

MEI HUA GONG JI SHU
LI LUN YU SHI JIAN

煤化工技术

理论与实践

徐振刚 曲思建 主编

中国石化出版社

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

煤化工技术

理论与实践

主编：王小明 副主编：李小红

中国石化出版社

煤化工技术理论与实践

徐振刚 曲思建 主编

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

煤化工技术理论与实践 / 徐振刚, 曲思建主编.

—北京: 中国石化出版社, 2009. 11

ISBN 978 - 7 - 5114 - 0152 - 6

I. ①煤… II. ①徐… ②曲… III. ①煤化工 - 研究

IV. ①TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 199827 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭,
或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

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

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 23.5 印张 592 千字

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

定价: 58.00 元

前 言

随着我国社会经济持续、高速发展,能源供需矛盾日益突出,发展煤化工技术是多元化解国内石油、天然气资源不足的重要途径之一,对发挥煤炭资源优势,优化终端能源结构,推进国民经济的健康和可持续发展具有重要意义。

值此2009年全国煤转化——煤基多联产技术经济及产业化论坛期间,“中国煤炭学会第六届煤化工专业委员会换届大会”及“中国煤炭加工利用协会煤转化分会年会”同时召开。为更好地服务于社会,集中展示各位委员及所在单位在煤化工技术开发、理论研究及技术示范等方面的成果和进展,“两会”秘书处开展了论文征集活动。论文征集期间,“两会”委员及其所在单位相关人员热情参与,踊跃投稿,对论文征集工作给予了大力支持。所征集到的大量论文经以煤炭科学研究总院原北京煤化学研究所所长戴和武教授为首的专家委员会认真评审和辛勤修改,将其中56篇精选的优秀论文编辑成册,构成了本书的主要内容。

本书共分三大部分:煤化工技术基础;煤化工技术应用;煤化工发展现状、节能与减排。书中着重介绍了煤化工技术相关理论与发展的最新动向、技术研发成果及工业示范进展等,内容涵盖了煤炭液化技术与示范(包括直接液化、间接液化)、煤炭气化、煤气净化技术、煤化工多联产技术系统、水煤浆技术、煤的中低温热解与焦化技术、煤炭洁净燃烧与烟气净化技术、煤制甲醇、二甲醚及煤转烯烃技术、节能减排与其他洁净煤技术等。

本书将为能源类生产和使用企业及煤化工相关技术人员了解最新煤化工理论与实践的动态、技术发展、示范进展情况提供重要参考和技术指导,为推动我国煤炭转化、有效利用、节能减排及煤化工技术的研发和技术创新,促进相关煤化工技术的工业应用起到积极的作用,具有重要的学术理论价值与实际意义。本书可作为能源、资源类生产与使用企业、科研设计院所及相关高校的参考书。

本书的正式出版,离不开各位委员及所在单位的大力支持,更凝聚着戴和武教授等评审专家、本学会、协会工作人员,以及中国石化出版社工作人员的辛勤劳动,在此一并致以诚挚的谢意!

因论文征集及编辑出版时间仓促,书中不免遗漏或错误之处,敬希论文作者及读者见谅并指正。

中国煤炭学会煤化工专业委员会
中国煤炭加工利用协会煤转化分会
2009年11月

目 录

第一篇 煤化工技术基础

煤岩学在煤分类中的作用及其发展趋势	白向飞(3)
适宜煤炭降解的微生物探讨	肖文钊 张彩荣等(8)
中国动力煤与民用煤利用中 Hg 含量限值探讨	丁 华 连进京等(16)
褐煤热风对流干燥过程分析	邵 徇(22)
煤及其显微组分气化过程影响因素综述	丁 华 边 文等(27)
气化剂对流化床煤气化过程效率的影响	邵明亚 侯学成等(33)
H ₂ 对煤焦 - 水蒸气气化反应抑制作用的实验研究	黄志民 张建胜等(41)
配煤和助熔剂共降煤灰熔融特征温度的研究	宋 磊 杜开欢等(47)
热解过程中煤镜质体平均最大反射率的变化规律研究	张宇宏 丁 华等(53)
进口炼焦煤基本特征及其与中国煤的配伍性研究	曲思建 商铁成等(58)
入炉煤堆积密度对焦炭性能影响的研究	史世庄 郭玉堡等(65)
配煤结构对焦炭热性质的影响	宋旗跃 王大力等(72)
黄陵气煤的性能及其在炼焦中应用的基础研究	郭玉保 梁尚国等(77)
甲烷部分氧化与煤热解耦合过程研究	刘佳禾 靳立军等(88)
快速低温热解煤焦油的分离与表征	李德飞 孙西巍等(93)
神东煤加氢改质做炼焦煤初步探讨	黄 澎 王东升等(98)
反扩散火焰高度的实验研究	仇晓龙 张 海等(105)
煤粉工业锅炉炉内流场及燃烧过程的数值模拟研究	冀 飞 王乃继等(111)

第二篇 煤化工技术应用

煤气化技术选择依据	王 锦 贺根良等(119)
各类型煤气化炉的特点与适应性	霍锡臣(126)
褐煤水煤浆气流床气化相关问题分析	王 巍 李红兵等(133)
低阶煤制高浓度水煤浆技术研究及应用	何国锋 段清兵等(139)
美国对褐煤用于固定床加压熔渣气化的研究	忻仕河 徐振刚(143)
加压灰熔聚流化床粉煤气化技术研发及工业装置运行情况	房倚天 黄戒介等(151)
多元料浆气化技术在石油炼制行业中的应用分析	罗进成 贺根良等(161)
煤的焦化与多元料浆气化的优化集成制取合成甲醇原料气	刘国平 门长贵等(168)
兖矿国泰化工有限公司年产 24 万 t 甲醇、75.2MW 发电工程设计工作总结	于 勇(174)
新联醇工艺和 JJD 低压联醇塔	谢定中(193)
山西潞安煤间接液化产业化示范项目简介及对 煤间接液化产业化的思考	王志杰(199)
反应条件对 F - T 合成产品分布的影响研究	肖翠微 王乃继等(205)

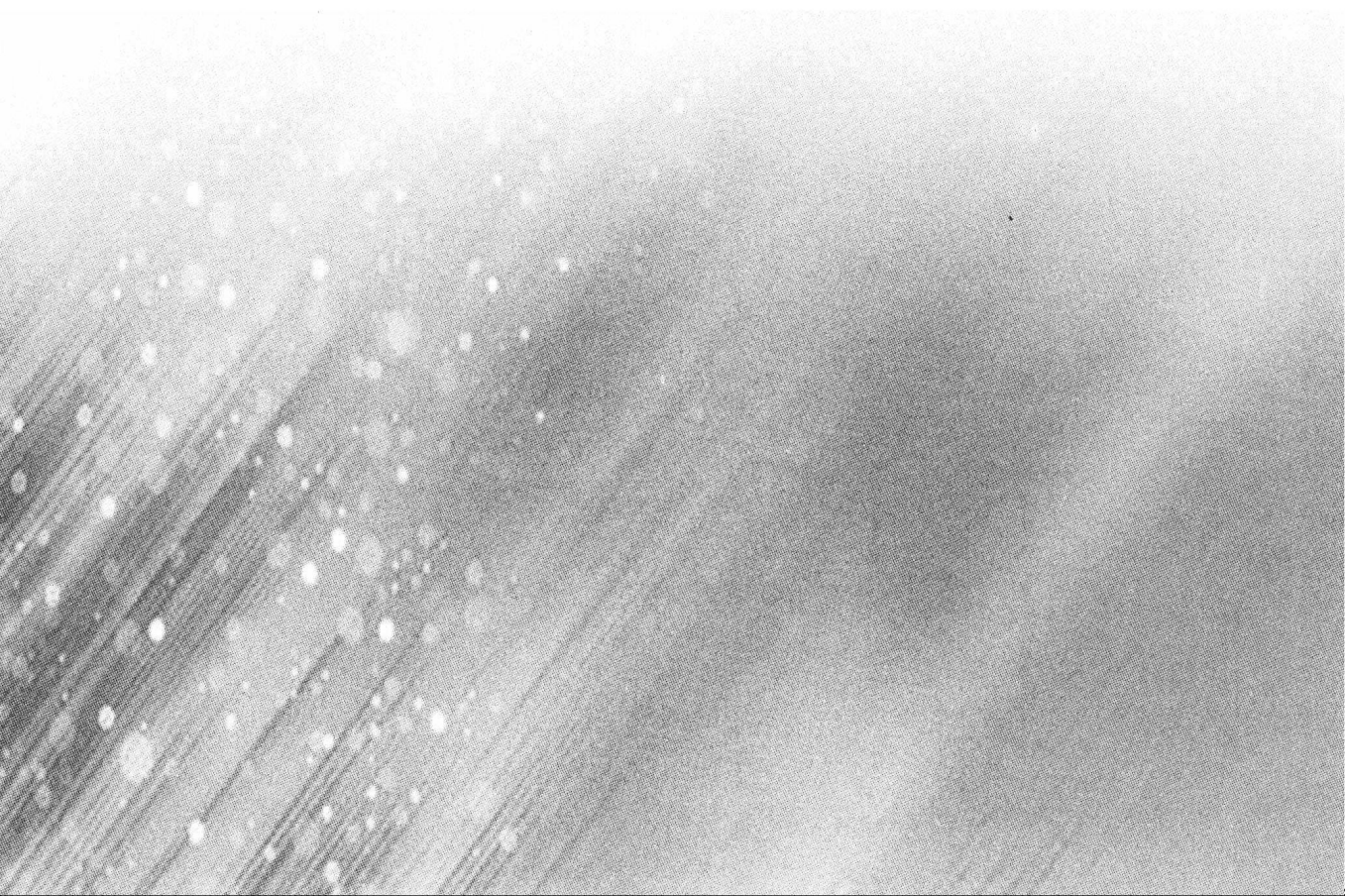
煤炭直接液化相平衡中热力学模型的选择与使用	毛学锋	高振楠等(212)
胜利煤粒度分布对油煤浆黏度的影响	陈 伟	王永刚等(218)
神华煤液化油窄馏分假临界温度性质的研究	朱肖曼	王 伟等(225)
气升式环流反应器气含率分布理论分析	刘 敏	史士东等(230)
不同供氢溶剂对煤与生物质共液化影响研究	邓庆德	王永刚等(236)
煤液化油碱法提酚工艺过程研究——(I) 馏分油碱洗过程	高振楠	毛学锋等(241)
煤液化油碱法提酚工艺过程研究 ——(II) CO ₂ (g) 酸解混合酚钠过程	李文博	高振楠等(246)
煤直接加氢液化残渣特点及其利用途径	孙西巍	张德祥等(251)
我国热解半焦(兰炭)生产技术与产品应用的 现状与发展	裴贤丰	曲思建等(257)
中低温煤焦油酚类物提取的研究	孙会青	曲思建等(264)
6. 25m 超大型捣固焦炉	于振东	张长青(269)
配煤炼焦添加石油焦对焦炭质量的影响研究	商铁成	曲思建等(274)
特炭用高品质沥青焦的小试研究	张秀云	单长春等(281)
精苯废酸回收利用研究	李其祥	毛 磊等(287)

第三篇 煤化工发展现状、节能与减排

洁净煤技术贡献量化分析模型研究	任世华	(297)
洁净煤技术在我国石化领域中的应用及其发展	亢万忠	(305)
落实科学发展观, 促进中国炼焦行业和谐发展	杨文彪	(310)
碳捕获技术的现状及发展前景	陈亚飞	武琳琳(318)
我国煤系针状焦研究及生产状况	赵雪飞	高丽娟等(322)
分布式煤粉燃烧及煤粉工业锅炉	张 鑫	王乃继等(328)
褐煤中含氧官能团的分析及其脱除的研究进展	赵 鹏	张晓静等(334)
瓦斯水合物新技术应用研究	吴 强	张保勇(339)
不同类型焦化废水对浮选效果的影响研究	宋旗跃	董宪姝(346)
分布式活性半焦脱硫技术	罗 伟	王乃继等(351)
铁铜系脱硫剂的制备条件对合成气中羰基硫脱除的影响	程伯武	张德祥等(357)
活性焦脱汞与吸附等温线研究	熊银伍	梁大明等(363)

第一篇

煤化工技术基础



煤岩学在煤分类中的作用及其发展趋势

白向飞

(煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院)

摘 要 本文分析了目前中国和国际上主要产煤国家煤分类系统中煤岩学参数的应用情况,指出缺乏明确的煤岩学参数,是造成 GB5751—1986《中国煤炭分类》操作性变差,难以鉴别混煤的主要原因。通过分析煤岩学在煤科学—成因分类、技术分类和商业编码中的应用现状,提出了在目前条件下煤岩学参数用作煤分类指标存在的技术问题。煤岩学用于煤分类,最重要的不是引入一两个分类参数,而是保证分类的科学性。作者提出了今后不同煤分类体系中应采用的煤岩学指标,以及煤岩学用于煤分类应重点解决的基础理论问题。

关键词 煤岩学 煤分类

煤炭的科学研究、合理利用都离不开煤的分类。由于分类的目的不同,对煤的自然属性和工艺性质关注程度不同,煤分类一般有实用分类和科学—成因分类两大类,二者所采用的分类指标和服务的对象不尽相同。煤化程度和工艺性质指标是各种煤分类方案中最常用的分类参数。

煤岩学是结合岩石学方法来研究煤成因、性质和利用的学科,其本身首先面对的问题就是对煤组成的分类,这种分类考虑了煤的植物学属性和岩石学属性,要求划分为同一组的显微组分具有相近的来源和变化经历,并具有相似的光学性质、显微结构和工艺性质。同时,镜质体反射率被公认是表征煤化程度的最好指标。从这两方面看,煤岩学是煤分类学,特别是煤科学—成因分类的良好工具。

本文通过分析目前中国和国际上主要产煤国家煤分类体系,初步探讨煤岩学在煤分类中的作用、存在的问题及其发展趋势。

1 中国煤炭分类体系及煤岩学应用

在中国,目前有三个煤分类方案在同时执行,分别是 GB 5751《中国煤炭分类》、GB/T 16772《中国煤炭编码系统》和 GB/T 17607《中国煤层煤分类》,就其分类体系而言,这三个分类分别属于技术分类、商业编码和科学—成因分类^[1]。

1. 煤岩学对《中国煤炭分类》的影响

《中国煤炭分类》同时适用于煤层煤和商品煤,是一个兼具资源评价和商业应用目的的技术分类方案,也是目前中国应用最广泛的煤分类方案,其出发点是指导煤的工业利用,特别是针对炼焦用煤,所采用的分类指标主要是煤化程度和工艺性质^[2]。

镜质体反射率和挥发分都是表征煤化程度的良好指标,但对于煤的工业应用来说,挥发分还可表征煤整体的平均工艺性质,加之镜质体反射率测试比挥发分测试技术要求高,设备普及程度低,且分类方案制定当时混煤现象很少,煤岩学指标没有应用于该分类方案中。但实际上,煤的岩相组成与煤类之间关系密切,笔者曾统计了烟煤不同煤类镜质体平均最大反射率分布^[3],李太任^[4]、陈鹏^[5]等先后从煤岩组成角度分析了同变质程度煤归属于不同煤

类的原因。

《中国煤炭分类》对于中国煤炭资源评价和煤炭勘探、开发、利用产生了深远影响，并在煤的供销、定价等方面起到了积极作用。但是近年来，由于优质煤炭资源，特别是焦煤、瘦煤等日渐短缺，配煤入洗、配煤销售的现象很普遍，GB5751—1986 分类方案中没有煤岩学指标的缺陷日渐显露，可操作性变差。因此，在生产实践中，煤岩参数已成为煤类判别必不可少的指标。没有镜质体反射率分布图作指导，煤类判别几乎无从谈起。

2. 《中国煤炭编码系统》中煤岩学指标应用

《中国煤炭编码系统》^[6]所针对的主要是商品煤质量表征问题，其制定的背景是煤炭产销双方对煤类、煤质的争议难以完全用《中国煤炭分类》的规定来解决。该标准所采用的参数较多，主要是能对煤的贸易价格起作用的参数，如灰分、硫分、发热量、全水分等，其积极作用在于引导煤炭供需双方按质论价。该标准引入镜质体平均随机反射率作为煤岩参数，但没有将镜质体反射率分布图作为编码参数，不具备对混煤的鉴别能力，在一定程度上影响了煤炭产品编码的实际应用。

3. 《中国煤层煤分类》中煤岩学指标应用

《中国煤层煤分类》将煤视为一种有机沉积岩，以煤阶、显微组分组成和品位为参数对煤层煤进行分类，属于科学—成因分类，可用于根据煤的基本属性对不同地区煤炭资源进行对比^[7-8]。其所采用的分类指标主要是煤岩学参数，用镜质体平均随机反射率表征煤阶，可以排除显微组分的干扰，比用挥发分指标能得出更客观的结果。以无矿物质基镜质组含量作为组成参数，对大部分煤（如石炭—二叠纪煤）来说是比较合理的，但对于中国西部储量丰富的低变质、高惰质组煤，必须深入研究惰质组，特别是低反射率惰质组的化学工艺性质，才能使该标准用于煤炭资源对比时更具客观性。

总的来说，《中国煤炭编码系统》和《中国煤层煤分类》都将煤岩参数作为重要的分类指标，但仍需不断完善。而在《中国煤炭分类》中，虽然没有直接引入煤岩参数，但在目前条件下，煤岩学参数已经成为煤类划分和判别的首要指标，决定了分类结果有无实际意义。新修订的《中国煤炭分类》(GB/T 5751)中，已明确规定混煤不进行煤类核定。

2 世界其他主要产煤国家煤炭分类中煤岩学应用现状

世界上各主要产煤国家，包括美国、澳大利亚、前苏联、英国、波兰、德国、法国、荷兰、意大利等，都先后制定了与本国煤炭资源特性相适应的煤炭分类方案。

美国材料试验协会 (ASTM) 的煤炭分类系统是一个以煤阶为基础，针对单种煤的以商业用途为主要目的的分类，广泛应用于美国、加拿大等多个国家。起初该分类方案没有采用煤岩参数，一般认为其不适用于壳质组和惰质组含量较高的煤^[1]。1996 年修订后的美国煤炭分类，增加了表征煤阶的挥发分产率 (V_{dmmf}) 与镜质体平均最大反射率 (R_{max}) 相互关系的附录。

澳大利亚煤炭分类编码 (AS2096) 颁布于 1987 年。该方案与世界上其他煤分类方案显著差异之处在于引入镜质体最大反射率作为分类指标。

前苏联的煤分类方案 (1986 年) 采用成因—工业分类法，综合考虑煤的成因和工艺性质对煤炭进行详细的分类，并将煤类 (牌号、组、亚组) 和编码结合起来。该方案中采用镜质体平均随机反射率和惰性组分含量作为重要的分类指标来划分煤类。尽管该方案由于苏联解体而未能实行，但其出台与当时国际上对煤岩学在煤质表征中的应用价值开始日益重视的背

景密切相关。

其他主要产煤国家中,英国煤炭分类颁布于1946年,波兰于1954年制定了全国统一的煤分类标准,德国于1976年发布了煤分类国家标准。这几个国家煤分类标准都没有采用煤岩学参数,其中,英国煤炭分类被认为只适用于富镜质组煤,对岩相组成不均一的煤并不适合^[1]。

从世界各主要产煤国家煤炭分类方案中煤岩学参数的应用来看,20世纪80年代以来制定或修订的煤炭分类标准中,煤岩学参数明显比之前更受重视。煤岩学参数在世界主要产煤国家煤炭分类中的应用日趋普及。

3 国际煤分类体系及煤岩学应用

国际上目前的煤分类方案主要有:联合国欧洲经济委员会(ECE-UN)制定的《硬煤国际分类》(1956)和《褐煤国际分类》(1959),以及《中、高煤阶煤国际编码系统》(1988)和《国际煤层煤分类》(1992),后两个分类方案中采用了煤岩学参数。在《中、高煤阶煤国际编码系统》所采用的8个参数中,有3个是煤岩参数,分别是镜质体平均随机反射率($R_{\text{ran}}^{\circ},\%$)、镜质体反射率分布特征和显微组分指数^[1]。其中,采用镜质体反射率分布图来区分单种煤与混煤是目前国际上其他煤炭分类体系中所没有的。中国国家标准GB/T 15591—1995《商品煤反射率分布图的判别方法》参照采用该编码系统。该方案对反射率分布图的解读和规定有些“生硬”,有些情况下容易引起争议。采用惰质组含量作为显微组分指数,被认为不适用于南半球的冈瓦纳煤^[1]。该分类对于中国西部低变质、高惰质组煤的适应性也需进一步验证。

2005年初,国际标准化组织公布了统一的煤炭分类标准ISO 11760“Classification of coals”,该标准属于科学-成因分类体系,其分类指标和方法与《国际煤层煤分类》、《中国煤层煤分类》接近。该标准利用镜质体反射率指标明确了诸如“硬煤”、“褐煤”、“烟煤”、“无烟煤”等术语的界限,同时,分别按镜质组含量和灰分产率对不同组成、不同品位煤进行了分类^[9]。该分类方案为世界范围内不同地区煤炭资源表征提供了一个可对比的标准,不针对煤的特定用途,不具商业目的。该标准明确规定了参加分类的煤必须为煤层煤或具有相近煤阶的配煤,保证了分类的科学性。

总之,国际煤分类体系中对煤岩学指标的重视程度较高。而且,越是新近推出的标准中,煤岩学参数的应用越受重视。由于ISO 11760《国际煤炭分类》不具备商业目标,其应用价值主要体现在煤科学研究和煤炭资源评价、对比方面,在今后的煤炭国际贸易和质量评价中,起主导作用的煤分类方案还将是各国煤炭技术分类或分类编码。随着煤分类中煤岩学参数应用的日益广泛,深入研究煤岩组分成因和性质,统一相关指标的测试方法,对于客观评价煤炭产品质量,消除由于不同地区煤岩组分性质复杂性带来的分歧,有非常积极意义。

4 煤岩学参数用作煤分类指标存在的问题

目前,国际上各种煤分类方案中煤岩学参数主要用于表征煤阶和有机组成。《中国煤炭编码系统》和《中国煤层煤分类》与国际标准接轨,采用镜质体平均随机反射率来表征煤阶。其优势在于测试简便,同时易于实现自动化,但存在以下几个问题:

(1)作为煤分类参数,其测试结果精确度要比测试速度更重要。在目前技术条件下,自动测试镜质体随机反射率,其反射率分布图真实性难以保证。因此,随机反射率易于实现自动测试的优势,对于其作为煤分类参数来说难以体现。

(2)随机反射率是在自然光入射条件下测试的,但由于显微镜各光学元件偏光化的原因,难以获得真正的自然光,实际上最终入射在样品表面的大都是部分偏光,使测试结果产生误差,这种误差在高变质煤阶段会对煤分类产生较明显影响。

(3)目前利用随机反射率分布图判别单种煤和混煤的规定有些“生硬”,导致有些情况下会发生判别上的错误,影响了镜质体反射率分布在煤分类和编码中的应用价值。

镜质体最大反射率和随机反射率,特别是反射率分布图在表征煤阶和煤性质方面的差异,以及这种差异在不同煤阶时的显著程度,是今后煤岩学用于煤分类应关注的一个主要问题。作为表征煤质的指标,镜质体随机反射率测试相对容易,可以满足日常生产需要,但作为表征煤阶的分类指标,根据中国煤质和煤岩学研究资料积累,结合美国、澳大利亚等主要产煤国家煤分类现状,笔者认为,用镜质体最大反射率更科学一些。

在各种煤分类和编码方案中,无论是用镜质组含量还是用惰性组分含量表示煤有机组成,都存在显微组分性质不均匀性问题。同样的变质程度,同样的煤岩组成(显微组分组),也可能由于显微组分或亚组分含量或成因不同而使煤性质出现较明显差异。与镜质组相比,惰质组性质受变质程度影响要小,更接近于独立的成因因素,但组内各组分之间性质差异更大一些。同时,现行的煤岩组分鉴定方法,即使不考虑主观性因素,也存在煤岩组分鉴定特征更多地与其成因和植物学属性相关,而与工艺性质联系相对薄弱的问题。因此,深入研究煤岩组分的性质及其随煤阶的变化,是引入显微组分参数表示煤组成,进而对煤分类应进行的基础工作。在目前认识水平下,利用不同显微组分含量来进行煤质对比和煤分类应该避免将问题“绝对化”。

总之,煤岩学参数用于煤分类,目前尚有一些基础理论问题未得到圆满解决,这导致即使引入煤岩学参数,在有些情况下也会出现同类煤(或编码相近的煤)性质差异较明显的现象。这一方面要求我们深入研究煤岩组分性质、表征及其对煤质的影响,另一方面,要求我们对煤岩学在煤分类中的意义有深刻的认识,即煤是一种组成复杂的有机岩石,而煤岩学正是从这个角度去研究煤性质,提供了认识煤质、科学表征煤质的良好工具和思路。煤岩学首先保证了煤分类的科学意义,其次才是分类工具和参数,这是煤岩学对于煤质表征和煤分类最有价值之处。

5 煤岩学在未来煤分类体系中的应用趋势

只有科学地认识煤质,才有可能对煤进行合理的分类。煤岩学对于煤分类的科学意义在于其把煤作为一种组成、性质不均一的有机岩石来研究的学术思路。因此,虽然目前对煤岩学中某些理论问题还没有深入的认识,但对于应用煤岩学参数进行煤分类,特别是科学-成因分类,已经达成共识。

煤分类的基本原则是要保证同一类别煤性质相近,而煤岩学则从煤成因的角度出发,为煤的科学-成因分类提供了科学的依据,并通过排除混煤干扰,保证了煤技术分类的实用价值,在编码系统中,结合煤岩组成和镜质体反射率分布特征,可使我们对不同编码所代表的煤工艺性质指标有更深刻的认识。这是煤岩学用于煤分类的工程意义。

对于煤的科学-成因分类来说,煤岩学参数今后仍将会是最重要的分类指标,但要求我们对煤岩组分性质和表征进行深入研究。具体煤岩学参数的选择和应用会随着测试技术进步及对煤质认识的深入而不断发展。

而对于诸如 GB 5751《中国煤炭分类》这样的涉及面宽、影响深远的技术分类来说,对其

进行大的修订困难重重。笔者认为,即使近期内不能采用煤岩学参数作为该方案的分类指标,也应该运用煤岩学手段,明确分类的对象,从根本上杜绝混煤分类,并保证分类采用的工艺性质指标有意义。新修订中的《中国煤炭分类》(GB/T 5751)采纳了笔者的观点。

各种编码系统将是今后表征商品煤煤质的主要技术途径,而在编码中运用煤岩学参数已为大多数煤质工作者认可,问题是选择什么样的参数。笔者认为,为了能够从编码中一目了然地看出商品煤的煤类组成,除平均值外,选择镜质体反射率分布范围作为编码参数比单纯用数字表述的反射率分布图特征更有意义,该指标与镜质体反射率平均值相结合,能有效降低产生歧义的情况发生。对于组成参数,选择镜质组含量易于与国际标准 ISO 11760 接轨;但惰质组性质受变质程度影响要小,更接近于独立的成因因素,《中、高煤阶煤国际编码系统》采用惰质组含量作为显微组分指数。需要对中国煤煤岩特征进行深入研究和探讨,选择适合于中国煤的组成参数。

6 结 语

由于煤炭资源评价、工业利用和贸易等方面的需要,今后煤分类体系将长期保持科学-成因分类、技术分类和商业编码共存的局面。由于煤组成和性质的不均一性,煤岩学在煤分类中的应用,最重要的不是引入一两个参数,而是保证分类的科学性。煤岩组分成因及其性质随煤阶的变化,以及这些变化对煤工艺性质的影响,实际上是煤分类所依据的基本原理。反过来,煤分类的发展对煤岩学研究提出了更高的要求,只有深入认识煤岩组分的性质,才能遴选出与煤成因、性质密切相关的煤岩学参数,揭示影响煤性质的内在因素,制定更加科学、合理的煤分类方案。

参 考 文 献

- 1 陈鹏. 中国煤炭性质、分类和利用. 北京: 化学工业出版社, 2001
- 2 GB5751—1986, 中国煤炭分类, 北京: 标准出版社
- 3 李文华, 白向飞, 杨金和等. 烟煤镜质组平均最大反射率与煤种之间关系探讨. 煤炭学报, 2006, 31(2), 342~345
- 4 李太任. 煤的显微组分与我国新煤分类的关系探讨. 煤的研究方法及合理有效利用学术会议. 无锡: 中国煤炭学会, 1988. 11
- 5 陈鹏, 马惊生, 煤岩参数在煤分类中的应用. 第四届全国煤岩学学术讨论会论文选集. 桂林: 中国煤炭学会, 1999. 09
- 6 GB/T 16772—1997, 中国煤炭编码系统. 北京: 标准出版社
- 7 陈鹏. 中国煤层煤分类的研究. 煤炭科学技术, 1999, 27(1)
- 8 GB/T 17607—1998. 中国煤层煤分类. 北京: 标准出版社
- 9 ISO 11760, Classification of coals, the International Organization for Standardization, Switzerland, 2005

适宜煤炭降解的微生物探讨

肖文钊¹ 张彩荣¹ 樊买虎¹ 熊 英² 胡建平² 马 莉¹ 王杰玲¹

(1. 煤炭科学研究总院西安研究院; 2. 陕西省矿业生物工程研究中心)

摘 要 通过对采至不同环境下的微生物进行培养、筛选, 找到了适宜低阶煤降解的两种微生物: 来自原始森林中植物残片的曲霉族 (*Aspergilleae*) 曲霉属 (*Aspergillus* Mich. ex Fr) 烟曲霉组 (*A. fumigatus*) 以及来自造纸废水的卵形孢霉族 (*Oosporeae*) 地霉属 (*Geotrichum* Lk.)。

关键词 煤加工 微生物 降解

前 言

煤的直接利用会引起一系列的环境问题, 寻找一条简单易行、经济效益好而对环境污染小的煤炭加工利用途径已经越来越受到各方的重视。目前, 最主要的煤炭降解方法是化学法和微生物法, 微生物法对煤的降解的优点在于: 反应条件比较温和, 通常在常温常压下进行, 清洁、能耗低, 而且可从降解产物中得到高附加值的化工产品。微生物对煤降解的研究始于 20 世纪 80 年代, 美国科学家 Cohen 等^[1]发现两株担子菌 *Polyporus versicolor* 和 *Poria monticolor* 能将褐煤转化为黑色液体。

为了充分利用神府煤, 加快陕北煤化工基地建设, 减少对环境的污染, 煤炭科学研究总院西安研究院申报并完成了“神府煤微生物降解研究”陕西省自然科学基金(项目编号: 97H10)本文是该项目研究成果的一部分。

1 试验用煤样特征

本文采集了来自不同煤层的 3 个煤样: ①陕西省神木县店塔镇前梁村办煤矿采 3⁻¹煤层; ②该镇板墩焉村办煤矿采 5⁻²煤层; ③云南省小龙潭煤矿布沼坎坑褐煤。

各煤样的煤质检测结果见表 1、表 2, 煤岩检测结果见表 3。从表中可知, 3⁻¹煤和 5⁻²煤的镜质体反射率相近, 煤化程度相当, 但由于 5⁻²煤镜质组含量较低, 由此影响到其挥发分产率比 3⁻¹煤低。从表 3 中可知, A0 和 B0 煤样的镜质组含量均较低, 为探讨显微组分的降解特性, 减少由于镜质组含量差异对微生物降解产生的影响, 本文手选出其镜煤条带, 作为对比煤样(AV、BV)进行微生物降解实验, 手选后其镜质体含量分别为 80.1% 和 70.2%。

煤样的挥发分较高, 煤化程度较低, 壳质组含量较低; 除云南褐煤外, 煤样的 H/C 原子比较低(均小于 0.8), 全硫含量很低, 为特低硫煤。

表 1 煤样工业分析结果

样品号	采 样 地 点	煤层号	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$FC_{ad}/\%$	$Q_{b,ad}/\%$
A0	神木县前梁镇(原煤)	3 ⁻¹ 煤	11.34	39.36	52.42	28.41
AA	神木县前梁镇(浮煤)	3 ⁻¹ 煤	3.76	38.29	56.11	29.49
B0	神木县板墩焉村	5 ⁻² 煤	4.75	34.01	61.45	30.89
C0	云南小龙潭矿褐煤		16.02	51.41	37.51	17.76
AV	3 ⁻¹ 煤中镜煤	3 ⁻¹ 煤	2.69	40.37	56.46	29.67
BV	5 ⁻² 煤中镜煤	5 ⁻² 煤	3.35	39.50	57.12	30.13

表 2 煤样元素分析结果

样品号	采 样 地 点	煤层号	$S_{1,d}/\%$	$C_{daf}/\%$	$H_{daf}/\%$	$N_{daf}/\%$	$O_{daf}/\%$	H/C
A0	神木县前梁镇(原煤)	3 ⁻¹ 煤	0.23	80.39	5.22	1.25	12.89	0.78
AA	神木县前梁镇(浮煤)	3 ⁻¹ 煤	0.22	80.45	5.10	1.17	13.05	0.76
B0	神木县板墩焉村	5 ⁻² 煤	0.14	81.59	4.88	1.00	12.38	0.72
C0	云南小龙潭矿褐煤		1.20	66.94	4.57	1.48	25.59	0.82
AV	3 ⁻¹ 煤中镜煤	3 ⁻¹ 煤	0.29	79.89	5.21	1.37	12.18	0.78
BV	5 ⁻² 煤中镜煤	5 ⁻² 煤	0.23	81.54	5.29	1.18	11.77	0.78

表 3 煤样煤岩检测结果

样品号	采 样 地 点	煤层号	镜质体反射率 $R_{max}/\%$	显微组分含量/ $\%$			
				镜质组	惰质组	壳质组	矿物
A0	神木县前梁镇(原煤)	3 ⁻¹ 煤	0.57	60.4	34.6	1.2	3.8
AA	神木县前梁镇(浮煤)	3 ⁻¹ 煤	0.57	62.1	34.2	1.3	2.4
B0	神木县板墩焉村	5 ⁻² 煤	0.56	33.8	60.0	3.0	3.2
C0	云南小龙潭矿褐煤		0.35	83.5 [*]	3.6	1.0	11.9
AV	3 ⁻¹ 煤中镜煤	3 ⁻¹ 煤	0.57	80.1	16.0	2.2	1.7
BV	5 ⁻² 煤中镜煤	5 ⁻² 煤	0.56	70.2	26.9	1.5	1.4

注：* 对于煤样 C0，此为“腐植组”。

2 细菌试验

2.1 菌种采集

煤是由植物残体经过地质上长期的物理化学和生物作用而形成的有机质与无机物的混合物。因此，植物与煤之间具有一些相同或相似的化学成分。而包括土壤、空气、动植物体和 水域在内的自然界是微生物生长繁殖的大本营。为了提高菌种筛选的针对性，本文采集了特定风化煤样和枯死腐烂的植物残片作为菌种试验的样品。①在山西洪洞县霍山采集了 6 个不同风化程度的煤样；②从太白山原始森林中采集了 14 个枯死树木残片。其中 1[#]~5[#]直接加入到液体加富培养基中；③造纸废水样一个。菌种样品采集见表 4。

表 4 菌种样品清单

序 号	菌种样品编号	采 样 地 点	原始物质(基质)
1	M1	山西洪洞广胜寺霍山东 500m	煤层露头样, 煤层厚度 0.4m
2	M2	山西洪洞广胜寺 M1 下部 1.5m	煤层露头样, 煤层厚度 0.4m
3	M3	山西洪洞广胜寺 M1 南 15m	煤层高度风化, 厚度 0.1m
4	M4	山西洪洞广胜寺霍山东 400m	煤层露头样, 煤层厚度 0.1m
5	M5	山西洪洞广胜寺霍山东 400m	煤层露头样, 煤层厚度 0.1m
6	M6	山西洪洞广胜寺 M5 下部 2.5m	煤层高度风化, 厚度 0.15m
7	1 [#]	太白山原始森林栈道附近	枯死榆树木材片
8	2 [#]	太白山原始森林栈道附近	枯死树木材片
9	3 [#]	太白山原始森林莲花峰附近	枯死桦树木材片
10	4 [#]	太白山原始森林七女峰附近	枯死桦树木材片
11	5 [#]	太白山原始森林下板寺下 70m	枯死树木材片, 高度腐烂
12	6 [#]	太白山原始森林下板寺下 80m	枯死桦树木材片
13	7 [#]	太白山原始森林下板寺下 85m	枯死树木材片
14	8 [#]	太白山原始森林下板寺下 90m	枯死树木材片
15	9 [#]	太白山原始森林下板寺下 93m	枯死树木材片
16	10 [#]	太白山原始森林下板寺下 100m	枯死树木材片
17	11 [#]	太白山原始森林上板寺附近	枯死树木材片
18	12 [#]	太白山原始森林上板寺附近	枯死松树木材片
19	13 [#]	太白山原始森林上板寺附近	枯死树木材片
20	14 [#]	太白山原始森林上板寺附近	枯死树木材片
21	15 [#]	某造纸厂发酵池外排废水	造纸废水

2.2 细菌培养及筛选

2.2.1 菌种加富培养

从自然界采集到的样品中含有试验所需要的微生物, 但是生物量较少, 不易对其进行分离和纯化。为了扩大采集物中微生物数量和菌种选择范围, 以便于进一步的分离和筛选试验, 试验中对所采样品进行了加富培养。其培养基配方为: 1L 水中加入葡萄糖 36.5g: NH_4NO_3 0.02g: MnSO_4 0.4g。其溶液的 pH 值为 7.3。

培养基的灭菌条件: 葡萄糖为过滤除菌; 其他均在 121°C , $1.08\text{kg}/\text{cm}^2$ 压力条件下灭菌 20min。

本文先后将表 4 中各菌种加入到上述培养液中于 30°C 、200r/min 振荡培养箱中进行恒温加富培养。

2.2.2 菌种分离

经过加富培养后, 采集到的菌种样品中的生物量得到了极大地富集, 为菌种的分离和筛选提供了物质的基础。在生产实践和科研工作中, 一般都需要使用纯种微生物。通过选择性或富集培养, 只能使需要分离的微生物在数量上占优势, 提高了筛选成功的几率, 但其中的目的微生物往往是不纯的, 因此需要进一步的纯种分离。本文采用逐级稀释平板分离法得到可分离的菌落, 然后再根据菌落的长势、形态转接到其他的 PDA 平板, 多次转接后得到各