



超超临界火电机组培训系列教材

# 燃料与环保分册

主 编 徐宏建

参 编 辛志玲 谈 仪 李中存 许 斌



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超超临界火电机组培训系列教材

# 燃料与环保分册

主 编 徐宏建

参 编 辛志玲 谈 仪 李中存 许 斌

主 审 潘卫国



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内容提要

本书是《超超临界火电机组培训系列教材》的《燃料与环保分册》。全书共七章，分别阐述了火力发电厂燃煤的工业应用及特性分析与测定方法，二氧化硫脱除技术的分类及基本原理，火力发电厂烟气脱硫工艺的选择及技术经济评价，以及联合脱硫脱硝一体化技术的研究进展；详细讨论了与燃料与环保有关的设备与系统，如火力发电厂动力煤的采样与制备系统、湿式石灰石—石膏法烟气脱硫（FGD）系统、脱硫岛控制系统、氮氧化物脱除与控制系统等；最后解析了部分百万千瓦机组脱硫脱硝系统运行的工程案例。

本书适合从事 1000MW 超超临界火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及其管理工作的工程技术人员阅读，可作为电厂生产人员的培训教材，亦可供有关专业人员和高等学校相关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

超超临界火电机组培训系列教材. 燃料与环保分册/徐宏建主编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-5123-3341-3

I. ①超… II. ①徐… III. ①火力发电-发电机组-技术培训-教材 ②火力发电-燃料-技术培训-教材 ③火力发电-环境保护-技术培训-教材 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 170311 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 354 千字

印数 0001—3000 册 定价 43.00 元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 《超超临界火电机组培训系列教材》

## 编 委 会

主 任 姚秀平  
副主任 倪 鹏 刘长生  
委 员 杨俊保 任建兴 符 杨 郑蒲燕 高 亮 肖 勇 章德龙  
丁家峰 钱 虹 吴春华 徐宏建 张友斌 李建河 潘先伟  
张为义 符义卫 黄 华 陈忠明 洪 军 孙志林

### 《锅炉分册》编写人员

主 编 章德龙  
副主编 王云刚 缪加庆

### 《汽轮机分册》编写人员

主 编 丁家峰  
副主编 陆建峰 王亚军 戴 欣

### 《电气分册》编写人员

高 亮 江玉蓉 陈季权 胡 荣 杨军保 洪建华 编 著

### 《热控分册》编写人员

主 编 钱 虹  
副主编 黄 伟 刘训策 汪 容

### 《电厂化学分册》编写人员

主 编 吴春华  
副主编 龚云峰 赵晓丹 王 啸 诸红玉 徐刚华

### 《燃料与环保分册》编写人员

主 编 徐宏建  
副主编 辛志玲 谈 仪 李中存 许 斌

# 前 言

进入 21 世纪,我国经济飞速发展,电力需求急速增长,电力工业进入了快速发展的新时期。截至 2011 年底,全国发电装机容量达 10.56 亿 kW,首次超过美国 (10.3 亿 kW),成为世界电力装机第一大国。其中,火电 7.65 亿 kW。目前,全国范围内已投产的单机容量 1000MW 超超临界火电机组共有 47 台,投运、在建、拟建的百万千瓦超超临界机组数量居全球之首。华能玉环电厂、华电邹县电厂、外高桥第三发电厂、国电泰州电厂等一大批百万千瓦级超超临界机组的相继投产,标志着我国已经成功掌握世界先进的火力发电技术,电力工业已经开始进入“超超临界”时代。根据电力需求和发展的需要,未来几年,我国还将有大量大容量、高参数的超超临界机组相继投入生产运行。因此,编写一套专门用于 1000MW 超超临界机组的培训教材有着现实需求的积极意义。

上海电力学院作为一所建校六十余年的电力院校,一直以来依托自身电力特色,利用学校的行业优势,发挥高校服务社会的功能,依托丰富的电力专业师资资源,大力开展针对发电企业生产人员的各类型、各层次、各工种的技术培训。从 20 世纪 70 年代至今,学校已先后为全国近百家电厂,从 125MW 到 600MW 的超临界机组,以及我国第一台 1000MW 超超临界火力发电机组——华能玉环电厂等培养了大批技术人才,成为最早开始培训同时接受培训厂家最多、机组类型最丰富的院校之一。2012 年 11 月,学校以 1000MW 火电机组培训代表的面向发电企业技术项目正式被上海市评为 2006~2012 年市级培训品牌项目。

本套丛书包括《锅炉分册》、《汽轮机分册》、《电气分册》、《热控分册》、《电厂化学分册》与《燃料与环保分册》6 个分册,是学校基于多年以来的培训经历累积而成,并融合多家在学校培训的厂家资料,由上海电力学院和皖能铜陵发电有限公司合作完成的。

丛书在编写过程中,力求反映我国超超临界 1000MW 等级机组的发展状况和最新技术,重点突出 1000MW 超超临界火电机组的工作原理、设备系统、运行特点和事故分析,包含国内主要四大发电设备制造企业——上

海电气、哈尔滨电气、东方电气、北京巴威的技术资料，以及大量国内外最新的百万机组资料，并经过华能玉环电厂、国电泰州电厂、皖能铜陵电厂、国华绥中电厂、华润广西贺州电厂、国华徐州电厂、国电谏壁电厂、浙能台州电厂、江苏新海电厂、浙能嘉兴电厂、浙能舟山六横电厂、华电句容电厂、华能南通电厂等十几家百万千瓦发电机组企业培训使用，最终逐步修改、完善而成。本套丛书注重理论联系实际，紧密围绕设备型号进行讲解，是超超临界火电机组上岗、在岗、转岗、技能鉴定、继续教育通用培训的优秀教材。

本套丛书由上海电力学院副院长姚秀平教授担任编委会主任，现皖能集团总工程师倪鹏（原皖能铜陵发电有限公司总经理）、皖能铜陵发电有限公司总经理刘长生担任编委会副主任，上海电力学院华东电力继续教育中心和皖能铜陵发电有限公司负责组织校内 18 位长期从事培训工作的教师和 10 位专工联合编写，历时近 3 年，历经多次修改而成。

本套丛书在编写过程中，中国上海电气集团公司、华东电力设计院、国华宁海发电有限公司、国电北仑发电有限公司、中电投上海漕泾发电有限公司、外高桥第三发电有限公司、浙能嘉兴发电有限公司、国电泰州发电有限公司、浙能舟山六横煤电有限公司等提供了大量的技术资料并给予了大力的支持和热情帮助；上海电力学院成教院杨俊保副院长、培训科肖勇科长、司磊磊老师以及多位研究生为本丛书的出版做出了大量细致工作，在此表示诚挚的感谢。

本册为《燃料与环保分册》，全书共七章，其中第一至五章由谈仪编写，第六章由徐宏建编写，第七章由辛志玲编写，另外，安徽铜陵发电厂的李中存、许斌也参与了部分章节的编写。全书由徐宏建负责统稿。本分册由潘卫国担任主审。

由于知识和经验有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以利不断完善。

**编者**

2012 年 11 月

# 目 录

## 前言

## 第一篇 电 厂 燃 料

第一章 燃料基础知识	2
第一节 煤的形成、组成和特性	2
第二节 煤的基准分析	4
第三节 煤的分类	8
第四节 煤在火力发电厂中的应用	11
第二章 燃料的采样与制样	13
第一节 概述	13
第二节 火电厂动力煤的采样	15
第三节 煤样的制备	21
第三章 燃料组成分析	23
第一节 煤的工业分析	23
第二节 煤的元素分析	34
第三节 煤中碳酸盐二氧化碳含量的测定	44
第四章 煤的物理化学特性及其测定	47
第一节 煤的密度	47
第二节 煤的着火点测定	49
第三节 煤的可磨性	51
第四节 煤粉细度的测定	54
第五节 煤灰熔融性的测定	55
第五章 煤发热量的测定	60
第一节 有关发热量的基础知识	60
第二节 测定发热量的基本原理	63
第三节 发热量测定仪器——热量计	64
第四节 测定发热量的误差校正	66
第五节 热容量和仪器常数的标定	69
第六节 煤的发热量的测定	75

第七节 燃料分析数据的处理和质量控制 .....	78
--------------------------	----

## 第二篇 脱硫及脱硝

<b>第六章 烟气脱硫 .....</b>	<b>82</b>
第一节 概述 .....	82
第二节 二氧化硫脱除技术的分类及基本原理 .....	85
第三节 湿法 FGD 烟气脱硫存在的问题及故障处理 .....	97
第四节 石灰石—石膏法烟气脱硫技术 .....	111
第五节 脱硫工艺的技术经济分析 .....	134
第六节 火电厂烟气脱硫工艺的选择 .....	137
第七节 烟气脱硫系统的腐蚀与防护 .....	142
第八节 脱硫工艺设计 .....	144
<b>第七章 脱硝 .....</b>	<b>180</b>
第一节 我国氮氧化物的排放特征 .....	180
第二节 氮氧化物的产生机理 .....	183
第三节 燃煤氮氧化物的控制方法 .....	186
第四节 同时脱硫脱硝技术 .....	203
第五节 烟气脱硝工程实例 .....	214
<b>参考文献 .....</b>	<b>228</b>



超超临界火电机组培训系列教材

燃料与环保分册



# 第一篇

# 电厂燃料

# 第一章

## 燃料基础知识

能源工业是国民经济的基础。我国发展电力的基本特点是以燃煤为基础，以火电为主，煤电占总发电量的80%左右。从提高发电效率、节约能源和解决环保问题三方面来考虑，走可持续发展的道路。电力燃料，特别是电煤质量与上述三方面都有着十分密切的关系。2011年，国家电网公司直供燃煤发电厂耗煤总量约4亿t，数以万计的科技人员直接从事燃料监督和试验工作。随着电力生产的发展，锅炉机组容量日益增大，就需要提供数量更多、质量更好的电力燃料。了解和掌握动力燃料的基本知识及其物理化学特性，切实做好火电厂燃料的采制样及化验工作，对降低发电成本，确保锅炉机组的安全经济运行，具有极其重要的意义。

### 第一节 煤的形成、组成和特性

#### 一、煤的形成

煤是由古代植物形成的，植物分低等植物和高等植物两大类。在地球上储量最多的煤由高等植物形成，统称为腐植煤，即现代被广泛使用的褐煤、烟煤和无烟煤等。高等植物的有机化学组成主要为纤维素和木质素，此外还有少量蛋白质和脂类化合物等；无机化学组成主要为矿物质。古代植物随地壳运动而被埋入地下，经过长期的细菌生物化学作用以及地热高温和岩层高压的成岩、变质作用，使植物中的纤维素、木质素发生脱水、脱一氧化碳、脱甲烷等反应，而后逐渐成为含碳丰富的可燃性岩石，这就是煤。该过程称为煤化作用，它是一个增碳的碳化过程。根据煤化程度的深浅、地质年代长短以及含碳量多少，可将煤划分为泥炭、褐煤、烟煤和无烟煤四大类，其演化过程可用图1-1说明。

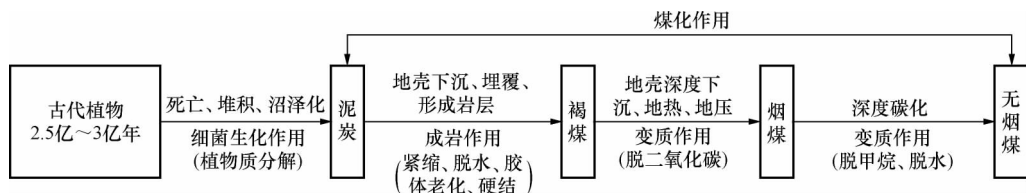


图 1-1 煤的演化过程

组成植物质的有机元素主要为碳、氢、氧和少量氮、硫和磷。这些元素在成煤过程中随着地质年代的增长，变质程度加深，含碳量逐步增加，氢和氧逐步减少，硫和氮则变化不大，即



## 二、煤的组成

在成煤过程漫长的地质年代中，煤的原始组成和结构发生了变化，形成一种新物质。煤是由多种结构形式的有机物与少量种类不同的无机物组成的混合物。煤中有机物的基本结构单元，主要是带有侧链和官能团的缩合芳香核体系，随着变质程度的加深，基本结构单元中六碳环的数目不断增加，而侧链和官能团则不断减少。煤中无机物的组成极为复杂，所含元素多达数十种，常以硫酸盐、碳酸盐（主要是钙、镁、铁等盐）、硅酸盐（铝、钙、镁、钠、钾）、黄铁矿（硫）等矿物质的形态存在。此外，还有一些伴生的稀有元素，如锗（Ge）、硼（B）、铍（Be）、钴（Co）、钼（Mo）等。

煤仅作为能源使用时，就没有必要对其化学结构作详尽的了解，只从热能利用（即燃料的燃烧）方面去分析和研究煤的组成，基本上就能够满足电力生产的要求。

在工业上常将煤的组成划分为工业分析组成和元素分析组成两种（见图 1-2）。了解这两种组成就可以为煤的燃烧提供基本数据。工业分析组成是用工业分析法测出的煤的不可燃成分和可燃成分，不可燃成分为水分和灰分，可燃成分为挥发分和固定碳，这 4 种成分的总量为 100。

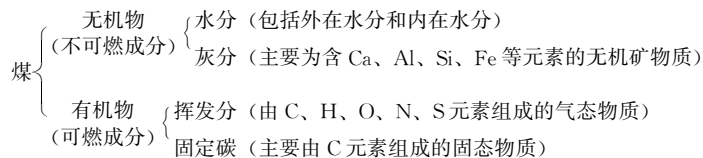


图 1-2 煤的组成

工业分析法带有规范性，所得的组成与煤的固有组成完全不同，但它给煤的工艺利用带来很大的方便。工业分析法采用常规质量分析法，以质量百分比计量各组成可得到可靠的百分组成，这有利于煤质计量、煤种划分、煤质评估、用途选择、商品计价等。

元素分析组成是用元素分析法测出煤中的化学元素分析组成，该组成可示出煤中某些有机元素的含量。元素分析组成包括 C、H、O、N、S 五种元素，这五种元素加上水分和灰分，其总量为 100。元素分析结果对煤质研究、工业利用、锅炉设计、环境质量评价等都是极为有用的资料。

## 三、煤的性质

煤的性质指煤的物理性质、化学性质和工艺性质。这些性质都与成煤的原始物质、聚积环境、地质条件和煤化程度有关。作为动力用煤的主要性质包括发热量、可磨性、煤粉细度、煤灰熔融性、密度 [包括真（相对）密度、视（相对）密度和堆积密度]、着火点。

### 1. 发热量 $Q$

煤的发热量，又称为煤的热值，即单位质量的煤完全燃烧所发出的热量。

煤的发热量是煤按热值计价的基础指标。煤作为动力燃料，主要是利用煤的发热量，发热量越高，其经济价值越大。同时，发热量也是计算热平衡、热效率和煤耗的依据，以及锅炉设计的参数。

### 2. 可磨性

煤的可磨性是指煤研磨成粉的难易程度。用可磨性指数表示，符号为 HGI（哈氏指

数)。它具有规范性,无量纲。其规范为规定粒度下的煤样,经哈氏可磨仪用规定的能量研磨后,在规定的标准筛上筛分,称量筛上煤样质量,并由用已知哈氏指数标准煤样绘制的标准曲线上查得该煤的哈氏指数,是设计和选用磨煤机的重要依据。

### 3. 煤粉细度

煤粉细度是指煤粉中各种大小尺寸颗粒煤的质量百分含量,它表征煤粉颗粒分布的均匀程度,通常以  $90\mu\text{m}$  和  $200\mu\text{m}$  筛上煤粉量来表示。它可用筛分法确定,即使煤粉通过一定孔径的标准筛,计量筛上煤粉质量占试样质量的百分数,符号为  $r_x$ ,下标为标准筛孔径。在一定的燃烧条件下,煤粉细度对磨煤能量耗损和燃烧过程中的热损失有较大影响。

### 4. 煤灰熔融性

煤灰熔融性又称灰熔点,是动力和气化用煤的重要指标。煤灰是煤中可燃物质燃尽后的残留物,是由各种矿物质组成的混合物,没有一个固定的熔点,只有一个熔化温度的范围。当煤灰受热时,它由固态逐渐向液态转化而呈塑性状态。煤灰熔融性就是表征煤灰在高温下转化为塑性状态时,其黏塑性变化的一种性质。煤灰在塑性状态时,易黏附在金属受热面或炉墙上,阻碍热传导,破坏炉膛的正常燃烧工况。所以煤灰的熔融性是关系锅炉设计、安全经济运行等问题的重要性质。表示熔融性的方法具有较强的规范性,它是将煤灰制成三角锥体,在规定的条件下加热,根据其形态变化而规定的三个特征温度,即 DT(变形温度)、ST(软化温度)和 FT(熔化温度),一般用 ST 评定煤灰熔融性。

### 5. 真(相对)密度、视(相对)密度和堆积密度

煤的真(相对)密度定义为在  $20^\circ\text{C}$  时煤(不包括煤的孔隙)的质量与同温度、同体积水的质量之比,符号为 TRD,无量纲。

视(相对)密度定义为在  $20^\circ\text{C}$  时煤(包括煤的孔隙)的质量与同温度、同体积水的质量之比,符号为 ARD,无量纲。

堆积密度是指单位体积(包括煤粒的体积和煤粒间的空隙)中所含煤的质量,单位为  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

真密度用于煤质研究、煤的分类、选煤或制样等工作;视密度用于煤层储量的估算;而堆积密度在火电厂中,主要用于计算进厂商品煤装车量以及煤场盘煤。

### 6. 着火点

煤的着火点或称着火温度,是将煤加热到开始燃烧时的温度,也称煤的燃点、临界温度和发火温度,单位为  $^\circ\text{C}$ 。它的测定具有规范性,使用不同的测试方法,对同一煤样,着火点的值也会不同。一般是将氧化剂加入或通入煤中,对煤进行加热,使煤发生爆燃或有明显的升温现象,然后求出煤爆燃或急剧升温的临界温度,作为煤的着火点。我国测定着火点时采用亚硝酸钠做氧化剂,在燃点测定仪中进行测定。着火点与煤的风化、自燃、燃烧、爆炸等有关,所以它是一项涉及安全的指标。

## 第二节 煤的基准分析

### 一、基准表示法

因为煤中水分和灰分的含量受到外界条件的影响,其他成分的百分量也将随之变更,所以不能简单地用成分百分量来表明煤的种类和某些特性,而必须同时指明百分数的基准是什

么。基即是表示化验结果是以什么状态下的煤样为基础而得出的。煤质分析中常用基准有收到基、空气干燥基、干燥基、干燥无灰基。

### 1. 收到基 (as received basis)

收到基 (旧称应用基), 是以进入锅炉房原煤仓内 (或进入储煤场内) 的煤作为基准, 表示符号为 ar, 其表达式为

$$\begin{aligned} C_{ar} + H_{ar} + O_{ar} + N_{ar} + S_{ar} + A_{ar} + M_{ar} &= 100\% \\ FC_{ar} + V_{ar} + A_{ar} + M_{ar} &= 100\% \end{aligned}$$

收到基成分含量反映了煤作为收到状态下的各成分含量。锅炉热力计算均采用收到基成分。

### 2. 空气干燥基 (air dry basis)

空气干燥基是指把在实验室经过自然风干后的煤作为基准 (以与空气湿度达到平衡状态的煤为基准。表示符号为 ad), 其表达式为

$$\begin{aligned} C_{ad} + H_{ad} + O_{ad} + N_{ad} + S_{ad} + A_{ad} + M_{ad} &= 100\% \\ FC_{ad} + V_{ad} + A_{ad} + M_{ad} &= 100\% \end{aligned}$$

空气干燥基成分含量一般在实验室内作煤样分析时采用。

### 3. 干燥基 (dry basis)

干燥基是指以完全干燥状态 (去掉全水分) 的煤作为基准, 表示符号为 d, 其表达式为

$$\begin{aligned} C_d + H_d + O_d + N_d + S_d + A_d &= 100\% \\ FC_d + V_d + A_d &= 100\% \end{aligned}$$

因为干燥基成分不受水分含量的影响, 所以用  $A_d$  来表示煤中的灰分含量更为准确。

### 4. 干燥无灰基 (dry ash-free basis)

干燥无灰基是指以假想无水无灰状态下的煤作为基准, 表示符号为 daf, 其表达式为

$$\begin{aligned} C_{daf} + H_{daf} + O_{daf} + N_{daf} + S_{daf} &= 100\% \\ FC_{daf} + V_{daf} &= 100\% \end{aligned}$$

因为干燥无灰基成分既不受水分含量的影响, 又不受灰分含量的影响比较稳定, 所以常用来表示煤的挥发分含量。

上述煤的成分及各种分析基准之间的关系, 如图 1-3 所示。

必须指出: 收到基是包括煤中全水分的成分组合。全水分中的外在水分变易性较大, 由

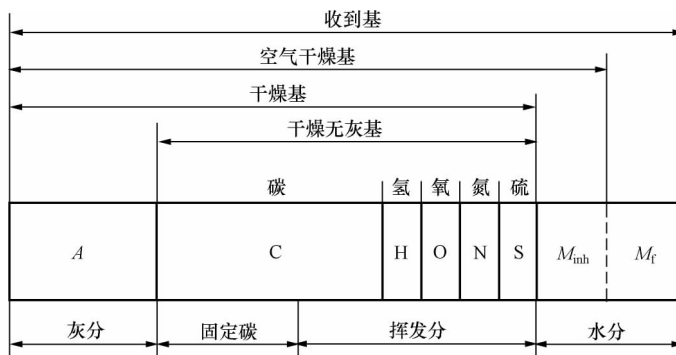


图 1-3 煤的基准



煤矿发出的煤到火电厂收到的煤或进锅炉燃烧的煤都是用收到基表示其成分组合的。但由于时间、空间等条件的差异，水分会有较大的变化，因此，同一种煤虽是按同一收到基计算出来的成分百分含量，也会有差异，应根据实际情况对分析结果给予合理处理。

煤的成分和特性（即煤质分析项目）通常都是用一定符号表示，对于某些成分，由于它在煤中的有多种形态或分析化验时的条件、方法不同，使用单一的符号还不能完全表明其含义。例如水分有内在水分和外在水分；硫有有机硫、硫酸盐硫和硫化铁硫等。为了区分诸如此类的差异，通常在符号的右下角外附加符号注明，国际标准《煤质分析试验方法一般规定》中对煤质分析项目的符号作了同一规定，即采用国际标准化组织规定的符号，见表1-1~表1-3。

表 1-1 煤 质 符 号

项 目		英 文	新符号	旧符号
工业分析成分	水分	Moisture	M	W
	灰分	Ash	A	A
	挥发分	Volatile Matter	V	V
	固定碳	Fixed Carbon	FC	C <sub>GD</sub>
元素分析成分	碳	Carbon	C	C
	氢	Hydrogen	H	H
	氧	Oxygen	O	O
	氮	Nitrogen	N	N
	硫	Sulfur	S	S
各项性质	发热量	Calorific Value	Q	Q
	真密度	True Relative Density	TRD	d
	视密度	Apparent Relative Density	ARD	d <sub>sh</sub>
	哈氏指数	Hardgrove Grindability Index	HGI	K <sub>HG</sub>
	灰熔融性	变形温度	Deformation Temperature	DT
软化温度		Softening Temperature	ST	T <sub>2</sub>
流动温度		Fluid Temperature	FT	T <sub>3</sub>

表 1-2 煤质项目存在状态和条件符号

项目	外在水分	内在水分	全水分	有机硫	硫酸盐硫	硫化铁硫	全硫	弹筒硫	高位发热量	低位发热量	弹筒发热量	碳酸盐二氧化碳
英文	Free Moisture	Inherent Moisture	Total Moisture	Organic Sulfur	Sulfate Sulfur	Pyretic Sulfur	Total Sulfur		Gross Calorific Value	Net Calorific Value	Bomb Calorific Value	Carbon Dioxide in Carbonate
新符号	M <sub>f</sub>	M <sub>inh</sub>	M <sub>t</sub>	S <sub>O</sub>	S <sub>S</sub>	S <sub>P</sub>	S <sub>t</sub>	S <sub>b</sub>	Q <sub>gr</sub>	Q <sub>net</sub>	Q <sub>b</sub>	CO <sub>2</sub>
旧符号	W <sub>WZ</sub>	W <sub>NZ</sub>	W <sub>Q</sub>	S <sub>YJ</sub>	S <sub>LY</sub>	S <sub>LT</sub>	S <sub>Q</sub>	S <sub>DT</sub>	Q <sub>GW</sub>	Q <sub>DW</sub>	Q <sub>DT</sub>	(CO <sub>2</sub> ) <sub>TS</sub>

表 1-3 煤 质 基 准 符 号

名 称	收到基	空气干燥基	干燥基	干燥无灰基
旧名称	应用基	分析基	干燥基	可燃基
英 文	as received basis	air dry basis	dry basis	dry ash-free basis
新符号	ar	ad	d	daf
旧符号	y	f	g	r

## 二、基准换算

由于煤质分析所使用的样品为空气干燥后的煤样，分析结果的计算是以空气干燥基为基准得出的。而实际使用和研究时，往往要求知道符合原来煤质状态的分析结果。为此在使用基准时，必须按符合实际的成分组合进行换算。表 1-4 列出了各种分析基准之间的换算系数，这是根据质量守恒定律导出的，可以用于同种煤不同分析基准之间除水分以外的各种成分（如 C、H、O、N、S、A）、挥发分和高位发热量的换算。

计算通式应为

$$X = KX_0 \quad (1-1)$$

式中  $X_0$  ——原基准下某一成分的百分含量；

$X$  ——欲计算基准下该成分的百分含量；

$K$  ——比例系数。

表 1-4 煤的各基准之间的换算系数  $K$

已知煤的基准	欲求煤的基准			
	收到基	空气干燥基	干燥基	干燥无灰基
收到基	1	$\frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar} - A_{ar}}$
空气干燥基	$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$	1	$\frac{100}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - M_{ad} - A_{ad}}$
干燥基	$\frac{100 - M_{ar}}{100}$	$\frac{100 - M_{ad}}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A_d}$
干燥无灰基	$\frac{100 - M_{ar} - A_{ar}}{100}$	$\frac{100 - M_{ad} - A_{ad}}{100}$	$\frac{100 - A_d}{100}$	1

下面通过两个例题来说明表 1-4 中换算系数  $K$  的导出方法和应用。

**【例 1-1】** 已知煤的  $M_{ar}$ 、 $A_{ar}$  和  $M_{ad}$ ，试导出其收到基和空气干燥基之间的换算系数  $K_{ar-ad}$  及收到基和干燥无灰基之间的换算系数  $K_{ar-daf}$ 。

**解** 现设煤的收到基为 100、外在水分为  $M_f$ 、内在水分为  $M_{inh}$ ，并以  $C_{ar}$  和  $C_{ad}$  及  $C_{ar}$  和  $C_{daf}$  之间的换算为例来导出  $K_{ar-ad}$  和  $K_{ar-daf}$ 。

(1) 由图 1-3 可知，在同一煤种的收到基和空气干燥基中，除水分之外的其他成分（如碳等）的质量是不变的，因此可得

$$C_{ad}(100 - M_f) = C_{ar} \times 100$$

即

$$C_{ad} = \frac{100}{100 - M_f} C_{ar}$$

又因

$$M_{ar} = M_{inh} + M_f$$

$$M_{inh} = M_{ar} - M_f$$

$$M_{ad} = \frac{100M_{inh}}{100 - M_f} = \frac{100(M_{ar} - M_f)}{100 - M_f}$$

即有

$$M_f = \frac{100(M_{ar} - M_{ad})}{100 - M_{ad}}$$



所以有 
$$C_{ad} = \frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}} C_{ar}$$

显然 
$$K_{ar-ad} = \frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}}$$

(2) 同理可知, 在同一煤种的收到基和干燥无灰基中, 除水分和灰分之外的其他成分(如碳等)的质量也是不变的, 由此可得

$$C_{daf}(100 - A_{ar} - M_{ar}) = C_{ar} \times 100$$

即 
$$C_{daf} = \frac{100}{100 - A_{ar} - M_{ar}} C_{ar}$$

可见 
$$K_{ar-daf} = \frac{100}{100 - A_{ar} - M_{ar}}$$

本例所导出的两个换算系数正好与表 1-4 所列出的相符。

**【例 1-2】** 某煤样的空气干燥基工业分析成分为  $M_{ad} = 2.00\%$ ,  $V_{ad} = 25.03\%$ ,  $FC_{ad} = 58.17\%$ ,  $A_{ad} = 14.80\%$ 。

(1) 求干燥无灰基挥发分;

(2) 若已知  $M_{ar} = 11.00\%$ , 求收到基成分。

**解** (1) 查表 1-4 得,  $K_{ar-daf} = 100/(100 - A_{ad} - M_{ad})$ , 即有干燥无灰基挥发分为

$$V_{daf} = \frac{100}{100 - A_{ad} - M_{ad}} V_{ad} = \frac{100}{100 - 14.80 - 2.00} \times 25.03 \times 100\% = 30.08\%$$

(2) 同理得  $K_{ad-ar} = (100 - M_{ar})/(100 - M_{ad})$

即有 
$$K_{ad-ar} = \frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}} = \frac{100 - 11.00}{100 - 2.00} = 0.9082$$

因此收到基工业成分为

$$M_{ar} = 11.00\% \quad (\text{已知})$$

$$A_{ar} = K_{ad-ar} A_{ad} = 0.9082 \times 14.80 = 13.44\%$$

相应地 
$$V_{ar} = 22.73\%$$

$$FC_{ar} = 52.83\%$$

### 第三节 煤 的 分 类

为了合理地开发煤炭资源, 便于工业利用途径, 有效地进行科学管理以及商品计价等, 应将煤进行分类。煤的分类是综合考虑了煤的形成、变质、各种特性以及用途等确定的。根据煤的分类表就可以按照需要选用合适的煤种。煤的分类方法很多, 不同国家或不同的利用途径, 有各自的分类要求。理想的煤分类方法是既有充分的科学依据, 又有实际使用价值。1983 年联合国欧洲经济委员会煤炭委员会制定的国际煤分类, 将煤划分为低煤化度、中等煤化度和高煤化度三类(大体上分别相当于褐煤、烟煤、无烟煤, 不包括泥炭、油页岩等)。

#### 一、中国煤炭分类法

GB/T 5751—2009《中国煤炭分类》以反映煤变质程度的挥发分产率和表征煤黏结性的黏结指数  $G$  值为主要分类指标, 以胶质层最大厚度  $Y$  值和奥亚膨胀度  $b$  值为区分强黏结煤





的辅助指标，以透光率  $P_M$  和煤的高位发热量为区分长焰煤和褐煤的辅助指标。将煤分为十四大类，褐煤、无烟煤各为一类。烟煤分为十二类，包括长焰煤、不黏煤、弱黏煤、1/2 中黏煤、气煤、气肥煤、1/3 焦煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫瘦煤、贫煤等。此外，褐煤还分为两小类，无烟煤分为三小类。在分类表中还采用数码编号来表示煤的性质，便于利用计算机对煤质实行现代化管理和指导煤的利用，详见表 1-5。

表 1-5 中国煤炭分类简表

类别	代号	编码	分类指标					
			$V_{daf}$ (%)	$G$	$Y$ (mm)	$b$ (%)	$P_M$ (% <sup>①</sup> )	$Q_{gr,mof}$ <sup>②</sup> (MJ/kg)
无烟煤	WY	01, 02, 03	$\leq 10.0$					
贫煤	PM	11	$>10.0 \sim 20.0$	$\leq 5$				
贫瘦煤	PS	12	$>10.0 \sim 20.0$	$>5 \sim 20$				
瘦煤	SM	13, 14	$>10.0 \sim 20.0$	$>20 \sim 55$				
焦煤	JM	24	$>20.0 \sim 28.0$	$>50 \sim 55$	$\leq 25.0$	$\leq 150$		
		15, 25	$>10.0 \sim 28.0$	$>65^*$				
肥煤	FM	16, 26, 36	$>10.0 \sim 37.0$	$(>85)^*$	$>25.0$			
1/3 焦煤	1/3JM	35	$>28.0 \sim 37.0$	$>65^*$	$\leq 25.0$	$\leq 220$		
气肥煤	QF	46	$>37.0$	$(>85)^*$	$>25.0$	$>220$		
气煤	QM	34	$>28.0 \sim 37.0$	$>50 \sim 65$	$\leq 25.0$	$\leq 220$		
		43, 44, 45	$>37.0$	$>35$				
1/2 中黏煤	1/2ZN	23, 33	$>20.0 \sim 37.0$	$>30 \sim 50$				
弱黏煤	RN	22, 32	$>20.0 \sim 37.0$	$>5 \sim 30$				
不黏煤	BN	21, 31	$>20.0 \sim 37.0$	$\leq 5$				
长焰煤	CY	41, 42	$>37.0$	$\leq 35$			$>50$	
褐煤	HM	51	$>37.0$				$\leq 30$	$\leq 24$
		52	$>37.0$				$>30 \sim 50$	

① 对  $V_{daf} > 37.0\%$ ， $G \leq 5$  的煤，再以透光率  $P_M$  来区分其为长焰煤或褐煤。

② 对  $V_{daf} > 37.0\%$ ， $P_M > 30\% \sim 50\%$  的煤，再测  $Q_{gr,mof}$ ，如其值大于 24MJ/kg，应划分为长焰煤，否则为褐煤。

\* 在  $G > 85$  的情况下，用  $Y$  值或  $b$  值来区分肥煤、气肥煤与其他煤类，当  $Y > 25.00\text{mm}$  时，根据  $V_{daf}$  的大小可划分为肥煤或气肥煤；当  $Y \leq 25.0\text{mm}$  时，则根据  $V_{daf}$  的大小可划分为焦煤、1/3 焦煤或气煤。

按  $b$  值划分类别时，当  $V_{daf} \leq 28.0\%$  时， $b > 150\%$  的为肥煤；当  $V_{daf} > 28.0\%$  时， $b > 220\%$  的为肥煤或气肥煤。

如按  $b$  值和  $Y$  值划分的类别有矛盾时，以  $Y$  值划分的类别为准。

### 1. 分类参数

(1) GB/T 5751 按煤的煤化程度及工艺性能进行分类。

(2) 采用煤的煤化程度参数来区分无烟煤、烟煤和褐煤。即干燥无灰基挥发分  $V_{daf}$  作为分类指标将煤划分为褐煤、烟煤和无烟煤三大类。凡  $V_{daf} \leq 10\%$  的煤为无烟煤， $V_{daf} > 10\%$  的煤为烟煤， $V_{daf} > 37\%$  的煤为褐煤。

(3) 无烟煤煤化程度的参数采用干燥无灰基挥发分和干燥无灰基氢含量作为指标，以此来区分无烟煤的小类，将烟煤分为无烟煤 1 号、无烟煤 2 号和无烟煤 3 号三小类。