

国家专业技术人才知识更新工程 (“653工程”)
煤炭行业煤炭洁净利用及矿区环保领域培训教材 (第3册)

新型煤化工技术

领域主编：赵跃民 刘炯天 杜铭华

本册主编：金嘉璐 俞珠峰 王永刚

XINXING MEI HUAGONG JISHU

国家“十一五”重大人才培养工程

国家人事部直接组织领导

中国煤炭工业协会全面负责实施

国家人事部统一颁发培训证书

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)

煤炭行业煤炭洁净利用及矿区环保领域培训教材

新型煤化工技术

领域主编：赵跃民 刘炯天 杜铭华

本册主编：金嘉璐 俞珠峰 王永刚

中国矿业大学出版社

国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”) 煤炭行业培训教材编审委员会

顾 问：王显政 濮洪九

主 任：路德信

副主任：姜智敏 孙之鹏 胡省三

钱鸣高 宋振骥 张铁岗

葛世荣 乔建永

委 员：(以姓氏笔画为序)

马念杰 王金力 王金华

王虹桥 卢鉴章 叶醒狮

刘 峰 刘文生 刘炯天

孙继平 陈 奇 杜铭华

宋学锋 宋秋爽 张玉卓

张贤友 周 英 周心权

赵阳升 赵跃民 赵衡山

钟亚平 段绪华 都基安

袁 亮 徐水师 黄福昌

常心坦 彭苏萍 遇华仁

缪协兴 濮 津

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)
煤炭行业煤炭洁净利用及矿区环保领域
培训教材编审委员会

顾 问：路德信
主 任：孙之鹏 赵跃民 刘炯天 杜铭华
委 员：(以姓氏笔画为序)
 王 宏 王永刚 王虹桥 任瑞晨
 刘 峰 李明辉 沈丽娟 金嘉璐
 周少雷 徐志强 高 亮 韩宝平

《新型煤化工技术》

编写人员

领域主编：赵跃民 刘炯天 杜铭华

本册主编：金嘉璐 俞珠峰 王永刚

本册编者：（以姓氏笔画为序）

王永刚 李俊诚 步学朋

金嘉璐 张翠清 俞珠峰

唐庆杰

序

加快人才培养,是建设创新型国家、强国兴业的重要举措。《中共中央、国务院关于进一步加强对人才工作的决定》为加强专业技术人才队伍建设指明了方向,明确了工作重点和政策措施。人事部决定“十一五”期间,在关系我国经济社会发展和科技创新的一些重要行业领域实施专业技术人才知识更新工程(即“653工程”),开展大规模示范性继续教育活动,加快建立健全我国继续教育的工作体系、制度体系和服务体系,大力推动专业技术人才培养工作的深入开展。“653工程”已被列入国家“十一五”发展规划,是国家实施专业技术队伍建设的一项重大人才培养工程。煤炭行业“653工程”是国家“653工程”的重要组成部分,是煤炭行业专业技术人才继续教育工作的示范工程,该工程的全面启动必将有力带动和促进煤炭工业人才培养工作的进程。

煤炭工业是我国的基础产业。发展振兴煤炭工业,人才队伍建设是关键。实施大基地、大集团战略,推进节约发展、清洁发展、安全发展,实现可持续发展,必须以强有力的专业技术队伍作保证。当前,煤炭工业已进入新的历史发展机遇期,但同时又面临着煤炭主体专业人才匮乏、知识更新滞后的严峻挑战。推进实施“653工程”旨在拓展煤矿专业人才培养的广阔空间。根据《煤炭行业专业技术人才知识更新工程(“653工程”)实施办法》,“十一五”期间每年将为110家国有大型煤炭企业培训1万名左右的高级专业技术人才,为5000多家规模以上煤炭企业培训3万名左右的中高级专业技术人才,五年全国煤炭行业将培训20万名左右。国家人事部委托中国煤炭工业协会全面负责煤炭行业“653工程”的组织实施工作,实行统一组织、统一规划、统一教学大纲、统一发证和归口管理、分级实施、

分类指导,创造性地推进“科教兴煤”战略,全面提升煤炭行业专业技术人才队伍素质,从而为煤炭工业的全面、协调和可持续发展提供强大的人才保障和智力支持。

为适应煤炭行业实施“653 工程”的需要,我们组织全国有关专家学者编写了《国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”)煤炭行业培训教材》,这一教材具有以下三个突出特点:

第一,突出重点专业领域,培训内容丰富。煤炭行业“653 工程”专家指导委员会根据煤矿实际需要,立足当前、着眼长远,选定的煤矿专业领域和培训内容都是煤炭行业和企业所必需的。包括采煤工程、煤矿安全、煤矿机电、煤田地质与测绘、煤炭洁净利用及矿区环保这五个重点专业领域,以及高效高回收率采煤方法与技术等 34 个专业培训方向,全面反映煤炭工业的科技发展趋势。培训教材突出新理论、新知识、新装备、新技术、新方法、新工艺、新材料、新标准、新法规、新政策和新问题等内容,涵盖煤炭行业专业技术人才知识更新的重点,具有很强的针对性。

第二,体现学术权威,保证培训质量。顺利、高效地实施“653 工程”,搞好专业技术人才培养,教材编写质量和所体现的学术水平必须得到切实的保证。为此,实行了首席专家负责制,从全国煤炭行业的高等院校、科研院所和煤炭企业推选出一百余名在各自学术研究领域颇有建树和创新的业内知名专家,领衔编写这套培训教材,集中了院校、科研机构和企业多年来理论与实践的丰硕成果,包含了专业基础知识、理论系统讲解,也集锦了一些极具参考价值的典型应用案例。这是建国以来我国煤炭行业在专业技术人才继续教育方面一次规模最大、最为全面的新知识展示,是提高全行业专业技术人员技术水平的一批好教材。

第三,培训方向明确,教材实用性强。根据不同的专业培训对象,立足矿山,站在世界煤炭工业科技发展前沿,针对我国“十一五”煤炭科技发展的需求,广泛吸纳新知识、新技术和新信息,坚持理论与实践相结合、理论知识与案例分析相结合,把专业技术知识内容进

行科学分解,编写成34个分册,既系统成书又独立成册,便于不同领域内的工程技术人员各取所学、研读提高。因此,本套教材既是优秀的培训教科书,也是一套煤炭专业技术人员实际工作中必备的工具书。

我衷心希望这套凝聚着煤炭行业专家学者智慧与心血的教材,能够在实际教学培训中发挥应有的重要作用;同时也希望广大基层专业技术人员通过认真学习、刻苦钻研,不断提高理论水平和应用能力,为加快建设新型、现代化煤炭工业做出积极的贡献。

王显政

二〇〇七年八月

前 言

中国煤炭资源丰富,煤炭是我国的主要化石能源,也是许多重要化工品的主要原料。随着社会经济持续、高速发展,近年来中国对能源、化工品的需求也出现较高的增长速度,煤化工在中国能源、化工领域中已占有重要地位。

预计未来几年国际原油价格仍将维持高位,直接提升了煤化工产业发展景气度,煤化工行业在中国面临着巨大的市场需求和发展机遇。新型煤化工以煤炭为基本原料,经过气化、合成、直接液化、间接液化、热解等技术途径,生产洁净能源和可替代石油化工的产品,如柴油、汽油、航空煤油、液化石油气、聚乙烯、聚丙烯、甲醇、二甲醚等。煤化工将与能源、化工技术结合,形成煤炭—能源化工一体化的新兴产业。今后 20 年,煤炭能源化工产业将是中国能源可持续利用的重要发展方向,对于保障我国能源安全、减轻燃煤造成的环境污染均有重大意义。

本书是根据国家专业技术人才知识更新工程(“653”工程)要求编写的煤炭洁净利用及矿区环保领域培训教材之一,由本领域专家组总结近年来煤化工行业技术发展趋势组织编写的,体现面向技术人才知识更新的培训特点,内容力求突出新技术且涉及面宽,比较适合具有一定煤化工技术基础的专业人员学习和参考。

本书第一章、第二章、第五章至第七章由煤炭科学研究总院俞珠峰(主编)、神华煤制油化工研究院杜铭华(领域主编)、张翠清、步学朋编写,第三章由神华煤制油化工研究院金嘉璐(主编)、李俊诚编写,第四章由中国矿业大学(北京)王永刚(主编)、唐庆杰编写。本教材中的基础知识部分参考了陈鹏、寇公、郭树才等资深专家的论著,并得到其中一些专家的指点,还得到中国煤炭工业协会、中国矿业大

学出版社及相关单位领导和同行们的大力支持和帮助,在此表示深深的感谢。

由于编者水平有限,不完善之处在所难免,敬请读者和同行们批评指正。

编 者

2008年5月

目 录

序.....	1
前言.....	1
第一章 煤质与煤炭分类.....	1
第一节 煤的基本概念.....	1
第二节 煤的工业分析与元素分析.....	3
第三节 煤的工艺性质	10
第四节 煤的分类	16
第二章 煤气化技术	30
第一节 煤气化的定义与分类	30
第二节 煤气化的反应与特点	31
第三节 煤气化工艺	34
第四节 煤气化应用前景	85
第三章 煤制油技术	87
第一节 煤制油技术的概念和分类	87
第二节 煤直接液化技术	88
第三节 煤间接液化技术.....	126
第四章 煤制甲醇技术.....	161
第一节 概 述.....	161

第二节	合成甲醇的原理及工艺流程·····	169
第三节	催化剂及反应条件·····	177
第四节	合成甲醇的反应器·····	183
第五节	低温液相合成甲醇·····	186
第六节	甲醇的应用前景·····	189
第五章	煤制二甲醚和烯烃技术·····	194
第一节	利用煤炭资源发展洁净燃料二甲醚·····	194
第二节	煤制二甲醚的化学原理及合成工艺·····	201
第三节	煤经甲醇转化为烃类的化学原理·····	205
第四节	甲醇转化为烃类的工艺条件·····	208
第五节	煤经甲醇制烯烃技术·····	210
第六章	煤气化多联产技术·····	217
第一节	煤气化多联产的基本概念·····	217
第二节	煤气化多联产的发展现状·····	220
第三节	我国煤气化多联产发展趋势·····	238
第四节	发展多联产技术的政策和措施建议·····	251
第七章	现代炼焦技术·····	254
第一节	炼焦煤和配煤·····	254
第二节	煤的成焦·····	256
第三节	煤的低温干馏·····	269
第四节	现代焦炉·····	280
第五节	炼焦新技术·····	284
第六节	炼焦化学产品的回收与精制·····	297
参考文献 ·····		342

第一章 煤质与煤炭分类

第一节 煤的基本概念

煤炭是由数百万年以前的树木及植被埋藏在地下经过漫长复杂的生物化学、地球化学和物理化学作用转化而成的一种黑色固体可燃化石能源。18 世纪末蒸汽机的发明和使用,使煤炭成为动力能源,世界进入煤炭时代。煤炭不仅是工农业和人民生活不可缺少的主要燃料,而且还是冶金、化工、医药等部门的重要原料。

煤炭是世界上最重要、最丰富的矿产资源,根据国际能源专家估计,截至 2005 年世界煤炭的探明储量达 9 090 亿 t 标准煤^①。在未来相当长的时期内,煤炭在我国国民经济中都将占有相当重要的地位。

一、煤的生成

煤炭是古代的有机物(主要是植物)的遗体,经过生物及化学的变质作用而形成的一种沉积矿物。成煤必须具备四个先决条件:① 植物条件;② 气候条件;③ 地理条件;④ 地壳运动条件。

煤炭的形成进程大体可分为两个阶段,可以用图 1-1 表示。

第一阶段,泥炭化阶段,即由植物转变成泥炭阶段。褐色泥炭是煤炭形成的早期阶段,它比一般的煤炭软,埋藏深度较浅。当植物枯死之后,堆积在充满水的沼泽中,开始是水存在的氧气不足,后来在水面下隔绝空气,并在细菌的作用下,植物的各部分不断分解、相互作用,最后植物的遗体变成了褐色或黑褐色的淤泥物质,这就是泥炭,这个过程叫做泥炭化作用。这个阶段需要漫长的地质历史时期,

^① 数据来源:BP2006。

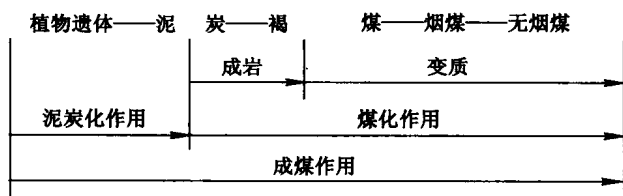


图 1-1 煤炭的形成进程

需要进行千百万年。

泥炭中有大量的植物未分解部分,如根、茎、叶等残留物,有时用肉眼就可以看出,因此泥炭中的碳水化合物含量很高。此外,泥炭中还有一种高分子胶体——腐殖酸,它可以用作肥料。泥炭可以用作锅炉和煤气发生炉的燃料,也可以进行低温干馏制取人造液体燃料和多重化工原料。

第二阶段,由泥炭转变成褐煤,褐煤转变成烟煤,烟煤再转变成无烟煤阶段,它包括两个连续的过程,即成岩作用和变质作用。当泥炭层形成后,有水经常冲刷大陆的低洼地方,带来了大量的沙、石等沉积物,在泥炭上逐渐形成岩层(也称为顶板)。被埋在岩层下的泥炭层在压力作用下,发生了压紧、失水、胶体老化、固结等一系列变化,生物化学作用逐渐消失,同时它的化学组成也发生了缓慢的变化,逐步变成比重较大、较致密的黑褐色的褐煤,这就是成岩作用。当岩层逐渐加厚,岩层静压力、温度也逐渐升高后,煤的内部分子结构、物理化学性质发生重大变化——腐殖酸消失、出现黏结性、光泽增强等,这样褐煤逐渐变成了烟煤、无烟煤,逐渐由成岩作用变成了变质作用。如果有更高的温度,无烟煤最终可能变成石墨。

不同煤田、不同煤层的煤质千差万别是由于不同的成煤物质和成煤条件引起的,也导致不同煤化程度煤的形成。通常将烟煤划分为六个阶段,即长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤和贫煤阶段。无烟煤的煤化程度最高。

二、煤的组成

煤的化学组成很复杂,但归纳起来可分为有机质和无机质两大

类,以有机质为主体。

煤中的有机质主要由碳、氢、氧、氮和有机硫等五种元素组成。其中,碳、氢、氧占有机质的95%以上。此外,还有极少量的磷和其他元素。煤中有机质的元素组成,随煤化程度的变化而有规律地变化。一般来讲,煤化程度越深,碳的含量越高,氢和氧的含量越低,氮的含量也稍有降低,唯硫的含量与煤的成因类型有关。碳和氢是煤炭燃烧过程中产生热量的重要元素,氧是助燃元素,三者构成了有机质的主体。煤炭燃烧时,氮不产生热量,常以游离状态析出,但在高温条件下,一部分氮转变成氨及其他含氮化合物,可以回收制造硫酸氨、尿素及氮肥。硫、磷、氟、氯、砷等是煤中的有害元素。含硫多的煤在燃烧时生成硫化物气体,不仅腐蚀金属设备,与空气中的水反应形成酸雨而污染环境、危害植物生产,而且将含有硫和磷的煤用作冶金炼焦时,煤中的硫和磷大部分转入焦炭中,冶炼时又转入钢铁中,严重影响焦炭和钢铁质量,不利于钢铁的铸造和机械加工。用含有氟和氯的煤燃烧或炼焦时,各种管道和炉壁会遭到强烈腐蚀。将含有砷的煤用于酿造或食品工业作燃料,若砷含量过高,会增加产品毒性,危及人们身体健康。

煤中的无机质主要是水分和矿物质,它们的存在降低了煤的质量和利用价值,其中绝大多数是煤中的有害成分。

另外,还有一些稀有、分散和放射性元素,例如,锗、镓、铟、钽、钒、钛、铀等,它们分别以有机或无机化合物的形态存在于煤中。其中某些元素的含量一旦达到工业品位或可综合利用时,就是重要的矿产资源。

第二节 煤的工业分析与元素分析

一、煤质分析常用的符号和基本术语

煤质分析化验项目名称的符号,以国际上广泛采用的符号表示,属于化学元素分析项目的采用化学元素符号表示。见表1-1。

表 1-1 煤质分析化验项目名称的符号表示

项目	水分	灰分	挥发分	硫分	发热量	罗加指数	黏结指数	胶质指数	碳	氢	氧	氮
符号表示	M	A	V	S	Q	RI	G	Y	C	H	O	N

煤质分析化验指标存在形态或操作条件的符号表示,用英文字母标在表示该分析化验制表符号的右下角。见表 1-2。

表 1-2 煤质分析化验指标存在形态或操作条件的符号表示

指标	全水分	内在水分	外在水分	全硫分	有机硫	硫铁盐硫	硫酸盐硫	弹筒发热量	高位发热量	低位发热量
符号表示	M_t	M_{inh}	M_l	S_t	S_o	S_p	S_s	Q_b	Q_{gr}	Q_{net}

煤质分析化验指标不同基准的符号表示,也用英文字母标在表示该分析化验制表符号的右下角。见表 1-3。

表 1-3 煤质分析化验指标不同基准的符号表示

指标	分析基 (空气干燥基)	干燥基 (无水基)	收到基	干燥 无灰基	有机基 (干燥无矿物质基)
符号表示	ad	d	ar	daf	dmmf

如果某分析化验指标既要表明其存在形态或操作条件,又要标明其基准,其符号表示方法是:在该分析化验制表符号右下角先标明其形态或条件,后标明其基准,中间用“,”断开。

符号表示举例见表 1-4。

表 1-4 煤质分析化验指标不同形态或操作条件及基准的符号表示

指标	分析基水分	收到基水分	分析基高位发热量	收到基高位发热量	收到基低位发热量
符号表示	M_{ad}	M_{ar}	$Q_{gr,ad}$	$Q_{gr,ar}$	$Q_{net,ar}$

二、煤质分析基准及基换算

1. 煤质分析基准的概念

煤质分析的基准表示化验结果是以什么状态的煤为基准,常用的“基”有:

分析基(ad):进行煤质分析化验时,煤样所处的状态为空气干燥状态。

干燥基(d):进行煤质分析化验时,煤样所处的状态为无水分状态。

收到基(ar):进行煤质分析化验时,煤样所处的状态为收到该批煤所处的状态。

干燥无灰基(daf):煤样的这种状态在实际中是不存在的,是在煤质分析化验中根据需要换算出的无水、无灰状态。

干燥无矿物质基(dmmf):煤样的这种状态在实际中也是不存在的,也是在煤质分析化验中换算出的无水、无矿质状态。

恒湿无灰基(maf):煤样的这种状态也是换算出来的。恒湿的含义是指温度在 30℃、相对湿度为 96% 时测得煤样的水分(或叫最高内在水分)。

2. 煤质分析化验基准间的换算

煤质分析化验中,有些基准,如干燥无灰基(daf),在实际中是不存在的,是根据需要换算出来的;有些基准在实际中存在,但为了方便,有时不进行测试,而是根据已知基准的分析化验结果进行换算。各种基准间的换算公式见表 1-5。

表 1-5 煤质分析化验计算指标不同基准的换算

要求基 (已知基)	分析基 ad	收到基 ar	干燥基 d	干燥无灰基 daf	干燥无矿物质基 dmmf
分析基 ad		$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ad} + A_{ad})}$	$\frac{100}{100 - (M_{ad} + MM_{ad})}$
收到基 ar	$\frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}}$		$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ar} + A_{ar})}$	$\frac{100}{100 - (M_{ar} + MM_{ar})}$