

内 容 提 要

本书系统阐述锅炉,特别是工业锅炉的节能与经济运行的有关问题。评价通过合理选用、适当改造和精心维护而使锅炉设备完善化的主要经验。在此基础上,探讨通过燃料管理和燃烧调整及运行控制、用水和用热管理以及能耗定额考核等办法,提高锅炉运行经济性的基本要求和措施。本书还介绍有关燃料燃烧和设备以及热平衡测试方面的基础知识和参考数据。对涉及锅炉更新改造和运行管理方面的技术经济评价问题,也作了论述。

本书可作为工矿企业单位的培训教材,供从事动力设备和热能管理人员、技术干部学习和司炉人员进修使用;大专院校有关专业师生也可参考。

责任编辑:高峰

锅炉节能与经济运行

张明月编著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安民门外和平门北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本850×1168mm¹/32, 印张9⁵/₁₆。

字数255千字 印数1—2,900

1990年7月第1版 1990年7月第1次印刷

ISBN 7-5020-0373-8/TD·340

书号 3171

定价 4.30元

写在前面

锅炉是一种通用动力设备，遍布于国民经济的各个部门，在生活领域也得到广泛的应用。长期以来，人们致力于发展品种，改善性能，以确保锅炉安全稳定地经济运行。

工业锅炉，是一种能源转换设备，要消耗大量燃料。我国煤炭消费总量的三分之一，用于30万台工业锅炉。能源问题，涉及经济发展和社会进步，举世瞩目。工业锅炉的经济运行，不仅是节约能源的主要目标，也是为了控制环境污染。因此，越来越受到人们的重视，并在实践中取得了可喜的成果。

因此，总结多年来开展锅炉节煤工作的经验，认真分析存在的问题，指明经济运行的方向，有迫切的现实意义。多年来，许多锅炉管理和操作人员在实践中探索工业锅炉节约煤炭和经济运行的经验，作者也参与这项工作，感受颇深。工业锅炉的经济运行，必须以完善的设备为基础，并取决于用户的管理水平和司炉的操作技术，但其关键在于提供与燃烧设备特性相适应的燃料，并能在变动的工况下保证燃料的经济燃烧。

本书除介绍有关燃料燃烧的基本知识外，还着重评价锅炉节约用煤及锅炉房的科学管理和运行操作要领，并涉及技术经济评价的一些问题，俾能有助于锅炉管理和操作人员卓有成效地开展节能工作。

在本书中大部分单位都采用法定计量单位，为将热量单位千卡改为百万焦，并将原来的千卡数用括号附在后面供参考。但有些公式和表格中的热量单位为千卡，如以百万焦表示，则公式中的系数也应换算。为避免差错，这类公式仍以千卡作热量单位；再者，有些图表中，热量仍以千卡表示。这一点，请读者注意。

作者感谢各方面提出的有益经验，增添了本书的实用性。作者期待读者的批评和建议，并提供新的经验，以期今后能充实本书的内容，发挥更好的作用。

作 者

1989年5月

目 录

第一章 概论	1
第二章 燃料及其燃烧	6
第一节 煤的组成及特性	5
第二节 煤的燃烧过程及计算	27
第三节 油的燃烧	45
第四节 通风	52
第三章 燃烧方式及设备	60
第一节 层式燃烧	60
第二节 悬浮燃烧与煤粉炉	79
第三节 沸腾燃烧	87
第四节 煤的气化燃烧	94
第五节 重油燃烧装置	98
第四章 锅炉热平衡	108
第一节 热平衡基础	108
第二节 热平衡计算	114
第三节 试验规范和要求	126
第四节 热效率及其影响因素	146
第五章 锅炉运行与管理	159
第一节 锅炉及其附属设备的完善化	159
第二节 燃烧调整与自动控制	221
第三节 锅炉给水管理	236
第四节 负荷调整与供热管理	244
第五节 锅炉房管理与监测	263
第六章 技术经济评价	272
第一节 技术经济分析方法	272
第二节 锅炉更新改造方案论证	276
第三节 锅炉经济运行指标	283
第四节 锅炉运行考核	299
附录1 常用热工单位换算表	303
附录2 煤质分析常用新旧符号对照表	304

第一章 概 论

锅炉是一种重要的通用动力设备，它的主要功能是把燃料的化学能转换为热能，使加入锅炉的给水受热变成热水或蒸发成蒸汽。锅炉已经广泛地应用于国民经济的各个部门和生活领域。除在发电厂、机车和船舶上使用锅炉外，工矿企业、宾馆饭店、医院学校、工地农场等都配备锅炉，供生产和生活使用。人们通常把这些生产和生活上使用的锅炉，统称为“工业锅炉”。

据不完全统计，全国工业锅炉的总量已达30万台，计50余万蒸吨，一年消耗的煤炭约达2.5亿吨，占全国总用煤量的三分之一左右。还有一部分锅炉是燃用重油等其他燃料。同时，由于工业锅炉消耗大量燃料，燃烧后生成的烟气中，含有硫和氮的氧化物、未燃尽的一氧化碳以及粉尘等，造成对大气的严重污染。此外，锅炉是受压容器，必须保证其安全运行。因此，任何锅炉，在满足生产和生活用汽正常需要的同时，必须做到安全运行、节约能源、消烟除尘。这不仅是锅炉制造厂应当充分考虑的，更取决于使用者的管理和操作水平。

在保证供汽、安全运行、节约能源和消烟除尘之间也是相互联系的。一台锅炉，只有在燃料得到完全而经济的燃烧、热能得到充分而合理的利用情况下，才能减少燃料消耗，节约能源，也就可以减轻对环境的污染。也只有在这样的情况下，才能达到额定供汽，满足需要。不少事例表明，锅炉运行上的某些不安全因素，某些事故的成因，常常是与燃料燃烧不良联系在一起的。可以认为，锅炉使用者抓住经济燃烧、节约能源这一环节，是至关重要的。

能源、材料和信息是现代工业的三大支柱。能源已经成为发展国民经济的关键问题之一，生产的发展速度，生活的改善程度

都取决于能源的供应和利用水平。节约能源不仅涉及一个企业的经济效益，从宏观上来看，社会效益是更为主要的。对工业锅炉，节约能源主要是降低燃料消耗，但也包括节约电力等其他能源消耗。一个企业，不仅要节约锅炉所耗用的能源来提高经济效益，更要采取多种有效措施来降低蒸汽的成本，充分合理地使用蒸汽，以便在更大程度上改善经济效果。因此，工业锅炉的经济运行，不仅在于提高锅炉运行效率、节约燃料，而且包括节约电力、减少管理费用、降低水处理费用等，涉及到许多方面的问题。

一些地区和企业多年的实践表明，提高工业锅炉运行的经济性，既十分必要，又完全可能。据对一些用户的粗略调查，同样一台锅炉，燃用相近的煤种，运行效率高低之差可达10%左右；同样品质的蒸汽，其成本价格相差悬殊，可达20%，甚至更高。这些差距表明，节约的潜力是很大的，提高工业锅炉运行的经济性，确有现实而深远的意义。

锅炉的工作过程，就是燃料在炉里燃烧后放出热量，通过受热面使水受热而产生蒸汽的过程。锅炉主要包括“锅”和“炉”两大部分。“锅”就是接受烟气热量使水变成蒸汽的设备，“炉”就是燃料燃烧设备。锅炉房里的附属装置有送风装置、水处理、给水、加煤、出渣以及除尘等设备。锅炉房设备见图1-1。

工业锅炉的经济运行，既涉及锅炉本体，也要考虑各种附属设备；既涉及锅炉和附属装置的选用、改造、保养，也要考虑其运行操作；既涉及燃料和给水的管理，也要考虑负荷调整，加强供汽管理；既涉及许多方面的技术问题，也要考虑合理的经济评价指标，加强监督考核。所有这些问题都将在本书的有关章节中予以讨论，而重点是有关燃料燃烧的一些基本问题。因为，对使用者来说，如何在现有的锅炉上完全而经济地燃烧所供应的燃料，是提高工业锅炉运行经济性的最直接、最有效的措施。

要做到经济运行，必须有良好适用的设备。为此，工业锅炉及附属装置要合理选用、适当改造、精心保养。要做到经济运

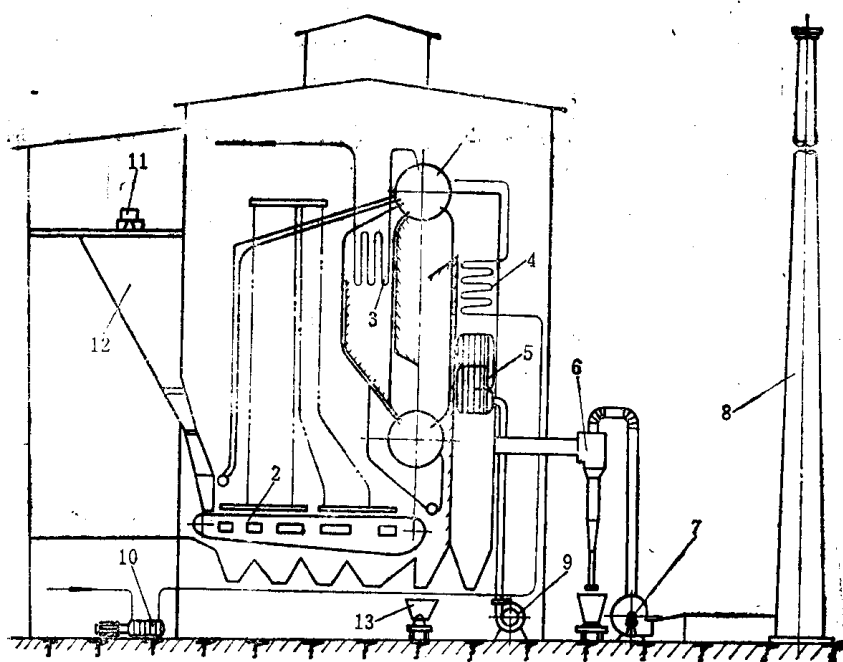


图 1-1 锅炉房设备简图

- 1—锅筒；2—链条炉排炉；3—蒸汽过热器；4—省煤器；5—空气预热器；
6—除尘器；7—引风机；8—烟囱；9—鼓风机；10—给水泵；11—输煤机；
12—煤仓；13—出渣车

行，还必须加强用煤、用水和用汽的管理，尽可能满足锅炉设备的要求。同时，还要根据煤种特性和负荷变化，合理组织燃烧过程。特别是合理调风，力求在较低的过量空气系数下，使燃料完全燃烧。对此，不仅要有一定的检测和控制设备，还必须提高操作技术水平。

加强运行管理和监测，也是直接关系到经济运行的一个问题。这除了健全必要的规章制度和管理规范外，十分重要的是制定一套科学的评价指标体系及其严格的考核办法。对锅炉热效率、煤汽比、供汽综合能耗、供汽成本以及节能量的计算等，应有明确的含意、统一的计算办法及具体的考核要求。

锅炉运行的管理人员和操作者，对运行的经济性负有直接责任。他们除应懂得锅炉的工作原理和一般结构，有一定的运行经验外，还必须系统掌握涉及锅炉运行经济性的基本知识，包括燃料的组成、特性，燃烧过程及计算，燃烧方式及设备，通风系统，锅炉热平衡与热效率，以及提高运行经济性的一般经验。

本书除探讨以上这些问题外，还将评介提高锅炉运行经济性的一些实践经验。这些经验，必有其一定的适用范围和局限性，在借鉴和引用时，要因地制宜、学创结合、讲求实效，并注意从节能、环保和效益等角度来综合评价。

第二章 燃料及其燃烧

煤是我国能源的主体，也是工业锅炉的主要燃料。了解煤的组成、特性、分类及用途等，是合理而有效利用煤炭的基础。

工业锅炉运行的经济性，首先取决于燃料的经济燃烧。在燃烧设备内，燃料燃烧放出热量的过程，往往伴随着热量的传递，这是一个受着众多因素影响的复杂过程。掌握燃烧机理，合理组织燃烧过程，恰当调整燃烧工况，是提高燃烧效率、保证经济运行的关键。

第一节 煤的组成及特性

一、煤的生成、开发和利用

煤炭是古代植物遗体堆积转化而生成的地下资源。古代植物残骸堆积于沼泽地带，在厌氧细菌的生物化学作用下，逐渐分解转变为腐植酸和沥青质等泥炭类物质。随着地壳的下沉和受泥沙等沉积物的覆盖，泥炭层被压紧，厌氧细菌的生化作用逐渐减弱以致消失。泥炭中的含碳量升高，氧元素和腐植酸含量降低。这样，经过长期的地球化学作用，在不断增高的地温和不断增厚的岩层压力下，泥炭逐渐转变为具有不同物理化学性质的褐煤、烟煤和无烟煤。

蕴藏在地下的煤炭，经地质勘探而被发现。发现的煤层有无开采价值，要从经济得失上考虑，主要取决于储量。经过精查而得到的工业储量，是矿井设计的主要依据。通常，建设一个年产100万吨原煤的矿区，从设计到投产要花费5~6年甚至10年左右的时间，投资达几千万元，需要提供大量的钢材、木材、水泥和机电设备，动员几千名工人从事这一工程。同时，还要进行包括交通运输在内的配套工程建设。

矿井建成后，要把煤炭从几百米的地下采出来，也要花费很大的代价，更离不开煤矿工人的辛勤劳动。采出的原煤，不少要经过洗选、筛分加工，最终以商品煤的形式销售。用户从采购、运输、保管到加工使用，也要花费大量人力、财力和物力。

通过以上简介可知，煤炭确实来之不易。

煤炭是工业的粮食，也是重要的生活资料。没有煤炭就没有现代工业。煤炭既是主要的燃料，又是宝贵的化工原料，在国民经济建设中占有重要地位。火力发电、交通运输，主要依靠煤炭作燃料。冶金、机械、建材、轻纺等几乎所有的工业部门都离不开煤炭。煤经化学分解提炼，可以生产几百种化工原料。煤炭液化工艺的发展，更为煤炭利用展现出广阔的前景。

为满足社会对煤炭不断增长的需求，除努力增产外，更要合理利用，节约使用煤炭。充分有效地利用现有煤炭资源，是缓和煤炭供需矛盾的重要对策。节约用煤是一项长期的战略任务。

工业锅炉是最主要的用煤设备，全国煤炭产量的三分之一左右就是在这类设备中烧去的。研究工业锅炉的经济运行，也就成了合理利用煤炭的一个重要方面。

二、煤的组成及煤质分析

煤炭由多种有机可燃物质和矿物质组成，其主要成分包括碳（C）、氢（H）、硫（S）、氧（O）、氮（N）等5种元素以及水份（M）^①和矿物质（MM）等。煤的组成成分不同，反映了煤化程度的差别，也显示出煤质的好坏。

1. 碳

煤中的主要可燃成分，其重量百分数在煤的各元素中最高。随煤化程度的加深，碳元素百分率也提高。煤在隔绝空气加热时，一部分碳以 CH_4 、 C_2H_6 等气态形式挥发出去，一部分以固定碳形态保留下来。含碳、氢比例合适的焦煤，燃烧放出的热量最高。

① 本书采用国家标准《煤质分析试验方法一般规定》（GB483-87）中的新符号和新下标。为便于对比，在本书附录中列出新旧符号和下标对照表供参考。

2. 氢

煤中第二个重要组成元素。氢燃烧放出的热量比碳高。地质年代越久远的煤，氢元素的百分含量越低。烟煤的含氢量一般约4~6.5%，无烟煤的含氢量小于4%。

3. 硫

煤中的硫包括无机硫化物中的硫和有机质硫两部分。有机质硫和无机硫化物中的硫化物硫（主要是硫化铁）是可以燃烧的，无机硫化物中的硫酸盐（如硫酸亚铁、硫酸钙等）硫是非可燃的。煤经干馏，一部分硫以气态形式挥发，称挥发硫；一部分残留在焦炭中，称固定硫。硫燃烧时可以放出一定热量，但又污染环境，导致腐蚀。

4. 氧

组成煤炭有机质的一个重要元素，对低煤化度煤有较大影响。煤中含氧量低的仅占1~3%，高的可达30%。

5. 氮

煤中的不可燃成分，含量很少，通常在2.5%以下。氮含量一般随煤化程度的增高而降低。

6. 水分

煤中水分按其存在形式分为内在水分和外在水分。前者是指吸附或凝聚在煤粒内部毛细孔中的水，包括与矿物质结合的结晶水。煤中水分含量越高，其他有用成分相对降低，影响燃烧放热。

7. 矿物质

指煤中除水分以外的所有无机物，包括硫酸盐、碳酸盐和硅酸盐等多种。矿物质燃烧后形成灰分（A）。通常，用煤的灰分近似地代表矿物质含量。矿物质是煤中的无用杂质。

煤的组成成分都用重量百分率表示。为了有助于估价和对比煤的性质，常常采用不同的方式来表示组成成分的分析结果，即采用如下的4种不同基准。

1. 收到基（应用基）

以收到状态的煤为基准的表示方法，包括上述7种成分。在燃

煤设备热平衡和热力计算中，都以收到基表示煤的组成成分。各组成成分的收到基以在其符号右边加“ar”表示，如Car表示煤中收到基碳的重量百分率。

2. 分析基

以空气干燥状态的煤为基准的表示方法。把包含全水分的煤风干后，即得出分析样品。各组成成分的分析基含量，在其符号右边加“ad”表示。如Had表示煤中分析基氢的重量百分率。

3. 干基

以无水分状态的煤为基准的表示方法。在各组成成分的右边加“d”表示，如Ad表示煤中干燥基灰分的重量百分率。

4. 干燥无灰基（可燃基）

以假想的煤的可燃物质为基准的表示方法，即把收到基成分扣除水分、灰分后得到的各项结果，准确地说，应是无水无灰基。通常，在组成成分的符号右边加“daf”表示，如Sdaf表示无水无灰基的可燃硫重量百分率。

这4种表示煤炭组成的不同基准间的关系见表2-1。

表 2-1 煤炭分析4种基准间的关系

碳 C	氢 H	氧 O	氮 N	硫 S		灰 A	全水分, Mt	
				有机硫 So	硫酸盐硫 Ss		内在水分 Minh	外在水分 Mf
可燃基组成Cdaf + Hdaf + Odaf + Ndaf + Sdaf = 100 %								
干基组成Cd + Hd + Od + Nd + Sd + Ad = 100 %								
分析基组成Cad + Had + Oad + Nad + Sad + Aad + Mad = 100 %								
收到基组成Car + Har + Oar + Nar + Sar + Aar + Mar = 100 %								

为了从一种基准的组成成份换算到另一种基准的组成百分率，可以按表2-2所列的换算系数予以修正。

表 2-2 煤炭分析结果不同基准间的换算系数

已知的基 要求换算 到的基	分析基	收到基	干 基	干燥无灰基
分析基		$\frac{100 - \text{Mar}}{100 - \text{Mad}}$	$\frac{100}{100 - \text{Mad}}$	$\frac{100}{100 - \text{Wad} - \text{Aad}}$
收到基	$\frac{100 - \text{Mad}}{100 - \text{Mar}}$		$\frac{100}{100 - \text{Mar}}$	$\frac{100}{100 - \text{Mar} - \text{Aar}}$
干 基	$\frac{100 - \text{Mad}}{100}$	$\frac{100 - \text{Mar}}{100}$		$\frac{100}{100 - \text{Ad}}$
干燥无灰基 (可燃基)	$\frac{100 - \text{Mad} - \text{Aad}}{100}$	$\frac{100 - \text{Mar} - \text{Aar}}{100}$	$\frac{100 - \text{Ad}}{100}$	

通常，每一矿井同一煤层的煤炭的可燃基成分是很 少变化的，如欲求得炉前煤的收到基成分，只要通过简单的工业分析求出收到基水分Mar。干基灰分Ad或收到基灰分Aar，就能按 表2-2所列换算系数计算。兹举一例如下。

〔示例 1〕 已知开滦煤的可燃基成分Cdaf 为83.5%、Hdaf 为5.2%、Odaf为8.4%、Ndaf为1.5%、Sdaf为1.4%、干基灰分Ad为25%、收到基的水分Mar为7.0%，试求各组成成分的收到基百分率。

$$\begin{aligned} \text{收到基灰分} \quad \text{Aar} &= \text{Ad} \frac{100 - \text{Mar}}{100} \\ &= 25 \times \frac{100 - 7}{100} = 23.25\% ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{收到基碳} \quad \text{Car} &= \text{Cdaf} \frac{100 - \text{Aar} - \text{Mar}}{100} \\ &= 83.5 \times \frac{100 - 23.25 - 7}{100} = 58.24\% ; \end{aligned}$$

$$\text{收到基氢} \quad \text{Har} = \text{Hdaf} \frac{100 - \text{Aar} - \text{Mar}}{100}$$

$$= 5.2 \times \frac{100 - 23.25 - 7}{100} = 3.63\%,$$

收到基氧 $O_{ar} = O_{daf} \frac{100 - A_{ar} - M_{ar}}{100}$

$$= 8.4 \times \frac{100 - 23.25 - 7}{100} = 5.86\%,$$

收到基氮 $N_{ar} = N_{daf} \frac{100 - A_{ar} - M_{ar}}{100}$

$$= 1.5 \times \frac{100 - 23.25 - 7}{100} = 1.05\%,$$

收到基硫 $S_{ar} = S_{daf} \frac{100 - A_{ar} - M_{ar}}{100}$

$$= 1.4 \times \frac{100 - 23.25 - 7}{100} = 0.97\%,$$

验算: $Car + Har + Oar + Nar + Sar + Aar + Mar$

$$= 58.24 + 3.63 + 5.86 + 1.05 + 0.97 + 23.25 + 7 = 100\%。$$

用同一批煤进行燃烧试验时, 由于收到基煤的水分受到外界气候变化或人为掺水的影响, 都会改变各组成成分的收到基百分率。如用以上办法, 只要测定收到基水分 M_{ar} 就可进行换算, 不需要对试样进行全面分析, 非常简便。

三、煤的主要特性及分析方法

不同类别的煤具有不同的性质, 同一类别的煤也互有差异。掌握煤的主要特性, 是合理调整燃烧过程、促使煤炭燃尽的前提之一。为此, 要进行煤质分析。除了以测定煤炭组成成分为目的的元素分析外, 最重要的是煤炭工业分析。它包括测定煤的水分、灰分、挥发分、固定碳、全硫和发热量等。煤炭工业分析和元素分析之间的关系可从图2-1中看出。除工业分析外, 还有煤的结焦性、煤灰特性和物理-机械性能等分析项目。

(一) 煤炭的工业分析

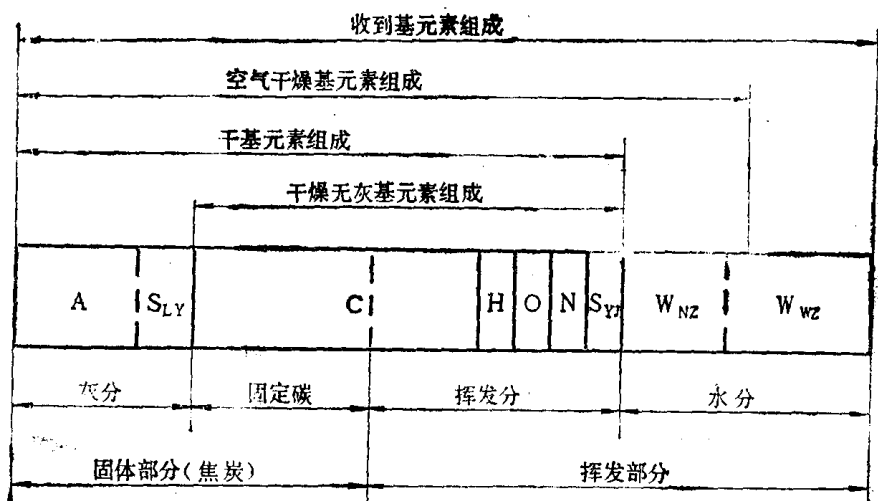


图 2-1 煤炭工业分析与元素组分间的关系

这也叫实用分析，是了解煤的性质、确定其用途的主要手段。有关工业分析项目的含义及其对使用的主要影响简述如下：

1. 水分

这是评价煤炭经济价值的主要指标之一。水分越高，可燃元素则相对减少，发热量降低，经济价值因而随之下降。在煤质分析中，水分的测定包括原煤煤样的全水分 M_t （即炉前煤的收到基水分 M_{ar} ）和分析煤样的水分 M_{ad} （即煤样经空气干燥后测得的水分）。显然， M_{ad} 随空气的温度和湿度而变，它并不等于煤的内在水分 M_{ink} ，这在表2-1和图2-1中已有表示。

水分，特别是外在水分 M_f 对煤炭着火的快慢和燃烧温度的高低都有显著影响。同时，过高的水分也会使输煤系统的运行发生故障。燃烧调整试验表明，由于煤中水分蒸发要消耗一定的热量，故排烟带走的热损失随水分增加而增加。另一方面，由于水分能抑制煤屑从炉子中逸出，故飞灰带走的热损失随水分增加而减少。考虑到这两方面的因素，煤中应保持一恰当的水分，通常在10%左右，这与燃烧方式和运行工况等一系列因素有关。

2. 灰分

这是煤中矿物质燃烧后形成的，是一种有害物质。一般要求煤的灰分越低越好。我国煤炭产品就是以灰分划分等级的。

煤中灰分直接影响煤的发热量和燃烧温度，煤灰的熔融性关系到燃烧方式的选择和燃烧工况的稳定。

3. 挥发分

煤在隔绝空气的条件下加热到 900°C ，在7分钟内分解出来的低分子碳氢化合物、二氧化碳、硫化氢和一氧化碳等气态物质所占的百分数，按照规范性试验方法测得的结果称为挥发分产率。根据煤的挥发分产率，参照焦渣特性，就能初步判断其煤化程度、结焦性、粘结性，以及发热量等重要性质。所以，通常把煤的可燃基挥发分产率 V_{daf} 作为煤炭分类的主要指标。

在配煤炼焦、选择气化用煤、化肥原料煤以及动力用煤时，首先要了解煤炭挥发分的高低。泥炭和褐煤等煤化程度低的煤，可燃基挥发分高，容易着火燃烧，但发热量较低。无烟煤的煤化程度最高，挥发分低，着火点高，燃烧时发热量较高，一般不冒黑烟。烟煤的挥发分变化范围很大，一般容易着火，燃烧不完全时会冒出浓烟。

煤中挥发分析出后所残留的物质称为焦渣，包括固定碳和灰分。

4. 固定碳

除去煤中水分、灰分和挥发分后的剩余物，即为固定碳。在固定碳的化学组分中，除碳元素为主外，还有少量的氢、氧、氮和硫等元素。固定碳是煤炭发热量的主要源泉。固定碳含量高，发热量就高，煤的经济价值也高。煤的可燃基固定碳含量 FC_{daf} ，也是表征煤化程度的一个参数。

煤的固定碳含量与挥发分产率之比，称为煤的燃料比，是表征煤化程度的一个指标。如褐煤的燃料比约 $0.6\sim 1.5$ ，气煤为 $1.1\sim 2.3$ ，焦煤为 $2.3\sim 4.6$ ，无烟煤可达 $10\sim 20$ 。

5. 全硫分

包括有机质硫和无机硫化物中的硫。硫是一种有害元素，

无论对炼焦、制气还是动力用煤，都有一定影响。因此，这也是工业分析中的一个重要项目。通常，干基全硫分小于1.0%的，称为低硫煤；全硫在2%以上的称为高硫煤。

炼焦煤中的硫大部分转入焦炭，除影响炼铁高炉的产量和铁水质量外，还要增加耗焦量。一般要求炼焦配煤的硫分不超过1.0%。高硫煤用作动力燃料时，由于燃烧生成二氧化硫和三氧化硫，往往造成设备尾部（如空气预热器、烟道）腐蚀，同时也污染周围的环境。

6. 发热量

指每单位重量的煤完全燃烧所产生的热量。这是煤质分析最重要的项目之一，是判定动力燃料经济价值的主要指标。燃料发热量不但是进行设备热平衡和热效率测定的基本数据，还可据以估算煤炭燃烧所需要的理论空气量、生成的理论烟气量以及可以达到的理论燃烧温度。燃料发热量还是工业锅炉设计的重要依据之一。

煤的发热量，按照新的法定单位，用兆焦/千克 (MJ/kg) 或千焦/克 (kJ/g) 表示，即1千克煤完全燃烧放出热量的兆焦数或1克煤完全燃烧放出热量的千焦数。热量的原用计量单位为卡。焦耳和卡的关系如下： $1\text{卡}(20^{\circ}\text{C}) = 4.1816\text{焦}$ 。

煤的发热量可用氧弹测热计测定，其结果称为弹筒发热量 Q_b 。由于煤在弹筒中放出的热量还包括生成硝酸和硫酸的热量，而这是在空气中燃烧所不能产生的。扣去这部分热量后称为煤的高位发热量 Q_{gr} ，它与弹筒发热量间有如下关系：

$$Q_{gr} = Q_b - 22.5S_b - aQ_b, \text{ 千卡/千克} \quad (2-1)$$

式中 S_b ——弹筒洗液中的含硫量。当干基全硫分 $S_{t,d} \leq 4\%$ 或 $Q_b > 14.60$ 千卡/克时，可用全硫 S_t 代替 S_b ；

a ——硝酸生成热的系数，

当 $Q_b < 16.90$ 千卡/克时， $a = 0.001$ ；

当 $16.90 < Q_b < 25.10$ 千卡/克时， $a = 0.0012$ ；

当 $Q_b > 25.10$ 千卡/克时， $a = 0.0016$ 。

在煤的高位发热量中，包括燃烧产物中水蒸汽凝结放出的汽化潜热；而在煤实际燃烧时，燃烧产物一般不可能冷却到足以使水蒸汽凝结，所以在可以利用的热量中，并不包括这部分汽化潜热，这种实际燃烧后可以利用的热量，称为煤的低位发热量 Q_{net} ，也称为煤的净热值。它与高位发热量之间有如下关系：

$$Q_{net} = Q_{gr} - 6(M + 9H), \text{ 千卡/千克} \quad (2-2)$$

或 $Q_{net} = Q_{gr} - 23M - 206H, \text{ 千焦/千克}$

在式中， M 、 H 分别为燃料中水分和氢的重量百分率。数值代入后用百分数表示，如水分10%，直接用10代入公式。式中常数23表示每0.01克水分的汽化热为23卡。氢元素前的常数206表示0.01克的氢燃烧后变成水蒸汽逸出时所相当的汽化热。

公式(2-1)和(2-2)并未计及分析基准。通常，弹筒发热量是以分析基计算的，即

$$Q_{gr,ad} = Q_{b,ad} - 22.5S_{b,ad} - aQ_{b,ad}, \text{ 卡/克} \quad (2-3)$$

从分析基换到有实际意义的收到基发热量，可用如下公式：

$$Q_{gr,ar} = Q_{gr,ad} \times \frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}, \text{ 焦/克}, \quad (2-4)$$

$$Q_{net,ar} = Q_{gr,ar} - 23M_{ar} - 206H_{ar}, \text{ 千焦/千克} \quad (2-5)$$

从同一矿井中采出的煤炭，可燃基的高位发热量 $Q_{gr,daf}$ 变化不大，一般接近于常数。如果测得收到基水分和灰分，就可换算出收到基，即发热量：

$$Q_{gr,ar} = Q_{gr,daf} \frac{100 - A_{ar} - M_{ar}}{100}, \text{ 焦/克}, \quad (2-6)$$

在没有氧弹测热计的情况下，也可根据工业分析的水分、灰分和挥发分等数据，利用经验公式来计算煤的发热量。下面是我国煤炭科学研究院提出的一些半经验公式。

1) 无烟煤的分析基高位发热量

$$Q_{gr,ad} = 4.1816K_0 - 334.5M_{ad} - 376.3A_{ad}, \text{ 卡/克} \quad (2-7)$$

式中 K_0 ——根据各矿区煤的平均氢含量或可燃基挥发分产率确定的系数(表2-3和表2-4)。