

600MW 级

火 力 发 电 机 组 丛 书

燃料运行与检修

张 磊 马明礼 主编

- 紧密结合电厂实际运行
- 体现600MW机组新技术
- 适合电厂培训使用



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

600MW 级

火 力 发 电 机 组 丛 书

燃料运行与检修

张 磊 马明礼 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要讲述火力发电厂 600MW 机组的燃料管理及燃料系统中各主要设备的结构、工作原理和运行知识,内容包括电厂燃料生产过程概况、燃料基本知识、锅炉与燃料的关系、燃料管理、燃料运输系统、带式输送机、煤场设备、翻车机及翻车机系统、筛碎设备、除尘设备、燃料计量设备、输煤系统的电气与控制等。

本书可供从事火力发电厂燃料运行和管理的技术人员使用,也可供职工培训和燃料专业的学生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

燃料运行与检修/张磊,马明礼主编. —北京:中国电力出版社,2006

(600MW 级火力发电机组丛书)

ISBN 7-5083-3700-X

I. 燃... II. ①张... ②马... III. ①火电厂-电厂燃料系统-运行 ②火电厂-电厂燃料系统-检修
IV. TM621.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 131606 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 2 月第一版 2006 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 527 千字

印数 0001—3000 册 定价 31.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

《600MW 级火力发电机组丛书》

编 委 会

主 编 张效胜 张 磊

副主编 李启涛 孙奎明 代云修 于瑞生

陶苏东 张立华 马明礼 张灿勇

荀堂生 张盛智 时海刚 杜祖坤

参 编 苏庆民 柴 彤 牛 勇 王玉华

李广华 刘红蕾 夏洪亮 高洪雨

陈雪刚 王秀清 董桂珍 尹民权

杨志勇 尚庆军 宋中炜 赵 嵘

华 静 朱福霞 马卫东 刘学恩

王 伟

600MW级火力发电机组丛书

燃料运行与检修

前言

1981年,我国第一台单机容量600MW火电机组(元宝山电厂二期工程)投运。这标志着我国电力工业开始步入大容量、高参数、高度自动化时期。600MW火力发电机组具有大容量、高参数、低能耗、低污染等优点,现已逐渐成为我国火力发电厂的主力机型。截止到2004年底,全国已有多台600MW机组投入运行。

随着我国电力工业的迅猛发展,新材料、新设备、新技术、新工艺不断投入应用,现代大型火力发电厂对生产管理人员和专业技术人员掌握新材料、新设备、新技术、新工艺的能力提出了更高、更新的要求。为满足广大生产管理人员和专业技术人员渴望学习新知识、新技能的迫切需求,山东省电力学校组织编写了《600MW级火力发电机组丛书》。

在结合山东省600MW火力发电机组多年运行经验的基础上,本丛书详细地介绍了600MW级机组锅炉设备、汽轮机设备、电气设备及系统的结构、原理、技术特点和运行技术,同时也详细地分析和介绍了600MW机组的热工自动化设备及系统、燃料系统运行与管理、电厂化学等方面的知识。

本丛书共有六个分册:《燃煤锅炉机组》,由张磊、张立华主编;《汽轮机设备及系统》,由代云修、张灿勇主编;《电气设备及系统》,由陶苏东、荀堂生、张盛智主编;《燃料运行与检修》,由张磊、马明礼主编;《热工自动化》,由孙奎明、时海刚合编;《电厂化学》,由于瑞生、杜祖坤合编。

本丛书突出了600MW级火力发电机组的技术特点,以实用、提高技能为核心,对火力发电机组共性的基本理论部分进行了适当的弱化处理,而对600MW级火力发电机组的特点及其特殊的生产管理要求进行了详细的阐述。

本丛书既可作为生产人员的岗位培训教材,也可作为大、中专院校电厂热能动力工程、热工自动控制、电厂化学、电气等专业的参考教材。

在本丛书编写过程中,华电集团邹县发电厂、中华电力聊城发电厂、华能集团德州发电厂、山东电力研究院有关领导和专家给予了大力支持和热情帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写人员水平所限,加之时间仓促,疏漏和不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《600MW级火力发电机组丛书》编委会

2005年11月

编 者 的 话

本书是《600MW级火力发电机组丛书》的一个分册。本丛书主要以山东 600MW 火力发电机组的燃料设备及其系统的结构特点、原理、功能及性能为编撰重点,突出 600MW 火力发电机组技术特点。

随着大型火力发电厂容量的增大,燃料工作任务也会随之加重。随着电力生产自动控制技术的不断提高,输煤系统的控制也得到了发展,燃料生产人员占全厂生产人员的比例也在不断增大,燃料运输新技术也在不断更新。燃煤输送的生产任务主要是卸煤、储煤、输煤、配煤、碎煤和清除煤中杂质,保证及时按需供应合格的原煤,并且还要不断完善生产工作环境。对于目前日耗煤量 20000t 以上的大型火力发电厂,要完成合格清洁的供煤任务,对运行技术管理和设备的可靠性要求必然更高。运煤设备在不停地磨损、碰撞、修理或更换,整个输煤过程表现为资金量、劳动力和技术性高度集中的紧张状态,说明燃料运行在电力生产过程中是不可低估的薄弱环节。如何保证设备运行的可靠性、减少燃料运行人员与维护人员劳动强度、提高经济效益,成为一个表征火电企业进步的标志。

本书侧重编写装机容量为 2000MW (单机容量为 600MW) 左右的大型火电厂,注重实际应用,理论计算从略,从技术实用性出发,力求全面地介绍相关的技术内容。本书按专业知识结构体系分类,从结构原理到使用维护和故障排除进行讲解,有助于读者系统掌握电厂燃料运输理论。各章将同类设备中应用较广、代表性较强的设备放在前节,同时在其中介绍这类设备的公用技术知识,后面章节中的同类型的设备只介绍个别特性。该书适合于从事电厂燃料工作的技术人员在技术深度和广度上学习,也可作为大中专院校电厂燃料专业师生的参考书。

本书在编写过程中得到邹县发电厂、德州发电厂和聊城发电厂的大力支持,并提供了大量的技术资料,在此表示衷心的感谢。邹县发电厂的董桂珍同志和聊城电厂杨志勇同志提了许多宝贵建议,对此深表感谢。

编 者

2005 年 11 月

目 录

前言

编者的话

第一章 电厂燃料生产过程概况	1
第一节 我国能源的分布	1
第二节 电厂锅炉燃料系统特点	4
第三节 电厂卸煤系统	5
第四节 储煤系统	5
第五节 输煤系统	6
第二章 燃料	8
第一节 燃料基本概念	8
第二节 电厂锅炉用煤	8
第三节 电厂燃料用油	24
第四节 煤炭洁净加工开发技术	26
第三章 锅炉与燃料的关系	31
第一节 燃料燃烧的基本原理	31
第二节 锅炉热效率及燃料消耗量	36
第三节 锅炉的热损失	38
第四节 锅炉指标及设备选取与燃料性质	41
第四章 燃料管理	46
第一节 燃料的验收	46
第二节 煤的计价	61
第五章 燃料运输系统	67
第六章 带式输送机	74
第一节 类型和布置	74
第二节 带式输送机的主要部件	75
第三节 带式输送机主要参数计算	84
第四节 带式输送机的调试	92
第五节 安装调试	95
第六节 胶带输送机的检修规程	98
第七节 运行规程	106

●第七章 煤场设备	111
第一节 斗轮机	111
第二节 门式滚轮堆取料机	128
第三节 推煤机和装载机	151
第四节 储煤罐	160
第五节 抓斗式煤场机械	162
●第八章 翻车机及翻车机系统	173
第一节 翻车机的特点及种类	173
第二节 翻车机整体主要组成部分	173
第三节 翻车机主要辅助机械	184
第四节 翻车机生产能力及选用布置原则	190
第五节 翻车机典型铁路线配置及主要作业流程	191
●第九章 筛碎设备	198
第一节 筛分基本概念	198
第二节 筛煤设备的种类及原理	201
第三节 筛分设备的特点的比较	212
第四节 典型筛分机型介绍	213
第五节 ZS-1000 型正弦滚轴筛的检修工艺	215
第六节 正弦筛运行规程	218
第七节 碎煤机械	219
第八节 锤击式碎煤机	220
第九节 反击式碎煤机	224
第十节 环锤式碎煤机	226
第十一节 HS-700 型环式碎煤机检修工艺	231
第十二节 HS-700 型环式碎煤机运行规程	237
●第十章 除尘设备	239
第一节 粉尘的性质	239
第二节 除尘的方法	240
第三节 除尘设备	241
第四节 除尘系统其他设备	246
●第十一章 燃料计量设备	251
第一节 动态轨道衡	251
第二节 电子皮带秤	263
●第十二章 输煤系统的电气与控制	278
第一节 FZ1-2B “C” 型翻车机电控	280
第二节 斗轮机的电控	284
第三节 输煤程控	287
第四节 某电厂 2×600MW 机组输煤系统控制举例	291
第五节 燃料火灾自动报警装置	300
参考文献	304

电厂燃料生产过程概况

电力是国民经济发展的重要能源,火力发电是我国和世界上许多国家生产电能的主要方法。火力发电厂的主要设备——锅炉、汽轮机和发电机被称为火力发电厂的三大主机,而锅炉则是三大主机中最基本的能量转换设备。火力发电厂存在三种型的能量转换:煤炭在锅炉内燃烧放出热量,将水加热成具有一定压力和温度的蒸汽,然后蒸汽沿管道进入汽轮机膨胀做功,带动发电机一起高速旋转,从而发出电来。在汽轮机中做完功的蒸汽排入凝汽器中并凝结成水,然后被凝结水泵送入除氧器。水在除氧器中被来自抽汽管的汽轮机抽汽加热并除去所含气体,最后又被给水泵送回锅炉中重复参加上述循环过程。显然,这种能量转换过程为:在锅炉中煤的化学能转变为热能;在汽轮机中热能转变为机械能;在发电机中机械能转换成电能。

电厂燃料生产系统分为卸煤系统、储煤系统和上煤系统。另外,燃料工作还包括入厂煤的分析及验收等工作。

第一节 我国能源的分布

电能的生产过程实际上是电厂通过发电设备将一次能源转化为二次能源的过程:一次能源是指以原有形式存在于自然界中的能源,如原煤、原油、水力、风力、草木燃料、地热、核能、太阳能等;二次能源是指由一次能源直接或间接转换为其他形式的能源,如电能、热能、各种石油制品、煤气、液化气、余热、火药、酒精等。

一、水利资源

我国单河理论蕴藏量 0.876 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{a}$ 以上的河流 3019 条,总理论蕴藏量为 5.7 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{a}$,加上部分较小河流,合计为 5.92 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{a}$ (未统计台湾省水能资源),居世界第一位。经统计,单站装机 500kW 及以上的可开发水电站共 11000 余座,总装机容量 3785 万 kW ,多年平均年发电量 19233 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

中国河川水能资源的特点有:①资源量大,占世界首位。②分布很不均匀,大部分集中在西南地区,其次在中南地区,经济发达的东部沿海地区的水能资源较少,而中国煤炭资源多分布在北部,形成北煤南水的格局。③大型水电站的比重很大,单站规模大于 200 万 kW 的水电站资源量占 50%。已于 1994 年 12 月开工的长江三峡工程的装机容量为 1820 万 kW ,多年平均年发电量 840 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。位于雅鲁藏布江的墨脱水电站,经查勘研究,其装机容量可达 4380 万 kW ,多年平均年发电量 2630 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

二、石油资源分布

石油是存在于地下的一种液态、气态或固态的复杂烃类化合物,主要是烷烃,也有苯环烃和环烷。石油的成分随地区而异,一般含碳 84%、氢 11%~14%,另外还含少量氧、氮和硫等;灰分含量低,约 0.05%。石油是由古地质年代有机物质[主要是单细胞植物(如蓝—绿海藻类)、

单细胞动物（如有孔虫类）] 沉积后，经过长期物理、化学变化而生成。

根据 1993 年全国油气资源评价，中国陆上和沿海大陆架沉积盆地总面积约 550 万 km^2 ，石油总资源量 940 亿 t。中国石油资源以陆相油藏为主，含油气盆地分为 3 个基本类型：东部拉张型盆地、中部过渡型盆地、西部挤压型盆地。全国分为 6 个含油气区：东部，主要包括东北和华北地区；中部，主要包括陕、甘、宁和四川地区；西部，主要包括新疆、青海和甘肃西部地区；南部，包括苏、浙、皖、闽、粤、湘、赣、滇、黔、桂 10 个省区；西藏区，包括昆仑山脉以南，横断山脉以西的地区；海上含油气区，包括东南沿海大陆架及南海海域。中国石油资源的勘探程度还很低，勘探领域主要是陆相地层。

据美国《油气杂志》的资料表明，1996 年底，中国石油探明储量约 32.87 亿 t，居世界第九位。中国石油探明储量随石油地质勘探工作的发展而增加。1949 年，石油地质储量为 0.29 亿 t，产量为 12 万 t；1959 年 9 月中国发现大庆油田，1961 年石油地质储量达到 26 亿 t；1978 年，中国石油产量突破 1 亿 t，地质储量达到 68.1 亿 t；1985 年，石油产量为 1.249 亿 t，地质储量达到 116 亿 t。1990 年，中国石油产量为 1.383 亿 t，居世界第 5 位。

三、天然气资源分布

天然气是存在于地下岩石储集层中以烃为主体的混合气体的统称，包括油田气、气田气、煤层气、泥火山气和生物生成气等，主要成分为甲烷，通常占 85% ~ 95%，其次为乙烷、丙烷、丁烷等。天然气是优质燃料和化工原料，其中伴生气通常是原油的挥发性部分，以气的形式存在于含油层之上，凡有原油的地层中都有，只是油、气量比例不同。即使在同一油田中的石油和天然气，来源也不一定相同。他们由不同的途径和经不同的过程汇集于相同的岩石储集层中。若为非伴生气，则与液态集聚无关，可能产生于植物物质。世界天然气产量中，主要是气田气和油田气。对煤层气的开采，现已日益受到重视。

中国沉积岩分布面积广，陆相盆地多，形成优越的多种天然气储藏的地质条件。中国天然气探明储量集中在 10 个大型盆地，依次为渤海湾、四川、松辽、准噶尔、莺歌海—琼东南、柴达木、吐—哈塔里木、渤海、鄂尔多斯。中国气田以中小型为主，大多数气田的地质构造比较复杂，勘探开发难度大。

四、风能资源分布

中国 10m 高度层的风能资源总储量为 32.26 亿 kW，其中实际可开发利用的风能资源储量为 2.53 亿 kW。

东南沿海及其附近岛屿是风能资源丰富的地区，有效风能密度大于或等于 $200\text{W}/\text{m}^2$ 的等值线平行于海岸线；沿海岛屿有效风能密度在 $300\text{W}/\text{m}^2$ 以上，全年中风速大于或等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数约为 7000 ~ 8000h，大于或等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数为 4000h。

新疆北部、内蒙古、甘肃北部也是中国风能资源丰富地区，有效风能密度为 $200 \sim 300\text{W}/\text{m}^2$ ，全年中风速大于或等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数为 5000h 以上，全年中风速大于或等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数为 3000h 以上。

黑龙江、吉林东部、河北北部及辽东半岛的风能资源也较好，有效风能密度在 $200\text{W}/\text{m}^2$ 以上，全年中风速大于和等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数为 5000h，全年中风速大于和等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数为 3000h。

青藏高原北部有效风能密度在 $150 \sim 200\text{W}/\text{m}^2$ 之间，全年风速大于和等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数为 4000 ~ 5000h，全年风速大于和等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数为 3000h，但青藏高原海拔高、空气密度小，所以有效风能密度也较低。

云南、贵州、四川、甘肃、陕西南部、河南、湖南西部、福建、广东、广西的山区及新疆塔里木盆地和西藏的雅鲁藏布江为风能资源贫乏地区，有效风能密度在 $50\text{W}/\text{m}^2$ 以下，全年中风速

大于和等于 3m/s 的时数在 2000h 以下, 全年中风速大于和等于 6m/s 的时数在 150h 以下, 风能潜力很低。

五、太阳能资源分布

中国地处北半球欧亚大陆的东部, 主要处于温带和亚热带, 具有比较丰富的太阳能资源。根据全国 700 多个气象台站长期观测积累的资料表明, 中国各地的太阳辐射年总量大致在 $3.35 \sim 8.40\text{J/m}^2$ 之间, 其平均值约为 5.86J/m^2 。该等值线从大兴安岭西麓的内蒙古东北部开始, 向南经过北京西北侧, 朝西偏南至兰州, 然后径直朝南至昆明, 最后沿横断山脉转向西藏南部。在该等值线以西和以北的广大地区, 除天山北面的新疆小部分地区年总量约为 4.46J/m^2 外, 其余绝大部分地区的年总量都超过 5.86J/m^2 。

六、地热资源分布

高温地热资源主要集中在环太平洋地热带通过的台湾省, 地中海—喜马拉雅地热带通过的西藏南部和云南、四川西部。温泉几乎遍及全国各地, 多数属中低温地热资源, 主要分布在福建、广东、湖南、湖北、山东、辽宁等省。中国 400万 km^2 的沉积盆地的地热资源也比较丰富, 但差别十分明显, 除青藏高原外, 总的来说盆地的地温梯度是由东向西逐渐变小。地处东部的松辽平原、华北盆地和下辽河盆地等地温梯度较高, 一般为 $2.5 \sim 6^\circ\text{C}/(\text{h}\cdot\text{m})$; 位于中部的四川盆地, 一般为 $1.7 \sim 2.5^\circ\text{C}/(\text{h}\cdot\text{m})$; 位于西部的柴达木盆地和塔里木盆地仅为 $1.5 \sim 2^\circ\text{C}/(\text{h}\cdot\text{m})$ 。目前中国已发现的水温在 25°C 以上的热水点 (包括温泉、钻孔及矿坑热水) 约 4000 余处, 分布广泛。温泉出露最多的西藏、云南、台湾、广东和福建, 温泉数约占全国温泉总数的 $1/2$ 以上; 其次是辽宁、山东、江西、湖南、湖北和四川等省, 每省温泉数都在 50 处以上。

七、煤炭资源分布

我国是一个煤炭资源丰富的国家, 预测煤炭蕴藏量超过 5 万亿 t , 已探明储藏量达万亿吨, 年生产量 13.5 亿 t , 居世界首位。在我国能源结构中, 煤炭占 70% 以上, 火力发电厂年用煤量约 5 亿 t 。

我国煤炭呈南少北多、东少西多的分布格局, 在目前已探明的煤炭储量中, 新疆居全国首位, 主要分布于天山南北, 煤质好, 埋藏浅。内蒙古的煤炭储藏量仅次于新疆, 居全国第二, 主要分布于伊克昭盟、锡林郭勒盟及鄂尔多斯大草原地区。山西煤炭储量居全国第三位, 目前的保有量占全国的 $1/3$, 可开采储量 150 亿 t , 煤种类别较多, 品种齐全, 煤质较好, 煤层构造平缓, 埋藏较浅, 有利于开采。目前, 山西煤炭年生产量居全国第一位。其中大同矿务局生产量最大, 居全国第一。河南地区已探明的煤炭储存量超过 150 亿 t , 其中年生产量最大的煤炭基地是平顶山矿务局, 年产量达 2300 万 t , 居全国第二。华东地区的鲁、皖、苏三省探明储存量 380 亿 t , 煤的埋藏较深, 表土层厚, 流沙层多, 涌水量大, 开采困难。目前, 安徽淮南矿务局的年生产量居全国第三位。东北煤炭探明储量 500 多亿 t , 但开采困难。山东菏泽地区深煤层的煤焦正在开发中。

据中国第二次煤田预测资料表明, 埋深在 1000m 以下的煤炭总资源量为 2.6 万亿 t , 其中大别山—秦岭—昆仑山一线以北地区资源量约 2.45 万亿 t , 占全国总资源量的 94%, 以南的广大地区仅占 6% 左右。其中新疆、内蒙古、山西和陕西等四省区占全国资源总量的 81.3%, 东北三省占 1.6%, 华东七省占 2.8%, 江南九省占 1.6%。

中国煤炭资源的种类较多, 在现有探明储量中, 烟煤占 75%、无烟煤占 12%、褐煤占 13%。其中, 原料煤占 27%, 动力煤占 73%。动力煤储量主要分布在华北和西北, 分别占全国的 46% 和 38%, 炼焦煤主要集中在华北, 无烟煤主要集中在山西和贵州两省。

中国煤炭质量总的来看较好。已探明的储量中, 灰分小于 10% 的特低灰煤占 20% 以上; 硫

分小于1%的低硫煤约占65%~70%；硫分1%~2%的约占15%~20%。高硫煤主要集中在西南、中南地区。华东和华北地区上部煤层多低硫煤，下部多高硫煤。

中国是世界上煤炭产量最多、增长速度最快的国家。1949年仅产煤炭3243万t，1950年产煤4292万t，1960年达到3.97亿t，1970年为3.54亿t，1980年为6.20亿t，1990年突破10亿t，1995年达到13.61亿t，1996年增加到13.96亿t，创历史最高年产量记录，占世界总产煤量46.07亿t的30%。1997年，由于东南亚金融危机和经济结构调整的影响，煤炭产量下降到13.73亿t。中国煤炭产量分布很不均衡。

这样的增长速度是与火电发电量增长超过16%，冶金用煤高速增长的状态相匹配的。其次，根据国家统计局的统计，2000年，我国煤炭消费量就已经高达12.5亿t。根据近年来中国工业经济持续保持增长9%以上的情况判断，每年煤炭消费量增长7%~9%是有可能的，这从近年煤炭价格一直处于涨势可以得到验证。近年国内市场的煤炭供求基本平衡打破，因而煤价迅速上扬。煤炭产量的实际增长速度在11%~13%之间，总量超过18亿t。两者的差额主要将供应国际煤炭市场。

第二节 电厂锅炉燃料系统特点

一、电站锅炉

发电用锅炉称为电站锅炉。目前，我国大型电厂多用煤粉炉和沸腾炉。与其他工厂用的工业锅炉相比电站锅炉有如下明显特点：①容量大；②蒸汽参数高；③自动化程度高，其各项操作基本实现了机械化和自动化，适应负荷变化的能力很强，工业锅炉目前仅处于半机械化向全机械化发展的过程中；④热效率高，多达90%以上，工业锅炉的热效率多在60%~80%之间。

二、电站用煤的分类

火力发电厂燃用的煤通常称为动力煤，其分类方法主要是依据煤的干燥无灰基挥发分。

三、煤粉的制备

煤粉炉燃烧用的煤粉是由磨煤机将煤炭磨成的不规则的细小煤炭颗粒，其颗粒平均在0.05~0.01mm，其中20~50 μ m以下的颗粒占绝大多数。由于煤粉颗粒很小，表面很大，故能吸附大量的空气，且具有一般固体所未有的性质——流动性。煤粉的粒度越小，含湿量越小，其流动性也越好，但煤粉的颗粒过于细小或过于干燥，则会产生煤粉自流现象，使给煤机工作特性不稳，给锅炉运行的调整操作造成困难。另外煤粉与O₂接触而氧化，在一定条件下可能发生煤粉自燃。在制粉系统中，煤粉是由气体来输送的，气体和煤粉的混合物一遇到火花就会使火源扩大而产生较大压力，从而造成煤粉的爆炸。

锅炉燃用的煤粉细度应由以下条件确定：燃烧方面希望煤粉磨得细些，这样可以适当减少送风量，使 q_2 （排烟热损失）、 q_4 （机械不完全燃烧热损失）损失降低；从制粉系统方面希望煤粉磨得粗些，从而降低磨煤电耗和金属消耗，所以在选择煤粉细度时，应使上述各项损失之和最小。总损失为最小的煤粉细度称为“经济细度”。由此可见，对挥发分较高且易燃的煤种或对于磨制煤粉颗粒比较均匀的制粉设备，以及某些强化燃烧的锅炉，煤粉细度可适当大些，以节省磨煤能耗。由于各种煤的软硬程度不同，其抗磨能力也不同，因此每种煤的经济细度也不同。

大型火力发电厂的燃料主要以煤为主。对600MW的火力电厂每昼夜消耗几千吨原煤，在20世纪80年代，燃料费用占发电成本的70%左右，在90年代，燃料费用占发电成本的80%左右。近年来煤炭价格快速上涨，电煤价格比已达到历史最高值，电厂燃料工作越显重要。随着电力系统自动化程度的日益完善，从事燃料一线工作人员占电力生产一线工作人员比例不断提高，国外

大型电厂燃料工作人员人数与电厂总职工比为 7/10。也就是说, 电厂每 10 个生产人员就有 7 个人从事燃料工作。大力节省一次能源, 降低发电成本是每一个电力工作人员的义务。因此, 要提高电厂的经济运行, 必须加强燃料管理, 建立健全燃料管理机构, 力争不亏吨, 不亏卡, 减少路损及煤场、输煤系统损失。

第三节 电厂卸煤系统

某 600MW 火电机组大型电厂的卸煤系统选用翻车机作为卸煤设备, 煤从翻车机室通过带式输送机输送至混煤筒仓, 该带式输送机选用带宽为 $B = 1400\text{mm}$, 带速 $v = 2.5\text{m/s}$, 出力 $Q = 1500\text{t/h}$, 与翻车机出力匹配。双路布置, 互为备用。

卸煤系统采用两台翻车机设置, 铁路配线为二重二空一机车走行线。作业线按整列火车考虑其有效长度为 850m。翻车机采用 FZ150-100 型转子式, 配套设备选用重车调车机、空车调车机、迁车台、控制和工业电视监控以及喷雾除尘、振动煤算和叶轮给煤机。翻车机综合卸车出力为 25 节/h, 重车调车机额定牵引力为 300kN, 空车调车机额定牵引力为 120kN, 为翻车机匹配的叶轮给煤机出力为 1500t/h。

工业电视监控系统包括监控台、监视器、全天候摄像机、云台等。监控台、监视器设在翻车机控制室。全天候摄像机、云台安装具体地点需根据现场情况确定。

为防止煤尘飞扬, 每台翻车机安装一套喷雾除尘装置。在翻车机入口处安装两台静态轨道衡, 用于入厂煤的计量。

铁路送车作业方式: 运煤列车由机车整列牵引进厂, 停在重车线翻车机前第一副道岔前摘钩。机车经道岔向机车走行线, 机车从走行线回到列车尾部将列车顶送至重车调车机作业范围内, 完成送车任务。

第四节 储煤系统

某电厂储煤场总长度为 260m, 储煤场总宽度为 160m, 煤可堆高 12m, 存煤 20 万 t, 加上 2 个直径 16m 的混煤筒仓的煤量 0.8 万 t, 可满足 $2 \times 600\text{MW}$ 机组燃用 20 天的需要。

煤场内设备为两台并列布置的悬臂斗轮堆取料机, 臂长 30m, 回转角 $\pm 110^\circ$, 堆煤高度: 轨上 11m, 轨下 1.5m。每台堆取料能力均为 1500t/h。

另外配置 2 台推煤机和 1 台装载机。作为煤场的辅助作业设备, 在煤场的两侧各设有 6 排共计 24 台 PLC 控制的喷洒器, 喷洒器工作压力为 0.4~1.0MPa, 射程 40m。

设计煤种为无烟煤和贫瘦煤, 按无烟煤/贫瘦煤 = 4:1 混煤燃用。混煤筒仓一期工程的情况是混煤设施采用两座直径 16m 的混煤筒仓, 其中一座储存无烟煤, 另一座储存贫瘦煤。每个混煤筒仓的储存煤量为 4000t, 可供两台机组燃用 16.4h。混煤筒仓上部带式输送上采用 $B = 1400\text{mm}$ 电动双侧犁式卸料器, 共计 10 台, 作为原煤仓的配煤卸料, 卸料器的运行状态由高煤位料位信号控制。混煤筒仓底部设置 8 个受煤斗出料口, 给料设备采用螺旋式给煤机, 每路带式输送机上安装 4 台给煤机, 其每台给煤量可在 200~400t/h 之间调节。给煤机配煤时, 应按 1 台给贫煤 ($q_m = 200\text{t/h}$)、2 台给无烟煤 ($q_m = 400\text{t/h}$) 考虑。混煤筒仓内设有温度、可燃气体、烟雾等报警装置, 报警信号可传至集控室。混煤筒防结拱采用仓壁内衬超高分子量聚丙烯板, 以防原煤黏结仓壁。

第五节 输 煤 系 统

某电厂从混煤筒仓底部至主厂房煤仓间内的带式输送机,其选用带宽为 $B = 1400\text{mm}$,带速 $v = 2.5\text{m/s}$,出力 $Q = 1000\text{t/h}$,均为双路布置,互为备用,并具备双路同时运行的条件。

双路布置的带式输送机按煤流运行方向分为:左侧为 A 路,右侧为 B 路。为了提高运煤系统运行的安全性和灵活性,输送系统中设有多处交叉,其交叉点在各带式输送机的头部。带式输送机的头部采用电动三通管进行切换。

带式输送机设有传感元件,其种类为速度信号、双向拉绳开关、跑偏开关、纵向撕裂保护、堵塞信号等,以防止带式输送机跑偏、打滑及故障紧急停车等。

煤仓间带式输送上采用 $B = 1200\text{mm}$ 电动双侧型式卸料器,共计 46 台,作为原煤仓的配煤卸料装置。混煤筒仓设有高煤位料位信号。卸料器的运行状态由高煤位料位信号控制。煤仓间的钢煤斗料位计采用称重式料位计。输送系统设有多级除铁器设施。

入炉煤采样装置在带式输送机的中部,设置两台。入炉煤采样设备为自动采样,煤样连续输送、破碎、缩分、回收等集成自动化采、制样设备。

入炉煤计量装置设置两台 $B = 1200\text{mm}$ 电子皮带秤,安装在带式输送机上。电子皮带秤的准确度为 $\pm 0.25\%$ 。

筛碎系统中碎煤机室安装两套筛碎设备,按一级筛碎设置,双路布置,每路各设一台筛碎设备。滚轴式煤筛选设备出力为 1000t/h ,滚轴式煤筛上设有旁路挡板,当来煤粒度较小时,可不经破碎作业,由旁路全部通过。环式碎煤机选用 HCSC8 型,设备出力为 800t/h 。碎煤机室内还设有一套实物校验装置,用于校验带式输送机上的电子皮带秤。校验斗容量为 50t ,精度等级为 3 级。

实物校验装置校验方法:首先用自校砝码进行自校,自校合格后,启动输送带上的电动单侧型式卸料器,将原煤卸入实物校验斗内,当实物校验控制仪表显示达到额定重量时,停止上煤,将实物校验斗下的电动三通挡板倒至要校验的电子皮带秤所在的带式输送机某一侧,打开实物校验斗下的闸板门将煤放空,然后重复这一过程,开始第二次校验。

水力清扫系统分为清水系统和污水系统。水力清扫系统安装两台离心式清水泵,该泵设在输送带中部驱动间内,清水泵流量为 $90 \sim 126\text{m}^3/\text{h}$,扬程为 $92 \sim 62\text{m}$,向各栈桥、转运站提供清扫用水及储煤场喷洒用水,水力清扫系统水源来自电厂污水处理站。在各带栈桥、转运站内均布置有清水母管和冲洗卷盘清扫器。当需要清扫栈桥或转运站时,由人工手持清扫器进行清扫,注意清扫时应采用系统分段清扫的方式,逐段清扫,以避免瞬时水量过大引起降压断水。

污水系统采用污水分散处理、逐级排放的处理方式,冲洗污水先集中在各转运站的集水井中沉淀,然后液下排污泵根据水位自动开启,将污水排入沉淀池。液下排污泵流量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 、扬程为 30m 的共 4 台;流量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 、扬程为 20m 的共 8 台;流量为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 、扬程为 13m 的共 10 台。

除以上主要工艺系统外,还有推煤机、装载机库、运煤综合楼、缓冲锁气挡板、检修起吊设施等辅助设备和设施。

推煤机、装载机库按 4 车位设置,其中一车位设有检修地坑,另设一车位的检修间。推煤机库设电动单梁悬挂起重机;跨度 $LK = 8\text{m}$,起重量 $m = 5\text{t}$ 。

运煤系统中还设有采暖通风、除尘、通信、上下水、消防等设施,以保证系统能够达到安全、可靠、文明生产。

运煤系统采用程序控制和就地控制两种控制方式，各设备之间设有连锁，以保证设备的安全运行。参与程序控制的设备有所有带式输送机、螺旋给煤机、滚轴筛、碎煤机，除铁器、电子皮带秤、入炉煤采样器、电动双侧犁式卸料器、传感元件、电动三通等设备、煤场喷洒水设备。这些设备也具备就地控制的条件。

独立控制设备有翻车机及配套设备、振动煤算、斗轮机、液下污水泵、轨道衡、实物校验装置等设备。这些设备也具备就地控制的条件。

通过对洁净配煤的着火、燃烧、结渣及污染排放特性的大量试验研究，获得了大量混煤煤质特性与燃烧特性的非线性规律，进而利用人工神经网络等现代化数学方法建立非线性洁净优化配煤数学模型，确定多元洁净优化动力配煤方案，进行多煤种、多指标洁净优化配煤，成功开发了计算机洁净优化动力配煤专家系统。该系统能完成配煤目标的输入、单煤种类的选择、配煤比例的判断、混煤性质的预测、配煤设计的运行、最小成本的确定、仓库储存的管理等功能，并已成功地应用于洁净煤生产、线性规划的配煤专家系统。

燃 料

第一节 燃料基本概念

燃料是火力发电厂锅炉的粮食，连续不断地向锅炉提供燃料才能维持锅炉运行。燃料的采购、运输、加工、输送及贮备是实现火力发电的前提和保证，也是火力发电厂中最重要、最基本的生产环节之一：为了保证向电厂输送充足的、合格的燃料，燃料部门职工必须系统地、全面地掌握燃料方面的有关知识，才能为电厂源源不断的供应燃料提供保障。

发电所用燃料是指可以用来获取大量热能的物质。目前世界上所用的燃料可以分为两大类：

一类是核燃料，主要用于核电站；另一类是有机燃料，也称矿物燃料，是指在燃烧过程中能够产生大量热能的物质，这是常规电厂锅炉所用的主要燃料。有机燃料按物态可以分为固体、液体、气体三类；按获得方式可分为天然燃料和人工燃料两类。常用燃料的种类如表2-1所示。

表 2-1 有机燃料的种类

种 类	天 然 燃 料	人 工 燃 料
固体燃料	煤、页岩、木材	煤粉、焦炭、木炭
液体燃料	石 油	汽油、重油、柴油、煤油等
气体燃料	天然气	高炉煤气、焦炉煤气、 地下气化煤气等

燃料必须具备下列基本条件：

- (1) 它们应该是可燃物；
- (2) 易于获取；
- (3) 容易燃烧、发热量高、较经济获得的热量；
- (4) 贮备、运输、处理都比较简便；
- (5) 使用过程中没有危险；
- (6) 燃烧产物对大气、水质等环境不会造成严重污染。

发电厂锅炉是耗用大量燃料的动力设备，而且仅利用其热量。根据我国的燃料利用原则，一是尽量不用其他工业部门所必需的优质燃料，并通过技术经济比较尽量利用劣质燃料（含杂质较多、燃烧比较困难、在其他方面没有多大经济价值的燃料），以保证国家的燃料资源得到充分、合理的利用；二是尽量利用当地燃料，以减轻运输负担，促进各地区天然资源的开发利用。因此，我国电厂锅炉大多以煤为主要燃料，仅有少量锅炉燃用重油或渣油等。

第二节 电 厂 锅 炉 用 煤

一、煤的元素分析和工业分析

1. 煤的元素分析

煤是有机成分和无机矿物质的混合物，其中有机成分是可以燃烧的。但现在的分析方法还不能直接测定煤中有机物中的化合物，因为其中大多数有机化合物在进行分析加热时会逐渐分解。因此，一般是测定煤中有机物的元素组成。

所谓煤的元素分析，就是借助燃烧、利用化学分析的方法来测定出煤中的碳、氢、氧、氮、硫五种组成元素占煤的质量百分含量，而将这五种元素以外的部分划分为灰分和水分两种化合物。虽然煤的元素组成并不能表明煤中含何种化合物，也不能充分确定煤的性质，但将元素组成与煤的其他特性相结合，可以帮助我们判断煤的化学性质。

煤的元素组成是燃烧计算和锅炉设计及进行实验的依据，也是对燃料分类、研究燃料性质的重要依据。但元素分析法需要较高的技术和复杂的设备，因此大都在专门的实验室内进行。下面对煤中各成分的基本性质介绍如下。

(1) 碳。碳是煤中含量最多的可燃元素，也是煤的基本成分，其含量约占 40% ~ 85%。随着碳化程度的提高，煤的含碳量逐渐增加。

碳是煤发热量的主要来源。煤的含碳量越高，其发热量越高。煤完全燃烧时，碳的发热量为 32866kJ/kg，不完全燃烧时，发热量仅为 9270kJ/kg。煤中碳的一部分与氢、氧、氮、硫等结合成挥发性有机化合物，其余部分则成单质状态，称为固定碳。固定碳要在较高温度下才能着火，燃烧也比较困难。因此，煤中固定碳含量越高，就越不容易着火和燃烧。

(2) 氢。氢是煤中发热量最高的可燃元素。煤中氢的含量不高，一般在 3% ~ 6%。地质年龄越长的煤其含量越少，氢含量随煤碳化程度的加深而逐渐减少。氢燃烧生成水，水吸收一部分热量蒸发成水蒸气，所以在锅炉中煤完全燃烧时，氢的有效发热量为 120MJ/kg，比碳的发热量高 3 ~ 5 倍。

氢极易着火且燃烧迅速，特别是氢气在燃烧过程中能产生分支连锁反应，加速反应速度，因此含氢越多，煤就越容易着火及燃烧。

(3) 氧。氧是煤中的不可燃元素。氧的含量随煤的碳化程度不同有较大的差异，碳化程度越浅的煤，其氧的含量越高，最高可达 40%。

氧是煤中的杂质。氧的存在不仅使煤中可燃元素含量相对减少，而且还会与部分可燃元素（氢和碳）结合成稳定的化合物，如 CO_2 、 H_2O 等，使实际参与燃烧的可燃元素减少。因此，煤中含氧较多时，煤的发热量就较低。

(4) 氮。氮是煤中的另一不可燃元素，其含量一般只有 0.5% ~ 2.0%，氮也是煤中的杂质。氮不能燃烧放热，但在燃烧过程中会或多或少地转化为氮氧化物 (NO_x)，造成环境污染。

(5) 硫。硫是煤中有害的可燃元素，其含量一般为 1.01% ~ 5%，个别煤的硫含量高达 3% ~ 10%。硫的发热量较低，完全燃烧时仅为 9040kJ/kg。煤中的硫以三种形式存在：有机硫 S_o （与碳、氢、氧等结合成复杂的化合物）、硫化铁硫 S_p 和硫酸盐中的硫 S_s 。前两种硫在加热时与碳、氢、氮等元素结合成挥发性化合物，从煤中析出，参与燃烧，统称为挥发硫或可燃硫，而硫酸盐中的硫一般不能再氧化，故归入灰分之中。

煤中含硫量对着火和燃烧无明显的影响，但随着含硫量的增加，煤粉的自然倾向增大，常会引起煤粉仓内煤粉温度自行升高，当有空气进入时，甚至会自燃。因此，在燃用高硫分煤时，煤粉仓内煤粉不宜久存。

煤中含硫对锅炉的最大影响是低温腐蚀：硫燃烧生成 SO_2 ， SO_2 部分再氧化成 SO_3 ， SO_3 在随烟气流动过程中与烟气中的水蒸气进一步结合成硫酸蒸汽；当硫酸蒸汽经过壁温较低的受热面时，便在受热面上凝结成硫酸。煤中含硫越多，腐蚀越严重。另外，硫的化合物随烟气排入大气会污染大气，对人体和动植物造成危害。