

天然气资源 合理利用方式研究

◇ 王俊奇 著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

TE07
1

天然气资源 合理利用方式研究

王俊奇 著



中国石化出版社

内 容 提 要

本书对天然气的合理利用方式进行了分析和评价,建立了天然气用户需求预测模型、天然气用户的分级分类模型、天然气用气量的分配模型。分析了天然气利用过程中存在的不确定性,提出了天然气合理利用方式的建议与对策。

本书适合于能源工程、石油与天然气工程及相关领域的科研、技术和管理人员、相关政策的制定者及高等院校的师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

天然气资源合理利用方式研究 / 王俊奇著.
—北京:中国石化出版社,2015.8
ISBN 978-7-5114-3593-4

I. ①天… II. ①王… III. ①天然气资源-能源综合利用-研究 IV. ①TE09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 204383 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,
或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

700×1000 毫米 16 开本 9.75 印张 176 千字

2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

天然气作为一种优质、高效、清洁的能源,对优化能源结构、改善空气质量和治理雾霾等方面起着重要的作用。我国人均天然气消费量和天然气占一次能源的比重均为全球平均水平的四分之一,可以说,无论是从当前治理环境的紧迫性来看,还是从兑现我国政府向国际社会做出的碳排放承诺来看,天然气发展目标非常适宜。尽管现在天然气产业发展受到了很大的挑战,上游市场发展逐步完善,下游市场略显疲软,但国家高度重视天然气产业发展,加强对下游利用进行引导。2012年出台了新版的《天然气利用政策》,2014年出台了《能源行业加强大气污染防治工作方案》,提出2015年天然气消费比重达到7%,2017年提高到9%以上;2014年发布的《能源发展战略行动计划(2014—2020年)》和《国家应对气候变化规划(2014—2020年)》又提出2020年天然气占一次能源消费比重达到10%以上,利用量达到 $3600 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因此,我国不断加大政策支持力度,深化改革,通过市场化机制引导天然气产业的健康持续发展。本书在调研总结其他学者研究成果的基础上对天然气的合理利用方式进行了研究,可供天然气生产、管理、销售领域,还有天然气经济方面或从事天然气相关领域的科研人员和工程技术人员参考。

本书的出版得到西安石油大学优秀学术著作出版基金、教育部人文社会科学研究规划基金项目(10YJA790185)和陕西省社会科学基金项目(2014D19)的共同资助,书中的部分内容也是这些基金项目的成果记录。

在本书成书过程中得到西安石油大学石油工程学院、科技处有关领导、专家的大力协助，在此谨向他们表示衷心的感谢！硕士研究生薛方刚、张阳阳、张振杰、魏军会、苏慧、陈磊、魏辰、章佳乐，还有石油工程学院的杜文等同学为本书作出了辛勤的工作，在此表示衷心感谢！

由于本书资料来源较广，数据量较大，因此，特别向本书所引用成果和内容的专家同仁表示衷心感谢！同时感谢中国石化出版社的编辑为本书出版所作出的辛勤工作。

由于编写人员水平有限，错误之处在所难免，恳请读者和同行们批评指正。

2015年6月15日于西安



目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 天然气工业的发展历史	(1)
第二节 天然气资源概况	(3)
第三节 天然气利用模式	(6)
第二章 天然气基本知识	(10)
第一节 天然气形成和分布	(10)
第二节 天然气开采过程	(11)
第三节 天然气处理与净化	(15)
第四节 天然气输送与储存	(19)
第五节 天然气市场与贸易	(22)
第三章 天然气资源预测方法	(26)
第一节 常用预测方法简介	(26)
第二节 优化组合模型预测	(40)
第三节 天然气产量与消费量的预测	(43)
第四节 预测结果及误差分析	(58)
第四章 天然气资源利用模型	(63)
第一节 天然气用户的需求预测模型	(63)
第二节 天然气用户的分级模型	(75)
第三节 天然气用户用气量分配模型	(80)
第五章 天然气资源利用方式	(84)
第一节 天然气燃烧与应用	(84)

第二节	天然气发电	(98)
第三节	天然气化工	(105)
第六章	天然气利用的不确定分析	(111)
第一节	用户需求的不确定性	(112)
第二节	利用环节的不确定性	(114)
第三节	天然气的价格	(119)
第七章	实例分析	(124)
第一节	天然气资源基础	(124)
第二节	实例分析	(129)
参考文献		(146)

第一章

概述

第一节 天然气工业的发展历史

天然气的发展经历了漫长的历史。早在公元前十世纪，希腊帕尔纳索斯山牧民发现岩缝冒出火焰，就把这种不可解释的自然现象敬奉为神灵，在火焰燃烧处修建寺庙。女祭司把它命名为德尔斐神龛，从此这里成了卜卦问神的圣殿。这是人类最早有实物记载的天然气发祥地。公元前 50 年，意大利罗马维斯塔教堂已用地层渗漏的天然气作燃料，长明火焰照亮了狩猎女神像；随后在印度、希腊和波斯都有类似的祭坛。威尼斯旅行家马可·波罗在他的游记中写到，他于公元 1273 年路过阿塞拜疆巴库时，天然气在巴库拜火教教堂已经燃烧了好几百年。凯撒时代法国格勒诺勃也有“燃烧之泉”的记载。

我国是世界上最早发现和利用天然气的国家之一。我国天然气的发现和利用是伴随着盐业的开采而发展起来的。约在公元前三世纪，四川邛崃已经开始用天然气熬盐。邛崃出土的东汉（公元 25~220 年）画像砖上有熬盐图，画中有从井下取卤水用竹管送至盐锅处，灶上共有五口大锅，同时在灶火门处排列几根竹管通至灶内。英国著名科学家李约瑟看后大为惊叹，在其著作《中国科学技术史》中特别指出，这些并排的竹管即是输送天然气至盐锅下燃烧煮盐用的，也是研究天然气发展的珍贵文物。东晋（公元 317~420 年）时成书的《华阳国志·蜀志》中明确记载了用“井火”熬盐。“火井”这个词，是古代人给天然气井的非常形象化的名称。宋应星《天工开物》（1637 年）对于用竹管输气有详细的描述：“长竹剖开，去节，

合缝，漆布，一头插入井底，其上曲接，以口紧对釜脐”。发展到清代时，自流井有数十口锅用天然气熬盐。据《台湾府志》(1691年)记载：“从山口隙缝中如泉涌出，点之即燃，火出水中，水火同源，蔚为奇观”证明当时台湾已发现了天然气。公元1835年人工钻凿了世界上第一口超千米的深井——桑海井。据《川嵯概略》记载，该井历时3年，方始凿成。井深约合1001.42m，既产卤，又产气。当时，卤水自喷量每日约 14m^3 ，并且能日产天然气 $4800\sim 8000\text{m}^3$ ，可供熬制14t盐。盐在当时是财富的象征，现在建立的桑海井博物馆(自贡市)，保存了当年用牛汲卤、用井里产的低压天然气熬盐的真实情景。

1821年在美国宾夕法尼亚州弗里多尼亚，当地的威廉·哈特在小溪沟边散步，发现水面上冒出气泡，于是在附近钻了一口9m深的井，获得了较大气流的天然气。接着几年接通管道，照亮了附近的住户和商店。管道首先用的是木管，1825年改用铅管，1865年成立了第一家天然气公司——弗里多尼亚瓦斯及供水公司。人类自发现天然气以来的长达2000多年时间里，只是偶尔发现，没有提高到理性认识，同时缺乏天然气开采技术，都属于地方性的作坊式小规模开采。威廉·哈特在美国被称为“天然气之父”。美国是天然气工业发展最快的国家。

一般来说，将天然气田的发现作为现代天然气工业开始的标志。这个阶段的特征是世界各地不断发现天然气田，并且逐步进入开采阶段。我国于1904年在台湾首先发现天然气田，1937年在四川石油沟发现天然气田，我国开始了现代天然气工业阶段。

第二次世界大战后，由于世界经济复苏，各国开始了大规模经济建设，需要大量的燃料和原料。许多国家纷纷投资天然气的勘探开发，从而促进了天然气的开发利用。世界各国相继发现了一大批气田。法国发现了拉克气田，荷兰在北海南部发现了格罗宁根大气田，阿尔及利亚发现了哈西鲁迈勒和鲁尔德努斯大气田，利比亚发现了哈提巴大气田，伊朗发现了罕吉郎和帕扎农大气田，巴基斯坦发现了苏伊和马里大气田等。由于一系列大气田的发现，使得天然气储量和产量大幅度上升，其中发展最快的是俄罗斯、美国和荷兰。

20世纪70年代，世界出现的第二次石油危机，给依赖石油进口的国家以沉重的打击，各国开始寻求替代石油的能源，这给天然气工业大发展提供了良好的机遇。天然气开发利用进入高速发展阶段。

第二节 天然气资源概况

★ 一、天然气的资源量

国土资源部自 2007 年开始至 2014 年底进行了新一轮的全国常规油气资源动态评价。结果显示我国常规天然气(以下简称“天然气”)地质资源量 $68 \times 10^{12} \text{m}^3$, 可采资源量 $40 \times 10^{12} \text{m}^3$, 与 2007 年评价结果相比, 分别增加了 $33 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、 $18 \times 10^{12} \text{m}^3$, 增长了 94% 和 82%; 已累计探明 $12 \times 10^{12} \text{m}^3$, 探明程度 18%, 处于勘探早期。而且我国天然气资源潜力大于石油。截至 2014 年底, 全国天然气累计采出 $1.5 \times 10^{12} \text{m}^3$, 剩余可采资源量为 $38.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。天然气剩余可采资源量约为石油的 1.7 倍, 新增地质储量 90% 以上为整装、未开发储量, 进一步增储上产的潜力很大, 未来我国将进入天然气储量产量快速增长的发展阶段。

我国的油气资源主要集中在大型含油气盆地。鄂尔多斯、四川、塔里木盆地和海域等四大气区的天然气资源量、储量和产量贡献超过 80%。

★ 二、天然气的产量

2014 年, 我国天然气产量 $1243 \times 10^8 \text{m}^3$, 煤层气产量 $36.9 \times 10^8 \text{m}^3$, 页岩气产量 $12.5 \times 10^8 \text{m}^3$, 均达到历史最高水平。

油气新增探明地质储量稳定增加。天然气新增探明地质储量 $10364 \times 10^8 \text{m}^3$, 同比增长 77%, 首次突破 $10000 \times 10^8 \text{m}^3$, 创历史新高, 连续 12 年新增探明地质储量超过 $5000 \times 10^8 \text{m}^3$, 新增探明储量高位增长。在鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、东海海域、南海海域分别探明神木气田、克拉苏气田、延安气田、宁波 22-1、陵水 17-2 等 5 个千亿立方米气田。

天然气生产持续稳产高产, 天然气产量快速增长。2014 年全国天然气产量 $1243 \times 10^8 \text{m}^3$, 比 2013 年增加 $77 \times 10^8 \text{m}^3$, 同比增长 6.6%, 连续 4 年超过 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。煤层气产量 $36.97 \times 10^8 \text{m}^3$, 同比增长 26.3%。页岩气产量 $12.5 \times 10^8 \text{m}^3$, 同比增长 530%。鄂尔多斯盆地天然气产量 $426 \times 10^8 \text{m}^3$, 四川、塔里木盆地天然气产量均超过 $250 \times 10^8 \text{m}^3$, 合计占全国产量的 74.5%。

★ 三、天然气的消费量

在 1980~2008 年间, 全球天然气消费量从 $14371 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长到 $30187 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均增幅达 4.2%。由于地区经济发展的不平衡使得全球形成了北美、欧洲、亚太三大区域性天然气市场, 2008 年三大区域天然气消费量占全世界总消费量的 81%。

随着我国经济的快速发展, 人民生活水平不断提高。加上西气东输、忠武线、涩宁兰等输气管道的建成投产, 天然气消费量增长很快, 年消费量从 1995 年的 $177 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2009 年的 $874.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。消费增长高于产量增长, 天然气产量已不能满足消费需求, 也说明我国天然气消费市场发展空间仍然很大。中国历年天然气消费量及预测见表 1-1。

表 1-1 中国历年天然气消费量及预测

时间/年	消费量/ 10^8 m^3	占一次能源比例/%
1995	177.0	2.1
2000	245.0	2.5
2005	479.13	2.8
2006	561.41	3.0
2007	673.0	3.5
2008	807.0	3.8
2009	874.5	4.1
2010	960.0	5.2
2020	2500.0	10.8

★ 四、我国天然气的发展战略

为满足未来天然气的需求, 我国提出了天然气工业发展思路: 以市场为导向, 积极利用两种资源和两个市场, 即利用国内资源和国外资源、国际市场和国内市场。利用两种资源和两个市场, 除加大国内天然气资源勘探开发力度, 努力发现和开发大型气田外, 还计划从俄罗斯、土库曼斯坦以及中东和东南亚地区进口管道天然气和液化天然气, 以弥补国内资源的不足。预计未来中国将有若干天然气管网与国外管线接轨, 为我国国民经济持续、健康发展服务。

为了指导天然气利用, 国家发改委于 2007 年和 2012 年先后出台了《天

然气利用政策》。2007年版的《天然气利用政策》是在国内天然气资源量不足、供需矛盾极为突出的背景下制订的，侧重遏制不合理需求，缓解天然气供需矛盾。随着国内天然气上产，境外天然气引进，天然气资源量快速增加；节能减排力度不断加大，低碳经济发展，天然气利用空间广阔；天然气利用规模的扩大，对供气安全提出了更高要求。因此，2012年根据形势发展，修订《天然气利用政策(2012)》。

《天然气利用政策(2007)》提出以“以改善环境和提高人民生活质量为目的”，而《天然气利用政策(2012)》在此基础上，明确提出了“提高天然气在一次能源消费结构中的比重”。

在天然气利用顺序中天然气发电是调整最为积极的领域。与《天然气利用政策(2007)》相比，天然气发电是《天然气利用政策(2012)》修订的重点，除了“陕、蒙、晋、皖等十三个大型煤炭基地所在地区建设基荷燃气发电项目(煤层气(煤矿瓦斯)发电项目除外)”此条保留外，其他天然气项目将由允许类、限制类调整为优先类、允许类，调整幅度最大，主要是基于以下几点：一是相比其他能源，天然气发电综合看，成熟安全清洁，是最现实的实现低碳经济的发电能源；二是天然气供应量的大幅提升，需要天然气发电等大型用气项目支撑；三是天然气电厂启停灵活，作为可中断用户为天然气管道发挥调峰作用，有利于天然气管网的安全平稳运行；四是用于工业供热的热电联产项目，能快速增加天然气消费量；五是天然气分布式能源的综合能源利用效率高，可达70%以上。

2012版放宽工业燃料中天然气的置换领域以改善环境、促进节能减排。与《天然气利用政策(2007)》相比，在天然气利用领域中，工业燃料的利用顺序进行了适当的调整，然而从具体的调整内容看有明显的放宽迹象。比如在允许类增加了“城镇(尤其是特大、大型城市)中心城区的工业锅炉燃料天然气置换项目”。此条的加入，无疑是对国家加强PM_{2.5}指数监控的呼应。通过放宽天然气在工业燃料领域的应用，特别是在中心城区的大量利用，有利于改善大气环境，提高利用效率，促进节能减排。

无论是天然气在供不应求还是供需形势好转的情况下，国家主管部门始终坚持重视天然气安全平稳运行管理，与《天然气利用政策(2007)》相比，措施更为全面：在优先类用户中，鼓励双燃料、可中断用户以及应急和调峰功能的天然气储存设施；在保障措施中要求做好供需平衡，安全稳定保供；鼓励天然气用气量季节差异较大的地区，研究推行天然气季节差价和可中断气价等差别性气价政策；坚持以产定需，所有新建天然气利用项目(包括优先类)申报核准时必须落实气源等等。这些方面均为了实现天然气

的安全平稳运行,充分说明对安全平稳运行管理的强化和重视。

第三节 天然气利用模式

天然气作为一种优质、高效、清洁的能源和化工原料,在世界能源结构中的地位和作用不断提升。2010年,世界天然气消费量为 $3.17 \times 10^{12} \text{ m}^3$,在一次能源消费结构中占23.8%。不同国家对于天然气的利用方向不同,总体上可以归纳为三种利用模式:结构均衡型、以发电为主型以及以城市燃气为主型。

1. 结构均衡型

结构均衡型就是在天然气利用结构中城市燃气、工业燃料(国际上通常将化工类利用列入工业燃料中)和发电的比例相对比较平均,基本上是“三分天下”。

国际上属于此种模式的国家以美国最为典型。2009年,美国天然气消费量为 $6466 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气消费结构为:城市燃气占37%、工业燃料占30%、天然气发电占33%。消费结构均衡见表1-2和图1-1。

表 1-2 2009 年美国天然气消费结构

城镇燃气	37%	天然气发电	33%
工业燃料	30%		

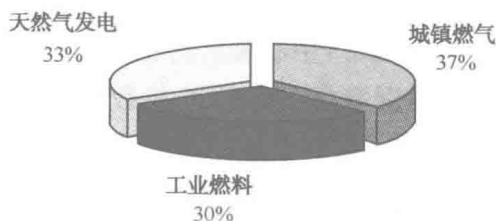


图 1-1 2009 年美国
天然气消费结构

美国天然气市场已处于成熟期,自1970年消费量达到 $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以来,40年的时间里天然气消费量呈现一个相对平稳的增长过程。2009年天然气居民用户7000万户,城市气化率为85%以上;2010年的天然气消费量达到 $6830 \times$

10^8 m^3 。由于城市燃气市场相对稳定,预计未来美国天然气消费增长主要靠工业和发电拉动,但增长幅度有限,预计2030年美国的天然气需求量为 $7400 \times 10^8 \text{ m}^3$,仅比2010年增长不到 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$,结构均衡型这一天然气利用模式在美国将持续下去。

2. 以发电为主型

以发电为主型是在天然气利用结构中天然气发电所占比例大，基本上是“发电独大”。国际上属于此种模式的国家包括日本、韩国、俄罗斯等。以日本为例，2010年，日本天然气消费量为 $945 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中近60%用于天然气发电。

日本的天然气发展是从20世纪60年代进口LNG开始快速发展起来的，为了大规模发展市场，日本把绝大多数天然气用于发电，在利用天然气的初期，天然气发电所占比例甚至超过70%。经过40多年的发展，尽管其他行业的天然气利用所占比例有所增加，但是天然气发电所占比例一直维持在60%左右。2011年发生的日本福岛核危机事件，对其天然气发电有一定的促进作用。今后天然气发电仍是主要方向，以发电为主型的天然气利用模式在日本还将持续下去。

3. 以城市燃气为主型

以城市燃气为主型即在天然气利用结构中城市燃气所占比例较大。国际上属于此种模式的国家包括荷兰、英国等。以荷兰为例，参见表1-3和图1-2，可以看出2010年荷兰天然气消费以城市燃气为主。

表 1-3 2010 年荷兰天然气消费结构

城镇燃气	56%	天然气发电	11%
工业燃料	33%		

从1959年发现格罗宁根大气田开始，荷兰的天然气消费量开始不断增加，1973年达到 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。经过近50年的发展，荷兰的天然气消费量基本上维持这一水平，2010年荷兰天然气消费量为 $436 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。目前，荷兰

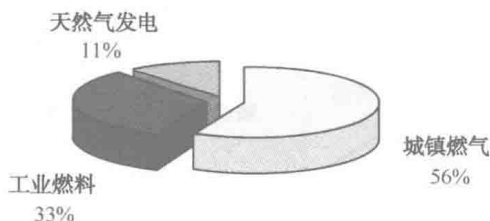


图 1-2 2010 年荷兰
天然气消费结构

各行业的天然气普及率非常高，98%的民用部门、70%的商业部门、65%的工业部门、100%的暖房种植业都在利用天然气。荷兰的天然气市场现已高度成熟，在规模和普及率上保持稳定，以城市燃气为主型的天然气利用模式将持续下去。

天然气作为一种优质高效的清洁能源和化工原料，已被广泛地应用于我国国民经济生产和生活中的各个领域，主要用于城市燃气、工业燃料、化工和发电这四大行业。2000年以来，我国天然气消费进入快速增长阶段，

2010 年我国天然气消费量突破 $1000\times 10^8\text{m}^3$ 大关，达到 $1073\times 10^8\text{m}^3$ ，在一次能源消费总量中所占比例为 4.4%。“十一五”期间，我国天然气消费增长尤其迅速，天然气消费量年均增长 $123\times 10^8\text{m}^3$ ，年均增长率为 18.5%。

“九五”前，由于没有天然气外输管道，我国基本上是就近利用天然气。由表 1-4 和图 1-3，可以看出为了利用油气田生产的天然气，1996 年我国近乎 50% 的天然气用于化工。

表 1-4 1996 年我国天然气消费结构

城镇燃气	14%	天然气发电	4%
工业燃料	37%	天然气化工	45%

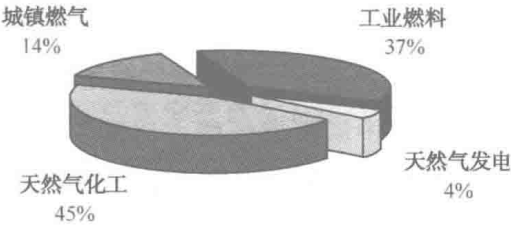


图 1-3 1996 年我国天然气消费结构

近 10 多年来，随着城市化水平和环境质量要求的提高，天然气被大量地应用于城镇燃气和工业燃料领域，天然气消费结构逐渐由以化工为主向多元结构转变，天然气利用结构不断优化，城镇燃气稳定增长，发电用气所占比例大幅提高。统计 2006 ~ 2010 年我国天然气消费结构，见

表 1-5 和图 1-4。

表 1-5 2006~2010 年我国天然气消费结构

年份 \ 项目	城镇燃气	工业燃料	天然气发电	天然气化工
2006 年	26.30%	33.90%	5.30%	34.50%
2007 年	39%	21%	17%	23%
2008 年	34%	26%	18%	22%
2009 年	24.1%	38.70%	16.90%	20.30%
2010 年	23.80%	36.20%	20.00%	20.00%

由图 1-4 可以看出，2006~2007 年城镇燃气作为天然气的主要利用方向，随后虽然有所降低，但总体上处于稳定发展；工业燃料用气比例有所下降，主要原因是其用量由最初的油气田周边自用向城市燃气转移；发电所占比例增长较大，主要原因是长江三角洲和东南沿海地区近年来新上燃

气发电项目较多；化工用气占比大幅度下降，主要原因是受到天然气利用政策的引导和价格的抑制。

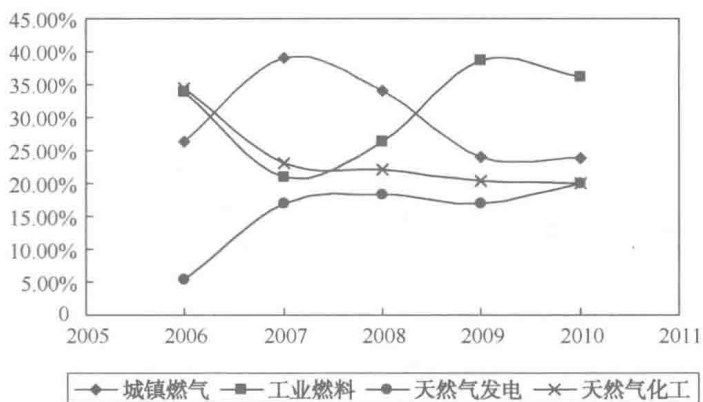


图 1-4 我国 2006~2010 年天然气消费结构图

第二章

天然气基本知识

广义的天然气泛指自然界存在的一切气体。狭义的天然气是指自然生成、在一定压力下蕴藏于地下岩层孔隙或裂缝中的混合气体，其主要成分为甲烷及少量乙烷、丙烷、丁烷、戊烷及以上烃类气体，并可能含有氮、氢、二氧化碳、硫化氢及水蒸气等非烃类气体及少量氦、氩等惰性气体。石油工业范围内，天然气通常指从气田采出的气及油田采油过程同时采出的伴生气。

第一节 天然气形成和分布

一、天然气的形成

天然气主要由深埋在地下的有机质经过厌氧菌分解、热分解、聚合加氢等过程而形成。在缺氧的条件下，随沉积物一同沉积的有机质被保存下来。随着后续沉积物的不断积累，有机质的埋藏深度不断增加。与此同时，有机质所承受的温度、压力也不断增加。当温度、压力达到一定限度时，有机质在细菌的催化作用下逐渐转化成天然气和石油。整个变化过程分为生物催化、热降解、热裂解几个阶段。

(1) 生物催化阶段 开始有机质在厌氧菌作用下发生分解，部分有机质被完全分解成二氧化碳、甲烷、氨、硫化氢、水等简单分子；部分有机质则被选择分解为较小的生物化学单体，如苯酚、氨基酸、单糖、脂肪酸。上述分解产物之间又相互作用，形成较复杂的高分子固态化合物。

(2) 热降解阶段 随着埋藏深度的进一步增加，温度和压力也不断升