



石油科技知识系列读本

SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

天然气

概论

Natural Gas in Nontechnical Language

作者: Rebecca L. Busby

翻译: 王大锐



石油工业出版社



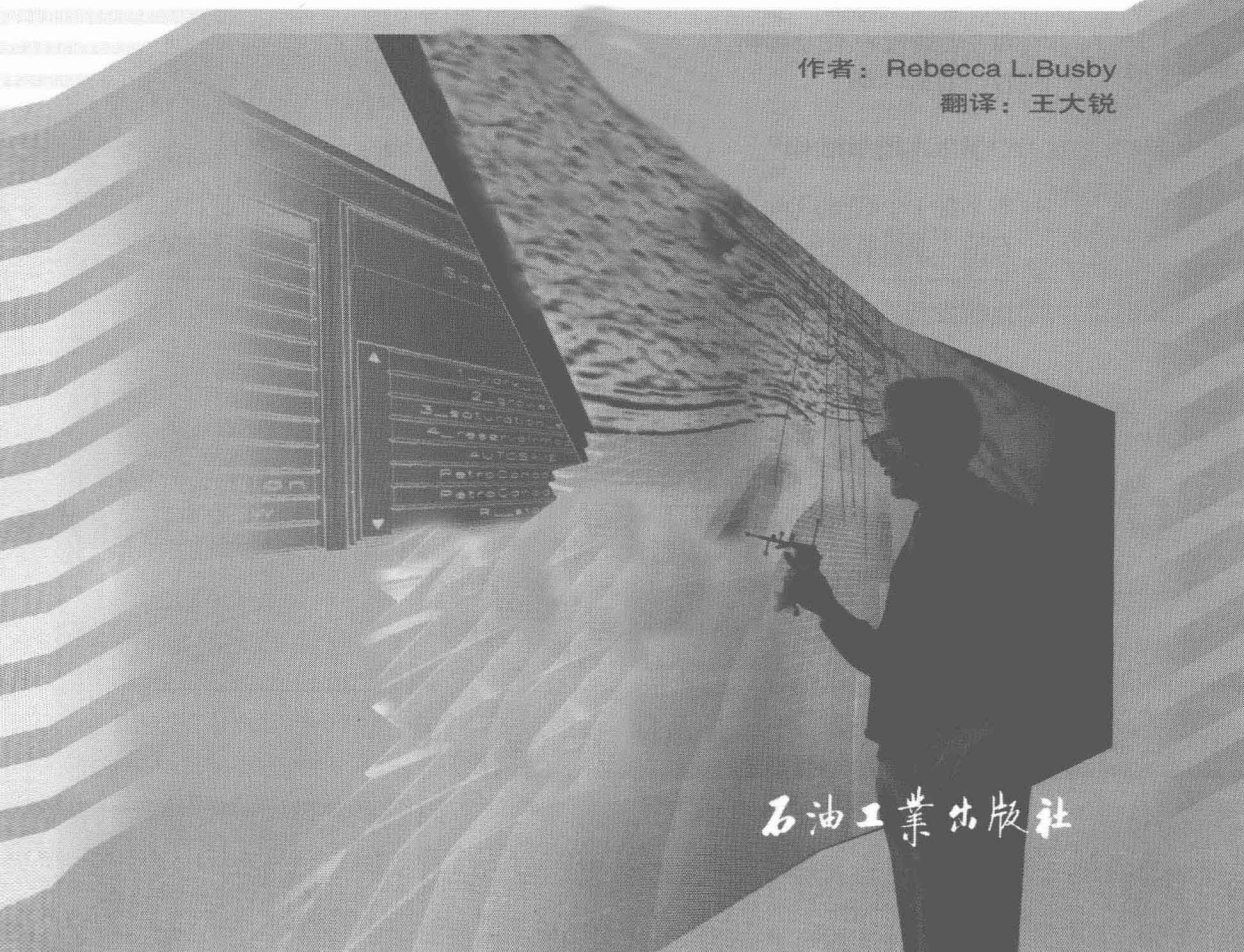
石油科技知识系列读本
SHIYOU KEJI ZHISHI XILIE DUBEN

天然气

概论

Natural Gas in Nontechnical Language

作者: Rebecca L. Busby
翻译: 王大锐



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一本为非专业人员撰写的关于天然气工业的通俗读物,介绍了天然气工业从井场勘探开采到终端用户的全过程,并强调了天然气工业未来的发展趋势、资源量以及供求关系等。读者可以对天然气工业的历史、勘探开发技术、运输管线、储存、运输与市场交易、经济与契约性项目条款以及相应的法规等有一个总体了解。

本书可供天然气工业非专业人员阅读,也可供天然气市场经销商、投资商及相关院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

天然气概论 / (美) Rebecca L. Busby 著; 王大锐译.

北京: 石油工业出版社, 2009.12

石油科技知识系列读本丛书

书名原文: Natural Gas

ISBN 978-7-5021-6253-5

I. 天…

II. ①R…②王…

III. 天然气 - 普及读物

IV. TE64-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 140754 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) 64210392

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: 9.25

字数: 155 千字

定价: 25.00 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

目 录

| | |
|---------------------|-----------|
| 引言 | 1 |
| 1 天然气的成因与发展史 | 3 |
| 1.1 天然气的性质 | 3 |
| 1.2 天然气的形成与聚集 | 4 |
| 1.3 天然气工业发展简史 | 7 |
| 参考文献 | 13 |
| 2 勘探原理、工具与技术 | 15 |
| 2.1 天然气在地下是怎样成藏的 | 15 |
| 2.2 勘探技术 | 18 |
| 2.3 最新的天然气勘探目标 | 24 |
| 参考文献 | 25 |
| 3 钻井、开采与处理 | 26 |
| 3.1 钻井与开采的基本步骤 | 26 |
| 3.2 钻井机械 | 26 |
| 3.3 钻井技术 | 29 |
| 3.4 单井评价与完井 | 32 |
| 3.5 天然气开采 | 35 |
| 3.6 天然气处理 | 36 |
| 参考文献 | 38 |
| 4 天然气的输送管网 | 39 |
| 4.1 天然气是怎样运输的 | 39 |
| 4.2 天然气管道工业发展简史 | 39 |
| 4.3 管道项目的发展 | 41 |
| 4.4 管道的运行 | 44 |
| 4.5 管道的维护与安全 | 46 |
| 参考文献 | 48 |
| 5 天然气的储存 | 49 |
| 5.1 天然气是怎样储存的 | 49 |
| 5.2 地下储气库的发展简史 | 50 |

| | |
|-------------------|-----------|
| 参考文献 | 52 |
| 6 天然气配气系统 | 54 |
| 6.1 天然气是如何配气的 | 54 |
| 6.2 天然气配气工业的发展简史 | 55 |
| 6.3 天然气的接收 | 55 |
| 6.4 配气系统的运行 | 57 |
| 6.5 配气系统的建设 | 60 |
| 6.6 配气系统的维护 | 60 |
| 6.7 其他的配气项目 | 61 |
| 参考文献 | 61 |
| 7 天然气的利用 | 62 |
| 7.1 天然气的消费 | 62 |
| 7.2 民用气 | 63 |
| 7.3 商用气 | 66 |
| 7.4 工业用气 | 70 |
| 7.5 发电 | 77 |
| 7.6 运输工具燃料 | 79 |
| 参考文献 | 80 |
| 8 天然气工业立法史 | 81 |
| 8.1 引言 | 81 |
| 8.2 早期的规章法令 | 81 |
| 8.3 联邦法规 | 83 |
| 8.4 州立法委员会 | 89 |
| 8.5 地方性法规 | 92 |
| 8.6 安全法规 | 92 |
| 8.7 天然气工业组织 | 93 |
| 9 天然气市场与销售 | 94 |
| 9.1 引言 | 94 |
| 9.2 天然气市场发展简史 | 94 |
| 9.3 天然气管道市场与运输 | 95 |
| 9.4 天然气市场经销商与交易商 | 96 |
| 9.5 配气公司的市场 | 98 |
| 9.6 当今的天然气市场 | 98 |
| 参考文献 | 99 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 10 未来的天然气供应与需求 | 100 |
| 10.1 简介 | 100 |
| 10.2 目前的趋势 | 100 |
| 10.3 未来的供应与需求 | 103 |
| 10.4 潜在的天然气资源 | 105 |
| 参考文献 | 107 |
| 词汇表 | 108 |

引言

自从人类在数千年前发现了天然气以来，它就成为整个工业化世界中绝大多数国家不可缺少的能源。许多国家都拥有自己国内的天然气资源，而一些国家则不然，比如日本，它所需要的天然气几乎全部依靠进口。绝大多数拥有丰富石油资源的地区也富含天然气，如俄罗斯、美国、

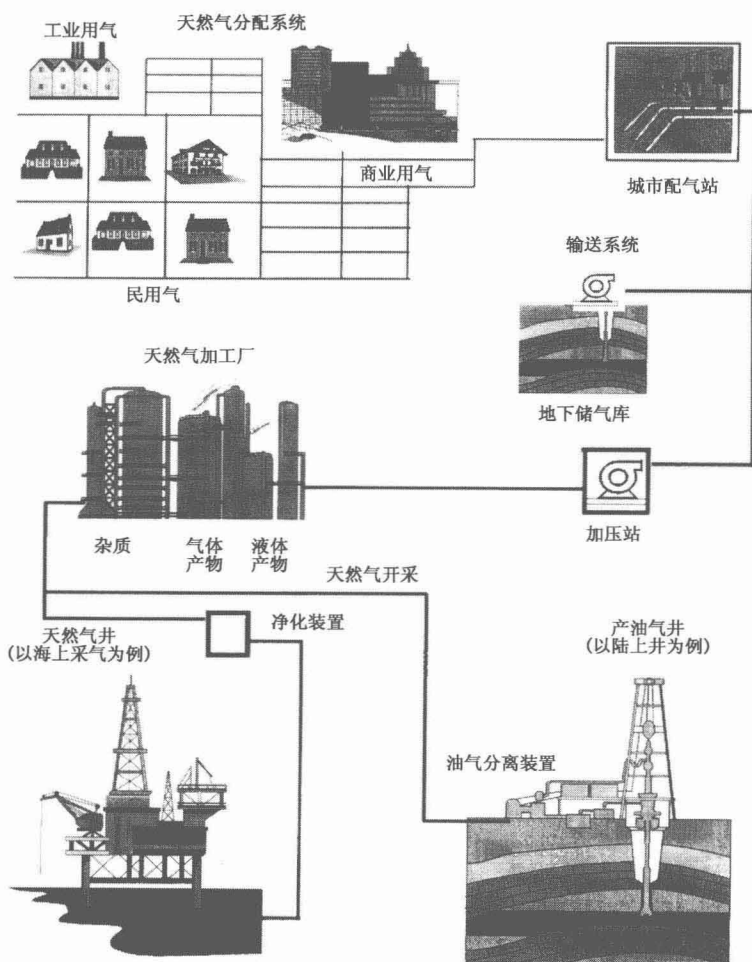


图1 从天然气的开采到用户的途径示意图

中东、墨西哥、部分南美洲地区以及环北海的欧洲国家。

从技术角度来讲，所有天然气工业的主要过程都包括勘探、开采、加工、运输（用管线输送）、储存、分配和使用（图 1）。这些内容将在本书的前 7 章中论述。即使在那些国内天然气资源贫乏的国家，它们的天然气也是通过管线或轮船运输的，然后以和美国及其他有着丰富天然气资源的国家相同的方式进行分配和利用。当然，一个成功的工业运作需要的不仅仅是技术与设备。为此，后面的章节介绍了市场与营销、政府的法规以及未来的天然气供应与需求。

美国的天然气工业是宏大的，包括数千口气井的天然气开采以及将这些采出的天然气通过数万千米不同口径的管线输送到全国每个角落。从投资规模来讲，作为美国最大的工业企业之一，天然气在全美国消费的能源中达到了 1/4。天然气工业的兴衰对于美国整体经济的健康是相当重要的。

1 天然气的成因与发展史

1.1 天然气的性质

天然气主要由甲烷 (CH_4 一种最简单的烃类物质) 组成, 还有一些较重的且更为复杂的烃类, 如乙烷 (C_2H_6)、丙烷 (C_3H_8) 和丁烷 (C_4H_{10}) (表 1.1)。在家用、商用及工业中用做燃料的常见气体实际上是纯甲烷。天然气燃烧的主要组分——甲烷是一种无色、无味的气体 (天然气的气味是人工加上的), 其燃烧时产生一种白色的、发出弱光的火焰。

天然气是最清洁的可燃化石燃料, 燃烧主要生成水蒸气和二氧化碳。甲烷还是用来生产溶剂和其他有机化学产品的重要原材料。丙烷和丁烷通常是从天然气中抽提出来的, 而且分别销售。液化石油气 (LPG) 的主要成分是丙烷, 是原始产出的天然气中一种常见的组分, 不用管线输送。

通常, 天然气还含有一些杂质, 比如二氧化碳 (酸气)、硫化氢 (有酸味的气体)、水蒸气、氦气以及其他微量气体。由于二氧化碳不能燃烧, 所以它会降低天然气的价值。然而, 二氧化碳可以用来注入老 (废弃的) 油田, 以提高采收率, 所以, 人们常常从天然气中获取它并作为一种副产品出售。氦气也可以用做油田充注气体, 而氦气在电子制造业中是很有价值的, 它还被用来充注气球和飞艇。

表 1.1 美国中部地区产出的天然气中平均烃类物质的含量

| 烃类 | 甲烷 | 乙烷 | 丙烷 | 丁烷 |
|----------|----|----|----|----|
| 百分含量 (%) | 88 | 5 | 2 | 1 |

美国拥有世界上独一无二的氦气田——大型的 Hugoton-Panhandle 气田, 氦气含量达 0.5% ~ 2%, 该气田位于得克萨斯的 Amarillo 附近, 被称为“世界氦气之都”, 这种微量的气体在其他天然气藏中是不多见的。

硫化氢 (H_2S) 是一种剧毒气体, 人吸入极低的浓度即可致命。极少量的硫化氢气体就可闻到, 它发出一种臭鸡蛋似的恶臭味。“甜”天然气中的硫化氢气体含量达不到可以检测出的程度。由于硫化氢极具腐蚀性, 所以它对天然气井中的管线、配件和阀门等有危害性。所以, 在将天然气进行管线输送之前, 必须除去硫化氢。除了应除去硫化氢与二氧化碳之外, 在天然气进行管线输送之前, 其中的绝大部分水分也应清除。

1.2 天然气的形成与聚集

1.2.1 天然气的形成

几乎所有的天然气都是在地下储集层中发现的, 且常常与石油伴生。天然气与石油是那些千万年前死亡的植物和动物遗体沉积到湖泊或海洋底部形成的。大部分的这种有机质在空气中被分解 (氧化) 并散失在大气中, 但有一些则在被分解之前就掩埋了, 或者在不流通的、缺氧的水体中沉积下来, 不会被氧化破坏。

随着时间的推移, 砂、泥和其他沉积物被石化了 (被压缩成岩石)。随着这些沉积物的向上堆积, 这些有机质就被保存在沉积岩内。最终, 在这些不断积累的沉积层中, 重量产生的压力和热力将这些有机质转变成了天然气和石油。沉积的“源”岩包括煤层、页岩及一些石灰岩, 由于富含有机质而呈暗色。许多沉积盆地主要生成天然气。

煤是由木质在一定的温度与时间条件下形成的。木质与煤具有一种相似的化学性质——它们只能生成甲烷。这就是煤矿为什么危险而且能够发生爆炸的原因。钻井常常钻入煤层去勘探煤层气, 这是当木质被转化为煤时常形成纯甲烷气。这种煤层气可以被煤层吸附并沿着煤的天然裂隙分布, 这些裂隙一旦被破坏, 先释放出水, 然后放出甲烷。产出煤层气的盆地有新墨西哥州与科罗拉多州的 San Juan 盆地和阿拉巴马州的 Black Warrior 盆地。

在其他类型的沉积盆地中, 决定生成石油或天然气的主要原因是温度。在相对较浅的深度, 温度尚未达到生成石油的高度, 细菌的活动迅速地生成了生物成因 (或微生物) 的天然气, 它们几乎全为甲烷 (图 1.1)。

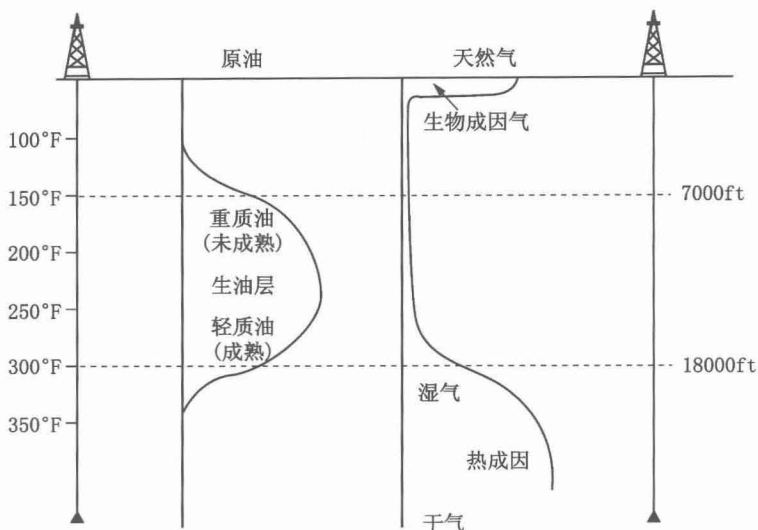


图 1.1 石油与天然气生成示意图 (引自 Norman Hyne 所著《石油勘探与开发》，PennWell, 1995)

在通常说的沼泽气中，这种生物成因的天然气很难被保存下来，它们大部分渗漏到了大气中。然而，世界上最大的天然气田——西伯利亚的尤里根 (Urengoy) 气田就是生物成因的。那里天然气被圈闭在不具渗透性的封冻层 (永冻层) 之下，该气田的储量达 $285 \times 10^{12} \text{ft}^3$ ($8 \times 10^{12} \text{m}^3$)。

在较深的层位和较高的温度下 (高于 300°F 或 150°C)，可以生成热成因气。这种天然气可以被圈闭在地下的储集层内，储集层上面有一套非渗透性的“盖层”岩石，它可以阻止天然气向上渗漏。在一些天然气储集层中，高温会汽化较重的液态烃类。当天然气生成，而且温度下降时，这些烃类会重新液化并形成凝析油。这种液体几乎全是汽油，常常被称为天然汽油。在除去乙烷、丙烷和丁烷后，这种凝析油被称为天然气液化 (NGL)。“湿”气是含有凝析油的以气体形态储存在储集层中的天然气 (甚至在开采时依然保持这种状态)，可一旦开采到地表，就成为凝析油。“干”气是纯的甲烷，其不论在储集层中还是在地表，都不会出现液体状态。

在更大的深部层位，如在 18000ft (5500m) 以下的更高温深处，石油也会被转化为天然气和石墨 (碳)，发生了与炼油厂内相似的“裂解”作用，在那里，较大的烃类分子被分解。在这一深度之下，储

集层中仅有气体存在，绝大多数深井都是为了寻找天然气而钻探的。在许多深钻井进入砂岩天然气藏时都会发现，那些砂粒被碳包裹着。显然，原来的石油被埋藏得过深并被热裂解成了天然气。

关于天然气成因的一种不寻常的理论是无机成因学说（非生物形成），是由 Thomas Gold 提出的。他是一位天体物理学家，他提出的这一理论受到了石油工业界的怀疑。根据这一理论，无机成因的天然气是这样形成的：陨星撞击地球时所携带的碳与大气层中丰富的氢结合先形成了固态的烃类，然后被加热形成甲烷。如果这一理论成立，那么，地球就可能在更深的部位含有比目前人们想像的更为丰富的天然气资源，而且其分布的位置也不是目前所发现天然气的常规区域和层位。为了验证这一假设勘探人员在瑞士的 Siljan Ring 钻了一口深井，井位布在一块古老的变质岩脉上，但并未发现什么天然气。由于遇到了难以钻穿的花岗岩岩层，该井于 1989 年在 22824ft (6957m) 的深度完钻。

1.2.2 天然气的运移与聚集

.....

天然气有两种途径可以从其生成的烃源岩中被排出：一是随着岩石埋深的加大，压力增加，岩石被压紧，岩石中的孔隙空间被减少，天然气就被挤出。二是，随着天然气的不断生成，它的体积增加，岩石中就会产生裂隙，将气体排出。由于天然气的密度小，它会随着裂隙与断层面方向向上运移，或者沿水平方向运移，然后沿着可渗透性岩石层向上运移。这种来自烃源岩的天然气垂直于水平方向上的运动称为运移。

天然气在地下被圈闭需要有一些非渗透性的、分布在其上方的盖层岩石。如果在运移的途中没有圈闭，天然气就会向上渗透，最终散失到地表。实际上，地史时期所形成的天然气绝大多数并没有被圈闭住，而是散失了。这就是为什么许多探井无法产出天然气的原因。此外，由于这种运移，原来在地球较深部位生成的天然气可以在较浅的部位被圈闭。

一旦天然气运移进入了圈闭，就会聚集在圈闭的顶部并充填岩石内的孔隙。如果圈闭中也存在石油，与石油“伴生”的天然气或者在油层之上的储层中，或者溶解在石油中。伴生的天然气含有许多除甲烷之外的烃类物质。圈闭内“非伴生气”与油层并不接触。在非伴生气的井中，产出的天然气几乎全为甲烷。

含有天然气的储集层岩石必须是孔隙性和渗透性的。孔隙度是测量储集岩储集流体（天然气或石油）能力的指标。渗透率是测量这类流体流过岩石难易程度的指标。绝大多数储集岩是可以在“致密的”（低渗透率）的地层中被发现的。

1.3 天然气工业发展简史

天然气的发现历史已达数千年，但是，作为一种燃料，它直到最近才在我们的生活中变得重要起来，这种情况始于 20 世纪 30 年代。到了 20 世纪后期，天然气已经成为绝大多数工业化国家的一种独立的燃料资源。

早在公元前 940 年，中国古代劳动人民就利用一些空竹筒插入滨海来获取天然气了。当时人们用天然气煮沸海水，然后收集盐。一些专家说，当时的中国人可以钻深达 2000ft (600m) 的井。日本人的钻井记录大概出现在公元前 600 年。

还有一些古代的人们注意到了从地下散发出来的天然气并发现它们可以燃烧。人们在这些神秘的“永恒火焰”处特意盖起了庙宇，以供那些信仰和崇拜这些火的人们一同顶礼膜拜。后来的报道注意到“火柱子”和一种发泡的神奇水，它可以“像油一样燃烧”。无独有偶，乔治·华盛顿描述了一种“可以燃烧的喷泉”。但是，这种现象出现得并不广泛，直到最近，天然气才得到了实际利用。

1.3.1 天然气工业的诞生

天然气工业在美国和欧洲的出现并不是起源于天然气本身，而是“人造”天然气，这是一种加热煤炭而产生的气体。这种“煤气”（又被称为“城市气”）出现在 19 世纪早期，被用来点灯照明，改变了人们的生活方式。工厂从此可以有更多的工作时间，家庭成员可以在天黑以后在家中阅读报纸和书籍，而不必使用昂贵而危险的蜡烛照明。

William Murdon 是一位英格兰发明家，他是最早认识到煤气是一种比煤炭更为方便的能源的人士之一，因为天然气可以用管线进行输送而且更加容易控制。在 1792 年，他就用煤气在家中点灯照明，当时他四周的邻居还以为发生了爆炸。Murdon 继续从事他的开发、储存和纯化煤气的工作，他所在的公司（Boulton & Watt 公司，以蒸汽机出名）开

始在英国与法国的工厂中实现煤气照明。1802年，为了庆祝英国与法国缔结和平条约，伯明翰市全部用煤气灯照明，引发了天然气工业发展的风暴。

同时，在法国，Phillippe Lebon 进行了通过加热锯木架、木头和木炭而产生气体的实验。在 1799 年，他获得了从木材中制得蒸馏气体的专利，他发明的天然气灯是最早的此类灯具之一，称为“热灯”，并于 1802 年在法国巴黎公开展示了自己的这一发明。然而，法国政府拒绝了 Lebon 关于大范围使用煤气灯照明的提议。而在欧洲大陆其他国家及英国，人们却对煤气照明产生了极大的兴趣。

一位德国企业家 Frederick Winson，提出了关于生产更多的煤气并通过一套中心系统输送的工程方案。他创办了一个投资企业，以保证投资安全，并用这种煤气灯照明为英国女王祝贺生日。1807 年，Winson 在英国伦敦第一次展示了街头路灯照明，这也是世界上最古老的煤气灯装置之一。在与 William Murdon 争议之后，Winson 于 1812 年创立了世界上第一个天然气配气公司。

早期的天然气配气系统采用木制管线，后来被金属管线（与海军的机枪枪管相似的方法制造）代替。一些城市和乡镇安装了中心气站并铺设管线，到 1819 年，伦敦已经铺设了近 300mile (482.7km) 的天然气管线，为 50000 多个灶具提供天然气。

在大西洋区域，美国的企业跟上了欧洲企业的发展。1802 年，Charles Peale 于设在 Philadelphia 的独立大厦的历史博物馆中试验了天然气照明。他的儿子 Rembrand Peale 于 1816 年受雇到 Baltimore 天然气装配照明系统公司，在那里，美国建立了第一个天然气公用设施。与英国的情况相似，天然气的配气系统也使用木制管线。许多天然气公司很快就在美国东部几个大城市中成立了。新奥尔良建立了美国南部第一个天然气公司，加拿大的第一家天然气公司在蒙特利尔成立。

到了 19 世纪后期，在美国有近千家销售煤气的公司，所出售的煤气主要用于照明，而煤气已经在世界上许多大城市中使用了。煤气灯已经不仅限于工厂和街道的使用，而且进入了家庭、教学楼、公共场所，在这些地方，人们可以尽情地享受夜生活。

1.3.2 遭遇竞争

虽然，早在 1815 年，一种用于天然气测量的计量表就已经发明了，

但绝大多数天然气用户所消耗的天然气在最初是不计量的。当时是根据用户所使用灯的种类和使用时间来记账付费的。用来测量用气量的煤气表于 1862 年在英国伦敦被发明，而这种早期计量表的基本原理目前依然在使用。在 19 世纪 90 年代，人们发明了一种投币式计量表，可以适应不同等级的煤气灯的计量和大量增加的煤气用户。

在 1855 年，当代最有意义的发明之一诞生了，这就是 Bunsen 燃烧炉，它可以产生灼热的蓝色火焰。这种炉具可以在燃烧前将空气与煤气预先混合在一起，在炉内煤气可以更加充分地燃烧，能够释放出更多的热量。这一原理向着天然气更大用途迈进了一大步。在 19 世纪，还出现了更加复杂的煤气制造工艺，它可以使煤气的照明性能更加出色。

但是，到了 19 世纪后期，这种新生的煤气工业险些被电力照明所扼杀，这包括 Thomas Edison（爱迪生）的电灯泡。Karl Auer（Baron von Welsbach）于 1885 年及时地发明了白炽天然气灯罩，才使得天然气工业免遭灭顶之灾。这种圆锥形的气罩（图 1.2）安装在煤气灯的火焰上，可以产生更加明亮的白色光，而早期的电灯泡发出的光则相对要暗一些。即使到了 1920 年，人们所生产的煤气中有 1/4 的还是被用于照明，而这种灯罩依然被人们使用着，同时也可以装饰煤气灯。

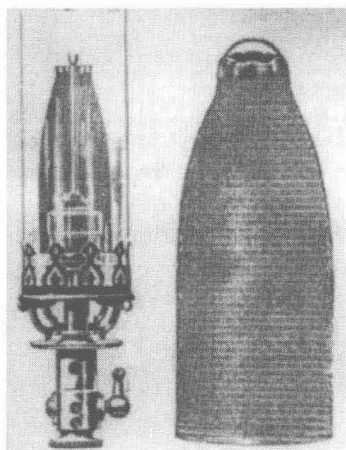


图 1.2 白炽煤气灯罩

当时另一项极有意义的进步是上推一贯流式炼焦炉的诞生（图 1.3），它是因炼铁和炼钢工业日益增长而导致高炉焦炭需求量大增的形势应运而生的。焦炭是一种固体，是制取煤气时炼焦过程中的副产品，它也可以用来进行室内加热。由于焦炭的用途，许多公共设施依然保持着“焦炭”的名称。到了 1920 年，炼焦炉所生产的煤气已经达到了所有人造煤气的 18.7% 之多。

天然气工业继续多元化发展，天然气的用途已远远不止点灯照明。在美国，最早的天然气计量仪于 1840 年左右出现，到了 1897 年，一种现代化的天然气用具诞生了——Goodwin 公司制造的 Sun Dial 型炊具（图 1.4）闪亮登场。在 4 年内，第一家完全使用天然气设备的商店于 1887 年在美国的罗德岛开张了。这些天然气设施公司的出现使得天

然气炊具得到了大发展与极大的成功。到了1900年，天然气做饭已经成为该工业最为重要的用途。

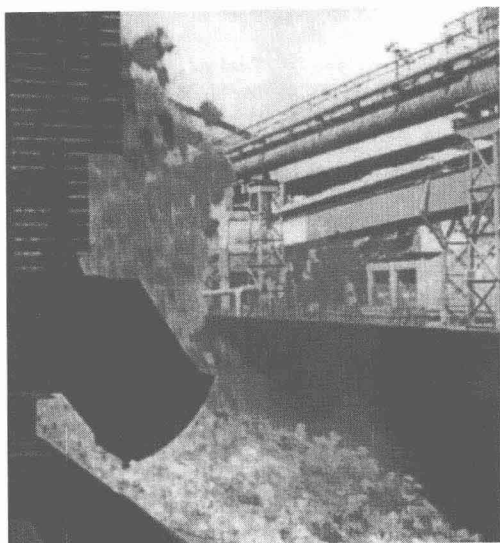


图 1.3 上推—惯流式炼焦炉

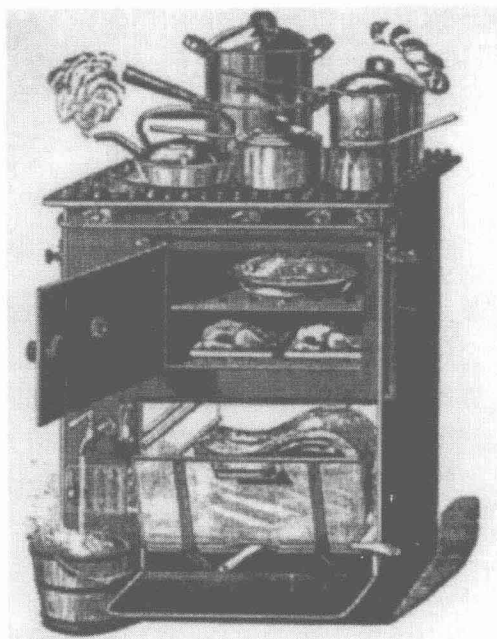


图 1.4 Goodwin 式炊具

这些进展还在利用天然气热水方面产生了极大的推动。在 19 世纪 60 年代初期，燃气炉被用于加热储水罐。循环式热水器这种便宜而有效的设施首次出现在 1883 年，随后的几年中出现了带有热力学控制的水器及自动控制的热水器。

1.3.3 从人造煤气到天然气的过渡

在 19 世纪早期，用于钻取水和卤水的井偶尔会产出天然气。在绝大多数情况下，这种气体被认为是一种讨厌的东西，因为它会干扰这些水井的正常出水。通常，人们仅仅尝试着小规模地利用天然气。1821 年，在纽约的 Fredonia，一位名叫 William Hart 的军械工人钻成了美国历史上第一口天然气井，完井后他用一个大桶罩在了井口上，从这口浅井（27ft，即 8.2m）产出的天然气用几根木制的管子引到井口附近的家中。几年后，天然气被用于城市的街道照明，以表达对 Lafayette（拉法耶特）将军到访的敬意。

从 1830 年到 1840 年，人们又在宾夕法尼亚、纽约和西弗吉尼亚等地钻成了几口天然气井，包括位于乔治·华盛顿附近的“燃烧的泉水”一带钻成的一口 1000ft（300m）的深井。这口井中的天然气具有足够的压力把 150ft（50m）高的水柱射到空中。这一时期，天然气的使用还仅限于气井四周的用户，其主要原因就是早期的输气管线无法长途输送。

第一个天然气公司于 1865 年在 Fredonia 成立时，人们已经在宾夕法尼亚的 Titusville 发现了石油，那是世界上第一口成功的石油钻井。在随后的石油钻井中，钻井工人尽量避开天然气。如果没有输送管线之类的设备，这种钻井技术是难以控制和使用的。钻井时，采出的石油用马车等运离油井。而在钻采石油的过程中所发现的天然气是无法控制的，但技术人员可以将这些井放喷数周或数月，以期最终能够采出石油，与这些石油一同产出的天然气通常被点火烧掉。

在宾夕法尼亚州，天然气最早被应用于钢铁工业，这也刺激了天然气的应用，尤其是在 Pittsburgh 地区的应用。这儿，好几家公司组织起来，将天然气进行短途运输，抵达州内各个钢铁厂。1885 年，Andrew Carnegie 注意到，每天用于钢铁制造业的天然气可以代替 10000t 的煤炭。然而，这种“繁盛”是短暂的，因为已经探明的天然气很快就被耗尽了。到了 1900 年，Pittsburgh 的钢铁工业又回头使用煤炭了。