



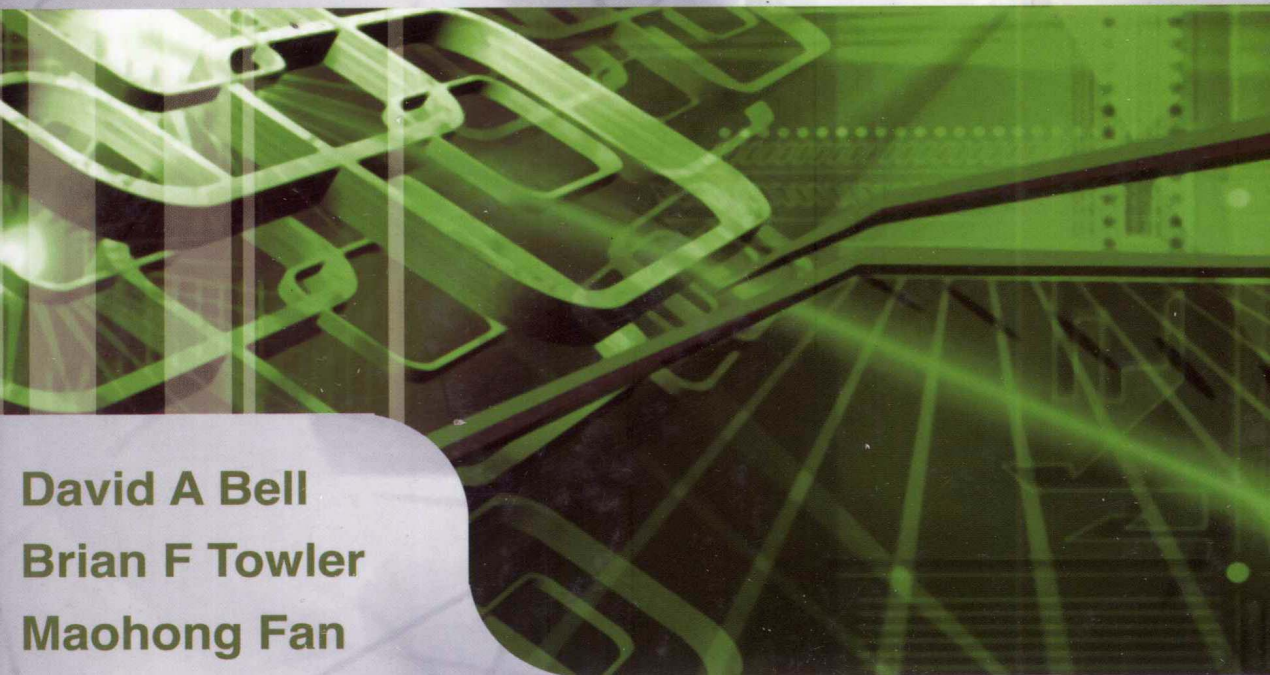
科 学 传 播
SCIENCE & TECHNOLOGY COMMUNICATIONS

· 导读版 ·

新能源技术 应用系列

煤气化及其应用

**Coal Gasification and its
Applications**



**David A Bell
Brian F Towler
Maohong Fan**



原版引进



科学出版社



Coal Gasification and its Applications

煤气化及其应用

Coal Gasification and its Applications



David A. Bell
William H. Sawyer
Anthony P. Fung



Coal Gasification and its Applications

煤气化及其应用

David A Bell, Brian F Towler, Maohong Fan

科学出版社
北 京

图字:01-2011-3200 号

This is an annotated version of

Coal Gasification and its Applications

by David A Bell, Brian F Towler, Maohong Fan

Copyright 2011, Elsevier Inc.

ISBN: 9780815520498

Authorized English language reprint edition published by the Propretor.

Printed in China by Science Press under special arrangment with Elsevier(Singapore)Pte Ltd. This edition if authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Maaos SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violoaation of the Copyrgit Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书英文影印版由 Elsevier(Singapore)Pte Ltd. 授权科学出版社在中国大陆境内独家发行。本版权在中国境内(不包括香港特别行政区以及台湾)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

图书在版编目(CIP)数据

煤气化及其应用 = Coal Gasification and its Applications; 英文/(美)贝尔(Bell, D. A.)等编著—北京:科学出版社,2011

ISBN 978-7-03-031235-8

I. ①煤… II. ①贝… III. ①煤气化-研究-英文 IV. ①TQ54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 100945 号

责任编辑:霍志国/责任印制:钱王芬

封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2011 年 6 月第一次印刷 印张:26 3/4

印数:1—1 500 字数:535 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

导 读

煤气化是实现煤炭高效清洁利用的核心技术之一。煤气化产生的合成气可用于生产替代油气原料、合成化学品和液体燃料、生产替代天然气、向先进的整体煤气化联合循环 (IGCC) 发电系统提供清洁燃料等。其中, 以煤气化为基础的多联产系统技术是煤炭高效清洁利用的重要发展方向。

尽管煤气化技术已有上百年的发展历史, 但对煤气化及其相关技术的研发仍然属于高新技术范畴。随着对传统油气资源日益减少的能源安全问题以及由温室气体增加引起的全球气化变化问题的关注, 人们更加重视对煤气化技术的知识和发展的深入了解。尤其在中国, 煤气化及其相关技术已经或正在得到政府、企业、高校、科研院所等的大力支持和发展。科学出版社新近计划引进 Elsevier 出版的专著《Coal Gasification and its Applications》(煤气化及其应用), 正好有助于国内研发人员对煤气化及其相关技术深入认识。此书由美国怀俄明大学工程与应用科学学院化学与石油工程系的三位教授 (David A Bell, Brian F Towler 和 Maohong Fan) 撰写。本书立足于大量的最新文献资料, 对煤气化及其相关技术的知识予以更新。全书共有 13 章。

第 1 章介绍了煤炭的地质起源和转化, 煤的工业分析和元素分析, 煤的分类和分级; 讨论了煤的灰分的热特性, 指出煤是一种多孔材料; 讨论了煤的自然燃; 综述了煤炭的储量、资源量和产量的发展趋势。

考虑大多数煤炭通过燃烧得到应用, 第 2 章介绍了煤炭的非气化应用: 如用于家庭取暖、炊事及工业锅炉和电力生产; 指出煤的燃烧会产生 SO_x 、 NO_x 、 CO 、颗粒物、挥发性有机物 (VOCs)、重金属以及温室气体 (主要是 CO_2) 等污染物; 讨论了粉煤燃烧及脱除 NO_x 和 SO_x 技术, 采用超临界粉煤燃烧技术提高效率; 在粉煤燃烧工厂配置碳捕集装置 (燃烧后脱碳) 和采用富氧燃烧技术减少 CO_2 的排放, 介绍了一种增压流化床燃烧与燃烧后脱碳结合的 Sargas 工艺; 讨论了煤炭的直接液化技术。

第 3 章为该书特色之一, 作者较为详细地介绍了气化的基本原理, 特别是气化动力学等基础知识: 首先介绍了气化与燃烧的区别, 从煤炭进入气化炉逐一介绍脱挥发分、与氧气反应到焦炭反应、其他的气相反应以及成渣过程; 考虑气化炉的煤、氧气和水的进料平衡; 比较空气气化与氧气气化; 通过平衡计算预测气化产物合成气的组分, 例如根据气体组分预测气化温度和压力; 讨论气化炉的经验设计, 分析影响气固传质反应速率的因素; 介绍了随机孔模型、缩核模型以及用于表面反应速率的 Langmuir-Hinshelwood 方程, 活化能, 气化催化剂; 还专

门介绍了一些用来测量气化速率的实验技术，讨论了气化炉的流态化区域问题，以及采用计算流体力学（CFD）模型等。

第4章介绍了多种气化炉技术，包括以 Lurgi、BGL 气化炉为代表的移动床气化炉，以 Winkler、高温 Winkler、U-Gas 气化炉、Foster-Wheeler 部分气化炉以及 KBR 输运床气化炉为代表的流化床气化炉，以 GE (Texco)、E-Gas、Shell、Siemens (GSP)、三菱重工 (MHI) 和普惠 Rocketdyne (PWR) 气化炉为代表的气流床气化炉。还介绍了如采用 Alter NRG 等离子气化系统的新型气化炉。这些气化炉技术目前已有商业化应用或正处在开发之中，或具有值得关注的新理念。

第5章单独介绍了地下煤气化技术，包括地下气化的概念及其驱动力，讨论注入井和生产井之间的连接，过程控制和模拟以及水污染问题。地下煤气化是一种就地将反应气体送至地下煤层的气化技术，特别是对传统开采很不经济的深部煤层更适于采用地下煤气化。本章还介绍了 GasTech 对地下煤气化所做的工艺和经济性分析。

第6章讨论硫的回收技术。首先针对煤燃烧产生的 SO_2 介绍脱硫技术。与燃烧烟气不同，作为煤气化产物的合成气中含硫主要以 H_2S 、少量的以 COS（羰基硫）的形式出现。本章介绍了 COS 的水解及通过对合成气采用水激冷/凝结清洗酸性气体。讨论了采用物理溶剂（Rectisol、Selexol 等）和化学溶剂（有机胺溶液、Benfield、氨溶液等）的酸性气体脱除工艺；介绍了固体脱硫剂（氧化锌、钛酸锌和钙基吸附剂）；讨论了从合成气脱除的 H_2S 制取元素硫的 Claus 工艺和 Shell Claus 废气处理（SCOT）工艺，以及与硫酸与磷酸生产相结合的可行性。还讨论了 CO_2 和 H_2S 的联合封存问题。

合成气可用于合成氨、合成甲醇、合成替代天然气和 Fischer-Tropsch 合成，以及用于质子交换膜燃料电池和石油精炼，需要增加氢含量或制取纯氢。通常在催化温度范围内通过水气变换反应制取氢气。第7章介绍制氢和整体煤气化循环（IGCC）。本章讨论了高温变换和低温变换的要求、高温铁基变换催化剂、低温变换催化剂、酸性气体变换，以及另一种采用蒸汽-铁的制氢工艺；为合成氨用氢采用甲烷化除去 CO 、 CO_2 等残留杂质、脱水等。简要介绍了天然气联合循环（NGCC）和整体煤气化联合循环（IGCC）发电系统，讨论了 IGCC 中分离出 CO_2 、采用氢气发电，以及 IGCC 和富氧燃结合的新技术，以期在使用煤炭的同时减少温室气体排放。

第8章讨论氢气作为运输燃料时的储存技术。讨论了氢在多孔材料、纳米碳材料、金属-有机骨架（MOF）、沸石和包合物等的物理吸附，在金属氢化物中的化学吸附，以及在单纯简化微孔和介孔氧化钛中储氢。

第9章介绍脱汞技术。汞作为一种有害神经的重金属元素杂质，需要从燃烧烟气中脱除。本章对各种脱汞技术给予了综述。此章内容与煤气化技术相关性较

弱，可以作为选读。

除了对气体净化的需求外，从合成气中脱除 CO_2 也是当今减少温室气体排放的重点。第 10 章详细讨论了 CO_2 吸附技术，介绍基于吸附的 CO_2 分离工艺，包括变压吸附（PSA）和真空变压吸附（VSA）在内的物理吸附，以及变温吸附（TSA）这样的化学吸附。讨论了多种吸附剂（如沸石、活性炭、固态胺吸附剂、有机/无机杂化材料、铝酸锂、天然矿物材料、钠基吸附剂和类水滑石材料等）的 CO_2 捕集性能。最后还讨论了关于 CO_2 捕集的发展战略。

从第 11 章起开始介绍煤气化的系列产品。第 11 章介绍合成氨及其衍生物。讨论了氨合成的原料、平衡常数和流程、催化剂以及动力学。提出氨不仅可以作为氮肥，也可以作为一种运输燃料。还介绍了尿素、硝酸和硝酸铵，以及氮肥的未来。第 12 章则介绍合成甲醇及其衍生物。讨论甲醇合成的反应化学和催化剂、平衡常数、流程及动力学。甲醇也可以作为一种运输燃料。甲醇脱水后生成二甲醚（DME），通常是两步合成，也可一步合成；讨论了甲醇制汽油和甲醇制烯烃工艺，对由甲醇和 DME 制取其他烃类物质的未来做了展望。在第 13 章中，介绍由合成气甲烷化制替代天然气（SNG）和通过 Fischer-Tropsch（费托）合成制备液体燃料。讨论了 SNG 工艺、煤气化与天然气的竞争、SNG 作为一种煤炭能源的载体，与合成液体碳氢燃料进行了比较。还讨论了费托合成的历史、费托合成化学及其反应器的设计。费托合成液体需要通过进一步精炼生产柴油、石脑油、汽油和润滑油等。对费托合成液体的精炼做了展望，并讨论了费托合成的经济性。

纵观全书，涉及了一个从煤炭到产品的完整工艺系统的各个关键环节，深入浅出地介绍了煤气化及其应用的相关知识，适合于从事煤炭清洁转化利用的科学研究、工艺设计、产品开发和使用的工程技术人员、大专院校相关专业的师生阅读，并可作为一本较为完整的、含有最新知识的专业用书。

蔡宁生
于清华园

引 言

这是一本关于煤气化及其相关技术的书籍。这些技术之间的关系如图 0.1 所示。气化工艺可以使用多种原料，本书重点关注必定经历气化过程的原料之一——煤炭。第 1 章介绍了煤的基本性质，包括其特性和可用性。石油精炼后的一种固态高碳副产品——石油焦，也可以被气化。特别是设计用于高温的煤气化炉，如气流床气化炉，可用于石油焦的气化。生物质气化在很大程度上与煤气化相同，但是用于生物质的气化炉需要针对生物质原料进行优化设计。

气化的产物是合成气，主要是一氧化碳和氢气的混合物。然而，目前大多数合成气不来源于气化，而是通过天然气蒸汽重整制取的。蒸汽和天然气送入装有催化剂的管束中，这些管束布置在提供反应热的炉膛内，完成天然气蒸汽重整过程。图 0.1 也显示了其他气体，这些气体可以与合成气混合用于进一步处理。其中考虑的一种气体是氢气，可以采用核电厂的低谷电来电解水生产氢气。在一些情况下，可用外来的二氧化碳补充合成气中的一氧化碳。

正如煤炭不仅仅是气化的唯一原料一样，气化也不是煤炭的唯一应用途径。大多数煤碳通过燃烧产生电力。第 2 章介绍了一些煤炭的非气化应用。

第 3, 4, 5 章介绍了煤气化技术。在第 3 章中，将气化作为一种化学反应系统来阐述。虽然这一章看起来可能比较复杂，但我们对气化的化学原理的认识远不完善。第 4 章涉及多种气化炉的设计。之所以选择介绍这些设计，是因为目前这些气化炉已有商业化应用或已在开发中，或者是展示了令人关注的新概念。第 5 章介绍了一种与前面迥然不同的、值得单独成章的气化方法——地下煤气化：煤炭不再被开采输送至气化炉，而是仍留在地下原处，将反应气体送至煤层。对开采很不经济的深部煤层更适用于采用地下煤气化。

气化炉产生的合成气中含有很多杂质。其中煤中的无机物以固体灰或熔渣形式排出，除灰或除渣通常是气化炉设计的一个集成部分。如果气化发生在相对较低温度下，则将产生焦油，脱除焦油也是气化炉设计的一个集成部分，高温气化炉产生的焦油较少。合成气含硫也主要以 H_2S 、较少量的以 COS （羰基硫）的形式出现。为了防止合成气燃烧时排放出 SO_2 或在下游反应器中造成催化剂中毒，必须从合成气中脱硫。脱硫技术在第 6 章介绍。

合成气中二氧化碳的脱除可以发生在脱除杂质过程中，或在水气变换之后，如图 0.1 所示。传统的二氧化碳脱除技术与第 6 章所述的脱硫技术紧密相关。煤气化技术的吸引力之一是可以从合成气中脱碳并加以地质封存，这样在使用煤炭的同时便可减少温室气体的排放。对这一方法的主要异议是碳捕集和封存比较昂

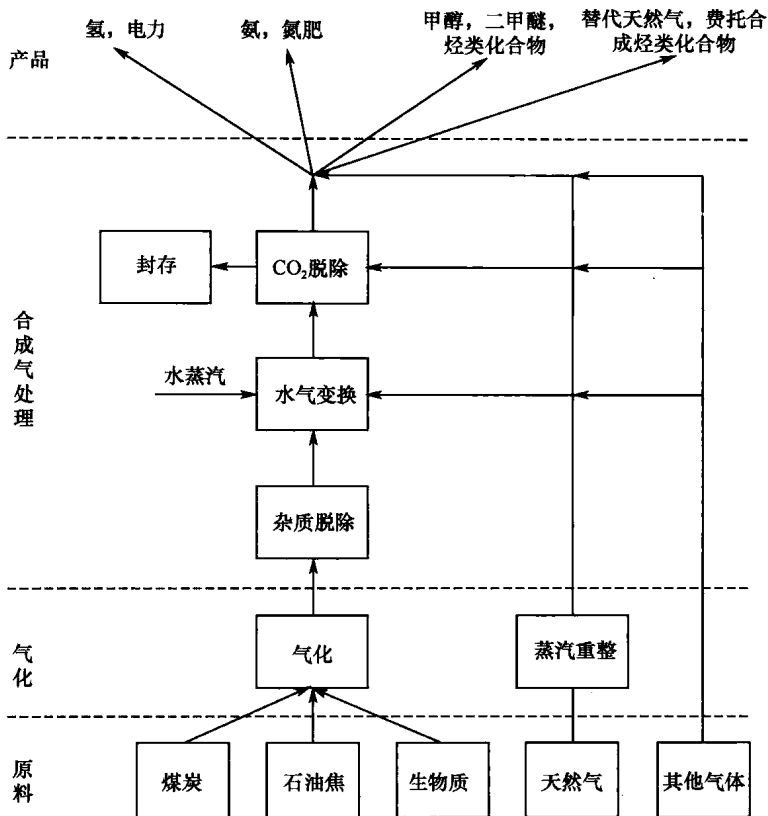


图 10.1 气化与相关技术

贵。这促使大量研究介入新的二氧化碳分离技术，这将在第 10 章中介绍。

合成气含有一些微量杂质，其中一种有害物是汞，这是一种神经毒素。在第 9 章中介绍了脱汞技术。

对某些应用场合而言，需要近乎纯的氢气。而在其他应用场合中，如合成甲醇，需要特定的一氧化碳/氢气比。无论是哪种情况，气化炉通常产生较高的一氧化碳/氢气比，需要通过变换得到更高的氢气含量。通常的途径是通过水气变换，一氧化碳与蒸汽反应生成氢气和二氧化碳，这将在第 7 章中介绍。在一种称为“整体煤气化联合循环”的应用中，氢气可以在透平中燃烧产生电力。这是一种减少温室气体排放的燃煤发电方法。

氢气也是一种潜在的运输燃料。通常用氢气在燃料电池中产生电力，然后驱动电动机。主要技术障碍之一是车辆储氢的实现。第 8 章将探讨该应用中的储氢技术。

几乎所有合成的含氮化合物都起源于氨，而氨来自于氢与氮气的化合。至今氮肥是最大量的含氮化工品。第 11 章介绍氨的合成以及一些较常规的氮肥复

合物。

甲醇是一种用合成气制得的主要的常见化学品，参考第 12 章介绍。甲醇是一种用来制取多种产品的中间物质。这些产品中特别值得关注的是二甲醚 (DME)。DME 可以直接用作燃料或被转化为烃类物质，包括汽油和生产聚合物用的石蜡。

第 13 章介绍了直接转化合成气为替代天然气 (甲烷) 和费托液体燃料 (一种合成油) 等烃类物质。费托液体燃料可以通过精炼以得到满足要求的石油产品。

煤炭是一种便宜的原料，但是气化工厂的建设成本非常高。理论上，人们可以建造一座包含如图 0.1 所示的所有功能单元的工厂，但是建造这样的工厂会相当昂贵。相反受限于经济性和环境法规，一般气化工厂只具备有限的功能。

目前主要有两种趋势推动了人们对煤气化技术的重视。第一是人们普遍认为，常规的石油供应正在减少，而对运输燃料的需求在持续增长，这带来了对包括煤炭在内的其他替代能源的高度重视。第二是人们对全球变暖的担忧，而气化技术则提供了一种成本上相对有效的、可在使用煤炭的同时减少温室气体排放的途径。

(蔡守生 译)

INTRODUCTION

This is a book about coal gasification and its related technologies. The relationship between these technologies is shown in Figure 0.1. The gasification process begins with a viable feedstock. In this book, we focus on one of those feedstocks that must go through the gasification process, coal. The nature of coal, including its properties and availability, are described in Chapter 1. Petcoke, petroleum coke, a solid, high-carbon byproduct of petroleum refining, can also be gasified. Gasifiers designed for coal, especially high temperature, entrained flow gasifiers, are used for this application. Biomass gasification has a great deal in common with coal gasification, but biomass gasifiers are optimized for biomass feedstock.

The product of gasification is syngas, which is primarily a mixture of carbon monoxide and hydrogen. Most syngas, however, is not currently made by gasification, but rather by the steam reforming of natural gas. In this process, steam and natural gas are fed to catalyst-packed tubes, which are held inside a furnace to provide the endothermic heat of reaction. Figure 0.1 also shows other gases, which can be blended with syngas for further processing. One such gas under consideration is hydrogen, which can be produced by electrolyzing water using off-peak power from a nuclear power plant. In a few cases, carbon dioxide from an external source may supplement the carbon monoxide in syngas.

Just as coal is not the only feedstock for gasification, gasification is not the only use of coal. Most coal is burned to produce electric power. Chapter 2 describes a few of the non-gasification uses of coal.

Gasification is described in Chapters 3, 4, and 5. Chapter 3 describes gasification as a chemical reaction system. Although this chapter may look complex, our knowledge of the chemistry of gasification is far from complete. Chapter 4 covers several gasifier designs. These designs were selected because they are now in commercial use or development, or because they illustrate interesting concepts. One gasification approach is sufficiently different that it deserves its own chapter, underground coal gasification, covered in Chapter 5. Instead of mining coal and transporting it to a gasifier, the coal is left in place underground, and the reactant gases are brought to the coal. Deeply buried coal seams, which are uneconomic to mine, may be exploited by underground coal gasification.

Syngas leaving the gasifier contains numerous impurities. The inorganic fraction of the feedstock leaves as solid ash or molten slag. Ash or slag removal is usually an integral part of the gasifier design. If the gasification occurs at relatively low temperatures, then tar will be produced. Tar removal is also an integral part of gasifier design. Higher-temperature gasifiers do not produce significant tar. The syngas also contains sulfur in the

case, the gasifier usually produces a higher ratio of carbon monoxide to hydrogen than desired. This ratio needs to be shifted towards a greater hydrogen content. The usual way to do this is through the water gas shift reaction in which carbon monoxide reacts with steam to form hydrogen and carbon dioxide, as described in Chapter 7. Hydrogen can then be burned in a turbine to generate electric power, an application known as integrated gasification combined cycle. This is a means of producing electric power from coal with minimal greenhouse gas emissions.

Hydrogen is also a potential transportation fuel. The usual approach is to produce electric power from hydrogen in a fuel cell, and then use that power in an electric motor. One of the main technical obstacles is a practical means of storing hydrogen in a vehicle. Chapter 9 explores hydrogen storage for this application.

Nearly all synthetic nitrogen chemicals start as ammonia, synthesized from hydrogen and nitrogen gas. Nitrogen fertilizers are, by far, the largest volume synthetic nitrogen chemicals. Chapter 11 describes ammonia synthesis and some of the more common nitrogen fertilizer compounds.

Methanol is a major commodity chemical made from syngas, as described in Chapter 12. Methanol is an intermediate used to make a wide range of products. One of these, dimethyl ether (DME), is especially interesting. DME can be used as a fuel or converted to hydrocarbons, including gasoline and olefins for polymer production.

Chapter 13 describes the direct conversion of syngas to hydrocarbons, including substitute natural gas (methane) and Fischer-Tropsch liquid, a synthetic crude oil. The Fischer-Tropsch liquid is then refined to meet petroleum product specifications.

Coal is an inexpensive feedstock, but gasification-based plants tend to have very high capital construction costs. In concept, one could build a single plant that would incorporate all of the elements shown in Figure 0.1, but such a complex plant would be extraordinarily expensive to build. Instead, gasification-based plants have a more limited set of features dictated by economics and the regulatory environment.

There are two major trends that prompt current interest in coal gasification. The first is the widely held belief that conventional petroleum supplies are declining, while demand for transportation fuels continues to rise. This has led to heightened interest in alternative energy supplies, including coal. The second major trend is concern about global warming. Gasification offers a relatively cost-effective means of using coal while minimizing greenhouse gas emissions.

目 录

引言	ix
第 1 章 煤的基本性质	1
煤炭的地质起源.....	1
煤的分析和分类.....	2
煤炭分级.....	4
煤灰的热特性.....	5
煤炭作为一种多孔材料.....	9
煤的自燃	10
煤的储量、资源量 and 生产量	11
第 2 章 煤炭的非气化应用	17
家庭取暖、炊事应用/工业应用.....	17
煤燃烧污染物	17
粉煤燃烧	19
超临界粉煤燃烧	20
粉煤燃烧工厂的碳捕集	21
富氧燃烧	24
SARGAS 工艺	27
煤制液体燃料	28
第 3 章 气化的基础知识	35
气化目的	35
脱挥发分	36
与氧气的反应	38
煤焦的反应	38
其他气相反应	39
成渣	39
煤、氧气和水的进料均衡	39
空气气化与氧气气化之比较	41
通过平衡计算预测合成气组分	41
反应速率	46

流态化区域	64
计算流体力学模型	67
小结	68
第4章 气化炉	73
概述	73
移动床气化炉：Lurgi 气化炉	73
BGL 气化炉	75
流化床气化炉：Winkler 气化炉	77
高温 Winkler 气化炉	79
U-Gas 气化炉	79
Foster-Wheeler 部分气化炉	79
KBR 输运床气化炉	80
气流床气化炉：GE 气化炉	83
ConocoPhillips E-Gas 气化炉	88
Shell 气化炉	90
Siemens 气化炉	91
三菱重工（MHI）气化炉	92
普惠 Rocketdyne（PWR）气化炉	93
非传统气化炉：Alter NRG 等离子气化系统	96
第5章 地下煤气化	101
地下气化的概念	101
地下气化的目的	102
注入井和生产井之间的连接	102
工艺控制和模拟	103
水污染	107
地下煤气化——可回收煤炭	108
GasTech 工艺和经济性分析	108
第6章 硫的回收	113
煤的燃烧	113
合成气中含硫组分	114
COS 水解	114
水激冷/水凝结	115
酸性气体脱除工艺	116

物理溶剂：Rectisol 工艺	117
物理溶剂：Selexol 工艺	122
化学溶剂：有机胺溶液	124
化学溶剂：Benfield 工艺	126
化学溶剂：氨溶液	127
固体脱硫剂	128
元素硫：Claus 工艺	130
Shell Claus 废气处理（SCOT）工艺	131
硫酸和磷酸	132
CO ₂ 和 H ₂ S 的联合封存	134
第 7 章 氢的生产和整体煤气化联合循环（IGCC）	137
提高 H ₂ 含量的需求	137
在催化温度范围内水气变换	138
合成氨用氢	139
铁基高温变换催化剂	140
低温变换催化剂	142
酸性气体变换	142
蒸汽-铁工艺	143
合成氨用氢：残留杂质脱除	145
脱水	146
质子交换膜燃料电池用氢	146
石油精炼用氢	148
联合循环发电：NGCC 和 IGCC	149
天然气联合循环（NGCC）	151
整体煤气化联合循环（IGCC）	152
IGCC 与富氧燃烧结合	154
甲醇、替代天然气和费托（Fischer-Tropsch）合成	155
第 8 章 氢的吸附和储存	157
引言	157
氢的物理吸附	158
氢的化学吸附	210
纯的和被还原的微孔和介孔氧化钛中储氢	230

第 9 章 脱汞	247
引言.....	248
煤燃烧中的汞物种.....	250
脱汞技术小结.....	252
影响汞吸附的烟气组分.....	282
小结.....	288
第 10 章 CO₂ 吸附	293
引言.....	293
基于吸附的 CO ₂ 分离工艺	296
固体吸附剂的 CO ₂ 捕集性能	301
CO ₂ 捕集的发展战略	333
第 11 章 氨及其衍生物	341
历史背景.....	341
合成氨的原料.....	342
合成氨的平衡和流程.....	342
合成氨催化剂.....	344
合成氨动力学.....	345
氨作为氮肥.....	347
氨作为一种运输燃料.....	348
尿素.....	348
硝酸和硝酸铵.....	349
氮肥的未来.....	350
第 12 章 甲醇及其衍生物	353
反应化学和催化剂.....	353
甲醇合成的平衡.....	354
甲醇合成流程.....	356
甲醇合成动力学.....	357
甲醇作为一种运输燃料.....	359
二甲醚.....	359
二甲醚的两步合成.....	360
二甲醚的一步合成.....	361
二甲醚制烃: ExxonMobil MTG (甲醇制汽油) 工艺.....	365
甲醇制烃: UOP/HYDRO MTO (甲醇制烯烃) 工艺	368