

教育“十一五”国家级规划教材

江苏省高等学校重点教材

# 煤化学

MEI HUAXUE

第四版

主 编 张双全

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

“一五”国家级规划教材

江苏省高等学校重点教材

# 煤 化 学

主 编 张双全

副主编 吴国光

中国矿业大学出版社

## 内 容 简 介

本书系统地叙述了煤化学的主要内容,包括煤的形成、煤的结构、煤的组成(含煤岩组成、化学组成)、煤的性质(含煤的物理性质和物理化学性质、煤的化学性质和煤的工艺性质)、煤的分类、煤质评价和煤炭转化基本知识。另外,为了满足双语教学和汉英翻译的需要,书后附录了本书使用的主要名词术语的汉英对照表,供读者参考。

本书是高等学校教学用书,可作为化学工程与工艺、能源化学工程、矿物加工工程、煤田地质工程、采矿工程等专业“煤化学”课程或相近课程的教材或教学参考书,也可供从事煤炭、电力、冶金、化肥、煤炭气化、煤炭焦化、煤炭液化、煤基炭素材料以及其他与煤炭加工和转化利用相关工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

煤化学 / 张双全主编. —4 版. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2017. 7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3478 - 0

I. ①煤… II. ①张… III. ①煤—应用化学 IV.

①TQ530

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 055341 号

书 名 煤化学

主 编 张双全

责任编辑 褚建萍

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 20.25 字数 505 千字

版次印次 2017 年 7 月第 4 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价 29.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 第四版前言

近两年来,煤炭行业及相关产业形势发生了很大的变化,特别是行业总体经济效益严重下滑,经营困难,“煤炭黄金十年”的辉煌已经成为过去,单一的煤炭产业结构已经不能适应新的形势。与此相反,以煤制烯烃、煤制天然气、煤制乙二醇、煤制油等为主的煤化工产业却快速发展,我国具有自主知识产权的煤化工技术也不断取得突破,大规模产业化已经启动。众所周知,所有这些煤化工产业的原料都是煤炭,煤炭的组成和性质是制约煤化工过程经济效益和稳定、安全运行的关键,能够深度把握煤炭性质规律的高端人才缺口很大。《煤化学》正是阐述煤炭组成和性质变化规律为主要内容的教材,在培养我国煤化工专业人才中起着十分关键的作用。《煤化学》的内容不仅要满足煤化工行业对“煤的组成、结构、性质”等方面的知识需要,其知识架构、内容体系也要建立在学生认知的科学规律之上,达到“易于理解、便于学习、事半功倍、学以致用”的教学目的。为此,编者针对第三版教材中的问题和不足进行了充分讨论,决定对《煤化学》进行补充和修改,使其趋于完善,力图使《煤化学》成为煤化工高端人才培养中的重要教材,为我国的煤化工事业作出贡献。

本书的第一章、第五章、第八章、第十章第二节、第三节、第四节和附录由中国矿业大学张双全教授执笔;第二章、第四章由太原理工大学田承圣教授执笔;第三章由中国矿业大学(北京)解强教授执笔;第六章由安徽理工大学聂荣春教授执笔;第七章由中国矿业大学武建军教授执笔;第九章由中国矿业大学吴国光教授执笔;第十章第一节由中国矿业大学周敏教授执笔。全书由张双全教授负责最终修改和整理。

本书的编写得到江苏省教育厅、中国矿业大学教务部、中国矿业大学出版社、中国矿业大学化工学院以及化工系的领导、老师和同行们的大力支持,编者谨向他们表示真诚的谢意,并向被引用资料的原作者们表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中疏漏和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正!

编者

2017.3

## 第三版前言

光阴荏苒,岁月如梭,《煤化学》教材自2009年第二版出版发行以来,转眼之间已过去五年。过去的五年中,石油价格一直在高位运行,使煤化工技术研究得到了前所未有的重视和发展机遇。我国具有自主知识产权的煤化工技术不断取得进步,煤化工产业化进展神速。目前,煤制甲醇遍地开花,经济效益逐步好转;煤制油技术趋于成熟,商业化推广取得重大进展;煤制烯烃、煤制天然气、煤制乙二醇等技术不断取得突破,大规模产业化已经启动。相信我国新一轮煤化工大发展的时机成熟,煤化工产业的春天已经到来。在这种形势下,煤化工高级专业人才的需求迅速增大,同时企业对人才的素质要求也不断提高,这给煤化工专业人才的培养带来了挑战。

《煤化学》作为培养煤化工类专业基础课的主要教材,其内容不仅要满足煤化工行业对“煤的组成、结构、性质”等方面的知识需要,其知识架构、内容体系也要建立在学生认知的科学规律之上,达到“易于理解、便于学习、事半功倍、学以致用”的教学目的。为此,编写小组经过充分讨论,决定对《煤化学》进行修订,从知识更新、组织结构更新、内容体系更新等方面进行全方位的修改和完善,以期达到上述目的。

本次修订的主要变动如下:在“煤的形成”一章中,弱化专业性的煤田地质学知识,强化煤的生成过程中各种条件和因素变化多样性的描述,便于学生和读者学了后续章节后,能够认识到煤形成的两个阶段对于煤的结构、组成和性质的决定性影响及其不同之处,促进学生对煤的结构、组成和性质等知识的深入理解;在“煤的岩石组成”一章中,简化繁琐的煤岩组分的识别及详细的分类等方面的知识,强化煤岩组分对煤的结构、组成和性质的影响以及煤岩学知识在煤炭加工和转化中的实际应用;在“煤的工艺性质”一章中突出工艺性质的模块化,按照“煤的热解和黏结成焦性质、煤的燃烧和气化性质以及煤的机械加工性质”三个模块组织编写,这样处理与煤炭的实际加工利用方式直接关联,便于学生将煤化学知识与应用实际建立联系,有利于学生实际应用能力的培养。在“煤炭转化”一章中,围绕煤化学知识在煤转化生产中的指导作用进行编写,简要介绍煤转化工艺,着眼于煤化学知识的应用。

全书将煤化学知识系统化,建立煤化学知识之间的逻辑关系,将整个煤化学知识体系划分为煤的形成、煤的结构、煤的组成、煤的性质、煤的分类和煤炭转化等几个部分,以“煤的形成过程决定煤的结构和组成、煤的结构和组成决定煤的性质,煤的组成和性质决定煤的转化利用”为内在逻辑关系,将煤化学知识体系组成一个具有密切内在联系的整体,并以煤的分子结构理论为主线将各章节内容串联起来,形成严密的体系,便于学生系统全面地掌握煤化学知识的精髓并能够熟练地在实践中用以实际问题。

本书的第一章、第五章、第八章和附录由中国矿业大学张双全教授执笔;第二章、第四章由太原理工大学田承圣副教授执笔;第三章由中国矿业大学(北京)解强教授执笔;第六章由安徽理工大学聂荣春教授执笔;第七章由中国矿业大学武建军教授执笔;第九章由中国矿业大学吴国光教授执笔;第十章由中国矿业大学周敏教授执笔。全书由张双全教授负责最终修改和整理。

本书的编写得到江苏省教育厅、中国矿业大学教务部、中国矿业大学出版社、中国矿业大学化工学院以及化工系的领导、老师和同行们的大力支持,编者谨向他们表示真诚的谢意,并向被引用资料的原作者们表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中疏漏和错误之处在所难免,恳请读者批评指正!

编者

2014.7

## 第二版前言

本书自2004年出版发行以来,受到了读者的欢迎和鼓励,2005年被评为江苏省精品教材,2006年被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材出版计划。在此期间,也收到了一些读者的批评和建设性意见。借此再版的机会,我们对原书进行了重新审视,并根据近年来煤化学及工艺学的新进展和新成果,进行了认真的修改和充实。

本次修订,对原书的结构和内容衔接作了较大的改动。全书以煤分子结构理论为主线建立脉络,在内容上按照煤的生成、煤的结构、煤的组成、煤的性质、煤的分类、煤的利用的逻辑顺序重新进行材料组织,理顺了各章节内容之间的内在关系,突出了重点,使煤化学的知识体系更加分明,便于自学和教学使用。

本书的第一章,第三章,第五章,第八章第一节、第四节、第五节和第十章第四节、第五节以及附录由张双全执笔;第二章、第四章由田承圣执笔;第六章由聂荣春执笔;第七章由武建军执笔;第八章第二节、第三节、第六节和第九章由吴国光执笔;第十章第一节至第三节由周敏执笔。全书由张双全负责最终修改和整理。

本书的编写得到中国矿业大学教务处、中国矿业大学出版社、中国矿业大学化工学院以及化工系的领导、老师和同行们的大力支持,也得到了北京校区赵峰华教授的无私帮助,在本书付梓之际,谨向他们表示真诚的谢意,并向被引用资料的编著者表示感谢!

由于编者水平所限,书中疏漏和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正!

编者

2009.8

# 第一版前言

本书是在钟蕴英等前辈编写的《煤化学》教材的基础上,收集大量煤化学领域最新研究成果和有关最新国家标准资料,并融合编者多年来的教学经验和体会精心编写而成的。煤化学是以煤质学为基础、以煤分子结构理论为核心、以煤的性质和应用基础为主要研究内容的课程,目的是为煤炭加工和转化利用提供理论基础。本教材在材料取舍上充分反映以上要求,力求将煤化学领域的最新研究成果充实到教材中。在内容安排上,本书与传统煤化学有很大的不同,主要体现在“煤的结构”一章在书中的位置以及与其他章节的关系上。本书将教材体系和结构重新安排,将煤分子结构理论提前到煤的工业分析和元素分析之前介绍,以煤的分子结构理论为主线,贯穿教材始终。这样,可以用煤分子结构理论的观点对煤的性质进行理论上的解释,也将煤化学的各个知识点串联起来成为一个相互联系的有机整体,不仅便于学生理解,而且有利于初学者从更高的层次上把握煤化学的精髓。

本书的第一章、第四章、第五章和第八章第一节由张双全执笔,第二章、第三章由唐跃刚执笔,第六章、第七章由武建军执笔,第八章、第九章由吴国光执笔,第十章由周敏执笔。桑树勋教授审阅了部分章节,并提出了许多宝贵意见。全书由张双全和吴国光负责最终修改和整理。

本书的编写得到中国矿业大学教务处、化工学院以及化工系的老师和同行们的大力支持,在本书付梓之际,谨向他们表示真诚的谢意!并向被引用资料的编著者表示感谢!

由于编者水平所限,书中疏漏和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正!

编者

2003.10



# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 煤炭是中国的主要能源和重要化工原料	1
第二节 煤化学的主要内容及学习方法	4
复习思考题	6
第二章 煤的形成	7
第一节 成煤物质	7
第二节 成煤环境	13
第三节 成煤作用过程	17
第四节 煤层气	28
复习思考题	32
第三章 煤的结构	33
第一节 煤的大分子结构	33
第二节 煤的结构模型	37
第三节 煤结构的研究方法	43
第四节 煤分子结构理论的基本观点	45
复习思考题	46
第四章 煤的岩石组成	47
第一节 宏观煤岩组成	47
第二节 煤的显微组分	51
第三节 显微煤岩组分分类及显微煤岩类型	61
第四节 显微煤岩组分的反射率	69
第五节 煤岩学在煤炭加工转化中的应用	71
复习思考题	76
第五章 煤的化学组成	77
第一节 煤中的水分及煤样	77
第二节 煤的工业分析组成	79
第三节 煤中矿物质的组成及煤灰成分	86
第四节 煤中有机质的元素组成	94
第五节 煤中有机质的族组成	105
第六节 煤质分析指标的基准及其相互换算	110
复习思考题	112

第六章 煤的物理性质和物理化学性质	114
第一节 煤的密度	114
第二节 煤的硬度	116
第三节 煤的热性质	118
第四节 煤的电性质	119
第五节 煤的光学性质	120
第六节 煤的磁性质	124
第七节 煤的润湿性	125
第八节 煤中的孔	128
复习思考题	137
第七章 煤的化学性质	138
第一节 煤的氧化性质	138
第二节 煤的加氢	151
第三节 煤的磺化	157
复习思考题	158
第八章 煤的工艺性质	159
第一节 煤的热解性质	159
第二节 黏结性烟煤的黏结成焦性质及其评价方法	164
第三节 煤的燃烧和气化性质	184
第四节 煤的机械加工性质	203
复习思考题	211
第九章 煤的分类	214
第一节 煤炭分类意义和分类指标	214
第二节 中国煤的分类	216
第三节 国际煤炭分类	230
第四节 煤质评价	235
第五节 各种工业用煤对煤质的要求	237
复习思考题	244
第十章 煤炭转化概论	245
第一节 煤炭炼焦	245
第二节 煤炭气化	261
第三节 煤炭加氢液化	279
第四节 煤的低温干馏及其多联产技术	289
复习思考题	292
附录 1 本书主要名词术语汉英对照表	294
附录 2 煤炭产品和煤样常用术语定义及英文名称	303
参考文献	306

# 第一章 绪 论

## 第一节 煤炭是中国的主要能源和重要化工原料

中国富煤少油,是世界上少数几个以煤炭为主要能源的国家。自从1989年我国煤炭产量超过10亿t后,一直稳居世界第一。近年来,我国煤炭产量和消费量占据世界总量的一半。表1-1是我国从1996年以来历年煤炭产量统计。

表 1-1 历年来我国煤炭产量统计表 亿 t

年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
产量	13.7	13.3	12.2	11.0	9.0	11.1	13.9	16.7	19.6
年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
产量	21.9	23.0	25.5	27.0	30.0	33.0	35.2	36.6	37.1

从表1-1中看出,受1997年东南亚金融危机影响,我国煤炭产量曾在1997~2000年出现短暂下降,此后就一直处在增长当中,平均每年增长2亿t左右,但2011年后增速明显趋缓。一方面,风能、光伏等新能源发展迅速,核能也快速发展,天然气爆发式增长,使能源结构悄然发生改变;另一方面节能减排力度明显加大,产业结构调整加快,能源需求增长趋缓。此外,我国近年来煤炭进口增速很快,这些因素共同导致我国煤炭产量增长乏力。

2013年全国煤炭产量37.1亿t左右,首次由年均增长2亿t降至5000万t。消费方面,全年煤炭消费量达36.1亿t,增速降至2.6%。库存方面,2013年12月底,煤炭企业存煤约8400万t,同比增加70万t,比2011年同期增加约3000万t,重点煤企存煤8159万t,同比增加46万t。进口量方面,全国进口煤炭3.27亿t,出口751万t,净进口量达3.2亿t,比2012年增加4000万t左右。

这些数据表明,我国煤炭黄金时代已过,能源多元化时代来临。煤炭能源所占比例将缓慢下降,但我国的能源总需求在可预计的未来将不断增长。图1-1显示出中美两国能源消费变化的趋势。由图可见,美国的能源消费基本趋于稳定,而我国的能源需求还将快速增长。从长远看,煤炭能源的需求将平稳增长,煤炭在能源构成中的主导地位不会逆转。表1-2是近年来我国能源生产的构成与变化,表1-3是近年来我国能源消费的构成与变化。

在世界范围来说,在可以预计的将来,煤炭仍将是重要的能源。数据显示,在过去的23年间,全球煤炭消费比重由1990年的27.38%提高到2012年的29.90%,而原油则由38.83%下降到33.11%。

而从全球能源资源赋存情况看,在全球已探明的化石能源中,煤炭占54.65%,远高于油气资源。特别是随着煤炭清洁高效利用技术和现代煤化工技术的快速发展,煤炭仍将是

人类生产生活无可替代的重要能源。

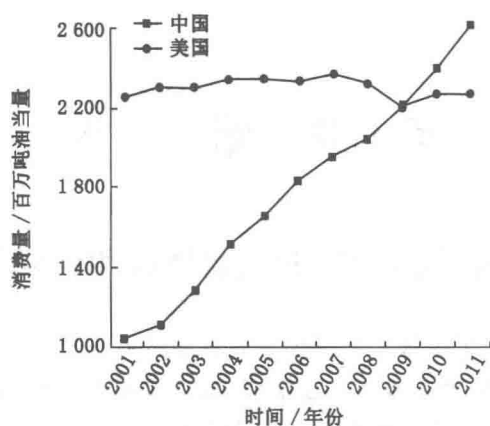


图 1-1 中美两国能源消费变化趋势图

表 1-2 我国历年能源生产总量及构成(数据来自《中国统计年鉴,2013》)

年 份	能源生产总量 /万吨标准煤	占能源生产总量的比重/%			
		原 煤	原 油	天 然 气	水 电、核 电、风 电
1978	62 770	70.3	23.7	2.9	3.1
1980	63 735	69.4	23.8	3.0	3.8
1985	85 546	72.8	20.9	2.0	4.3
1990	103 922	74.2	19.0	2.0	4.8
1991	104 844	74.1	19.2	2.0	4.7
1992	107 256	74.3	18.9	2.0	4.8
1993	111 059	74.0	18.7	2.0	5.3
1994	118 729	74.6	17.6	1.9	5.9
1995	129 034	75.3	16.6	1.9	6.2
1996	133 032	75.0	16.9	2.0	6.1
1997	133 460	74.2	17.2	2.1	6.5
1998	129 834	73.3	17.7	2.2	6.8
1999	131 935	73.9	17.3	2.5	6.3
2000	135 048	73.2	17.2	2.7	6.9
2001	143 875	73.0	16.3	2.8	7.9
2002	150 656	73.5	15.8	2.9	7.8
2003	171 906	76.2	14.1	2.7	7.0
2004	196 648	77.1	12.8	2.8	7.3
2005	216 219	77.6	12.0	3.0	7.4
2006	232 167	77.8	11.3	3.4	7.5
2007	247 279	77.7	10.8	3.7	7.8
2008	260 552	76.8	10.5	4.1	8.6
2009	274 619	77.3	9.9	4.1	8.7
2010	296 916	76.6	9.8	4.2	9.4
2011	317 987	77.8	9.1	4.3	8.8
2012	331 848	76.5	8.9	4.3	10.3

表 1-3 我国历年能源消费总量及构成(数据来自《中国统计年鉴,2013》)

年 份	能源消费总量 /万吨标准煤	占能源消费总量的比重/%			
		煤 炭	石 油	天 然 气	水 电、核 电、风 电
1978	57 144	70.7	22.7	3.2	3.4
1980	60 275	72.2	20.7	3.1	4.0
1985	76 682	75.8	17.1	2.2	4.9
1990	98 703	76.2	16.6	2.1	5.1
1991	103 783	76.1	17.1	2.0	4.8
1992	109 170	75.7	17.5	1.9	4.9
1993	115 993	74.7	18.2	1.9	5.2
1994	122 737	75.0	17.4	1.9	5.7
1995	131 176	74.6	17.5	1.8	6.1
1996	135 192	73.5	18.7	1.8	6.0
1997	135 909	71.4	20.4	1.8	6.4
1998	136 184	70.9	20.8	1.8	6.5
1999	140 569	70.6	21.5	2.0	5.9
2000	145 531	69.2	22.2	2.2	6.4
2001	150 406	68.3	21.8	2.4	7.5
2002	159 431	68.0	22.3	2.4	7.3
2003	183 792	69.8	21.2	2.5	6.5
2004	213 456	69.5	21.3	2.5	6.7
2005	235 997	70.8	19.8	2.6	6.8
2006	258 676	71.1	19.3	2.9	6.7
2007	280 508	71.1	18.8	3.3	6.8
2008	291 448	70.3	18.3	3.7	7.7
2009	306 647	70.4	17.9	3.9	7.8
2010	324 939	68.0	19.0	4.4	8.6
2011	348 002	68.4	18.6	5.0	8.0
2012	361 732	66.6	18.8	5.2	9.4

从中国能源资源条件来看,我国煤炭储量丰富。2014年通过评审的国土资源部重大项目《全国煤炭资源潜力评价》显示,中国2 000 m以内煤炭资源总量达5.9万亿t,圈定预测区2 880个,面积近45万km<sup>2</sup>,预测资源量3.88万亿t,探获煤炭资源储量2.02万亿t,约可供开采546年。全国已查明煤炭资源储量1.40万亿t,占一次能源资源总量的94%,而油气等资源仅占6%左右。我国能源资源的特点决定了煤炭在可预计的将来仍将是我国的主要能源,但毫无疑问,它的重要性将逐步下降。

在能源消费构成方面,煤炭的比例将持续下降,但在原料领域将逐步扩大份额。从长远来看,石油价格虽然会有起伏,但总体将处于高位,这将促使我国的煤制甲醇、煤制油、煤制

天然气、煤制烯烃等新型煤化工产业得到快速发展。中国煤炭由燃料向原料与燃料并举转变战略已经启动,煤炭在原料领域特别是化工产品生产领域将发挥越来越重要的作用。

## 第二节 煤化学的主要内容及学习方法

### 一、煤化学及其在煤炭加工利用中的作用

煤化学是研究煤的生成、组成(包括化学组成和岩相组成)、结构(包括分子结构和孔隙结构)、性质、分类、利用以及它们之间相互关系的学科。

煤化学起源于工业革命的 18 世纪末。工业革命对于煤炭的需求,客观上需要了解煤炭的来源、组成、性质等基本问题。大约在 19 世纪 30 年代到 20 世纪初,科学家以元素化学为研究手段,对煤的组成和性质进行了系统的研究。此后,科学家将研究岩石的技术应用于煤的研究,诞生了“煤岩学”。煤岩学技术的发展,促进了对煤的成因、组成、性质以及煤炭应用的深入研究。现在,煤岩学已经成为煤化学不可或缺的重要组成部分。物理方法、化学手段和显微镜技术的联合应用,在煤炭研究和指导煤炭应用方面发挥着重要的作用。

煤是一种组成和结构十分复杂,而且极不均匀的天然矿产资源。从组成上来说,它是由上千种有机物和几十种无机物组成的复杂混合物。有机物是煤炭利用和研究的主体,无机物对于煤的利用基本上是不利的甚至是有害的。这两种组分的特点决定了煤的可加工利用性能和利用价值。迄今为止,对于煤中的有机物种类及其分子结构还不十分清楚。煤的组成和性质是煤炭利用的决定性因素,煤的组成和性质又受多种因素的影响,主要有成煤原始植物的种类、植物遗体堆积和积聚的环境(气候、水质、水流、水深、地质、土壤和地理位置等)、埋藏深度、沉积时间、地壳运动、地下水水质及水流和地下熔岩活动等。由此可见,煤的组成和性质的复杂性不是偶然的,人类对于煤的认知还有很长的路要走。

虽然煤化学的发展已经有 200 多年的历史,但对于煤的许多问题还不明了,特别是煤的分子结构问题仍是困扰科学家的最大难题。虽然遇到了很大挑战,但对于煤分子结构的研究和认识也有很大的进展,特别是大量先进的科学仪器的应用,如:小角 X 射线散射(SAXS)、计算机断层扫描(CT)、核磁共振成像(NMRI)、电子透射/扫描显微镜(TEM/SEM)、扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)、X 射线衍射(XRD)、紫外—可见光谱(UV-Vis)、红外光谱(IR)—Raman 光谱、核磁共振谱(NMR)、顺磁共振谱(ESR)、电子能谱(XPS)等,大大深化了煤分子结构的研究,取得了大量的研究成果。相信在不久的将来,人类一定能够揭开煤分子结构之谜。

煤化学是一门涉及多个学科领域的综合性学科,它以化学为基础,利用地球化学、地理学、沼泽学、微生物学、地质学、高分子化学、胶体化学、电化学、表面化学和煤岩学等学科的知识 and 手段,对煤的基础科学问题 and 应用问题进行交叉分析和研究。

煤的组成和性质是煤化学研究的核心,也是指导煤炭加工利用的基础。现代煤炭加工利用的各种工艺均离不开煤的组成和性质的分析,简要归纳如下。

(1) 煤炭分选:确定分选工艺必须要知道原煤的灰分、硫分、变质程度、密度、矿物质与煤的结合情况等基本指标。

(2) 粉煤成型:确定成型工艺和配方必须要知道煤的灰分、挥发分、水分、硫分、密度、粒度组成等基本指标。

(3) 动力煤配煤:确定配煤工艺和配方必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、发热量、灰熔点、密度、粒度组成等指标。

(4) 水煤浆:确定制浆工艺和添加剂的用量必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、发热量、灰熔点、密度、粒度组成、表面性质等指标。

(5) 煤炭燃烧:选择合适的燃烧设备必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、发热量、灰熔点、黏结性、粒度组成等指标。

(6) 煤炭气化:合适的气化工艺必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、元素组成、发热量、灰熔点、灰黏度、黏结性、反应性、结渣性、粒度组成等指标。

(7) 煤炭液化:合适的液化工艺必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、元素组成、矿物组成、反应性、粒度组成等指标。

(8) 煤炭焦化:制造优质冶金焦必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、矿物组成、黏结性、粒度组成等指标。

(9) 煤基碳素耐火材料:制造优质碳素耐火材料必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、矿物组成、粒度组成等指标。

(10) 电极糊:制造优质电极糊必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、导电性、矿物组成、粒度组成等指标。

(11) 碳质吸附剂:制造优质碳质吸附剂(活性炭、碳分子筛)必须要知道原料煤的灰分、挥发分、水分、硫分、矿物组成、粒度组成等指标。

以上列举的是煤炭加工利用的常规方法对煤炭组成和性质的要求,对于特殊方法来说,要求的性质可能更多,如煤的导电性、煤的磁性、煤的岩相组成等。总之,煤化学是解决煤炭加工利用问题的理论基础。

## 二、煤化学的学习方法

煤化学的内容较多,涉及煤的形成、煤的结构、煤的组成、煤的性质、煤的分类和煤的转化利用等方面,概念性的内容多,严谨规律性的内容少,难度不大,但内容多而杂,给学习造成一定的困难。但是煤化学各内容之间是一个具有密切联系的完整体系,只要洞悉煤化学各内容之间的关系,抓住其核心问题,学习起来就会觉得轻松而有趣味。

学习煤化学的目的是为了解决煤炭利用中的实际问题,比如煤的利用方式、利用条件、煤种选择和煤量计算等。要解决这些问题,就需要知道煤的组成和性质。可见煤的组成和性质是煤化学的主要内容。要深入了解煤组成和性质的变化规律,就需要研究决定煤组成和性质的影响因素。决定煤性质的是煤的结构特性,煤的组成和结构特性又是由其形成过程决定的。这样,煤化学各部分内容之间的内在关系就跃然纸上,即“煤的形成过程决定煤的组成和结构,煤的组成和结构决定煤的性质,煤的性质决定煤的加工利用方式”。在这个体系中,“煤的大分子结构理论”是连接煤化学知识体系的主线,它使整个煤化学的知识体系成为一个相互紧密联系的有机整体。

要特别注意煤的生成过程的不同阶段对于煤的组成和结构的影响是不同的。煤的生成过程分为两个大的阶段,即由植物转化为泥炭的泥炭化作用阶段和由泥炭转化为褐煤、烟煤和无烟煤的煤化作用阶段。泥炭化作用阶段主要影响煤的无机质组成及其嵌布特性和煤岩组成,煤化作用阶段主要影响煤有机质的分子结构。学习煤的性质要区分是有机质的性质还是矿物质的性质,决定煤的最终加工利用方式的是二者混合态时的性质。



在学习煤化学时,首先要熟练、准确地掌握各种定义和概念;其次要掌握煤大分子结构理论的要点,并能够熟练运用煤大分子结构理论解释煤有机质的组成及性质随煤化程度的变化规律;第三要熟练掌握煤质指标的基准含义及其换算;第四要将煤化学各知识点用煤大分子结构理论连接成为一个整体。抓住这四点,就能够掌握煤化学知识体系的精髓,并能运用煤化学知识解决煤炭加工利用中与煤质相关的实际问题。

### 复习思考题

1. 中国能源构成有何特点? 其发展趋势是什么?
2. 为什么我国煤化工产业能够迅速发展?
3. 如何学好煤化学?



## 第二章 煤的形成

煤是植物遗体经过生物化学作用,再经过物理化学作用转变而成的沉积有机岩,其中还含有数量不等的矿物质。因此,煤是多种高分子化合物和矿物质组成的混合物。煤中的矿物质在煤燃烧后转化为灰分,一般认为,灰分小于50%时才能称为煤。从植物死亡、堆积到转变为煤经过了一系列复杂的演变过程,这个过程称为成煤作用。成煤作用大致可以分为两个阶段,第一阶段是植物遗体在泥炭沼泽、湖泊或浅海中,在微生物的参与下不断分解、化合形成新物质的过程。这个过程起主导作用的是生物化学作用。低等植物经过生物化学作用形成腐泥,高等植物形成泥炭,因此成煤第一阶段可称为腐泥化阶段或泥炭化阶段。当已形成的泥炭或腐泥,由于地壳的下沉等原因而被上覆沉积物所掩埋时,成煤作用就转为第二阶段——煤化作用阶段,即泥炭(腐泥)在温度和压力的作用下转变为煤的过程。成煤第二阶段又分为成岩作用阶段和变质作用阶段。在这一阶段中起主导作用的是物理化学作用。在温度和压力的影响下,泥炭转变为褐煤(成岩作用),再由褐煤转变为烟煤和无烟煤(变质作用)。

煤与煤之间的性质千差万别,不仅不同煤田的煤质差别较大,即使是同一煤田不同煤层的煤质,其差异也很大。若同一煤田同一煤层,但在不同地点采的煤样,其煤质也有差别。甚至是在同一煤田同一煤层同一地点采样,而采样时,将煤层从上到下分成若干个分层采样,各分层的煤质也有差异。引起煤质千差万别的原因与成煤物质、成煤环境和成煤作用密切相关。

研究煤的形成时,要特别注意无机组分和有机组分的变化。一般来说,无机组分的种类、数量和分布形态主要由泥炭化作用的具体过程所决定;而有机组分的组成和结构不仅受泥炭化作用影响,煤化作用的影响更大。无机组分的数量、种类和赋存嵌布形态与有机质的特性共同决定了煤的品质和利用方式。

### 第一节 成煤物质

#### 一、成煤的原始物质

19世纪以前,人们对煤成因的认识并不一致,曾提出过很多假说,归纳起来主要有三种:一是认为煤和地壳中的其他岩石一样,一有地球就存在;二是认为煤由岩石转变而成;三是认为煤由植物残骸形成的。

随着煤炭的大规模开采,人们在煤层中常常发现保存完好的古植物化石和由树干变成的煤,在煤层底板岩层中发现了大量的植物化石,证明它曾经是植物生长的土壤。随着煤岩学的发展,人们利用显微镜在煤制成的薄片观察到许多原始植物的细胞结构和其他残骸,如孢子、花粉、树脂、角质层、木栓体等;在实验室用树木进行的人工煤化实验,也可以得到外观和性质与煤类似的人造煤。因此,煤是由植物而且主要是由高等植物转化而来的观点已成为人们的共识。