情况下, 天然气消耗量变化幅度较大的是 GDP 增长率, 这说明 GDP 增长率较为灵敏的政策参数。本节就分析不同 GDP 增长率的情形下天然气消耗需求的情况。

按照 2005 年到 2020 年的 GDP 实际值, 我们可以算得 2005 年到 2013 年的 GDP 年平均增长率为 10.14%, 我们将它称为基准发展情景下的经济增长速度,

第五章的系统仿真结果是在基准发展情景下得到的，即 GDP 增长率为 10.14%。

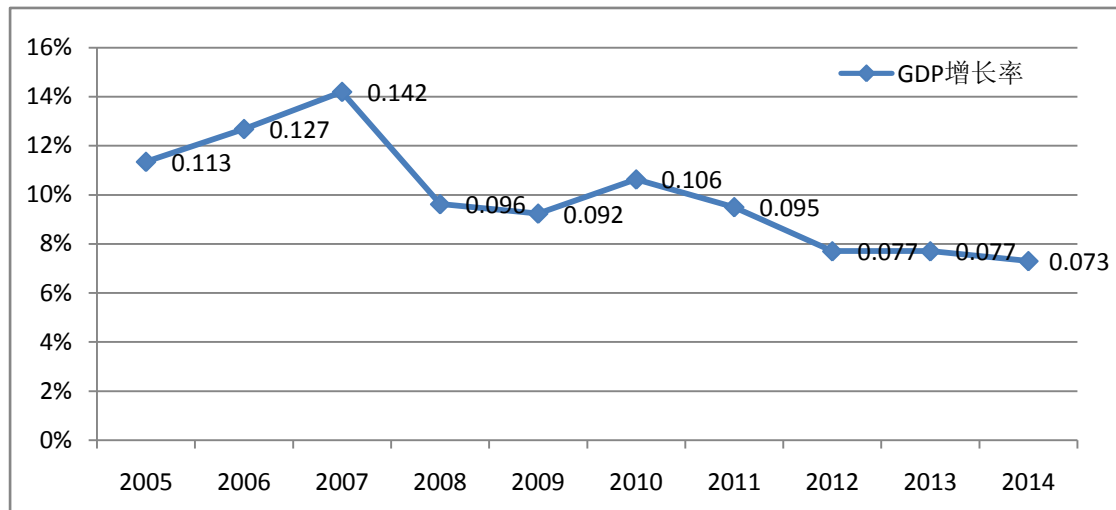


图 5-5 2005-2014 年 GDP 增长率趋势图

图 5-5 是我国 2005 年到 2014 年的 GDP 增长率变化趋势图，根据历年的经济增长速度趋势，将经济发展速度分为高速发展模式情景(GDP 增长率为 12%)、基准发展情景（GDP 增长率为 10.14%）和低速发展情景（GDP 增长率为 8%），分析不同发展情景下我国天然气的消耗情况。

### 5.3.2 情景预测结果分析

表 5-5 不同发展情景下的天然气消费量 单位： $10^8$  立方米

年份	低速情景（8%）	基准情景（10.14%）	高速情景（12%）
2005	461.213	461.213	461.213
2006	545.026	553.793	561.413
2007	637.844	657.604	675.094
2008	712.272	745.143	774.77
2009	777.178	826.126	871.052
2010	914.043	984.74	1050.82
2011	1157.43	1268.84	1374.88
2012	1277.23	1422.9	1564.07
2013	1455.71	1648.2	1838.15
2014	1629.19	1881.13	2134.3
2015	1735.14	2040.54	2353.05
2016	1849.45	2215.97	2597.86
2017	1972.78	2409.03	2871.86
2018	2105.86	2621.5	3178.56

2019	2249.46	2855.37	3521.87
2020	2404.43	3112.8	3906.19

调节在模型中的 GDP 增长率，分别预测高速发展情景和低速发展情景下我国天然气消费量，如表 5-5 所示。可以看出，天然气的消耗量和 GDP 增长率是呈正比的关系。与基准情景进行对比，经济低速发展情景下，天然气的消耗量是逐年递增的，但是增长幅度小于基准情景，到 2020 年天然气消耗量达 2404.43 亿立方米，比基准情景低 708.37 亿立方米；在经济高速发展情景下，天然气的消耗量也是逐年递增的，并且增加幅度大于基准情景，到 2020 年天然气消耗量达 3906.19 亿立方米，比基准情景高 793.39 亿立方米。高速发展模式的天然气消耗量最多，与低速发展情景下对比，2020 年的差距为 1501.76 亿立方米。

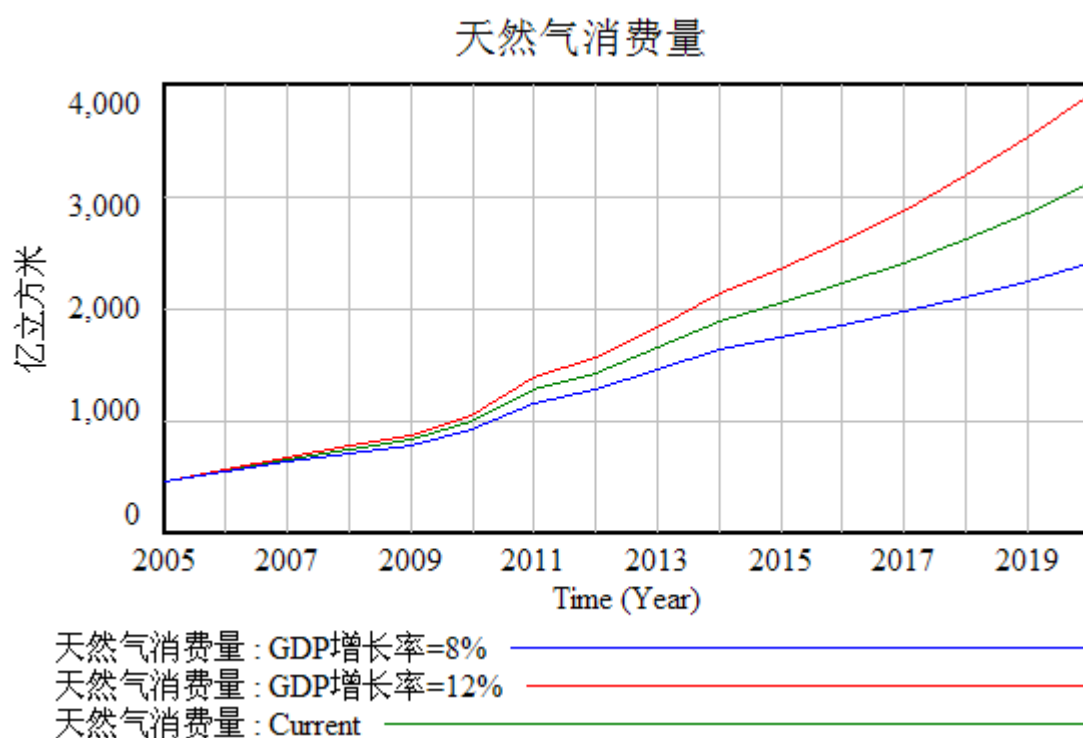


图 5-6 不同发展情景下的天然气消费量

图 5-6 是 GDP 增长率为 8%、10.14%和 12%三种不同发展情景下的天然气消费量的趋势图，由图可以看出，三种情景下的天然气消费量的趋势相同，但是变化幅度不同，基准发展情景下 GDP 增长率为 10.14%，预测得到的天然气量介于高速发展情景下 GDP 为 12%的天然气消费量和低速发展情景下 GDP 为 8%的天然气消费量，高速发展情景下天然气消费量最大。

由以上分析可以看出，天然气消费量与经济发展速度成正比关系。随着我国经济的发展，国内对天然气的消费量增加，而天然气是不可再生资源，我国天然气储量是有限的，勘探开发投入等因素的限制，国内天然气产量的增长有限，因此，未来我国天然气的供需形势将随着经济的快速发展变得严峻。在这种情形下，一些政策建议显得尤为重要。

## 6 结论与政策建议

本章内容包括研究成果总结、政策建议和研究不足和展望。其中研究成果总结包括天然气产业发展现状总结,天然气影响因素总结,天然气需求系统动力学模型和模拟仿真及情景分析结果总结。为了促进天然气产业发展,缓解天然气供需矛盾,在根据研究结论的基础上提出的了相关的政策建议。

### 6.1 结论

#### (1) 天然气产业发展现状总结

第一,我国天然气资源探明储量相对较大,天然气勘探程度较低,处于早期阶段,近两年来,油气勘探投入出现了下降情况。

第二,天然气在一次能源消费中的占比低,能源消费仍然以煤炭为主。

第三,我国天然气管道等基础设施建设水平比较落后,管网覆盖面积,管网布局等很多问题亟待解决。

第四,天然气需求快速增长,且天然气需求增速快于生产量增速,天然气对外依存度不断提高,而且有进一步提高的趋势。

国家发布能源战略行动计划,提出将天然气消费占比从 5%提高到 10%，“十三五”期间,天然气供需矛盾将日益突出。为了平衡未来天然气的供需矛盾,有必要对天然气需求进行科学准确地预测。

#### (2) 天然气需求影响因素总结

影响天然气需求的因素众多,但本文在建立天然气供需系统动力模型时并没有把以上所有因素都考虑进去。主要原因有以下三点:经济现象之间相互影响,各个因素之间关系错综复杂,这些因素中必然有一些对天然气需求的影响不大,把一些影响不大的因素考虑进去,反而会消除重要因素的影响;有一些因素对结果的影响不好量化,比如政策因素,由于本人认识的局限性,分析能力所限,在设定模型时,无法把所有的因素都考虑进去;本文建立的天然气需求系统动力学模型只是现实复杂系统的简化模拟。

本文主要考虑到以下几个因素:国民经济因素;产业结构;人口因素;天然气生产量;能源消费结构;城市化率。

#### (3) 模型总结



为了预测天然气需求,以天然气的终端消费出发,从国民经济产业结构入手,将天然气的终端消费分为 7 个领域:第一产业用气、工业用气、建筑业用气、交通运输邮政仓储业用气、批发零售住宿餐饮业用气、其他产业用气和生活消费用气。本文在影响因素分析和天然气用气领域划分的基础上构建出天然气需求系统动力学模型。

模型包括四个子系统:经济、需求、供需和人口子系统,涉及 50 个变量,其中 3 个状态变量,3 个速率变量,22 个辅助变量,6 个固定变量,16 个表函数。建立的模型通过了检验,说明建立的模型能够有效预测未来天然气需求,通过灵敏度检验,发现其中相对于其他因素,天然气消费量对经济增长速度最为敏感,符合常理,总的来说本模型对参数的变化不敏感,能够有效预测。

#### (4) 仿真结果及情景分析总结

建立天然气需求预测的系统动力学模型后,运用 *vensim* 软件进行仿真分析和情景分析,得到以下结论:

基准情景下,天然气消费量从 2015 年的 2040.54 亿立方米增长到 2020 年的 3112.8 亿立方米;产量由 2015 年的 1279.17 亿立方米增长到 2020 年的 1792.55 亿立方米;对外依存度从 2015 年的 37.31% 上升到 2020 年的 42.41%。我国天然气对外依存度不断提高,我国必须采取措施,以保障我国天然气的供应安全。

按不同的经济增长速度分情景预测了 2015-2020 年天然气消费量,依据 2005 年至 2013 年 GDP 增长率趋势,将经济发展速度分为高速发展模式情景(GDP 增长率为 12%)、基准发展情景(GDP 增长率为 10.14%)和低速发展情景(GDP 增长率为 8%),分析不同发展情景下天然气的消费情况。结果显示天然气的消费量和 GDP 增长率是呈正比的关系。

## 6.2 中国天然气产业发展对策建议

根据模型得出的结果,天然气需求增长速度大于供给速度,供需缺口会逐渐扩大,我国天然气进口依存度越来越高,2020 年将达到 42.41%,未来天然气供需形势越来越严峻,涉及到天然气供应安全的问题。针对我国天然气发展现状及未来可能发生突出问题,本文提出以下六点对策建议:

#### (1) 加大勘探开发力度,增加天然气产量

增加天然气供给是解决我国天然气供需缺口最根本的问题,在规划下游市场

有序发展的同时，要求增加天然气产量。我国天然气勘探开发还处于早起阶段，非常规天然气开发更是刚刚开始，这就要求天然气相关产业加大天然气勘探开发投入，同时要加大非常规天然气的开发的勘探开发。2006 年到 2012 年，我国油气资源勘探投入一直呈现出增长趋势，但是从 2013 年开始下降，2012 年油气勘探投入为 786.61 亿元，2013 年油气勘探投入为 786.56 亿元，下降了 0.05 亿元，2014 年油气勘探投入为 742.66 亿元，比上一年下降 43.9 亿元。因此，在国内天然气需求持续增长，供需缺口逐渐扩大的情况下，我国必须进一步加快天然气的勘探开发。

#### （2）加快推进国内天然气基础设施建设

天然气基础设施建设要跟上天然气需求和供应的步伐，在增加天然气供应气源，保障天然气供应的同时，也要加快基础设施的建设。我国天然气对外依存度的不断提高，主要原因一是因为天然气消费需求快速增长，另一个就是基础设施方面存在不配套等问题，虽然我国天然气管线总长已达到近 7 万多公里，但是我国天然气基础设施建设同其他国家相比差距还是很大。必须加快基础设施的建设，以保证天然气的供应顺利进行。

#### （3）多渠道进口、寻求替代的清洁能源、使能源供给多元化

我国是一个“富煤、贫油、少气”的国家，天然气储量其实并不丰富，天然气勘探开发还处于早起阶段，非常规天然气资源的开发尚处于起步阶段。为了弥补天然气供需缺口，从国外进口天然气成了一个非常重要的渠道。现在我国天然气进口主要是管道进口，而且还受区域分布的影响，渠道主要集中在几个国家，天然气进口风险比较高，未来减少天然气进口风险，必须从多方进口天然气，进口多元化，分散风险。另外要寻求可替代的清洁能源，比如重视天然气水合物的保护和开发，加强其公益性和商业性的结合。现在天然气水合物的开发是一个研究热点。基于此我国石油公司也可以加大天然气水合物的开发，力争取得重大突破。

#### （4）建立天然气战略储备

目前，我国天然气的战略储备体系还没有建立，只有调峰储备储气库，而且随着天然气需求的日益扩大，储气库远远不能满足用气高峰的调峰需要。在国内产量有限而对外依存度不断提高的情况下，我国应提前做好天然气战略储备措施，

这样才能保证我国天然气的供应安全，因此我国必须建立完整的天然气战略储备，提高我国的能源安全地位。

#### （5）加快同国外合作

天然气资源属于不可再生资源，随着天然气资源的不断开发利用，化石能源资源不断减少，节约能源的利用，提高能源的使用效率是未来的趋势。发展中国要向发达国家学习引进先进的能源技术，减轻能源消费的竞争。目前，我国天然气消费需求越来越大，加强同国外的合作，增进能源技术的交流越来越显得重要。

#### （6）加快理顺国内天然气价格，建设天然气期货市场

目前为止亚太地区还没有独立、权威的天然气基准价，因此亚太地区的天然气贸易价格要被动参考油价，天然气贸易价格就不能反映天然气市场自身的供需变化情况。应该推进天然气市场体系建设，东部沿海和特大型城市天然气价格应率先市场化，否则从国外进口天然气的局势难以维持长久，石油公司也缺乏积极性。合理的天然气价格有利于天然气消费市场的正常发展，这样才能使得天然气的生产、供应和销售之间形成良性的循环模式。

期货在经济发展中发挥着非常重要的作用，大宗商品国际现货贸易定价的基准就是商品期货的价格，由此，价格发现就是期货市场一个重要作用。提出建设天然气期货市场可以为天然气企业的价格风险的管理提供有效的工具，这可以保障天然气上下游企业不受市场价格波动过分干扰而得以正常经营。另外天然气属于区域性市场，我国在天然气定价方面没有话语权，因此，培育我国天然气期货市场，尽快上市我国天然气期货，有利于争夺亚太地区天然气话语权。

### 6.3 研究不足与展望

系统动力学模型涉及的因素非常多，同时模型中各个因素之间的关系比较复杂，由于时间和资源有限，有些数据资料收集不全，系统模型未能将所有因素考虑周全，本文未考虑的方面有：（1）价格因素、（2）政策因素、（3）、环境因素、

（4）人们对能源的消费偏好；模型是在前人的基础上结合天然气资源的特点进行了改进，是本人对天然气消费系统的初步研究，与现存的真实的天然气消费系统存在偏差；虽然系统动力学对数据要求较不严格，但是也是针对部分数据的缺失，天然气消费的特点之一是大规模消费历史短，不到 10 年的时间，所以数据年限较短，对模拟结果会造成一定程度的影响。因此，今后仍需对模型做进一步

完善,在数据充足的情况下,充分考虑各种因素,使预测结果更加接近真实情况。

## 致 谢

时间飞逝，三年的地大研究生生涯即将结束，在地大的三年，是我印象最深刻的三年，是我成长最快的三年，是我收获最多的三年。在此首先感谢我的母校，感谢人文经管学院，感谢经济学教研室，是你们为我提供了一个成长的平台，在这里我认识了我的导师沙景华教授及经济学教研室的各位老师，在此我要向我敬爱的导师及各位老师表示衷心的感谢，你们是我学习、成长、成熟、通往人生之路的灯塔。

地大的三年，我不仅学到了许多知识，增长了许多能力，也积累了一些科研和实习经验。回首过往三年，历历在目。在学习上，沙老师带领我们每个星期进行一次学术沙龙，集中讨论专业知识学习、科研项目、论文写作。在沙老师的带领下，我受到老师严谨认真的治学和工作态度的感染，我不仅增长了专业知识的积累，对科研工作也有了较全面的了解和参与，在参与项目和论文写作讨论中，我掌握了相关研究方法，提高了学习能力；在校外实习上，通过沙老师的介绍，我有幸在国土资源部油气资源战略研究中心实习，在单位我认识了油气中心信息室李富兵老师及其他老师，在此，感谢李富兵老师及其他老师，在单位一年多的实习，我也积累了很多实习经验；在生活上，沙老师也给予我很大的帮助，教导我很多为人处世的道理，时时关心我的生活状态，关心我的身心健康，教导我经常与老师保持联系。沙老师，您的教诲我将时刻牢记于心！

在学校学习和论文写作期间，我的导师沙景华教授一贯以严谨认真的治学态度、高度的责任心、渊博的学识，在学习方面给予我许多教导，使我得到了许多启发。在论文完成时，我在此向沙老师表示最诚挚的敬意和谢意！同时，我还要感谢任景波老师、闫晶晶老师和吴三忙老师，是你们在日常的学术沙龙上给我学习和生活上的指导，是你们抽时间对我的论文提出宝贵的意见和建议。感谢刘慧芳老师、马洪云老师和杜国银老师，是你们在我论文开题的时候给予我宝贵的意见和建议。感谢给我们授课的所有老师，是你们给予我专业上的指导和帮助。感谢 207 工作室的同门，是你们给予我帮助、鼓励及亲兄弟姐妹般的感情。感谢我室友们，是你们给予我帮助、鼓励及和谐美好的生活环境。感谢在油气中心一起

实习认识的羊博士，是你给与我生活和学习上不小的帮助。感谢我的亲人，是你们在我最艰难的时候给我以安慰、支持、鼓励，我能在求学的道路上行走至今，都是你们给予我以力量。

最后，我要感谢参加我答辩的老师，老师辛苦了！谢谢你们！愿大家接下来越来越好！

## 参考文献

- Abdel-Khalek G. Income and price elasticities of energy consumption in Egypt: A time-series analysis [J]. *Energy Economics*, 1988, 10(1):47-58.
- British Petroleum Company. BP statistical review of world energy, [J] London England British Petroleum Company, 2015.
- Bentzen J, Engsted T. Short - and long -run elasticities in energy demand: a cointegration approach [J]. *Energy Economics*, 1993, 15 (1): 9-16.
- Bohi D R. Analyzing demand behavior: a study of energy elasticities[J]. *Resources for the Future Library Collection*, 1980, 109(18):5316-5323.
- Bohi D R, Zimmerman M B. An Update on Econometric Studies of Energy Demand Behavior [J]. *Annual Review of Energy*, 2003, 9(6):105-154.
- Chi K C, Nuttall W J, Reiner D M. Dynamics of the UK natural gas industry: System dynamics modelling and long-term energy policy analysis[J]. *Cambridge Working Papers in Economics*, 2009, 76(3):339-357.
- Houthakker H S, Taylor L E D. *Consumer demand in the United States:1929—1970* [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1966.
- Istvan Vajk, Jeno Hetthessy. Load forecasting using nonlinear modeling [J]. *Control Engineering Practice* 2005, 13(7):895-902.
- Jan Bentzen, Tom Engsted. A revival of the autoregressive distributed lag model in estimating energy demand relationships [J]. *Energy*, 2001, 26(1):45-55.
- Kiani B, Pourfakhraei M A. A system dynamic model for production and consumption policy in Iran oil and gas sector [J]. *Energy Policy*, 2010, 38(12):7764-7774.
- Li J, Dong X, Shang guan J, et al. forecasting the growth of China's natural gas consumption [J]. *Fuel & Energy Abstracts*, 2011, 36(3):1380-1385.
- Lowe R. A theoretical analysis of price elasticity of energy demand in multi-stage energy conversion systems [J]. *Energy Policy*, 2003, 31(15):1699-1704.
- Liu B C. Natural gas price elasticities: Variations by region and by sector in the USA [J]. *Energy*

- Economics, 1983, 5(3):195-201.
- Marek Brabec, Emil Pelikán, Marek Maly. A nonlinear mixed effects model for the prediction of natural gas consumption by individual customers [J]. International Journal of Forecasting, 2008, 24(4):659-678.
- Mackay R M, Probert S D. Modified logit-function demand model for predicting national crude-oil and natural-gas consumptions [J]. Applied Energy, 1994, 49(94):75-90.
- Naill R F. Managing the discovery life cycle of a finite resource: A case study of the US natural gas industry [J]. Massachusetts Institute of Technology, 2007.
- Noureddine Krichene. World crude oil and natural gas: a demand and supply model[J]. Energy Economics, 2002, 24(6):557-576.
- Paul Crompton, Yanrui Wu. Energy consumption in China: past trends and future directions [J]. Energy Economics, 2005, 27(1):195-208.
- Primoz Potocnik, Marko Thaler, Edvard Govekar, et al. Forecasting risks of natural gas consumption in Slovenia[J]. Energy Policy, 2007, 35(8):4271-4282.
- Peter Smith, Sajed Husein, David Z Leonard. Forecasting short term regional gas demand using an expert system[J]. Expert Systems with Applications, 1996, 10(2):265-273.
- Ryad Zemouri, Danniell Racocanu, Noureddine Zerhouni. Recurrent radial basis function network for time-series prediction[J]. Engineering Application of Artificial Intelligence. 2003, 16: 453-463.
- 程柏良, 揭安全, 朱四海. 多模型视角下福建天然气需求预测研究[J]. 福建论坛, 人文社会科学版, 2013(11), 128-134.
- 陈园. 重要矿产资源消耗预测的系统动力学模型研究及应用[D]. 四川: 成都理工大学, 2013
- 崔立志. 灰色预测技术及其应用领域[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
- 段兆芳. 我国天然气产业可持续发展战略研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- 邓志茹, 范德成. 中国能源需求影响因素的研究[J]. 统计与信息论坛. 2010(02):65-68.
- 冯良, 张丹, 王晓庆. 上海天然气市场需求模型构建与计量分析[J]. 天然气工业, 2009(2), 120-122.
- 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 2014[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- 国土资源部油气资源战略研究中心. 世界主要国家能源战略演变及趋势[M]. 北京: 地质出版



- 社, 2015.
- 国土资源部油气资源战略研究中心. 国内外油气资源简明数据手册（2015 版）. 2015.
- 郭菊娥, 柴建. 中国能源消费需求影响因素及其影响机理分析[J]. 管理学报, 2008(5): 651-654.
- 焦文玲. 城市燃气短期负荷预测的研究[J]. 煤气与热力, 2001, 21(6): 483-486.
- 焦文玲. 城市燃气短期周期负荷预测的时序模型[J]. 天然气工业, 2002, 22(1): 92-94.
- 焦文玲, 朱宝成, 冯玉刚. 基于 BP 神经网络城市燃气短期负荷预测[J]. 煤气与热力, 2006, 26(12): 12-15.
- 纪向岚. 能源消费量影响因素的实证分析[J]. 延安大学学报(社会科学版), 2007(5): 85-89.
- 柯文岚. 鄂尔多斯市生态经济系统均衡发展研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- 孔锐, 张峭楠. 中国油气战略储备研究[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
- 凌爱军. 天然气消费预测研究[D]. 四川: 西南石油学院硕士论文, 2002.
- 刘丹. 天然气消费需求量预测方法改进研究[D]. 重庆: 重庆大学硕士论文, 2006.
- 刘鑫. 基于支持向量机模型的城市天然气需求量中长期预测研究[D]. 四川: 成都理工大学硕士论文, 2009.
- 李秀慧. 全球天然气供需格局研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2013.
- 李连德. 中国能源供需的系统动力学研究[D]. 沈阳: 东北大学博士学位论文, 2009.
- 刘涵等. 基于最小二乘支持向量机的天然气负荷预测[J]. 化工学报, 2004, 55(5): 828-832.
- 刘能铸, 陈景江, 刘开善. 重庆天然气需求的指数平滑法预测研究[J]. 湘潭师范学院学报(自然科学版), 2009(3), 31(1): 24-26.
- 李延明, 张传平. 用时间序列与线性规划分析 2020 年中国的能源结构[J]. 工业技术经济, 2011 年(5), 102-110.
- 李锐, 李平, 孔令丞. 产业经济学[M]. 大连: 东北财经大学出版社, 2008.
- 李旭. 社会系统动力学-政策研究的原理、方法和应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2008.
- 李君臣, 董秀成, 高建. 我国天然气消费的系统动力学预测与分析[J]. 天然气工业, 2010, 30(4): 127-129.
- 李润生, 瞿辉. 我国天然气产业发展面临的不确定性因素[J]. 国际石油经济, 2015(3): 1-4.
- 毛文晋, 郑寿春. 改进 GM(1, 1)模型在四川天然气需求预测中的应用[J]. 西南石油大学学报(社会科学版), 2010(11), 3(6): 19-21.

- 马惠新. 国内外天然气价格形成机制探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2011.
- 牛建娣. 我国天然气市场供需状况及发展对策分析[D]. 北京: 对外经济贸易大学硕士学位论文, 2007.
- 蒲萧云. 基于 FCM 的城市天然气供需市场复杂系统分析[D]. 北京: 首都经贸大学硕士学位论文, 2011.
- 钱兴坤, 段兆芳, 王海博. 中国天然气产业发展现状与展望[J]. 中国石油集团经济技术研究院, 专家论坛, 22-26.
- 宋明智. 中国天然气产业发展策略研究[J]. 资源与产业, 2012, 14(4): 12-18.
- 孙彦平. 中国天然气需求量与 GDP 之间关系的协整分析与误差修正模型研究[J]. 特区经济, 2007(12): 12-18.
- 檀学燕. 我国天然气定价机制设计[J]. 中国软科学, 2008, 10: 155-160.
- 王其藩. 系统动力学(2009年修订版)[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2009.
- 谢乃明, 刘思峰. 能源消费总量与结构预测分析—以江苏省为例[J]. 工业技术经济, 2009(1), 46-49.
- 杨昭, 刘燕. 人工神经网络在天然气负荷预测中的应用[J]. 煤气和热力, 2003, 6: 331-332.
- 殷建平, 黄辉. 我国天然气供求分析和未来消费政策选择[J]. 改革与战略, 2010, 26(4): 26-29.
- 赵晓琴, 康正坤, 吴凤荣. 天然气消费的影响因素及灰色关联分析[J]. 油气储运, 2008, 27(8), 5-8.
- 周跃忠, 李婷. 天然气消费需求影响因素探讨[J]. 商场现代化, 2008, 10), 187-188.
- 张丹. 2009-2015 年上海市天然气市场供需平衡研究[D]. 上海: 同济大学机械工程学院硕士学位论文, 2009.
- 周淑慧, 郜婕, 杨义, 李波. 中国 LNG 产业发展现状、问题与市场空间[J]. 国际石油经济, 2013(6): 5-15.
- 张琼. 中国天然气战略储备研究[D]. 北京: 中国石油大学博士学位论文, 2013.
- 张丹. 计量经济学方法在天然气需求模拟中的应用[J]. 上海煤气, 2008, 6: 25-31.
- 张伟. 中国天然气行业市场发展研究[D]. 天津: 天津大学硕士学位论文, 2005.
- 张立峰. 国能源供求预测模型及发展对策研究[D]. 北京: 经济贸易大学博士学位论文, 2006.

张明涛. 我国天然气市场研究[D]. 北京：中国石油大学硕士研究生学位论文, 2007.

中国统计局. 中国统计年鉴 2015[M]. 北京：中国统计出版社, 2015.

## 附 录

### 一、基本信息

籍 贯：湖北孝感

专 业：应用经济学

研究方向：产业经济理论与发展战略

政治面貌：中共党员

### 二、学习经历

2008.09-2012.07    武汉大学东湖分校    金融学    本科

2013.09-至今    中国地质大学（北京）    应用经济学    硕士

### 三、硕士在读期间参与科研项目及教材编写

[1] 2014 年-2015 年参与中国地质调查局项目《国外矿产资源供应风险评价理论和方法跟踪研究》，负责收集相关数据和文献资料，翻译外文文献，参加项目汇报研讨会，参与撰写项目报告。

[2] 2014 年 6 月-2015 年 8 月在国土资源部油气资源战略研究中心实习，期间参与中国国土资源经济研究院委托国土资源部油气资源战略研究中心项目《国内外油气资源市场监测与评价》所属工程项目《重要矿产资源市场监测与综合评价》，负责收集国内外油气资源信息及数据，分析天然气供需现状并进行预测，制作项目汇报 PPT 参加项目会议，参与撰写项目报告。

[3] 2013 年-2014 年，参与《投资理论与实践》（沙景华，2014，地质出版社）编写，协助负责整理国际投资学国际直接投资理论和方式及国际间接投资理论及方式部分。