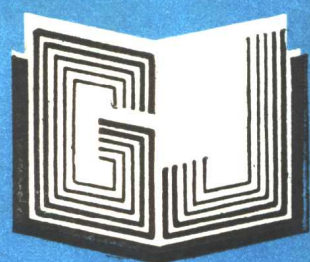


932753



高等学校教材

电厂燃料

武汉水利电力学院 尹世安 主编



高等学校教材

电 厂 燃 料

武汉水利电力学院 尹世安 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书主要内容有：动力煤的基础知识；煤的采制样原理和方法；煤的工业分析和元素分析；煤的物理化学特性，如密度、着火点、可磨性、煤灰的熔融性等；其中重点介绍了煤的发热量。此外，还介绍了煤质检验的质量控制、数据处理方法等。

本书是电力类高等院校应用化学专业的教材，并可供火电厂从事煤质工作的技术人员参考。

高等学校教材

电 厂 燃 料

武汉水利电力学院 尹世安 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 8.5印张 189千字

1991年10月第一版 1991年10月北京第一次印刷

印数 0001—1830 册

ISBN 7-120-01322-X/TK·215

定价2.30元

前 言

本书是根据能源部制定的应用化学专业1990~1992年高等学校教材编写计划，并参照“电厂燃料”教学大纲编写而成的。

目前我国火力发电厂使用的燃料主要是煤，煤在火电厂仅作为能源被利用，它的使用涉及到火电厂的经济效益和安全。为适应火电厂的实际需要，本书内容着重介绍与火电厂安全经济运行有关的煤的组成和特性，以及煤的采样、制样、化验和化验室的质量管理等。

本书共分六章，第一、二、五、六由武汉水利电力学院尹世安编写，第三、四章由上海电力学院吴兴元编写，最后由尹世安统稿完成。

本书由西安热工研究所方文沐主审，武汉水利电力学院叶春松在统稿工作中提供了一些有益的意见并协助作了一些工作，在此谨致谢意。

编 者

1990年10月

目 录

前 言

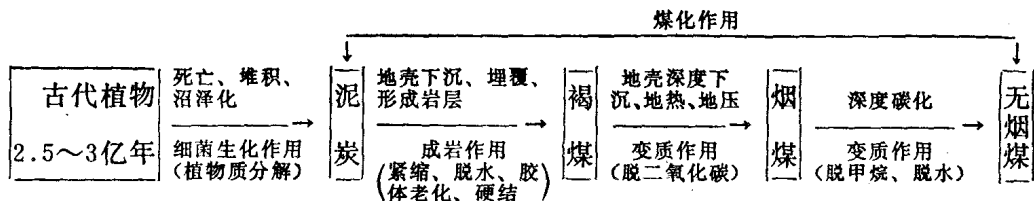
第一章 燃料基础知识	1
第一节 煤的形成、组成和特性	1
第二节 煤的基准	4
第三节 煤的分类	8
第四节 煤在火力发电厂中的应用	13
第二章 燃料的采样与制样	16
第一节 概述	16
第二节 采样原理	19
第三节 火电厂动力煤的采样	26
第四节 煤样的制备方法	33
第五节 液体燃料试样的采制	40
第三章 燃料组成的分析	44
第一节 煤的工业分析	44
第二节 煤的元素分析	56
第三节 煤中磷酸盐二氧化碳含量的测定	69
第四章 煤的物理化学特性及其测定	71
第一节 煤的密度	71
第二节 煤的着火点及其测定	74
第三节 煤的可磨性	76
第四节 煤粉的细度	80
第五节 高温下灰渣的熔融性	82
第五章 煤发热量的测定	89
第一节 有关发热量的基础知识	89
第二节 测定发热量的基本原理	94
第三节 测定发热量的误差校正	95
第四节 测热设备——量热计	104
第五节 热容量和仪器常数的标定	106
第六节 煤的发热量的测定	112
第六章 燃料分析数据的处理和质量控制	115
第一节 分析数据的处理方法	115
第二节 分析数据的质量控制	121
第三节 常用统计检验法	126

第一章 燃料基础知识

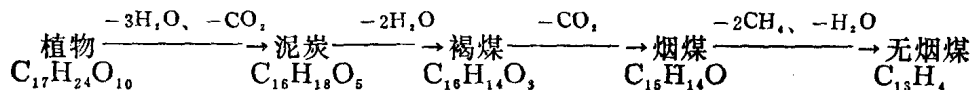
第一节 煤的形成、组成和特性

一、煤的形成

我国火电厂的电力生产主要依靠燃烧煤取得热能而后转化为电能。煤是主要的一次能源，它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。古代丰茂的植物随地壳变动而被埋入地下，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，其演化过程可用下列框图说明。



组成植物质的有机质元素主要为碳、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。在各类煤中碳、氢、氧三元素相对含量的变化可由下面的化学实验式表示：



二、煤的组成

植物在成煤过程漫长的地质年代中，其原始的组成和结构发生了变化，形成一种新物质。据现代研究表明：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。由于成煤条件各异，变质因素复杂，组成煤基本结构单元的六碳环数目，侧链、官能团的多少和性质以及各基本结构单元间的空间排列都不可能一致，因此也就出现组成和性质各异的多种煤。对于煤的分子可视为一种不确定的非均一、分子量很高的缩聚物，而不是聚合物。其结构模型如图 1-1 所示。

煤中无机物的组成也极为复杂，所含元素多达数十种，常以硫酸盐、碳酸盐（主要是

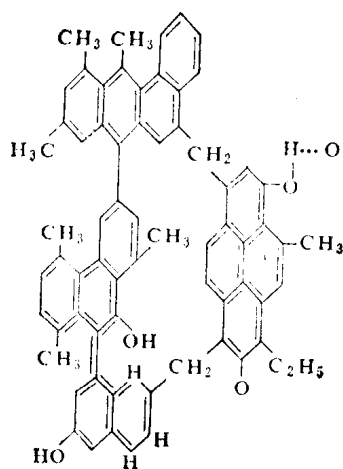


图 1-1 煤的结构模型

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,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,前者为水分和灰分;后者为挥发分和固定碳。这种分析方法带有

规范性,所测得的组成与煤固有的组成是浑然不同的,但它给煤的工艺利用带来很大方便。工业分析法简单易行,它采用了常规重量分析法,以重量百分比计量各组成,可得到可靠的煤质百分组成。这有利于统一煤质计量、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组成,该组成可示出煤中某些有机元素的含量。元素分析结果对煤质研究、工业利用、燃烧炉设计、环境质量评价都是极为有用的资料。

工业分析组成和元素分析组成如下所列:

煤	无机物 (不可燃成分)	水分(外在水分和内在水分的和)
		灰分(主要为含Ca、Al、Si、Fe等元素的无机矿物质)
	有机物 (可燃成分)	挥发分(由C、H、O、N、S元素组成的气态物质)
		固定碳(主要由C元素组成的固态物质)

由上可以看出:工业分析组成包括水分、灰分、挥发分和固定碳四种成分,这四种成分的总量为100。元素分析组成包括碳、氢、氧、氮和硫五种元素,这五种元素加上水分和灰分,其总量为100。

必须指明:工业分析组成并不是煤中原有组成,而是在一定条件下,用加热的方法,将煤中原有的组成加以分解和转化而得到的成分,可用普通的化学分析方法去分析化验。例如,灰分的多少虽可以说明煤中矿物质的含量,但灰分与煤中原有的矿物质是有区别的,它是煤在815℃下燃烧后的残留物,是煤中矿物质的转化产物;挥发分是煤在900℃和隔绝空气的条件下分解出来的气态有机物质;固定碳是煤逸出挥发分后剩余的固态有机物质。以上所述物质与煤中原有的环状结构高分子有机物都是截然不同的,它们仅是煤中有机组成在一定条件下的转化产物,所以具有一定的规范性。

火电厂使用的液体燃料多为重柴油、重油、渣油等,这些液体燃料主要由多种高分子

烃——芳香烃、环烷烃、烷烃以及含氧和含硫化合物组成。确定这些成分的含量是很困难的，仅为取得热能没有必要对各类烃的含量进行分析，只要取得元素分析组成以及水分、灰分的含量就足以。

火电厂很少使用气体燃料发电，除了那些建立在天然气或油田气产地的火电厂，为就地取材，才使用气体燃料。此外建在大型钢铁厂附近的电厂，也可燃用高炉煤气。这气体燃料的成分比较简单，多由气态烃——甲烷、乙烷、丙烷以及可燃气体如CO、H₂等组成。

三、煤的性质

作为动力用煤的主要性质及其定义、符号、计量单位如下。

(一) 发热量

发热量的定义为，单位质量的煤完全燃烧时释放出的热量，符号为Q，计量单位为kJ/g或MJ/kg。它是动力用煤最重要的特性，它决定煤的价值，同时也是进行热效率计算不可缺少的参数。

(二) 可磨性

煤的可磨性是表示煤在研磨机械内磨成粉状时，其表面积的改变（即粒度大小的改变）与消耗机械能之间的关系的一种性质，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。它是设计和选用磨煤机的重要依据。

(三) 煤粉细度

煤粉细度是表示煤粉中各种大小尺寸颗粒煤的重量百分含量。它可用筛分法确定，即使煤粉通过一定孔径的标准筛，计量筛上煤粉重量占试样重量的百分数。煤粉细度符号为R_x，下标为标准筛的孔径。在一定的燃烧条件下，它对磨煤能量耗损和燃烧过程中的热损失有较大的影响。

(四) 煤灰熔融性

煤灰是煤中可燃物质燃烬后的残留物，它由多种矿物质转化而成，没有确定的熔点。当煤灰受热时，它由固态逐渐向液态转化而呈塑性状态，其粘塑性随温度而异。熔融性就是表征煤灰在高温下转化为塑性状态时，其粘塑性变化的一种性质。煤灰在塑性状态时，易粘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的试块，在规定条件下加热，根据其形态变化而规定的三个特征温度：即变形温度、软化温度和流动温度，符号各为DT、ST和FT，单位为℃。

(五) 真(相对)密度、视(相对)密度和堆积密度

煤的真密度定义为，20℃时煤的质量与同温度、同体积（不包括煤的所有孔隙）水的质量之比，符号为TRD，无量纲。

煤的视密度定义为，20℃时煤的质量与同温度、同体积（包括煤的所有孔隙）水的质量比，符号为ARD，无量纲。

煤的堆积密度是指单位容积所容纳的散装煤（包括煤粒的体积和煤粒间的空隙）的重

量，单位为t/m³，目前尚未有法定符号。

在涉及煤的体积和重量关系的各种工作中，都需要知道密度这一参数。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。

(六) 着火点

煤的着火点是在一定条件下，将煤加热到不需外界火源，即开始燃烧时的初始温度，单位为℃，无法定符号。它的测定具有规范性，使用不同的测试方法，对同一煤样，着火点的值会不同。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

由上述已知：煤由可燃成分和不可燃成分所组成。不可燃成分为水分和灰分；可燃成分如按工业分析计算应为挥发分和固定碳，按元素分析计算则为碳、氢、氧、氮和一部分硫。可燃成分和不可燃成分都是以重量百分含量计算的，其总和应为100%。

由于煤中不可燃成分的含量，易受外部条件如温度和湿度的影响而发生变化，故可燃成分的百分含量也要随外部条件的变化而改变。例如，当水分含量增加时，其他成分的百分含量相对地就减少；水分含量减少，其它成分的百分含量就相对增加。有时为了某种使用目的或研究的需要，在计算煤的成分的百分含量时，可将某种成分（如水分或灰分）不计算在内，这样，按不同的“成分组合”计算出来的成分百分含量就有较大的差别。这种根据煤存在的条件或根据需要而规定的“成分组合”称为基准。如所取的基准不同，同一成分的含量计算结果也不同。表1-1所列为同一种煤的成分按不同基准计算的百分含量。

表 1-1 同 一 种 煤 的 成 分 按 不 同 基 准 计 算 的 百 分 含 量

成 分 \ 基 准	原 煤 (收到基、旧称应用基)	因 风 干 失 去 外 部 水 分 的 煤 (空气干燥基、旧称分析基)	失 去 全 部 水 分 的 煤 (干燥基)	不 计 算 水 分 和 灰 分 的 煤 (干燥无灰基、旧称可燃基)
水 分	3.50	1.13	—	—
灰 分	15.61	15.99	16.18	—
挥 发 分	26.06	26.70	27.02	32.20
固 定 碳	54.83	56.18	56.80	67.80
总 计	100.00	100.00	100.00	100.00

从表1-1可以看出：虽为同一种煤的成分，但由于计算时所取的基准不同，其百分含量的差别甚大。因此，为了准确地表达煤的组成并能使不同煤的组成相互比较，就必须按一定基准表示煤中各成分的含量以求统一。

一、基准表示法

在工业上通常使用以下四种基准:

1) 收到基 (旧称应用基) 计算煤中全部成分的组合称收到基。对进厂煤或炉前煤都应按收到基计算其各项成分。

2) 空气干燥基(旧称分析基) 不计算外在水分的煤, 其余的成分组合(内在水分、灰分、挥发分和固定碳)称空气干燥基。供分析化验用的煤样是在实验室温度的条件下, 由自然干燥而失去外在水分的, 其分析化验的结果应按空气干燥基计算。

3) 干燥基 不计算水分的煤, 其余的成分组合(灰分、挥发分和固定碳)称为干燥基。

4) 干燥无灰基 (旧称可燃基) 不计算不可燃成分 (水分和灰分) 的煤, 其余成分的组合 (挥发分和固定碳) 称为干燥无灰基。

上面所述四种基准所包括的工业分析成分或元素分析成分可由图1-2表示。

在煤质研究工作中，有时还用有机基表示煤的成分组合。有机基仅包括煤中的有机元素如碳、氢、氧、氮和有机硫，这五项成分的组合合计为100%。

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。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的收到基计算出来的成分百分含量，也会有差异。此时应根据实际情况对分析结果给予合理地处理。



The diagram shows a horizontal bar divided into four segments. The first segment is labeled '水分' (Moisture) and contains a diagonal hatching pattern. The second segment is labeled 'A' and contains a solid black fill. The third segment is labeled 'S_p' and contains a diagonal hatching pattern. The fourth segment is empty.

图 1-2 煤的基准

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的，对于某些成分，由于它在煤中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两种；固定碳和碳元素，两者虽然都是碳，但也有差异。为了区分诸如此类的差异，通常在主符号的右下角另外附加符号注明。国家标准《煤质分析试验方法一般规定》（GB483-87）中对煤质分析项目的符号作了统一规定，即采用国际标准化组织规定的符号。表1-2、表1-3为常用煤质新旧符号对照。

用不同基准表示煤质项目时,采用表1-4中规定的基准符号。基准符号也标在项目符号的右下角,例如干燥基灰分的符号为“ A_d ”。若项目的符号有附加符号时,则基准符号用逗号“,”与附加符号分开,例如干燥基全硫的符号为“ $S_{t,d}$ ”。表1-4中括号内为基准的旧名称和旧符号,已废除使用。

不论使用何种基准，煤中以重量百分比表示的各种成分之和都应为 100%，所以各种基准也可以用下列方程式表示：

收到基 $M_{gr} + A_{gr} + V_{gr} + FC_{gr} = 100$

空气干燥基 $M_{ad} + A_{ad} + V_{ad} + FC_{ad} = 100$

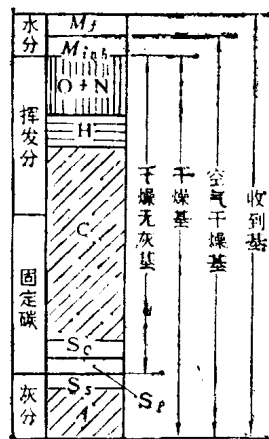


图 1-2 煤的基准

表 1-2

煤 质 符 号 表

项 目	工业分析成分				元素分析成分					各 项 性 质						
	水分	灰分	挥发分	固定碳	碳	氢	氧	氮	硫	发热量	真密度	视密度	哈氏指数	灰 熔 融 性		
新符号	M	A	V	FC	C	H	O	N	S	Q	TRD	ARD	HGI	DT	ST	FT
旧符号	W	A	V	C _{GD}	C	H	O	N	S	Q	d	d _h	K _{HG}	T _i	T _i	T _i

表 1-3

煤 质 项 目 存 在 状 态 和 条 件 符 号

项 目	外 在 水 分	内 在 水 分	固 定 碳	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
新符号	M _f	M _{inh}	FC	S _o	S _s	S _p	S _t	S _b	Q _{gr}	Q _{net}	Q _b	CO ₂
旧符号	W _{wz}	W _{NZ}	C _{GD}	S _{YJ}	S _{LY}	S _{LT}	S _Q	S _{DT}	Q _{GW}	Q _{GW}	Q _{DT}	(CO ₂) _{TS}

表 1-4

煤 质 基 准 符 号

名 称 (旧名称)	收 到 基 (应用基)	空 气 干 燥 基 (分析基)	干 燥 基 (干燥基)	干 燥 无 灰 基 (可燃基)
符 号	ar(b)	ad(f)	d(g)	daf(r)

干燥基 $A_d + V_d + FC_d = 100$

干燥无灰基 $V_{daf} + FC_{daf} = 100$

煤的分析结果标明基准是十分重要的，只有这样，分析结果才有可比性，并才能正确地反映煤的质量。例如，为确定煤中矿物质的数量，计算成干燥基灰分 (A_d) 比计算成收到基灰分 (A_{ar}) 更合适，因为这样可以避免因水分变化引起灰分值的误差。同样道理，对于煤中的可燃成分，例如对于挥发分按干燥无灰基计算更能反映煤质好坏，因为煤的水分和灰分的改变，不会影响干燥无灰基挥发分的百分含量。所以在实际工作中凡涉及到可燃成分，多使用干燥无灰基，例如在煤的分类中，多用 V_{daf} 这一指标作为区分各类煤的依据。在元素分析中对各元素含量的计算也采用干燥无灰基较合理。对热效率计算所涉及的项目应以收到基为基准较符合实际。

二、基准的换算

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，例如出矿、进厂、入炉、计价、分类时的计算。为此，在使用基准时，必须按符合实际的“成分组合”进行换算。换算公式为

$$x = Kx_0 \quad (1-1)$$

式中 x_0 ——按原基准计算的某一成分的百分含量；

x ——按新基准计算的同一成分的百分含量；

表 1-5

基准换算比例系数

K x_0	x	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	$\frac{100}{100-A_{ad}}$
干燥无灰基		$\frac{100-M_{ar}-A_{ar}}{100}$	$\frac{100-M_{ad}-A_{ad}}{100}$	$\frac{100-A_{ad}}{100}$	1

K ——比例系数（列于表1-5中）。

比例系数 K 随换算前后基准的“成分组合”而变，可大于1或小于1。若将“成分组合”项目少的基准，换算成项目多的基准时， $K < 1$ ；反之， $K > 1$ 。例如将按空气干燥基计算的灰分 A_{ad} 换算成干燥基灰分 A_d 时，因空气干燥基多一项内在水分 M_{inh} （或 M_{ad} ），故 $K > 1$ ， $K = \frac{100}{100-M_{ad}}$ ；反之， $K < 1$ ， $K = \frac{100-M_{ad}}{100}$ ，其它基准换算依此类推。

比例系数 K 很容易推出。例如由空气干燥基的挥发分 V_{ad} 换算成干燥无灰基的挥发分 V_{daf} 时，由于干燥无灰基不计算煤中的水分和灰分，因此， V_{daf} 就由下式决定：

$$V_{daf} = \frac{V_{ad}}{V_{ad} + FC_{ad}} \times 100$$

因为

$$V_{ad} + FC_{ad} = 100 - M_{ad} - A_{ad}$$

所以

$$V_{daf} = \frac{100}{100 - M_{ad} - A_{ad}} \times V_{ad}$$

式中 $\frac{100}{100 - M_{ad} - A_{ad}}$ 就是由空气干燥基换算成干燥无灰基时应乘以的比例系数 K ， $K > 1$ 。

如果煤中的矿物质含有碳酸盐，则在测定挥发分时，碳酸盐受热分解，析出 CO_2 气体。挥发分不包含无机成分，其“成分组合”为：

$$M_{ad} + A_{ad} + V_{ad} + FC_{ad} + (CO_2)_{ad} = 100$$

当碳酸盐二氧化碳含量 $(CO_2)_{ad} > 2\%$ 时，比例系数 K 应为：

$$K = \frac{100}{100 - M_{ad} - A_{ad} - (CO_2)_{ad}}$$

如果收到基的煤中的水分（或灰分）发生改变，或两者同时改变时，其它成分的含量也将相应的改变。例如：已知原收到基的煤水分含量为 M_{ar} ，当水分变为 M'_{ar} 后，则其它各种成分的含量都将随比例系数 $K = \frac{100 - M'_{ar}}{100 - M_{ar}}$ 而变，如：

$$A'_{ar} = A_{ar} \frac{100 - M'_{ar}}{100 - M_{ar}};$$

$$V'_{ar} = V_{ar} \frac{100 - M'_{ar}}{100 - M_{ar}}$$

同理，当灰分改变时，其它各种成分的含量也将随比例系数 $K = \frac{100 - A'_{ar}}{100 - A_{ar}}$ 而变；当

水分和灰分同时改变时，其它各种成分的含量随比例系数 $K = \frac{100 - M'_{ar} - A'_{ar}}{100 - M_{ar} - A_{ar}}$ 而变。

例 1-1 某空气干燥基煤样，经分析得 A_{ad} 为 6.67， M_{ad} 为 1.50，并已知其外在水分含量 M_f 为 2.00。试将空气干燥基灰分换算成收到基和干燥基灰分。

解
$$A_{ar} = A_{ad} \frac{100 - M_f}{100} = 6.67 \times \frac{100 - 2.00}{100} = 6.54 (\%)$$

或先求出
$$M_{ar} = M_f + M_{ad} \frac{100 - M_f}{100}$$

$$= 2.00 + 1.50 \frac{100 - 2.00}{100} = 3.74 (\%)$$

再求出
$$A_{ar} = A_{ad} \frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}} = 6.67 \times \frac{100 - 3.47}{100 - 1.50} = 6.54 (\%)$$

两种计算结果相同，所以 $K = \frac{100 - M_f}{100}$ 和 $K = \frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$ 两者相等。

干燥基灰分
$$A_d = A_{ad} \frac{100}{100 - M_{ad}} = 6.67 \times \frac{100}{100 - 1.5} = 6.77 (\%)$$

例 1-2 取炉前煤样，其全水分为 12.00%，将煤样制成分析试样，其分析结果如下： M_{ad} 1.24， A_{ad} 13.56， C_{ad} 72.70， H_{ad} 3.98， N_{ad} 1.47， S_{ad} 1.47， O_{ad} 5.33。试问进行热力计算时，应如何对以上成分进行换算？

解 进行热力计算时，需要将空气干燥基换算为收到基。已知 M_{ad} 和 M_{ar} 各为 1.24 和 12.00，则可求出换算系数为

$$K = \frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}} = \frac{100 - 12.00}{100 - 1.24} = 0.89$$

$$A_{ar} = 13.56 \times 0.89 = 12.07 (\%)$$

$$C_{ar} = 72.70 \times 0.89 = 64.70 (\%)$$

$$H_{ar} = 3.98 \times 0.89 = 3.54 (\%)$$

$$N_{ar} = 1.47 \times 0.89 = 1.31 (\%)$$

$$S_{ar} = 1.72 \times 0.89 = 1.53 (\%)$$

$$O_{ar} = 5.33 \times 0.89 = 4.74 (\%)$$

验算
$$M_{ar} + A_{ar} + C_{ar} + H_{ar} + S_{ar} + O_{ar} = 12.00 + 12.07 + 64.70 + 3.54$$

$$+ 1.31 + 1.53 + 4.74$$

$$= 99.89 \approx 100$$

第三节 煤 的 分 类

煤的种类繁多、性质各异，不同种类的煤各有不同的用途，例如：炼焦用煤要求有良

好的粘结性；气化用煤要求低灰低硫；动力用煤要求高挥发分、高发热量等。为了合理地开发煤炭资源，便于选择工业利用途径，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按照需要选用合适的煤种。煤的分类方案很多，不同的国家或不同的利用途径，有各自的分类要求。我国国家标准《中国煤炭分类》（GB5751-86）中包括了全部褐煤、烟煤和无烟煤的工业技术分类标准。其各类煤的划分比较合理，分类指标简单明了，同一类煤的性质基本接近，便于各工业部门选择利用。此外，对商品煤另有煤炭产品的分类方法，这种分类方法便于商品统配煤的计价。在电力工业中为便于选用动力煤种又有发电用煤的分类。现将以上各分类法分述于后。

一、中国煤炭分类（见表1-6）

表 1-6 中 国 煤 炭 分 类

类 别	符 号	包括数码	分 类 指 标					
			$V_{daf}(\%)$	粘结指数 G	胶质层 最大厚度 Y(mm)	奥 亚 膨胀度 b(%)	透光率 $P_H(\%)$	$Q_{gr-A, MHC}^{①}$ (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	$>20.0 \sim 28.0$	$>50 \sim 65$				
		15, 25	$>10.0 \sim 28.0$	>65	≤ 25.0	(≤ 150)		
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	≤ 25.0	(≤ 220)		
气 肥 煤	QF	46	>37.0	(>85)	>25.0	(≤ 220)		
气 煤	QM	34	$>28.0 \sim 37.0$	$>50 \sim 65$				
		43, 44, 45	>37.0	>35	≤ 25.0	(≤ 220)		
1/2中粘煤	1/2ZN	23, 33	$>20.0 \sim 37.0$	$>30 \sim 50$				
弱 粘 煤	RN	22, 32	$>20.0 \sim 37.0$	$>5 \sim 30$				
不 粘 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	
		52	>37.0				$>30 \sim 50$	≤ 24

① $Q_{gr-A, MHC}$ 为含最高内在水分的无灰基高位发热量。

中国煤炭分类法是采用表征煤化程度的参数，即干燥无灰基挥发分 V_{daf} 作为分类指标将煤划分为三大类：褐煤、烟煤和无烟煤。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。

无烟煤再用干燥无灰基挥发分 V_{daf} 和干燥无灰基氢含量 H_{daf} 划分为三类：无烟煤 1

号、无烟煤 2 号和无烟煤 3 号。当 V_{daf} 和 H_{daf} 有矛盾时，以 H_{daf} 为准（见表1-7）。

褐煤除采用 V_{daf} 分类外，还用透光率 P_M 和含最高内在水分的无灰基高位发热量（ $Q_{gr-A, MHC}$ ）作为指标区分褐煤和烟煤，并将褐煤划分为两类：褐煤 1 号和褐煤 2 号（见表1-8）。

表 1-7 无 烟 煤 的 分 类

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

表 1-8 褐 煤 的 分 类

类 别	符 号	数 码	分 类 指 标	
			$P_M(\%)$	$Q_{gr-A, MHC}$ (MJ/kg)
褐煤 1 号	HM ₁	51	0~30	—
褐煤 2 号	HM ₂	52	>30~50	≤24

烟煤采用表征工艺性能的参数，即粘结指数 G 、胶质层最大厚度 Y 和奥亚膨胀度 b 等作为指标，将烟煤再分为贫煤、贫瘦煤、瘦煤、焦煤、肥煤、 $\frac{1}{3}$ 焦煤、气肥煤、气煤、 $\frac{1}{2}$ 中粘煤、弱粘煤、不粘煤、长焰煤等12种（见表1-6）。

为了便于现代化管理，分类中采取了煤类名称、代号与数字编码相结合的方式，上表中各类煤用两位阿拉伯数码表示：十位数系按煤的挥发分划分的大类，即无烟煤为0，烟煤为1~4，褐煤为5；个位数：无烟煤为1~3，表示煤化程度；烟煤类为1~6，表示粘结性；褐煤类为1~2，表示煤化程度。

为分类而使用的煤样，若灰分>10%时，需要用减灰（详见第二章第四节）后的浮煤样进行测定。灰分≤10%的煤样不需减灰处理。

二、统配商品煤的分类

国家统配煤矿煤炭产品的分类是按用途（冶炼或其它用途）、加工方法（洗选或筛选）和质量规格（粒度、灰分）划分为5大类27个品种（见表1-9）。煤炭产品各类别和品种的定义如下。

1) 精煤 经选煤厂加工供炼焦用的精选煤炭产品分为两种:

①冶炼用炼焦精煤 $A_d \leq 12.50\%$ （简称冶炼精煤）;

②其他用炼焦精煤 A_d 在12.51%~16.0%之间（简称其它精煤）。

2) 粒级煤 经洗选或筛选加工，清除大部或部分杂质与矸石，其粒度分级下限在

表 1-9

商品煤炭产品类别和品种

产 品 类 别	品 种 名 称	质 量 规 格	
		粒 度 (mm)	灰 分 A_d (%)
精 煤	冶炼用炼焦精煤	$<50, <80$ 或 <100	≤ 12.50
	其它用炼焦精煤	$<50, <80$ 或 <100	12.51~16.0
粒 级 煤	洗 中 块	25~50, 20~60	≤ 40
	中 块	25~50	
	洗混中块	13~50, 13~80	
	混 中 块	13~50, 13~80	
	洗 混 块	$>13, >25$	
	混 块	$>13, >25$	
	洗 大 块	50~100, >50	
	大 块	50~100, >50	
	洗特大块	>100	
	特 大 块	>100	
	洗 小 块	13~25, 13~20	
	小 块	13~25	
洗 选 煤	洗 粒 煤	6~13	≤ 40
	粒 煤	6~13	
	洗 原 煤	≤ 300	
	洗 混 煤	0~50	
	混 煤	0~50	
	洗 末 煤	0~13, 0~20, 0~25	
	末 煤	0~13, 0~25	
原 煤	洗 粉 煤	0~6	≤ 40
	粉 煤	0~6	≤ 40
原 煤	原煤、水采原煤		≤ 40
低 质 煤	原 煤		$\geq 40 \sim 49$
	中 煤	0~50	$\geq 32.0 \sim 49$
	煤泥(水采煤泥)	0~1	$\geq 1.01 \sim 49$

6mm以上的煤炭产品，分为14个品种。

3) 洗、选煤 经洗选或筛选加工，清除大部或部分杂质与矸石的原煤及其粒度分级上限在50、25、20、13或6mm以下的煤炭产品，分为7个品种。

4) 原煤 指煤矿生产出来未经洗选或筛选加工而只经人工拣矸的煤炭产品。

5) 低质煤 指灰分 $A_d > 40\%$ 的各种煤炭产品(包括 A_d 在16%~40%之间的煤泥、水采煤泥和 $A_d > 32\%$ 的中煤)，分为3个品种。

统配商品煤的分类主要用于计价，各类商品煤炭产品的比价率如表1-10所示。表中以水采原煤、原煤的价格为基准，其比价率为100。经加工过的精煤、粒级煤和洗选煤其比价率皆高于100，加工深度愈高，比价也愈高。低质煤的比价率则低于100。

三、发电用煤的分类

为适应火电厂动力用煤的特点，提高煤的使用效率，发电用煤的分类是根据对锅炉设计、煤种选配、燃烧运行等方面影响较大的煤质项目制定的。这些项目为无灰干燥基挥发

表 1-10

我国各品种商品煤的比价率

品种名称	比价(%)	品种名称	比价(%)	品种名称	比价(%)
精煤($A_d \leq 12.5\%$)	165	混块	134	洗末煤	109
精煤($A_d > 12.5\%$)	152	洗小块	136	洗粉煤	107
洗中块	150	洗粒煤	132	水采原煤、原煤	100
洗混中块	143	小块	130	混煤	105
中块	140	粒煤	125	末煤、粉煤	103
洗大块、洗混块	139	洗原煤	108	中煤	60
洗特大块	132	洗混煤	107	煤泥	60
特大块、大块	129	混中块	137	水采煤泥	60

表 1-11

发电用煤的分类(VAMST)

分类指标	煤种名称	代号	分级界限	辅助指标界限
挥发分 V_{daf}	低挥发分无烟煤	V_1	$>6.5\% \sim 10\%$	$Q_{net,ar} > 20.91 \text{ MJ/kg}$
	低中挥发分贫瘦煤	V_2	$>10\% \sim 19\%$	$Q_{net,ar} > 18.40 \text{ MJ/kg}$
	中挥发分烟煤	V_3	$>19\% \sim 20\%$	$Q_{net,ar} > 16.31 \text{ MJ/kg}$
	中高挥发分烟煤	V_4	$>27\% \sim 40\%$	$Q_{net,ar} > 15.47 \text{ MJ/kg}$
	高挥发分烟褐煤	V_5	$>40\%$	$Q_{net,ar} > 11.70 \text{ MJ/kg}$
灰分 A_d	低灰分煤	A_1	$\leq 24\%$	
	常灰分煤	A_2	$>24\% \sim 34\%$	
	高灰分煤	A_3	$>34\% \sim 46\%$	
外在水分 M_f	常水分煤	M_1	$\leq 8\%$	$V_{daf} \leq 40\%$
	高水分煤	M_2	$>8\% \sim 12\%$	
全水分 M_t	常水分煤	M_1	$\leq 22\%$	$V_{daf} > 40\%$
	高水分煤	M_2	$>22\% \sim 40\%$	
硫分 $S_{t,d}$	低硫煤	S_1	$\leq 1\%$	
	中硫煤	S_2	$>1\% \sim 3\%$	
煤灰熔融性 ST	不结渣煤	T_{2-1}	$>1350^\circ\text{C}$	$Q_{net,ar} > 12.54 \text{ MJ/kg}$
	结渣煤	T_{2-2}	不限 ^②	$Q_{net,ar} \leq 12.54 \text{ MJ/kg}$

(1) $Q_{net,ar}$ 低于界限值时, 应划归 V_{daf} 数值较低的一级。

(2) 不限是指当 $Q_{net,ar} \leq 12.54 \text{ MJ/kg}$ 时, ST 值不限。

分 V_{daf} 、干燥基灰分 A_d 、全水分 M_t 、干燥基全硫 $S_{t,d}$ 和煤灰的软化温度 ST 等五项。因发热量 $Q_{net,ar}$ 与煤的挥发分密切相关, 并能影响锅炉燃烧的温度水平, 所以用它作为 V_{daf} 和 T_2 的一项辅助指标, 两者相互配合使用。这种分类如表 1-11 所列, 表中各项目均划分成不同级别, 其中 V_{daf} ($Q_{net,ar}$) 分为 5 级, A_d 分为 3 级, $M_f(V_{daf})$ 、 $M_t(V_{daf})$ 、 $S_{t,d}$ 、 $ST(Q_{net,ar})$ 各分为 2 级。各项目的分级界限值是根据试验室和现场的大量数据, 经数理统计最优分割法得出的, 它对锅炉设计、选用煤种及安全经济燃烧都有指导意义。

V_{daf} 分为 5 级, 各级间两个参数的界限值是相互适应的, 按此分级选用煤种时, 可以保证燃烧的稳定性 and 最小的不完全燃烧热损失。若煤的 $V_d < 6.5\%$, 则煤粉的着火特性很差, 燃烧不稳定, 运行经济性差。