

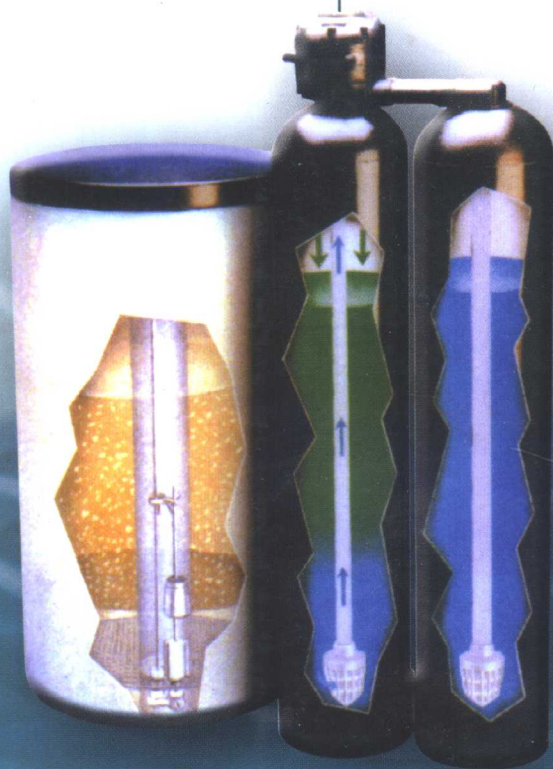
GUOLU SHUICHULI JISHU



锅炉水处理

主 编 张 兆 杰 桑 清 莲
 王 建 华 郝 津 晶

技术



黄 河 水 利 出 版 社

锅炉水处理技术

主编 张兆杰 桑清莲 王建华 郝津晶

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了锅炉基本知识、锅炉结构、化学基本知识、锅炉用水概述、锅炉的腐蚀与保护、锅内加药处理、锅外化学处理、水质分析基本知识、水质分析方法、锅炉水处理不当造成的事故案例、锅炉水处理设备的检验、锅炉水处理的监督管理等方面内容。

本书可作为中低压锅炉水处理人员培训教材,也可供锅炉安全监督、检验、安装、使用管理的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉水处理技术/张兆杰等主编. —郑州:黄河水利出版社,2003.7

ISBN 7-80621-689-8

I. 锅… II. 张… III. 锅炉用水-水处理
IV. TK223.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 047294 号

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

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.25

字 数:468 千字

印 数:1—3 000

版 次:2003 年 7 月第 1 版

印 次:2003 年 7 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-689-8/TK·5

定价:35.00 元

《锅炉水处理技术》编委会

主 编 张兆杰 桑清莲 王建华 郝津晶

副主编 田学军 李建宾 范立海

主 审 胡兆勤 范新亮

前 言

为了适应我国国民经济的可持续发展和环境保护的需要,应认真做好锅炉水处理工作。这对于延长锅炉使用寿命,减少能源的消耗,促进环境保护有着深远的现实意义和历史意义。

做好锅炉水处理工作,一是靠各级领导的重视,特别是靠使用锅炉的单位的领导亲自抓;二是靠普及和提高水处理工作人员的技术水平。为此,我们编写了《锅炉水处理技术》一书。本书结合近几年国家颁发的新标准、新法规及新的水处理技术,按锅炉水处理监督管理规则与锅炉水处理人员技术培训考核大纲的总要求编写而成。

本书共分十二章,由张兆杰、桑清莲、王建华、郝津晶主编。其中第一章由张兆杰、赵振经编写,第二章由王建华、于淑琴编写,第三章由刘心宽、张绿萍编写,第四章由王发现、马伟力编写,第五章由范立海、尹月辉编写,第六章由梅寒、薛学善编写,第七章由郝津晶、李文广、朱建军编写,第八章由桑清莲、田学军编写,第九章由杨学国、刘贵东编写,第十章由张兆山、李建宾编写,第十一章由桑清莲、李宗业编写,第十二章由张兆杰、田学军编写。习题与解答由闫军政、杨孝勇、佟桁、张兆杰编写。

全书由张兆杰、桑清莲、王建华三人统稿。

全书由胡兆勤、范新亮审核。

由于编写人员水平有限,书中不当之处,敬请读者指正。

编 者

2003年5月18日

目 录

第一章 锅炉基本知识	(1)
第一节 锅炉主要技术参数	(1)
第二节 锅炉常用术语	(2)
第三节 燃料及燃烧	(4)
第四节 锅炉的构成及工作原理	(8)
第五节 水与蒸汽性质	(10)
第六节 锅炉水循环	(11)
第七节 锅炉分类概述	(11)
第八节 锅炉型号表示法	(12)
第二章 锅炉结构	(14)
第一节 锅壳锅炉	(14)
第二节 水管锅炉	(19)
第三节 热水锅炉	(24)
第四节 燃气燃油锅炉	(26)
第三章 化学基本知识	(28)
第一节 化学的基本概念	(28)
第二节 摩尔及物质的量	(33)
第三节 溶液	(35)
第四节 酸、碱、盐、氧化物及其络合物	(37)
第五节 化学反应速度和化学平衡	(42)
第六节 电离平衡	(44)
第四章 锅炉用水概述	(55)
第一节 天然水中的杂质	(55)
第二节 锅炉用水的水质	(59)
第三节 工业锅炉水质指标及指标间的关系	(62)
第四节 中华人民共和国水质标准	(72)
第五节 工业锅炉的水质管理	(74)
第五章 锅炉的腐蚀与保护	(76)
第一节 金属腐蚀概论	(76)
第二节 影响电化学腐蚀的因素与防止方法	(77)
第三节 应力腐蚀	(83)
第四节 锅炉给水系统金属的腐蚀	(87)
第五节 锅炉汽水系统金属的腐蚀	(89)

第六节	锅炉氧腐蚀的防止	(91)
第七节	停用锅炉的腐蚀与保护	(102)
第六章	锅内加药处理	(107)
第一节	水垢的种类和危害	(107)
第二节	水渣的组成及危害	(109)
第三节	锅内加药处理	(109)
第四节	水处理药剂的配制与使用	(120)
第五节	锅炉的排污	(121)
第六节	燃油、燃气锅炉的自动排污和手动排污	(129)
第七章	锅外化学处理	(130)
第一节	离子交换树脂	(130)
第二节	钠离子交换软化处理的基本原理	(140)
第三节	离子交换水处理设备	(146)
第四节	钠离子交换软化系统	(169)
第五节	水的离子交换软化——降碱处理	(170)
第六节	水的离子交换除盐处理	(181)
第七节	离子交换器运行管理及提高经济性措施	(183)
第八节	全自动离子交换软水器	(187)
第九节	水处理系统的防腐	(194)
第八章	水质分析基本知识	(198)
第一节	水样的采集	(198)
第二节	化学试剂的性质及等级标志	(199)
第三节	常用的玻璃仪器	(200)
第四节	分析天平的构造及操作	(206)
第五节	标准溶液的配制及滴定度	(210)
第六节	分析数据的处理	(211)
第七节	水质分析方法介绍	(215)
第八节	质量分析法	(215)
第九节	容量分析法	(219)
第九章	水质分析方法	(225)
第一节	一般规定	(225)
第二节	悬浮固形物的测定	(226)
第三节	溶解固形物的测定(重量法)	(228)
第四节	电导率的测定	(228)
第五节	pH 值的测定	(231)
第六节	氯化物的测定(硝酸银容量法)	(233)
第七节	碱度的测定(容量法)	(235)
第八节	硬度的测定	(236)

第九节	磷酸盐的测定(磷钒钼黄分光光度法)	(239)
第十节	磷酸盐的测定(磷钼蓝比色法)	(240)
第十一节	溶解氧的测定(两瓶法)	(241)
第十二节	溶解氧的测定(靛蓝二磺酸钠比色法)	(243)
第十三节	亚硫酸盐的测定(碘量法)	(246)
第十四节	油的测定	(247)
第十五节	铁的测定(磺基水杨酸分光光度法)	(248)
第十六节	酸碱标准溶液的配制与标定	(250)
第十七节	乙二胺四乙酸二钠(1/2EDTA)标准溶液的配制与标定	(252)
第十八节	硫代硫酸钠标准溶液的配制与标定	(253)
第十九节	碘标准溶液的配制与标定	(255)
第二十节	高锰酸钾标准溶液的配制与标定	(256)
第十章	锅炉水处理不当造成的事故案例	(258)
第一节	苛性脆化引起的事故	(258)
第二节	水质不良引起的事故	(259)
第三节	水处理方法不当引起的事故	(261)
第四节	给水除氧不良造成的事故	(263)
第五节	锅炉停炉保养造成的事故	(264)
第十一章	锅炉水处理设备的检验	(266)
第一节	锅炉水处理设备检验的重要性	(266)
第二节	锅炉水处理设备检验的形式	(266)
第三节	锅炉水处理设备检验的准备工作	(266)
第四节	水处理设备检验的重点	(267)
第五节	水处理设备的检验方法	(269)
第六节	水处理设备检验后的检修	(271)
第十二章	锅炉水处理的监督管理	(273)
第一节	锅炉水处理设备(药剂)设计、生产、安装的监督	(273)
第二节	锅炉水处理使用单位的监督	(274)
第三节	锅炉水质监测的监督	(277)
第四节	锅炉化学单位化学清洗的监督	(278)
第五节	综合监督及处理	(278)
习题与解答		(280)
附录		(304)
参考文献		(313)

第一章 锅炉基本知识

锅炉是承受高温高压的特种设备,具有爆炸的危险性。锅炉水处理是确保锅炉安全运行的重要措施之一。根据《锅炉水处理监督管理规则》和锅炉水处理人员技术培训考核大纲的要求,本章扼要地介绍了锅炉的基本知识,为锅炉水处理人员学好以后各章知识打下基础。

第一节 锅炉主要技术参数

一、容量

锅炉的容量又称锅炉出力,是反映锅炉基本特性技术参数。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/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。在实际运行中,锅炉受热面一点不积灰,煤种一点不变是不可能的。因此,锅炉在实际运行中,每小时最大限度产生的蒸汽量叫最大蒸发量,这时锅炉的热效率会有所降低。

(二)供热量

热水锅炉长期连续运行,在额定回水温度、压力和规定循环水量下,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 0.7MW(60×10^4 kcal/h)的热量,大体相当于蒸汽锅炉产生 1t/h 蒸汽的热量。

二、压力

垂直均匀作用在单位面积上的力,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“ $p_{\text{绝}}$ ”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“ $p_{\text{表}}$ ”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热水锅炉,其压力来自高位水箱形成的静压力;另一种强制循环采暖系统的热热水锅炉,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

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	25	2.450≈2.5
5	0.490≈0.5	39	3.820≈3.8
6	0.588≈0.6	60	5.880≈5.9
7	0.686≈0.7	100	9.800≈10.0
8	0.784≈0.8		

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,单位是摄氏度(℃)。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。

(一)辐射受热面

辐射受热面,指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、炉胆等。

(二) 对流受热面

对流受热面,指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。

二、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,其公式为

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

(1) 蒸汽锅炉

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

(2) 热水锅炉

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

三、蒸汽品质

蒸汽品质是指蒸汽的纯洁程度,一般饱和蒸汽中或多或少带有微量的饱和水分,但带水量超过标准的蒸汽则为蒸汽品质不好。

四、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。

五、排污量

锅炉排污时的排污水流量称为排污量。

六、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。

七、卧式锅壳锅炉

锅筒纵向轴线基本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部。

八、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,而管子外部的水包在锅筒里面。

九、蒸汽锅炉

将水加热成蒸汽的锅炉称为蒸汽锅炉,一般为生产用锅炉。

十、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。

十一、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温度差、高度差和重度差,使锅水进行循环的锅炉称为自然循环锅炉。

十二、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。

十三、小型蒸汽锅炉

指水容积不超过 50L,且额定蒸汽压力不超过 0.7MPa 的蒸汽锅炉。

十四、小型热水锅炉

指额定出水压力不超过 0.1MPa 的热水锅炉及自来水加压的热水锅炉。

十五、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。

十六、燃气燃油锅炉

指以可燃气体(简称燃气)或燃料油(简称燃油)作为燃料的锅炉。

十七、有机热载体气相炉

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。该炉又分为气相炉和液相炉两种。

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、渣油和柴油。

气体燃料:天然气、煤气、液化石油气等。

(一)固体燃料

锅炉用固体燃料大部分以煤为主,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用来加工的废材作为燃料。

稻糠、甘蔗渣作为废物利用,把它们当做燃料,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。

(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。

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。

(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):是燃料中的主要成分,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,一部分为不可燃烧部分,如无机硫,它不参加燃烧;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生成亚硫酸(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,它们量多,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,但灰分带走热量多,使热损失增加。此外,灰分中的一部分(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,可改善燃烧状况,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)和发热量(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1-2,煤中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。

发热量(Q):1kg煤完全燃烧时放出的热量,称为发热量。燃料的发热量有高位发热量和低位发热量两种。所谓低位发热量是考虑到燃料燃烧时,所有的水分都要汽化成蒸汽并吸收热量,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。包括这部分热量的全部发热量就称为高位发热量。锅炉一般都采用低位发

热量来计算耗煤量和热效率。

表 1-2 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

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 1kg 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

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

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 350℃,褐煤 350℃,重油的着火温度约为 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。

挥发分着火燃烧阶段: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,如烟煤 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:挥发分接近烧完时,焦炭开始燃烧,它是固体燃料和空气中的氧之间燃烧的化学反应。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的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、油滴的蒸发与化学反应、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和颗粒分布均匀。

油滴的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 μm 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,所以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,产生可燃气体混合物,使得油燃烧良好。

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

第四节 锅炉的构成及工作原理

一、锅炉的构成

锅炉是一种把燃料燃烧后释放的热能传递给容器内的水,使水达到所需要的温度(热水或蒸汽)的设备。它由“炉”、“锅”、附件仪表和附属设备构成一个完整体,以保证其正常运行。

(一)炉

“炉”是由燃烧设备、炉墙、炉拱和钢架等部分组成的,使燃料进行燃烧产生灼热烟气的部分。烟气经过炉膛和各段烟道向锅炉受热面放热,最后从锅炉尾部进入烟囱排出。

(二) 锅

“锅”即是锅炉本体部分,它包括锅筒(汽包)、水冷壁管、对流管束、烟管、下降管、集箱(联箱)、过热器、省煤器等受压部件,由此而组成的盛装锅水和蒸汽的密闭受压部分。

1. 锅筒

锅筒的作用是汇集、贮存、净化蒸汽和补充给水。热水锅炉锅筒内全部盛装的是热水,而蒸汽锅炉锅筒盛装的是热水和蒸汽。单锅筒的蒸汽锅炉,锅筒下部全部是热水,锅筒上部为蒸汽空间;双锅筒的蒸汽锅炉,下锅筒全部是热水,上锅筒下部为热水,上部为蒸汽空间,蒸汽与热水分界的位置叫水位线。

2. 水冷壁管

水冷壁管是布置在炉膛四周的辐射受热面。它是锅炉的主要受热面,有些水冷壁管两侧焊有或带有翼片,又称鳍片。鳍片增大了对炉墙的遮挡面积,可以更多地接受炉膛辐射的热量,提高锅炉产汽量,降低炉膛内壁的温度,保护炉墙,防止炉墙结渣。

3. 对流管束

对流管束是连接锅炉上、下锅筒的对流受热面的。它的作用是吸收高温烟气的热量,增加锅炉受热面水循环压头。对流管束吸热情况,与烟气流速、管子排列方式、烟气冲刷的方式都有关。

4. 烟管、火管

烟管是锅炉的对流受热管,它与对流管束作用相同,不同的是对流管束烟气流经管外,而烟管是烟气流经管内。

火管有两种情况,直径较大的火管一般称为炉胆,里面可以装置炉排,是立式锅炉和卧式内燃锅炉的主要辐射受热面;直径较小的火管又称为烟管,目前新设计一种螺纹烟管,即管内呈螺纹状,这种烟管传热效果比普通烟管要好,应用较多。

5. 下降管

下降管的作用是把锅筒里的水输送到下集箱,使受热面管子有足够的循环水量,以保证可靠的运行。下降管必须采取绝热措施。

6. 集箱

集箱也称联箱,它的作用是汇集、分配锅水,保证各受热面管子可靠地供水或汇集各管子的水及汽水混合物。集箱一般不应受辐射热,以免内部水产生气泡冷却不好,过热烧坏。集箱按其布置的位置有上集箱、下集箱、左集箱、右集箱之分。位于炉排两侧的下集箱又俗称为防焦箱。

7. 过热器

过热器是蒸汽锅炉的辅助受热面,它的作用是在压力不变的情况下,从锅筒中引出饱和蒸汽,再经加热,使饱和蒸汽中的水分蒸发并使蒸汽温度升高,提高蒸汽品质,成为过热蒸汽。

8. 省煤器

省煤器是布置在锅炉尾部烟道内,利用排烟的余热来提高给水温度的热交换器,作用是提高给水温度,减少排烟热损失,提高锅炉热效率。一般来说,省煤器出口水温升高 1°C ,锅炉排烟温度平均降低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,每升高给水温度 $6\sim 7^{\circ}\text{C}$,省煤 1% 。一般加装省煤器