



当代石油和石化工业技术普及读本

煤制油

中国石油和石化工程研究会 组织编写

吴春来 执笔



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

当代石油和石化工业技术普及读本

煤 制 油

中国石油和石化工程研究会 组织编写

吴春来 执笔

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

煤制油 / 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, 2009

(当代石油和石化工业技术普及读本)

ISBN 978 - 7 - 80229 - 878 - 1

I. 煤… II. 中… III. 煤液化 - 普及读物 IV. TQ529 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 031854 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

金圣才文化发展(北京)有限公司排版

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 3.75 印张 67 千字

2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

定价:10.00 元

前 言

《当代石油石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版共包括了11个分册,2000年出版发行;2005年起根据石油石化工业的新发展和广大读者的要求,对第一版的11个分册进行了修订,并补充编写了8个新的分册,于2007年出版发行。这样,《普及读本》第二版共出版了19个分册,涵盖了陆上石油、海洋石油勘探、开采与储运,天然气开发与利用,石油炼制,石油化工和绿色石油化工等相关领域。

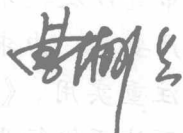
《普及读本》以企业经营管理非本专业技术人员为读者对象,强调科普性、可阅读性、实用性、知识及技术的先进性,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业的各个技术领域的概貌有一个基本了解,能利用通过阅读掌握的知识更好地参与或负责石油石化业的管理工作。这套丛书作为新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版项目,从开始组织编写到最后出版,我们在题材的选择、大纲的审定、作者的选择、稿件的审查以及技术内容的把关等方面,都坚持了高标准、严要求,力求做到通俗易懂、深入浅出、由点及面、注重实用。《普及读本》出版后,在社会上,尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响,受到了广泛好评。为了满足读者的需求,其中部分分册还

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。

为了进一步补充、完善《普及读本》系列读物，根据近年来石油石化工业的发展状况，按照可持续发展的要求，在征求各方面专家意见的基础上，我们决定补充编写乙醇汽油、煤制油、页岩油以及污染治理、信息化等方面的内容；同时对先前出版的分册再次进行修订、更新，组织第三版的出版发行。对于新增补的分册，我们邀请了中国石油、中国石化、中国石油和石化工程研究会以及国内石油和石化高等院校的有关专家进行编写。原有分册的修订工作原则上请原作者负责。

《普及读本》第三版的组织编写、修订和增补工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华和中化集团的大力支持。参与丛书编写、修订工作的专家、教授精益求精、甘于奉献，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
美国国家工程院外籍院士



二〇〇九年二月六日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

(第三版)

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	法琪瑛	庞名立	赵 怡
宫 敬	贺 伟	郭其孝	贾映萱
徐嗥东	翁维琬	龚旭辉	黄志华
黄伯琴	梁朝林	董恩环	程曾越
廖谟圣			

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 什么是煤炼油	(1)
第二节 我国煤炭资源、分类和主要性质 特征	(2)
第二章 煤的干馏与热解	(11)
第一节 煤的低温干馏与低温热解	(11)
第二节 典型的煤热解工艺	(18)
第三章 煤炭直接液化技术	(31)
第一节 概述	(31)
第二节 基本原理	(33)
第三节 煤直接液化典型工艺	(39)
第四节 关键设备	(46)
第四章 煤炭间接液化技术	(50)
第一节 概述	(50)
第二节 基本原理	(52)
第三节 煤间接液化典型工艺	(61)
第五章 煤-油共炼	(70)
第一节 概述	(70)
第二节 煤-油共炼的典型工艺	(72)
第三节 煤与废塑料共液化	(79)

第六章 煤液化油的提质加工 (82)

第一节 石油类液体燃料的特点 (82)

第二节 煤直接液化粗油的性质和提质加工 ... (84)

第三节 煤炭间接液化产品方案 (99)

第七章 煤液化的发展模式 (104)

1. 1. 1 105

1. 1. 2 106

1. 1. 3 107

1. 1. 4 108

1. 1. 5 109

1. 1. 6 110

1. 1. 7 111

1. 1. 8 112

1. 1. 9 113

1. 1. 10 114

1. 1. 11 115

1. 1. 12 116

1. 1. 13 117

1. 1. 14 118

1. 1. 15 119

1. 1. 16 120

1. 1. 17 121

1. 1. 18 122

1. 1. 19 123

1. 1. 20 124

1. 1. 21 125

1. 1. 22 126

1. 1. 23 127

1. 1. 24 128

1. 1. 25 129

1. 1. 26 130

1. 1. 27 131

1. 1. 28 132

1. 1. 29 133

1. 1. 30 134

1. 1. 31 135

1. 1. 32 136

1. 1. 33 137

1. 1. 34 138

1. 1. 35 139

1. 1. 36 140

1. 1. 37 141

1. 1. 38 142

1. 1. 39 143

1. 1. 40 144

1. 1. 41 145

1. 1. 42 146

1. 1. 43 147

1. 1. 44 148

1. 1. 45 149

1. 1. 46 150

1. 1. 47 151

1. 1. 48 152

1. 1. 49 153

1. 1. 50 154

1. 1. 51 155

1. 1. 52 156

1. 1. 53 157

1. 1. 54 158

1. 1. 55 159

1. 1. 56 160

1. 1. 57 161

1. 1. 58 162

1. 1. 59 163

1. 1. 60 164

1. 1. 61 165

1. 1. 62 166

1. 1. 63 167

1. 1. 64 168

1. 1. 65 169

1. 1. 66 170

1. 1. 67 171

1. 1. 68 172

1. 1. 69 173

1. 1. 70 174

1. 1. 71 175

1. 1. 72 176

1. 1. 73 177

1. 1. 74 178

1. 1. 75 179

1. 1. 76 180

1. 1. 77 181

1. 1. 78 182

1. 1. 79 183

1. 1. 80 184

1. 1. 81 185

1. 1. 82 186

1. 1. 83 187

1. 1. 84 188

1. 1. 85 189

1. 1. 86 190

1. 1. 87 191

1. 1. 88 192

1. 1. 89 193

1. 1. 90 194

1. 1. 91 195

1. 1. 92 196

1. 1. 93 197

1. 1. 94 198

1. 1. 95 199

1. 1. 96 200

1. 1. 97 201

1. 1. 98 202

1. 1. 99 203

1. 1. 100 204

第一章 概 论

第一节 什么是煤炼油

“煤炼油”，也叫“煤制油”，学名称为“煤炭液化”，是“人造石油”最主要的组成部分。

“煤的液化”通常是指主要产物是“液体”的煤的转化过程。煤的液化是先进的洁净煤技术之一，“煤的液化”是把“肮脏”的煤加工转变成清浄的便于运输和使用的液体燃料和化工产品。“煤的液化”是用煤为原料，经加工转化以制取替代石油及其制品的液体烃类为主要产品的技术。

煤液化分为“煤的直接液化”和“煤的间接液化”两大类。

“煤的直接液化”按工艺特点分类大致有：①煤直接催化加氢液化；②煤的溶剂抽提；③煤的热解（以获取液体燃料为目的）和氢解；④煤-油共处理。其中令人关注较多的是“煤直接催化加氢液化”，即指含煤粉、溶剂和催化剂的油煤浆，在适当的温度和压力下，煤中有机质解聚、催化加氢裂化生成液体烃类及少量气体烃，脱除煤中氮、氧和硫等杂原子的转化过程。其优点是热效率较高、液体产品收率高；主要缺点是对液化用

煤和工艺过程的总体操作条件相对苛刻。

“煤炭间接液化”是首先将煤气化制合成气($\text{CO} + \text{H}_2$)，合成气经净化、调整 H_2/CO 比，再经过催化合成为液体烃类。其优点是煤种适应性较宽、操作条件相对温和、煤灰等三废问题主要在气化过程中解决，其缺点是总效率比直接液化法低。

第二节 我国煤炭资源、分类和主要性质特征

一、我国煤炭资源

(一) 资源量、探明储量和经济开采储量

我国煤炭资源比较丰富，分布较广，资源潜力大。中国煤炭探明可采储量为世界总量的 11.6%，仅次于美国、俄罗斯，居第三位。

根据第三次全国煤田预测资料，除台湾省外，我国垂深浅于 2000 米的煤炭资源总量约为 5 万亿吨。垂深浅于 1500 米的已查明的煤储量(探明储量)为 1 万亿吨。

(二) 我国主要省区煤炭资源分布

我国煤炭资源丰富，除上海以外其他各省区均有分布，但分布极不均衡。煤炭资源量最多的新疆维吾尔自治区煤炭资源量超过 19000 亿吨，而煤炭资源量最少的浙江省仅为 0.50 亿吨。我国煤炭资源量大于 10000 亿吨的省区有新疆、内蒙古两个自治区，其煤炭资源量之

和大于30000亿吨，占全国煤炭资源量的60.42%。我国煤炭资源量大于1000亿吨以上的省区是新疆、内蒙古、山西、陕西、河南、宁夏、甘肃、贵州等8个省区，煤炭资源量之和近50000亿吨，占全国煤炭资源总量的91.12%。我国煤炭资源量在500亿吨以上的有12个省区，这12个省区是以上8个省区再加上安徽、云南、河北、山东4省，其煤炭资源量之和占全国煤炭资源总量的96.55%。除台湾省外，煤炭资源量小于500亿吨的17个省区煤炭资源量之和仅为1900亿吨，仅占全国煤炭资源量的3.45%。

二、煤炭成因和分类

煤是由古代植物经过复杂的生物化学、物理化学和地球化学作用转变而生成的固体有机可燃矿产。由高等植物生成的煤称为腐殖煤，由低等植物生成的煤称为腐泥煤。我国乃至世界上储量大、分布广的煤主要是腐殖煤，一般所说的煤主要也是指腐殖煤。成煤过程包括泥炭化阶段和煤化阶段，后者又可分成成岩和变质两个阶段。已形成共识的成煤理论认为成煤植物首先转变为泥炭，进而可依次转变为褐煤、次烟煤、烟煤和无烟煤（或者暂停在某一阶段），整个过程可称为煤化作用阶段。由褐煤开始的变质程度（由年轻变年老）称为“煤化程度”或“煤阶”。

为了对煤质进行评价、分类和利用，必须对煤的化学、工艺性质进行检测。通过对煤的工业分析和元素分析，可以了解煤的主要化学成分和基本使用性质特点。

(一) 煤的工业分析

煤的工业分析是煤的水分(M)、灰分(A)、挥发分(V)和固定碳(FC)4个分析项目的总称。由于发热量(Q)和煤中的硫(S)含量是燃料煤的重要指标,通常在煤的工业分析时,也测定这两项分析指标。

1. 水分

煤是多孔性固体,含有或多或少的水分,其含量随煤化程度增加而降低,到无烟煤阶段又略有回升。煤中的水分包括:外在水分(附着于煤粒表面和存在于直径 $>10^{-5}$ 厘米毛细孔中的水分,大多在煤炭开采和运输过程中产生),其蒸气压与纯水的蒸汽压相同,在常温下容易挥发失去;内在水分(吸附或凝聚在煤内部直径 $<10^{-5}$ 厘米毛细孔中的水分,一般是成煤自身固有的),其蒸气压低于纯水的蒸汽压,需要在高于水的正常沸点的温度下才能完全除去;结晶水分,是煤中矿物质包含的结晶水或化合水,在煤的工业分析中不考虑。

2. 灰分

煤的灰分产率是煤在高温下完全燃烧,煤中矿物质发生化学变化后留下的残留物对原煤样的质量百分数。煤灰的化学成分主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 TiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 SO_3 等。

3. 挥发分和固定碳

挥发分是煤有机质在规定的高温下热解析出的气态产物(包括煤气和焦油蒸气)对原煤样的质量百分数,与煤的灰分一样是“产率”,而不是“含量”。挥发分是

反映煤本质的重要指标，也是煤炭分类的主要指标。

煤的固定碳是指从煤中除去水分、灰分和挥发分后余下的物质，即：与挥发分一样，固定碳也不是煤中的固有成分，而是煤有机质热解后留下的固态产物。它的元素组成以碳为主，但不完全是碳，还有少量氢、氧、氮、硫等元素。固定碳与煤中碳含量是两个不同的概念，不可混淆。

4. 煤的发热量

煤的发热量是单位质量的煤完全燃烧时所产生的全部热量，也有人称之为热值。

(二) 煤的元素分析

煤的元素分析和元素组成仅指煤中有机质而言，它包含碳、氢、氧、氮和硫 5 种元素，一些含量很少的元素如磷、氯和砷等不列入“元素分析”组成之内。煤的元素组成与煤的化学结构和加工利用都非常重要。

我国各种牌号煤的元素组成举例列于表 1-1，随煤阶增加，C、H 和 O 均呈现一定规律的变化，而 N 和 S 则无一定规律。碳随煤阶增加基本上是均匀增加，氧则相反。

(三) 我国煤的分类和各类煤的基本特性与主要用途

1. 我国煤的分类

煤的种类繁多，它们的不同性质决定了不同的加工转化工艺和不同的利用途径。根据应用、贸易和科学研究的需要，对煤提出了许多分类方法。煤的分类指标一般反应煤的煤化程度和工业性质等。

表 1-1 我国各种牌号煤的元素组成(干燥无灰煤 daf) %

煤的牌号	C	H	O	N
泥炭	55~62	5.3~6.5	27~34	1~3.5
褐煤				
低煤化程度褐煤	60~70	5.5~6.6	20~23	1.5~2.5
高煤化程度褐煤	70~76.5	4.5~6.0	15~20	1~2.5
烟煤				
长焰煤	77~81	4.5~6.0	10~15	0.7~2.2
气煤	79~85	5.4~6.0	8~12	1~1.2
肥煤	82~89	4.8~6.0	4~9	1~2.0
焦煤	86.5~91	4.5~5.5	3.5~6.5	1~2.0
瘦煤	88~92.5	4.3~5.0	3~5	0.9~2.0
贫煤	88~92.7	4.0~4.7	2~5	1.7~1.8
无烟煤				
低变质程度无烟煤	88~93	3.2~4.0	2~4	0.8~1.6
中变质程度无烟煤	93~95	2.0~3.2	2~3	0.6~1.0
高变质程度无烟煤	95~98	0.8~2.0	1~2	1.0~1.6

我国现行的煤炭分类，首先根据煤化程度，将所有煤分为无烟煤、烟煤和褐煤三大类。在烟煤中，依据其变质程度的不同，又可分为长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤和贫煤等。

2. 各类煤的基本特性与主要用途

(1) 无烟煤

无烟煤的特点是固定碳高、挥发分低、纯煤真密度高达 1.35 ~ 1.90 克/立方米、无粘结性、燃点一般达 360 ~ 420℃ 左右，燃烧时不冒烟。无烟煤主要供民用和作合成氨的原料，也用于高炉喷吹和制造各种碳素材料。

(2) 贫煤

贫煤是烟煤中变质程度最高的一小类煤，不粘结或

呈微弱地粘结，发热量比无烟煤高，燃烧时火焰短、耐烧，燃点也较高，仅次于无烟煤，一般在 $350 \sim 360^{\circ}\text{C}$ 左右。主要用作电厂燃料。

(3) 贫瘦煤

贫瘦煤是炼焦煤中变质程度最高的一种，其特点是挥发分较低，粘结性次于典型瘦煤，单独炼焦时生成的焦粉多，在配煤炼焦时配入较少的比例就能起到瘦化作用。也用作动力煤。

(4) 瘦煤

瘦煤是具有中等粘结性的低挥发分炼焦煤。炼焦过程中能产生相当数量的胶质体，单独炼焦时能得到块度大、裂纹少、抗碎强度较好的焦炭，但其耐磨强度较差，用于配煤炼焦。高灰瘦煤用作动力煤。

(5) 焦煤

焦煤是一种结焦性较强的炼焦煤，挥发分 V_{daf} 一般在 $16\% \sim 28\%$ 之间，加热时能产生热稳定性很高的胶质体，单独炼焦时能得到块度大、裂纹少、抗碎强度和耐磨强度都很高的焦炭，但单独炼焦时膨胀压力大，有时易产生推焦困难。用于配煤炼焦。

(6) 肥煤

肥煤是中等挥发分及中高挥发分的强粘结性炼焦煤，其挥发分多在 $25\% \sim 35\%$ 左右，加热时能产生大量的胶质体，单独炼焦时能生成熔融性好、强度高的焦炭，耐磨强度比相同挥发分的焦煤炼出的焦炭还好，但单独炼焦时焦炭有较多的横裂纹，焦根部分常有蜂焦。

它是配煤炼焦中的基础煤。

(7) 1/3 焦煤

1/3 焦煤是中等偏高挥发分的较强粘结性炼焦煤，是一种介于焦煤、肥煤和气煤之间的过渡煤。在单独炼焦时能生成熔融性良好、强度较高的焦炭，焦炭的抗碎强度接近肥煤焦炭，耐磨强度又明显地高于气肥煤或气煤炼出的焦炭。因此它既能单独炼焦供中型高炉使用，又是良好的配煤炼焦的基础煤。在炼焦时其配入量可在较宽范围内波动并且能获得高强度的焦炭。

(8) 气肥煤

气肥煤是一种挥发分和胶质体厚度都很高的强粘结性炼焦煤。有人称之为液肥煤。结焦性优于气煤而低于肥煤，胶质体虽多但黏稠度小，单独炼焦时能产生大量的煤气和液体化学产品。它适合于高温干馏制造城市煤气，也可用于配煤炼焦以增加化学产品的产率。

(9) 气煤

气煤是一种变质程度较低、挥发分较高的炼焦煤。气煤结焦性较弱，加热时能产生较多的煤气和焦油；胶质体的热稳定性较差，能单独结焦，但焦炭的抗碎强度和耐磨强度低于其他牌号炼焦用煤炼出的焦炭；气煤焦多呈细长条而易碎，并有较多的纵裂纹；配煤炼焦时多配入气煤可增加煤气和化学产品的产率。

(10) 1/2 中黏煤

1/2 中黏煤也是一种过渡性煤，其挥发分变化范围较宽，有中等粘结性，有些 1/2 中黏煤在单独炼焦时能

结成有一定强度的焦炭，但强度差，粉焦多。主要用作动力煤和气化用煤。

(11) 弱黏煤

弱黏煤是一种粘结性较弱的从低变质到中等变质程度的非炼焦用烟煤。干馏时产生的胶质体很少，炼焦时有的能结成强度差的小块焦，有的只能结成碎屑焦，粉焦率很高。主要用作动力煤和焦化、液化用煤。

(12) 不黏煤

不黏煤是一种成煤初期已经受到相当程度氧化作用的低变质到中等变质程度的非炼焦用烟煤。焦化时不产生胶质体。煤的水分大，纯煤发热量仅高于褐煤而低于所有其他烟煤，有的还含有一定数量的再生腐殖酸，煤中含氧量大多在 10% ~ 15% 左右。主要用作动力煤和焦化、液化用煤。

(13) 长焰煤

长焰煤是变质程度最低的高挥发分非炼焦烟煤，其煤化程度稍高于褐煤而低于其他各类烟煤；煤的燃点低，纯煤热值也不高；从无粘结性到弱粘结性的都有，有的还含有一定数量的腐殖酸；储存时易风化碎裂。主要用作动力煤和焦化、液化用煤。

(14) 褐煤

褐煤是煤化度最低的矿产煤。其特点是水分大、空隙度大、挥发分高、不粘结、热值低，含有不同数量的腐殖酸；氧含量高到 15% ~ 30% 左右，化学反应性强，热稳定性差。块煤加热时易碎，储存在空气中易风化变