

动力燃料测试技术

曹长武 李天荣

水利电力出版社

动力燃料测试技术

曹长武 著

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 32开本 8印张 174千字

1987年12月第一版 1987年12月北京第一次印刷

印数0001—4750册

ISBN 7-120-00000-4/TK

15143·6502 定价1.65元

前 言

掌握动力燃料测试技术，提供可靠的分析结果，对加强电厂的燃料监督和确保锅炉的安全经济运行有着重要的作用。动力燃料的分析，涉及各种概念、基础知识与操作技能，要全面掌握其测试技术是不容易的。随着电厂锅炉容量的日益大型化，对燃料试验的要求也越来越高，这就要求燃料试验人员不断提高测试水平。

本书根据我国实际情况，反映了国内，特别是电力系统多年来在动力燃料测试技术方面的成果与经验，以论述动力用煤的测试技术为重点，以标准分析方法为主要对象，较全面地对动力燃料测试技术进行了阐述。

本书既可作为读者在实际工作中的一本参考读物，又可作为在职人员的培训教材。书中注意充实基础知识内容，较深入地介绍解决测试中各种实际问题的方法与技能；同时又注意到作为教材应具有的系统性，对基本概念、测试原理作了简明的解释与必要的说明。

此书力求理论联系实际，内容具有较高的针对性。它不同于燃料试验规程，本书不去重复具体的操作步骤，而是侧重于对各种测试技术的阐述。为了保持全书的完整性，将动力燃料²，主要是动力用煤的各重要特性指标的测定方法概要地有机穿插于各有关章节中，以便于读者使用此书。书中虽以论述标准测定方法的测试技术为主，但又将若干具有实用性的测定方法及国外某些先进测试技术介绍给读者，从而形成了本书的特点。

全书共分八章，第一章为动力燃料特性概述，第二章为采制样技术，第三至七章为工业分析、元素分析、发热量、物理性能、灰渣特性测试技术，第八章为测试结果的检验与评定。

读者阅读本书时，可结合阅读水电部颁发的《火力发电厂燃料试验方法》，这样有助于掌握解决测试中各种技术问题的方法与途径；另一方面，本书作为培训教材，读者通过系统学习，可明确各种基本概念，提高基础知识水平与实际操作技能。

本书由曹长武负责编写第一、四、五、六、八章书稿，李天荣负责编写第二、三、七章书稿。全书由曹长武统稿。此书承武汉水利电力学院尹世安副教授审稿，提出宝贵意见。在编写过程中，还得到作者所在单位领导及一些同志的热情支持，在此谨致谢意。

由于作者水平所限，书中不当之处，在所难免，敬请各方面同志提出批评意见。

山东省电力试验研究所 曹长武

北京电力科学研究所 李天荣

1986.10

目 录

前 言

第一章	动力燃料特性概述	1
第一节	煤与油的成因及其分类	1
第二节	动力燃料特性指标	7
第三节	燃料的不同基准及其应用	12
第四节	各种动力用煤的基本特征	17
第五节	动力燃料特性与电力生产的关系	22
第二章	动力燃料的采制样	29
第一节	采样的基本原理与若干原则规定	29
第二节	动力用煤采样	34
第三节	煤样的缩分与制备	37
第四节	原煤机械化采制样	42
第五节	燃油采样	46
第三章	工业分析测试技术	50
第一节	工业分析概述	50
第二节	煤中全水分的测定	56
第三节	煤中分析基水分的测定	60
第四节	燃油水分的测定	65
第五节	煤中灰分的测定	68
第六节	煤中挥发分的测定	72
第四章	元素分析测试技术	77
第一节	元素分析概述	77
第二节	煤中碳、氢的测定（经典法）	81
第三节	煤中碳、氢的测定（高温法）	90
第四节	燃油碳、氢的测定	95
第五节	燃料中氮的测定（经典法）	97

第六节	煤中氮的测定 (快速法)	102
第七节	燃料中全硫的测定 (艾士卡法)	105
第八节	煤中全硫的测定 (燃烧中和法)	109
第九节	煤中各种硫之间的关系	112
第十节	元素分析中各成分之间的关系	115
第五章	发热量测试技术	117
第一节	发热量测定的基本原理	117
第二节	发热量测定装置——热量计	121
第三节	燃煤发热量的测定方法	125
第四节	贝克曼温度计的使用	129
第五节	使用恒温式热量计测定发热量时的冷却校正	135
第六节	热容量及其标定技术	139
第七节	绝热式热量计的使用	143
第八节	发热量测试中主要技术问题	149
第九节	燃油发热量的测定	161
第十节	发热量与标准煤耗的计算	164
第六章	物理性能测试技术	171
第一节	煤的密度及其在生产上的应用	171
第二节	煤粉细度的测定与标准筛的应用	176
第三节	煤的可磨性测定	183
第四节	煤的着火点测定	188
第五节	燃油的基本物理特性	196
第七章	灰、渣特性测试技术	201
第一节	灰熔融性的测定	201
第二节	煤灰成分的测定	215
第三节	煤灰成分快速测定法	225
第八章	测试结果的评定与检验	231
第一节	误差的基础知识	231
第二节	测试结果的评定	237

第一章 动力燃料特性概述

火电厂是利用动力燃料燃烧所产生的热能来获取电能的生产单位。煤、石油、天然气等天然有机燃料均可作为动力燃料，其中最重要的是煤。

我国是动力燃料资源十分丰富的国家。一九八五年，煤产量为8.5亿吨，原油产量为1.25亿吨。由于原油中含有轻质馏分，它们是提取高级或特种燃料、润滑剂及多种化工产品的重要原料，故把原油作为燃料，是很不经济的，也是对资源的浪费。根据我国的能源政策，部分燃油电厂将有计划地改为燃煤电厂。为合理地利用能源资源，我国将大力发展水电生产及建设燃煤的坑口电厂，并逐步发展核电生产。

由于目前我国火力发电厂中，除燃煤电厂外，还有部分燃油电厂，所以本章在介绍燃煤特性的同时，还将简要介绍燃油特性。

第一节 煤与油的成因及其分类

煤与油构成动力燃料的主体。供发电的动力用煤包括烟煤、无烟煤、褐煤、石煤、油母页岩等，其中烟煤约占动力用煤总量的90%；燃油则包括重油、原油等，其中以重油为主。

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

类植物一直到高等植物等各种类型植物死亡后形成的。它们由于地壳的变动而被埋在地下，因受地层压力和热的作用逐步演变成煤。

煤是由可燃物质和少量的矿物质、水分所组成的可燃矿岩。

由植物演变成煤经历了亿万年，发生了一系列复杂变化。一般说来，这种变化可分为两个阶段，即菌解作用阶段与变质作用阶段。

古代植物由于细菌的作用而发生腐烂和分解，使其内部组织破坏，一部分物质转化为气体逸出，残余的物质则开始变成了通常所说的泥煤。这种使植物转变为泥煤的作用称为菌解作用。泥煤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和水分，从而使得含碳成分比例逐渐增高，这种作用称为变质作用。

由于成煤的原始植物及其变质程度不同，其化学组成与特性也就有所差异。为此，可将煤分成若干类。

2. 煤的分类

煤的种类繁多，目前工业部门主要按煤的碳化程度和煤的用途两种方法分类。

煤的碳化程度随泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤的顺序而加深，见表1-1。

根据煤的化学特性及工业上的实际应用进行分类，是一种主要的分类方法。我国现行的煤分类方案是1958年颁布试行的，它是以炼焦用煤为主的一种工业实用分类方案。该方案以煤的可燃基挥发分含量 V^r 和胶质层最大厚度 Y 值这两项指标作为分类的基础。

煤的挥发分是在特定条件下煤中有机物受热分解后的产

表 1-1

煤按碳化程度分类表

类 别	碳化程度	煤 质 特 性 说 明		
		$V^r(\%)$	Q_{dw}^y (焦/克)	其 它
泥 煤	最 低	约70	11290~14640	外观象稀泥，干燥后易着火
褐 煤	高于泥煤	>40~70	16730	质脆，易着火，易风化成粉
烟 煤	高于褐煤	>10~60	20910~29270	较褐煤坚硬，着火温度较高
无烟煤	最 高	<10	一般低于烟煤	质地坚硬，不易着火

物。胶质层最大厚度 Y 值表征煤受热时析出胶质体的数量及其热稳定性，从而反映煤的炼焦性能。

据此，在中国煤分类方案中将褐煤到无烟煤之间的所有煤种分成10大类，24小类，见表1-2。

由表1-2可以看出：无烟煤、褐煤分得很粗，而烟煤又分得过细。这一分类方案是为了适应炼焦工业要求而制定的，对非炼焦用煤顾及甚少。例如，作为分类的两项指标之一的胶质层最大厚度 Y 值，对火电厂锅炉设计与运行来说，并没有多大影响。由于炼焦用煤并不能代替其它方面用煤，故上述分类方案不太适应电厂用煤的实际情况。

对动力用煤来说，可燃基挥发分是表征煤质着火稳定性的重要指标，并对燃烧经济性有着一定的影响，它必须成为动力用煤的分类指标之一，这是毫无疑问的；另一方面，发热量、含硫量、灰熔融性等指标对电厂锅炉的设计与运行均有较大的影响，而这些在中国煤分类方案中均未涉及。火电厂燃用的煤量很大，煤种很多，为了加强燃煤管理，根据锅炉对燃煤特性的要求做好配煤混煤工作，有必要对动力用煤进行适当分类。

表 1-2

中国煤的分类方案

名 称		分 类 指 标	
大 类 别	小 类 别	可燃基挥发分V' (%)	胶质层最大厚度Y (毫米)
无 烟 煤		0~10	
贫 煤		>10~20	0(粉状)
瘦 煤	1 号	>14~20	0(成块)~8
	2 号	>14~20	>8~12
焦 煤	瘦 焦 煤	>14~18	>12~25
	主 焦 煤	>18~26	>12~25
	焦 瘦 煤	>20~26	>8~12
	1 号肥焦煤	>26~30	>9~14
	2 号肥焦煤	>26~30	>14~25
肥 煤	1 号肥煤	>26~37	>25~30
	2 号肥煤	>26~37	>30
	1 号焦肥煤	≤26	>25~30
	2 号焦肥煤	≤26	>30
	气 肥 煤	>37	>25
气 煤	1 号肥气煤	>30~37	>9~14
	2 号肥气煤	>30~37	>14~25
	1 号气煤	>37	>5~9
	2 号气煤	>37	>9~14
	3 号气煤	>37	>14~25
弱 粘 煤	1 号弱粘煤	>20~26	0(成块)~8
	2 号弱粘煤	>26~37	0(成块)~9
不 粘 煤		>20~37	0(粉状)
长 焰 煤		>37	0~5
褐 煤		>40	

目前，已经提出了几种动力用煤的分类方案，然而还处于探讨研究阶段，各种方案均有其特点，也有其不足之处，故不多作介绍。

二、油的成因与燃料油的分类

1. 油的成因与组成

关于石油的成因有各种理论与学说。一般认为石油是地下的动植物有机体经过十分复杂的长期分解作用而形成的。但也有另外一种学说，即认为石油是地下的金属碳化物和水或二氧化碳，受到地壳中的高温、高压，经长期相互作用而形成的。前者为有机来源说；后者为无机来源说。有关油的成因讨论，可参阅有关专业书刊，这里不再多述。

从地下石油矿层中开采出来，经简单工艺除去其中大量的水分和泥砂后，就是天然石油。

石油中主要成分为碳和氢。这两种元素的含量约占96%~99.5%。其中碳含量约占85%~87%，氢含量约占11%~14%。此外，还常含有少量氧、硫、氮、钾、钠、钙、镁等元素。

含有碳和氢的有机化合物称为烃。石油中含有的烃类是由烷烃、环烷烃、芳香烃等组合而成。石油中除烃类外，还有各种氢化物、硫化物和其它化合物。

2. 燃料油的生产与分类

由于石油是各种烃类及非烃类的混合物，在常压下可通过蒸馏方法将石油中沸点不同的各种烃类加以分离。当加热到一定温度后，首先蒸出的是低沸点的汽油，其次是煤油、柴油，最后是釜底残油，即锅炉燃料油。

燃料油应指重油而言。它实际上是包括渣油、裂化残油及燃料重油的通称，它们的性质基本相似。

渣油是原油通过减压蒸馏以后的残油。原油经减压蒸馏后，硫分集中于渣油中。渣油既可作为发电燃料，又可作为再炼制的原料。

裂化残油是裂化原料（如渣油等重质油品）经加热，使大分子的烃类裂解成较小分子，并分离出轻质油品后的残油。

燃料重油是将渣油、裂化残油或其它油品按一定比例混合调制而成。我国规定：按照在80℃时运动粘度的不同，可将燃料重油分成四种牌号，如表1-3所示。

表 1-3 各种牌号燃料油的特性

特 性 指 标	燃 油 牌 号			
	20	60	100	200
恩氏粘度(°E ₁₀₀)	5.0	11.0	15.5	5.5~9.5
恩氏粘度(°E ₁₅₀)				
开口闪点(°C)，不低于	80	100	120	130
凝固点(°C)，不高于	15	20	25	36
灰分(%)，不大于	0.3	0.3	0.3	0.3
水分(%)，不大于	1.0	1.5	2.0	2.0
含硫量(%)，不大于	1.0	1.5	2.0	3.0
机械杂质(%)，不大于	1.5	2.0	2.5	2.5

重油的粘度大，流动性差，为了方便地进行输送和得到良好的雾化，必须提高油温，从而增加了电厂能耗。重油中含有较多的胶状物与沥青质，雾化和燃烧性能均不及原油。重油闪点高，不易挥发，故着火的危险性较原油要小。重油中含硫量高，对锅炉设备的腐蚀性强，燃烧后烟气中二氧化硫含量高，容易造成对大气的污染。

为充分合理地利用能源资源，发电厂应力求避免燃用原

油。目前，一些燃油电厂正计划逐步地转为燃煤或采用煤油混烧以节约石油。在今后相当长的时期内，我国动力燃料的组成中，燃油所占比重将逐步降低，而煤的比重则将继续增长。

第二节 动力燃料特性指标

表征动力燃料特性的各项指标，具有明确的含义及特有的测定方法。下面首先对燃料特性指标的表示方法及其含义作一概括说明，同时按其特点与作用，书中还将对各项特性指标加以适当分类。

一、燃煤

1. 特性指标的表示方法

动力燃料的各项特性指标，例如含硫量、发热量等均可用一个简单的符号来表示，而且这种符号具有国际通用性，这就便于试验人员在实际工作中的应用。例如，灰分用 A 表示，挥发分用 V 表示，水分用 W 表示等。

水分 W 有内在、外在、全水分的区别；发热量则有弹筒、高位、低位之分。故为说明某一特性指标的含义，还要采用辅助性符号来表示。

我国规定在特性指标符号的右下角用汉语拼音的一个或两个大写字母来表示某一特性的含义，如表1-4所示。

表 1-4 煤质特性指标表示方法示例

特 性 指 标	外在水分	内在水分	全 硫	高位发热量	固定碳
符 号	W_{WZ}	W_{NZ}	S_Q	Q_{GW}	C_{GD}

然而上述符号仍不明确，因为它们不能表示该种燃料的基准（关于基准的含义，参见本章第三节）。例如对含水的原煤与无水的干煤来说，各项特性指标的值是不相同的。

2. 特性指标的分类

在发电厂，煤作为燃料，利用的是其燃烧特性，因而表征煤的燃烧特性的有关指标可归成一类。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。除此以外的其它各项特性，在本书中统归为物理性能一类。

（1）工业分析指标

一般说，工业分析指标是指水分、灰分、挥发分及固定碳四项特性指标。水分是不可燃成分，灰分代表无机矿物质的含量，故 $100 - \text{水分} - \text{灰分}$ 则大致代表有机可燃物的含量，而其中挥发分则表示易挥发的有机质含量，固定碳则为不挥发的有机质含量。水分、灰分、挥发分及固定碳之和为：

$$W + A + V + C_{ad} = 100\% \quad (1-1)$$

根据工业分析，可基本上弄清各种煤的性质与特点，并确定其在工业上的实用价值。在火电厂，煤的工业分析是常规性的工作。

（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。如按元素分析表示，煤的成分应为：

$$W + A + C + H + N + O + S_R = 100\% \quad (1-2)$$

煤中碳、氢元素含量决定了发热量的高低。氧、氮并不参加燃烧，硫分中的可燃硫参加燃烧，释放出少量热量。

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	有机物发热量 (焦/克)
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

碳是煤的组成中最为重要的元素。在充足的空气下，碳完全燃烧生成二氧化碳，每克碳释放出34040焦的热量；当空气不足时，则生成一氧化碳，其释放的热量大大降低，仅为9910焦热量。一氧化碳本身也是一种可燃性气体，当空气充足时，还可以燃烧生成二氧化碳，同时释放出24130焦的热量。

氢是构成煤的另一个重要元素。氢在煤中的含量一般随煤的变质程度加深而减少。煤中氢有两种不同的存在形态：化合态与游离态。化合氢通常是指矿物质的结晶水，这种氢是不能燃烧的；而游离氢则与碳元素等元素构成煤的可燃组分，在燃烧时和空气中的氧反应，释放出很高的热量，每克游离氢可释放出143010焦热量，几乎是碳的四倍。

氧在煤中呈化合状态存在，它的含量随煤的变质程度加深而减少。褐煤中含氧量可高达40%，而无烟煤中只有1%~2%。

氮在煤中含量较少。煤燃烧时，氮多呈游离态随烟气逸出，所以从燃烧角度来看，氮是煤中的无用成分。

硫在不同产地的煤中其含量相差很大，少则低于0.5%，多则高达5%以上。硫燃烧后的主要产物为二氧化硫，它会促使锅炉尾部受热面的腐蚀并造成对大气的污染，故煤中硫对燃烧来说，是一种有害的元素。

工业分析与元素分析从不同角度反映煤的成分，从而说明其燃烧性能。显然，这二者之间有着内在的联系。

从工业分析角度去看，煤中可燃成分是以挥发分和固定碳来表示的；从元素分析角度去看，则可近似地用碳、氢、氧、氮、硫来表示。

由于挥发分中主要包括碳、氢等元素，所以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。

二、燃油

1. 工业与元素分析指标表示方法

油中水分含量一般较少，而灰分含量甚微。油的主要化学成分为碳和氢，这二者之和往往占全部组成的96%以上。为了表征油的燃烧特性，同样可以用工业及元素分析指标来说明。

燃油的工业及元素分析指标的表示方法与煤相同，例如， Q_{DT} 为弹筒发热量， A 为灰分， C 为碳等。

不过应该指出，油的工业分析不包括挥发分及固定碳这两项，它实际上只包括水分及灰分的分析。在油的元素分析中，可燃硫即为全硫。

2. 其它特性指标的表示方法

对燃料油来说，其它特性主要是指密度、粘度、凝固