

天然气应用与安全丛书

TIAN RAN QI

天然气利用与安全

LIYONG YU ANQUAN

王俊奇 刘祎 郑欣 编著



中國石化出版社

HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM

天然气应用与安全丛书

天然气利用与安全

王俊奇 刘祎 郑欣 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书为《天然气应用与安全丛书》之一。在对天然气基本知识介绍的基础上,系统介绍了天然气在城镇燃气、工业燃料、天然气发电、天然气化工等方面的利用技术,以及天然气利用过程中的安全措施。

本书可作为天然气生产、使用、设计、管理领域,尤其是天然气利用领域相关人员的培训教材,也可作为从事天然气相关领域的科研人员和工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

天然气利用与安全 / 王俊奇, 刘祎, 郑欣编著.
—北京: 中国石化出版社, 2011. 1
(天然气应用与安全丛书)
ISBN 978-7-5114-0712-2

I. ①天… II. ①王… ②刘… ③郑… III. ①天然气-综合利用-安全技术 IV. ①TE64

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第259282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.cn

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 6.625 印张 174 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定价: 20.00 元

前 言

大力发展低碳经济，应对全球气候变化的挑战，已成为世界经济发展的主要潮流。天然气是最理想和最现实的低碳能源，在能源结构调整中发挥着重要的作用。扩大天然气利用是应对节能减排和气候变化的现实选择，是化石能源向新能源过渡的桥梁。我国天然气利用历史悠久，目前，城镇燃气将是天然气利用的首选领域，天然气汽车具有广阔的发展空间，工业燃料是天然气利用的另一个重要方向，在资源充足时适度发展天然气发电，合理限制天然气化工的过热发展。随着经济的发展，天然气的利用安全问题也是人民群众关注的热点之一，是社会和谐的基本要求和城市管理的重要组成。只有确保天然气利用的安全，人民群众才能安居乐业，社会才能安定和谐。为了适应这一蓬勃发展的形势需要，本书通过对天然气在不同领域的利用介绍，深入浅出地阐述了天然气利用的安全知识和安全措施，旨在为广大天然气生产、使用、设计、管理人员提升天然气利用知识起到积极的作用。本书可作为天然气生产、使用、设计、管理领域，尤其是天然气利用领域相关人员的培训教材，也可作为从事天然气相关领域的科研人员和工程技术人员的参考书。

全书共分六章，第五章由西安长庆科技工程有限责任公司刘祎高级工程师编写，第四章由西安长庆科技工程有限责任公司郑欣高级工程师编写，其余各章由西安石油大学石油工程学院王俊奇副教授编写。全书由王俊奇负责统稿，由王遇冬教授负责

审稿。

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(西部地区天然气资源合理利用方式研究, 10YJA790185)、陕西省科学技术研究发展计划项目(2009K10-10)的共同资助。在此, 特别感谢上述有关基金委和部门对本书的出版提供的资助。

在本书编写过程中得到了西安石油大学石油工程学院有关领导、专家的大力协助, 在此谨向他们表示衷心的感谢! 硕士研究生陈瑜芳、折海成、韩长武、李渭亮、王剑、张阳阳、李妮、魏晓杰、解亚鹏、申芳、张丽, 还有西安石油大学石油工程学院的宋白鹤、刘欢乐、沈金才、米璞、马庆阳、刘亚贤、王建伟、马逗、王勇、孙龙飞等同学, 以及西安石油大学经济管理学院的王欢、杨盼、卢庆、刘海霞等同学为本书付出了辛勤的劳动, 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所有者表示衷心感谢! 同时感谢中国石化出版社为本书的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。

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 天然气在国民经济中的重要性	(3)
第三节 天然气发展概况	(4)
第四节 天然气利用状况	(7)
第二章 天然气基本知识	(13)
第一节 天然气形成和分布	(13)
第二节 天然气开采过程	(15)
第三节 天然气组成和分类	(19)
第四节 天然气性质	(23)
第五节 天然气质量要求及处理方法	(27)
第六节 天然气的危害性	(37)
第三章 天然气城镇民用与安全	(48)
第一节 天然气作城镇燃气的优势	(49)
第二节 天然气民用燃具	(53)
第三节 天然气制冷	(59)
第四节 天然气汽车	(78)
第五节 城镇民用天然气安全	(84)
第四章 天然气工业燃料利用与安全	(95)
第一节 天然气作工业燃料概况	(95)
第二节 天然气作工业炉燃料	(97)
第三节 天然气冷热电联产和区域能源网络	(99)
第四节 天然气工业燃料利用安全	(109)
第五章 天然气发电与安全	(112)
第一节 天然气发电概况	(112)

第二节	天然气发电系统特征	(115)
第三节	天然气发电安全	(119)
第六章	天然气化工利用与安全	(124)
第一节	天然气化工利用的发展趋势	(125)
第二节	合成氨、尿素及其下游产品	(128)
第三节	甲醇及其下游产品	(136)
第四节	乙炔及其下游产品	(143)
第五节	天然气制合成油	(148)
第六节	以天然气为主要原料的其他产品	(164)
第七节	天然气化工利用安全	(187)
参考文献		(203)

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 10 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。约在公元前五世纪，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的画面。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。相当于井深 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。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两千多年时间里,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”,这一年被作为现代天然气工业的开始年。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,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 天然气在国民经济中的重要性

天然气在人类社会演进中有着重要的作用。一般认为人类社会的发展是与不同的能源结构相联系的：以木材为主要能源的时代是人类进入工业起步时期；以煤炭为主要能源的时代是人类进入工业革命时期；以石油为主要能源的时代是人类进入工业文明时期；以天然气为主要能源的时代是人类进入生态文明时期。随着科技进步和经济的发展，天然气工业得以较大发展。能源结构不断地向低碳化演变，天然气作为低碳能源，集输方便、容易获得较好的经济效益，也有利于减少环境污染和提高人民生活质量。

天然气作为能源利用有以下优越性：

(1) 利用天然气使环境效益优越。能源变迁是从多碳经过低碳走向无碳。在无碳能源尚未大规模工业化之前，与煤和石油相比，天然气作燃料可以明显减少环境污染。天然气的燃烧排放量远低于石油和煤炭的燃烧排放量，可解决当前城市污染严重的状况，明显改善人类生存环境，对于提高全社会生活质量具有非常重大的现实意义。

(2) 天然气是优质能源。由于天然气组分与煤相比不含一氧化碳，这就减少了泄漏对人畜生命的危害性。而煤制气含有 20% ~ 30% 的一氧化碳，如管道泄漏，会引起人畜中毒甚至死亡。

(3) 天然气是高效能源。天然气在联合循环发电利用中，热

能利用率可达 55%，高于原油和煤的热能利用率。

(4) 天然气是安全能源。天然气的着火温度高，爆炸界限窄，密度比空气小，安全性良好。

(5) 天然气资源丰富。根据最新预测，全球常规与非常规天然气资源量达 $1343 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，按目前的开采速度，可供开采 100 年。另外，还有丰富的天然气水合物资源。

(6) 勘探开发成本较低。与其他能源相比，天然气勘探开发成本相对较低，见效较快。

(7) 使用方便。天然气供居民作燃料具有方便、节省时间和劳力的优越性。

第三节 天然气发展概况

一、天然气资源量

2005 年，世界常规天然气资源量为 $421 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，剩余天然气资源量为 $335 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。除常规天然气资源外，据 Rongner 预测，非常规天然气资源量高达 $922 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，是常规天然气资源量的 2 倍以上。其中致密气资源量为 $209 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 、煤层气资源量为 $256 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 、页岩气资源量为 $456 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。全球常规与非常规天然气资源量达 $1343 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，按目前的开采速度，可供开采 100 年。另外，还有丰富的天然气水合物资源。

世界天然气探明储量由 1980 年的 $83.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 增长到 2008 年的 $185 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，增长了 1 倍多，年增长率为 2.8%。除北美地区外，其他地区都保持了稳定增长态势。中东地区天然气增长幅度较大，成为继欧洲和俄罗斯后的又一重要天然气资源地。

二、天然气产量

20 世纪 70 年代以来，世界天然气需求的旺盛刺激了产量的稳步上升，近 40 年世界天然气产量增加了 2 倍。20 世纪 70 年代主要供应区是北美和欧洲及欧亚大陆，20 世纪 90 年代以来，随着中东、非洲及亚太等地区产量快速增长，世界天然气供应正向

多元化发展。据预测，2030 年全球天然气产量将达到 $4.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，年均增长 1.9%。

三、天然气消费量

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%。

四、我国天然气的发展概况

中国天然气资源比较丰富，根据第三次资源评价结果，中国天然气远景资源量为 $56 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，可采资源量为 $22 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，加快天然气工业的发展，已成为当今世界的趋势。

中国天然气产量由 2000 年的 $272 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增长到 2009 年的 $830 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，9 年增长了 2 倍，预计今年天然气产量为 $920 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，2020 年为 $1500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，见表 1-1。

表 1-1 中国历年天然气产量及预测

时间/年	产量/ 10^8 m^3	比上年增长/%
2000	272.0	7.56
2005	493.2	18.96
2006	585.53	18.76
2007	692.4	18.26
2008	760.8	9.91
2009	830	7.70
2010	920	9.10
2020	1500	5.71

随着我国经济的快速发展，人民生活水平的不断提高。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 1-2。

表 1-2 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

五、我国天然气的发展战略

根据我国发改委 2007 年 8 月 30 日发布的我国第一个《天然气利用政策》，天然气利用领域归纳为四大类，即城镇燃气、工业燃料、天然气发电和天然气化工。天然气利用坚持全国一盘棋，由国家统筹规划，考虑天然气产地发展本地经济的合理需要；坚持区别对待，明确顺序，确保天然气优先用于民用燃料，促进天然气科学利用，有序发展；坚持节约优先，提高资源利用效率。综合考虑天然气利用的社会效益、环保效益和经济效益等各方面的因素，根据不同用户的特点，将天然气利用分为优先、允许、限制和禁止四类。

我国天然气资源和生产发展状况与需求量尚存在较大的缺口。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。

第四节 天然气利用状况

天然气的勘探开发为其利用提供了条件，而利用范围的不断扩展和深化又大大推动了天然气的勘探开发进程。在市场经济条件下，市场需求是天然气勘探开发和引进的原动力。

一、天然气利用方向

天然气利用处于整个产业价值链的下游，按用气行业主要划分为城镇燃气、工业燃料、发电和化工四类。

(一) 城镇燃气

城镇燃气用户主要指城镇中的居民(炊事、生活热水)、公福(酒店、宾馆、商场、机场、学校、政府机关、职工食堂、旅店、幼儿园、写字楼等其他公共事业福利单位)、采暖(集中、单体)、小工业、天然气汽车、中央空调等用户。根据用气类型的不同，影响用气的主要因素有：

居民宅用炊事和热水用量的类型和数量以及其他民用燃气器具的增加量，居民的地区性生活用热习惯，城市所在地区的气候条件，燃气价格，居民住宅每户平均人口数及户数的自然增长率和计划增长率，居民日常生活费用支出水平及可支配收入等；城镇燃气供应状况、燃气管网布置与公共建筑的分布状况，公共建筑的用气普及程度等；天然气汽车数量和运行水平；天然气中央空调的普及程度和规模等。

城镇燃气用气波动性较大。月不均匀性受气候的影响较大，尤其采暖用量较大的城市，波动性更大；日不均匀性无论何地何种用户，波动性较小；小时不均匀系数受到生活习惯的影响较大，波动也较大。另外由于各城镇燃气在利用方向上不尽相同，因此对不均匀性也有一定影响。需要指出的是，各城镇高峰月不尽相同，但基本上是在冬季。

(二) 工业燃料

工业燃料用户主要指用于冶金、建材(主要用于生产平板玻

璃、陶瓷、水泥等)、机电、轻纺和军工等工业领域中的熔炼炉、加热炉、热处理炉、焙烧炉、干燥炉用户。

影响工业燃料用气的主要因素：工业燃料用户的生产工艺和技术水平；工业用户的燃料可互换性；可替代燃料的价格和气价之间的竞争力；工业用户的产品数量和市场变化情况。

工业燃料企业用气的不均匀规律主要取决于生产工艺的性质。连续生产的大工业企业用气比较均匀。夏季由于室外气温和水温较高，用气量比冬季相应降低。一般在生产区域内按均匀考虑。

通常工业燃料用户的生产工艺性质要求生产条件稳定，因此不均匀性可以按均匀考虑。而对工业锅炉，如果是为了采暖或加热，冬季的月不均匀系数较大，但是这些用户主要还是受到生产条件的变化而引起不均匀性变化。

(三) 天然气发电

天然气发电用户主要指用作蒸汽轮机、燃气轮机、蒸汽和燃气联合循环、分散式燃气发电、热电联产、热电冷三元联产等电厂用户。

影响发电用气的主要因素：天然气对电力用户供应规模；电价与气价水平；电力市场规模与结构以及气电的定位；天然气发电的数量。

发电企业的不均匀规律主要取决于电厂的功能定位：调峰(季节调峰、小时调峰)及热电联产。因此天然气发电的不均匀性与每个企业的运行情况一一对应，彼此之间不存在相关性。

(四) 天然气化工

天然气化工以甲烷为原料，其产品主要指氨、甲醇、合成油、氢气、乙炔、氯甲烷、二甲氯甲烷、四氯化碳、炭黑、氢氰酸、二硫化碳、硝基甲烷等十几个品种。

影响化工用气的主要因素：化工装置生产工艺和生产规模；化工产品市场状况；天然气供应系统；化工产品价格和天然气供应价格等。

天然气化工生产工艺的特点是连续稳定，设计时产品按日产规模进行。因此化工的不均匀性检修或事故状况下，用气是均匀的。如果考虑检修期，只对月不均匀性影响，对日、小时不均匀性没有影响。

二、世界典型国家天然气利用方向特点

世界各国的天然气消费结果不尽相同，没有一个统一的消费结构，天然气消费结构具有明显的国别特征。

(一) 美国式天然气消费市场结构

美国是世界最大的天然气消费国，其天然气消费结构的变化与其他工业的发展相辅相成。1930 年，在美国天然气四个消费领域中，工业占的比例为 59.2%，民用和商用分别占 24.3% 和 6.1%，发电占 9.7%。到 1950 年工业占的比例下降到 53%，民用上升到 25.4%，商业和发电分别为 8.2% 和 13.4%，发电占的比例明显上升。1950 ~ 1970 年与前一阶段比较，商业和发电占美国天然气总消费的比例进一步提高，分别达到了 12.6% 和 15.4%，而工业占的比例进一步下降。20 世纪 70 年代后，美国天然气市场趋于成熟，消费量增长比较缓慢，其消费结构也逐渐稳定。

从美国的天然气工业发展历程可以看出，其工业行业(含化工)消费天然气的比例最高，城镇燃气次之，而发电比例较低。

由上分析，美国式天然气消费结构模式也定义为：结构均衡式。

(二) 英国式天然气消费市场结构

英国是天然气工业市场化程度最高的国家。1966 年北海发现大气田后，国营煤气委员会即决定尽快用北海天然气气化全国。

为了实现用天然气置换煤气，英国政府需要投入大量资金。尽管投资和工作量十分巨大，英国从 1967 年到 1977 年共计用了 10 年时间，顺利完成了天然气置换煤气的任务，从煤气向天然气过渡的实际总置换费用为 10.27×10^8 英镑。

早期的天然气用户是以民用和化工为主，以后逐渐向工业发展，近期内向电力工业发展。英国天然气消费结构变化情况见表 1-3。

表 1-3 英国天然气消费结构变化趋势 %

消费结构	1978	1990	1995	1999
发电	0	1.2	19.3	33.1
化工	14.5	10.0	7.0	6.3
工业燃料	28.1	35.1	30.5	25.2
城镇燃料	57.4	53.7	43.2	35.4
合计	100	100	100	100

从英国天然气工业发展历程来看，英国天然气消费市场是以城镇燃气为切点，这种消费模式在世界天然气工业国家是其中的一种典型模式。

荷兰的情况与英国相似，选择民用和高档工业用户(指化工、冶金和陶瓷等)为天然气的主要利用方向。从 1959 年发现格罗宁根大气田开始，到 1973 年天然气市场已高度成熟，天然气消费总量趋于稳定。1973~1998 年荷兰天然气消费量见表 1-4。

表 1-4 1973~1998 年荷兰天然气消费量 $\times 10^8 \text{ m}^3$

行业	1973 年	1994 年		1995 年		1996 年		1997 年		1998 年	
	消费	消费	比例	消费	比例	消费	比例	消费	比例	消费	比例
民用		153	35%	159	35%	188	39%	155	35%	154	36%
商业		35	8%	36	8%	42	9%	45	10%	46	11%
工业		125	28%	133	30%	140	29%	145	34%	144	33%
发电		81	19%	75	17%	61	13%	52	12%	48	11%
农业		44	10%	44	10%	48	10%	41	9%	41	9%
合计	400	438	100%	447	100%	479	100%	438	100%	433	100%

注：农业主要用在暖房种植业。

另外从天然气普及率来看，也可以反映出荷兰的天然气市场