

电站锅炉劣质煤掺混 及优化燃烧技术

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编

朱光明 主编

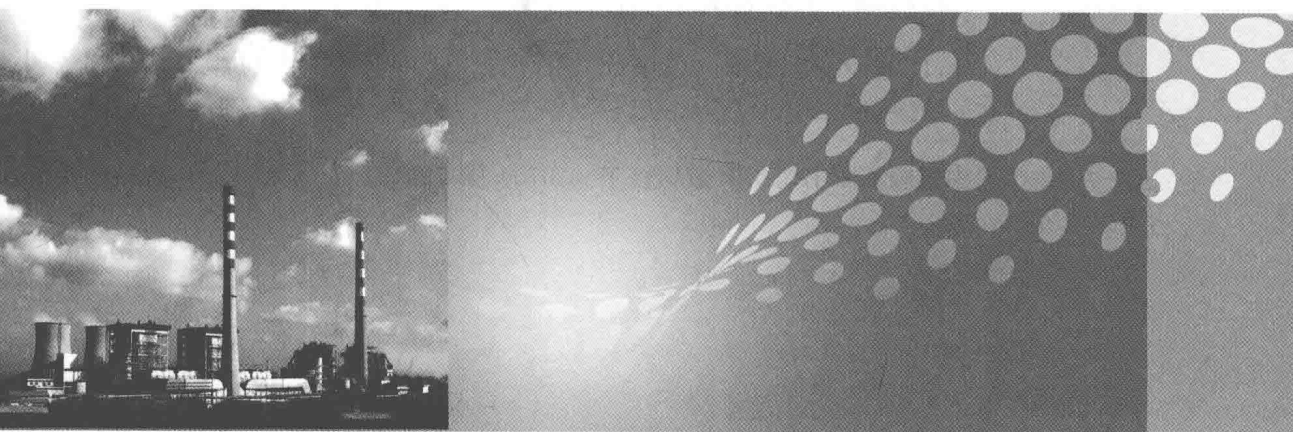


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电站锅炉劣质煤掺混 及优化燃烧技术

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编

朱光明 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要讲述常用动力煤及煤质特性、煤粉燃烧理论、混煤燃烧机理及数理模型、劣质煤及其常规优化燃烧技术、混煤掺烧方式及其选择、混煤的掺混比及其优化模型、混煤掺烧与减缓高硫煤结焦、劣质煤低氮燃烧调整技术。

本书主要适用于锅炉配煤掺烧人员、锅炉运行及调试人员、专业管理人员等。

图书在版编目 (CIP) 数据

电站锅炉劣质煤掺混及优化燃烧技术/朱光明主编; 国网湖南省电力公司电力科学研究院组编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5123-8632-7

I. ①电… II. ①朱…②国… III. ①火电厂-锅炉-配煤(炼焦)-掺烧-研究 IV. ①TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 290131 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 279 千字

印数 0001—2000 册 定价 55.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《电站锅炉劣质煤掺混及优化燃烧技术》

编 委 会

主 编 朱光明

副主编 段学农 焦庆丰

参 编 吕当振 雷 霖 陈 珣 杨剑锋 王敦敦

杨 益 何洪浩 黄 伟 陈一平 徐湘沪

序

能源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础。纵观人类社会发展的历史,人类文明的前进过程,始终伴随着能源利用方式的改进和更替。能源利用技术的进步,极大地推进了世界经济和人类社会的发展。

当前社会,能源利用途径主要有两个:一个是常规化石能源,主要包括煤、石油、天然气等;另一个是清洁能源,主要包括风能、太阳能、核能等。其中,煤炭是世界上储存量最大的化石能源资源,开发时间最长,利用技术最成熟。

我国能源资源结构中,煤炭资源相对是最丰富的。我国也是世界上最早发现和利用煤的国家。辽宁新乐 6200 年前古文化遗址和陕西周墓中,都发现过煤制工艺品。2005 年,我国煤炭产量首次突破 20 亿 t。十年来,总体上,我国的煤炭生产保持了较快的增速。2015 年我国的煤炭产量达到约 37 亿 t。进入工业时代之前,我国利用煤的方式主要是直接燃烧。步入工业化,特别是改革开放以后,我国的煤炭利用方式有了巨大的变化,火力发电用煤量占全国煤炭产量比例逐年增高。2007 年,火力发电消耗原煤占我国总煤炭产量比例首次超过 50%。至 2013 年,该比例增大至 54.6%,全国合计火力发电用煤 19.7 亿 t。相对应,我国长期以来的电力生产结构也是以煤电为主。

由于我国煤炭资源在地理分布上总格局是“西多东少、北富南贫”,而能源消费的主要地区是在我国的东部和南部。因此,煤炭资源生产和消费的错位分布,导致了我国很多火电厂难以燃用设计煤种。

随着国家和社会对节能环保要求的不断提高,火力发电行业的节能减排工作越来越受到相关部门、企业、研究机构和民众的关注。以“深度节能、近零排放”为核心的高效清洁火力发电技术得到蓬勃发展。而在高效清洁火力发电技术中,劣质煤优化燃烧和混煤掺烧技术,是一个重要的研究方向。

应当指出，混煤掺烧技术发起于上世纪 70 年代的美国。几十年来，国内外对于混煤掺烧技术的研究方兴未艾，研究重点略有不同。国外，侧重于研究混煤的氮氧化物、硫氧化物等污染物的排放规律。我国，侧重于研究以劣质煤为基本成分的混煤燃烧特性，关注其燃烧稳定性、经济性。随着技术的不断发展和环保标准的日益严格，我国也越来越多地在混煤的氮氧化物和硫氧化物生成、焦渣生成的机理和控制等方面开展深入研究。

本书编者长期从事劣质煤，尤其是劣质无烟煤的掺混和优化燃烧技术探索。针对各种炉型、各种煤种开展了大量的实验室研究、数值模拟计算以及现场优化对比测试研究，在混煤掺烧方式的选择以及掺混比的优化等技术上，取得了一些突破性的成果。

本书从煤粉燃烧基本理论入手，系统介绍了混煤掺烧机理、劣质煤优化燃烧技术、混煤掺烧方式和选择、掺混比优化、结焦机理与控制、劣质煤低氮燃烧调整技术等，对于国内燃煤火力发电厂在进行劣质煤掺混及优化燃烧时有较大参考价值。



2015 年 11 月

前 言

改革开放以来,我国的电力工业发展迅猛,火力发电的装机容量越来越大,单机容量已由 20 世纪 70 年代的 100~200MW 为主力机组发展到现在的 600MW 为主力机组,1000MW 甚至更高容量的机组已大量投产;机组参数越来越高,已由超高压、亚临界快速发展到超临界、超超临界机组。

我国的电力生产主要由火力发电、水力发电、核电、风电、地热潮汐发电、太阳能发电等组成,其中火力发电装机总量和发电总量长期占我国总装机总量和总发电总量的大部分份额。虽然随着我国电力发展政策的改变,火力发电机组装机容量占比有逐年下降趋势,但是火电机组发电量长期占我国总发电量的 80% 左右,且在可预见的近期,这种比例不会有根本性变化。

我国煤炭资源在地理分布上的总格局是“西多东少、北富南贫”。山西、内蒙古、陕西、新疆、贵州、宁夏 6 省(自治区)煤炭资源总量为 4.19 万亿 t,占全国煤炭资源总量的 82.8%。而煤炭资源的消耗主要在京、津、冀、辽、鲁、苏、沪、浙等地区。这种错位性布局导致我国煤炭运输形成“北煤南运、西煤东运”的格局。我国东、中、西部经济发展的不平衡在短时期内将难以消除,而东部缺煤地区由于开采程度高、资源逐渐枯竭,煤炭供应主要依赖西部地区的现象将更加突出。

众所周知,燃煤电站锅炉是根据特定煤种进行设计的。设计煤种不同,锅炉的炉型、结构、燃烧器及制粉系统的选择以及投产后的锅炉运行方式也不同。设计锅炉时依据的煤种称为设计煤种,是最佳的“适炉”煤种。但实际上,随着火电机组的大型化,大型电站锅炉单位时间内煤炭消耗量越来越大,往往不可能燃用单一煤种,而是燃用两种或多种燃煤。由于国内电煤供应形势的长期紧张,越来越多的电站在生产运行时很难购买到足够的设计煤种;在实际运行中,电网调峰峰谷差日益加大,也迫使电站根据电网需求,按照计划负荷调整燃煤配比;为改善高硫煤、低熔点煤带来的排放和结焦问题,电站也有意识掺入低硫煤和高熔点煤;为降低发电成本,火电站有燃用廉价低质煤的经济驱动。如何确保燃用非适炉煤种时锅炉的经济性、安全性、稳定性以及环保性,在现有燃煤条件下,混煤掺烧是有效提高锅炉燃用非设计煤种的运行效率和运行稳定性,减少污染物排放的重要手段。

混煤掺烧,严格意义上讲,就是特指将两种或两种以上的煤通过不同的掺混手段同时送入电站锅炉内燃烧,以期获得锅炉燃烧稳定和经济的一种应用技术。据统计,早在 20 世纪 80 年代初期,我国电站锅炉各类牌号煤的掺烧量已高达 44%;到 20 世纪 80 年代末,

有近 50% 的电站燃用非设计煤种或混煤；进入 21 世纪后，随着电力装机容量迅速发展以及电煤紧张的局面日趋严峻，掺烧现象更为普遍。因掺烧不善带来了较多的运行经济性以及安全性问题。

劣质煤通常是指对锅炉运行不利的多灰分（大于 40%）、低热值（小于 15730kJ/kg）的烟煤，低挥发分（小于 10%）的无烟煤，水分高热值低的褐煤以及高硫（大于 2%）煤等。燃用劣质煤是火电站对社会的一项贡献。劣质煤由于其固有的燃烧特性较差，在实际燃用过程中，必须应用特殊的燃烧技术，才能确保燃烧时的稳定、经济、环保。

本书所提出的劣质煤燃烧理论、技术和应用研究，是作者多年来在劣质煤优化燃烧，特别是混煤掺烧技术方面进行的实践探索，同时参考大量国内外相关专家学者和组织机构的研究成果完成的。本书共分为八章：

第一章介绍了常用动力煤及煤质特性，引出混煤与单煤相比特殊的特性参数。

第二章介绍煤粉燃烧理论。从化学热力学和化学动力学基本理论开始，重点介绍了影响煤粉着火、燃烧与燃尽等过程的理论研究成果。

第三章介绍混煤掺烧机理及数理模型。对混煤特殊的挥发分析出、着火、燃尽过程进行了深入说明。根据混煤的燃烧特点，提出了一种混煤掺烧的数学模型。

第四章主要阐述劣质煤及其常规优化燃烧技术。主要从卫燃带技术、配风优化技术、制粉系统优化技术、一次风优化技术等方面，讲述了如何高效、清洁燃用劣质煤的技术探索。

第五章讲述混煤掺烧方式及其选择。从不同混煤掺烧方式的技术特点分析着手，介绍了实验室内不同混煤掺烧方式对比的研究成果，以及混煤掺烧方式的现场优化试验实例。最后提出了混煤掺烧方式选择的基本原则。

第六章讲述混煤的掺混比及其优化模型。掺混比是混煤掺烧技术的研究重点之一。在本章，根据掺混比的实验室研究结果，提出了一个混煤掺混比的优化数理模型，并介绍了该模型的优化实例。最后提供了一个掺混比优化及发电成本分析实例。

第七章讲述混煤掺烧与减缓高硫煤结焦。首先介绍了高硫煤的基本概念和危害以及高硫煤结焦、腐蚀的内在机理。通过实例介绍了混煤掺烧在减缓锅炉结焦以及高硫煤混煤掺烧优化方面的探索。

第八章对劣质煤低氮燃烧调整技术进行了介绍。根据低氮燃烧基本理论和技术，结合不同炉型实际配风情况，介绍了 W 型火焰锅炉低氮燃烧调整技术，并结合科研成果，提出了燃煤电站全过程联合脱硝经济评价理念和方法，并深入剖析了锅炉燃烧经济性与氮氧化物减排的内在联系。

劣质煤在我国火力发电领域应用范围广、燃用数量大，其优化燃烧技术对我国火力发电行业的节能减排意义重大。希望本书能够为火电技术研究人员、运行人员等在高效、清洁燃用劣质煤方面提供一定的帮助。

限于作者水平，书中疏漏及不妥之处在所难免，敬请广大读者批评并提出宝贵意见。

编 者

2015 年 10 月

目 录

序 前言

第一章	常用动力煤及煤质特性	1
第一节	我国动力煤分布及分类	1
第二节	常规煤质特性及测试技术	6
第三节	混煤的特殊煤质特性参数	15
第四节	混煤掺烧技术主要研究热点	17
第二章	煤粉燃烧理论	20
第一节	化学热力学与化学动力学概述	20
第二节	煤粉基本理化参数	23
第三节	煤粉的着火	23
第四节	煤粉的燃烧与燃尽	28
第五节	富氧燃烧	33
第三章	混煤燃烧机理及数理模型	38
第一节	混煤的挥发分析出过程	38
第二节	混煤的着火特性	39
第三节	混煤燃尽特性	40
第四节	混煤掺烧的数学模型及应用	41
第四章	劣质煤及其常规优化燃烧技术	48
第一节	卫燃带技术	48
第二节	配风优化技术	49
第三节	制粉系统优化技术	60
第四节	一次风优化技术	65

第五章	混煤掺烧方式及其选择	71
第一节	常用混煤掺烧方式及其技术特点	71
第二节	可磨性与混煤掺烧方式的实验室研究	72
第三节	四角切圆锅炉混煤掺烧方式优化试验实例	87
第四节	W 型火焰锅炉混煤掺烧方式优化试验实例	98
第五节	对冲燃烧锅炉混煤掺烧方式优化试验实例	117
第六节	全煤种混煤掺烧试验研究	126
第七节	混煤掺烧方式选择基本原则	130
第六章	混煤的掺混比及其优化模型	133
第一节	混煤的掺混比优化实验研究	133
第二节	混煤掺混比优化数理模型及应用	138
第三节	混煤掺混比优化试验实例（一）	140
第四节	混煤掺混比优化试验实例（二）	143
第五节	掺混比优化及发电成本分析实例	148
第七章	混煤掺烧与减缓高硫煤结焦	152
第一节	高硫煤基本概念及危害	152
第二节	高硫煤结渣、腐蚀机理	153
第三节	混煤掺烧减缓结焦技术研究	157
第四节	四角切圆配中储式制粉系统的高硫煤掺烧优化	158
第八章	劣质煤低氮燃烧调整技术	162
第一节	NO_x 生成机理	162
第二节	低氮燃烧基本理论与技术	165
第三节	W 型火焰锅炉低氮燃烧调整技术	172
第四节	燃煤电站全过程联合脱硝经济评价	176
第五节	锅炉燃烧经济性与 NO_x 减排关系	179
参考文献		182



常用动力煤及煤质特性

第一节 我国动力煤分布及分类

一、我国煤炭资源概况

我国能源资源具有富煤、贫油、少气的基本特点，因此煤炭资源是我国重要的基础能源。与石油、天然气、核能等一次能源资源相比，将我国已探明的能源资源储量折算成标准煤后，煤炭资源占 85% 以上。表 1-1 为我国 2006~2011 年间的能源消费数据。尽管随着能源结构的逐步调整，我国煤炭消费比重不断下降，但以煤炭为主的能源格局在未来短期内仍无法改变，而采用各种清洁和高效的方式优化煤炭的利用，是解决我国经济发展、能源利用与环境保护的主要途径。

表 1-1 我国能源消费数据					%
年份	煤炭	石油	天然气	水核风电	
2006	71.1	19.3	2.9	6.7	
2007	71.1	18.8	3.3	6.8	
2008	70.3	18.3	3.7	7.7	
2009	70.4	17.9	3.9	7.8	
2010	68.0	19.0	4.4	8.6	
2011	68.0	18.6	5.0	8.0	

我国煤炭资源具有总体资源丰富，但人均储量低的特点。并且我国煤炭资源勘探程度较低，实际上能开采并加以利用的储量，即经济可采储量较少，且我国人口众多，人均占有量较低，为 234.4t/人，而世界人均煤炭资源占有量为 312.7t/人，我国仅为世界平均水平的 60%。

煤炭是植物遗体经过漫长的生物化学作用和物理化学作用而转变成的沉积有机矿产。由于煤炭形成过程中的有机化学反应非常缓慢，通常认为时间是成煤的第一关键因素。在漫长的地质年代中，我国共有 4 个主要的成煤期，分别为华北一带的早二叠纪，南方地区的晚二叠纪，华北北部、东北北部和西北地区的早中侏罗纪，以及东北地区、内蒙古东部的晚侏罗纪。这 4 个成煤期所赋存的煤炭资源量分别占中国煤炭资源总量的 26%、5%、60% 和 7%，因此决定了我国西多东少、北富南贫的煤炭总体分布格局。

此外，我国的煤炭资源与地区经济发达程度呈逆向分布特点。在我国经济相对落后的山西、内蒙古、陕西、新疆、贵州和宁夏等省份，其煤炭资源约占全国煤炭资源总量的



83%，达4.2万亿t，且煤炭种类齐全，煤质较好。而经济较发达的东南沿海省份，其煤炭资源仅为全国煤炭资源总量的5.3%，不到0.3万亿t，相对匮乏。由于我国煤炭资源远离煤炭消费地区，运输压力大，极大地制约了我国煤炭工业的发展。

我国不仅煤炭资源丰富，而且煤种齐全，从褐煤、烟煤到无烟煤，都有一定储量。其中烟煤较多，占全国煤炭资源总量的80%以上，无烟煤约占9%，褐煤占8%。在无烟煤中，以动力煤储量最多，约占烟煤总储量的1/2以上。我国烟煤具有低灰分、低硫分的特点，原煤灰分大都低于15%，硫分低于1%，部分煤田的原煤灰分甚至仅为3%~5%，是天然存在的精煤。另外，我国烟煤的煤岩组分中丝质组含量高，通常在40%以上，为优质的动力煤。

二、动力煤分类及特性

煤炭属于有机矿产，不同时间和地域形成的煤炭在质量上存在很大的差异，使得其具体的利用方式也不尽相同。根据不同的利用方式，可将煤炭分为原料煤和动力煤。原料煤主要用于生产各种二次产品或二次燃料，对煤炭品质要求较高。动力煤主要用于发电、机车动力和锅炉燃烧等目的，对煤炭的品质要求较宽松。在已探明的煤炭储量中，原料煤占27%，动力煤占73%。可见，我国动力煤储量非常丰富。

动力煤作为燃料煤，在我国的经济发展、基础建设、民生日用等方面发挥着重要的作用。在我国的煤种中，用作动力煤的煤种主要包括不黏煤、长焰煤、褐煤、无烟煤、贫煤、弱黏煤及部分未分类的煤种。其中不黏煤储量最多，占动力煤已查明资源储量总量的21.83%，其次是长焰煤、褐煤和无烟煤，分别占20.07%、17.69%和15.24%，储量最少的为弱黏煤，占2.18%。在全国动力煤生产中，以无烟煤产量最多，占动力煤产量的36%；其次是长焰煤，约为16%；弱黏煤产量占15%；贫煤、褐煤产量最少，只占8%左右。除上述煤种外，我国炼焦烟煤中，分不出牌号的全部用作动力煤，气煤约70%用作动力煤，其他炼焦烟煤中灰分或硫分高于30%的煤种，也主要用作动力煤。

1. 不黏煤

不黏煤是一种在成煤初期已经受到深度氧化作用的从低变质程度到中等变质程度的烟煤。水分大于一般烟煤，含氧常在10%以上，丝炭含量高。加热时，基本上不产生胶质体。主要用于发电、机车、烧锅炉和民用。

2. 长焰煤

长焰煤是变质程度最低的一种烟煤，黏结性极弱。其中最年轻的还含有一定数量的腐殖酸。储存时易风化碎裂。煤化度较高的年老煤，加热时能产生一定量的胶质体。挥发分和焦油产率高。主要用于发电、机车和一般锅炉燃料，也可加氢液化制造石油、低温干馏和民用。

3. 褐煤

褐煤是煤级最低的煤，其特点为含水分大、密度较小、无黏结性，并含有不同数量的腐殖酸，煤中氧含量高，常达15%~30%。化学反应性强，热稳定性差，块煤加热时破碎严重。存放在空气中易风化变质、破碎成小块甚至粉末状。发热量低，煤灰熔点也低，主要用于坑口发电、动力煤、加氧液化制造石油、提取褐煤蜡，制取有机化肥和活性碳。

4. 无烟煤

无烟煤是高变质煤，固定碳含量高、挥发分低、密度大、硬度强、燃点高、燃烧时间长、火力旺，燃烧时不冒烟。01 号无烟煤为年老无烟煤，02 号无烟煤为典型无烟煤，03 号无烟煤为年轻无烟煤。无烟煤主要用于化工造气，高炉喷吹和动力用煤。

5. 贫煤

贫煤是煤化度最高的一种烟煤，不黏结或微具黏结性。在层状炼焦炉中不结焦。燃烧时火焰短，发热量较高、耐烧，主要用作动力煤，也可造气，用作合成氨原料和气体燃料。

6. 弱黏煤

弱黏煤是炼焦煤与非炼焦煤之间的过渡煤种，是一种黏结性较弱的从低变质到中等变质程度的烟煤。弱黏煤加热时，产生较少的胶质体。虽可炼焦，但所炼焦炭多数质次粉多。弱黏煤主要为动力煤，也可在炼焦中适当配入代替气、焦和瘦煤。

在动力煤煤种中，灰分最低的是弱黏煤，平均值为 13.10%；灰分最高的是贫煤，平均值为 31.55%。在动力煤资源中，硫分最低的是褐煤，平均硫分只有 0.51%；硫分最高的是贫煤，平均硫分达 2.20%。动力煤的空气干燥基高位发热量 ($Q_{gr,ad}$) 平均值为 25.52MJ/kg，褐煤最低，平均值不到 20MJ/kg。我国动力煤煤质分析详细数据见表 1-2。

表 1-2 我国动力煤煤质分析详细数据

煤种	水分 (%)	灰分 (%)	挥发分 (%)	硫分 (%)	发热量 (MJ/kg)
不黏煤	9.80	14.26	32.58	0.67	26.79
长焰煤	13.10	23.99	42.46	1.18	22.32
褐煤	26.50	26.32	48.08	0.51	16.89
无烟煤	5.70	20.76	8.68	1.07	26.46
贫煤	5.70	31.55	16.34	2.20	24.37
弱黏煤	7.70	13.10	31.32	0.74	29.59

三、我国动力煤分布

与煤炭资源分布类似，我国动力煤主要分布在华北和西北地区，分别占全国动力煤储量的 46.5%和 37.56%，而工业发达的华东地区的动力煤储量仅为 1.73%，东北和中南地区的动力煤储量也仅为 5.13%。从各地区的动力煤占当地煤炭储量的比例分析，西北地区的动力煤占当地煤炭储量的 90%以上；西南地区次之，接近 80%；华东地区最少，约为 24%，具体数据见表 1-3。各省、市、自治区中，内蒙古自治区的动力煤储量最丰富，约占全国动力煤储量的 32.52%；其次是陕西、新疆、山西、贵州，分别占全国动力煤储量的 18.42%、17.23%、12.61%和 5.23%。我国各地区动力煤比例见表 1-3。

表 1-3 我国各地区动力煤比例

地区	华北	东北	华东	中南	西南	西北
占本地区煤炭储量比例 (%)	69.06	60.55	23.92	67.99	79.85	92.7
占全国动力煤储量 (%)	46.5	2.51	1.73	2.62	9.07	37.56
占全国煤炭储量 (%)	34.06	1.87	1.29	1.95	6.75	27.94



总体而言，我国各地区的动力煤分布极不均匀。其中无烟煤主要集中分布在山西和贵州，其储量分别占全国无烟煤总体储量的 40%和 30%，河南、四川、云南、河北、北京、福建和广东等省份有一定的储量，而其他各省份的无烟煤储量则相对较少。贫煤是动力煤资源中储量相对较少的一个煤种，主要分布在山西省，山西省贫煤储量约占全国贫煤总储量的 60%。弱黏煤占动力煤比例最少，主要分布在陕西和山西，弱黏煤储量分别占该煤种全国储量的 50%和 40%，其中山西大同矿区是我国优质弱黏煤的主要产地。不黏煤主要分布于内蒙古自治区及陕西省，两者不黏煤储量占该煤种全国储量的 50%以上，另外，宁夏、甘肃、新疆等省份也有较大储量的不黏煤。长焰煤主要分布在新疆维吾尔自治区，其长焰煤储量占该煤种全国储量的 50%，此外，内蒙古、山西、东北三省、甘肃等地也占有较大的长焰煤储量比例。褐煤是最年轻的一个煤种，主要分布于内蒙古东北部，该区域褐煤储量约占全国褐煤储量的 70%，其他省份，如云南省、东北三省及山东、广西、广东等也都有一定的储量。

四、我国主要动力煤煤质及应用现状

由于成煤条件不一样，我国各地区的动力煤煤质也不相同。我国各地区动力煤煤质分析见表 1-4。

表 1-4 我国各地区动力煤煤质分析

区域	水分 (%)	灰分 (%)	挥发分 (%)	硫分 (%)	发热量 (MJ/kg)
华北区	9.20	20.85	23.46	0.93	24.2
东北区	10.30	27.15	39.06	0.56	21.7
华东区	7.90	26.64	34.74	1.22	23.4
中南区	7.00	26.15	25.06	1.48	23.5
西南区	6.40	27.56	23.41	2.56	23.2
西北区	6.10	16.84	26.74	1.34	23.9
全国	8.40	23.85	28.71	1.09	23.2

由表 1-4 可见，我国西北地区动力煤以烟煤为主，水分、灰分较低；华北地区动力煤灰分和硫分较低，发热量最高；东北地区的动力煤水分高，发热量低，主要是由于其低阶气煤、长焰煤及褐煤所占比例较高的原因；西南地区动力煤煤质则具有高灰分、高硫分和高挥发分的特点。

我国动力煤主要用作电站发电，以满足各行业电力需求，其次用于各种工业锅炉燃烧，以满足工业和民用需求，另一部分用于建材、冶金及化工等领域。由于煤炭市场化，电站实际燃用的煤种常常来自各个不同的矿区，煤种混杂，即使是同一矿区，其开采出来的煤质也不尽相同，从而导致电站实际用煤偏离设计煤种，影响锅炉效率。另外，由于矿区直接开采出来的原煤灰分偏高，在我国“北煤南运、西煤东送”的背景下，将开采出来的原煤直接运送也会造成运力的过度消耗。因此，为提高电站的锅炉效率和节约原煤的运输成本，通常对动力煤采取矿区煤炭洗选和厂区配煤的方式，以高效利用。

煤炭洗选是提高煤质最直接的有效方法，但我国目前动力煤的入洗率还比较低，仅有不到 30%，大部分直接送用户燃用。因此，我国煤炭的洗选工作有着很大的提升空间。通过洗选后，可以大幅度降低燃煤灰渣、硫和汞等污染物的排放，从而减少锅炉磨损，提高

燃烧效率。大同矿区、神东矿区和潞安矿区煤质洗选对比见表 1-5。由三个矿区煤炭洗选前后比较可知，通过洗选后的煤质得到了很大的提高。随着我国煤炭开采深度的增加，煤炭的灰分随之增加，含矸率增加，煤质呈下降趋势，煤炭的洗选更具必要性。

表 1-5 大同矿区、神东矿区和潞安矿区煤质洗选对比

矿区	煤种	煤质情况	主要洗选工艺	洗选效果
大同矿区	弱黏煤、气煤	(1) 弱黏煤灰分为 5%~17%，气煤灰分平均超过 20%； (2) 发热量为 18.59~34.28MJ/kg	块煤重介浅槽、末煤重介旋游器	(1) 精煤灰分降低 44.02%； (2) 汞含量降低 24.30%； (3) 发热量提高 26.96%
神东矿区	不黏煤、弱黏煤	(1) 水分为 5%~15%； (2) 灰分为 7%~10%； (2) 发热量为 18.58~32.20MJ/kg	块煤重介浅槽、末煤重介旋游器	(1) 精煤灰分降低 44.86%，发热量提高 47.81%； (2) 混煤灰分降低 32.98%，发热量提高 22.13%
潞安矿区	贫瘦煤、贫煤	(1) 灰分为 29%； (2) 发热量为 21.62MJ/kg	块煤跳汰分选，13mm 以下煤不入洗	(1) 精煤灰分降低 48.78%； (2) 汞含量降低 8.93%； (3) 发热量提高 23.62%

动力配煤是国家 1985 年以来就推荐使用的节能稳产技术之一，它对提高锅炉热效率、节约煤炭资源、扩大煤源等有着重要的经济和社会效益。动力配煤是指把不同性质、不同种类的动力煤按照一定的比例分配而掺合到一起，然后进行加工合成的符合用户要求的混合煤。传统的配煤方式一般包括仓混式、库混式、带混式和炉内直接混合等形式。其中仓混式系统混煤量较小；带混式系统复杂，投资大，不适合电站的实际情况；炉内直接混合是将不同煤种按一定比例从锅炉的不同位置送入炉膛燃烧，稳定性和调节效果较好。随着配煤技术的发展，现代配煤方式发展到了依靠配煤理论，运用计算机指导电站的动力配煤，从而有效控制入炉煤品质，保证锅炉的稳定运行，减轻锅炉结渣、积灰、腐蚀和磨损。

我国各个地区煤种多样，煤质差异大，原则上动力配煤应尽量符合锅炉的设计煤种，而实际配煤中难以达到，但在各煤质指标上，仍有目标值可供参考遵循。表 1-6 为电站用动力煤的各煤质分析范围，可供配煤时参考。

表 1-6 电站用动力煤的各煤质分析范围

项目	挥发分 (%)	灰分 (%)	水分 (%)	硫分 (%)	发热量 (kJ/kg)
数值	10~30	10~30	5~8	<2.5	符合设计值

为了进一步规范我国动力配煤市场，保证产品质量，提高管理水平，推动动力配煤产业的健康发展，国家于 2011 年出台了 GB 25960—2010《动力配煤规范》，对动力配煤原料的品质、科学的配煤方案、质量控制措施、动力配煤产品的品质以及质量检验和验收提出了强制要求。



第二节 常规煤质特性及测试技术

一、概述

(一) 煤的形成

亿万年前,古代植物由于地壳的作用被埋在地下,植物在隔绝空气的情况下由于细菌的作用发生腐烂分解,其内部组织遭到破坏,一部分物质转化为气体溢出,残余物质开始变成泥炭,泥炭在地下受地层压力和地温的影响,慢慢地被压紧和硬化,继续排出挥发性气体和水分,使含碳成分比例不断增高,最终变为现在开采出来的煤。

(二) 煤的分类

根据成煤的原始植物及其煤化程度的不同,煤的化学组成与其特性各有差异,依其煤化程度可分为无烟煤、烟煤、褐煤三大类。

(1) 无烟煤。碳化程度最高,挥发分低、着火点高、质地坚硬、无黏结性,燃烧时多不冒烟。

(2) 烟煤。碳化程度低于无烟煤,挥发分范围很大,燃烧时多冒烟。

(3) 褐煤。没有或很少经过变质作用形成的煤,光泽暗淡,呈褐色,含数量不同的腐殖酸,特点为高水分、挥发分,低发热量。

(三) 煤的成分

1. 元素分析

煤是一种混合物,主要由 C、H、O、N、S 五种元素组成,对煤中这五种元素含量的分析称为煤的元素分析,是煤燃烧性能的一种分析方法。

2. 工业分析

从煤的组成成分来分,煤由水分、灰分、挥发分和固定碳组成。

(1) 水分。属于不可燃成分,用符号 M 表示。

(2) 灰分。代表无机矿物质含量,属于一种不可燃成分,用符号 A 表示。

(3) 挥发分。代表易挥发的有机物含量,主要是碳氢化合物等,属于可燃成分,用符号 V 表示。

(4) 固定碳。代表不挥发的有机物含量,属于可燃成分,用符号 FC 表示。

对煤中水分、灰分、挥发分含量的分析称为煤的工业分析。工业分析是对煤质进行测试的一种最常规的、最重要的分析方法。

(四) 反映煤质的主要特性

1. 发热量 (Q)

单位质量的煤完全燃烧时所放出的热量称为煤的发热量或热值,单位为焦耳/克 (J/g) 或兆焦/千克 (MJ/kg)。发热量的惯用单位为卡/克或千卡/千克 (cal/g 或 $kcal/kg$), $1cal=4.1816J$ 。作为动力用煤,目的就是要利用煤的发热量。煤的发热量高低与它含有的成分(灰分、水分、挥发分)有关系,因此,它是表征煤质好坏的综合性指标,我国的煤炭价格,主要以发热量议价,以收到基低位发热量为计价标准。用于测量煤的发热量的仪器为



量热仪。

2. 挥发分 (V)

煤的挥发分是指煤中的有机组成成分,在燃烧过程中,碳氢化合物分解氧化成 CO 和 H_2 , H_2 和 CO 很快燃烧,且释放大量的热能,很快点燃了固定碳,因此煤中的挥发分越高,煤越容易着火,固定碳也越容易烧尽。一般情况下,在发热量相同的煤中,如果挥发分较高,那么锅炉热效率也较高。因此,煤的挥发分含量是评价动力用煤的重要条件。检测挥发分的仪器有马弗炉、自动工业分析仪、挥发分测试仪等。

3. 水分 (M)

水分是动力用煤的一个重要特性指标,是评定煤经济价值的基本指标,煤中全水分由外在水分和内在水分组成。

(1) 外在水分。是指开采、运输、存储以及洗煤时,煤表面所附着的水分。将煤置于空气中干燥时,煤的外在水分会蒸发掉。

(2) 内在水分。是指煤所固有的游离水。在室温条件下,这部分水不易失去。

煤中的水分过高,发热量必然降低,且蒸发还要吸热,降低炉温,使煤不易着火,煤中水分过低,易造成煤粉飞扬,适当的水分则有助于燃烧。检测水分的仪器设备有恒温干燥箱、工业分析仪和微波水分仪等。

4. 灰分 (A)

煤中所有可燃成分完全燃烧以及煤中矿物质在一定温度下产生一系列分解、化合等复杂反应后的残渣即灰分。灰分是煤的主要杂质,灰分在煤燃烧时因分解吸热而大大降低炉温,使煤着火困难,灰分含量高,其发热量一定低,灰分每增加 1%,发热量降低约 0.4 MJ/kg,因此可根据灰分估算出发热量,但估算值误差较大。

5. 硫 (S)

煤中硫可分为可燃硫和不可燃硫,是一个重要的环保指标。可燃硫燃烧后,虽然放出一部分热量,但会生成 SO_2 和少量的 SO_3 , SO_2 会从烟囱排放到大气中,污染大气。 SO_3 和水汽结合形成硫酸蒸汽,并在低温受热面上凝结而腐蚀设备,因此现在越来越多的生产单位要求煤的含硫量在 1% 以内。检测硫含量的仪器为测硫仪。

6. 灰熔融性

煤的灰熔融性是评价煤灰是否容易结渣的一个指标,煤灰在一定温度下开始变形,开始变形的温度称为变形温度 (DT),进而软化和流动,称为软化温度 (ST) 和流动温度 (FT)。煤灰软化温度实际上是开始熔融的温度,故习惯称其为灰熔点 (ST)。当炉温达到或超过灰熔点温度时,煤灰就会结成渣块,影响通风和排渣,使炉膛含碳量升高,有时会黏在炉墙管壁或炉排上,恶化传热,造成局部高温,严重影响锅炉的正常运行。灰熔融性对锅炉的安全经济运行关系极大。

7. 氢 (H)

我国的煤炭分类标准中把 H_{daf} 作为划分无烟煤小类的指标之一。煤的氢含量也是发热量由高位换算到低位时必须用到的一个参数。1% 的氢含量大约影响热值 200 J/g。

除以上所述的七大特性指标外,还有结焦性、可磨性指数、粒度等特性指标。