



石油科技知识系列读本
SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

天然气 与电力

*Natural Gas and Electric Power in
Nontechnical Language*

作者: Ann Chambers
翻译: 王大锐 宋祎楠



石油工业出版社



石油科技知识系列读本
SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

天然气 与电力

*Natural Gas and Electric Power in
Nontechnical Language*

作者: Ann Chambers
翻译: 王大锐 宋祎楠

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一本关于天然气与电力的科普读物。在本书中你将了解到天然气工业和电力工业的过去、现在和未来,也能了解到天然气从勘探、开采到贸易及用于发电全过程。同时,你也了解到天然气发电和其他燃料发电的竞争以及几种发电的形式。

本书可供石油工业和电力工业的相关人员使用,也可做科普知识宣传使用。

图书在版编目(CIP)数据

天然气与电力 / (美) Ann Chambers 著; 王大锐, 宋祎楠译.
北京: 石油工业出版社, 2009.12

(石油科技知识系列读本)

书名原文: Natural Gas and Electric Power

ISBN 978-7-5021-6205-4

I. 天…

II. ① A…② 王…③ 宋…

III. ① 天然气—普及读物② 电力工业—普及读物

IV. ① TE64-64 ② TM-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 212483 号

本书经 PennWell Publishing Company 授权翻译出版, 中文版权归
石油工业出版社所有, 侵权必究。著作权合同登记号: 图字 01-2002-3655

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.com.cn

发 行 部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 11.75

字数: 190 千字

定价: 32.00 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

《石油科技知识系列读本》编委会

主 任：王宜林

副 主 任：刘振武 袁士义 白泽生

编 委：金 华 何盛宝 方朝亮 张 镇

刘炳义 刘喜林 刘克雨 孙星云

翻译审校：（按姓氏笔画排列）

尹志红	王 震	王大锐	王鸿雁	王新元
王瑞华	艾 池	乔 柯	刘 刚	刘云生
刘怀山	刘建达	刘欣梅	刘海洋	孙晓春
朱珊珊	吴剑锋	张 颖	张国忠	李 旭
李 莉	李大荣	李凤升	李长俊	李旭红
杨向平	杨金华	汪先珍	苏宇凯	邵 强
胡月亭	赵俊平	赵洪才	唐 红	钱 华
高淑梅	高雄厚	高群峰	康新荣	曹文杰
梁 猛	阎子峰	黄 革	黄文芬	黎发文

丛书序言

石油天然气是一种不可再生的能源，也是一种重要的战略资源。随着世界经济的发展，地缘政治的变化，世界能源市场特别是石油天然气市场的竞争正在不断加剧。

我国改革开放以来，石油需求大体走过了由平缓增长到快速增长的过程。“十五”末的2005年，全国石油消费量达到3.2亿吨，比2000年净增0.94亿吨，年均增长1880万吨，平均增长速度达7.3%。到2008年，全国石油消费量达到3.65亿吨。中国石油有关研究部门预测，2009年中国原油消费量约为3.79亿吨。虽然增速有所放缓，但从现在到2020年的十多年时间里，我国经济仍将保持较高发展速度，工业化进程特别是交通运输和石化等高耗油工业的发展将明显加快，我国石油安全风险将进一步加大。

中国石油作为国有重要骨干企业和中央企业，在我国国民经济发展和保障国家能源安全中，承担着重大责任和光荣使命。针对这样一种形势，中国石油以全球视野审视世界能源发展格局，把握国际大石油公司的发展趋势，从肩负的经济、政治、社会三大责任和保障国家能源安全的重大使命出发，提出了今后一个时期把中国石油建设成为综合性国际能源公司的奋斗目标。

中国石油要建设的综合性国际能源公司，既具有国际能源公司的一般特征，又具有中国石油的特色。其基本内涵是：以油气业务为核心，拥有合理的相关业务结构和较为完善的业务链，上下游一体化运作，国内外业务统筹协调，油公司与工程技术服务公司等整体协作，具有国际竞争力的跨国经营企业。

经过多年的发展，中国石油已经具备了相当的规模实力，在国内勘探开发领域居于主导地位，是国内最大的油气生产商和供

应商，也是国内最大的炼油化工生产供应商之一，并具有强大的工程技术服务能力和施工建设能力。在全球 500 家大公司中排名第 25 位，在世界 50 家大石油公司中排名第 5 位。

尽管如此，目前中国石油仍然是一个以国内业务为主的公司，国际竞争力不强；业务结构、生产布局不够合理，炼化和销售业务实力较弱，新能源业务刚刚起步；企业劳动生产率低，管理水平、技术水平和盈利水平与国际大公司相比差距较大；企业改革发展稳定中的一些深层次矛盾尚未根本解决。

党的十七大报告指出，当今世界正在发生广泛而深刻的变化，当代中国正在发生广泛而深刻的变革。机遇前所未有，挑战也前所未有，机遇大于挑战。新的形势给我们提出了新的要求。为了让各级管理干部、技术干部能够在较短时间内系统、深入、全面地了解和学习石油专业技术知识，掌握现代管理方法和经验，石油工业出版社组织翻译出版了这套《石油科技知识系列读本》。整体翻译出版国外已成系列的此类图书，既可以从一定意义上满足石油职工学习石油科技知识的需求，也有助于了解西方国家有关石油工业的一些新政策、新理念和新技术。

希望这套丛书的出版，有助于推动广大石油干部职工加强学习，不断提高理论素养、知识水平、业务本领、工作能力。进而，促进中国石油建设综合性国际能源公司这一宏伟目标的早日实现。

王臣明

2009 年 3 月

丛书前言

为了满足各级科技人员、技术干部、管理干部学习石油专业技术知识和了解国际石油管理方法与经验的需要，我们整体组织翻译出版了这套由美国 PennWell 出版公司出版的石油科技知识系列读本。PennWell 出版公司是一家以出版石油科技图书为主的专业出版公司，多年来一直坚持这一领域图书的出版，在西方石油行业具有较大的影响，出版的石油科技图书具有比较高的质量和水平，这套丛书是该社历时 10 余年时间组织编辑出版的。

本次组织翻译出版的是这套丛书中的 20 种，包括《能源概论》、《能源营销》、《能源期货与期权交易基础》、《石油工业概论》、《石油勘探与开发》、《储层地震学》、《石油钻井》、《石油测井》、《油气开采》、《石油炼制》、《石油加工催化剂》、《石油化学产品》、《天然气概论》、《天然气与电力》、《油气管道概论》、《石油航运（第 I 卷）》、《石油航运（第 II 卷）》、《石油经济导论》、《油公司财务分析》、《油气税制概论》。希望这套丛书能够成为一套实用性强的石油科技知识系列图书，成为一套在石油干部职工中普及科技知识和石油管理知识的好教材。

这套丛书原名为“Nontechnical Language Series”，直接翻译成中文即“非专业语言系列图书”，实际上是供非本专业技术人员阅读使用的，按照我们的习惯，也可以称作石油科技知识通俗读本。这里所称的技术人员特指在本专业有较深造诣的专家，而不是我们一般意义上所指的科技人员。因而，我们按照其本来的含义，并结合汉语习惯和我国的惯例，最终将其定名为《石油科技知识系列读本》。

总体来看，这套丛书具有以下几个特点：

(1) 题目涵盖面广，从上游到下游，既涵盖石油勘探与开发、工程技术、炼油化工、储运销售，又包括石油经济管理知识和能源概论；

(2) 内容安排适度，特别适合广大石油干部职工学习石油科技知识和经济管理知识之用；

(3) 文字表达简洁，通俗易懂，真正突出适用于非专业技术人员阅读和学习；

(4) 形式设计活泼、新颖，其中有多种图书还配有各类图表，表现直观、可读性强。

本套丛书由中国石油天然气集团公司科技管理部牵头组织，石油工业出版社具体安排落实。

在丛书引进、翻译、审校、编排、出版等一系列工作中，很多单位给予了大力支持。参与丛书翻译和审校工作的人员既包括中国石油天然气集团公司机关有关部门和所属辽河油田、石油勘探开发研究院的同志，也包括中国石油化工集团公司江汉油田的同志，还包括清华大学、中国海洋大学、中国石油大学（北京）、中国石油大学（华东）、大庆石油学院、西南石油大学等院校的教授和专家，以及BP、斯伦贝谢等跨国公司的专家学者等。需要特别提及的是，在此项工作的前期，从事石油科技管理工作的老领导傅诚德先生对于这套丛书的版权引进和翻译工作给予了热情指导和积极帮助。在此，向所有对本系列图书翻译出版工作给予大力支持的领导和同志们致以崇高的敬意和衷心的感谢！

由于时间紧迫，加之水平所限，丛书难免存在翻译、审校和编辑等方面的疏漏和差错，恳请读者提出批评意见，以便我们下一步加以改正。

《石油科技知识系列读本》编辑组

2009年6月

天然气与电力

关于本书

天然气与电力工业的融合已经开辟了一个新的市场。在这个市场中，既有天然气专家或电力工业的行家里手，也有许多外行人士。在《天然气与电力》这本书中，读者将对电力工业和天然气工业有一个全面的了解。

工业专家安·查波丝从天然气发展的简要历史入手，分析了勘探、钻井技术、生产过程，探讨了管线输送、储藏、运输、营销和贸易选择等各个方面的问题。然后，安·查波丝又简要阐述了电力工业的历史，并解释了电力设备是如何与天然气工业相匹配的。她用非专业术语详述了使用气体燃料设备的原理、特点和益处，说明了它们与其他设备不同之处。她讲述了商业化发电厂的发展，分布式发电的增长普及和供应者也可以在新的、非正规市场中受益的途径。利用这些有价值内容，无论是业内人士还是非专业人员都能够从这本书中了解到天然气和电力工业所处的地位和未来的发展方向。

作者简介

安·查波丝是《电力工程》与《国际电力工程》的编辑与记者，也是 PennWell 出版公司的《电力工业简略》、《电力工业字典》、《电力标记》和《电力入门：非电力专业读者指南》等书的作者，参与主持 PennWell 出版公司的《国际电力工程百科全书》的编辑工作。安·查波丝拥有美国俄克拉何马州立大学的新闻学学士学位。

前言

天然气是我们国家能源组成中的一个重要分子——是一种在新千年中有望增长的重要能源。天然气是电力工业优选的燃料，几乎在所有新设计的电站中都会将其作为燃料。

电力工业正在经历一个痛苦的解禁过程，电力工业正在重建并加强自身实力，以迎接即将到来的市场开放新形势。即将来临的解禁措施压制了发电站的建设，阻碍了全国电力生产建设，因为公共事业部门都在等待、观望。他们害怕对新电厂投资，因为还不能确定那些支出是否可以得到回报。同时，额外的供电能力已经从 17% 左右下降到一个危险的低水平。在夏季用电高峰时的频繁拉闸限电准确地表明——是该做一些事情了。

终于，在 20 世纪 90 年代后期，当解禁的趋势发展到一定气候时，大量的电力短缺就几乎可以确保新建发电厂在解禁后的市场中受益。于是出现了发电厂的建设高峰，在这一时期，一个主要受益方就是天然气工业。

天然气工业已经经过了解禁时期，幸存下来的公司看到了电力工业解禁中巨大的潜在商机。天然气公司和电力部门开始建设新型发电设备，几乎所有新设备都要以用天然气为动力。

在美国，所使用的天然气主要产自本土，所以天然气的进出口几乎没有遇到过什么麻烦。海外的政策也不会影响到美国的天然气供给。美国本土天然气总用量占美国所有天然气使用总量的 86%。美国的天然气主要进口国是加拿大。预计到 2015 年，美国本土的天然气产量将从现在的 $19 \times 10^{12} \text{m}^3$ 增加到 $26 \times 10^{12} \text{m}^3$ ——这足以使美国国产天然气可以连续保持 86% 的供气指标不变。

此外，天然气的价格已经随其他化石燃料价格而下降，后者是发电的主要燃料。核能是电力工业中占有很大比例的唯一非化石燃料。由于我们拥有丰富的天然气资源，并且不断地发展勘探开发的新技术，所以天然气的价格有望保持一个低的价格位，至少在未来的 20 年中将维持现有的低价水平。

煤的价格便宜，在美国国内蕴藏量极大，但被认为是不洁之物。当排放量的法律条款增加且更加严格时，烧煤的设备就必须花费大量资金去配备净化装置，以达到这些排放标准的要求，这样便增加了煤电的消耗。未来排放量的要求不确定性和这些附加的净化设备的费用正在淘汰以煤为燃料的发电设备。出于相同的原因，烧油的设备也基本上不再使用。但是，天然气却没有所有其他化石燃料所

担心的排放问题。它被认为是一种清洁能源，这就促进了它的普及。燃烧天然气的装置的建造也比其他种类的便宜且快捷。

根据美国天然气协会的预测，到 2015 年，天然气的消费有望比现在高出 40% 以上，这归因于工业对燃料的强烈需求，新建民用住宅用户天然气的普及使用，以及新建的燃气型发电厂设备发电量的显著提升。这些增长量将使天然气占据美国能源市场的 28% 以上的份额。

美国的天然气的总消耗量有望从 1997 年的 $23 \times 10^{15} \text{Btu}$ ^① 增加到 2015 年的 $32 \times 10^{15} \text{Btu}$ 。最高速的增长预计会发生在电力部门，在该行业中，天然气发电所带来的经济与环境方面的利益将会使天然气持续地获得最大的市场份额。在 1998 年至 2015 年间，电力部门的天然气消费量预计会是目前的一倍以上。发电业在 1997 年使用了 $2.9 \times 10^{15} \text{Btu}$ 的天然气，预计到 2015 年该行业的天然气消费将接近 $7.0 \times 10^{15} \text{Btu}$ 。

商业用电是美国国内一个相对新的市场，它的发电用燃料几乎都来自天然气。一个原因就是天然气公司常常会装备天然气发电设备。这些公司和电力部门都看到了通过转换和控制它们的燃料供应而在市场上使自己的利益最大化的潜力，所以正极力推动这两大工业的融合。

电力工业每年的产值达 2000 亿美元，天然气工业每年的产量超过 800 亿美元，所以两者都是美国的主要工业。而且，它们正在创造一个新型的、产值高达 3000 亿美元的 Btu 工业，其影响是不能被低估的。

在本书中，我们将回顾这两大工业的发展历史，以及促使它们结合的各种力量，包括政治的、法律的、技术和经济方面的内容。天然气的基础知识，包括勘探、钻井和开采、运输，以及交易等都通过通俗易懂的语言给以解释。我们还将讨论电力工业中其他燃料对市场份额的竞争，包括电力工业，商业化发电工厂的增加，分布式发电，以及在新的热能生产中创造价值的策略。

① 1Btu（英热单位）=1055.06J（焦耳）。

目 录

1	天然气的历史	1
1.1	管线与运输	2
1.2	法规	5
1.3	解除禁令	6
	附件 天然气解禁的一些关键时期	9
2	天然气的勘探、钻井和开发	11
2.1	勘探	12
2.2	钻井	13
2.3	开发	15
3	天然气的运输和储存	20
3.1	运输	20
3.2	储存	25
4	天然气贸易	27
4.1	供给	28
4.2	需求	29
4.3	运输	30
4.4	实际交易	32
4.5	贸易市场	32
5	天然气基础知识	35
5.1	化学优势	36
5.2	溶解气	37
5.3	凝析气	38
5.4	天然气的测量	38
5.5	利用与发展趋势	40
6	发电的历史	43
6.1	交流电和直流电	44
6.2	国家电气化	45
6.3	电力批发市场	47

附件 影响电力历史的主要法规	49
7 解禁措施	52
7.1 电力价格与电力增长	53
7.2 电力工业的重组	55
7.3 套牢成本	60
7.4 独立操作系统 (ISO)	61
7.5 电力市场营销	62
7.6 公众选择	64
7.7 动力改变	65
7.8 发电能力要求	66
8 天然气工业与电力工业的融合	67
8.1 合并和获利	67
8.2 电力工业的合并数量	68
8.3 融合的分支	70
8.4 利益最大化	70
8.5 天然气工业的先例	71
8.6 电力工业的商业竞争	73
9 发电厂基础知识	74
9.1 发电燃料	76
9.2 发电负载和电力输送	76
9.3 T&D 系统的组成	77
10 发电技术	80
10.1 工业潜力	82
10.2 燃料电池	84
11 竞争中的燃料与环境因素	88
11.1 发电燃料	88
11.2 环境因素	97
12 商业化发电	106
12.1 燃气商业化发电	107
12.2 国际化展望	109
12.3 风险与利益	110
12.4 其他产业	111
13 分布式发电	113

13.1	燃烧机.....	115
13.2	往复式发动机.....	116
13.3	发电潜力.....	117
13.4	燃料电池.....	117
13.5	增长趋势.....	118
14	结论	120
	词汇表.....	122

1 天然气的历史

天然气在美国的利用最早可以上溯到 1821 年，但直到 20 世纪 20 年代才开始在能源市场上占有一定的份额。此后，天然气的频繁发现成为不受欢迎的事件，对那些与这种易爆性气体打交道的煤矿主们来说更是如此。Colonel Drake 油田的第一口石油井于 1859 年在宾夕法尼亚钻探成功，开创了现代石油工业的先河，但天然气利用的普及则是半个多世纪之后的事情了。

天然气为 Colonel Drake 油田钻探的石油提供了补偿，而该油田也为美国大陆建于 1872 年的第一条天然气输气管线提供了天然气。该管线是铁制的，直径为 2in^①，全长约 5mile^②，从产气的井口一直延伸到附近的村子里。天然气输送的一个重要突破发生在 1890 年，这得益于 S. R. Dresser 发明的密封垫。然而，管线的铺设依然极为不方便，而且没有一条输气管线从产气井引出的长度超过 100mile。

由于无法得知一口井是否能连续产出天然气，所以天然气依然是一种不可靠的产品。天然气井承担着巨大的经济风险。同时，煤炭与石油的价格便宜，所以，很少有什么经济刺激能够克服与天然气相关的困难。

(1) 人工制造煤气与照明。

自从 19 世纪发现天然气以来，它就几乎完全用于电灯照明。这种情况直到 20 世纪初电占据了照明市场之后才得以改观。从那时起，煤气公司才把自己的注意力转向热利用，比如天然气装置，包括热水器、空调机以及炊事用具等。

在 19 世纪，煤气产自位于城区的“天然气工厂”的煤炭。一般地，制造天然气的公司同时也掌管着管线与配气系统的运行。现在，很少有天然气的生产者会介入长途运输或城区配气站的工作。在第二次世界大战之前，这种“人造”天然气的工业与电力部门的市场相对小些，二战后，天然气才得到广泛的应用。在此之前，天然气工业出售人造煤气，

① 1 in(英寸)=0.0254m(米)。

② 1 mile(英里)=1609.344m(米)。

供街道和家庭照明。从煤炭制出的人造煤气用于照明，但若在锅炉中使用这种昂贵的人造煤气就失去了它的经济价值，锅炉可以使用便宜的煤作为燃料。

20 世纪 20 年代初，煤气在美国得到广泛使用，并很快取代了蜡烛，成为住宅照明的主要来源。人造煤气的费用与其本身的价格是相等的，因为它的火焰要比其他的光源好得多。在过度捕猎导致捕鲸时代的结束之前，鲸油一直是人造天然气的最强有力的竞争对手。在 19 世纪 70 年代，一个新对手占据了照明市场的很大份额——当时出现的煤油表现出极大的优越性——它很少会造成人员的窒息性伤害，不需要管线输送，而且可以发出更亮的火焰光。

Wellsbach 罩式灯于 1885 年上市，促使人造煤气成为重要的照明光源而得到广泛使用，因为这种白炽灯可有效的发挥天然气照明的特性。接下来，在 1892 年，汤姆斯·爱迪生 (Thomas Edison) 在纽约成功地制成了第一台发电机，以令人瞩目的速度结束了人造煤气照明的时代。

(2) 从光到热。

天然气从一盏灯到热源的转变引发了测量标准的一场革命。最初，天然气的热值是以“烛光” (Candlepower) 来表示的。向热标准的转变始于 1908 年，当时的威斯康星州新公共设施委员会要求天然气配气者们使用英国的热单位 (British thermal units 简称 Btu)。

在人造煤气被无毒、便宜而丰富的天然气供应代替之前，人造煤气的家庭取暖与设备的应用是有限的。1931 年，芝加哥开创了这种方式的先河，天然气的配气机构民众天然气照明公司 (Peoples Gas Lighting) 与焦炭公司 (Coke) 把当时世界上最大的天然气生产区 (堪萨斯西南部的油气田) 的天然气输送到芝加哥。第二次世界大战结束后，天然气工业开始大发展。在接下来的 30 年中，美国的居民用户与工业用户尽享天然气带来的好处。

1.1 管线与运输

在管线随着第二次世界大战得到发展之前，与石油勘探相伴所产生的天然气绝大部分被当场烧掉或者被排放了。直到今天，气体燃料依然远比固体燃料如煤炭和液体的石油难以运输，且费用也要高得多。液体与固体燃料可以用倾注或挖掘的方式注入容器内，并可以通过高速公路、铁路或海运等方式运至市场。但最有效的输送天然气方式是通过固

定的、高压管线进行。

管线没有必需的损耗。问题在于当时的技术水平使人们还用不起。今天，管线是石油在大陆输送的首选方式，管线是输送大体积的半液化煤炭的最便宜的方式之一。

管线技术的进步是不规则的。第一条天然气管线有 100 多英里长，从印第安纳州的几个天然气田铺往芝加哥，它于 1891 年建成。该管线在 120mile 的输气线路上没有一部压缩机。在压力足够的条件下天然气可以升至地面，并可连续流动。在管线中，天然气的输送量取决于管线的直径、功率以及管线上加压站的间距。目前的管线以每 10 ~ 200mile 升压 1000psi^① 的压力状态运行。芝加哥的管线气从 1891 年起就以 525psi 的压力涌出地表。早在 1880 年，这条管线就用上了压缩机，但压缩机并不是管线延长的限制因素。管线的质量是更加重要的保障。管线工业的发展取决于管材接口处的强度与连接，以及能够经受所需高压的钢材。

安全也是一个因素。与液体不同，气体能够近乎无限制地被压缩，然后在大气压力条件下又可能膨胀回原状。一根油管上的一个小孔或裂隙都可能造成大麻烦，但是这远没有在高压输气线上的危险性高。在那种输气线上，一个小小的孔隙就可引起巨大的灾难。随着时间的推移，钢管取代了以前的铸铁管子。即便如此，管材的强度依然会受到管材制作工序中从平板卷为圆桶状的过程，以及每节管子之间的焊接处的质量的影响。较厚的管材也不能保证就能承受高压，因为管材彼此之间的接缝处依然是脆弱的。

接缝和管线之间的连接技术在 1911 年就有了极大的进步，当时引进了氧—乙炔焊接技术。1922 年诞生了电焊技术。在第二次世界大战中和战后所使用的压力气焊技术融合了能够切开钢管的技术进步，产生了制造业的重大技术突破，为管线制造业的大发展开辟了新路。

随着技术的不断进步，天然气管线工业采取了增加管材直径与压力的方式，此举增大了输气管线系统的能力并提高了经济效益（表 1.1）。

表 1.1 管线能力增长一览

年份	最大管径 (in)	设计压力 (psi)
1930	20	500
1950	26	800

① 1 psi=6.89476 × 10³Pa。