

电力用煤采制化技术 及其应用

曹长武 编著

中国电力出版社

电力用煤采制化技术及其应用

曹长武 编著

中国电力出版社

内 容 提 要

本书结合电力系统的实际情况,对电力用煤采制样技术、工业分析、元素分析、发热量的测定、物理性能,灰渣特性检测技术,检测质量控制方法进行了较系统的阐述与分析。煤的特性指标在电厂中的应用分析方面的内容则有机地贯穿于全书各有关章节中。

本书不仅可供电力、煤炭、化工、冶金、轻工等行业中从事煤质检验的人员使用,也可供电厂煤质管理、锅炉设计及运行人员参考。此书不仅可作为读者在煤的采制化工作中一本实用性参考书,也可作为在职煤检人员的培训教材。此外,它还可作为燃料专业大专院校师生的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

电力用煤采制化技术及其应用/曹长武编著. -北京:中国电力出版社, 1999

ISBN 7-80125-704-9

I. 电… II. 曹… III. 煤, 电力用-质量检验-技术培训-教材 IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 39418 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>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999 年 3 月第一版 1999 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.75 印张 399 千字

印数 0001—4000 册 定价 28.00 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

煤构成了我国电力燃料的主体。电厂燃煤费用约占发电成本的80%，掌握电力用煤采制化技术及其在电厂中的应用方法与要求，对加强电厂煤质监督，确保入厂及入炉煤质量，保证锅炉安全经济运行及降低发电成本有着极为重要的意义。随着电厂锅炉的日益大型化，对煤质监督的要求也越来越高。因此，要求煤质检验人员不断提高业务水平，除掌握燃煤的采制化技术外，还应更多地了解煤质特性与电力生产的关系，从而更好地发挥煤质监督的作用。

本书注重理论联系实际，反映了电力系统多年来在电力用煤采制化技术方面的成果及在生产应用方面的经验，内容具有较强的针对性。本书不同于煤质检验规程，不是重复具体的操作步骤，而是侧重对采制化技术的阐述。书中虽然以论述标准采制样与化验方法为主，但同时将若干具有实用性及国外先进的采制化方法与技术介绍给读者。本书不单纯讲述采制化技术，而是密切结合我国电厂实际，对煤质特性与电力生产的关系作了较深入的分析与说明。在编排上，将采制化技术与其应用融为一体，从而形成了本书的特点。

武汉水利电力大学尹世安教授负责审阅本书，并提出了不少宝贵意见和建议；在写作过程中，山东省电力局杨爱东以及山东电力科学研究院刘颖琳、刘奕斌、周桂萍和宋丽莎等同志也提出了中肯的意见，并协助清稿与绘图，在此一并表示感谢。

由于作者水平所限，书中不当之处在所难免，敬请专家及广大读者提出意见，以便再版时更正。

山东电力科学研究院 曹长武

1998年6月

前言

第一章 电力用煤特性及应用概述	1
第一节 煤炭分类及煤炭产品	1
第二节 电力用煤及其特性指标	4
第三节 发电用煤质量与劣质煤的应用	7
第四节 煤的基准及其应用	12
第五节 煤质监督与电力生产	17
第六节 对煤质特性检测基本要求与一般规定	19
第二章 电力用煤采制样技术	26
第一节 煤炭采样的基本概念	26
第二节 电厂入厂煤人工采样	30
第三节 电厂入炉煤人工采样	43
第四节 煤样的制备技术	46
第五节 电厂入炉煤粉与灰渣的采制样	55
第六节 采煤样机及其性能检验	58
第七节 采煤样机在电厂中的应用	72
第三章 煤的工业分析	82
第一节 概述	82
第二节 煤中水分的测定	88
第三节 煤中灰分的测定	91
第四节 煤中挥发分的测定	96
第五节 煤工业分析指标的热重法测定	99
第六节 煤工业分析指标的在线检测	101
第四章 煤的元素分析	108
第一节 概述	108
第二节 煤中碳和氢的测定	112
第三节 煤中氮的测定	123
第四节 煤中碳、氢、氮同时测定（高温燃烧红外吸收法及热导法）	128
第五节 煤中全硫的测定	131

第六节	煤中形态硫的测定及硫的危害	138
第七节	煤中微量元素的测定	143
第五章	煤的发热量测定	146
第一节	基本概念	146
第二节	发热量测定装置——热量计	148
第三节	煤的发热量测定方法	154
第四节	量热温度计	157
第五节	冷却校正及其计算	161
第六节	热容量及其标定	164
第七节	发热量的计算	168
第八节	发热量测试中的主要技术问题	173
第九节	绝热式热量计的使用	179
第十节	热量计综合性能的检定	182
第十一节	发电厂标准煤耗的计算	186
第六章	煤的物理性能检测与电力生产	188
第一节	电厂锅炉与煤粉燃烧	188
第二节	煤的密度与电力生产	192
第三节	煤炭含矸率与电力生产	196
第四节	煤粉细度与电力生产	198
第五节	煤的可磨性与电力生产	203
第六节	煤的磨损指数与电力生产	209
第七节	煤的着火点与电力生产	214
第七章	灰渣特性检测与应用	218
第一节	灰渣可燃物的测定	218
第二节	煤灰熔融性的测定	220
第三节	煤灰熔融性测定气氛条件的选择	230
第四节	煤灰熔融性与电厂锅炉结渣	234
第五节	煤灰成分的测定方法	238
第八章	煤质检测结果的质量控制	246
第一节	误差理论的基础知识	246
第二节	煤质检测结果的质量控制	250
第三节	检测数据的处理方法	262
第四节	标准煤样及其应用	269
附录	镇江市煤质制样设备厂产品简介	275

第一章

电力用煤特性及应用概述

能源工业是国民经济的基础。煤、石油、天然气、核能等均是重要能源，它们都可作为发电燃料，其中应用最广的是煤。

1996 年我国生产的一次能源，包括原煤、原油、天然气、水电等，折合标准煤 12.6 亿 t，居世界前列；原煤产量 13.8 亿 t，因此我国是世界第一产煤大国。

电力是一种先进和使用方便的能源。为合理地利用能源资源，我国将大力发展水力发电及建设燃煤坑口电厂，并逐步发展核电。1996 年全国完成发电量 10750 亿 kW·h，其中水力发电 1850 亿 kW·h，火力发电 8757 亿 kW·h，核能发电约 143 亿 kW·h。1996 年电力工业部部属电网完成火电发电量为 6551 亿 kW·h，比上年增长 10.5%，供热量 2.25×10^{14} kJ，比上年增长 1.4%。部属电网各电厂耗用煤炭 3.72 亿 t，比上年增加 3373 万 t；耗用燃料油 548 万 t，较上年略有减少。

目前我国装机容量已达到 2.3 亿多 kW。机组容量及电厂规模均在不断扩大，电力用煤消耗及其费用激增，煤炭费用现占火电厂成本的 80% 左右。掌握电力用煤特性检测技术，确保入厂煤质量，对电厂的安全经济运行具有十分重要的意义。

本章重点介绍电力用煤的基础知识，说明对电力用煤特性检测的一般性要求，概述电力用煤与生产之间的关系，从而为全书内容的展开及阐述打下基础。

第一节 煤炭分类及煤炭产品

煤是重要的能源资源，它在各种工业及民用部门有着广泛的应用，电力用煤主要包括烟煤、无烟煤及褐煤，其中以烟煤所占的比重最大。

一、煤的成因与分类

1. 煤的成因

煤是古代植物的遗骸。这些植物遗骸是从最低级的菌藻类植物直到高等植物等各类植物死亡后形成的。由于地壳的变动，这些植物被埋在地下，因受地层压力与地热作用逐步演变成煤。由植物演变成煤经历了亿万年，发生了一系列变化。一般说来，这种变化可分为两个阶段：泥炭化作用阶段和煤化作用阶段。

古代植物由于细菌的作用而发生腐烂与分解，其内部组织遭到破坏，一部分物质转为气体逸出，残余的物质开始变成通常所说的泥炭。植物在沼泽中经生物化学与物理化学变化形成泥炭的过程，称为泥炭化作用。泥炭在地下受不断增高的压力及地壳深处温度的影响，慢慢被压紧和硬化，继续排出挥发性气体与水分，使得含碳成分比例逐渐增高，这种作用包括成岩与变质作用，统称为煤化作用。由此可知，煤实际上是古代植物经泥炭化与

煤化作用生成的固体有机可燃矿岩。

由于成煤的原始植物及其煤化程度的不同，其化学组成与其特性也就有所差异。为此，可将煤分成若干类。

2. 煤的分类

我国煤炭分类的标准，依其煤化程度，将各种煤分为无烟煤、烟煤、褐煤三大类（共 14 个类别，29 个单元），再把这三大类煤按照分类指标所处的区间分为若干小类，其中烟煤按干燥无灰基挥发分 $V_{daf} > 10\% \sim 20\%$ ， $> 20\% \sim 28\%$ ， $> 28\% \sim 37\%$ 及 $> 37\%$ 的四个区段分为低、中、中高及高挥发分烟煤。中国煤炭分类简表见表 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	$Y(\text{mm})$	$b(\%)$	$P_M(\%)$	$Q_{gr,maf}$ (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 15,25	$> 20.0 \sim 28.0$ $10.0 \sim 28.0$	$> 50 \sim 65$ 65^*	≤ 25.0	(≤ 150)		
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 43,44,45	$> 28.0 \sim 37.0$ > 37.0	$> 50 \sim 65$ > 35	≤ 25.0	(≤ 220)		
$\frac{1}{2}$ 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 52	> 37.0 > 37.0				< 30 $> 30 \sim 50$	< 24

* 参阅国标 GB5751—86。

由表 1-1 可以看出，我国煤炭的分类指标最主要的是干燥无灰基挥发分 V_{daf} 及黏结指数 $G_{R,1}$ 或 G 。

V_{daf} 表示干燥无灰基挥发分。煤的挥发分，是将煤样在 $900^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 于隔绝空气的条件下，加热 7min，由煤中有机物分解出来的液体（呈蒸汽状态）及气体产物。无灰干燥基，是以假想的干燥无灰状态的煤为基准的表示方法。

$G_{R,t}$ 为黏结指数，是指在规定条件下以烟煤在加热后黏结未用无烟煤的能力。

Y 为胶质层最大厚度，是指在烟煤胶质层指数测定中利用探针测出的胶质体上下层面差的最大值。

b 为奥阿膨胀度，它是表征烟煤膨胀性和塑性的指标；

P_M 为透光率，专指褐煤、长焰煤在规定条件下用硝酸与磷酸的混合液处理后所得溶液的透光百分率。

$Q_{gr,maf}$ 为恒湿无灰基高位发热量，这将在本书第五章中有所说明。

无烟煤与烟煤统称为硬煤。无烟煤的碳化程度比烟煤高，它挥发分低、着火点高，无粘结性，燃烧时多不冒烟；烟煤是碳化程度低于无烟煤的硬煤，其挥发分范围很大，燃烧时多冒烟；褐煤是经过成岩作用，没有或很少经过变质作用形成的煤，外观多呈褐色，光泽暗淡，多含数量不同的腐植酸。

二、煤炭品种

煤炭品种不同于煤种，二者不可混为一谈。煤炭品种，是煤炭经过拣矸或筛选加工后所获得的具有不同用途与质量的煤炭产品种类。

1. 煤炭产品种类

目前，我国煤炭产品品种与等级的划分主要根据加工方法、用途及煤炭品质的不同而划分为五大类 27 个品种。

(1) 精煤 指煤经过分选后生产出来的符合规定质量要求的精选产品，其灰分 $A_d \leq 12.50\%$ 的为冶炼用炼焦精煤；灰分在 $12.51\% \sim 16.00\%$ 的为其它用炼焦精煤。

(2) 粒级煤 指经过洗选或筛选加工后，粒度在 6mm 以上的煤炭品种，其中粒度为 6~13mm 的煤称为粒煤。凡是经过洗选的产品则加洗字，如洗大块、洗中块等。粒级煤共分 14 个品种，它们分别是：洗中块、中块、洗混中块、混中块、洗混块、混块、洗大块、大块、洗特大块、特大块、洗小块、小块、洗粒煤和粒煤。

(3) 洗选煤 指经过洗选、分级等加工处理的煤。其中混煤粒度在 50mm 以下，末煤在 13（或 25）mm 以下，粒煤在 6mm 以下。洗选煤共分 7 个品种，它们分别是洗原煤、洗混煤、混煤、混末煤、末煤、洗粉煤和粉煤。

(4) 原煤 指从煤矿直接开采出来的毛煤中，选出规定粒度的矸石（包括黄铁矿等杂物）后的煤炭产品。

上述四大类煤炭产品的灰分 A_d 应均不大于 40%。

(5) 低质煤 指灰分 $A_d > 40\%$ 的各种煤炭产品，包括灰分为 $40.01\% \sim 49\%$ 的原煤，灰分为 $16.01\% \sim 49\%$ 的煤泥。所谓煤泥，是指粒度小于 0.5mm 的泥状湿煤，灰分大于 32% 的中煤及其收到基低位发热量 $Q_{net,ar}$ 小于 14.5MJ/kg 的动力用煤。所谓中煤，是指煤经分选后得到的灰分介于精煤与矸石之间的产品。故低质煤分为低质原煤、低质中煤及煤泥（水采煤泥）三个品种。

2. 煤炭产品等级

根据灰分的大小按一定间隔将各品种的煤分为若干等级，其中精煤每个等级的灰分间隔为 0.5%；其余的煤炭产品在其灰分为 $4.01\% \sim 40.00\%$ 范围内，每个等级的灰分间隔

为 1%；当灰分为 40.01%~49.00% 时，每个等级的灰分间隔为 3%。

根据上述分级，冶炼用炼焦精煤分为 15 个等级，其他用炼焦精煤分为 7 个等级，而其余煤炭品种则分为 39 个等级。

国家规定，动力用煤按发热量计价。它是按收到基低位发热量 $Q_{\text{net,ar}}$ 的大小来划分等级的，每个等级的发热量间隔为 0.5MJ/kg。 $Q_{\text{net,ar}}$ 在 9.51~29.50MJ/kg 范围内，共分为 40 个等级，并以其编号命名。例如：编号最高一级为 29.5，即 $Q_{\text{net,ar}}$ 为 29.01~29.50MJ/kg，编号最低一级为 10，即为 9.51~10.00MJ/kg。

第二节 电力用煤及其特性指标

各类煤具有不同的特点，从而决定了各自有着不同的用途。在 14 个类别的煤中，较适合作为电力用煤的是贫煤、贫瘦煤、瘦煤、弱黏煤、不黏煤、气煤、肥煤等烟煤，以及无烟煤、褐煤。

一、电力用煤

煤构成我国电力燃料的主体。目前，我国燃煤电厂发电用煤的组成大体是：烟煤占 90%，无烟煤占 5%，褐煤占 4%，其它煤占 1%。各种煤由于原始成煤植物及其煤化作用程度的不同，在其特性上有着明显的差异。煤的碳化程度随褐煤、烟煤、无烟煤的顺序而加深，见表 1-2。

表 1-2 各种煤的碳化程度

煤种	碳化程度	煤 质 特 性 说 明		
		$V_{\text{daf}} (\%)$	$Q_{\text{net,ar}}$	其 它
褐煤	低	>37~70	低	质脆、易着火及风化成粉
烟煤	中	>10~60	高	质较坚硬，着火温度较高
无烟煤	高	<10	一般	质地坚硬，不易着火

由于挥发分含量 V_{daf} 是区分煤种最主要特性指标，所以不同煤种之间的区别首先在于挥发分含量及其性质之间的差异，见表 1-3。

表 1-3 各种煤的挥发分特性

煤 种	挥发分开始逸出的温度 (℃)	挥发分发热量 (J/g)
褐 煤	130~170	约 25700
烟 煤	210~390	39300~56500
无烟煤	约 400	约 69000

煤中挥发分含量随褐煤、烟煤、无烟煤的顺序依次降低，而挥发分开始逸出的温度则依次增高，它表明其着火性能随上述顺序依次减弱。虽然无烟煤挥发分热量最高，但其含量比烟煤低得多，故无烟煤的发热量一般要低于烟煤。褐煤挥发分含量虽高，但其挥发分热量要大大低于烟煤及无烟煤，加上褐煤水分很大，因而褐煤的收到基低位发热量往往较

其它煤种要低。

综上所述，各种电力用煤所具有的基本特征是：无烟煤为碳化程度最深的煤种，以高含碳量、低挥发分、质地坚硬、不易着火为其基本特征；褐煤是碳化程度最低的煤种，外表呈褐色，以高水分、高挥发分、低发热量、易于风化和自然为其基本特征；烟煤的碳化程度则介于无烟煤与褐煤之间，挥发分含量变化范围大，其中挥发分含量较低的贫煤，也称半无烟煤，质地也较坚硬，其它特性与无烟煤大体相同。高挥发分、高发热量的烟煤易自然着火，质地较软，较易破碎。

二、电力用煤特性指标

1. 特性指标的表示方法

电力用煤的各项特性指标，例如灰分、水分、发热量等均可用一简单符号表示，而且这种符号具有国际通用性，这就便于检测人员在实际工作中应用。例如灰分用 A 表示，水分用 M 表示等。

煤中水分有全水分与空气干燥水分的区别；发热量则有弹筒、高位、低位之分。为说明某一特性指标的含义，还要采用辅助性符号来表示。现将电力用煤常见特性指标新、旧符号列于表 1-4 中。

表 1-4 电力用煤特性指标符号对照表

特 性 指 标	英 文 名 称	新符号	旧符号
水 分	moisture	M	W
全 水 分	total moisture	M_t	M_Q
灰 分	ash	A	A
挥 发 分	volatile matter	V	V
固 定 碳	fixed carbon	FC	C_{GD}
高位发热量	gross calorific value	Q_{gr}	Q_{GW}
低位发热量	net calorific value	Q_{net}	Q_{DW}
碳	Carbon	C	C
氢	hydrogen	H	H
氧	Oxygen	O	O
氮	Nitrogen	N	N
硫	Sulfur	S	S
全 硫	total sulfur	S_t	S_Q
硫 铁 矿 硫	pyritic sulfur	S_p	S_{LT}
硫 酸 盐 硫	sulfate sulfur	S_s	S_{LY}
变 形 温 度	deformation temperature	DT	T_1
软 化 温 度	softening temperature	ST	T_2
半 球 温 度	hemispherical temperature	HT	-

续表

特 性 指 标	英 文 名 称	新符号	旧符号
流 动 温 度	fluid temperature	FT	T_3
哈氏可磨性指数	Hardgrove grindability index	HGI	K_{KM}
磨损指数	abrasion index	AI	
矿 物 质	mineral matter	MM	
碳酸盐二氧化碳	carbonate carbon dioxide	CO_2	$(CO_2)_{TS}$

然而上述符号仍不能明确指出某一特性指标的准确含义，因为它们不能表示该种燃料的基准，例如含水的原煤与无水的干煤。关于煤的基准含义及表示方法等将在本章第四节中加以阐述。

2. 特性指标分类

在发电厂，煤作为燃料，主要是利用其燃烧特性，因而表征煤的燃烧特性的有关指标可归为一类。此外，为了保证电厂的安全生产与锅炉的经济运行，还必须注意和利用煤的其它方面的性能，如着火性可以反映煤的自燃倾向，可磨性则表示煤磨制成粉的难易程度等。

煤的成分决定其燃烧性能，它可以用工业分析和元素分析两种方法来表示。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、硫五种元素表示煤质分析的总称。除此以外的其它煤质特性，在本书中统归物理性能一类，如可磨性、着火性能等。

(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 $100 - \text{水分} - \text{灰分}$ 大致代表有机可燃物的含量，而其中挥发分表示易挥发的有机物含量，固定碳则表示不挥发的有机质含量。水分、灰分、挥发分及固定碳之和应为：

$$M + A + V + FC = 100 \quad (1-1)$$

式中的 M 、 A 、 V 、 FC 分别表示水分、灰分、挥发分及固定碳含量 (%)。

根据工业分析指标，可基本上弄清各种煤的性质与特点，从而确定其在工业上的实用价值。在火电厂，对入厂与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、硫五种元素的含量，因为煤中全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，则应为：

$$M + A + C + H + N + O + S_c = 100 \quad (1-2)$$

式中的 C 、 H 、 N 、 O 、 S_c 分别表示碳、氢、氮、氧及可燃硫的含量 (%)。

由于一般煤中的不可燃的硫酸盐硫含量较低，煤中硫主要以可燃硫形式存在，故可燃硫 S_c ，有时可近似地用全硫 S_t 表示。则式 (1-2) 写成：

$$M + A + C + H + N + O + S_t = 100$$

由此可知，水分及灰分为煤中不可燃成分，其它五种元素则为可燃成分。工业分析指标中的挥发分与固定碳则相当于元素成分含量。煤中碳、氢元素含量决定了发热量的高

低。煤中可燃硫参加燃烧，释放出少量热量，而煤中氮、氧一般不参加燃烧。

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 煤中各元素含量的比值

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

碳是组成煤的最为重要的元素。在充足的空气下，碳完全燃烧生成二氧化碳，每克碳可释放出 34040J 的热量；当空气不足时，则燃烧生成一氧化碳，其释放的热量大为降低，仅为 9910J。一氧化碳本身也是一种可燃气体，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。

氢是组成煤的另一个重要元素。氢在煤中的含量一般随煤的碳化程度加深而减少，故无烟煤中氢含量最低，烟煤次之，褐煤最高。煤中氢有两种不同的存在形态：化合态与“游离态”。化合态的氢通常是矿物质结晶水中的氢，这种氢是不能燃烧的；而“游离态”的氢则与碳元素等构成煤的可燃组分即挥发分，燃烧时与空气中的氧发生反应，释放出很高的热量，每克“游离氢”燃烧可释放出 143010J 的热量，几乎是碳完全燃烧产生的热量的 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含量而是碳含量。

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

氮在煤中含量较少，通常在 1% 左右。煤燃烧时，氮多呈游离态随烟气逸出，故从燃烧角度来说，氮是煤中无用成分。同时，煤燃烧时，煤中氮或多或少产生一些有害的氮氧化物，随烟气逸出而对环境产生一定的污染。

在不同产地的煤中硫含量相差很大，少则低于 0.5%，多则高达 5% 以上。煤中硫燃烧，虽然能释放出少量热量，但其燃烧产物主要为二氧化硫并伴有很少量的三氧化硫，它会促使锅炉尾部受热面遭到腐蚀并造成对大气的污染，故煤中硫对燃烧来说，是一个有害元素。

由于挥发分主要包括碳、氢等元素，故固定碳总低于元素碳（总碳）含量。煤中挥发分含量越高，则二者的差值越大，同时氢含量一般也就较大。

第三节 发电用煤质量与劣质煤的应用

当今发电厂锅炉普遍采用煤粉悬浮燃烧方式，即入厂煤经破碎及制粉工艺后制取出一定细度的煤粉，借助于热风通过喷燃器进入炉膛燃烧。因此，电力用煤必须满足电厂安全经济运行的要求，同时，为了充分利用能源，某些劣质煤及油母页岩等均可作为发电燃料。

一、发电用煤质量标准

无烟煤、烟煤（包括贫煤）、褐煤均可用作发电用煤（简称电煤）。根据煤中挥发分（发热量）、灰分、含硫量及灰熔融温度对电煤质量予以分级（见表 1-6～表 1-10）。

1. 挥发分（发热量）等级

表 1-6 电煤挥发分（发热量）等级

符 号	技 术 要 求	
	$V_{\text{def}} (\%)$	$Q_{\text{net,ar}} (\text{MJ/kg})$
V	$V_1 > 6.5 \sim 10$	(> 20.91)
	$V_2 > 10 \sim 19$	(> 18.40)
	$V_3 > 19 \sim 27$	(> 16.31)
	$V_4 > 27 \sim 40$	(> 15.47)
	$V_5 > 40$	(> 11.71)

括号中 $Q_{\text{net,ar}}$ 为本级 V_{def} 所要求的低限值。

2. 灰分等级

表 1-7 电煤灰分等级

符 号	$A_d (\%)$
A	$A_1 \leq 24$
	$A_2 > 24 \sim 34$
	$A_3 > 34 \sim 46$

3. 水分等级

表 1-8 电煤水分等级

符 号	技 术 要 求		
	$M (\%)$		$V_{\text{def}} (\%)$
M	M_t	$M_1 \leq 8$	(≤ 40)
		$M_2 > 8 \sim 12$	
	M_t	$M_1 \leq 22$	(> 40)
		$M_2 > 22 \sim 40$	

括号中 V_{def} 值为水分划分所要求的范围。

4. 全硫等级

表 1-9 电煤全硫等级

符 号	$S_{t,d} (\%)$
S	$S_1 \leq 1.0$
	$S_2 > 1.0 \sim 3.0$

5. 煤灰熔融性软化温度

表 1-10 电煤灰熔融温度等级

符 号	技 术 要 求	
	ST (℃)	$Q_{\text{net,ar}}$ (MJ/kg)
ST	>1350	>12.54
	不限	(≤ 12.54)

括号中数值表示：当 $Q_{\text{net,ar}} \leq 12.54 \text{ MJ/kg}$ 时，煤灰软化温度 ST 值不限。

电煤质量应与锅炉设备相适应。对于不符合本标准的煤，则应采用适宜煤种相掺混。对煤的粒度要求是：(洗)末煤， $< 13\text{mm}$ ；(洗)混末煤， $< 25\text{mm}$ ；中煤洗混煤， $< 50\text{mm}$ ；如不足，则可暂用原煤。

二、电力用煤的煤质要求

实际上，电力用煤的煤质特性的每项指标都要达到较理想的要求，是很难实现的，故我们应对电煤的各项特性指标加以综合分析，选用能够较好满足电力生产所需的燃料。

1. 水分

水分是电煤的一项重要特性指标。煤中水分含量越高，势必增大运输量及经济负担，降低热值，并使锅炉烟气量增加，由烟气带走的热量也越多，因此加大了排烟热损失及排风机的能耗。

煤中的水分随煤种、采煤方法、加工工艺及外界环境条件而异。褐煤水分高，烟煤次之，无烟煤水分低，电煤以水分较低为好。但水分过低也有弊端，易造成煤粉飞扬而污染环境。煤中含有适量水分对燃烧有利，火焰中含有水汽对煤粉的悬浮燃烧能起催化作用。

综上所述，电煤的水分宜控制在 $5\% \sim 8\%$ ，如煤的外在水分在 $8\% \sim 10\%$ ，就可能导致输煤、给煤系统运行障碍。

2. 挥发分

电煤的挥发分影响锅炉的稳定燃烧与制粉系统的安全运行。煤的挥发分过高，若煤在制粉系统中局部积粉，则会使温度升高甚至达到自燃；煤粉燃烧时，可使压力普遍升高，从而有可能破坏制粉系统并使火焰外喷；在敞开的空间，煤粉与空气的混合物容易引起粉尘爆炸。

煤的挥发分与着火温度之间有一定的相关性。一般说来，煤的着火性能随挥发分增高而增强，高挥发分烟煤及褐煤容易着火；低挥发分、高灰分的劣质无烟煤及贫煤难着火，容易造成锅炉燃烧不良甚至灭火。

一般说来，干燥无灰基挥发分 V_{daf} 小于 10% ，煤粉不会发生爆炸，运行时也不会有危险； V_{daf} 大于 25% 时，则危险较大。故贫煤及低挥发分烟煤较适合作为发电用煤。

3. 灰分与发热量

灰分与发热量是衡量发电用煤最重要的特性指标，也是煤炭计价的主要依据。

煤中灰分与发热量之间具有较好的相关性。灰分越高，意味着煤中可燃成分减少，发

热量降低, 燃烧温度下降, 燃烧稳定性减弱, 锅炉效率降低。此外, 煤中灰分高, 锅炉受热面的沾污、磨损就会加剧。炉膛受热面的沾污常常引起锅炉结渣及过热器超温而威胁运行; 同时, 对除尘设备的性能、烟囱的高度都有较高的要求, 增大了基建投资及运行费用。

另外, 电厂要解决大量粉煤灰的输送、贮存问题。在人口日益增多而土地短缺的情况下贮灰场地不易解决。全国火电厂年排粉煤灰量近亿吨, 而目前灰的利用率约为 40%, 故贮灰场地不可缺少。以一个容量为 60 万 kW 的电厂为例, 燃用灰分为 26.5% 的煤, 容积达 1000 万 m^3 的贮灰场地也只够存灰 20 年。再者, 电厂排出的灰, 通常要通过输灰管道借助水力送往贮灰场。从电厂到灰场近则数公里, 远则十多公里, 甚至更长。凭借水力输灰, 即使采用高浓度的灰浆泵排灰, 灰水比也得 1:4 左右; 如用普通灰浆泵排灰, 其灰水比则高达 1:15 左右。冲灰水的外排, 又会遇到灰水 pH 值及含氟量可能超标的问题, 同时在排灰过程中还会产生冲灰管道结垢及磨损等问题。

电力用煤要求灰分不能太高, 热值不能太低。电厂也不能用低灰分、高热量的精煤, 因为煤价太高。燃煤灰分及发热量的要求随锅炉设计参数不同而有所差异。但总的来说, 对一般煤粉锅炉, 当使用贫煤或其它低挥发分烟煤时, 灰分要求在 20%~30%, 不得超过 40%; 收到基低位发热量 $Q_{\text{net,ar}}$ 19000~23000J/g, 最低不少于 16700J/g。至于锅炉设计时就考虑燃用劣质煤, 则当属别论。

4. 含硫与含氟量

煤中硫是有害成分, 是火电厂排放二氧化硫而造成环境污染的主要因素。煤燃烧时, 煤中可燃硫主要生成 SO_2 (并有少量的 SO_3 产生), 从烟囱排到大气中去, 而不可燃硫则进入烟尘及炉渣。电煤通常含硫为 0.5%~3%, 烟气中 SO_2 含量约为 700~4300 mg/m^3 , SO_3 含量仅数十毫克/立方米。

电厂锅炉燃用高硫煤, 由于硫的氧化作用, 锅炉尾部受热面易发生腐蚀与堵灰, 缩短低温段预热器的寿命; 另一方面, 含硫量的增高, 促使灰熔融温度降低, 导致锅炉结渣或加重结渣。如果煤的挥发分含量较高, 硫含量增高会增大煤的阴燃倾向, 导致煤粉仓因温度升高而自燃。

对于电煤来说, 要求供应低硫煤, 高于 3% 者, 不宜使用。如应用高硫煤, 为确保电厂中 SO_2 的排放不致污染环境, 则须在电厂中加装烟气脱硫装置。由于脱硫装置投资与运行费用很高, 技术上也有相当难度, 目前国内只有个别电厂中加装试用。

除硫外, 煤中氟也是一种有害元素。煤中氟含量通常不大于 0.05%, 但水中含氟量一般很低, 故煤中氟是电厂冲灰水氟污染的源头。煤燃烧时, 约 95% 的氟转为 HF 、 SiF_4 等挥发物进入大气。目前, 国家对冲灰水中含氟量有所要求, 超标者要受到罚款处罚。由于冲灰水量大, 除氟费用高, 故电厂只能寄希望选用低氟煤。

5. 可磨性

煤的可磨性用来表征其磨制成粉的难易程度。煤越软, 可磨性指数越大, 磨粉时电耗越小。电厂锅炉设计人员习惯使用哈氏可磨性指数 (HGI) 来决定制粉设备, 哈氏可磨性指数每相差 10 个单位, 磨煤机约相差 25% 的出力。电煤要求 HGI 在 50~90 范围内。低

于 50 者为特硬煤，高于 90 者为特软煤。电厂希望用 HGI 值较大的煤以减少磨煤机能耗而提高运行的经济性。

6. 灰熔融性与灰成分

灰熔融性是影响锅炉安全经济运行的指标。锅炉结渣会使受热面减少，烟温升高，锅炉出力降低，结渣严重时，会受迫停炉。对于液态排渣锅炉，其运行在更大程度上受煤灰熔融性及流动特性的影响，尤须提供可靠的灰熔融性数据。

在用来表征煤灰熔融性的 DT、ST、FT 这三个温度中，以软化温度（ST）更具特征，通常以 $ST=1350^{\circ}\text{C}$ 为分界线。对电厂固态排渣炉来说，ST 要大于 1350°C ，且越大越好。因为灰熔融性温度越低，结渣可能性越大。

在考察灰渣特性时，还应注意有长渣与短渣之分。两者之区别在于灰渣粘度受温度变化的影响不同。灰渣粘度受温度影响大者为短渣；影响小者为长渣。长渣一般表现为 $FT\sim DT$ 间温差大，例如达 200°C 或更大；短渣的 $FT\sim DT$ 间温差小，常常在 100°C 以内。电厂燃用长渣煤，固态排渣炉的结渣相对较缓慢，即使结渣也常是局部性的；燃用短渣煤，可能出现短时间内大面积严重结渣的情况。

为了避免锅炉严重结渣，对煤质及灰渣特性方面的要求是：煤的灰分及含硫量不宜太高，煤粉粒度不宜太大，煤灰应具有较高的 ST 值，特别是避免使用低熔融性的短渣煤。另外，应选用灰熔融性受气氛条件影响较小的煤，这种煤的灰渣特性受锅炉运行工况的影响较小，从而有助于锅炉的稳定燃烧。

煤灰熔融性与煤灰组成有着密切关系。从本质上讲，煤灰熔融性取决于煤灰的化学组成及其结构。煤灰成分通常均用各种氧化物的百分含量来表示。它主要由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 Mn_3O_4 、 V_2O_5 等组成。多数煤灰中，硅、铝、铁三种氧化物之总和就达 90% 以上。对煤灰中含量较少的磷、锰、钒等氧化物一般不作测定。在煤灰成分中， Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 及 K_2O 属碱性组分； SiO_2 、 Al_2O_3 及 TiO_2 属酸性组分。利用此二者的比值可以确定特征灰渣黏温特性及计算结渣指数，这在电厂运行中具有较高的参考价值。

提供可靠的煤灰成分数据，有助于判断和防止灰渣对锅炉设备的侵蚀作用，有助于预测冲灰管道的结垢可能性与程度，并根据灰中各成分相对含量的高低以确定综合利用的可能途径，以及利于大体上判断煤灰的熔融特性与灰渣流动特性等。

三、劣质燃料的应用

为了充分利用能源资源，要求大力开发利用劣质煤作为发电燃料。所谓劣质煤，主要是指高灰分、高水分、低发热量的煤。

在工业上，常用的劣质煤有：高灰分、低发热量的劣质无烟煤；低挥发分、难着火的无烟煤；高灰分或高水分、低发热量的褐煤；高挥发分、高灰分、低发热量的油母页岩；低挥发分、低发热量的石煤等。现将石煤及油母页岩的分布、特性及其在电厂的应用等方面情况概述如下。

1. 石煤

石煤由菌藻类植物经过长期变质作用演变而成，在我国开发较早。石煤主要成碳来源