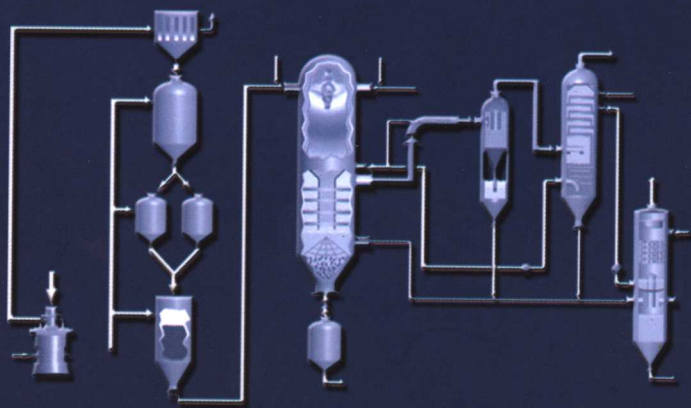


陈家仁 编著

# 煤炭气化的 理论与实践



煤炭工业出版社

煤炭工业出版社

# 煤炭气化的 理论与实践



煤炭工业出版社

# 煤炭气化的理论与实践

陈家仁 编著

煤炭工业出版社

·北京·

**图书在版编目 (CIP) 数据**

煤炭气化的理论与实践/陈家仁编著. —北京: 煤炭  
工业出版社, 2007. 11

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3168 - 8

I. 煤… II. 陈… III. 煤气化 IV. TQ54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 124411 号

煤炭工业出版社 出版  
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: [www.cciph.com.cn](http://www.cciph.com.cn)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 850mm × 1168mm<sup>1/32</sup> 印张 7<sup>3/8</sup>

字数 187 千字 印数 1—2,000

2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷

社内编号 5969 定价 28.00 元

**版权所有 违者必究**

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换



## 作者简介

陈家仁，  
男，1938年  
10月出生，  
浙江省浦江  
县人。煤炭  
科学研究总

院北京煤化工研究分院研究员。1961年毕业于浙江大学化工系燃料化学工程专业；20世纪80年代初赴美国阿贡国立实验室材料科学系做访问学者，进修2年，研究熔渣气化炉用耐火材料的抗热震性能和不同气氛下不同组成的煤灰的黏度-温度特性，并发表相关论文各1篇。近半个世纪来，一直从事煤炭气化和气化型煤的研究开发、应用、推广、咨询工作，出版有关的专著和合著各1本，论文数十篇。获得发明专利4项，其中1项已应用于工业煤气生产。研究项目曾获得国家科技大会奖1项，部级科技进步奖1项，被国务院授予“享受政府特贴专家”。现任中国神华煤制油有限公司煤气专家，《煤化工》期刊新一届编委和科技部863项目专家网络专家。

# 序

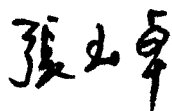
长期以来，煤炭是我国的主要能源，这是由我国的资源禀赋状况所决定的。煤炭的高效清洁利用关系到我国能源工业的未来。从技术上看，煤炭气化处于煤炭洁净利用的核心地位。随着煤气化联合循环发电（IGCC）、煤化工和煤制油等技术的发展，新的大型煤气化技术近10年来有了很大的发展，同时我国的工业用气也有很大的增长，常压移动床的煤气发生炉目前有万余台在生产运行。因此，煤炭气化是量大面广的洁净煤技术。

本书作者陈家仁研究员在煤科总院北京煤化工分院从事煤气化研究开发和应用近50年，近年来作为神华集团公司技术顾问，专门从事煤气化领域的研究，根据自己的理论知识和实践经验，参考有关煤气化同行的近期著作，总结分析了目前各种气化工艺的实际运行情况，编写了本书。全书共分11章，从气化用煤的气化特性出发，较全面地介绍了各种气化炉的情况，也分析了一些新气化技术开发中的经验和教训，分析较为透彻。在叙述时，采用融理论于实际中的方法，较简洁明了。对从事煤炭气化技术开发和应用工作的工程技术人员，大专院校的师生均有很好的参考价值。

在世界范围内，能源技术的重大创新不断涌现。煤

气化这一并不年轻的学科，在大型化、高效率、自动化等方面取得了令人瞩目的成就。许多能源专家把能源替代，这一重大战略方向瞄向了煤气化，在此领域我国具备了赶超国际先进水平的条件。我们期望，本书的出版能够对推动我国煤气化技术的进步发挥重要作用。

神华集团公司副总经理  
中国能源研究会副理事长

Handwritten signature in black ink, reading '张士卓' (Zhang Shunzuo).

2007年9月

## 前 言

煤气化技术是一种古老而又年轻的技术，固定床气化技术在 18 世纪就已经应用于工业窑炉，近年来，加压的气流床气化技术伴随着煤气化联合循环发电技术（IGCC）和煤化工技术（MTO、MTP）的兴起正在我国各地快速发展。作为煤炭转化技术的一个重要分支，煤气化技术有其特殊的重要性。把固体含灰燃料的——煤，通过气化转变成洁净的气体燃料，其过程的效率相比于其他洁净煤技术是较高的，冷煤气效率一般在 70% 以上，如气流床的壳牌（Shell）技术在荷兰示范电厂气化炉的冷煤气效率是 83%，GE - 德士古在德国 SAR 气化炉的冷煤气效率是 78%，熔渣鲁奇气化技术（BGL）的冷煤气效率包括所产焦油的热量，号称能达到 90%，常压的移动床煤气发生炉的冷煤气效率也可达到 75% ~ 80%。煤气化常常又是煤洁净利用技术的先导和基础，因此煤气化技术在生产应用上更具有普遍性和实用性。

煤炭作为一种固态含灰的化石能源，在世界化石燃料上占主要地位，在我国由于目前缺油、少气，因此在能源领域上煤炭更是处于重要的地位。煤在燃烧时一样可以放出光和热，给人们提供温暖和创造财富。但长期以来，由于使用和处理方法的不当，对环境带来了污染，被冤称为“脏能源”，要给它“平反”的最好的方法就是用洁净的煤气化技术（指在煤气化过程中也不产



生污染物的气化技术)将煤变成洁净的煤气,然后再去使用。这样就可以高效、洁净地使用煤,而不会污染人们赖以生存的环境了。

有关煤气化的书和文章,最近出了不少,但多半是关于当前较为热门的大型气流床气化技术,内容的广度和技术剖析上的深度尚感不足;有关国内大量应用的常压移动床气化技术(全国有万台以上气化炉在动力、建材等厂和氮肥厂在生产运行)的书,因年代久远,需要补充更新。本书的目的是为了弥补这两方面的不足,以适应相关读者的要求。

在编写本书时,作者的意图是从气化用煤的气化特性出发,对各种气化技术进行全面介绍,同时对以往气化新技术开发中的一些成功经验和失败原因进行分析、总结,以供有关读者借鉴、参考。为使内容尽可能简洁、明了,作者把一些理论叙述和图表说明尽量压缩,或融于应用的实践之中加以说明,从而减少篇幅,节省读者查阅的时间。

由于本人能力和知识水平有限,因此编写中难免有不妥之处,敬请同行们给予斧正。

在本书的编辑过程中得到了中国神华煤制油有限公司各级领导的鼓励支持,公司研究中心高聚忠高工、项目组内的李俊成博士和刘志雄、高迎春、曲春丽、马辉等各位同志在编写工作中也给予了大力帮助,在此表示最诚挚的谢意。

**作 者**

2007年6月

# 目 次

1 煤的形成、性质、储量、产量及分类 .....	1
1.1 煤的形成 .....	1
1.2 我国煤炭的储量与产量 .....	2
1.3 大型煤炭基地简介 .....	5
1.4 煤的分类 .....	7
2 煤的分析和煤的气化特性指标 .....	10
2.1 煤的组成、性质及检测 .....	10
2.2 煤的气化特性指标分析 .....	15
2.3 煤的其他分析指标 .....	20
3 煤气化的原理和种类 .....	21
3.1 煤气化的原理 .....	21
3.2 煤气化的分类 .....	22
4 移动床 (Moving bed) 型块煤的气化技术 .....	25
4.1 常压空气混合煤气发生炉 .....	28
4.2 常压移动床水煤气发生炉 .....	38
4.3 富氧和纯氧移动床气化技术 .....	42
4.4 两段式移动床气化炉 .....	44
4.5 反烧式气化炉和双火层气化炉 .....	50
4.6 变压气化炉、变径气化炉和对吹炉 .....	52
4.7 加压移动床气化炉 .....	54
4.8 常压移动床气化的气化计算 .....	64

<b>5 流化床 (Fluidized bed) 碎煤气化技术</b> .....	76
5.1 流化床气化的基本原理及形式 .....	76
5.2 流化床气化技术的发展历史及其种类 .....	77
5.3 流化床气化技术的特点 .....	82
5.4 流化床气化的运行数据 .....	84
5.5 流化床气化技术目前存在的主要问题和 今后发展方向 .....	90
<b>6 气流床 (Entrained Flow) 气化技术</b> .....	94
6.1 常压气流床 K-T (Koppers - Totzek) 炉 .....	94
6.2 GE - 德士古气化技术 .....	97
6.3 壳牌 (Shell) 气化技术 .....	107
6.4 普兰福 (Prenflo) 气化工工艺 .....	112
6.5 E - Gas 气化技术 .....	114
6.6 GSP 气化技术 .....	117
6.7 华东理工大学多喷嘴水煤浆气化技术 .....	120
6.8 华东理工大学多喷嘴干煤粉气化技术 .....	122
6.9 多元料浆气化技术 .....	124
6.10 两段干煤粉气流床加压气化炉技术 .....	125
<b>7 熔渣浴气化技术和其他气化技术</b> .....	127
7.1 奥托 - 鲁美尔 (Otto - Rummel) 气化技术 .....	127
7.2 涡流式熔渣气化炉及住友炉气化技术 .....	130
7.3 沃斯特 - 奥平 (Voest - Alpine) 气化技术 .....	136
7.4 煤炭地下气化情况简介 .....	137
<b>8 煤气的净化</b> .....	140
8.1 煤气除尘 .....	141
8.2 煤气脱硫 .....	149

<b>9 各类煤气化炉的操作和设计要点及安全措施</b> .....	155
9.1 各类移动床气化炉 .....	155
9.2 各类流化床气化炉 .....	159
9.3 气流床气化炉 .....	160
<b>10 各类煤炭转化技术中的热效率</b> .....	163
10.1 煤的气化中的热能转换效率 .....	164
10.2 煤发电的效率 .....	165
10.3 煤制液体燃料的热效率 .....	166
10.4 对煤制油技术的热效率等问题的一些看法 .....	167
<b>11 气化型煤的生产和热爆无烟块煤的消爆处理</b> .....	170
11.1 气化型煤的生产 .....	171
11.2 热爆无烟煤块的消爆处理 .....	176
<b>附录 作者部分关于煤炭气化的论文</b> .....	178
煤炭气化将再现辉煌 .....	178
双火层气化炉的设计、操作中的一些要点 .....	187
煤炭流化床气化的过去、现在与将来 .....	196
关于各种加压气流床煤气化工艺的发展现状及 存在问题的解决途径探讨 .....	204
<b>参考文献</b> .....	223

# 1 煤的形成、性质、储量、产量及分类

## 1.1 煤的形成

现代人们大都认为煤是由古代的植物沉积演变而来的，并认为煤的形成过程分为泥炭化过程和煤化过程两个阶段。

植物在厌氧细菌的作用下腐烂变成腐殖质类物质，同时产生一些水和二氧化碳等气体物质，经过沉积变成泥炭，这就是泥炭化过程。

沉积在地下的泥炭在地下压力和地热温度的作用下进行煤化的过程为褐煤→次烟煤（长焰煤、不粘煤、弱粘煤）→烟煤（气煤、肥煤、焦煤、瘦煤）→贫煤→无烟煤→天然石墨。在煤化过程的初期主要放出的产物是水和二氧化碳，而在后期主要放出的产物是甲烷，因此在煤成气或煤层气中的主要成分是甲烷。

煤化过程通常也称为变质过程，变质程度低的褐煤、次烟煤被形象化地称为年轻煤；而变质程度高的贫煤、无烟煤被称为年老煤。同样无烟煤也根据其挥发分含量的高低分为老中青三类，接近贫煤的无烟煤称为年轻无烟煤，而挥发分低于3%的无烟煤称为年老无烟煤。

在煤化过程中温度是主要因素，火层岩活动频繁地区的煤层往往都会“未老先衰”地变成年老的无烟煤，如东亚地区的朝鲜半岛，我国的胶东半岛，武夷山以东的福建省和南岭以南的广东南部地区几乎都是无烟煤或后来新生代形成的一些年轻褐煤，河北省邯郸市的武安县和北京的京西煤矿，广东的梅州市和山西的交城县等地都是老年无烟煤的产区。

根据成煤原始物质的不同，煤又可细分为腐植煤类、腐泥煤类和腐植腐泥煤类三种，腐植煤和腐泥煤类的不同可见表1-1。

表 1-1 泥炭和腐泥的主要区别

类别	泥炭 (腐植煤)	腐泥 (腐泥煤)
原始物质料	高等植物	低等植物和浮游生物
宏观特征	褐色、黑褐色松软有机质堆积物	暗褐色和黑灰色有机软泥
元素组成特征	氢含量较低, 碳含量较高, H/C 原子比值较低	氢含量高, 氧含量低 H/C 原子比值高
有机组成特点	富含腐植酸	富含沥青质
工艺性质	焦油产率较低	焦油产率高
形成过程	先受到氧化分解, 后在厌氧条件下由合成作用形成	在厌氧细菌作用下, 经过分解、聚合与缩合作用形成

我国煤炭的形成年代主要是中生代的侏罗纪, 如晋北大同、陕北神东、辽宁阜新、云南、广西等地的储量, 占总量的 40%; 晚古生代的石炭、二叠纪如内蒙古、山西、新疆、开滦、本溪、淮南等; 新生代的第三纪, 如山东的龙口、云南的小龙潭等。

## 1.2 我国煤炭的储量与产量

我国与世界化石能源情况见表 1-2。

表 1-2 我国与世界化石能源情况

	煤炭/ 亿 t	占世界/ %	储采比/ %	石油/ 亿 t	占世界/ %	储采比/ %	天然气/ 万亿 m <sup>3</sup>	占世界/ %	储采比/ %
世界	10588	100	218	1434	100	41	146.4	100	63
中国	1891	17.9(3)	92	38	2.6	24	1.37	0.9	58

从表 1-2 可见, 中国的煤炭在化石能源所占比例相对较高, 但是由于勘探程度低, 在预测的 4.55 万亿 t 中, 目前可采储量占 1891 亿 t。我国人口又多, 人均探明储量只有世界人均数的 1/2 (石油为 1/10), 天然气就更少了, 因为总储量目前也只占

世界的 0.938%。

我国不同地区的煤炭分布见表 1-3。

在这 1891 亿 t 煤中，占我国煤储量前 10 名的省区见表 1-4。

表 1-3 我国不同地区的煤炭分布

大区名称	华北	东北	华东	中南	西南	西北	全国合计
储量/亿 t	1089.95	75.05	125.97	79.78	242.58	277.89	1891.22
占全国/%	57.63	3.97	6.66	4.22	12.83	14.69	100.00
基础储量/亿 t	1875.62	165.22	255.62	158.36	367.88	518.18	3340.88
占全国/%	56.14	4.95	7.65	4.74	11.01	15.51	100.00
资源量/亿 t	3194.66	161.16	310.54	153.38	492.62	2548.26	6860.62
占全国/%	46.57	2.35	4.53	2.23	7.18	37.14	100.00
查明资源量/亿 t	5070.28	326.38	566.16	311.74	860.50	3066.44	10201.50
占全国/%	49.70	3.20	5.55	3.06	8.43	30.06	100.00

说明：基础储量 + 资源量 = 查明资源量（相当于原方法中的“A + B + C + D”级的保有储量）。

表 1-4 我国煤储量主要前 10 名省区情况

序号	地点	可采储量/亿 t	序号	地点	可采储量/亿 t
1	山西	584.48	6	安徽	68.53
2	内蒙古	462.05	7	河南	62.30
3	陕西	164.06	8	宁夏	41.29
4	云南	108.09	9	新疆	41.17
5	贵州	92.19	10	河北	41.08

依据全国查明资源量（基础储量 + 资源量）的 10200 亿 t 煤中，各煤种的情况如下：

炼焦煤(气煤、肥煤、焦煤、瘦煤)	占 26.25%
贫煤	占 5.73%
无烟煤	占 11.18%

不粘煤、弱粘煤

占 18%

长焰煤

占 14.81%

褐煤

占 13.07%

我国主要煤田的情况如表 1-5 所列。

表 1-5 我国主要煤田的情况

煤田名称	预测资源量/亿 t	探明量/亿 t	精查量/亿 t	煤种
鄂尔多斯盆地煤田	16000	3500 (保有储量)	600	低硫、低灰、低灰熔融性、低变质烟煤
沁水煤田	2500	850 (保有储量)	500	无烟煤、贫煤、瘦煤
大同(晋)	380	352	200	不粘煤、弱粘煤
淮南(皖) 其中淮南煤业集团	330~444 200	153	20.77	1/3 焦煤及气煤
淮北(皖) 其中淮北煤业集团		80 67	10.02	70% 为炼焦煤, 因火成岩侵入较严重, 有较多的天然焦
准噶尔(新疆北部)	7000	930	77	与大同煤类似
黔滇川边	3000	600	180	中灰、中硫无烟煤; 黔西六盘水以烟煤(中灰、中硫)为主
西山(晋)	260			较上部为低硫肥、焦煤; 下部为高硫焦煤; 其他为贫瘦煤
宁武(晋, 平朔)	420			中灰难选炼焦煤, 可作动力煤用
河东(晋)	520			北部气煤, 中部炼焦煤, 南部瘦煤
河南全省		175		



续表

煤田名称		预测资源量/亿 t	探明量/亿 t	精查量/亿 t	煤种
其中	平顶山		21	10.66	全国最大炼焦煤矿区
	焦作		32		优质无烟煤
	新密		23	23	无烟煤、贫煤
	鹤壁		17.4		贫瘦煤、无烟煤
霍西（晋）		310			肥焦煤为主
胜利（蒙，位于锡林郭勒盟）		159			褐煤， $M_{ad} \geq 20\%$ ，含灰、硫也不低
辽宁铁法				22.6	长焰煤
彬长（陕）		90			不粘煤、弱粘煤
伊宁（新）		200			长焰煤、不粘煤
山东（滕南、兖州）		几十			气煤、肥煤、1/3 焦煤等炼焦煤为主
山东龙口		10			长焰煤及部分褐煤

资料来源：山西煤运站长培训讲义，陈亚飞、张根虎等，2004，4。

2003 年全国及各主要产煤省区的产煤量如下：

①山西 4.221 亿 t；②山东 1.447 亿 t；③河南 1.263 亿 t；④内蒙 0.962 亿 t；⑤黑龙江 0.811 亿 t；⑥贵州 0.780 亿 t；⑦陕西 0.772 亿 t；⑧四川 0.726 亿 t；⑨安徽 0.695 亿 t；⑩河北 0.691 亿 t；⑪神华 1.020 亿 t（包括神东、准格尔等）。全国总计：17.31 亿 t。

2006 年全国煤炭产量 23.8 亿 t，消费量 23.7 亿 t。神华 2.0299 亿 t（包括神东、准格尔、宁夏等）。

### 1.3 大型煤炭基地简介

为了积极推进以煤为主的能源战略，我国将规划建设 13 个