

页岩气产业开发技术经济

YE YAN QI CHAN YE KAI FA JI SHU JING JI

■ 瞿国华 编著

中国石化出版社

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

页岩气产业开发技术经济

瞿国华 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

我国明确提出“促进页岩气等非常规油气资源开发利用”，因此要大力推动页岩气勘探开发，增加天然气供应，缓解供需矛盾，进一步调整能源结构，促进节能减排。值此我国页岩气产业开发的起始阶段，上海市石油学会原理事长瞿国华撰写了《页岩气产业开发技术经济》。书中内容涉及页岩气产业链上中下游开发有关的一些重要技术经济问题和开发态势，包括相应的风险分析和政策措施。全书共分为八章，即：引言、资源、页岩气生产工艺、页岩气化工对石油化工经济产生的影响、地区性市场分析、天然气上下游产业链开发若干重点环节、机遇与风险及风险规避、发展规划和产业政策（摘要），书后的附录还介绍了页岩气乙烷海运物流信息。

本书可供能源、石油和石油加工行业的有关人员学习和参考，也可供能源管理部门制订相关规划时参考，也可作为高校相关专业师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

页岩气产业开发技术经济/瞿国华编著. —北京:
中国石化出版社, 2015. 10
ISBN 978-7-5114-3662-7

I. ①页岩… II. ①瞿… III. ①油页岩资源-天然气资源-
矿产资源开发-技术经济-研究-中国 IV. ①F426.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 238495 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

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 10.5 印张 262 千字
2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷
定价: 48.00 元

页岩气语录

*国之将兴，必有“祯祥”(礼记·中庸)。页岩气就是21世纪中国优质能源开发的一个“祯祥”。

*第二次世界页岩气革命将发生在中国，因为中国页岩气储量为全球之最。

——美国页岩气之父 乔治·米切尔(George Mitchell)

*回顾世界能源发展史，19世纪石油代替煤成为主力能源，21世纪将不可避免地由天然气代替石油。未来一段时间后，天然气也可能被其他新能源所代替，但估计将是数十年乃至百年以后的事情了。目前世界正处于将天然气逐步代替石油作为一种主要能源转换的前夜。

*21世纪世界将进入天然气时代，天然气将逐步代替石油和煤作为一种主要能源，页岩气又将是接替常规天然气的主要非常规天然气资源。

*以美洲地区为核心的西半球“非常规油气中心”的出现将在未来世界能源结构和地缘政治中扮演重要的角色。它的出现总体上带有一定的偶然性，因为5年前，全球还没有人预测到它的出现。它的形成既不是计划的结果，也不是美国“能源独立”政策的成果，而是人们持续深入的基础研究和技术创新的硕果。

*“页岩气革命”的成功再次说明了一个真理——“知识就是力量”。

*由水平钻井和水力压裂技术的结合应用带来的油气勘探开采技术革命，促使美国成功开发规模巨大的页岩气田，并进一步延伸到开发出规模巨大的页岩油油田。更十分期待我国通过“页岩气革命”来进一步带动“页岩油革命”，彻底脱掉戴在我国头上“贫油国”的帽子。

*能源安全已经是影响到我国国家安全的一个重要因素，我国能源结构的调整和优化将不仅影响到国民经济的高效率可持续发展，对于当前的环境尤其是严重的大气污染来说更是一个从根本解决问题的途径和手段。

*如何借鉴国外经验，同时从中国的实际情况出发，为页岩气等非常规天然气产业发展营造良好氛围，走出一条具有中国特色的非常规天然气可持续发展的道路是当务之急。

*国有大石油公司理应成为中国页岩油气产业开发的先锋和主力军。

*要调动一切积极因素，用打“持久战”的方针来对待中国的“页岩油气革命”，争取获得最终的胜利。

前 言

能源安全是国家安全的重要组成部分。

21 世纪世界将进入天然气时代，天然气将逐步代替石油和煤作为一种主要能源，页岩气又将是接替常规天然气的主要非常规天然气资源。根据美国能源信息署(EIA)最新公布结果显示，全球 14 个(不包括美国)地理区域、48 个页岩气盆地、70 个页岩气储层、32 个国家的页岩气技术可采资源量为 163 万亿 m^3 ，加上美国本土的 24 万亿 m^3 ，总量为 187 万亿 m^3 。技术可采资源量排名前 5 位的国家依次为：中国(360825 亿 m^3 ，约占 20%)、美国(约占 13%)、阿根廷、墨西哥和南非。我国页岩气发展规划(2011~2015 年)认为，我国页岩气可采资源量为 25 万亿 m^3 ，超过常规天然气资源。上述两种出于不同时间估算的具体数字存在一定差距，但都显示我国拥有丰富的页岩气资源这一事实。

纵观近年来世界能源业发生的巨大变化，美国在天然气开发尤其是非常规天然气开发(主要是页岩气、致密气等)方面取得了举世瞩目的成就，对改变美国和世界能源的格局产生重要的影响。以往世界石油版图一直是以中东为中心，然而一张新的世界石油版图正在逐步显现，即将形成两个供油气中心：以中东地区为主的东半球“常规油气中心”和以美洲地区为核心的西半球“非常规油气中心”。西半球“非常规油气中心”将在未来世界能源结构和地缘政治中扮演重要的角色。它的出现总体上带有一定的偶然性，因为 5 年前，全球还没有人预测到它的出现。它的形成既不是计划的结果，也不是美国“能源独立”政策的成果，而是人们持续深入的基础研究和技术创新的硕果。

可以这样认为，页岩气等非常规天然气的成功开发表明当前世界上烃资源不是根本问题，根本问题是勘探开采技术的重大突破，由水平钻井和水力压裂技术的结合应用带来的石油油气勘探开采技术革命，促使美国成功开发规模巨大的页岩气田并进一步延伸到开发出规模巨大的页岩油田。水力压裂法极其灵活，美国在墨西哥湾建一个石油钻井平台可能需要数年时间，但水力压裂技术可在几周内钻一口井并开始采油。值得引起我们高度重视的是，“页岩气革命”还带动了“页岩油革命”。页岩油产量已成为近年美国原油产量增长的主要来源，2012 年，美国页岩油产量超过 200 万桶/d，占美国原油产量的 30% 以上。由于页岩油产量的快速增长，美国原油进口量显著下降。2013 年 10 月，美国原油产量达 770 万桶/d，超过进口量 760 万桶/d，改变了自 1995 年 2 月以来原油产量一直低于进口量的局面。美国能源信息署预测，2016 年美国原油产量将达到 950 万桶/d，原油进口比例将下滑至 25%。它同时预测，美国未来将超过沙特阿拉伯和俄罗斯成为世界上最大的天然气和原油生产国(世界能源展望 2013 - World Energy Outlook 2013)。

美国总统奥巴马在国情咨文中提到，美国的天然气资源将可以保证美国对天然气需求

100年以上。奥巴马在第二任期首篇国情咨文中说：“在谈论多年后，我们终于对掌握自己的能源前途有了自信，我们生产出比以往任何时候都多的天然气，所以几乎每个人的能源账单都更便宜了”。英国政府也宣布其北海区域天然气可以满足英国对天然气的消耗在50年以上。当前，开采页岩气已经成了全球的趋势，国际能源署IEA估计，全球的页岩气储备可供开采250年。这些都间接地印证了在当今世界能源结构调整中天然气的重要地位。

中国作为一个世界大国，历史上就曾是世界上最早发现、开采和利用石油及天然气的国家之一，从3000多年前周代算起，《易经》中有“上火下泽”、“泽中有火”等记载，说明可燃的天然气在地表湖沼水面上逸出气苗。同时，四川省又是中国最早使用天然气的省份，用天然气作为熬制井盐的燃料。

当今，我国国民经济和社会发展“十二五”规划中明确提出要“推进页岩气等非常规油气资源开发利用”。要求大力推动页岩气勘探开发，增加天然气资源供应，缓解我国天然气供需矛盾，进一步调整能源结构，促进节能减排。所以，我们应该高度重视页岩气等非常规天然气资源的勘探开发，把它作为一个重大的国家战略去对待。也十分期待今后通过“页岩气革命”来进一步带动“页岩油革命”，彻底脱掉戴在中国头上“贫油国”的帽子。

值此我国页岩气产业开发的起始阶段，我编写了《页岩气产业开发技术经济》一书，虽然它不是一本学术专著，但书中内容涉及到了整个天然气和页岩气产业链上有关的一些重要的技术经济问题，包括相应的政策措施，是一本涉及页岩气产业技术经济方面的书籍，可供有关领导决策和工作人员学习和参考之用。全书共分八章：第一章 导言；第二章 资源；第三章 页岩气生产工艺；第四章 页岩气化工对石油化工经济产生的影响；第五章 地区性市场分析；第六章 天然气上下游产业链开发若干重点环节；第七章 机遇与风险；第八章 发展规划和产业政策(摘要)。全书由瞿国华教授级高工编写，顾约伦高工、江志强先生二位承担部分外文资料的翻译、审核工作，上海石油天然气总公司原总工程师郭揆常教授级高工为本书编写提供了大量参考资料。对本书的不足之处，恳请读者给予批评指正。

目 录

第1章 导 言	(1)
1.1 中国能源结构调整与优化	(3)
1.2 能源效率急需提高	(3)
1.3 大气污染严重,生态环境保护压力大	(4)
1.4 天然气——一种相对清洁、高效的一次能源	(5)
1.5 中国应加速发展天然气产业	(6)
第2章 资源	(10)
2.1 天然气	(10)
2.2 全球页岩气/油资源量	(14)
2.3 我国非常规油气和页岩气资源	(16)
2.4 中国页岩气探矿权招标和中外合作	(31)
第3章 页岩气生产工艺	(33)
3.1 引言	(33)
3.2 地震成像	(34)
3.3 裂缝诱发	(35)
3.4 液力压裂	(37)
3.5 水平钻井和分支钻井	(38)
3.6 赶超世界非常规油气勘探开发技术的高水平	(40)
第4章 页岩气化工对石油化工经济产生的影响	(42)
4.1 引言	(42)
4.2 乙烷和石脑油裂解乙烯生产成本	(49)
4.3 间接法发展页岩气化工	(58)
第五章 地区性市场分析	(66)
5.1 引言	(66)
5.2 已探明天然气储量	(66)
5.3 天然气生产	(67)
5.4 天然气消耗量	(70)
5.5 天然气贸易	(72)
5.6 中国天然气市场	(75)
5.7 天然气价格	(80)
5.8 中国 LNG 产业	(84)
第6章 天然气上下游产业链开发若干重点环节	(87)
6.1 天然气储存	(87)
6.2 天然气管道建设	(90)

6.3	天然气汽车产业	(95)
6.4	大力推广分布式燃气冷热电三联供技术(DES/CCHP)	(103)
第7章	机遇与风险及风险规避	(106)
7.1	国外(美国)页岩气开发过程及经验教训	(106)
7.2	页岩气产业面临的风险分析	(120)
7.3	中国页岩气产业发展应走一条有中国特色的可持续发展道路	(122)
第8章	发展规划和产业政策	(132)
8.1	天然气发展“十二五”规划(摘要)(国家发改委2012-10-22发布)	(132)
8.2	天然气利用政策(摘要)(国家发改委2012-10-14发布)	(138)
8.3	中国页岩气发展规划(2011~2015年)(摘要)(国家发改委、财政部、国土资源部、 国家能源局2012-03-13发布)	(140)
8.4	页岩气产业政策(摘要)(国家能源局2013-10-22发布)	(146)
8.5	财政补贴标准、天然气基础设施建设与运营管理办法及对民营企业采取进一步开放 政策	(149)
附录	页岩气乙烷海运物流信息	(151)
	参考文献	(159)

第 1 章 导 言

页岩气(Shale Gas)是从页岩层中开采出来的一种非常重要的非常规天然气资源。页岩是一种主要由固化的黏土黏结的颗粒构成的沉积岩。页岩气是指从页岩地层中产生的天然气,而页岩层通常兼具天然气储层和烃原岩的双重作用。页岩地层具有多种特征和性质,这些特性随着不同地方的地层而有所变化,甚至在同一地层中也可能不尽相同。其最普遍的特性是页岩的低渗透性,以致这种岩层本身常常构成使储层中的油气无法逃逸到地层表面的封盖,页岩内聚集的天然气仅仅发生了初次运移(在页岩内)及非常有限的二次运移(在砂质岩类夹层内),正是因为这一原因,使得页岩地层既可以是天然气生成的烃原岩,又可以是气态烃生成后将其密封在储层中的盖层,具有典型的过渡性成藏机理及“自主、自储、自封闭”的成藏模式。与其他聚集类型天然气藏比较,页岩中的天然气成藏机理具有多样性的特点。正由于如此,虽然页岩气和页岩油资源在大自然中早已存在,但因为人类在过去没有掌握从页岩中将它开采出来的经济而又可靠的技术,因此一直没有引起重视,包括一些有关的专业人士也知之不多。

具备最大可渗能力(即渗透性与厚度的乘积)的页岩地层一般埋得并不太深,因而是储层压力较低的那一类岩层。与之相比,储层压力最高的页岩层,例如美国的巴奈特(Barnet)页岩区,则往往是可渗能力最差的。

页岩气是一种主要的非常规油气资源,后者泛指不能用常规方法和技术手段进行勘探开发的油气资源,一般包括致密砂岩气、致密油、油砂、油页岩、页岩气、煤层气、可燃冰等。对于非常规天然气而言,致密砂岩气、页岩气和煤层气是三种主要的品种,不要混淆页岩气与致密气的概念,后者是另一种形式存在的非常规天然气,它是经由各种不同的机理被截留在不渗透的岩石储层中,通常是砂岩储层,有时候也可能是石灰岩储层。

常规油气资源和非常规油气资源之间的界线随着科技的发展和价格的变动而变化,不同国家的界定也不尽相同。如大部分致密砂岩中的石油、天然气,在中国都已经可以被开发,因此不再强调它的非常规性,并往往放在常规油气资源中考虑并统计。

全球非常规石油可采资源量达 6000 亿吨,是常规石油资源量的 1.2 倍;非常规天然气资源量达 921 万亿立方米,是常规天然气资源量的 2 倍多,在常规油气资源日益枯竭的情况下,非常规石油资源的开发已经提到极为重要的地位,也取得了重要的成果。目前全球油气勘探的趋势是:在油气资源上,从常规向非常规拓展;在勘探深度上,从中浅层向到深层甚至超深层;在勘探地域上,从陆地区域延伸到深水区域。

中国的天然气资源量比较丰富。中国天然气地质资源量近 250 万亿 m^3 ,可采资源量约 80 万亿 m^3 。其中常规气地质资源量为 52 万亿 m^3 、煤层气资源量为 36.8 万亿 m^3 、页岩气资源量为 134 万亿 m^3 。无论是资源量还是可采资源量,页岩气均占首位,中国页岩气资源在全球排名也列首位,见表 1-1。

表 1-1 中国天然气资源量构成

万亿 m³

类型	地质资源量	可采资源量
常规气 ^①	52	32
致密气 ^②	17~25	8.8~12
煤层气 ^③	36.8	10.8
页岩气 ^④	134	25
合计	240~248	77~85

① 新一轮油气资源评价和全国油气资源动态评价(2010年)。

② 中国石油勘探开发研究院(2011年)。

③ 国土资源部(2006年)。

④ 国土资源部(2012年)。

总之,非常规油气资源开发以其储量大、分布集中、开发技术日趋成熟等特点,成为西方发达国家(尤其是美国)能源开发的重点,也是国际大石油公司未来发展的重要动力。埃克森美孚、壳牌和道达尔等公司的非常规资源开发在公司资源中所占比例高达50%~70%。在支撑大石油公司的中长期增长重大项目中,埃克森美孚非常规类资源高达91%。壳牌在建项目中,非常规油气产量占比88%。值得引起我国中石油、中石化和中海油等国有大石油公司重视。

当前应该特别注意到页岩气等非常规天然气开发将在我国能源产业中占有重要地位。进入2000年以来,中国的能源消费总量呈高速增长的态势。从2000年的14.5531亿t(标准煤)增长到2012年的36.1574亿t(标准煤)(详见表1-2),平均年增长率达到7.9%。据BP的统计结果,从2010年开始,中国的能源消费总量已超越美国,成为了全球最大的能源消费国。

表 1-2 2000~2012 年中国能源消费总量及构成

年份	能源消费总量/ 亿(标准煤)	占能源消费结构的比重/%			
		煤炭	石油	天然气	水电、核电、风电
2000	14.5531	69.2	22.2	2.2	6.4
2001	15.0406	68.3	21.8	2.4	7.5
2002	15.9431	68.0	22.3	2.4	7.3
2003	18.3792	69.8	21.2	2.5	6.5
2004	21.3456	69.5	21.3	2.5	6.7
2005	23.5997	70.8	19.8	2.6	6.8
2006	25.8676	71.1	19.3	2.9	6.7
2007	28.0508	71.1	18.8	3.3	6.8
2008	29.1448	70.3	18.3	3.7	7.7
2009	30.6647	70.4	17.9	3.9	7.8
2010	32.4939	68.0	19.0	4.4	8.6
2011	34.8002	68.4	18.6	5.0	8.0
2012	36.1574	67.5	19.0	5.3	8.2

注:来源于国家统计局《中国统计年鉴》。

1.1 中国能源结构调整与优化

全球一次能源是以石油、煤炭、天然气为三大支柱。就能源结构而言,我国高度依赖于煤炭,而即使对于日本等化石能源基本是进口(进口依存度接近100%)的东亚国家,它的煤炭所占的比例也不过五分之一左右(见表7-1)。尽管近年来天然气和可再生能源在我国一次能源消费结构中的比例不断上升,石油所占比例有所下降,煤炭在一次能源消费结构中的比例仍然高达70%左右(见表1-2)。与世界其他能源消费大国相比,我国的煤炭消费比例明显偏高,天然气比例明显偏低^[1,2](见图1-1)。

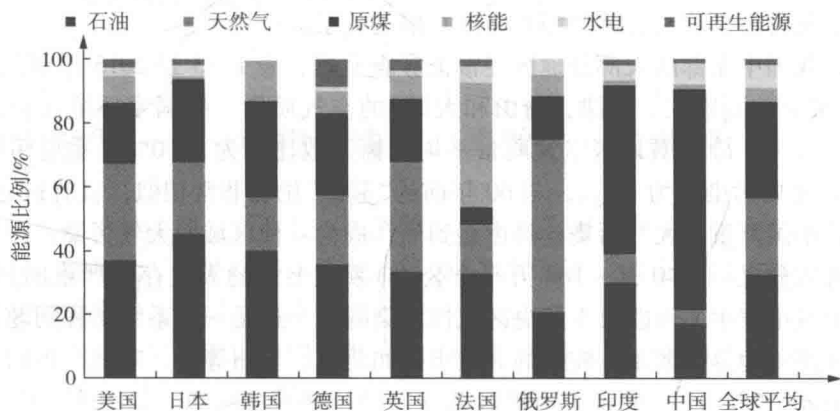


图1-1 2012年全球及部分国家能源消费结构
(数据来自BP公司)

1.2 能源效率急需提高

由于我国过去长期以粗放式经济增长为主,能源利用技术水平较低,能源结构又以能效最差的煤为主,造成了国民经济能源效率较低,2012年单位GDP能源消费量是世界平均值的2倍左右,是发达国家的3~5倍(图1-2),位于全球排名的倒数第二。导致能源需求与经济矛盾的矛盾越来越突出,这种局面亟待改观。

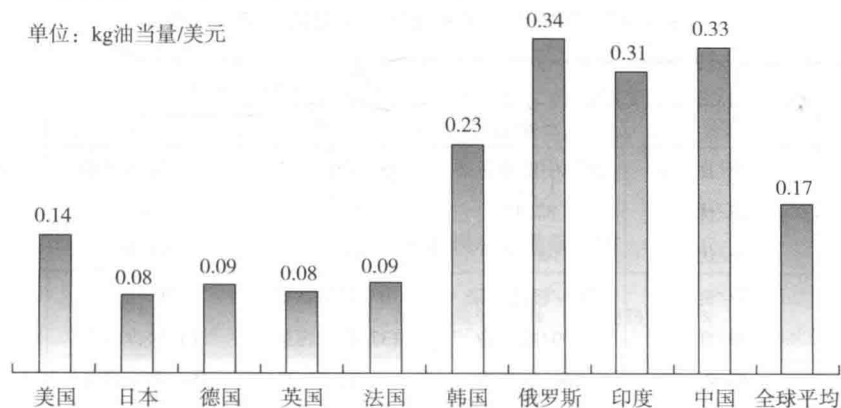


图1-2 2012年全球及部分国家单位GDP能耗情况
(GDP数据来自IFM, 能源数据来自BP公司)

1.3 大气污染严重，生态环境保护压力大

导致我国环境污染日益加重的根本原因是能源消费规模绝对量的大幅增加和以煤为主的能源消费结构。目前，导致大气环境严重污染的实际原因可能有不同的观点，但大量使用煤炭作为燃料和工业原料是主要原因的观点还是比较统一的。对于煤炭而言，无论是其使用的数量还是煤的质量方面所造成的环境影响都是其他能源不能比拟的。2011年煤炭全国消费量为34.2950亿t，同年石油消费4.5378亿t，前者是后者的7.55倍，如煤炭平均含硫量按0.8%计算，石油经过精炼以后，汽油(国-4)的含硫量只有50mg/kg，前者是后者的16倍，二者对大气硫化物污染物总贡献量相差是成百倍的关系。

近年来，我国中东部的大部分地区经常被雾霾笼罩，表1-3是2013年初北京和周边5大城市(包括北京、石家庄、天津、唐山和太原)的空气质量。据国家环境保护部公布的数据，2013年上半年，京津冀地区空气质量平均达标天数比例为31.0%，重度污染以上的天次达26.2%，主要污染物为PM_{2.5}，与60年前的“雾都”伦敦非常相似，且有过之而无不及。主要原因是：中国严重的大气污染已经由点到面，成为一种区域性大气污染，在960万平方公里国土上有六分之一(140万~160万平方公里)领土上空的大气存在严重的污染。因此，仅仅单从一个城市着手不可能根本解决区域性污染问题。这是一个系统工程问题，对于一些周围处于山区或盆地等扩散条件较差的大城市，如北京、兰州等地，本地产生的污染可能是大气污染的主要(或重要)贡献者，而扩散条件好的一些平原城市，如上海、广州等则主要是输入性的污染物造成当地大气污染。因此，针对当前严重的雾霾问题，人们不仅要研究各种污染物的产生及其在大气中的扩散过程，也要研究整个区域中大气污染物产生后的迁移问题，后者借助于风力输送的推动作用，其速度高于自然扩散速度。也就是说，不仅要研究污染产生的热力学平衡，包括成分分析、原因分析，更要研究污染扩散和迁移的动力学理论及动态平衡。总之，严重的大气污染已经影响到人们的生活、身体健康甚至威胁生命安全，也严重影响到国民经济的正常运转，尤其是交通安全问题，环境治理已经成为当务之急。治理大气污染首要的是要找到产生污染的真正原因，加强对原料、燃料使用的控制，优化能源结构，加快推进以绿色和低碳技术为标志的能源革命是我国改善生态环境的必然选择。

表1-3 2013年初北京及周边主要城市空气质量

时间	污染指数/空气质量				
	北京	石家庄	天津	唐山	太原
2013-01-01	71/良	262/中度重污染	151/轻度污染	147/轻微污染	102/轻微污染
2013-01-02	27/优	82/良	42/优	56/良	55/良
2013-01-03	35/优	100/良	48/优	59/良	68/良
2013-01-04	57/良	167/轻度污染	105/轻微污染	93/良	104/轻微污染
2013-01-05	79/良	500/重污染	137/轻微污染	161/轻度污染	120/轻微污染
2013-01-06	58良	500/重污染	110/轻微污染	184/轻度污染	131/轻微污染
2013-01-07	105/轻微污染	500/重污染	157/轻度污染	158/轻度污染	180/轻度污染
2013-01-08	124/轻微污染	500/重污染	181/轻度污染	179/轻度污染	125/轻微污染

续表

时间	污染指数/空气质量				
	北京	石家庄	天津	唐山	太原
2013-01-09	32/优	372/重污染	63/良	92/良	67/良
2013-01-10	87/良	437/重污染	126/轻微污染	135/轻微污染	102/轻微污染
2013-01-11	232/中度污染	500/重污染	216/中度污染	382/重污染	162/轻度污染
2013-01-12	174/轻度污染	500/重污染	424/重污染	458/重污染	82/良
2013-01-13	498/重度污染	500/重污染	151/轻度污染	295/中度重污	128/轻微污染
2013-01-14	184/轻度污染	456/重污染	136/轻微污染	185/轻度污染	156/轻度污染

注：数据来源于中华人民共和国环境保护部。

1.4 天然气——一种相对清洁、高效的一次能源

天然气是一种相对清洁、高效的一次能源，西方发达国家有良好的大气环境，得益于天然气和其他清洁能源的广泛使用，即使在能耗最高的俄罗斯，由于能源结构中天然气占到很大比例，因此俄罗斯大气环境也非常好。

在产生相同能量的情况下，使用天然气的二氧化碳排放量分别为煤炭和石油的 56% 和 71%，氮氧化物的排放量为煤炭和石油的 20%，二氧化硫和粉尘颗粒的排放量几乎可以忽略不计，详见表 1-4。

表 1-4 天然气、油和煤的排放量对比

磅/10¹² Btu

排放物	天然气	石油	煤炭
二氧化碳	117000	164000	208000
氮氧化物	92	448	457
二氧化硫	1	1122	2591
粉尘颗粒	7	84	2744

注：数据来自 EIA，1998 年。1 磅 = 0.4536kg，1 英热单位 (Btu) = 1055.056J。

与煤炭相比，天然气在各种应用领域的效率均较高。以发电为例，我国火力发电的平均能量利用效率为 35% 左右；整体煤气化联合循环发电技术 (IGCC) 的能量利用效率在 45% 以上；目前燃气联合循环发电 (CCGT) 的能量利用效率在 55% 左右；而天然气冷热电三联供 (DES/CCHP) 的能量综合利用效率可超过 80%，详见表 1-5^[3]。

表 1-5 天然气和煤炭利用效率比较

燃料	发电效率	工业锅炉热效率/%	民用热效率/%	化工能耗/ [kg(标准煤)/t(氨)]
煤炭	火力发电 35% 左右，IGCC45% 以上	65 ~ 80	15 ~ 30	1800 ~ 1600
天然气	CCGT55% 左右，DES/CCHP80% 以上	85 ~ 90	55 ~ 65	1200 ~ 990

1.5 中国应加速发展天然气产业

综上所述,在未来的几个五年计划中中国应优先加速发展天然气产业(包括非常规天然气产业)。中国工程院的研究指出^[4],到2030年中国天然气供应量可达到4000亿~5000亿 m^3 ,在一次能源消费总量中的比例为11%~14%。另有研究认为,2020~2030年中国天然气消费量规模最高可以达到6000亿 m^3 ,绝对消费量有成倍增加,并将产生重大的影响。必须指出的是,即便是达到上述水平,与目前世界能源消费中天然气占的平均水平比例23.9%相比,中国天然气在能源消费结构中的比例仍偏低。而且,在天然气占一次能源消费比例提升的同时,煤炭的消费比例应该下降,总用能效率要有所提高。能源结构调整的方向应该是以气代煤,而不是以气代油,否则仍然不可能解决效率低下和大气污染严重的问题。

1.5.1 中国天然气产业发展的目标建议

中国天然气产业发展的目标建议(“十二五”天然气发展规划目标见第8.1.2节)是:

①天然气在一次能源中的消费比例中远期目标应超过30%,在国内天然气生产量中非常规天然气将占到重要的份额。

②建成覆盖全国各地、互联互通、高效安全灵活的现代化管网体系和应急调峰体系。

③形成以中国为中心的全球天然气人民币体系。

④对于非常规天然气开发,争取用20年时间赶上世界发达国家水平^[5]。

今后,中国天然气产业发展过程中非常规天然气要得到迅速发展,并很快达到天然气总产量的一半左右,继续发展后将逐步超过常规天然气的产量。这方面,美国用了20年时间达到了这个水平,2010年其非常规天然气占当年天然气总产量近60%。中国非常规天然气资源丰富,若攻关顺利,也可以争取用20年的时间使非常规天然气产量占到天然气总产量的“半壁江山”。早期曾有预计认为中国到2010年,天然气产量可达2000亿 m^3 ,其中常规天然气产量1300亿 m^3 ,非常规天然气产量700亿 m^3 (其中致密砂岩气500亿 m^3 、煤层气150亿 m^3 、页岩气50亿 m^3);2030年中国天然气总产量达到3500亿 m^3 ,其中常规天然气产量1500亿 m^3 ,非常规天然气产量2000亿 m^3 (其中致密砂岩气1000亿 m^3 ,煤层气500亿 m^3 ,页岩气50亿 m^3),届时非常规天然气产量将占中国天然气总产量的近60%。实际发展情况与预测是有差距:2012年国内天然气产量1077亿 m^3 ,同比增长6.5%;天然气进口量(含液化天然气)425亿 m^3 ,增长31.1%;天然气表观消费量1471亿 m^3 ,增长13.0%。2013年,全国天然气产量1209亿 m^3 ,其中常规天然气产量1177亿 m^3 ,净增105亿 m^3 ,同比增长9.8%;煤层气和页岩气分别超过30亿 m^3 和2亿 m^3 ,2013年天然气产量没有达到预计要求,仅为预计值(2010年)的60.5%;非常规天然气产量和预计值(2010年)相比的差距更大,分别是20%(煤层气)和4%(页岩气)。在天然气勘探方面,四川盆地中部取得重大进展,新增探明天然气地质储量4200亿 m^3 ,是我国目前最大的单体气藏。非常规油气资源勘探开发取得新突破,中国石油在长宁—威远地区、富顺—永川地区,中国石化在涪陵地区页岩气新建产能6亿 m^3 ,年产气超过2亿 m^3 。

中国一次能源消费长期以来以煤为主,2010年中国一次能源消费量为35亿t标煤当量,其中煤炭消费量为26亿t标煤当量,占总消费量的70%;天然气总消费量折合1亿t标煤当量,占总消费量的4%。今后,若保持石油消费量比重基本不变,由于加快发展天然气和其

他清洁能源的发展,中国煤炭在一次能源消费中比重有望下降到50%左右甚至更低,在能源结构得到改善以后它的巨大经济效益和社会效益将会进一步呈现。此外,中国自身天然气的快速发展,将促使中国在进口天然气、能源安全、应对碳排放谈判等方面掌握主动权,为中国经济社会发展创造更为良好的条件。

1.5.2 天然气产业发展举措

(1) 充分发挥资源优势,确保天然气供应量快速增长

① 立足国内天然气资源基础,系统分析供应潜力。

美国页岩气革命使其在2009年再次成为全球第一大天然气生产国,并且产量还将不断增加,预计2020年将超过7000亿 m^3 ,实现天然气由净进口国向净出口国的转变,其非常规天然气工业发展历史为我国非常规气开发提供了经验借鉴。目前中国国内天然气产业发展总的情况是:常规气、致密气已实现规模开发,煤层气开发力度不断加大,页岩气勘探开发刚刚起步,天然气水合物正开始探索。对于页岩气开发而言,起始阶段遇到了相当大的困难,虽然2014年3月中国石化宣布将在2017年建成国内首个百亿立方米页岩气田——重庆涪陵页岩气田(资源量为2.1万亿 m^3)。我国国有石油公司在非常规油气领域获得一连串的油气突破和发现,是否标志着我国非常规油气开发已经实现重大战略性突破,提前进入规模化和商业化开发新阶段?是否意味着我国非常规开发工艺技术跻身世界先进水平?是否意味着继美国页岩气革命之后,中国也将进入页岩气新时代?为此需要通过不断实践、不断努力、不断发现来予以证明和解读。

中国已经将天然气作为高成长性的战略能源,天然气供应情况将影响中国能源布局,迫切需要进一步加强研究,深入分析国内天然气(包括非常规天然气)可能的峰值产量以及不同阶段国内天然气供应潜力。

② 多渠道、多方式引进国外天然气。

全球丰富的天然气资源量和不断发展的运输技术,为中国天然气大规模引进提供了契机。引进渠道主要有管道气输送和LNG(液化天然气)两种形式,引进管道气的现实资源国有中亚地区、俄罗斯、缅甸等国家。俄罗斯2012年末天然气剩余可采储量为32.9万亿 m^3 ,天然气年产量为5923亿 m^3 ,储采比为56,土库曼斯坦2012年年底天然气剩余可采储量为17.5万亿 m^3 ,年产天然气644亿 m^3 ,储采比272。另外,哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦的天然气资源量也较丰富,具备向中国长期稳定供应管道气的资源基础,地缘政治也要求俄罗斯向中国及东亚地区和国家增加天然气的供应。此外,伊朗也有意向建设一条经由巴基斯坦的管道向印度、中国等国家供气。印度尼西亚、马来西亚、澳大利亚、卡塔尔向中国出口LNG的长期供气合同已经部分实施,巴布亚新几内亚已与中国签署LNG贸易长期合同。安哥拉、伊朗、委内瑞拉、尼日利亚、阿尔及利亚等国LNG潜在生产能力较大,与中国关系良好,有可能成为中国重要的LNG进口气源。

总体来看,中国在未来一段时间内有较多的境外天然气资源可供利用,从安全平稳供气的角度来考虑,应通过多渠道、多方式引进,降低单一项目的供气风险。获取方式包括可介入上游勘探开发产品分成和购买、管道气签订长期合同、LNG签订中短期合同或者购买现货,其中购买LNG现货的经济效益最差。

(2) 加大天然气利用力度,在民用燃料方面实施以气代煤,逐步将天然气成为最大消费中心^[6]

加大天然气利用力度,在民用燃料方面实施以气代煤,积极调整我国的能源消费结构,

力争 2050 年天然气消费量达到 1 万亿 m^3 左右，天然气在一次能源中的消费比例超过 30%。在具体措施方面，首先是针对中小型及零散用煤户，由于缺乏先进的清洁燃烧技术，中小型及零散煤炭用户的能源使用效率很低，是造成能源巨大浪费和严重环境污染的主要原因之一，应首先在这些用户中推广使用天然气。英国近 60 年以来，通过不断调整能源消费结构，大力普及使用天然气，环境逐步恢复，伦敦“雾都”的称谓已经名不副实。英国的成功经验给我国能源利用与环境治理提供了很好的借鉴和样板。

要加大天然气在运输领域的使用比例，逐步取代汽柴油的霸主地位。通过用压缩天然气(CNG)、液化天然气(LNG)、吸附天然气(ANG)等形态来替代成品油作为车用燃料，不但可减少汽车尾气排放对大气的污染，而且因车用天然气价格相对较低，还能降低车辆的运行成本。压缩天然气(CNG)和液化天然气(LNG)在运输领域的利用技术已经相对成熟，需要进一步加大在该领域的政策引导和应用规模，本书第 6 章(6.3 节)将对此展开一定的讨论。

总之，加大天然气利用能够大规模减少二氧化碳和硫化物的排放量。以 2050 年国内能源消费量 50% 标准煤为基础进行测算，天然气占一次能源的比例每提高一个百分点(376 亿 m^3)，与煤相比二氧化碳排放量就减少 0.49 亿 ~ 0.65 亿 t，与石油相比二氧化碳排放量减少 0.30 亿 t(图 1-3)。

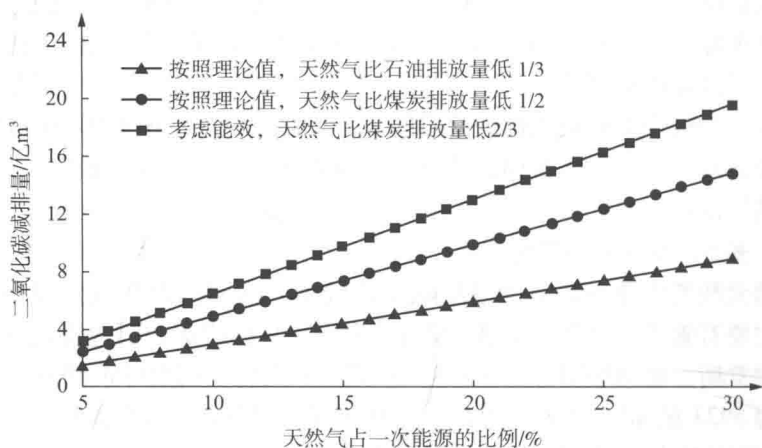


图 1-3 天然气占能源消费比例与二氧化碳减排量

(3) 加快天然气输配系统建设，形成类似公路网、电网分布特点的天然气管网体系

天然气输配系统是连接气源和市场的桥梁，统筹考虑国产气与进口气、管道气与进口 LNG 资源，合理布局全国干线和区域管网，并与 LNG 接收站、地下储气库、煤层气、页岩气、煤制气等项目进行有机结合，加强联络管道建设，形成类似公路网、电网一样进村入户、覆盖全国、互联互通、高效安全灵活的现代化管网体系，为实现安全平稳供气、灵活调气提供保障。此外，还必须加快地下储气库、LNG 等多种方式的调峰、天然气战略储备以及应急体系建设，确保稳定供气。

(4) 加强合作，全力推进天然气人民币价格体系建设

按照天然气产业中长期发展目标，中国将成为全球最大的天然气消费中心，目前由于亚洲天然气定价权的缺失导致溢价问题突出，随着进口天然气规模越来越大，资金流失问题将越来越严重，谋求定价权已刻不容缓。

未来中国、印度、日本等亚洲国家的天然气消费市场将快速膨胀，增长前景看好，成为

非常具有吸引力的全球天然气出口市场目标。应以此为契机，加强区域合作，促进跨区域管网互联，推动东北亚新天然气定价机制和人民币国际化，推进天然气人民币体系建设，积极发展天然气现货及亚太期货贸易市场，提升中国在国际能源市场上的话语权。

本书章节主要讨论有关页岩气和天然气方面的一些内容，对于其他一些重要的非常规天然气如致密气等也可能稍加评述。