



当代石油和石化工业技术普及读本

天然气利用

中国石油和石化工程研究会 组织编写

鹿名立 执笔



中国石化出版社

当代石油和石化工业技术普及读本

天然气利用

中国石油和石化工程研究会 组织编写

庞名立 执笔

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

天然气利用/中国石油和石化工程研究会 组织编写.
—北京:中国石化出版社,2005
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 7-80164-919-2

I.天… II.中… III.天然气-综合利用-普及读物
IV. TE64-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 133171 号

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

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 3 印张 53 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

定价:10.00 元

前 言

《当代石油和石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版于1999年组织编写,2000年完成全部出版工作。第一版《普及读本》共出版了11个分册,其中上游4个分册,包括勘探、钻井和完井、开采、油气集输与储运系统;下游7个分册,包括石油炼制——燃料油品、石油炼制——润滑油和石蜡、乙烯、合成树脂、合成橡胶、合成纤维、合成氨和尿素。

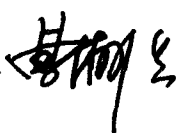
从一开始组织编写《普及读本》,我们就把这套书的读者对象定位在管理人员和非本专业技术人员,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业技术的概貌有一个整体了解。这套丛书列入了新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版规划;出版后在社会上,尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响;为了满足读者的需求,部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行,对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用,并荣获2000年度中国石化集团公司科技进步三等奖。

近年来,石油石化工业又有了快速发展,先进技术不断涌现;海洋石油勘探开发、天然气开发与利用在行业发展和国民经济中的地位越来越重要;随着时间推移,原有分册中的一些数据已经过时,需要更新;各方

面读者也反映，要求继续补充编写一些新的分册等。在征求各方面专家意见的基础上，我们决定对原先出版的11个分册进行修订，并补充编写9个新的分册，包括海洋石油勘探、海洋石油开发、天然气开采、天然气利用、石油沥青、炼油催化剂、炼油助剂、加油站、绿色石油化工。这9个分册分别邀请中海油、中石油、中石化以及中国石油和石化工程研究会相关领域的专家进行编写。原有分册的修订工作主要是补遗、更新、完善，不做大的结构性变动。

《普及读本》第二版修订、增补工作得到了中国石油化工股份有限公司的大力支持；参与丛书修订、编写工作的离退休专家、教授，勤勤恳恳、兢兢业业，其奉献和敬业精神令人感动。在此，谨向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢！

中国工程院院士



二〇〇五年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

编 委 会

主任：曹湘洪

编委：(按姓氏笔画为序)

王子康	王少春	王丙申	王协琴
王国良	王毓俊	尤德华	亢峻星
刘积文	刘镜远	孙梦兰	孙殿成
孙毓霜	陈宝万	陈宜焜	张广林
张玉贞	李润清	李维英	吴金林
吴明胜	法琪璞	庞名立	赵 怡
宫 敬	贺 伟	郭其孝	贾映萱
徐嗒东	秦瑞岐	翁维琬	龚旭辉
黄伯琴	梁朝林	董恩环	程曾越
廖谟圣			

引 言

随着人类对生存环境质量的要求日益提高，天然气必将成为世界经济发展过程中最重要的替代能源。全球天然气消费一直保持强劲增长势头，天然气资源十分丰富以及市场竞争加强，天然气生产有较快的增长。跨国输气管道建设十分活跃，为构筑天然气国际大市场创造了条件；液化天然气基础设施不断加强，建设成本不断降低，将促进天然气消费全球化和大众化。发达国家天然气储备系统日趋完善和加强，这将有助于稳定世界天然气市场。天然气利用将进一步呈现多样化，天然气发电和民用燃料成为主要发展方向。世界各国政府不断放宽对天然气工业的干预和管制，为天然气市场发展创造了条件，使得 21 世纪天然气工业成为能源市场发展的主流。

目 录

引言

第一章 概述..... (1)

第一节 天然气发展史..... (1)

第二节 人类寻求天然气的利用..... (4)

第三节 天然气进入可持续发展时期..... (8)

第二章 天然气处理和商品量计算..... (10)

第一节 净化处理..... (10)

第二节 天然气气质标准..... (11)

第三节 天然气加臭处理..... (12)

第四节 商品天然气量的计算..... (12)

第三章 天然气市场特殊性和消费结构..... (14)

第一节 天然气市场特殊性..... (14)

第二节 天然气消费结构..... (18)

第四章 城市居民用天然气..... (20)

第一节 城市民用天然气概述..... (21)

第二节 天然气用作住宅 - 商业能源的 特点..... (22)

第三节 天然气用作家庭燃料..... (27)

第五章 天然气发电..... (31)

第一节 与燃煤发电的比较..... (31)

第二节 天然气在电力生产中的作用..... (33)

第三节	能量梯级利用的基本形式·····	(34)
第六章	分布式发电的方向是冷热电联产系统·····	(40)
第一节	未来电力发展的方向·····	(40)
第二节	冷热电联产·····	(42)
第三节	与远程送电和大型热电联产系统的比较·····	(44)
第四节	天然气空调与电力空调的比较·····	(45)
第七章	液化天然气的冷量利用·····	(47)
第一节	液化天然气冷量发电·····	(47)
第二节	空气分离和液态二氧化碳的生产·····	(48)
第三节	同位素 ¹³ C 分离 ·····	(48)
第八章	天然气汽车是解决城市空气污染的途径·····	(50)
第一节	替代燃料汽车的分类·····	(50)
第二节	天然气汽车的优缺点·····	(51)
第三节	加气站·····	(53)
第九章	天然气是重要的化工原料·····	(55)
第一节	天然气化工·····	(55)
第二节	合成氨和尿素及下游产品·····	(56)
第三节	甲醇及其下游产品·····	(59)
第十章	天然气制取合成油·····	(63)
第一节	偏远地区的天然气利用·····	(63)
第二节	费歇尔-托普斯流程·····	(64)
第三节	合成气生产·····	(65)

第四节	F-T合成工艺	(66)
第五节	合成油加工.....	(69)
第六节	反应水处理.....	(69)
第十一章	迈向氢能经济时代的燃料电池.....	(71)
第一节	燃料电池的特点.....	(71)
第二节	燃料电池发电系统的构成.....	(73)
第三节	燃料电池优越性.....	(75)
第四节	燃料电池类型和基本特性.....	(76)
第五节	燃料电池的应用.....	(79)
第十二章	甲烷是通往氢能时代的桥梁.....	(81)

第一章 概述

第一节 天然气发展史

人类发展天然气走过漫长的历程。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，古希腊人把这种不可解释的自然现象敬奉为神灵，就在火焰燃烧处修建寺庙。女祭司把它命名为德尔斐神龛(图 1-1)，从此成为卜卦问神的圣殿。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。恺撒时代法国格勒诺勃也有“燃烧之泉”的记载。

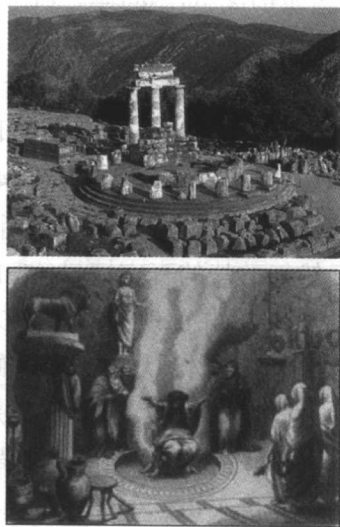


图 1-1 希腊德尔斐神龛遗址

我国是最早利用天然气的国家之一，没有敬神这段



图 1-2 自贡燊海井

历史。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。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。宋应星著《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。公元 1835 年人工钻凿了世界第一口超千米深井——燊海井(图 1-2)。据《川鹺概略》记载，历时 3 年，方始凿成。相当于井深 1001.42 米，既产卤，又产气。当时，卤水自喷量每日约 14 m^3 ，并且能日产天然气 $4800 \sim 8000 \text{ m}^3$ ，可供熬制 14 吨盐。现在建立的燊海井博物馆(四川自贡市)，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(图 1-3)。

人类自发现天然气以来的长达两千多年时间里，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。小打小闹，未成气候。

从 17 世纪开始的工业革命，对能源的需求大增，煤气工业首先进入可燃气体市场，持续霸占市场达两百多年。

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9米深的井，成功地取得较大气流的天然气。接着几年接通管道，照亮了附近的住家和商店。首先使用的是木管，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。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，这个时期的天然气开发利用史基本上是美国天然气工业发展史。



图 1-3 我国古代用
天然气熬井盐

1839年在俄亥俄州的芬德利钻水井时发现了天然气，并用管线送到附近的住房供家庭燃料及照明之用。1841年在维吉尼亚州西部的查理镇附近，天然气开始用来作为燃料从卤水中熬盐。

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，开始排挤煤气工业，并逐渐将其驱逐出市场。我国于1904年在台湾省首先发现天然气田，1937年四川省石油沟发现天然气田。我国开始了现代天然气工业。

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。天然气可采储量和产量大幅度上升，其中发展得最快的是前苏联、美国和荷兰。

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，使得天然气可采储量和产量大幅度增长。

20 世纪 70 年代世界出现第二次石油危机，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。就全球而论，每年的天然气产量都成为历史的最高记录。

第二节 人类寻求天然气的利用

从能源应用技术、效率和环境的影响角度来看，能源转换的推动力是人类要求取得热值较高的能源或者含氢量较高的能源，因此人类在应用能源的历史中不断探索和寻求。

一、寻求能源高热值化

能源价值是以做功的能力来衡量的。作为燃料，以

燃烧时产生的热量来量度。木材和化石能源的热值和氢碳比如表 1-1。氢质量热值为 119.5 兆焦/千克，碳为 32.7 兆焦/千克，所以氢含量高的烃类质量热值就高。

在寻求燃料资源高热值的过程中，燃料化学结构中氢含量越高，热值也越高。以甲烷为主的天然气是烃类中氢碳比值最高的，是天然生物和化石燃料中质量热值最高的能源。

表 1-1 一些燃料热值和氢碳比

	木 材	煤	石 油	天然气
总热值/(千焦/千克)	6300 ~ 8400	21000 ~ 30000	42000 ~ 46000	55000
氢碳原子比	1:10	1:1	约 2:1	4:1

二、寻求环境污染小的能源

人类利用能源对环境的破坏从使用薪柴时代就已经开始了，但那时生产力低下，能源消耗水平低，森林和植物的再生速度和消耗大致平衡，全球生态环境未受到破坏。

工业革命后，煤开始取代薪柴，城市和工业用煤剧增，产生的 SO_2 和烟尘污染大气，人口剧增，土地开垦也随之加大，森林面积缩小，生态系统遭到破坏。

到 20 世纪，工业迅猛发展，城市规模迅速扩大，煤炭继续大量使用。内燃机的出现使石油产品用量飞速增加，以汽车为中心的排气污染物成为城市大气污染的主要元凶。 CO_2 排放量巨大，造成地球变暖，由 SO_2 、 NO_x 等形成的酸雨，不仅在城市肆虐，而且跨越国界造成了严重的国际环境问题。

利用天然气对环境的污染要比煤和石油小得多，经燃烧后排出的 SO_2 和 NO_x 极少，而且天然气燃烧产生的温室气体也较少。

表 1-2 相同发热量下各种化石燃料^①燃烧时碳排放量(吨碳/吨油当量)

天然气	LPG ^②	汽油	煤油	柴油	原油	重油	烟煤	无烟煤
0.61	0.71	0.80	0.82	0.84	0.84	0.88	1.09	1.14

① 化石燃料指煤、石油、天然气。

② LPG 含有 55% 的 C_3 和 45% 的 C_4 。

表 1-3 化石燃料发电站大气污染物排放量(克/千瓦·时)

	效率/%	CO_2	CO	CH_4	NO_x	SO_2
天然气联合循环发电	58	313	0.18	0.03	1.04	~0
天然气单循环发电	35	443	0.25	0.05	1.46	~0
常规燃油蒸汽发电	40	673	0.13	0.01	1.73	1.7~5.0
常规燃煤蒸汽发电	40	813	0.5~1.33	0.01	2.7~9.4	2.3~7.0

天然气燃烧对环境污染少是由于天然气主要成分甲烷的化学结构和气体形态及储运工艺要求所决定的。利用天然气作燃料可缓解温室气体排放量，因此发达国家把利用天然气替代煤和石油作为减缓 CO_2 排放量的重要措施之一。

三、提高能源利用效率是人类长期的追求

提高能源利用效率就可以减少能源消耗量，达到节约资源、降低成本、减少污染等的经济效益和社会效益。

长期以来，随着热力学理论的研究、新技术和新材料的开发、新装备的应用对用能单位乃至全社会的能源使用效率都有了显著提高。采用天然气的能源利用效率

的提高尤其显著。如：

(1) 工业燃煤锅炉效率 50% ~ 60%，而燃气锅炉 80% ~ 90%；

(2) 家庭燃煤炉灶 20% ~ 25%，而燃气灶 55% ~ 65%；

(3) 发电站燃煤蒸汽发电效率一般 33% ~ 42%，而天然气联合循环发电站 50% ~ 58%。

(4) 合成氨是高能耗工业。世界约 90% 的合成氨用天然气生产。通过深入研究，吨氨耗量大幅度下降。

四、寻求资源丰富的能源

为了满足社会经济快速发展对能源的需求，要使天然气替代部分石油，其基础是在技术和经济可行情况下的可采储量以及可接替的资源量。天然气资源异常丰富，常规资源达(400 ~ 600)万亿米³，而非常规天然气资源约为常规的 2500 倍。完全可以满足人类长期的需求。

此外，人们在使用能源的过程中还追求方便、容易控制、安全卫生等，天然气就能够满足人类的这些需求，因此，天然气成了现在乃至将来广泛应用的能源，在 21 世纪必将获得大发展。

由此看出，人类社会的发展伴随着能源应用的历史，生产力发展是推动能源转换的基本原因。主要能源应用经历着薪柴→煤→石油→天然气的转变，即能源发展史是从地面上的薪柴到地球深处的天然气，从高碳分子的薪柴和煤到低碳分子的天然气，从易得的薪柴到不易得的天然气，从环境污染严重的煤炭发展到污染小的天然