

火力发电厂
化学技术丛书

火力发电厂 用煤技术

曹长武 编著

解决技术难题
突出实用技能



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火力发电厂
化学技术丛书

火力发电厂 用煤技术

曹长武 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是火力发电厂化学技术丛书之一。本丛书是一套针对性很强的专业生产实用型书籍,内容涵盖火力发电厂用水、用煤、用油方面的全部技术,丛书既遵循了国家与电力行业标准以及化学监督的要求与规定,又体现了各个专业的不同特点,实用性强,适用面广。

本书以实用性为最大特点,书中内容密切结合我国火力发电厂实际,全面阐述电厂用煤技术各方面的问题。全书共分八章,第一章至第三章分别为火力发电厂用煤技术综述、火力发电厂燃煤现场运行监督及电力用煤采制样技术;第四章至第八章则是关于煤质(灰渣)特性检测与应用技术,主要讲述重要煤质特性指标标准测定方法中的技术要点与难点。同时,本书还将一些先进的现代检测方法与应用技术介绍给读者。

本书可供火力发电厂煤质特性检验及生产管理人员使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

火力发电厂用煤技术/曹长武编著. —北京:中国电力出版社, 2006

(火力发电厂化学技术丛书)

ISBN 7-5083-4241-0

I. 火… II. ①曹… III. 火电厂-煤-电厂燃烧系统
IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 039914 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 7 月第一版 2006 年 7 月北京第一次印刷

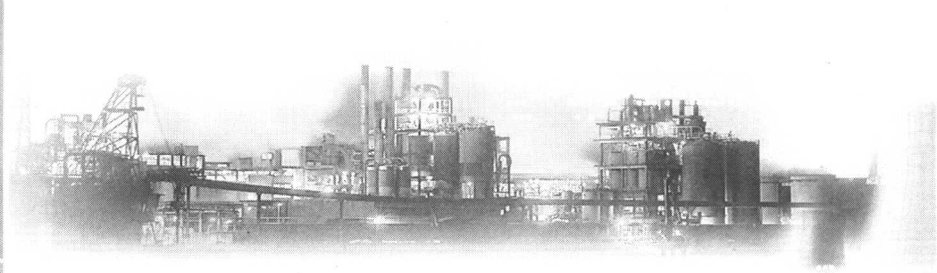
787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 362 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言



火力发电在我国电源结构中占 70% 以上,而且这种基本格局在短期内不会根本改变。电源结构不合理、电源与电网建设不协调、电力科技含量低等因素导致资源浪费严重,是目前困扰中国电力工业健康发展的主要问题。

水、煤、油均是宝贵的资源,是火力发电厂赖以生存和发展的物质基础。特别是水资源短缺,已成为制约电力工业发展的重要因素,我国水资源总量居世界第 6 位,但人均占有量居世界第 108 位。我国是世界上 21 个贫水国之一。另一方面,我国火力发电厂受技术条件的限制,水、煤等资源浪费严重。例如我国火力发电厂水耗为技术发达国家同类机组的 1.8 倍,在煤、油的利用方面也存在类似情况。

为了建设节约型社会,为了电厂的自身发展,就必须充分利用水、煤、油资源,这将是火力发电厂的一项长期任务。根据我国火力发电厂各专业的配置,水、煤、油同属于电厂化学专业的技术范畴,为了全面阐述火力发电厂在保证机组安全经济运行的前提下,如何用好水、煤、油,特编写《火力发电厂化学技术》丛书。

本丛书包括《火力发电厂用水技术》、《火力发电厂用煤技术》、《火力发电厂用油技术》三个分册,各分册具有共同的特点,既体现如何用水、用煤、用油,掌握火力发电厂化学技术,避免事故的发生,又大力节约水、煤、油资源。丛书的各个分册均分章阐述,系统地讲述了火力发电厂用水、用煤、用油各专业相关技术问题,说明实际生产中的技术要点与难点,指出水、煤、油的节约方向与途径,是火力发电厂化学专业人员所用的一套实用型科技读物。

本丛书作者既有长期从事火力发电厂化学技术试验研究工作的科研工作者,又有来自火力发电厂生产一线的技术人员,他们都具有丰富的实践经验。书中内容主要针对 300、600MW 机组,并提供了众多生产实例来说明如何做好火力发电厂用水、用煤、用油工作,以掌握其应用技术。

本书为《火力发电厂用煤技术》,书中内容密切结合我国火力发电厂实际,全面阐述了电厂用煤各个方面的技术问题。本书第一~三章分别为火力发电厂用煤技术综述、火力发电厂燃煤现场运行监督及电力用煤采制样技术,这三章内容占全书篇幅的 55% 左右,是本书的重点所在。第四~八章则是关于煤质(灰渣)特性检测与应用的技术,主要讲述煤质指标的标准测定方法中的技术要点与难点,并指出该特性指标在电力生产中的应用技术。同时本书还将一些先进的现代检测方法与应用技术介绍给读者。

本丛书主要供火力发电厂化学专业,包括水、煤、油专业的各个岗位的一线人员使用,同时对其他用水、用煤、用油行业的相关人员及大专院校电厂化学专业师生也具参考价值。

火力发电厂化学技术对电力生产影响很大,其内容丰富而又庞杂,技术性强而变化又快,对于火力发电厂化学技术,书中难以一一尽述,不当之处恳请读者批评指正,以期修订再版时加以更正。

《火力发电厂化学技术丛书》编委会

《火力发电厂化学技术丛书》

编 委 会

主任委员 曹长武

委 员 (以姓氏笔画为序)

吉殿平 张太平 汪建军 宋丽莎

罗竹杰 曹长武

目 录

前言

第一章 火力发电厂用煤综述	1
第一节 电力用煤基础知识	1
第二节 煤的基准及其应用	8
第三节 煤粉锅炉用煤技术条件与电力生产	14
第四节 火力发电生产流程与煤粉锅炉	19
第二章 火力发电厂燃煤现场运行监督	23
第一节 电厂入厂煤量验收	23
第二节 电厂入厂煤质验收	28
第三节 煤的组堆与贮存	34
第四节 防止煤堆自燃与煤场盘点	40
第五节 入炉煤的掺配、输送与计量	47
第六节 煤粉的制备与特性	52
第七节 煤粉燃烧与煤质特性	57
第八节 电力生产过程中的煤质监督	66
第三章 电力用煤采制样技术	77
第一节 采样的基本概念	77
第二节 煤的人工采样技术	84
第三节 煤的人工制样技术	95
第四节 煤流机械采制样技术	107
第五节 静止煤机械采制样技术	116
第四章 煤的工业分析特性指标检测与应用技术	123
第一节 煤中全水分的检测与应用技术	123
第二节 煤中空气干燥基水分的检测与应用技术	127
第三节 煤中灰分的检测与应用技术	131
第四节 煤中挥发分的检测与应用技术	139

> 第五章	煤的元素分析特性指标检测与应用技术	145
第一节	煤中碳、氢的检测与应用技术	145
第二节	煤中氮的检测与应用技术	151
第三节	煤中全硫的检测与应用技术	155
第四节	煤中硫对电力生产的危害及其防治途径	161
第五节	煤中元素组成的现代检测技术	165
> 第六章	煤的发热量检测与应用技术	171
第一节	测热基本原理与发热量的表示方法	171
第二节	热量计结构及其主要部件的技术要求	175
第三节	恒温式热量计的冷却校正及热容量的标定	180
第四节	新型自动热量计的使用	184
第五节	煤的发热量在电力生产中的应用	189
> 第七章	煤的物理性能检测与应用技术	195
第一节	煤粉细度的检测及应用	195
第二节	可磨性的检测与应用	199
第三节	磨损性的检测与应用	203
> 第八章	灰、渣性能检测与应用技术	207
第一节	灰、渣可燃物检测与应用	207
第二节	煤灰熔融性检测与应用	209
第三节	煤灰成分检测与应用	222

第一章

火力发电厂用煤综述

煤作为最主要的能源资源，它在国民经济中占有特别重要的地位。全国约 75% 的燃料来源于煤，而且这种基本格局短期内不会改变。

2003 年，我国年产煤 16.08 亿 t，其中电力用煤 7.7 亿 t，占全国产煤量的 48%。煤炭费用现在已占火力发电厂发电成本的 70% 以上。做好煤质验收，加强运行监督，提高燃烧效率，减少环境污染，确保机组安全经济运行，均与电力用煤特性及其相关技术息息相关。

本章在概述电力用煤专业基础知识的基础上，重点阐述煤在电力生产中的作用，从而为全书内容的展开创造条件。了解本章内容，熟悉相关知识，将为全面掌握火力发电厂用煤技术奠定基础。

第一节 电力用煤基础知识

要掌握火力发电厂用煤技术，一是应该了解并掌握电力用煤特性及其相关知识；二是应该熟悉火力发电厂生产过程，并了解煤在各个环节中的作用及对机组安全经济运行的影响。

基础知识是电厂用煤技术的重要组成部分，本节涉及的内容是应用最多，也是最为重要的，这些内容将贯穿本书各个章节。

一、煤的生成

煤是古代植物遗体因地壳变动而被埋在地下，经复杂的生物化学和物理化学作用，逐步演变而成的。

古代植物在成煤过程中，通常要历经泥炭化及变质作用两个阶段。

古代植物由于细菌作用而发生腐烂、分解，内部组织破坏，一部分物质转为气体逸出，残余物质开始转为泥炭，这称为泥炭化作用，即成煤的第一阶段。

泥炭在地下受压力与温度的影响，逐渐被压紧和硬化，继续排出气体与水分，从而使固定碳的比例日趋增大形成了固体有机可燃沉积岩，这称为煤化作用，即成煤的第二阶段。在此过程中，又包括成岩与变质作用。

综上所述，煤实际上是古代植物经泥炭化及煤化作用而形成的固体有机可燃矿岩。

变质作用，是指最先形成的褐煤受地热与压力的影响逐渐向烟煤、无烟煤变化的作用。这种变化程度，则称为变质程度。

在各种煤中，以褐煤的变质程度最浅，无烟煤最深，烟煤介于二者之间。

二、煤的分类

由于成煤原始植物及其煤化程度不同，所形成的煤炭其化学组成与其特性也就有所差异，为此，可将煤加以分类。

GB 5751—1986《中国煤炭分类标准》根据煤化程度，将煤的干燥无灰基挥发分 V_{daf} 及黏结指数 G 作为主要分类指标，把煤分为无烟煤、烟煤、褐煤三大类。再把这三大类煤按照分类指标所处的区间分为若干小类，计 14 个类别、29 个单元，见表 1-1。

表 1-1 中国煤炭分类简表

类 别	符号	包括数码	分 类 指 标					
			$V_{daf}(\%)$	G	$Y(\text{mm})$	$b(\%)$	$P_M(\%)$	$Q_{gr, \text{marf}}(\text{MJ/kg})$
无烟煤	WY	01, 02, 03	≤ 10.0					
贫 煤	PM	11	$>10.0 \sim 20.0$	≤ 5				
贫瘦煤	PS	12	$>10.0 \sim 20.0$	$>5 \sim 20$				
瘦 煤	SM	13, 14	$>10.0 \sim 20.0$	$>20 \sim 65$				
焦 煤	JM	24	$>20.0 \sim 28.0$	$>50 \sim 65$	≤ 25.0	(≤ 150)		
		15, 25	$10.0 \sim 28.0$	65				
肥 煤	FM	16, 26, 36	$>10.0 \sim 37.0$	(>85)	>25.0			
$\frac{1}{3}$ 焦煤	$\frac{1}{3}$ JM	35	$>28.0 \sim 37.0$	>65	≤ 25.0	(≤ 220)		
气肥煤	QF	46	>37.0	(>85)	>25.0	(>220)		
气 煤	QM	34	$>28.0 \sim 37.0$	$>50 \sim 65$	≤ 25.0	(≤ 220)		
		43, 44, 45	>37.0	>35				
$\frac{1}{2}$ 中黏煤	$\frac{1}{2}$ ZN	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	$>20.0 \sim 37.0$	≤ 5				
长焰煤	CY	41, 42	>37.0	≤ 35			>50	
褐 煤	HM	51	>37.0				<30	<24
		52	>37.0				$>30 \sim 50$	

从我国煤炭保有储量来看，无烟煤及褐煤分别占全国储煤量的 14.3% 及 14.1%，烟煤占 62.3%，其他为未分牌号的煤。

无烟煤及褐煤储量相对较少，不再分类别。前者包括 3 个单元，即无烟煤 01、02、03 号；后者包括 2 个单元，即褐煤 51 号、52 号。

烟煤储量最大，干燥无灰基挥发分 V_{daf} 处于较宽的范围，可将 V_{daf} 按 $>10\% \sim 20\%$ 、 $>20\% \sim 28\%$ 、 $>28\% \sim 37\%$ 以及 $>37\%$ 的四个区段，分为低、中、中高、高挥发分烟煤。根据同类煤性质基本相似、不同类煤性质有较大差异的原则，将烟煤中的 24 个单元合并为 12 个类别。这 12 个类别的烟煤按照 V_{daf} 由小到大的顺序，也就是按照变质程度的差异划分为：贫煤、贫瘦煤、瘦煤、焦煤、肥煤、 $\frac{1}{3}$ 焦煤、气肥煤、气煤、 $\frac{1}{2}$ 中黏煤、弱黏煤、不黏煤及长焰煤。

三、各种煤的基本特征

1. 无烟煤

无烟煤是变质程度最高的煤，它的挥发分含量最低、密度最大、着火点高、无黏结性、燃烧时多不冒烟。无烟煤分为三类，见表 1-2。

由于无烟煤挥发分含量低，着火温度高，锅炉易灭火，燃烧稳定性差，故不宜单独作为电力用煤，特别是 01 及 02 号无烟煤力求不用。

表 1-2 无烟煤的分类

类 别	符 号	数 码	分 类	指 标
			$V_{daf} (\%)$	$H_{daf} (\%)$
无烟煤一号	WY ₁	01	0~3.5	0~2.0
无烟煤二号	WY ₂	02	>3.5~6.5	>2.0~3.0
无烟煤三号	WY ₃	03	>6.5~10.0	>3.0

2. 烟煤

烟煤是煤化程度高于褐煤而低于无烟煤的煤，其特点是挥发分含量范围很广，不同类别的烟煤黏结性差异较大，燃烧时冒烟。

烟煤与无烟煤，统称硬煤。烟煤中的贫煤、贫瘦煤、瘦煤、弱黏煤、不黏煤、肥煤等均宜作电力用煤。特别是贫煤，其挥发分含量比无烟煤高，不黏结或仅有微弱的黏结性，发热量比无烟煤高，燃烧时火焰短但耐烧。它在生产、储存、使用过程中，不像高挥发分烟煤具有易燃易爆性，是比较理想的电力用煤。特别是挥发分相对较高、中低灰分、中高发热量、低含硫量、低灰熔融温度的贫煤，最受电厂欢迎。

我国有为数众多的电厂锅炉是按燃用贫煤设计的，就全国而言，贫煤占全国煤炭储量的 5.6%，远低于无烟煤。由于贫煤资源的日益短缺，不少燃用贫煤的锅炉需掺烧无烟煤。贫煤与无烟煤二者的特性比较参见表 1-3。

表 1-3 贫煤与无烟煤特性的比较

参 数 煤 别	挥 发 分 $V_{daf} (\%)$	灰 分 $A_d (\%)$	开始放热温度 ($^{\circ}\text{C}$)	燃烧结束温度 ($^{\circ}\text{C}$)
贫 煤	>10.0~20.0	16~35	250~290	700~800
无 烟 煤	≤ 10.0	17~44	320~470	750~900

3. 褐煤

褐煤是经过成岩作用，没有或很少经过变质作用所形成的低煤化程度的煤。外观多呈褐色，光泽暗淡，易风化，质较软，含有较高的内在水分及一定量的腐殖质。它作为电力用煤，具有挥发分含量高、水分大、发热量低的特点，一般供褐煤产地附近的电厂燃用。

综上所述，在三大类煤中，烟煤储量及产量均最大，特别是中、低挥发分含量的烟煤更适合作为电力用煤。因而本书将把烟煤的特性及在电厂中的应用技术作为主要研究对象。

四、煤炭产品

1. 煤炭品种的含义

煤炭经过拣矸或筛选加工后，所获得的具有不同质量与用途的煤炭产品，称为煤炭品种。各品种的煤均可作为商品出售，故煤炭品种也就是市场上销售的商品煤的品种。特别需要注意：煤炭品种不同于煤种，前者是煤炭经过生产加工的产品；后者是由煤的自身属性所决定的。

2. 煤炭品种的划分

我国煤炭产品品种与等级的划分，主要根据加工方法、煤炭品质及用途的不同划分为精煤、粒级煤、洗选煤、原煤、低质煤五大类共 28 个品种。

(1) 精煤。是指经过精选（干选或湿选）加工生产出来的、符合品质要求的煤产品，多为低灰、低硫的优质煤。

(2) 粒级煤。是指经过筛选或洗选生产的、粒度下限大于 6mm 的煤产品。其中，粒度介于 6~13mm 的煤称为粒煤，其他则称为块煤。

(3) 洗选煤。是指经过洗选加工的煤，称为洗选煤。煤通过洗选，可有效地降低煤中灰分与含硫量，是提高煤质的重要手段。

(4) 原煤。是指从煤矿生产出来的、未经任何加工处理的煤，称为毛煤。从毛煤中选出规定粒度的矸石（包括黄铁矿等杂物）后的煤，称为原煤。

(5) 低质煤。是指干燥基灰分 $A_d > 40\%$ 的各种煤炭产品。

除了上述五大类煤炭品种外，读者还应应对下述一些产品的名称有所了解。

1) 末煤：指粒度小于 25mm 或小于 13mm 的煤。

2) 粉煤：指粒度小于 6mm 的煤。

3) 煤泥：指粒度小于 0.5mm 的一种洗煤产品。

4) 矸石：指在采煤过程中，从顶、底板或煤层夹矸（夹在煤层中的矿物质层）混入煤中的岩石。

5) 中煤：指煤经过精选后得到的，品质介于精煤与矸石之间的产品。

3. 电力用煤对煤炭品种的选择

(1) 精煤质优价高。电厂是用煤大户，使用精煤，发电成本太高，故一般情况下不会选用。

(2) 粒级煤不适合电厂使用。因为电厂锅炉普遍采用煤粉炉，所有进厂煤均要磨制成粉。粒级煤因自身价高，又要增加制粉能耗，故电厂也不会选用。

(3) 洗选煤较洗选前质量有所提高，特别是灰分与含硫量会有所降低。一方面，这对电厂生产来说，是有利的；另一方面，煤经洗选，价格上升，水分增大，则对电厂不利。

目前我国动力煤洗选所占比例还较低，为了不断提高煤质、减少煤燃烧时产生二氧化硫对大气的污染，电厂将越来越多地选用洗煤产品。

(4) 原煤为电厂燃用的主要煤炭品种，价格相对较低、特别是中等挥发分及发热量、低含硫量及高灰熔融温度的原煤，特别适合作为电力用煤。

(5) 低质煤因灰分过高、发热量过低，电厂不宜使用。应该注意的是，灰分高、热量低并不是判定该煤是否属于低质煤的惟一依据。例如，某些煤灰分并不高，热量并不低，但灰熔融温度过低、含硫量过高、挥发分含量过小、水分含量过大等，也均可视为低质煤，它们无法在电厂中单独燃用，只能部分加以掺烧，以合理利用这部分煤炭资源。

综上所述，电厂主要选用原煤及洗煤产品作为电力用煤，对少量精煤或低质煤，适当掺烧还是可以的，但不能单独使用。

现在有一个值得注意的问题，是对商品煤掺杂使假。有的是将低质煤装于运输工具下部，按标准采样也无法采集到这部分样品；另外，有些不法分子将矸石碎至粒度 50mm 以下混入煤中，供应给电厂。这些均给电力生产带来极其严重的影响。

例如原煤灰分 $A_d = 25\%$ 、发热量 $Q_{gr,d} = 24.60 \text{ MJ/kg}$ ，当煤中混入 2% 的矸石粒，如矸

石的灰分按 $A_d=75\%$ ，发热量 $Q_{gr,d}=0.44\text{MJ/kg}$ 计，那么混入矸石后煤的灰分为 $25\% \times 0.98 + 75\% \times 0.02 = 26\%$ ，高位发热量为 $24.60 \times 0.98 + 0.44 \times 0.02 = 24.12 \text{ (MJ/kg)}$ 。也就是说，在上述原煤中掺入 2% 的矸石，灰分由 25% 上升至 26%，发热量由 24.60MJ/kg 降至 24.12MJ/kg。表面上看，其煤质下降并不显著，但这种混入 2% 的矸石的煤，对电厂来说，就应视为低质煤。因此仅仅从灰分或发热量的高低来判定是不是低质煤并不完全恰当。建议尽快制定煤中含矸率测定方法的电力行业标准，并将其列入入厂煤的常规监督项目之中，读者可参见《电力用煤采制化技术及其应用》（修订版）一书。

五、煤炭组成与燃烧特性

(一) 煤炭组成

任何一种煤，不论其产品品种如何，都是由可燃及不可燃组分组成的。
火力发电厂以煤作燃料，就是利用其燃烧特性。煤燃烧时煤中水分被蒸发，煤中的挥发分与固定碳燃烧时产生二氧化碳及水汽，并释放大量的热量，燃烧后的残渣就是灰分。故水分与灰分为煤中不可燃组分，挥发分与固定碳为煤中可燃组分。它们相对含量或多或少，但总和应为 100%。

(二) 煤质特性指标的表示符号

任何一项煤质特性指标均可用一定的符号表示，这些符号具有国际通用性，同时读者在阅读标准及各种专业书刊时也会觉得十分方便。

现在规定各煤质特性指标用英文名称的第一个大写字母来表示（发热量除外），如灰分的英文名称为 ash，故用符号 A 表示；硫的英文名称为 sulfur，故用符号 S 表示；哈氏可磨性指数的英文名称为 Hardgrove Grindability Index，故用 HGI 来表示。煤质特性指标中英文名称及符号见表 1-4。

表 1-4 煤质特性指标中英文名称及符号					
特性指标	英 文 名 称	符号	特性指标	英 文 名 称	符号
水 分	moisture	M	硫	sulfur	S
全水分	total moisture	M_t	高位发热量	gross calorific value	Q_{gr}
灰 分	ash	A	低位发热量	net calorific value	Q_{net}
挥发分	volatile matter	V	变形温度	deformation temperature	DT
固定碳	fixed carbon	FC	软化温度	softening temperature	ST
碳	carbon	C	半球温度	hemispherical temperature	HT
氢	hydrogen	H	流动温度	fluid temperature	FT
氧	oxygen	O	哈氏可磨性指数	Hardgrove grindability index	HGI
氮	nitrogen	N			

(三) 煤质特性指标的分类

煤的组成决定其燃烧性能，它可用工业分析及元素分析两种方法表示。所谓工业分析，是指用水分、灰分、挥发分和固定碳表示煤质分析的总称；所谓元素分析，是指以碳、氢、氧、氮、硫五种元素含量表示煤质分析的总称。除此之外，其他的煤质特性，如可磨性、磨损性、着火性等，在本书中则统归于物理性能一类。

1. 工业分析指标

在工业分析四项特性指标中，水分是不可燃成分，灰分代表无机矿物质的含量，也是一种不可燃成分，故 100－水分－灰分，就大致代表有机可燃物的含量。其中挥发分表示易挥发的有机物含量，固定碳代表不挥发的有机物含量，它们之和为

$$M+A+V+FC=100 \tag{1-1}$$

式中 M、A、V、FC——水分、灰分、挥发分和固定碳的含量，%。

根据工业分析指标，可基本反映该煤的性质与特点，从而确定其在工业上的实用价值。在火力发电厂，对入厂及入炉煤进行工业分析，是一项常规性的检验工作。

2. 元素分析指标

煤的元素分析指标，是指组成煤中有机质的碳、氢、氧、氮、硫五种元素含量，因为煤中硫包括可燃硫及不可燃的硫酸盐硫，故按元素分析指标来表示，水分、灰分及各元素含量之和为

$$M+A+C+H+O+N+S_c=100 \tag{1-2}$$

式中 M、A、C、H、O、N、S_c——煤中水分、灰分、碳、氢、氧、氮、可燃硫的含量，%。

由于在煤中，一般不可燃硫酸盐硫含量较低，故可燃硫 S_c 可近似地用煤中全硫 S_t 来代替，则式（1-2）可写成

$$M+A+C+H+O+N+S_t=100 \tag{1-3}$$

由于水分及灰分为煤中不可燃组分，故工业分析中的挥发分与固定碳则相当于上述 5 种元素含量，即

$$V+FC=C+H+O+N+S_t \tag{1-4}$$

煤中各元素含量的比值随煤种不同而异，如表 1-5 所示。

表 1-5 煤中各元素的含量

煤 种	碳	氢	氧	氮	有机物热量 (J/g)
褐 煤	69	5.5	24	1.5	23840
烟 煤	82	4.3	12	1.7	35125
无烟煤	95	2.2	2.0	0.8	33870

（四）煤的组成与燃烧

1. 工业分析指标中挥发分与固定碳

在工业分析指标中，挥发分与固定碳是可燃成分。

挥发分是评定煤的燃烧性能的首要指标。不同煤种的挥发分含量及其组成是不同的，煤的挥发分含量基本上随煤的变质程度加深而减少，而挥发分开始逸出的温度则随煤的变质程度加深而增高，见表 1-6。

我国电力用煤中，烟煤约占 90%。

表 1-6 各种煤的挥发分特性

煤 种	挥发分开始逸出温度 (℃)	挥发分发热量 (J/g)
褐 煤	130~170	约 25700
烟 煤	210~390	29300~56500
无烟煤	≈400	约 69000

烟煤挥发分的成分见表 1-7。

表 1-7 烟煤挥发分的成分

挥发分成分	CH ₄	H ₂	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	H ₂ S	C ₂ H ₆ O
各成分含量 (%)	28~32	42~51	7~10	2~4.5	2~3	0.75	少量

由表 1-7 可以看出,挥发分主要是由碳、氢元素组成的。这里所说煤中的碳,是指煤中的总碳,它大于煤中固定碳含量。煤的变质程度越深,二者的差值越小;反之,则越大。

煤中固定碳是指煤去除了水分、灰分及挥发分后的残留物。或者说,它是在测定挥发分后的残余物中除去灰分的残渣。从工业分析角度来看,挥发分与固定碳是煤中可燃成分,是煤的发热量来源。

煤中固定碳与挥发分一样,也是表征煤的变质程度的一项指标,即煤中固定碳含量随煤的变质程度的加深而增大。一般褐煤 $FC_{daf} \leq 60\%$,烟煤为 $50\% \sim 90\%$,无烟煤往往大于 90% 。

固定碳与挥发分含量的比值,称为煤的燃料比,用它同样可以表征煤的变质程度。一般煤的燃料比:无烟煤为 $9 \sim 49$,烟煤为 $1.1 \sim 9$,褐煤为 $0.6 \sim 1.5$ 。

在煤的工业分析中,水分、灰分、挥发分含量均通过实际测定而得到,而固定碳则可用差减法 $100 - M - A - V$ 计算而得。

2. 元素分析指标中碳与氢

碳是煤组成中最重要的元素。在充足的空气下,碳完全燃烧产生二氧化碳,每克碳可释放出 $34040J$ 的热量;当空气不足时,燃烧生成一氧化碳,其释放的热量大为降低,仅产生 $9910J$ 的热量。一氧化碳本身也是一种可燃气,当空气充足时,还可燃烧生成二氧化碳,同时释放出 $24130J$ 的热量。由表 1-5 可以看出,碳含量在无烟煤中的比重要高于烟煤,更高于褐煤。

氢是组成煤的另一重要元素。氢在煤中的含量随煤的变质程度加深而减少,故无烟煤中氢含量最低,烟煤次之,褐煤最高。

煤中氢有两种存在形态:化合态及游离态。化合态的氢通常是指矿物质结晶水中的氢,这种氢是不能燃烧的;而游离态的氢则与碳构成煤的可燃组分之一,即挥发分,燃烧时与空气中的氧反应,释放出很高的热量。每克游离氢燃烧可释放出 $143010J$ 的热量,约为同量碳完全燃烧产生热量的 4 倍。由于煤中氢含量远比碳含量低,故决定煤发热量高低的不是氢而是碳。

氧在煤中呈化合状态存在,它的含量随煤变质程度的加深而减少。有的褐煤中氧含量可高达 40% ,而有的无烟煤中只有 $1\% \sim 2\%$ 。

氮在煤中含量较少,一般认为是有机氮,其含量多在 1% 左右。煤燃烧时,氮多呈游离态随烟气排出,故从燃烧角度来说,氮是煤中的无用成分。

硫在不同产地的煤中,其含量相差较大,通常在 $0.5\% \sim 5\%$ 范围内变化。煤中硫一般以可燃硫为主,燃烧时,虽然也能释放少量的热量,但其燃烧产物二氧化硫及少量三氧化硫,会造成对大气的污染及锅炉尾部受热面的腐蚀,故硫是煤中的一种有害元素。

第二节 煤的基准及其应用

煤的基准是燃料专业最为重要的基础知识，它的应用贯穿于煤质管理、监督、检测的各个环节，应用极其广泛。

生产人员必须在理解基准含义的基础上，熟练地掌握基准间的换算方法，了解不同基准在电力生产中的应用。这对所有与煤相关的人员来说，都是一项基本要求，故必须对煤的基准问题切实加以重视。

一、基准的含义与表示方法

1. 基准的含义

煤所处的状态或者按需要而规定的成分组合，称为基准，或简称为基。例如，原煤含有水分，而干煤没有水分，这两种煤所处的状态不同，我们就说，它们处于不同的基准。前者为收到基准，后者为干燥基准。

当原煤中灰分为 30% 时，全水分为 10%，那么干煤中的灰分则为 $30/90$ ，即 33.3%。这说明煤中某一特性指标用不同基准表示时，其数值是不同的。

在本章第一节中已指出，煤中水分、灰分、挥发分及固定碳四种成分之和为 100，对于干煤来说，水分为 0，那么煤的成分组合应是灰分、挥发分及固定碳三者之和为 100。也就是说，煤的成分组合情况反映了煤所处的状态，或者说，反映了煤处于不同的基准。

2. 基准的表示方法

基准有多种表示方法，对电力用煤来说，常用的基准有以下几种。

(1) 收到基准。是指以收到状态的煤为基准，用符号 ar 来表示。例如电厂收到的商品煤，其各项特性指标就应该以收到基表示，如收到基灰分 A_{ar} 、收到基全硫 $S_{t,ar}$ 等。

(2) 空气干燥基准。是指以与空气湿度达到平衡状态的煤为基准，同符号 ad 来表示。例如原煤样经制样后，送往试验室进行煤质检测的分析试样就是处于空气干燥状态，其各项特性指标就应该以空气干燥基表示，如空气干燥基水分 M_{ad} 、空气干燥基高位发热量 $Q_{gr,ad}$ 等。空气干燥基常简称为空气干燥基。

(3) 干燥基准。是以假想无水状态的煤为基准，用符号 d 表示。说干燥基是一种假想的状态，是因为实际上的无水干煤是不能稳定存在的，只要它与空气接触，就会吸收空气中的水分，直至达到与空气湿度平衡为止，也就是由干燥状态最终转为空气干燥状态。

(4) 干燥无灰基准。是指以假想无水、无灰状态的煤为基准，以符号 daf 表示。例如干燥无灰基挥发分 V_{daf} 、干燥无灰基含氢 H_{daf} 。煤中无水、无灰、实际上指的是煤中的可燃成分，故只有煤中的可燃成分如 V、FC、C、H 等才可能用干燥无灰基表示。另一方面，任何煤不可能没有灰，灰分含量只是高低不等而已，故无水、无灰状态的煤实际上是不存在的，这种状态的煤，也只是一种假想状态。

基准的符号是以英文名称的第一个字母小写来表示的，如空气干燥基准的英文名称为 air dried basis，故用符号 ad 表示，干燥无灰基准的英文名称为 dry ash-free basis，故用符号 daf 表示。在书写时，它应标在特性指标符号的右下角。

除上述四种常用基准外，还有干燥无矿物基准 (dmmf)、恒湿无灰基准 (maf)、恒湿无矿物基准 (mmf) 等，由于它们应用较少，本书就不一一说明。

这里需要特别指出的发热量的各种表示方法，发热量有弹筒、高位、低位之分，又有基准之别。

由于煤的燃烧条件不同，可将发热量分为弹筒发热量 Q_b 、高位发热量 Q_{gr} 及低位发热量 Q_{net} ，这在本书发热量测定一章中还将作详细说明。

如空气干燥基高位发热量，则用 $Q_{gr,ad}$ 表示；收到基低位发热量，则用 $Q_{net,ar}$ 来表示。

3. 以不同基准来表示煤的组成

所谓基准，通俗地讲，就是指煤所处的状态，这比较容易理解；而基准还可以是按需要规定的成分组合，则往往不易理解。既然基准是指煤所处的状态，如干燥状态，那么该状态的煤不包含水分，自然煤的组成也就发生相应的变化，这样也就不难理解煤的基准与组成之间的关系。

当对煤质特性指标用不同基准表示时，则可以写成不同的表达形式。

(1) 用收到基准表示，煤的组成为

$$M_{ar} + A_{ar} + V_{ar} + FC_{ar} = 100 \quad (1-5)$$

$$M_{ar} + A_{ar} + C_{ar} + H_{ar} + N_{ar} + O_{ar} + S_{c,ar} = 100 \quad (1-6)$$

(2) 用空气干燥基准表示，煤的组成为

$$M_{ad} + A_{ad} + V_{ad} + FC_{ad} = 100 \quad (1-7)$$

$$M_{ad} + A_{ad} + C_{ad} + H_{ad} + N_{ad} + O_{ad} + S_{c,ad} = 100 \quad (1-8)$$

(3) 用干燥基准表示，煤的组成为

$$A_d + V_d + FC_d = 100 \quad (1-9)$$

$$A_d + C_d + H_d + O_d + N_d + S_{c,d} = 100 \quad (1-10)$$

(4) 用干燥无灰基表示，煤的组成为

$$V_{daf} + FC_{daf} = 100 \quad (1-11)$$

$$C_{daf} + H_{daf} + O_{daf} + N_{daf} + S_{c,daf} = 100 \quad (1-12)$$

二、不同基准间的关系与换算方法

只有切实理解各个基准的含义，才能区分不同基准之间的关系，从而进行基准间的换算。

1. 不同基准间的关系

收到基准可以理解成电厂所收到的原煤所处的状态；空气干燥基准是测定煤质特性指标时试样所处的状态；干燥基准是指除去了全部水分的干燥所处的状态；干燥无灰基准是假想不计不可燃组分，即只有可燃组分的煤所处的状态。

(1) 收到基与空气干燥基的差异，即相差外表水分，收到基与干燥基的差异，则相差煤的全水分；收到基与干燥无灰基的差异，则相差全水分及收到基灰分。

(2) 空气干燥基与干燥基的差异，即相差煤的空气干燥基水分；空气干燥基与干燥无灰基的差异，则是相差空气干燥基水分及空气干燥基灰分。

(3) 干燥基与干燥无灰基的差异，即相差煤的干燥基灰分。

由此可知，不同基准之间的关系，实际上就是相差水分或灰分，有时则同时相差水分与灰分。

根据不同基准的含义，当某一煤质特性指标用不同基准表示时，就有不同的数值，其中以收到基表示的数值最小，空气干燥基次之，干燥基较大，干燥无灰基最大。

某一煤样，其工业分析指标按不同基准计算的百分含量参见表 1-8。

表 1-8

某一煤样其成分按不同基准的计算值

%

成分 \ 基准	收到基	空气干燥基	干燥基	干燥无灰基
水分	10.00	2.00	—	—
灰分	25.71	28.00	28.57	—
挥发分	27.55	30.00	30.61	42.86
固定碳	36.74	40.00	40.82	57.14
总和	100	100	100	100

由表 1-8 可以看出：

(1) 某一煤质特性指标当用不同基准表示时，其数值是不同的，随收到基→空气干燥基→干燥基→干燥无灰基的顺序依次增大，反之则依次减小。

(2) 无论采用何种基准表示，煤中各成分之和一定是 100%。同时还可看出，只有采用同一基准，各特性指标值才可以直接相加减；如采用不同基准，则要将其换算到同一基准后进行运算。

(3) 采用干燥基准时，因不含水分，故灰分、挥发分、固定碳三者之和为 100%；采用干燥无灰基准时，因不含水分与灰分，故挥发分与固定碳二者之和为 100%。

(4) 因干燥基是指没有水分的煤所处的状态，故没有干燥基水分这一提法。同理，也没有干燥无灰基水分及干燥无灰基灰分之说。

2. 基准的换算

煤中全水分采用粒度小于 13mm 或小于 6mm 的试样测定，故其测定结果采用收到基准表示，即 M_{ar} 。收到基水分 M_{ar} 常与全水分 M_t 混用；其他煤质特性指标，均采用空气干燥试样测定，故其测定结果采用空气干燥基表示，如 A_{ad} 、 V_{ad} 、 $S_{t,ad}$ 、 $Q_{gr,ad}$ 等。

为了进行基准间的换算，首先要理解基准的含义，清楚各基准间的差异，掌握如表 1-8 所示规律，就不难进行基准间的换算，并不需要死记硬背众多的计算公式。现以实例来加以说明。

【例 1-1】 已知煤的收到基灰分为 25.65%，全水分为 M_t 9.2%，问干燥基灰分 A_d 为多少？

解：所谓干燥基灰分，就是指灰分在干燥煤中所占百分比。

$$A_{ar} = \frac{\text{灰分}}{\text{原煤}} = \frac{\text{灰分}}{\text{干燥煤} + \text{全水分}} = 25.65\%$$

本例中，全水分为 9.2%，则干燥煤为 $100\% - 9.2\% = 90.8\%$ ，故干燥灰分要比收到基灰分值大。

$$A_d (\%) = A_{ar} \times \frac{100}{100 - M_t} = 25.65 \times \frac{100}{100 - 9.2} = 28.25$$

由此可知，由收到基换算到干燥基，要乘上一个大于 1 的系数 $100 / (100 - M_t)$ ；反之，由干燥基换算到收到基，则要乘上一个小于 1 的系数 $(100 - M_t) / 100$ 。

【例 1-2】 已知煤的干燥基全硫为 1.43%，空气干燥基水分 M_{ad} 为 1.22%，求空气干燥基全硫 $S_{t,ad}$ 。

解：所谓空气干燥基全硫，就是指全硫在空气干燥基煤样中所占百分比。