

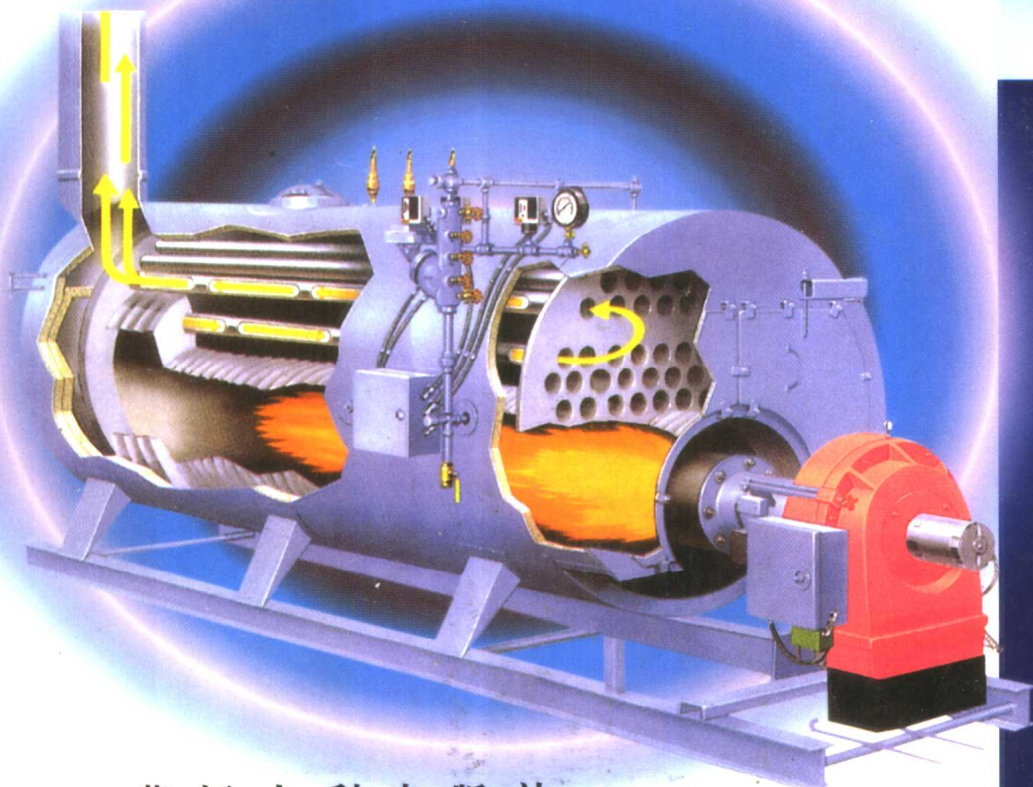
GUOLU CAOZUO ANQUAN JISHU

锅炉操作

安全

张兆杰 桑清莲 李文广 主编

技术



黄河水利出版社

锅炉操作安全技术

主 编 张兆杰 桑清莲 李文广
副主编 王建华 胡兆勤 宋建新
李宗业 付新生 张国哲

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书共分十二章。对锅炉的基本知识、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,对锅炉房内维修人员亦有帮助,同时也可用作锅炉房管理人员培训和锅炉安全监察、锅炉检验技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉操作安全技术/张兆杰,桑清莲,李文广主编. —郑州:
黄河水利出版社, 2002. 3

ISBN 7 - 80621 - 549 - 2

I. 锅… II. ①张…②桑…③李… III. 锅炉 - 操作 - 安全技术 IV. TK288

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 014369 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: yrcp@public2.zz.ha.cn

承印单位: 黄委会设计院印刷厂

开本: 787mm × 1 092mm 1/16

印张: 21.5

字数: 497 千字

印数: 1—8 000

版次: 2002 年 3 月第 1 版

印次: 2002 年 3 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7 - 80621 - 549 - 2/P·22

定价 36.00 元

前 言

随着人民生活质量的日益提高,对环境提出了更高要求,城市的燃油、燃气锅炉大量增加。为满足燃煤、燃油、燃气司炉人员培训的需要,同时,考虑近几年国家发布了一些新的标准、法规,在对司炉人员培训工作中,学员希望将国家新技术编入教材之中。为此,我们编写了《锅炉操作安全技术》一书。本书主要介绍了锅炉基本知识、锅炉结构、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、故障处理等方面内容。

本书共十二章。第一、第二章由张兆杰、李宗业、张国哲、武仲海编写,第三、第四章由王建华、闻君祥、庞振平、赵振经、杨学国编写,第五、第六章由胡兆勤、夏一明、曹荣华、陈立德、朱建军编写,第七、第八、第九章由桑清莲、郝津晶、刘心宽、刘贵东编写,第十、第十一章由李文广、田学军、王效华、丑作仁、张兆山编写,第十二章由宋建新、徐腾、范新亮、邵利军、付新生、田慧峰编写。

全书由张兆杰、桑清莲、李文广三人统稿。

由于水平有限,书中不当之处,敬请指正。

编者

2002 年 3 月

目 录

第一章 锅炉基本知识	(1)
第一节 锅炉容量及参数.....	(1)
第二节 锅炉常用术语.....	(2)
第三节 燃料及燃烧.....	(5)
第四节 锅炉的构成及工作原理	(10)
第五节 水与蒸汽性质	(12)
第六节 锅炉水循环	(13)
第七节 锅炉分类概述	(14)
第八节 锅炉产品型号表示法	(14)
第二章 锅炉结构	(17)
第一节 锅壳锅炉	(17)
第二节 水管锅炉	(23)
第三节 热水锅炉	(28)
第四节 铸铁锅炉	(29)
第五节 燃气燃油锅炉	(30)
第六节 有机热载体炉	(32)
第三章 燃烧设备	(34)
第一节 燃烧方式	(34)
第二节 固定炉排	(35)
第三节 双层炉排	(37)
第四节 链条炉排	(38)
第五节 倾斜式往复炉排	(44)
第六节 水平往复炉排	(46)
第七节 水平往复抽条炉排	(47)
第八节 抛煤机	(48)
第九节 煤粉燃烧装置	(50)
第十节 简易煤气发生装置	(54)
第十一节 抽板顶煤反烧炉排	(56)
第十二节 螺旋下饲式炉排	(57)
第十三节 沸腾床	(57)
第十四节 燃油装置	(59)
第四章 锅炉附件	(62)

第一节	安全阀	(62)
第二节	水封安全器	(67)
第三节	压力表	(69)
第四节	低地位水位计	(71)
第五节	爆破片	(73)
第六节	液位计	(75)
第七节	防爆门	(75)
第八节	常用阀门	(77)
第九节	管道	(87)
第五章	锅炉仪表	(91)
第一节	温度测量仪表	(91)
第二节	流量测量仪表	(95)
第三节	锅炉自动调节与控制装置	(98)
第六章	锅炉附属设备	(105)
第一节	运煤设备	(105)
第二节	给水设备	(107)
第三节	通风设备	(114)
第四节	除渣设备	(116)
第五节	除尘设备	(118)
第七章	工业锅炉用水和水质标准	(126)
第一节	锅炉用水与水质指标	(126)
第二节	工业锅炉水质标准	(128)
第三节	工业锅炉的水质管理	(130)
第八章	锅内加药处理法	(132)
第一节	概述	(132)
第二节	锅内加药处理法常用药剂的种类和性能	(134)
第三节	锅内水处理常用药剂配方及选择	(138)
第四节	锅内水处理常用药剂用量的计算	(140)
第五节	水处理药剂的配制与使用	(144)
第六节	锅炉的排污	(146)
第七节	燃油燃气锅炉的自动排污和手动排污	(153)
第九章	锅外化学处理	(154)
第一节	离子交换树脂	(154)
第二节	离子交换水处理的基本原理	(163)
第三节	离子交换器的类型和基本操作过程	(175)
第四节	固定床离子交换水处理设备	(182)
第五节	再生系统及设备	(188)

第六节 自动软水器	(190)
第十章 锅炉运行操作与维护保养	(196)
第一节 锅炉投入运行的必备条件	(196)
第二节 运行前的准备	(198)
第三节 点火前的检查和准备	(201)
第四节 烘炉与煮炉	(202)
第五节 点火与升压	(205)
第六节 通汽与并汽	(207)
第七节 锅炉运行操作	(208)
第八节 热水锅炉的运行操作	(213)
第九节 手烧炉的运行操作	(219)
第十节 链条炉的运行操作	(222)
第十一节 往复炉排的运行操作	(223)
第十二节 抛煤炉的运行操作	(224)
第十三节 煤粉炉的运行操作	(225)
第十四节 沸腾炉的运行操作	(226)
第十五节 燃油锅炉的运行操作	(229)
第十六节 简易煤气炉的运行操作	(231)
第十七节 热载体炉的运行操作	(233)
第十八节 附件的操作	(237)
第十九节 定期维护保养	(243)
第二十节 停炉保养	(245)
第二十一节 自动燃气锅炉维修保养	(246)
第十一章 锅炉常见事故及故障的处理	(248)
第一节 锅炉故障的判断	(248)
第二节 锅炉运行事故及故障处理	(249)
第三节 锅炉安全附件故障处理	(254)
第四节 锅炉燃烧故障处理	(257)
第五节 锅炉燃烧设备故障处理	(261)
第六节 锅炉辅助设备故障处理	(265)
第七节 热水锅炉故障处理	(272)
第八节 燃气燃油锅炉的故障排除	(278)
第九节 汽相炉事故	(281)
第十节 液相炉事故	(283)
第十二章 锅炉事故案例	(287)
第一节 锅内过程事故案例	(287)
第二节 炉内过程事故案例	(297)

第三节 锅炉缺水事故案例	(304)
第四节 锅炉腐蚀事故案例	(310)
第五节 锅炉设计制造的质量事故	(324)
第六节 辅助设备与辅机事故	(328)
复习思考题	(330)
主要参考文献	(335)

第一章 锅炉基本知识

锅炉是承受高温高压的特种设备。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 锅炉容量及参数

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。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 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 $0.7MW(60 \times 10^4 \text{ 千卡/时})$ 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“ $p_{\text{绝}}$ ”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≈10.0

司炉人员操作锅炉时,要控制锅炉压力不能超过锅炉铭牌上标明的压力,也就是锅炉压力表盘上指示的压力不能超过锅炉铭牌上标明的压力。

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(℃)。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、锅筒下腹壁等。

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、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

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

(2)蒸汽锅炉

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

五、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。

六、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。

七、排污量

锅炉排污时的排出污水量称为排污量。

八、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。

九、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、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筒里

面。

十一、蒸汽锅炉

将水加热成蒸汽输出的锅炉称为蒸汽锅炉,一般为生产用锅炉。

十二、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。

十三、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。

十四、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。

十五、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。

十六、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。

十七、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。

十八、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。

十九、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。

二十、微正压燃烧

指炉膛中烟气高于大气压力,又不大于 5kPa 的压力燃烧方式。

二十一、供油(汽)温度

指有机热载体炉在额定工况下输出的有机热载体介质温度。

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	20 [#]	60 [#]	100 [#]	200 [#]
恩氏黏度($^{\circ}\text{E}_m$)不大于	5.0	11.0	15.5	27
闪点(开口)($^{\circ}\text{C}$)不低于	80	100	120	130
凝点($^{\circ}\text{C}$)不高于	15	20	25	36
灰分(%)不大于	0.3	0.3	0.3	0.3
水分(%)不大于	1.0	1.5	2.0	2.0
硫分(%)不大于	1.0	1.5	2.0	3.0
机械杂质(%)不大于	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。

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。

(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。

发热值(Q):1kg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。

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			

(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:

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

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,可能产生碳黑,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。

1. 灰渣层

灰渣层即是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 ~ 1 200℃。

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