

201157

TQ53
L522

电力工业学校重点教材

电 力 用 煤

哈尔滨电力学校 林永华 主编

中国电力出版社

序

近年来,电力职业技术教育在结构改革过程中,创建了将中专和技校融为一体的新型办学模式——形成统一的电力工业学校,与此同时,进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可或缺的信息载体,其改革和建设必然是教学改革的重要组成部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果,推动改革持续深入发展,满足电力工业学校教学工作的急需,并促进教学质量不断提高,从1996年底开始,便着手组织力量进行教材改革的研究探索和教材建设的安排部署,先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组、制订了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评优暂行办法》、组建了电力工业学校教材编审委员会,并于1997年末在电力职业技术教育委员会各教学研究会和网、省电力公司教育部门推荐的基础上,经过审议、遴选确定了电力工业学校第一批(23种)重点教材编审出版计划。

为了加快教材建设步伐、繁荣教材创作局面,电力工业学校教材建设采取点面结合、统分结合的方法,以重点教材带动一般教材。重点教材的建设旨在对教材改革起重点研究、典型引路、以点带面的龙头作用。这批重点教材力求根据职业技术教育的特点和培养应用型人才的教育目标,突出教材的定向性或针对性,以电力行业工作岗位需要的综合能力 and 素质要求,作为界定教材内容的依据,不片面追求学科体系的完整性,而强调贴近生产实际和工作实际,使理论同实践紧密结合,传授知识同培训技能紧密结合;精选教材内容,删繁就简,返璞归真,充实技术性、工艺性、实用性的内容,而且体现先进性和科学性的原则;注重定性分析,阐明物理意义和应用方法,简化某些论证,减少不必要的教学推导;在内容的编排、组合上,一是最大限度地做到模块化,增强教材使用的灵活性,便于不同教学阶段、不同专业采用,二是使理论阐述同实践指导有机结合,便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线,采用以实际训练为轴心的把讲授、实验、实习融于一体的教学方式;适应各校功能延伸的新要求,兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果,仍需再接再厉,继续深化教材改革,推进教材建设。预期经过几年的努力,会形成一套具有电力职业技术教育特色,以职业能力培养为主线、门类比较齐全、形式比较多样,并能与其他教育相衔接、兼顾职工培训需要的教材体系。

中国电力企业联合会教育培训部

电力工业学校教材编审委员会

1998年9月

前 言

电力用煤是电力工业学校“电厂水处理与化学监督”专业的一门主干课程，是按照中国电力企业联合会教育培训部 1996 年 11 月颁发的教学计划（试行）和动力类专业教研会组织审定的教学大纲为依据进行编写的。

本书是电力工业学校教材编审委员会确定的重点教材，按照电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路，力求贯彻以能力为本的思想。电力用煤是电厂水处理与化学监督专业主干课之一。通过本课程的学习，使学生掌握电力用煤的基本概念、煤质分析的基本方法，增强学生实践技能，培养合格的电力煤质分析人员。本书注重理论联系实际，反映电力系统中多年来在电力用煤检测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。它不同于煤质检验规程，不去重复具体的操作步骤，而是侧重对各种检测技术的阐述，书中虽以论述标准检测方法为主，但又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。本书不单纯讲述检测技术，而是密切结合电厂实际，对煤质特性与电力生产的关系进行了较深入的分析与说明。

全书共分八章，绪论、第一章、第三章、第四章、第七章、第八章由哈尔滨电力学校林永华编写，第五章由哈尔滨电力学校庄秀梅编写，第二章、第六章由武汉电力学校刘晓编写。吉林电力科学研究院的李春艳也参加了本书的编写、校订工作。全书由主编林永华统稿，由大连电力学校张慧主审。在编写中，得到了山东电力科学院曹长武的大力支持，在他的推荐下，以其所著的《电力用煤采制化技术及其应用》为主要参考书，部分内容摘自此书，极大地丰富了本教材的实践环节，在这里表示感谢。

由于编者水平有限，书中不当之处在所难免，敬请专家及读者提出意见。

编 者

2001 年 4 月

目 录

序	
前言	
绪 论	1
第一章 煤的化学基础	7
第一节 煤的化学成分及特性	7
第二节 煤质分析的指标符号和分析基准	11
小 结	15
思考题	16
第二章 煤样采制	17
第一节 采样	17
第二节 制样	23
小 结	25
思考题	26
第三章 煤的工业分析	27
第一节 概述	27
第二节 煤中水分的测定	29
第三节 煤中灰分的测定	33
第四节 煤中挥发分的测定	35
小 结	40
实 验	40
思考题	40
第四章 煤的元素分析	42
第一节 元素分析概述	42
第二节 煤中碳和氢元素的测定	43
第三节 煤中氮元素的测定	51
第四节 煤中硫元素的测定	54
第五节 煤中氧元素含量的计算	62
小 结	65
思考题	66
第五章 煤的发热量测定	67
第一节 发热量的概念	67
第二节 发热量的测定装置	70
第三节 发热量的测定过程	78
第四节 发热量测定的计算	89

小 结 99

思考题 99

第六章 煤的特性指标测定 101

第一节 密度的测定 101

第二节 煤粉细度的测定 104

第三节 可磨性的测定 106

第四节 灰渣可燃物的测定 109

第五节 煤灰熔融性测定 110

小 结 113

思考题 113

第七章 煤质分析数据的质量控制 114

第一节 分析误差的来源 114

第二节 煤质分析结果的审查 118

小 结 120

思考题 121

第八章 电厂燃料管理基础 122

第一节 计划管理 122

第二节 煤的验收 125

第三节 燃煤混用及贮备 129

小 结 133

思考题 133

绪 论

能源是国民经济的基础，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。

我国电力建设正在迅猛发展，机组容量及电厂规模均在不断扩大，动力用煤消耗量剧增，百万千瓦容量以上的大型燃煤电厂越来越多。目前，煤炭费用已占电厂发电成本的80%，掌握动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。

一、煤炭在电力系统中的应用

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成为一定细度的煤粉，借助于热风通过燃烧器进入炉膛燃烧。因此，电力用煤必须满足电厂安全经济运行的要求，同时，为了充分利用能源资源，某些劣质煤及油母页岩等均可作为发电燃料。

根据电力生产的特点，对电力用煤的煤质要求主要体现在挥发分、发热量、灰分、水分、含硫量及灰熔融性诸方面，另外，也体现在煤的可磨性、煤灰成分、煤的块度等方面。煤质特性的每一项指标都要达到较理想的要求，实际上是很难实现的，故我们应对电力用煤的各项指标加以综合分析，选用能够较好满足电力生产所需的燃料。

先将电力生产对煤质的要求概述如下：

(1) 水分。它是电力用煤的一项重要指标。水是煤中不可燃成分，煤中水分含量越高，势必使运输量及经济负担增大，发热量降低，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。

电力用煤的水分随煤种、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，无烟煤水分最低。电厂用煤以水分较低为好，但水分过少也有弊端，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，火焰中含有水气对煤粉的悬浮燃烧能起到催化作用。

综上所述，电力用煤的水分宜控制在5%~8%，如煤的外在水分超过8%~10%，就可能导致输煤、给煤系统运行障碍。

(2) 挥发分。电力用煤的挥发分影响锅炉的稳定燃烧与制粉系统的安全。煤的挥发分过高，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，可使压力普遍升高，从而有可能导致制粉系统的破坏并使火焰外喷；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,干燥无灰基挥发分小于 10% 时,煤粉不会发生爆炸,运行时也不会有危险;当挥发分大于 25% 时,则危险较大。挥发分越大,则危险性越大,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。它们是衡量发电用煤的最重要特性指标,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要求,增大了基建投资及运行费用。

另一方面,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 20%,故贮灰场地不可缺少。以一个容量为 600MW 的电厂为例,燃烧灰分为 26.5% 的煤,容积达 1000 万 m^3 的贮灰场地也只够存灰 20 年。再说,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,远则多于 10km 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。随着冲灰水的外排,又会遇到灰水 pH 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,发热量不能太低。电厂应燃用与锅炉设计指标接近的煤种,或通过混配接近锅炉设计指标。

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,当使用贫煤或其他低挥发分烟煤时,灰分要求在 20% ~ 30%,不得超过 40%;收到基低位发热量在 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的,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,煤中硫主要生成 SO_2 ,从烟囱排到大气中去,其中约有 1% ~ 2% 的硫被氧化成 SO_3 ,而不可燃硫则进入烟尘及炉渣中。通常电力用煤含硫量为 0.5% ~ 3%,烟气中 SO_2 含量约为 250 ~ 1500mg/L, SO_3 含量仅数 + 毫克/升。

电厂锅炉燃用高硫煤时,由于煤的氧化作用,锅炉尾部受热面产生腐蚀与灰堵,缩短了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隐燃倾向,导致煤粉仓因温度升高而自燃。

对于发电用煤来说,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,则需在电厂中加装烟气脱硫装置。由于这种脱硫装置投资与运行费用很高,技术上也有相当的难度,目前国内只有个别电厂中加装使用。

除硫外,煤中氟也是一种有害元素。煤中氟含量通常不大于几百毫克/升,但水中含氟量一般很低,故煤中氟是造成电厂冲灰水氟的污染源。煤燃烧时,约 95% 的氟转化为 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,超标者要予以罚

款。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。电力用煤要求 HGI 为 50 ~ 90。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，降低锅炉出力，结渣严重时，被迫停炉。对于液态排渣锅炉，其运行更大程度上受煤灰熔融性及流动特性的影响，需提供可靠的煤灰熔融性数据。

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；灰熔融性温度越低，结渣性越大。

在考察灰渣特性时，还应注意有长渣与短渣之分。两者的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、DT 之间温差大，例如达到 200°C 或更大；短渣的 FT、DT 之间温差小，常常在 100°C 以内。电厂燃用长渣煤时，固态排渣炉的结渣相对较缓慢，即使结渣也常是局部性的。燃用短渣煤时，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，特别要避免使用低熔融性的短渣煤，还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。

二、劣质煤的应用

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长期变质作用演变而成。我国开发较早，现利用最多的为古代石煤，属于藻类型煤种。石煤主要成碳来源是单细胞中所含的油脂物质。在相同年代条件下，石煤要比由高等植物演变而成的煤种具有较高的挥发分、含氧量及含氢量，绝大部分石煤常常含有大量无机矿物质。

我国石煤分布于陕西、甘肃、安徽、浙江、江西、湖南、贵州、四川、广西等省、自治区。多数石煤灰分高，发热量低，外观如黑石。其中优质石煤产于陕西南部，其灰分含量一般为 20% ~ 40%，发热量可达 $12500 \sim 25000\text{J/g}$ 。

2. 油母页岩

油母页岩也是一种可燃性矿物，形成油母页岩的有机物质主要是低级水藻类及浮游生

物，在形成过程中，并掺有一些微小动物的有机体。所有这些有机体的特点是脂肪和蛋白质含量很高，而纤维素和木质素含量不多。油母页岩主要用作炼油的原料，可制取页岩油、可燃气体及氮肥。

油母页岩中的含油率的高低是评价油母页岩最重要的指标。我国油母页岩的含油率为3%~20%，较多的则为6%~10%。油母页岩直接作为工业燃料，其发热量不能太低，一般说来，不应低于7100J/g，否则灰分含量过大而难于应用，也很不经济。我国主要产地的油母页岩，其干燥基灰分为53%~85%，挥发分为9%~36%，发热量为3550~7100J/g。由此可知，在我国油母页岩中，实际上可用来作为发电燃料的并不多。

总之，优质石煤及油母页岩在全部石煤及油母页岩中所占比重不大，全部采用劣质石煤及油母页岩作为工业燃料，还有许多问题需要研究。从锅炉安全、经济运行的角度去考虑，在其他动力用煤中适当掺烧部分劣质石煤或油母页岩还是可以做到的。

三、煤质监督与电力生产

进入90年代以来，我国火电厂的建设无论从机组容量还是从电厂规模，都较过去有了很快的增大和发展。30万及60万kW机组已成为当前建设的主力机组，百万千瓦规模以上的电厂越来越多，因此，电力部门用煤量也急剧增多。如一台30万或60万kW机组燃用天然煤的发热量按20910J/g计，年实际发电按7000h计，则30万kW机组年耗天然煤约95.3万t，60万kW机组约为189万t，故电力系统是耗煤大户，电力用煤的费用、质量等对电力生产均有举足轻重的影响。

1. 电力用煤情况概述

为了满足电力生产的需要，大型火电厂年消耗天然煤数百万吨。燃煤通过陆路或水路，应用各种运输工具运进电厂，一般情况下将其存放于贮煤场，贮煤场的贮煤容量通常不能小于电厂15天的用煤量。

由于煤量多，煤质变化大，在电厂中往往要在贮煤场加以配煤以满足锅炉燃烧的要求，配好的煤通过输煤系统（破碎及除铁）的输煤皮带进入原煤仓。已经经过粗碎的原煤，则送入球磨机或其他类型的磨煤机磨制成粉，并控制一定的煤粉细度，再将煤粉送入煤粉仓或直接送入锅炉燃烧。前者称为储仓式制粉系统，后者称为直吹式制粉系统。

煤粉通过热风被吹入锅炉的燃烧器，在锅炉内燃烧，产生的热能将水加热为蒸汽（高压），推动汽轮机，带动发电机发电。煤的燃烧产物中的大部分通过除尘装置除去绝大部分粉煤灰后，随烟气进入烟囱排出；而产生的渣则通过除灰装置（炉渣还得先经破碎，通常借助于水力）输送到灰场。

由此可知，煤在电厂中占有特殊重要的地位。从发电费用方面讲，煤约占发电成本的80%，从电厂生产工艺，设备与人员配备方面，与煤直接或间接相关的都占很大比重。发电厂对煤的重视程度是不言而喻的。

2. 电厂中的煤质监督

发电用煤的质量，直接对电厂的安全、经济运行产生重大影响，做好煤质监督是电厂燃煤全过程管理中的一个重要环节。从电力公司直至基层电厂都重视煤质监督工作。原能源部就作出决定，自1989年开始，对全国电厂中的煤质检验人员，通过全国统一的理论

与操作考试后，实行持证上岗制度，从而有效地保证了煤质监督水平的提高；另一方面，从国家电力公司到各网省电力公司均颁发了煤质监督条例、制度，使得煤质监督工作走向标准化、规范化的道路。

(1) 入厂煤质监督。入厂煤质监督的根本任务是：一方面根据供煤合同，通过对入厂煤的采制化，以监督入厂煤的质量是否符合供煤合同要求，能否做到质价相符，以维护电厂自身经济权益；另一方面，及时掌握入场煤的质量变化情况，为电厂配煤提供数据，以确保锅炉机组的安全、经济运行。

对电厂入厂煤数量监督是根据轨道衡、地磅等衡器加以计量验收的。而对于质量监督来说，首先是把入场煤的采制样工作做好。对入厂煤，原电力工业部规定各电厂必须按国标要求采样。一些电厂为了更好地掌握每车煤的质量，即使对汽车进煤，也力求做到车车采样、批批化验，故电厂入厂煤采制化的任务是十分繁重的。

当前，火车车厢上采用机械采样方式尚处于研究开发阶段，距离实用化还有一段过程，因此目前主要还是靠人工采样。所以样品送往制样室，借助机械及人工相结合的办法完成制样。对大中型电厂来说，加速实现入厂煤采样的机械化，有其必要性与迫切性。

对入厂煤质特性检测来说，其基本要求是：

1) 每天每批入厂煤，均应进行全水分、空气干燥水分、灰分、挥发分、发热量的测定。

2) 对新煤源来说，则除应预先搞清楚上述特性值外，还应加测全硫、可磨性、灰熔特性、灰成分等项目，确认该煤源可用于本厂锅炉燃烧，方可进煤。

3) 每半年及年终必须对入厂煤按煤源，对其混合样进行一次煤、灰全分析，以充分掌握各矿的煤质特性及变化趋势，为以后选择煤源提供依据。

4) 如某一入厂煤质发生频繁波动，要缩短对其进行全分析的周期，以便及时发现问题，及时终止这一煤源和采取其他措施，以确保入厂煤质量。

(2) 入炉煤质监督。入炉煤质监督的根本任务是根据锅炉机组设计（包括输煤、制粉、燃烧、除灰系统），提供符合生产要求的入炉煤。一方面保证生产的安全、经济运行；另一方面，通过煤质特性检测，提供计算电厂最重要经济指标——标准煤耗的煤质参数。

关于入炉煤的数量监督，是根据安装在输煤皮带上的电子皮带秤或核子秤来计量的；而对其质量的监督，则是通过入炉煤采样机采制入炉煤样，然后进一步制成空气干燥煤样，送实验室进行分析测定的。

对入炉煤质特性检测来说，其基本要求是：

1) 每天至少对全天入炉煤混合样进行全水分、空气干燥水分、灰分、挥发分、发热量的测定。

2) 每半年及年终要对入炉煤的半年及全年的按月的混样进行煤、灰全分析，其项目同入厂煤要求。各厂还应对按日、按月混样进行上述常规项目的检测，以积累入炉煤质资料。

3) 入厂煤质变化频繁时，则要增加入炉煤质的检测频率。

4) 如因入炉煤质影响正常生产运行时，如磨煤机出力不足，煤粉太粗，锅炉结渣等

情况发生时，则应增测煤粉细度、可磨性、灰熔融性等项目。

3. 电厂的煤质检测实验室与制样室

各燃煤电厂均建立了煤质检测实验室，其基本任务就是应及时提供入厂及入炉煤准确的煤分析数据，对入厂煤及入炉煤质进行有效的监督，为确保入厂煤做到质价相符以及为锅炉的安全、经济运行及计算标准煤耗提供可靠的依据。

电力煤质特性检测实验室所配备的人员、仪器、环境条件要与入厂及入炉煤质监督的要求相适应。所有电厂均应能提供煤中全水分、空气干燥基水分、灰分、挥发分、发热量、全硫、煤粉细度、飞灰可燃物等的常规监督项目的检测结果，同时，对煤的元素分析、灰熔融性及灰成分等的测定也应配备相应的仪器，并掌握其测试技术。对于可磨性及电厂一时不能进行检测的项目，则应按规定的要求送电力系统各煤检中心检测。

为了完成入厂及入炉煤质的检测，煤质实验室应配备的主要仪器有：高温炉及温控仪、鼓风干燥箱、分析天平、工业天平等通用仪器及热量计、定硫仪、元素分析炉、灰熔融性测定仪等专用仪器。制样室应配备粗碎及细碎破碎机、制粉机、振筛机、标准试验筛、二分器等设备。电厂所有燃煤采制化人员均必须持有电力公司统一颁发的煤质检验人员岗位合格证上岗。

第一章 煤的化学基础

提示：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，供发电的动力用煤主要包括部分烟煤、无烟煤及褐煤，其中以烟煤所占的比重最大。煤由可燃及不可燃成分两部分组成，其中不可燃成分为水分及灰分，它们易受外界环境影响而波动，可燃成分的百分含量则随不可燃成分含量的变化而变化。为了确切表示煤质某一特性指标的含义，还必须表明它所处的状态及应标明它的基准（简称为基）。

第一节 煤的化学成分及特性

一、煤的成因

煤是古代植物的遗骸。这些植物遗骸是从低级的菌藻类植物一直到高等植物等各类植物死亡后形成的。由于地壳的变动，它们被埋在地下，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一万年，发生了一系列变化。一般说来，这种变化可分为两个阶段，即泥炭化作用阶段与煤化作用阶段。

古代植物由于细菌的作用而发生腐烂与分解，使其内部组织破坏，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作用，成为泥炭化作用。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，从而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，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。

二、煤炭品种

1. 煤的分类

我国煤炭依其煤化程度，将各种煤分为无烟煤、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再分为若干小类，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。

无烟煤与烟煤的统称为硬煤，无烟煤的炭化程度比烟煤高，它挥发分低，着火点高，无粘结性，燃烧时多不冒烟；烟煤是炭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。

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 (mm)	b (%)	P_M (%)	$Q_{gr,maf}$
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	*		
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	$> 28.0 \sim 37.0$	$> 50 \sim 65$	≤ 25.0	(≤ 220)		
		43, 44, 45	> 37.0	> 35				
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	< 24
		52	> 37.0				$> 30 \sim 50$	

注 V_{daf} 为干燥无灰基挥发分； G 为粘结指数； Y 为胶质层最大厚度； b 为奥亚膨胀度； P_M 为透光率； $Q_{gr,maf}$ 为恒湿无灰基高位发热量。

* 是国家标准中对其附加说明，而在电力部门应用甚少，故予以省略。

2. 煤炭产品种类

目前，我国煤炭产品品种与等级主要根据加工方法、用途及煤炭品质的不同而划分为 5 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 $12.51\% \sim 16.00\%$ 的为其他用炼焦精煤。

(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、混块、洗大块、大块、洗特大块、特大块、洗小块、小块、洗粒煤、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。洗选煤共分七个品种，它们分别是洗原煤、洗混煤、混煤、混末煤、末煤、洗粉煤、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 均应不大于 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% ~ 49% 的原煤，灰分为 16.01% ~ 49% 的泥煤，灰分大于 32% 的中煤及收到基低位发热量小于 14.5MJ/kg 的动力用煤。低质煤分为低质原煤、低质中煤及煤泥三个品种。

3. 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% ~ 40.00%，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的大小 $Q_{\text{net, ar}}$ 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，共分为 40 个等级，并以其编号命名。例如：编号最低一级为 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。

三、煤的特性指标

1. 特性指标的表示方法

动力用煤的各项特性指标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。

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。

煤质特性符号的右下角，以往均用汉语拼音的一个或两个大写字母来表示。为了和国际上所采用的符号相一致，现在煤质特性指标规定采用新的符号。现将动力用煤常见特性指标新旧符号列在表 1-2 中。

表 1-2 动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	特性指标	英文名称	新符号	旧符号
水分	moisture	M	W	全硫	total sulfur	S_t	S_Q
全水分	total moisture	M_t	W_Q	硫铁矿硫	pyritic sulfur	S_p	S_{LT}
灰分	ash content	A	A	硫酸盐硫	sulphate sulfur	S_s	S_{LY}
挥发分	volatile matter	V	V	有机硫	organic sulfur	S_o	S_{LYJ}
固定碳	fixed carbon	FC	C_{GD}	变形温度	initial deformation temperature	DT	T_1
高位发热量	gross calorific value	Q_{gr}	Q_{CW}				
低位发热量	net calorific value	Q_{net}	Q_{DW}	软化温度	softening temperature	ST	T_2
碳	carbon	C	C	流动温度	fluid temperature	FT	T_3
氢	hydrogen	H	H	哈氏可磨性指数	Hardgrove grindability index	HGI	K_{HG}
氧	oxygen	O	O				
氮	nitrogen	N	N	碳酸盐二氧化碳	carbonate carbon dioxide	$(CO_2)_c$	$(CO_2)_{TS}$
硫	sulfur	S	S				

然而上述符号仍不能明确指出某一特性指标的精确含义，因它们不能表示该种燃料的基准，关于煤的基准含义及表示方法将在下节中加以阐述。

2. 特性指标分类

在发电厂中，煤作为燃料是利用其燃烧特性，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他方面的性能，如着火性可以反映煤的自然倾向，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，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，是指以水分、灰分、挥发分和固定碳表示煤质分析四个项目的总称；所谓元素分析，是指以碳、氢、氧、氮、硫五种元素表示煤质分析项目的总称。

(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 $100 - \text{水分} - \text{灰分}$ ，则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质质量，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：

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

式中： 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、硫五种元素含量，因为煤中全硫包括可燃硫及不可燃的硫酸盐硫，故煤的成分按元素分析指标来表示，则应为：

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

式中： C 、 H 、 N 、 O 、 S_c 分别表示碳、氢、氮、氧及可燃硫的含量，%； M 、 A 的含义同式(1-1)。

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)可写成：

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

由此可知，从元素分析指标去研究煤的成分，水分及灰分仍为煤中不可燃成分；其他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与元素成分含量相当。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、氧并不参加燃烧。煤中各元素含量的比值随煤种不同而异，如表 1-3 所示。

表 1-3 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 的热量。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 1-3 可看出：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炭化程度加深而减少，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；而游离的氢则与碳元素等构成煤的可燃组分及挥发分中，在燃烧时和空气中的氧反应，释放出很高的热量，每克游离氢燃烧可释放出 143010J 的热量，几乎是碳完全燃烧产生热量的四倍。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含量。

氧在煤中呈化合态存在，它的含量随煤化程度的加深而减少。有的褐煤中含量可高达 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，煤中氮多少还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。

硫在不同产地煤中的含量相差很大，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产生，它会促使锅炉尾部受热面腐蚀并造成对大气的污染，故煤中硫对燃烧来说，是一种有害元素。

工业分析与元素分析指标从不同角度反映了煤的成分，从而说明其燃烧性能。显然，这两者之间有着内在的联系。从工业分析指标去看，煤中可燃成分是以挥发分和固定碳来表示；从元素分析指标去看，则可近似的用碳、氢、氧、氮、硫来表示。

第二节 煤质分析的指标符号和分析基准

煤由可燃成分及不可燃成分两部分所组成，其中不可燃成分为水分及灰分，它们易受外界环境影响而波动，可燃成分的百分含量则随不可燃成分含量的变化而变化。如水分含量增大时，其他成分的含量相对减少；反之，则增加。不管煤中水分、灰分如何变化，其可燃成分与不可燃成分之和仍为 100。也就是说，当煤处于不同状态时，各个煤质特性指标的数值是不相同的。为了确切表示煤质某一特性的含义，还必须表明它所处的状态，或者说应表明它的基准（简称为基）。

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。

为了使煤质分析结果具有可比性及进行煤的分类、锅炉设计、煤耗计算等应用的需要，必须将煤质特性按一定的基准来表示。

2. 基准的表示方法

作为动力用煤，最常用的是收到基、空气干燥基、干燥基及干燥无灰基四种，它们的表示方法见表 1-4。

表 1-4 基准的表示方法

基准名称	英文名称	代表符号	基准名称	英文名称	代表符号
收到基	as recieved basis	ar	干燥基	dry basis	d
空气干燥基	air dry basis	ad	干燥无灰基	dry ash free basis	daf

由上表可知，基准的符号是用它的英文名称的第一个字母来表示的，它应标在特性指标的右下角。如收到基灰分用 A_{ar} 表示，干燥基固定碳用 FC_d 表示，空气干燥基水分用 M_{ad} 表示，干燥无灰基挥发分用 V_{daf} 表示等。

发热量有弹筒、高位、低位之分，那么不同基准的发热量又如何表示呢？最常用的是空气干燥基弹筒发热量，空气干燥基高位发热量及收到基低位发热量，它们的代表符号列于表 1-5 中。

表 1-5 不同基准发热量的表示方法

不同基准的发热量	代表符号	不同基准的发热量	代表符号
空气干燥基弹筒发热量	$Q_{b,ad}$	收到基低位发热量	$Q_{net,ar}$
空气干燥基高位发热量	$Q_{gr,ad}$		

弹筒、高位、低位发热量的英文名称分别为 bomb calorific value、gross calorific value 及 netcalorificvalue，故它们的代表符号分别用 b、gr、net 来表示。

全硫的英文名称是 total sulfur，故其代表符号为 S_t ，如收到基全硫则用 $S_{t,ar}$ 表示；又如水分用符号 M 来表示，这是采用它的英文名称 moisture（湿分）的第一个大写字母。由此可知，煤质特性指标右下角有一个以上符号时，基的符号放在后边，符号间用逗号分开，读法则是由后向前读。如 $Q_{gr,d}$ 应读成干燥基高位发热量， $Q_{net,p,ar}$ 应读成收到基恒压低位发热量， $S_{t,ad}$ 应读成空气干燥基全硫等。

二、基准的分类

煤的常用基准的含义是：

收到基——以收到状态的煤为基准的表示方法；

空气干燥基——与空气湿润达到平衡状态的煤为基准的表示方法；

干燥基——以假想无水状态的煤为基准的表示方法；

干燥无灰基——以假想的无水、无灰状态的煤为基准的表示方法。

收到基可以理解为电厂所收到的原煤所处的状态，空气干燥基也就是实验室内测定煤质特性指标时试样所处的状态，干燥基也就是除去了全部水分的干燥所处的状态，干燥无灰基则是假想不计算不可燃成分的煤所处的状态。基准的这种分类完全是为了应用的需要。

根据不同基准的含义可知，同一煤质特性指标，当采用不同基准来表示时，就会有不