

天 然 气 工 程 丛 书

天然气 综合利用

陈赓良 王开岳 等编著

石油工业出版社

天然气工程丛书

天然气综合利用

陈賡良 王开岳 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

《天然气工程丛书》共分8个分册,《天然气综合利用》是其中之一。

本书在介绍天然气基本性质的基础上,系统地介绍了天然气(干气)燃料利用和化工利用的现状,并探讨了今后的发展方向与趋势。本书注重实用性,力求为广大读者提供最新、最全面的数据及工艺。

本书可供从事天然气工程的技术人员和管理人员参考,也可供相关院校的师生及研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

天然气综合利用/陈赓良,王开岳等编著.
北京:石油工业出版社,2004.4

(天然气工程丛书)

ISBN 7-5021-4414-5

I.天...

II.陈...

III.天然气-综合利用

IV. TE64

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第092906号

天然气综合利用
陈赓良 王开岳等编著

出版发行:石油工业出版社
(北京安定门外安华里2区1号 100011)
网 址:www.petropub.cn
总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392
经 销:全国新华书店
印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004年4月第1版 2004年4月第1次印刷
889×1194毫米 开本:1/16 印张:26.25
字数:783千字 印数:1—3000册

定价:98.00元
(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)
版权所有,翻印必究

序一

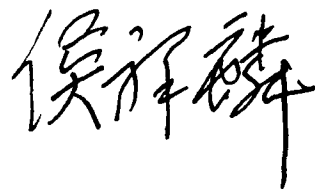
近年来，我国天然气工业取得了很大的发展，已逐步进入了工农业生产和日常生活的方方面面，成为国民经济生活中的重要内容。经过几代人的努力，我国目前已经初步形成了四川、塔里木、鄂尔多斯、柴达木和海洋在内的五大气区基本格局，建设了以“西气东输”为代表的一批陆地及海上输气干线。“西气东输”宏大建设工程的实施，不仅是落实“西部大开发”战略的重要举措，而且也是我国在天然气生产建设能力和技术等方面的综合体现，标志着我国天然气的发展进入了一个新的阶段。

经过几十年的生产实践，我国在天然气的勘探、开发、储运和综合利用等方面，已经积累了丰富的经验，技术达到了较高的水平。认真总结这方面的经验和技術，展示我国天然气工业的成就和进步，指导和促进技术水平的提高，是一件十分有意义的工作，本套丛书的编写实现了这一愿望。

《天然气工程丛书》是一套按系统工程要求编写的丛书，它全面系统地总结了我国历年来在天然气方面的实践经验和成果，借鉴了国外有关天然气方面的先进理论和技术。编著者大多来自多年从事现场和科学研究有经验的专家、学者，在编写方法上强调了科学、实用及可操作性的特点，并有相当部分实例可供借鉴，使丛书成为一部信息量大、内容充实、涉及面广、有一定理论深度的技术专著。

《天然气工程丛书》的出版，对我国天然气的勘探、开发和综合利用具有很大的技术指导和推动作用，在此我表示衷心地祝贺。藉该书出版之际，我祝愿广大的科技工作者不断创新，不断进步，为促进我国工业技术水平的提高和发展做出更大的贡献。

中国科学院院士
中国工程院院士



序二

在我担任中油股份公司总裁期间，油气田开发方面的几位老同志，建议编写出版一套“天然气工程丛书”，以适应我国天然气迅猛发展的需要，我非常赞同和支持这件事。

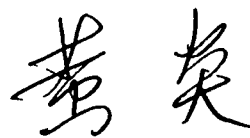
三年来，在中石油、中石化、中海油、石油院校等部门的数十名专家和上百名工程技术人员辛勤努力下，克服了专业门类多、地域跨度大、编著人员不稳定等诸多困难，完成了丛书的编写出版任务。

本“丛书”的内容涵盖了全国各主要产气区，按照上下游一体化的总体思路，从资源勘探到综合利用，编辑为8个分册，约500万字。它凝结着我国从事天然气工作的几代人的辛劳和智慧，并把丰富的实践经验与近代科技进步相结合，是目前国内较为全面系统又有一定理论概括的系列丛书。

进入新世纪以来，我国天然气发展形势很好。预期在不久的将来，天然气在国民经济和社会生活中的地位和影响将越来越大，从事天然气工业的各个领域的工程和管理人员也将越来越多，他们迫切需要站在一个更高的起点上，了解和掌握比较系统的天然气技术；石油院校师生，也需要有更更新的教材。我认为丛书的出版，一定能够给予他们以有力的帮助，并为促进天然气勘探、开发、采气工程、气田建设、管道输送、天然气综合利用等技术的发展与创新做出贡献。

在“丛书”出版的时候，特向参与编著和出版的各位专家、教授、工程师及全体工作人员致以衷心的感谢！

丛书编委会主任
中国石油学会理事长



编 著 说 明

我国是世界上发现和利用天然气历史最悠久的国家之一。新中国成立以来,经过半个多世纪的努力,在天然气的勘探、开发、储运和综合利用等方面,积累了丰富的实践经验,有了一套适合于我国天然气工业发展特点的技术和理论。特别是“九五”、“十五”期间,天然气得到了迅猛发展,目前已初步形成四川、塔里木、鄂尔多斯、柴达木和海洋五大气区格局的天然气现代工业体系,“西气东输”——国家西部大开发战略序幕性工程的实施,标志着我国天然气的发展进入了一个新的阶段。

我国天然气的勘探和开发,有其自身的特点。气田的地质条件复杂,开采的技术难度较大,绝大多数气田的储层为低渗透、低孔隙,具有边、底水,非均质性严重;气田规模多为中小型且地域分散;有些主力气田含硫,这就使气藏工程、采气工程、地面工程及综合加工利用等,面临一系列技术难题。正是在这种复杂和困难的条件下,我国的科技人员,经历了多年的探索和实践,研究和利用新技术、新方法和新装置,加深了对我国天然气工业勘探、开发和加工基本规律的认识,发展了天然气上、下游工程,使我国天然气工业得到了迅速的发展。这些成就饱含着从事天然气工作的广大工程技术人员、生产经营管理者的辛劳和智慧。

国民经济的快速增长和天然气工业的大发展,要求我们必须系统总结我国天然气工业丰富的实践经验,同时借鉴国外天然气工业先进的理念与技术,编辑出版一套既有理论指导又有现实可操作性的科技论著,给这一方兴未艾的大好形势以有力的技术指导。

1999年,经中国石油天然气集团公司原开发生产局局长王乃举、总工程师孟慕尧和石油工业出版社张卫国等同志提议,成立“天然气工程丛书”编写筹备组,同时将这一想法向当时担任中国石油天然气股份有限公司总裁的黄炎作了汇报,得到了黄炎同志的大力支持,组建了“丛书”编委会。经与多方协商,由黄炎担任编委会主任,王乃举、刘宝和、胡文瑞、夏鸿辉、魏宜清、茹克、王志刚任编委会副主任;编委有:马新华、王全生、王道富、冉新权、孙龙德、许可方、张卫国、李安琪、李海平、李鹭光、杜志敏、宋顺琼、沈琛、孟慕尧、金忠臣、胡朝元、黄立功、阎存章。

编委会的具体组织领导工作由王乃举、孟慕尧同志负责。为了加强经常性的工作指导,还成立了编辑工作组,组长为孟慕尧,成员有冉新权、张卫国、咸玥瑛。

在“丛书”编写期间,编委会先后组织了多次研讨会,邀请各油气田、石油院校、研究院所的领导、专家、工程技术人员参加,确定了“丛书”的框架结构和编写提纲。每一分册都组建了各自的主编及编辑小组,聘请了一大批著名专家撰稿,他们都做了大量艰苦细致的文献查阅、专题研究及亲临现场调研工作。中国石油天然气集团公司、中

国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司、西南石油学院、石油大学等单位，在编写资料、编写人员等方面积极给予协调帮助；中国石油天然气股份有限公司、西南油气田分公司、长庆油田分公司在经费上给予了支持，保证了“丛书”编写工作的正常运行。石油工业出版社在稿件审查、编辑加工和组织出版方面高度重视，将该套“丛书”列入了石油工业出版社“十五”重点丛书，并上报国家新闻出版总署，将此“丛书”作为精品图书出版。

本套“丛书”是系列性科技专著，共分 8 个分册，约 500 万字，分别为《天然气资源勘探》、《气藏地质》、《气田与凝析气田开发》、《气藏工程分析方法》、《采气工程》、《天然气矿场集输与处理》、《天然气输送与储存工程》、《天然气综合利用》。“丛书”既有理论概念，但更多地偏重于适用的工程技术方法的阐述。它是天然气勘探、开发、集输、储运、综合利用系统有代表性的专家和技术人员的集体创作，主要面对从事天然气工业的中高级科技人员和经营管理者，也可作为大专院校及企业在职教育培训的参考教材。

在本“丛书”出版的时候，编委会对所有参加本“丛书”的编写、研讨、出版和曾经给予大力支持的各界人士，谨致衷心的感谢！

前 言

综合利用是天然气开发的目的与归宿。天然气(干气)的主要组分是甲烷,但油田伴生气、凝析气等则含有丰富的乙烷以上的烃类。很多气田采出的天然气中含有硫化氢、二氧化碳等酸性组分,有时还含稀有气体氦。某些气田随同天然气产出的气田水中经常含有颇具利用价值的金属和非金属元素,如锂、硼、溴等等。因此,利用天然气不仅仅是指其中的烃类组分,还须针对其组成特点考虑综合利用。例如,从天然气中脱除的硫化氢生产的硫磺,目前已占世界总产量的三分之一;作为重要战略物资的氦气也主要是从天然气中回收的。

本书在介绍天然气基本性质的基础上,系统地介绍了天然气(干气)燃料利用和化工利用的现状,并探讨了今后的发展方向与趋势。就世界范围论,天然气用作各种燃料(民用、发电、工农业等)的比例达到95%以上。作为化工原料利用的比例虽不高,但其重要性却不容忽视,因为占当前世界总产量85%以上的合成氨和甲醇是以天然气为原料的。

天然气的利用结构取决于国情。通常发达国家均以燃料利用为主,而发展中国家则在化工利用中占有相当的比例。不论何种利用途径,近年来均在科学研究和技术开发等方面取得了重大进展,探讨如何结合国情从中吸取宝贵经验正是本书力图达到的目标。

本书是在“丛书”编委会的直接指导和石油工业出版社的组织下完成的。形成初稿后,承王贤清、沈师孔两位教授仔细审稿,提出了不少宝贵意见并提供了若干资料,作者深表谢意。

本书编写人员名单如下:

第一章 缪明富 王开岳

第二章 陈赓良

第三、四、五章 陈赓良 徐德明

第六章 王开岳 范嗣英 高立新

第七章 颜廷昭 王开岳

第八章 高立新 王开岳

第九章 范嗣英

第十章 原青民 王开岳

第十一章 王开岳

第十二章 王开岳

第十三章 王开岳 陈赓良 范嗣英

全书经审查后由陈赓良、王开岳修改定稿。

鉴于编写者的水平，本书难免有不当之处，敬请读者不吝赐教。

本书编写组

2003 年 8 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 天然气储量与产量	(1)
第二节 天然气及其伴生产品的利用	(7)
参考文献	(18)
第二章 天然气的特性	(20)
第一节 天然气的物理性质	(20)
第二节 天然气的热力性质	(34)
第三节 天然气的燃烧性质	(41)
第四节 商品天然气的质量指标	(50)
参考文献	(53)
第三章 天然气的燃烧与燃烧技术	(54)
第一节 概述	(54)
第二节 天然气燃烧的基本原理	(54)
第三节 燃烧方法与火焰的稳定性	(60)
第四节 常用燃烧器	(65)
第五节 新型燃烧技术及特种燃烧器	(71)
参考文献	(83)
第四章 天然气作为工农业燃料	(84)
第一节 天然气发电	(84)
第二节 天然气作为车用燃料	(96)
第三节 天然气作为工业炉燃料	(104)
第四节 天然气用于农业生产	(112)
参考文献	(113)
第五章 天然气作为住宅与商业用燃料	(114)
第一节 利用概况	(114)
第二节 天然气作为住宅燃料	(114)
第三节 天然气作为制冷能源	(123)
第四节 燃料电池	(136)
参考文献	(142)
第六章 天然气转化制合成气	(143)
第一节 概述	(143)
第二节 天然气蒸汽转化	(143)
第三节 天然气的部分氧化	(151)
第四节 联合转化工艺	(154)
第五节 天然气制氢	(157)
参考文献	(158)
第七章 天然气制清洁液体燃料及低碳烯烃	(159)
第一节 概述	(159)

第二节	已工业化的合成油生产工艺	(162)
第三节	待工业化的合成油生产工艺	(173)
第四节	天然气制二甲醚	(179)
第五节	天然气制低碳烯烃工艺	(184)
参考文献		(190)
第八章	天然气制甲醇及其他含氧化合物	(192)
第一节	甲醇的用途及供需情况	(192)
第二节	甲醇的性质与质量指标	(195)
第三节	天然气制甲醇的工艺原理	(196)
第四节	天然气制甲醇的生产工艺	(198)
第五节	低碳醇	(207)
第六节	醋酸	(210)
第七节	甲基叔丁基醚	(214)
第八节	甲醛	(218)
第九节	甲醇的其他下游产品	(223)
参考文献		(230)
第九章	天然气制氨及其下游产品	(232)
第一节	氨的用途与供需情况	(232)
第二节	氨的性质和质量指标	(235)
第三节	天然气制氨的工艺原理	(236)
第四节	天然气制氨工艺	(249)
第五节	尿素	(259)
第六节	硝酸	(269)
参考文献		(273)
第十章	天然气制乙炔及其下游产品	(275)
第一节	乙炔下游产品的发展情况	(275)
第二节	乙炔的性质与质量指标	(278)
第三节	天然气制乙炔生产工艺	(279)
第四节	醋酸乙烯	(285)
第五节	1, 4—丁二醇	(289)
第六节	氯乙烯及乙炔的其他下游产品	(294)
参考文献		(301)
第十一章	以天然气为主要原料的其他产品	(302)
第一节	碳基合成产品	(302)
第二节	炭黑	(306)
第三节	甲烷氯化物	(310)
第四节	氢氰酸	(317)
第五节	二硫化碳、硝基甲烷及单细胞蛋白	(321)
参考文献		(326)
第十二章	天然气凝液的综合利用	(327)
第一节	天然气凝液的用途及供需情况	(327)
第二节	天然气凝液作乙烯装置原料	(331)
第三节	天然气凝液中单体烃的化工利用	(354)

第四节 天然气凝液作燃料及其他应用 (374)

参考文献 (377)

第十三章 天然气其他伴生产品的利用 (380)

第一节 氦气 (380)

第二节 硫化氢与硫磺 (387)

第三节 二氧化碳的利用 (392)

第四节 气田水 (398)

参考文献 (401)

第一章 绪 论

第一节 天然气储量与产量

广义的天然气包括可燃的烃类气体、二氧化碳、硫化氢、氦等可从地壳中取得的气体资源，但一般所指或狭义的天然气仅指烃气。根据 ISO 标准 (ISO 14532: 2001)，天然气是指以甲烷为主的复杂烃类混合物，通常也含很少量的乙烷、丙烷和更重的烃类，以及若干不可燃气体，如氮气和二氧化碳。作为矿产资源，天然气分为常规和非常规两类。常规天然气主要指在沉积岩常见构造、地层和岩性圈闭中发现的有机成因气，包括煤成气、碳酸盐岩气、油田伴生气、生物气等。非常规天然气包括煤层甲烷、深盆气、水溶气、固体气（天然气水合物）、泥页岩气以及致密砂岩气等。目前已探明并开采利用的储量绝大部分是常规天然气。本书有关储量和产量的统计数据主要指常规天然气。

世界天然气资源非常丰富。作为当今世界首选的环保燃料和清洁优质的化工原料，并且由于使用方便和具有较高的综合经济效益，其生产与消费发展速度较快。尤其是最近 10 余年，随着天然气作为优质能源及重要化工原料而在国民经济与社会发展中的地位 and 作用日益突出，世界各地对天然气勘探与开发利用的积极性空前高涨，国际资本源源不断地注入天然气开采领域，使之成为国际能源市场的一大热点。因此，全球天然气探明储量及生产能力和消费量均呈稳步增长态势。特别是，由于技术进步降低了天然气长距离管输成本和 LNG（液化天然气）加工及运输成本，从富气地区越洋跨洲向贫气地区输送天然气已具备现实的可行性，天然气消费正在向全球一体化发展，从而更加促进了世界天然气工业的快速发展。众多国际权威机构和专家预言，21 世纪中期将进入天然气时代，亦即天然气在未来人类的一次能源消费结构中 will 升至首位。

一、世界天然气储量与产量

1. 世界天然气储量

科学技术的进步有力地促进了天然气的勘探开发，特别是大大拓宽了勘探开发范围，再加上采收率的提高，使全球天然气储量在连年加大开采量的情况下非但不下降，反而还逐年有所增长，储采比基本上保持稳定。

美国《油气杂志》统计的 1998—2000 年世界天然气探明可采储量见表 1-1。根据该统计数据，2000 年天然气剩余可采储量排名前 20 位的国家列于表 1-2。在统计的 104 个天然气资源国中，中国探明可采储量名列第 18 位，比 1998 年上升了两位。

2. 世界天然气产量及发展趋势

1) 全球天然气产量与消费量

过去 50 年中，天然气是全球增长最快的一次能源，其产量从 1950 年的 $1889 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2000

年的 $23899 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，增长了 11.7 倍，年均增长率高达 23.3%；2001 年又达到 $24802.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同期，消费量相应增长，在世界能源结构中的比例也从 9.7% 增至 23.8%。

表 1-1 1998—2000 年世界天然气探明可采储量^① (单位: 10^{12} m^3)

地 区 \ 年 份	1998 年		1999 年		2000 年	
	储 量	增长率, %	储 量	增长率, %	储 量	增长率, %
西半球总和	14.546	-0.78	13.610	-6.43	14.256	4.75
西欧总和	4.490	-6.85	4.434	-1.25	4.499	1.47
东欧+独联体总和	56.698	-0.04	56.694	-0.01	56.694	0
中东总和	49.542	1.35	49.533	-0.02	52.522	6.03
非洲总和	10.225	3.60	11.162	9.16	11.162	0
亚太地区总和 ^②	10.182	12.14	10.292	1.08	10.339	0.46
全球合计	145.684	1.15	145.725	0.02	149.472	2.57

①表中数据与其他统计源有一定差异，例如法国国际天然气信息中心（CEDIGAZ）统计的 1998 年全球探明可采储量为 $151.96 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，比前者统计数据高出 4.3%；BP 阿莫科公司统计的 1999 年全球探明可采储量为 $146.43 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，亦比前者统计数据高出 0.48%。由于天然气勘探及储量计算方法的某些影响因素，故笔者认为采用较小的统计数据更为稳妥。

②其中，中国内地的天然气探明可采储量连续 3 年均为 $1.368 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，与国内统计有差异且不符合实际情况，鉴于国内统计数据亦不完全一致，未作修改。

表 1-2 世界 2000 年天然气剩余可采储量排名前 20 位的国家及地区

名 次	国 家	储量, 10^{12} m^3	名 次	国 家	储量, 10^{12} m^3
1	俄罗斯	48.139	11	土库曼斯坦	2.860
2	伊 朗	23.002	12	马来西亚	2.313
3	卡塔尔	11.152	13	乌兹别克斯坦	1.875
4	沙特阿拉伯	6.040	14	哈萨克斯坦	1.841
5	阿布扎比	5.553	15	荷 兰	1.771
6	美 国	4.740	16	加拿大	1.728
7	阿尔及利亚	4.522	17	科威特	1.478
8	委内瑞拉	4.157	18	中 国	1.368
9	尼日利亚	3.511	19	利比亚	1.314
10	伊拉克	3.109	20	澳大利亚	1.264

世界 1998—2000 年天然气产量及消费量统计数据见表 1-3。2000 年产量超过 $270 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的产气大国见表 1-4，从中可以看出，世界天然气生产相对集中，15 个产气大国合计产量占世界总产量的比例高达 82.17%。在统计的 78 个天然气生产国中，中国 2000 年天然气产量排在第 14 位，比 1998 年上升了五位。

表 1-3 1998—2000 年世界天然气生产量和消费量 (单位: 10^8 m^3)

地 区	1998 年		1999 年		2000 年		2000 年消费量 比上年增长, %
	生产量	消费量	生产量	消费量	生产量	消费量 [↓]	
西半球总和	8821.40	8252	8816.08	8283	9045.27	8589	3.69
西欧总和	2665.69	3993.6	2892.06	4183	2888.05	4300	2.80
东欧+独联体总和	7321.25	6348	7208.21	6422	7106.05	6568	2.27
中东总和	1404.83	1723	1315.68	1785	1343.87	1907	6.83

续表

地 区	1998 年		1999 年		2000 年		2000 年消费量 比上年增长, %
	生产量	消费量	生产量	消费量	生产量	消费量 ^①	
非洲总和	851.02	524.4	861.26	556	930.08	589	5.94
亚太地区总和 ^②	2329.85	2591.5	2404.83	2690	2585.28	2884	7.21
全球合计	23 394.25	23 432.5	23 498.12	23 919	23 898.60	24 837	3.84

①2000 年世界天然气消费量为法国国际天然气信息中心 (CEDIGAZ) 估算数字。

②中国内地 1998 年的天然气产量与国内统计有差异, 已根据国内统计数据做了修正 (由原数据 $217 \times 10^8 \text{m}^3$ 修正为 $223.21 \times 10^8 \text{m}^3$)。

表 1-4 世界 2000 年天然气产量排名前 18 位的国家

名次	国 家	产量, 10^8m^3	比例, %	名次	国 家	产量, 10^8m^3	比例, %
1	俄罗斯	5840	24.43	9	墨西哥	484.97	2.03
2	美 国	5682.96	23.78	10	阿根廷	376.85	1.58
3	加拿大	2005.40	8.39	11	沙特阿拉伯	319.08	1.34
4	英 国	1158.19	4.85	12	澳大利亚	311.52	1.30
5	印度尼西亚	741.65	3.10	13	伊 朗	302.65	1.27
6	荷 兰	712.35	2.98	14	中 国	273.15 ^①	1.14
7	阿尔及利亚	654.35	2.74	15	印 度	270.34	1.13
8	挪 威	504.76	2.11	合 计		19698.22	82.17

①此为《油气杂志》统计数字, 中国统计为 $277.3 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

2) 世界天然气工业发展趋势

从市场的角度看, 世界天然气的发展有以下阶段: (1) 国内市场阶段, 在 20 世纪 60 年代之前, 天然气仅在产气国作为能源商品, 政府对天然气的价格和使用范围进行全面控制; (2) 国际区域市场阶段, 在 20 世纪 60—70 年代, 随着大型气田相继被发现, 天然气储量、产量快速增长, 产气国政府开始对天然气放宽控制, 天然气生产者向周边发达消费国出口天然气, 形成了区域性天然气消费市场; (3) 全球市场阶段, 这是一个正在过渡的发展阶段, 目前人们正努力使天然气作为全球能源商品, 在统一的世界天然气市场进行贸易, 但还需要创造一些条件, 例如加快开发约占世界 73% 的中东、中亚和东欧地区的天然气储量, 投入巨资在 20 年内建设 $(50 \sim 70) \times 10^4 \text{km}$ 输气管道和 $200 \times 10^4 \text{km}$ 配气管网以加快全球天然气输配网络化, 争取稳定的国际政治环境以妥善解决产气国和消费国的利益分配, 等等; (4) 天然气取代石油成为第一能源的阶段, 这是一个渐进的发展过程, 届时天然气在世界能源消费结构中 will 占据首位, 按照目前的发展趋势, 天然气取代石油成为主要能源的时间可能在 21 世纪中叶; (5) 被太阳能——氢能源取代而退居第二能源的阶段, 这将需要更长的时间, 按照目前世界能源结构的发展趋势, 至少需要百年时间才能实现。

综上所述, 目前世界天然气正处于由“区域市场阶段”向“全球市场阶段”过渡的发展时期, 并且在未来 50~100 年间将取代石油而成为消费量最大的一级能源。但是, 应当看到, 目前也存在一些不利于天然气发展的因素: (1) 世界天然气资源分布过于集中 (俄罗斯和中东的天然气储量占世界 2/3), 产地远离天然气主要消费区; (2) 天然气的国际贸易量仅占消费量的 20% 左右; (3) 天然气单位容积的热量比石油低很多, 储运比石油困难, 运输成本较高; (4) 天然气利用的前期资金投入较高, 建设周期长, 投资回收期长 (通常要求稳定供气 20 年以上); (5) 天然气用量受季节影响较大, 用气高峰和低谷的供气量相差好几倍, 稳定供气的运作和后勤服务系统较为复杂; (6) 竞争对手多, 包括石油、煤炭、电、LPG (液化石油气) 和煤制气; (7) 除极少数国家以外, 目前各国对天然气的控制程度比石油更大, 面更宽, 天然气的发展在很大程度上受到政策的制约。

尽管如此，21 世纪将成为天然气时代的形势已经明朗。预计 21 世纪世界天然气工业将呈现如下发展趋势：（1）全球范围内天然气消费需求将保持强劲增长势头，2002 年消费量比 1999 年增长 8.4%，至 2020 年消费量将达 $4.74 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，接近 1999 年的两倍。（2）消费需求的强劲增长将有力地刺激国际资本注入天然气工业，从而促进天然气生产发展；据普式新闻网报道，世界天然气大会预测，未来 30 年内全世界将投资 2.4×10^{12} 美元于天然气工业，其中约 1/3 在北美，西欧、东欧及亚洲各占 1/5。（3）跨国输气管线和配气管网的建设将更加活跃，上述 2.4×10^{12} 美元的投资将有一半用于管输网络的建设，从而为构建天然气国际市场创造条件，促进天然气消费的全球化和大众化。（4）天然气在不断扩大的能源市场上的份额将稳步上升，2002 年即可达 24.2%，直至占据首位。（5）天然气利用将进一步呈现多样化趋势，其中发电将是其主要发展方向，尤以亚洲和中南美洲的工业化国家增长最快。据美国能源情报署预测，未来 20 年内天然气发电量将占电力生产的 52%。（6）发达国家的天然气储备系统将逐渐强化并日趋完善，从而稳定全球天然气市场。

二、中国天然气储量与产量

1. 中国天然气资源量

中国天然气资源主要分布在中、西部地区 and 近海，80% 以上集中分布在四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、准噶尔、松辽等盆地及东南海域。2000 年底，根据最新数据重新测算，中国天然气地质资源量为 $47 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，可采资源量为 $9.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。如果考虑到中国未曾评价的沉积岩（面积约 $217 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）的可采资源量约 $5.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，则推测中国远景天然气可采资源总量可达 $15 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

另据不完全测算，中国尚有非常规天然气资源多达 $27 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上。其中，煤层气占主导地位。近年来的煤层气评价研究认为，中国各含煤盆地 2000m 以浅含有 $(25 \sim 30) \times 10^{12} \text{ m}^3$ 煤层气资源量。目前已控制 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 煤层气地质储量。

但是，中国天然气资源探明程度低，至 1999 年底共探明气层气储量 $2.06 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，加上溶解气储量，合计探明储量为 $3.11 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，探明程度仅为地质资源量的 6.62%。以重新测算的资源量计算，可采资源量的探明程度也仅达 16.8%。

2. 中国天然气产量及消费量

中国天然气产量的提升相对滞后于探明储量，但是在稳步增长。1990—1994 年间，天然气产量年均增长率仅为 2.4%，而 1994—1997 年间则达到 11.1%。尽管 1998 年增速趋缓，但近几年已再次步入快速增长期。2000 年产量创历史新水平，达 $277.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，2001 年则达到 $303.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

根据中国石油天然气集团公司规划计划部统计处的资料和其他资料，中国 1992 年至 2000 年天然气生产量和消费量如表 1-5 所示。

表 1-5 中国 1992—2000 年天然气生产量和消费量 (单位: 10^8 m^3)

产 销 量 \ 年 度	1992	1994	1996	1997	1998	1999	2000
产 量	157.00	166.70	201.20	222.26	223.21	250.17	277.30
消 费 量	151.90	166.00	177.00	205.38	213.00	221.00	257.00

3. 中国天然气勘探与开发的近期发展趋势

1) 能源结构优化政策将有力地推动天然气生产

从能源消费结构看，目前天然气在中国一次能源中所占比例尚不到 2.5%，较全球平均值 23.8%

低很多。出于优化能源消费结构的考虑,必须加大天然气工业发展力度。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年计划纲要》明确提出了“优化能源结构”,其中特别强调了“实现油气并举,加快天然气勘探、开发和利用,统筹生产基地、输送管线和用气工程建设,引进国外天然气,提高天然气消费比重。”由此说明,“能源结构优化”将是中国中长期能源发展战略重点之一,并且天然气将在其中起重要作用。

在刚刚颁布的中国矿产资源勘查和开发利用的纲领性文件《全国矿产资源规划》中,天然气亦被放在重要位置,要求东部、中部、西部地区以及海洋、陆地等全方位勘查开发。五年内天然气产量要有大幅度提高,2010年天然气在国内能源市场所占比例要上升至8%左右。

目前,国家正在结合西部大开发,对能源结构进行战略性调整,实施“以气补油”计划,大规模开发利用天然气。同时,国家经济贸易委员会亦提出要对西北地区工业结构做重大调整,三大调整思路之首就是集中力量扶持石油天然气工业和化学工业,要求加快塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木盆地的油气勘探开发。为解决资源与市场分割的矛盾,国家已开始全国天然气管网的大规模建设,特别是作为西部大开发标志性工程的“西气东输”管网建设项目已于2002年7月4日正式全面开工建设,计划2004年初靖边—上海段投产,2005年4000 km全线贯通,年输气量 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。忠县—武汉年输气 $21.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的输气管道将于2003年建成通气。设计年输气 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的青海省涩北—西宁—兰州的输气管道主体工程已经完工。

此外,继“西气东输”管网建设项目之后,还将建设“北气南下”(进口天然气)管道干线及其支线管网。在贯穿中国东西南北的两大输气干线建成之后,加之“海气上岸”,必将使天然气在一次能源市场中的地位大幅上升,从而迎来中国天然气开发利用的黄金时代。有专家预测,如果中国天然气年产量达 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,将替代原煤3亿多吨,从而明显改善能源结构。预计21世纪头10年内,中国天然气在一次能源消费中的比重可以上升到8%~10%。这种“能源结构优化”的结果,必然促进天然气勘探开发的快速发展。

2) 天然气储量及产量和消费量将持续快速增长

(1) 储量和产量增长趋势。

中国天然气资源丰富,以2000年的探明储量和产量计算,储采比高达112.2,因而开发利用的增长潜力巨大。在经历了几十年的缓慢发展之后,自“九五”开始正处于储量和产量同步快速增长的蓬勃发展期。尤其是2000年天然气勘探获得重大突破,仅气层气储量即新增 $8435 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。预计未来20年将是中国天然气勘探、开发和利用的高速发展期。

“九五”期间,中国天然气储量年均增加 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。根据中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院以经验法、龚巴兹法和HCA模型预测法对中国天然气储量发展趋势的预测,未来5~10年可基本保持这一增长势头,年均增加探明储量将为 $(1500 \sim 2000) \times 10^8 \text{ m}^3$ 。更为乐观的估计是:未来20年内中国天然气探明储量将比2000年增长两倍,即达到 $9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 左右。储量增长潜力较大的气区仍然集中在四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、准噶尔等盆地及东南海域。

表1-6给出了中国主要气区的目前情况。

表 1-6 中国主要气区的天然气储量及产量

气 区	四川盆地	鄂尔多斯	塔里木	柴达木	准噶尔	莺琼
资源量, 10^{12} m^3	7.4	4.2	8.4	>1.11	1.23	8.62
累计探明储量, 10^8 m^3	6420	7504	>5000	2400	1366	2525
探明程度, %	8.6	17.9	>6	~21	11.1	2.9
生产能力, $10^8 \text{ m}^3/\text{a}$	100	—	—	—	—	>35
2001年产量, 10^8 m^3	94.80 ^①	33.67	9.57	5.87	17.60	32.87

①中国石油西南油气田分公司为 $83.59 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。