

GONGYE GUOLU CAOZUO ANQUAN JISHU

工业锅炉操作 安全技术

张兆杰 编著



黄河水利出版社

工业锅炉操作安全技术

张兆杰 编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书共分十章。对工业锅炉的基本知识、结构、燃烧设备、附件、仪表、附属设备、水质标准、锅内水处理、锅外水处理、运行操作、维护保养、故障处理、事故案例等都作了详细的讲解和说明。

本书不仅满足燃煤、燃气、燃油司炉操作工人的需求,而且对锅炉房内维修人员亦有帮助,并可用于锅炉房管理人员培训,也可供锅炉安全监察、锅炉检验技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉操作安全技术/张兆杰编著. —郑州:黄河水利出版社,2008.4

ISBN 978-7-80734-224-3

I.工… II.张… III.工业锅炉-安全技术 IV.TK229

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 098224 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787mm×1 092mm 1/16

印张:20

字数:460 千字

印数:1—3 100

版次:2008 年 4 月第 1 版

印次:2008 年 4 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-80734-224-3/TK·8

定价:45.00 元

前 言

《锅炉操作安全技术》自2002年3月出版以来,历经多次重印,累计印量2万余册,受到河南、陕西、山西、贵州、福建、江苏、黑龙江、河北、江西等省(市、区)读者欢迎。坦率讲,从此书出版后,笔者就发现书中有多处不足,有的同行也提出了修改意见。在对此书进行修订之际,我要向我的同行、朋友及关注此书的友人致以崇高的敬意。

《工业锅炉操作安全技术》是在《锅炉操作安全技术》的基础上经过修订、补充而成的,这不仅仅是书名的变更,更主要的是《工业锅炉操作安全技术》赋有新的内容、新的含义,它吸取了读者提出的很多宝贵意见和建议,凝结了同行、朋友的智慧。它的主要变化是,删去了《锅炉操作安全技术》锅炉加药处理和锅外化学处理的大部分内容,删去了有关多种炉排方式、多种安全附件的内容。同时,结合近几年我国科学技术的发展与新的科技成果的应用,又新增加了电加热锅炉,流化床燃烧,油、气燃烧器的内容,使《工业锅炉操作安全技术》符合国家新的法规、规范、标准的要求,满足一线的司炉人员理论与操作需要。

本书在编写过程中,仍保持通俗、简明、实用、针对性强的特点,在具体修订中,祝运恒、刘谦二位专家提出了许多宝贵意见,花费了一定心血,并做了一些补充修改工作,福州市质量技术监督局特种设备安全监察处处长吴祖祥,也先后提过不同的意见和建议,还有刘景松、王效华、贾永久、庞振平、李文广、段淑梅等同行,多年来对此书修订给予了极大的关心和支持,对此,我将再次向他们表示衷心感谢。

《工业锅炉操作安全技术》尽管在内容上更加系统、完善,但肯定还有不足之处。随着当前科学技术飞速发展,新的科技成果涌现,新的规程、规范、标准更新,《工业锅炉操作安全技术》仍要坚持继续修订、持续改进。

笔者殷切希望同行、朋友一如既往继续提出意见和建议,以便不断改进。

作 者

2007年2月

目 录

前 言

第一章 工业锅炉基本知识	(1)
第一节 工业锅炉主要技术参数	(1)
第二节 锅炉常用术语	(3)
第三节 燃料及燃烧	(5)
第四节 水与蒸汽性质	(11)
第五节 锅炉水循环	(13)
第六节 锅炉分类概述	(14)
第七节 锅炉产品型号表示法	(14)
第二章 锅炉结构	(16)
第一节 锅炉的构成及工作原理	(16)
第二节 锅壳锅炉	(18)
第三节 水管锅炉	(24)
第四节 热水锅炉	(30)
第五节 铸铁锅炉	(31)
第六节 燃气燃油锅炉	(32)
第七节 有机热载体炉	(34)
第八节 电加热锅炉	(35)
第三章 燃烧设备	(40)
第一节 燃烧方式	(40)
第二节 固定炉排	(41)
第三节 双层炉排	(43)
第四节 链条炉排	(44)
第五节 倾斜式往复炉排	(50)
第六节 抛煤机	(52)
第七节 煤粉燃烧装置	(54)
第八节 流化床燃烧	(58)
第九节 油、气燃烧器	(62)
第四章 锅炉附件	(72)
第一节 安全阀	(72)
第二节 压力表	(76)
第三节 水位表	(79)
第四节 常用阀门	(84)

第五节 管道	(94)
第五章 锅炉仪表、保护装置和自动控制	(98)
第一节 温度测量仪表	(98)
第二节 流量测量仪表	(101)
第三节 锅炉的保护装置与自动控制	(104)
第六章 锅炉附属设备	(126)
第一节 运煤设备	(126)
第二节 给水设备	(128)
第三节 通风设备	(135)
第四节 除渣设备	(137)
第五节 除尘设备	(139)
第七章 工业锅炉用水和水处理	(147)
第一节 锅炉用水与水质指标	(147)
第二节 工业锅炉水质标准	(149)
第三节 工业锅炉的水质管理	(151)
第四节 锅内加药处理法	(152)
第五节 锅外化学处理	(156)
第八章 锅炉运行操作与维护保养	(174)
第一节 锅炉投入运行的必备条件	(174)
第二节 运行前检查与准备	(181)
第三节 点火前的检查和准备	(184)
第四节 烘炉与煮炉	(185)
第五节 点火与升压	(188)
第六节 通汽与并汽	(190)
第七节 锅炉运行操作	(191)
第八节 锅炉的排污	(195)
第九节 热水锅炉的运行操作	(199)
第十节 手烧炉的运行操作	(205)
第十一节 链条炉的运行操作	(208)
第十二节 往复炉排的运行操作	(210)
第十三节 抛煤炉的运行操作	(210)
第十四节 煤粉炉的运行操作	(211)
第十五节 沸腾炉的运行操作	(213)
第十六节 燃油锅炉的运行操作	(215)
第十七节 热载体炉的运行操作	(218)
第十八节 紧急停炉时应注意的问题	(222)
第十九节 附件的操作	(223)
第二十节 定期维护保养	(228)

第二十一节 停炉保养·····	(230)
第二十二节 自动燃气锅炉维修保养·····	(231)
第九章 锅炉常见事故及故障的处理·····	(233)
第一节 事故分类与事故报告·····	(233)
第二节 锅炉运行事故及故障处理·····	(235)
第三节 锅炉安全附件故障处理·····	(241)
第四节 锅炉燃烧故障处理·····	(244)
第五节 锅炉燃烧设备故障处理·····	(248)
第六节 锅炉辅助设备故障处理·····	(251)
第七节 热水锅炉故障处理·····	(259)
第八节 燃气燃油锅炉的故障排除·····	(265)
第九节 汽相炉事故·····	(268)
第十节 液相炉事故·····	(270)
第十章 锅炉事故案例·····	(274)
第一节 锅内过程事故案例·····	(274)
第二节 炉内过程事故案例·····	(280)
第三节 锅炉缺水事故案例·····	(286)
第四节 锅炉腐蚀事故案例·····	(292)
第五节 锅炉设计制造的质量事故·····	(306)
第六节 辅助设备与辅机事故·····	(310)
参考文献·····	(312)

第一章 工业锅炉基本知识

锅炉作为一种人类生产和生活中的常用设备,起源于欧洲的工业革命时代。从原理上讲,锅炉是一种将燃料的化学能、电能或其他能源转变为热能的设备。

要使其他形式的能量转变为热能并有效地利用,需要有某种中间介质才能实现,最常用的介质是水。盛水的容器就形成了锅炉的一部分“锅”。为了提高能源的转变效率,以及对热能更好地利用,需要将这只“锅”进行封闭。

对水加热后,水会膨胀、会变成蒸汽,“锅”内就产生了压力,有一定压力和温度的水蒸气(或热水)就带有相应的热能,可以对外做功。

燃料贮存的化学能,要通过燃烧才会释放,燃料燃烧需要燃烧设备,这就形成了锅炉的另一部分“炉”(某些锅炉“炉”的概念不一样,如电热锅炉)。

由于锅炉内会产生压力,如果控制不好,或设备有问题,就会发生爆炸,危及公众安全。因此,锅炉是一种受到政府强制监督管理的设备,以上对“锅炉”的定义和说明是一种泛指的概念,我国现行法规中对必须进行安全监察的锅炉设备,在《特种设备安全监察条例》中作了如下限制性定义:

“锅炉,是指利用各种燃料、电或者其他能源,将所盛装的液体加热到一定的参数,并承载一定压力的密闭设备,其范围规定为容积大于或者等于 30 L 的承压蒸汽锅炉;出口水压大于或者等于 0.1 MPa(表压),且额定功率大于或者等于 0.1 MW 的承压热水锅炉;有机热载体锅炉。”

本章扼要地介绍了锅炉的基本知识,为司炉操作人员学好以后各章知识打下基础。

第一节 工业锅炉主要技术参数

一、容量

锅炉的容量又称锅炉出力,是锅炉的基本特性参数,蒸汽锅炉用蒸发量表示,热水锅炉用供热量表示。

(一)蒸发量

蒸汽锅炉长期连续运行时,每小时所产生的蒸汽量,称为这台锅炉的蒸发量。用符号 D 表示,常用单位吨每小时(t/h)。

锅炉产品铭牌和设计资料上标明的蒸发量数值是额定蒸发量。它表示锅炉受热面无积灰,使用原设计燃料,在额定给水温度和设计的工作压力并保证效率下长期连续运行,锅炉每小时能产生的蒸发量。

(二)供热量

热水锅炉长期连续运行,在额定回水温度、压力 and 规定循环水量下,每小时出水有效

带热量,称为这台锅炉的额定供热量(出力)。用符号 Q 表示,单位是兆瓦(MW)。热水锅炉产生 0.7 MW 的热量,大体相当于蒸汽锅炉产生 1 t/h 蒸汽的热量。

二、压力

垂直均匀作用在物体单位面积上的力,称为压强,人们常把它称为压力,用符号 p 表示,单位是兆帕(MPa)。测量压力有两种标准方法:一种是以压力等于零作为测量起点,称为绝对压力,用符号 $p_{绝}$ 表示;另一种是以当时当地的大气压力作为测量起点,也就是压力表测量出来的数值,称为表压力,或称相对压力,用符号 $p_{表}$ 表示。我们在锅炉上所用的压力都是表压力。

锅炉内为什么会产生压力呢?蒸汽锅炉和热水锅炉压力产生的情况不同。蒸汽锅炉是因为锅炉内的水吸热后,由液态变成气态,其体积增大,由于锅炉是个密封的容器,限制了汽水的自由膨胀,结果就使锅炉各受压部件受到了汽水膨胀的作用力,而产生压力。热水锅炉产生的压力有两种情况:一种是自然循环采暖系统的热水锅炉,其压力来自高位水箱形成的静压力;另一种是强制循环采暖系统的热水锅炉,其压力来源于循环水泵产生的压力。

锅炉产品铭牌和设计资料上标明的压力,是这台锅炉的额定工作压力,为表压力。目前是由过去的计量单位千克力/厘米²(kgf/cm²)过渡到国际计量单位兆帕(MPa)的阶段,因此司炉人员一定要注意压力表的单位和锅炉额定工作压力的单位,两种压力单位换算关系见表 1-1。

表 1-1 压力单位换算表

千克力/厘米 ² (kgf/cm ²)	兆帕 (MPa)	千克力/厘米 ² (kgf/cm ²)	兆帕 (MPa)
1	0.098≈0.1	9	0.882≈0.9
2	0.196≈0.2	10	0.980≈1.0
3	0.294≈0.3	13	1.274≈1.3
4	0.392≈0.4	16	1.568≈1.6
5	0.490≈0.5	25	2.450≈2.5
6	0.588≈0.6	39	3.820≈3.8
7	0.686≈0.7	60	5.880≈5.9
8	0.784≈0.8	100	9.800≈10

锅炉压力除上述讲的相对压力、绝对压力和额定压力之外,还有:①锅炉的最高许可使用压力,即《锅炉使用登记证》上标明的压力;②锅炉最高运行压力,即锅炉使用单位在锅炉最高许可使用压力范围内确定的锅炉最高运行压力;③炉膛内正压或负压,压力单位为帕(Pa)。

司炉人员操作锅炉时,要控制锅炉压力不能超过《锅炉使用登记证》上标明的压力,也就是锅炉压力表盘上指示的压力不能超过《锅炉使用登记证》上标明的压力。

三、温度

标志物体冷热程度的物理量,称为温度,用符号 t 表示,常用单位是摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)。温度是物体内部所拥有能量的一种体现方式,温度越高,能量越大。

锅炉铭牌上标明的温度是锅炉出口处介质的温度,又称额定温度。对于无过热器的蒸汽锅炉,其额定温度是指锅炉在额定工作压力下的饱和蒸汽温度;对于有过热器的蒸汽锅炉,其额定温度是指过热器出口处的蒸汽温度;对于热水锅炉,其额定温度是指锅炉出口处的热水温度。

第二节 锅炉常用术语

一、受热面

从放热介质中吸收热量并传递给受热介质的表面,称为受热面,如锅炉的炉胆、筒体、管子等。

二、辐射受热面

主要以辐射换热方式从放热介质吸收热量的受热面,一般指炉膛内能吸收辐射热(与火焰直接接触)的受热面,如水冷壁管、炉胆、锅壳前下部等。

三、对流受热面

主要以对流换热方式从高温烟气中吸收热量的受热面,一般是烟气冲刷的受热面,如烟管、对流管束等。

四、辅助受热面

主要是锅炉本体之外的受热面,如过热器、省煤器、空气预热器等。

五、锅炉热效率

锅炉有效利用的热量与单位时间内所耗燃料的输入热量的百分比即为锅炉热效率,用符号 η 表示,其公式表示为:

$$\eta = \frac{\text{输出热量}}{\text{输入热量}} \times 100\%$$

(1)热水锅炉

$$\eta = \frac{\text{循环水量} \times (\text{出口水焓} - \text{进口水焓})}{\text{每小时燃料消耗量} \times \text{燃料低位发热量}} \times 100\%$$

(2)蒸汽锅炉

$$\eta = \frac{\text{锅炉蒸发量} \times (\text{蒸汽焓} - \text{给水焓})}{\text{每小时燃料消耗量} \times \text{燃料低位发热量}} \times 100\%$$

六、蒸汽品质

蒸汽的纯洁程度称为蒸汽品质,一般饱和蒸汽中或多或少带有微量的饱和水分,通常把带有超过标准水量的蒸汽称为蒸汽品质不好。

七、燃料消耗量

单位时间内锅炉所消耗的燃料量称为燃料消耗量。

八、排污量

锅炉排污时的排出污水量称为排污量。

九、水管锅炉

烟气在受热面管子的外部流动,水在管子内部流动的锅炉称为水管锅炉。

十、卧式锅壳锅炉

锅筒纵向轴线平行于地面的锅炉称为卧式锅壳锅炉。它包括卧式外燃锅炉和卧式内燃锅炉。所谓卧式外燃锅炉是炉膛设在锅筒的外部,而卧式内燃锅炉则是炉膛设在锅筒内。

十一、立式锅炉

锅筒纵向轴线垂直于地面的锅炉称为立式锅炉。它包括立式水管锅炉和立式火管锅炉。所谓立式水管锅炉就是烟气冲刷管子外部,热量传导给管子内部的水;而立式火管锅炉则是烟气在管子内部流动,将热量传导给管子外部的水,而管子外部的水则包在锅壳里面。

十二、蒸汽锅炉

将水加热成饱和蒸汽输出的锅炉称为蒸汽锅炉。

十三、热水锅炉

将水加热到一定温度但没有达到汽化的锅炉称为热水锅炉。一般为采暖用锅炉。

十四、自然循环锅炉

依靠下降管中的水与上升管中的汽水混合物之间的重度差,促使锅水进行循环流动的锅炉称为自然循环锅炉。

十五、强制循环锅炉

除了依靠水与汽水混合物之间重度差之外,主要靠循环水泵的压头进行锅水循环的

锅炉称为强制循环锅炉。从锅炉结构方面分成:①强制循环结构热水锅炉;②自然循环结构热水锅炉。

十六、小型蒸汽锅炉

指水容积不超过 50 L,且额定蒸汽压力不超过 0.7 MPa 的蒸汽锅炉。

十七、小型热水锅炉

指额定出水压力不超过 0.1 MPa 的热水锅炉及自来水加压的热水锅炉。

十八、常压热水锅炉

指锅炉本体开孔或者用连通管与大气相通,在任何情况下,锅炉本体顶部表压为零的锅炉。

十九、燃气燃油锅炉

指以可燃气(简称燃气)或燃料油(简称燃油)作为燃料的锅炉。

二十、有机热载体锅炉

指以联苯混合物(联苯 26.5%,联苯醚 73.5%,常压沸点为 258℃,凝固点为 12.3℃,最高允许使用温度为 370℃)为介质的炉。

第三节 燃料及燃烧

正确地选择燃料是锅炉经济运行的重要一环,因此必须掌握燃料的特性,了解燃烧原理,按照锅炉设计要求的燃料种类选用燃料,才能使锅炉达到设计要求和预期效果。

一、燃料的分类

锅炉用的燃料按物理状态可分为三大类,即:

固体燃料:煤、木柴、稻糠、甘蔗渣、油母页岩等。

液体燃料:重油、柴油。

气体燃料:天然气、煤气、液化石油气等。

(一)固体燃料

锅炉用固体燃料以煤为主,它分为烟煤、无烟煤、贫煤、褐煤、煤矸石等,个别地区因资源情况也有选用木柴、稻糠、甘蔗渣等作燃料的。

(1)烟煤:又称为长烟煤,呈灰黑色或黑色,表面无光泽或有油润的光泽。挥发分较多,可达 40%,容易着火,燃烧时火焰长,结焦性较强。

(2)无烟煤:又称为白煤或柴煤,呈黑色,有时也带灰色,质硬而脆,断面有光泽。挥发分少,在 10%以下,不容易着火,初燃阶段发出淡蓝色的火焰,没有煤烟,燃烧速度缓慢,

燃烧过程长,结焦性差,储藏时不易自燃。

(3)贫煤:贫煤性质介于烟煤和无烟煤之间,挥发分为 10%~20%,较易着火。

(4)褐煤:呈褐色或黑色,外表似木质,无光泽。挥发分较高(超过 40%),容易着火,燃烧时火焰长,不结焦。

(5)煤矸石:它是煤层中具有可燃质的夹石,灰分较高,达到 50%以上,发热量较低,不易着火,需将煤块破碎成细小颗粒,采用沸腾燃烧方式才能燃烧。

(6)油母页岩:是一种含油的矿石,灰分很高,达到 50%~70%,挥发分也高达 80%~90%,很容易着火。

(7)木柴:它比起煤来说,灰分少,挥发分高,燃烧速度快,但发热量低。根据我国资源情况,一般在林区附近就地选择一些不能加工用的废材作为燃料。

稻糠、甘蔗渣作为废物进行利用,当作燃料,发热量很低。

(二)液体燃料

锅炉用液体燃料为重油,也称燃料油。它的发热量很高。内部杂质很少,不超过千分之几。在正常燃烧时,燃料油的燃烧产物只是挥发气体,而没有焦炭。燃料油含氢量较高,燃烧后产生大量水蒸气,水蒸气容易和燃料中硫的燃烧产物生成硫酸,对金属造成腐蚀,所以燃料油中的硫很有害。

根据我国标准,将燃料油按黏度增大次序分成 20、60、100、200 四个牌号规格,其牌号规格的质量指标详见表 1-2。

表 1-2 燃料油质量指标

指 标	牌号规格			
	20	60	100	200
恩氏黏度(°E _m)≤	5.0	11.0	15.5	27
闪点(开口)(℃)≥	80	100	120	130
凝点(℃)≤	15	20	25	36
灰分(%)≤	0.3	0.3	0.3	0.3
水分(%)≤	1.0	1.5	2.0	2.0
硫分(%)≤	1.0	1.5	2.0	3.0
机械杂质(%)≤	1.5	2.0	2.5	2.5

(三)气体燃料

燃气就是在常温下呈气体状态的气体燃料。它与所有固体燃料以及液体燃料相比,有非常突出的优点:污染小(有“绿色能源”之称)、发热量高、易于操作调节等,是一种理想的优质锅炉燃料。

常用燃气的主要可燃成分如表 1-3 所示。

表 1-3 常用燃气的主要可燃成分

燃气名称	主要可燃气体	成分(%)
天然气	CH_4	85~97
石油伴生气	CH_4	85~93
发生炉煤气	$\text{CO} + \text{H}_2$	(26~30) + (10~15)
水煤气	$\text{CO} + \text{H}_2$	(30~40) + (34~53)
油制气	$\text{H}_2 + \text{CH}_4$	(32~58) + (17~29)
焦炉气	$\text{H}_2 + \text{CH}_4$	(55~60) + (24~28)
高炉煤气	CO	26~29
液化石油气	$\text{C}_n + \text{H}_{2n+2} + \text{C}_n \text{H}_{2n}^*$	(31~46) + (52~63)

注: * $n=3\sim 4$,即烷烃和烯烃。

二、燃料的分析

为了掌握燃料的主要特征,对燃料要进行元素分析和工业分析,目的是为了在锅炉运行中,调节控制燃料燃烧过程,以达到最佳经济指标,现主要对煤进行分析。

(一)元素分析

燃料含有碳(C)、氢(H)、硫(S)、氧(O)、氮(N)等元素及其他杂质,包括水分(W)和灰分(A)。

碳(C):是燃料中主要的可燃成分,含碳量越高,发热量越高,但碳本身要在比较高的温度下才能燃烧,纯碳是很难燃烧的。所以,含碳量越高的燃料,越不容易着火和燃烧。

氢(H):是燃料中的又一种主要可燃成分,一般与碳合成化合物存在,称碳氢化合物。这些化合物在加热时能以气体状态挥发出来,所以含氢量越多的燃料,越容易着火和燃烧。氢在燃烧时能放出大量的热量,年代越久的煤,含氢量越少。

硫(S):燃料中的硫由两部分组成,另一部分为不可燃烧部分,如无机硫,它不参加燃烧;另一部分为可燃烧部分,如挥发硫,它可以燃烧放出热量。但硫燃烧后生成二氧化硫(SO_2)和三氧化硫(SO_3),当烟温低于露点时,二氧化硫及三氧化硫与烟气中的水分化合成亚硫酸(H_2SO_3)和硫酸(H_2SO_4),对锅炉尾部受热面起腐蚀作用。另外,含硫的烟气排入大气,对人体和动植物都有害。因此,燃料中含硫量越少越好。

氧(O):燃料中的氧不参加燃烧,是不可燃物质,它含量多,燃料中可燃物质相对减少,从而降低了燃料燃烧时放出的热量,煤生成的时间越长,氧的含量就越低。

氮(N):是惰性气体,不参加燃烧,是不可燃物质,煤中的含氮量很少,一般为0.5%~2.0%。

灰分(A):是燃料中不可燃烧的固体矿物质,它是在燃料形成时期、开采以及运输中掺入燃料中的,各类燃料的灰分含量相差很大,气体燃料几乎无灰,燃料油中含灰量也极少,相比之下,固体燃料灰分含量较多,燃料中灰分多了,可燃成分就少,燃料燃烧时放出的热量也就少。灰分带走热量多,使热损失增加。此外,灰分中一部分(飞灰)在锅炉中随

烟气流经各受热面和引风机时,造成磨损,排入大气又污染环境,在炉膛内由于灰分的熔化还会引起结渣。

水分(W):是燃料中有害成分,它吸收燃料燃烧时放出的热量而汽化,因而直接降低燃料放出的热量,使炉膛燃烧温度降低,造成燃料着火困难。它还增加烟气体积,使得排烟带走的热量损失增加。但固体燃料中,保持适当的水分,可有利于通风,减少固体不完全燃烧损失;在液体燃料中掺水乳化,可以改善燃烧,节约燃料。

(二)工业分析

煤的工业分析项目有挥发分(V)、固定碳(FC)、灰分(A)、水分(W)和发热值(Q)等。

挥发分(V):把煤加热,首先析出水分,继续加热到一定温度时,有碳氢化合物逸出,这种气体可以燃烧,称为挥发分。挥发分是煤分类的主要依据,对着火和燃烧有很大影响,挥发分越高,越容易着火,因为煤中的挥发分析出后,出现许多孔隙,增加了与空气接触的面积。

固定碳(FC):煤中的水分和挥发分全部析出后残留下来的固体物质,包括固定碳和灰分两部分,总称为焦炭。燃料工业分析和元素分析关系见表 1-4,煤的焦炭特性也很重要,焦炭成为坚硬块状叫强结焦煤,焦炭成为粉末状叫不结焦煤,属于两者之间的叫弱结焦煤。结焦严重会增加煤层阻力,阻碍通风,燃烧不能充分完全进行,但焦炭为粉末状时,容易被风吹走而增加了不完全燃烧损失。

表 1-4 燃料工业分析和元素分析关系

	可燃成分					灰分	水分
工业分析	挥发分(V)		固定碳(FC)			A	W
元素分析	H	O	CS	C	N	A	W
				焦 炭 ←————→			

发热值(Q):1 kg 煤完全燃烧时放出的热量,称为发热值。燃烧的发热值有高位发热值和低位发热值两种。所谓低位发热值是考虑到燃料燃烧时,所有的水分都要汽化成水蒸气并吸收热量,而这部分热量在锅炉中随烟气排出而无法利用,因此燃料放出的热量中应扣除这部分。包括这部分热量就称为高位发热值。锅炉一般都采用低位发热值来计算耗煤量和热效率。

三、燃烧的基本条件

燃料中的可燃物质与空气中的氧,在一定的温度下进行剧烈的化学反应,发出光和热的过程称为燃烧。因此,燃烧的基本条件是可燃物质、空气(氧)和温度,三者缺一不可。

(一)可燃物质

燃料中可以燃烧的元素是碳、氢和一部分硫,这些元素为可燃物质。

(二)空气

由于各种燃料所含可燃物质的成分和数量不同,燃烧所需空气量也不同,当 1 kg 燃

料完全燃烧时所需空气量为理论空气量,但实际上燃料中的可燃物质不可能与空气中的氧充分均匀混合,燃烧条件也不可能达到设计的理想程度,因此在锅炉运行中,必须多供给一些空气,即实际空气量比理论计算空气量多的部分称为过剩空气。实际空气量与理论空气量的比值称为过剩空气系数,即:

$$\text{过剩空气系数} = \frac{\text{实际空气量}}{\text{理论空气量}}$$

在锅炉运行中,过剩空气系数是一个很重要的燃烧指标。过剩空气系数太大,表示空气太多,多余的空气不但不参加燃烧反而吸热,增加了排烟热损失和风机耗电量。过剩空气系数太小,表示空气不足,燃烧不稳定,甚至会熄火,会降低锅炉的热效率。过剩空气系数的大小取决于燃料品种、燃烧方式和运行操作技术。

(三)温度

保持燃烧的最低温度称为着火温度。煤的着火温度大致为:烟煤 450℃,无烟煤 700℃,褐煤 350℃;重油的着火温度一般为 100~150℃。温度越高,燃烧反应越剧烈,对提高燃烧速度和热效率有很大的作用。

四、燃料的燃烧

(一)煤的燃烧

煤从进入炉膛到燃烧完毕,一般要经过加热干燥、逸出挥发分形成焦炭、挥发分着火燃烧、焦炭燃烧形成灰渣这四个阶段。

加热干燥阶段:煤进入炉膛加热,煤中水分开始汽化蒸发,当温度升到 100~150℃以后,蒸发完毕,煤被完全烘干。水分越多,干燥阶段延续越久。

逸出挥发分形成焦炭阶段:温度继续升高时,烘干的煤开始分解,放出可燃气体,称为挥发分逸出。不同的煤种,挥发分开始逸出的温度也不同,褐煤和高挥发分的烟煤一般为 150~180℃,低挥发分的烟煤一般为 180~250℃,贫煤和无烟煤一般为 300~400℃。挥发分逸出后,剩下的固体物称为焦炭,它除了灰分以外几乎全部是碳,有时还有少量硫,也有把这部分碳和硫称为固定碳。

挥发分着火阶段:当挥发分逸出与空气混合达一定浓度时,挥发分开始着火燃烧放出大量热,把焦炭加热,为焦炭燃烧创造条件。通常把挥发分着火燃烧的温度粗略地看做煤的着火温度。不同的燃料,着火温度不同,烟煤 400~500℃,褐煤 250~450℃,贫煤 600~700℃,无烟煤 700℃以上。

焦炭燃烧形成灰渣阶段:挥发分接近燃完时,焦炭开始燃烧,它是固体燃料和空气中的氧之间燃烧化学反应。焦炭燃烧的速度缓慢,燃尽时间较长,约占全部燃烧时间的 90%,当焦炭外壳先燃掉的部分形成灰,妨碍了氧扩散进焦炭中心时,燃烧就要终止,从而形成了灰渣。

(二)油的燃烧

油进入炉膛到燃烧要经过雾化、油滴蒸发与化学反应、油与空气混合物的形成、可燃物的着火燃烧四个阶段。

雾化阶段:由于油本身的紊流扩散和气体对它的阻力造成油雾化,即液流在高压造成

的高速流动下所具有的紊流扩散,使油喷成细雾。雾化质量越高,燃烧效果越好。雾化方法有两种,一种是蒸汽雾化,一种是机械雾化,雾化质量要求油滴尺寸小和颗粒分布均匀。

油滴蒸发与化学反应阶段:油滴受热后发生两个作用,一个是物理作用——蒸发,一个是化学作用——组成烷类、烯类等碳氢化合物,在受热后发生化学反应。油的蒸发和化学反应进行的快慢与温度有关,与气体的扩散条件有关。气体扩散越强烈,蒸发和化学反应就越强烈,油滴的燃烧就越迅速。对于蒸发出来的低分子烃,燃烧比较容易完成,而高分子烃不容易燃尽,如果氧气供应不及时、不充分,高分子烃在缺氧受热的情况下,就会分解出炭黑,炭黑是直径小于 $1\ \mu\text{m}$ 的固体颗粒,它化合性不强,燃烧缓慢,如果炉内燃烧工况不良,就会使大量炭黑不能燃尽,烟囱冒黑烟。

油与空气混合物的形成阶段:油的燃烧需要一定量的空气,而选择适当的调风装置和选用合适的空气流速,可使风油混合强烈、及时,产生可燃气混合物,使得油燃烧良好。

可燃物的着火燃烧阶段:可燃气混合物吸热升温,当达到油的燃点时,便开始着火燃烧直至燃尽。

(三)气体的燃烧

天然气的主要成分是甲烷。甲烷和重油中的烃一样,在受热着火燃烧过程中,可能产生炭黑,也可能不产生,视氧气供应充分与否而定。

另外,还有一种煤气燃烧,是将煤加入铺有底火的煤气发生室内的炉排上,空气从炉排下部通入,两者发生化学反应后出现燃烧,见图 1-1 所示的 5 个层带。

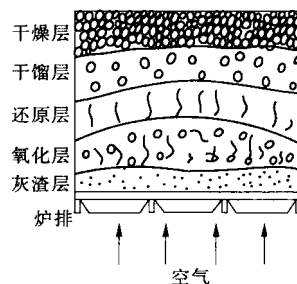


图 1-1 煤气发生室层带示意图

1. 灰渣层

灰渣层即炉排上面的铺底灰渣及底火。

2. 氧化层

氧化层在灰渣层上面。由炉排下方来的空气首先与该煤层接触,于是煤中的碳与空气中的氧发生氧化反应,生成二氧化碳(CO_2),同时放出大量热,而氧气在这里几乎耗尽。氧化层的温度一般可达 $1\ 000\sim 1\ 200\ ^\circ\text{C}$ 。

3. 还原层

还原层在氧化层上面。氧化层中产生的二氧化碳上升到这里与炽热的碳发生还原反应,生成一氧化碳。由于还原反应是吸热反应,因此还原层的温度逐渐下降。当温度下降至 $700\sim 800\ ^\circ\text{C}$ 时,还原反应几乎停止。

4. 干馏层

干馏层在还原层上面。此层温度 $400\sim 500\ ^\circ\text{C}$,煤在这里被加热干馏析出挥发分,同时生成焦炭。

5. 干燥层

干燥层在干馏层上面。此层温度一般 $100\sim 200\ ^\circ\text{C}$,煤在这里已不能干馏,只能被干燥蒸发出水分。

对于间断加煤和出渣的煤气发生室,在开始送风 $10\sim 20\ \text{min}$ 时间内,产生的气体主要是水蒸气,以及少量的煤气,待全面汽化时,煤气才大量逸出。随着时间的延长,灰渣层