



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

煤化字

(第2版)

何选明 主编

MEI HUAXUE



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

煤 化 学

(第2版)

主编 何选明

编委 王世杰 伍 林 韩 军

北 京
冶金工业出版社
2010

内 容 提 要

本书为高等院校“化学工程与工艺”、“建筑环境与设备工程”、“环境科学与工程”、“应用化学”等专业的教学用书,系统地叙述了煤的特征、生成、组成、岩相、性质、分类和结构;煤的加工过程、化学原理和反应机理;煤加工产物的组成、性质和利用化学等。

本书也可作为从事能源、煤焦化、煤燃烧、煤气化、煤液化、炭素材料、煤基化学品、煤田地质、采煤、选煤、煤质化验和环境保护等有关管理、研究、设计、技术开发和生产人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

煤化学/何选明主编. —2版. —北京:冶金工业出版社,
2010.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5024-4979-7

I. ①煤… II. ①何… III. ①煤—应用化学—高等学校
—教材 IV. ①TQ530

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第066142号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4979-7

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2000年8月第1版,2010年5月第2版,2010年5月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;19印张;503千字;287页

39.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第2版前言

为了适应人才培养以及教学改革的需要,并根据学科的发展与教育改革的要求,经过多年教学实践经验总结,对本书进行了修订。第2版修订的主要内容有:

(1) 增加了中国煤炭利用历史、煤炭在社会发展中的地位、煤化学的研究展望、洁净煤技术、中国煤变质叠加作用、煤中微量有害元素、煤的嵌布结构模型、煤基碳纳米材料等内容。

(2) 对煤炭资源分布及煤质特点资料,中国煤分类、国际煤分类标准及本书所涉及的全部煤炭分析试验方法标准,按照截止到2009年11月底前颁布的新标准和正式出版的新文献进行了更新。

(3) 为了方便教学,各章增加了复习思考题。

(4) 对部分章节的顺序进行了调整。

本书由武汉科技大学何选明教授担任主编;王世杰、伍林、韩军为编委。何选明编写绪论、第1章、第6章和第7章;王世杰编写第2章、第5章和第9章;伍林编写第4章和第8章;韩军编写第3章和第10章。王世杰对全书进行了整理与校对,最后由何选明对全书作总纂。

本书得到了清华大学、天津大学、大连理工大学、太原理工大学、华中科技大学、华东理工大学、河北理工大学、鞍山科技大学、安徽工业大学、内蒙古科技大学、中国地质大学(武汉)、中国科学院山西煤炭化学研究所、煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院、煤炭科学研究总院西安分院、中冶焦耐工程技术有限公司、中钢集团鞍山热能研究院有限公司等大专院校和研究院所的支持与帮助,我们在此表示诚挚的谢意。

本书的编写得到了武汉科技大学学校和教务处有关领导、化学工程与工程学院领导、煤转化与新型炭材料湖北省重点实验室以及武汉科技大学化工工艺

教研室的老师和同行们的支持与帮助，武汉科技大学化学工程与技术学院博士研究生与硕士研究生马晶晶、周清梅、黄鹂、秦瑾、李耀拉、李铁鲁、鲁擎擎、刘敏、肖志方、陶新、官章伟、华侨等参加了本书的初期文字整理工作，在此表示衷心的感谢。向所引用参考文献的编著、作者表示感谢。

由于编写水平所限，书中还存在不足之处，恳请读者批评指正。

编 者
2010年1月

第 1 版前言

《煤化学》一书是原冶金工业部“九五”规划教材。本书是在武汉科技大学 1984 年由冶金工业出版社出版的《煤化学》教材的基础上，经多年教学实践，并根据学科的发展与要求重新编写的。全书共分为 10 章，系统叙述了煤的特征、生成、组成、性质、分类、结构、加工利用及后续产品的深度加工化学等。

本书绪论、第 3 章、第 5 章、第 6 章和第 10 章由虞继舜编写；第 4 章、第 7 章和第 9 章由戴中蜀编写；第 1 章、第 2 章和第 8 章由何选明编写；最后由虞继舜对全书作最终修改与整理。本书初稿请华东冶金学院钱湛芬教授、姚伯元教授和郑明东副教授审查，他们提出了许多宝贵意见，对提高本书质量给予了很大的帮助，在此谨致衷心的感谢。

本书的编写得到了武汉科技大学有关领导、化工与资源环境学院领导，以及化工工艺教研室的老师和同行们的支持与帮助，在此向他们表示谢意，并向所引用资料的编著者表示感谢。

由于编写水平所限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
2000 年 2 月

目 录

0 绪论	1
0.1 中国煤炭开采利用历史	1
0.2 煤化学学科的兴起与发展	3
0.2.1 煤化学的起源兴衰	3
0.2.2 煤化学的研究展望	4
0.3 煤炭在社会发展中的地位	6
0.3.1 煤炭与中国社会的可持续发展	6
0.3.2 煤炭与环境保护	7
0.4 煤的综合利用与洁净煤技术	8
0.4.1 煤炭综合利用	8
0.4.2 洁净煤技术	10
0.5 煤化学的内容特点与学习方法	11
复习思考题	11
1 煤的种类、特征与生成	12
1.1 煤的种类和特征	12
1.1.1 煤的种类	12
1.1.2 腐殖煤的主要特征和一般特性	12
1.2 成煤原始物料	15
1.2.1 地质年代与主要成煤植物	15
1.2.2 成煤植物的有机族组成及成煤性质	16
1.2.3 植物的增长和植物遗体的堆积	20
1.3 腐殖煤的生成过程	20
1.3.1 泥炭化阶段	21
1.3.2 煤化阶段	24
1.4 主要成煤期与主要煤田	30
1.4.1 影响成煤期的主要因素	30
1.4.2 主要聚煤期和主要煤田	33
1.5 煤成气	34
1.5.1 煤成气的分类	34
1.5.2 煤成气的生成	35
1.5.3 中国煤层气资源量	35
复习思考题	36

2 煤的工业分析与元素分析	37
2.1 煤的工业分析	37
2.1.1 煤中的水分	37
2.1.2 煤中矿物质和煤的灰分产率	39
2.1.3 煤的挥发分和固定碳	43
2.2 煤的元素分析	45
2.2.1 煤的元素组成	45
2.2.2 煤中常量元素分析的方法原理	50
2.2.3 煤中微量有害元素分析的方法原理	56
2.3 分析结果的表示方法与基准换算	58
2.3.1 煤质指标及基准的表示方法	58
2.3.2 煤质分析结果的基准换算	61
复习思考题	64
3 煤的物理性质和物理化学性质	66
3.1 煤的密度	66
3.1.1 煤密度的表征	66
3.1.2 煤密度的测定	67
3.1.3 影响煤密度的因素	68
3.2 煤的机械性质	70
3.2.1 煤的硬度	70
3.2.2 煤的脆度	72
3.2.3 煤的可磨性	72
3.2.4 煤的弹性	75
3.3 煤的热性质	76
3.3.1 煤的质量热容	76
3.3.2 煤的导热性	77
3.4 煤的光学性质	78
3.4.1 煤的反射率	78
3.4.2 煤的折射率	79
3.4.3 煤的透光率	80
3.4.4 煤的荧光性	80
3.5 煤的电性质与磁性质	81
3.5.1 煤的导电性	81
3.5.2 煤的介电常数	82
3.5.3 煤的磁性质	82
3.6 煤的固态胶体性质	83
3.6.1 煤的润湿性	83

3.6.2 煤的润湿热	85
3.6.3 煤的内表面积	85
3.6.4 煤的孔隙率和孔径分布	86
复习思考题	87
4 化学方法研究煤	89
4.1 煤中的官能团分析	89
4.1.1 含氧官能团	89
4.1.2 煤中的含硫和含氮官能团	91
4.2 煤的高真空热分解	91
4.3 煤的溶剂抽提	92
4.3.1 煤溶剂抽提法的分类	92
4.3.2 煤的抽提率与溶剂性质的关系	93
4.3.3 煤的溶剂抽提	95
4.3.4 烟煤的超临界抽提	96
4.4 煤的加氢	98
4.4.1 煤加氢液化的反应及原理	99
4.4.2 煤的深度加氢与轻度加氢	102
4.5 煤的氧化	104
4.5.1 煤的氧化阶段	104
4.5.2 煤的轻度氧化	105
4.5.3 煤的深度氧化	106
4.5.4 煤的风化与自燃	109
4.6 煤的其他化学反应	111
4.6.1 煤的卤化反应	111
4.6.2 煤的磺化反应	114
4.6.3 煤的水解	115
复习思考题	116
5 煤的工艺性质	117
5.1 煤的黏结性与结焦性	117
5.1.1 煤的黏结性与结焦性概念	117
5.1.2 煤的黏结性与结焦性的主要测定方法	117
5.2 煤的可选性	123
5.2.1 煤的可选性曲线	123
5.2.2 可选性标准	125
5.3 煤的铝甞低温干馏试验	125
5.4 煤炭气化燃烧的工艺性质	126
5.4.1 煤的反应性	126

5.4.2 煤的机械强度	127
5.4.3 煤的热稳定性	128
5.4.4 煤的结渣性	129
5.4.5 煤灰的熔融性和灰黏度	130
5.4.6 煤的着火温度	132
5.4.7 煤的发热量	133
复习思考题	136
6 煤的岩相组成、性质与应用	137
6.1 宏观煤岩组成	137
6.1.1 宏观煤岩成分	137
6.1.2 宏观煤岩类型	138
6.2 煤的显微组分	139
6.2.1 煤的有机显微组分	139
6.2.2 煤的无机显微组分	142
6.2.3 煤岩显微组分的分类与命名	144
6.3 煤岩学研究方法	148
6.3.1 煤岩显微组分的分离和富集	148
6.3.2 煤岩分析样品制备方法	149
6.3.3 煤岩显微组分的反射率	152
6.3.4 煤岩组分的定量方法	154
6.4 煤岩显微组分的性质	155
6.4.1 工业分析和元素分析	155
6.4.2 炼焦性质	157
6.5 煤岩学的应用和发展	158
6.5.1 煤岩学在煤田地质方面的应用	158
6.5.2 煤岩学在选煤中的应用	159
6.5.3 煤岩学在煤质评价和煤分类中的应用	159
6.5.4 煤岩学在炼焦配煤与预测焦炭质量方面的应用	162
6.5.5 煤岩学的发展	165
复习思考题	166
7 煤分类、煤质评价与中国的煤炭资源	167
7.1 煤分类的意义和分类指标	167
7.2 中国煤炭的技术分类方案	168
7.2.1 历史沿革	168
7.2.2 煤类划分代号与编码	169
7.2.3 中国煤炭技术分类体系	170
7.3 中国煤炭分类的商业编码系统	173

7.4 中国煤层煤的科学成因分类	176
7.5 煤的国际分类	178
7.5.1 煤炭国际分类的发展	178
7.5.2 现行国际煤分类标准	178
7.6 煤质评价	180
7.6.1 煤质评价的阶段与任务	180
7.6.2 煤质评价的内容	180
7.6.3 煤质评价的方法	181
7.7 中国的煤炭资源与煤质特点	182
7.7.1 中国的煤炭资源及其分布特点	183
7.7.2 中国的煤炭资源煤质特点	185
7.7.3 中国的炼焦煤资源及其可选性	186
复习思考题	188
8 煤的化学结构概念及其研究方法	189
8.1 用X射线衍射法研究煤和碳的结构	189
8.1.1 X射线衍射图谱分析	189
8.1.2 X射线衍射研究导出的煤结构信息	190
8.2 红外光谱在煤结构研究中的应用	192
8.2.1 红外光谱图解析	192
8.2.2 煤的红外吸收光谱研究	193
8.3 核磁共振波谱在煤结构研究中的应用	195
8.3.1 NMR波谱的解析	195
8.3.2 煤的NMR谱研究	196
8.4 用统计结构解析法研究煤的结构	198
8.4.1 统计结构解析法的原理	198
8.4.2 煤的结构参数	200
8.4.3 煤化学结构的统计解析法研究	202
8.4.4 煤的结构参数与煤质的关系	204
8.4.5 煤结构研究的新进展	205
8.5 煤的结构模型	205
8.5.1 煤的化学结构模型	206
8.5.2 煤的物理结构模型	210
8.5.3 煤结构的综合模型	211
8.6 煤的化学结构特征	211
8.6.1 煤的化学结构特性	211
8.6.2 煤的基本结构单元	212
8.6.3 煤的相对分子质量及低分子化合物	215
8.6.4 各种显微组分的化学结构	216

8.6.5 煤化学结构的近代概念	217
复习思考题	217
9 煤的热解与黏结成焦	219
9.1 煤的热解过程	219
9.1.1 黏结性烟煤受热时发生的变化	219
9.1.2 煤的差热分析	220
9.2 煤在热解过程的化学反应	221
9.2.1 有机化合物的热裂解	221
9.2.2 煤热解过程的主要化学反应	222
9.3 煤热分解动力学研究	224
9.3.1 胶质体反应动力学	224
9.3.2 脱挥发分动力学	226
9.4 煤的黏结与成焦机理	231
9.4.1 黏结与成焦机理概述	232
9.4.2 胶质体理论	233
9.4.3 中间相理论	236
9.4.4 半焦的收缩与裂纹的形成	239
9.4.5 焦炭的光学组织	241
9.5 影响焦炭强度的主要因素	248
9.5.1 原料煤的性质和配合	248
9.5.2 加热速度	249
9.5.3 煤料的散密度	250
9.5.4 煤料的粒度	250
9.5.5 配添加物	250
9.6 煤的快速热解	252
9.6.1 固体热载体快速热解法	253
9.6.2 加氢闪急热解法	254
9.6.3 等离子热解煤制乙炔法	254
复习思考题	255
10 煤制化学品与高碳物料	257
10.1 煤液体与煤制高聚物	257
10.2 煤制塑料	260
10.3 煤制洁净燃料	261
10.3.1 水煤浆	261
10.3.2 超纯煤	263
10.4 煤制高碳物料	263
10.4.1 煤沥青基碳纤维	264

10.4.2 中间相炭微珠	265
10.5 煤制活性材料	266
10.5.1 煤制活性炭	266
10.5.2 煤制炭分子筛	268
10.6 炭纳米材料	270
10.6.1 煤基富勒烯	270
10.6.2 煤基炭纳米管	276
复习思考题	282
参考文献	283

0 绪 论

0.1 中国煤炭开采利用历史

我国是世界上最早采煤和用煤的国家，沈阳新乐遗址中，发现了六七千年以前的煤精制品和煤块。春秋战国时期（公元前 770 年～公元前 221 年），煤炭称为石涅。春秋战国时代的著名地理著作《山海经》有三处记载石涅：“女床之山，其阳多赤铜，其阴多石涅”，“岷山之首，曰女儿之山，其上多石涅”，“风雨之山，其上多白金，其下多石涅”。据考证，女床山即陕西“凤翔府岐山”，该区赋存烟煤；女儿山为蜀群双流女伎山，今四川双流和什邡煤田；风雨山则为四川通江、南江和巴中一带，产煤之地。

魏晋时期（公元 220 年～420 年），我国古代煤炭开发和利用有了初步发展。当时称煤为石墨，之后又出现了石炭这一名称，石墨与石炭这两个名称并用了很长时期。到了南北朝时期（公元 420 年～581 年），煤称为石炭的名称才普及。这个时期已出现了煤井和相应的采煤技术。煤炭不仅用于生活，还用于冶铁等行业。煤的产地遍及南方和北方，甚至边陲新疆。正如古书《水经注》中描写的那样庞大的规模：“屈茨（今新疆库车一带）北二百里山，夜则火光，昼日但烟，人取此山石炭，冶此山铁，恒充三十六国用。”这说明这时我国采煤业及用煤炼铁业已相当发达。隋唐时代（公元 581 年～907 年），中国采煤行业有较大进步，开采技术日渐成熟，煤炭广泛用于冶金、陶瓷、民用燃料等。从唐代开始，我国采煤知识逐渐传播到国外。唐代来华的日本留学僧圆仁在《入唐求法巡礼行记》中写道：“太原府…晋，遍山有石炭，近远诸州人尽来取烧。”该书在日本产生很大影响。这也说明，在唐代，中国煤炭知识已传入日本。日本现今还称煤炭为石炭。

宋代（公元 960 年～1279 年），我国的煤炭事业在开采技术、规模和应用方面都出现了兴旺发达的势头。宫廷委派官吏专门管理煤炭生产和买卖，煤炭广泛用于冶铁、陶瓷、砖瓦等行业作燃料。最重要的是当时已经使用了焦炭，炼焦技术日臻完善，这表明我国煤炭事业步入了崭新的阶段，开采技术更为丰富。如鹤壁古煤矿的开采技术配套齐全，对井筒位置选择与开凿、巷道布置、采煤工作面、采煤方式、井下照明、运输、提升、排水以及生产管理等技术均较完善。宋代普遍称煤为石炭，至南宋末年，出现了“煤”的名称。到了元代（公元 1206 年～1368 年），“煤”的名称才得到普及，且有黑煤、石炭煤、白煤等名称。元政府为了解决首都——大都（今北京）的燃料问题，计划重开金口河，把西山的煤运到京城来。左丞相脱脱奏曰：“京师人烟百万，薪刍负担不便。今西山有煤炭，若都城开池河上，受金口灌注，通舟揖往来，西山之煤，可坐至于城中矣”。“遂起夫役，大开河五六十里。”可见，当时煤炭的名称已深入人心。从那时起，煤炭这一名称一直沿用至今。

元代，意大利人马可·波罗旅行来到中国。马可·波罗是最著名的旅行家。他在中国游历了很久，几乎游遍了全中国，对中国的文明和风土人情有广泛的了解。他到过煤炭开采较发达的陕、甘、晋、鲁等地。中国采煤及用煤情况给他留下了深刻的印象和美好的回忆。他在《马可·波罗游记》中写道：“整个契丹省到处都发现有一种黑色石块，它挖自矿山，在地下呈脉状延伸，一经点燃效力和木炭一样，而它的火焰却比木炭更大更旺，甚至可以从夜晚燃烧到天明，仍不会熄灭。这种石块，除非先将小块点燃，否则平时并不着火。若一旦着火，就

会发出巨大的热量。”文中写的“契丹”就是中国，“黑色石块”就是煤。马可·波罗还在文中写道：“诚然，这个国家并不缺少木材，但是如此众多的人口，炉灶也多，而且燃烧不止，加上人们又勤于沐浴，这样必然造成木材数量供不应求。每个人一星期至少洗三次热水澡。每逢冬季，只要力所能及，甚至是一日一浴。凡身有职位或家庭富裕的人，家中都备有一个火炉，以供自己取暖之用。像这样大的燃料消耗，木材资源势难满足供应；然而这些黑色石块却取之不尽，而且价格十分低廉。”上述描述说明了中国宋末元初时期，煤炭开采规模几乎“到处都有”，煤炭使用广泛，而且成为代替木材的主要燃料。也说明了马可·波罗从未见过煤炭，更不了解煤炭，以至于到中国后对煤特别感兴趣，惊奇地称煤炭是可燃的“黑色石块”。正因如此，他又进行了调查研究，将煤炭的火力、价格、供求、资源等与木炭相比，得出了煤代替木炭成为主燃料的结论。这也说明了中国用煤远比欧洲用煤的历史悠久。其实，到元代，中国发现和使用煤炭已经超过5000年了。一个外国旅行家，到过叙利亚、伊朗等许多国家，他把中国燃烧“黑色石块”作为奇闻写进游记，带回他的祖国，传播到欧洲和世界各地。这是中国人民对世界各国开发煤炭做出的重大贡献！

明代，“京师百万之家，皆以石煤代薪。”中国人民在长期的煤炭开发实践中，对煤炭的认识不断加深，开采和利用技术不断提高，开创了前所未有的成果，形成了世界上独具特色的中国古代采煤技术。明代杰出科学家宋应星所著的《天工开物》就是一部总结我国古代工农业生产技术的科学技术巨著。其中，《天工开物·燔石》卷中，详细记叙了中国古代采煤技术：“凡取煤经历久者，从土面能辨有无之色，然后掘挖。深至五丈许，方始得煤。初见煤端时，毒气灼人。有将巨竹凿中节，尖锐其末，插入炭中，其毒烟从竹中透上，人从其下施钁拾取者。或一井而下，炭纵横广有，则随其左右阔取。其上支板，以防压崩耳。”由此可知，明代以前已掌握了煤矿地质、开拓、采煤、支护、通风及瓦斯排放、提升、排水、煤炭利用等古代采煤技术。中国人民经过数千年煤炭开采实践，至明清时代已近完善，有许多发明创造形成了独具特色的中国古代采煤技术。当时在煤炭技术及组织管理等方面均处于世界领先水平。现在的煤矿开采技术，正是在过去煤炭开采技术基础上发展起来的。

古人对煤的认识不断提高，对煤的应用也日益广泛，几乎所有用燃料的部门和行业都用上了煤炭。冶铁行业炼铁的燃料，煤炭占7/10；陶瓷、烧砖、烧石灰、煮盐、冶炼其他金属等均用煤炭作燃料；此外，煤还用于医药、建筑、提炼硫磺、制墨写字、印刷等等。这显示了中国古人在煤炭利用方面的高超技能。

明代于谦有一首《咏煤炭》诗，全诗写道：

凿开混沌得乌金，蓄藏阳和意最深。
爝火燃回春浩浩，洪炉照破夜沉沉。
鼎彝元赖生成力，铁石犹存死后心。
但愿苍生俱饱暖，不辞辛苦出山林。

诗中称煤炭为乌金，它富含光和热，把煤放入炉中，其熊熊火焰照破沉沉夜间。为了造福人类，化为灰烬以后，依然存在一颗铁石般赤诚的心。全诗表现了煤炭为了人类的温饱，不辞辛苦出山林，献出全部光和热、自我牺牲的高尚品质，借物喻人，抒发了诗人炽热的爱国情怀。

我们的祖先发现和利用煤炭的伟大成就，是我国四大发明——造纸、印刷术、指南针和火

药问世以前对人类做出的具有划时代意义的伟大创造和巨大贡献。煤炭的开发利用也远早于西方从技术上升到了文学的阶段。

然而,在世界范围内,煤化学作为一门学科的兴起是在18世纪产业革命之后。

0.2 煤化学学科的兴起与发展

0.2.1 煤化学的起源兴衰

煤化学是煤科学的一个分支,是研究煤生成、组成、结构、性质、分类、转化过程和合理利用的一门学科。18世纪以后,随着蒸汽机的普遍使用,煤炭成为世界的主要能源,也成为近代一个庞大的产业;它在世界能源总消费量中的比重,由1860年的24%增加到1900年的95%。煤炭在支撑社会发展和国民经济中的重要性,直接催生了煤化学。迄今为止,煤化学学科的发展大体经历了开创、鼎盛、衰落和复兴三个阶段。

0.2.1.1 开创阶段(1831~1913年)

从1780年第一次产业革命大规模利用煤作能源,人们就开始了对煤的研究。19世纪30年代,煤化学初步发端,首先解决了煤的起源问题,人们逐渐接受煤是由植物转变而来的概念。进入19世纪40年代,人们把煤列为科学研究的热门对象之一。英国和德国差不多同时开展了用显微镜对煤进行系统研究,并开始研究煤的热解、溶剂分离和氧化。由于焦炭生产的需要,已注意到煤的可塑性。1873年,法国对煤开展了较系统的化学研究,Regnault根据大量元素分析结果提出了第一个煤炭分类系统等。至此,人们开创了新的煤化学学科。

0.2.1.2 鼎盛阶段(1913~1963年)

在这个时期,煤在热源和能源中处于垄断地位,煤炭广泛用于机车、航行、炼焦、气化和发电等领域。煤的研究工作蓬勃开展,美、德、英、法、前苏联、波兰等国相继建立了高水平的煤炭研究机构,并在大学中设置了相应的学科。人们在煤岩学、煤化学和煤的转化等领域做出了显著的成果,涌现出许多著名的煤化学家和煤岩学家。

此期间在煤岩学方面,发展了透射光下观察的薄片技术,反射光下观察的光片技术以及薄光片技术;完善了煤岩定量方法和镜质组反射率测定的显微镜光度计法,使煤岩学的研究与实际应用都达到了较高的水平。

1913年德国Kaiser Wilhelm煤炭研究所成立,随后在这里发明了煤间接液化的Frieche-Tropsch合成法,它是两种主要的煤炭液化方法之一。大致与此同时,年仅27岁的贝吉乌斯(Friedrich Berguis)开始了第二种煤炭液化技术的研究,通过煤在高温高压下直接加氢液化,得到了类似石油的油品。1914年建成每天处理1t煤的中试厂,到1945年已建成18座煤液化工厂,年生产能力达到410万吨。由于这一贡献,1931年贝吉乌斯获得了煤化学科技史上唯一的一个诺贝尔奖。这两种煤转化技术至今仍具有重大的意义,他们开创了从固体煤转化为液体燃料和宝贵化学产品的有效途径。

在这一时期,英国、美国、日本等国的煤炭研究机构和大学广泛开展了对煤的研究。创立了很多测定煤塑性的方法,加深了对煤成焦机理的研究,并应用物理—化学方法研究煤的性质及其物理与化学结构,在煤的基础研究方面取得了重要进展;人们对煤的基本性质及其随煤化度的变化规律取得了大量的经验和研究数据,对煤的物理和化学结构有了比较全面的了解,并出版了大量重要著作,对这一时期的研究成果进行了科学的总结。

0.2.1.3 衰落和复兴阶段 (1963 年以后)

20 世纪 60 年代中期, 由于廉价石油和天然气的大量开发与应用, 发达国家纷纷将注意力转向石油天然气工业和石油化工, 煤炭工业逐渐衰落, 煤的研究几乎停滞不前。到 70 年代中期, 由于几次石油危机的发生, 石油价格的猛涨使煤在能源结构中的地位得以恢复。在煤的气化、液化和制取洁净燃料方面, 开发了一批新的加工工艺。特别是 1993 年在美国匹兹堡召开的国际煤炭会议, 标志了人们对煤利用观念的转变, 更多注意了煤作为原、材料的深层次开发和合理利用, 由煤制取高附加值的化学、化工原料和高碳材料, 并通过对煤液的分离利用将形成煤化学学科的一个新分支。1992 年联合国环境与发展大会, 表现了人类对大量使用矿物能源引起生态环境破坏的担忧, 人们更加注重对煤组成结构、污染组分和有害元素的认识, 以及这些组分在不同转化过程和阶段中的变化行为。2009 年全世界刮起的碳减排和低碳经济旋风, 促使人们更加关注煤炭利用对生态环境的严重影响, 注重研究煤的高效、洁净利用。随着科技的发展, 应用先进的仪器设备和计算机技术对煤炭的研究, 提供了煤结构和性质方面更详细与准确的信息, 使人们对煤炭的认识更为深化, 无疑对煤化学学科的发展和煤炭资源的合理有效和洁净利用带来历史性的转折、希望与机遇。

0.2.2 煤化学的研究展望

0.2.2.1 煤化学的研究成果与热点课题

回顾煤化学的发展历史, 令人欣喜地看到, 煤化学在煤结构、岩相学、煤分类学、煤的燃烧、焦化、液化、气化等煤加工工艺反应机理和动力学理论方面, 都取得了巨大进步。使人们对煤炭有了更全面、深刻的认知; 同时人们也深切地感受到, 跌宕起伏的政治、经济形势, 强烈影响着煤化学研究的兴衰。

迄今为止, 可以载入史册的煤化学里程碑研究成果主要有: 德国的贝吉乌斯研究开发的煤在高温高压下的直接液化技术, 成为现代煤液化加工工艺的重要基础; 德国的温克勒 (Fritz Winkler) 发现了“流化现象”, 从而研究开发了流化床反应器, 后来称之为温克勒炉, 引起固体物料加工工艺的革命; 1921 年开发的“煤间接液化”技术, 即 F-T (费-托) 合成液烃技术, 通过煤的气化生产合成气, 再经费-托合成生产液体燃料, 是世界上唯一坚持生产的煤制液体燃料转化路线。对煤燃烧过程的研究中, 提出的气-固宏观反应动力学原理, 之后发展成著名的多孔固体的气-固相反应理论, 已成为化学工程的经典内容。

进入 21 世纪以来, 特别是在以煤炭为主要能源的中国, 由于人们注意到煤炭在应对石油日益短缺与价格飞涨、保障国家能源安全战略中的重大意义; 高度关注煤炭利用, 尤其是煤的直接燃烧对环境与生态系统的巨大危害, 有力推进了煤化学的理论与应用研究。部分研究热点与成果列举如下:

关于煤的生成, 提出中国煤的叠加变质作用具有普遍意义, 构成了中国煤多阶段演化、多热源叠加变质作用的特点, 使中国赋存着煤种齐全, 能适应各种用途的煤炭, 并解释了中国煤炭高煤阶终点高于世界一般煤炭变质序列的原因。

关于煤结构的研究, 重新探索煤结构化学理论体系, 提出了煤超分子结构、分子煤化学等新概念及其研究方法。开展了用分子模拟、计算机模拟、量子化学计算等新方法研究煤大分子结构演化、结构与反应性、非共价键相互作用、煤的缩合结构、煤嵌布结构模型、煤中小分子的微孔嵌入特征与溶出特性、煤结构演化煤化度指标等问题。

在煤的转化方面, 针对煤炭本身就是一种复杂混合物, 单一的煤转化与利用过程难以达到最高的效率这一事实, 提出大规模、基地化、煤基多联产技术路线。基于煤分子结构特殊性,