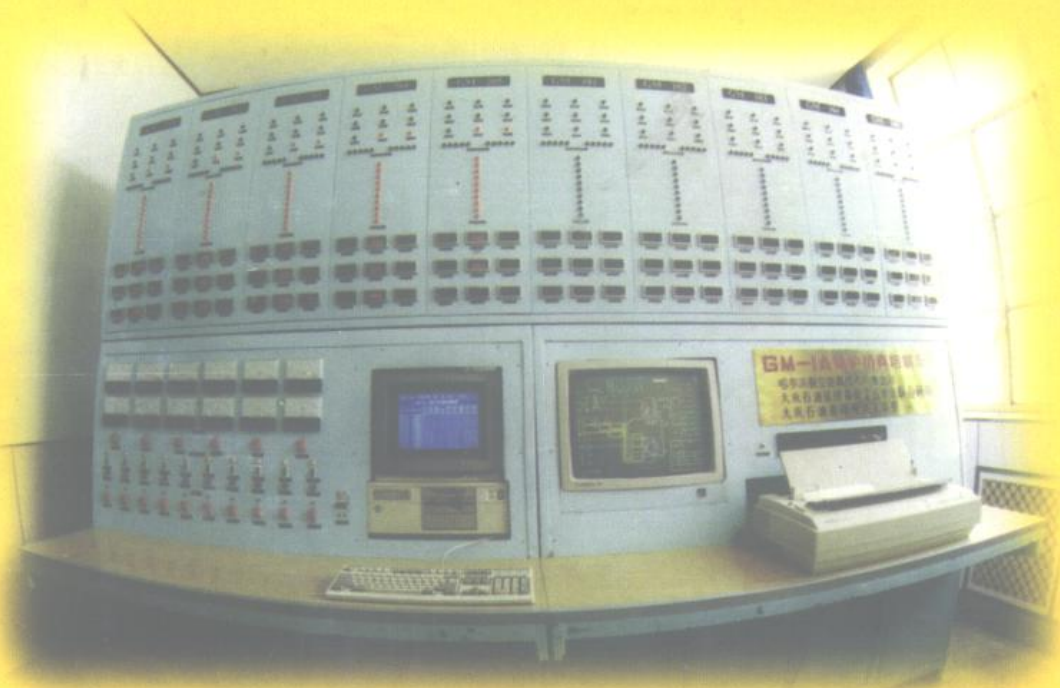


工业锅炉运行与安全技术

郭传顺 肖永胜 主编



哈尔滨工程大学出版社

工业锅炉运行与安全技术

主 编:郭传顺 肖永胜

副主编:王 新 王满

审 核:王新清

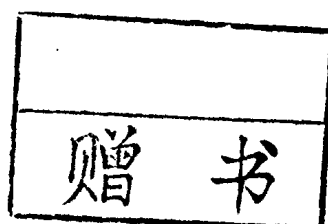
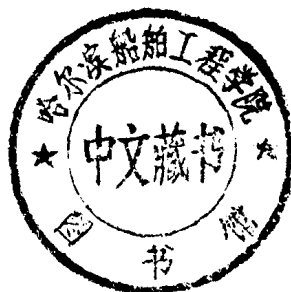
编 委:赵永宏 刘长华 宋云峰

王雪梅 李 忠 钱万宏

于哈杰



00425448



哈尔滨工程大学出版社

内 容 提 要

本书简要地介绍了与锅炉相关的热工、传热、焊接、材料基础知识,阐述了工业锅炉本体、燃烧设备、附属设备、安全附件等方面的构造原理及运行事故处理方法;在介绍了水质监督、锅炉房安全管理要求及自动控制先进技术;之后,专门介绍了研制的模拟锅炉仿真系统。

本书系统性较强,内容丰富,通俗易懂,有较高的实用价值。可作为司炉工人和管理人员培训教材;亦可供安全技术监察干部和检验人员参考。

工业锅炉运行与安全技术

GONGYE GUOLU YUNXING YU ANQUAN JISHU

郭传顺 肖永胜 主编

责任编辑 田宝荣

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

新华书店经销

大庆石油管理局勘探开发研究院科技彩印厂印刷

*

开本 787×1 092 1/16 印张 13 字数 308 千字

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

印数:1~5000 册

ISBN 7-81007-853-4

TK·7 定价:22.80 元

序

加强司炉工人培训、提高司炉工人的理论水平和实际操作能力,是确保锅炉运行的重要手段。《工业锅炉运行与安全技术》一书,集编者多年教学和管理经验,较系统地阐述了工业锅炉的结构、运行和事故处理等方面的知识;同时,还把研制的模拟锅炉仿真系统的有关内容做了介绍,做到了理论教学与实际操作培训有机结合,完善了司炉工培训工作,对提高司炉工人培训质量有着积极的指导作用。

该书系统性较强,内容丰富,通俗易懂,可作为司炉工和管理人员理论培训教材;亦可做为锅炉安全技术监察干部和检验人员参考用书。

欣读此书,特作此序。

刘 顺 隆

1998年3月8日

目 录

第一章 基础知识	1
第一节 基本物理量	1
第二节 水和水蒸汽	4
第三节 燃料与燃烧	7
第四节 热的传播和锅炉的热平衡	12
第五节 金属材料及焊接	16
第二章 锅炉的分类与结构	20
第一节 锅炉概述	20
第二节 锅炉分类与型号编制	20
第三节 锅炉结构及特性	24
第四节 锅炉主要受压部件	33
第五节 锅炉的辅助受热面	35
第六节 锅炉的水循环	37
第三章 锅炉安全附件及仪表	41
第一节 压力表	41
第二节 安全阀	46
第三节 水位表	50
第四节 温度测量仪表	53
第五节 流量测量仪表	56
第六节 安全保护装置	58
第七节 自动调节及控制	63
第八节 计算机在工业锅炉检测及控制中的应用	66
第九节 常用阀门	68
第四章 锅炉附属设备	79
第一节 燃油系统的主要设备	79
第二节 燃汽系统的主要设备	82
第三节 燃煤系统的主要设备概述	83
第四节 供水系统的主要设备	89
第五节 烟风系统的主要设备	97
第五章 锅炉水处理	105
第一节 锅炉用水的基础知识	105
第二节 低压锅炉水质标准	108
第三节 锅外水处理	111

第四节	锅内水处理	116
第五节	给水除氧	119
第六节	固定床钠离子交换法工艺流程	122
第六章	工业锅炉的运行	125
第一节	烘炉与煮炉	125
第二节	锅炉点火前的检查准备工作	127
第三节	锅炉的点火	129
第四节	蒸汽锅炉的启动与运行	130
第五节	热水锅炉的启动与运行	136
第六节	停炉	141
第七章	锅炉事故的处理	144
第一节	锅炉事故分类	144
第二节	爆炸事故	145
第三节	因锅炉水位不正常引起的事故	146
第四节	超压事故	148
第五节	汽水共腾事故	148
第六节	爆管事故	149
第七节	水击事故	151
第八节	二次燃烧与烟气爆炸事故	153
第九节	热水锅炉常见事故	154
第十节	燃煤锅炉燃烧设备常见事故	156
第八章	锅炉的维护与保养	159
第一节	锅炉的维护	159
第二节	锅炉停炉保养	161
第九章	锅炉房管理	163
第一节	锅炉房设计	163
第二节	锅炉的使用登记	165
第三节	锅炉的使用管理	166
第四节	司炉人员管理	167
第五节	锅炉房的制度与记录	169
第十章	锅炉模拟培训系统	170
第一节	锅炉模拟训练场简介	170
第二节	模拟锅炉结构与控制原理	173
第三节	锅炉模拟系统功能	176
第四节	模拟锅炉操作方法	177
第五节	模拟锅炉运行事故	180
附录一	安全合格锅炉房检查评定标准	183
附录二	锅炉工技术等级标准	188

附录三	192
附表 1 饱和蒸汽热力特性表	192
附表 2 过热蒸汽热焓	193
附表 3 常用物理量的换算表	194
附表 4 英制钢管尺寸和对应的公制钢管以及 配内外螺纹的公制钢管对照表	195
附表 5 不同介质管道涂色标志	196
参考书目	197

第一章 基础知识

第一节 基本物理量

一、压力和压力单位

通常所说的压力，是指垂直均匀作用于物体单位面积上的力，用符号“ P ”表示（物理学中称为压强）。在国际单位制中，压力的单位为“帕斯卡”，简称“帕”，记做 Pa。因“帕”的单位较小，所以在工程中常用“兆帕”，记作 MPa。

$$1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$$

在以前的工程单位制中，压力的单位用公斤力/厘米²表示，记作 kgf/cm²。工程上有时还用米水柱（mH₂O）、毫米汞柱（mmHg）表示较小压力的单位。它们之间的换算关系如下：

$$1\text{kgf/cm}^2 = 10\text{mH}_2\text{O} = 10\,000\text{mmH}_2\text{O} = 735.6\text{mmHg} = 9.806\,6 \times 10^4\text{Pa}$$

因为空气是具有重量的，所以空气中的任何物体，在任何方向上都要受到空气的压力，这个压力称为大气压力（以 B 表示）。在标准状态下，即海拔为零米，温度为 0℃ 时，大气压力为 101 325Pa。工程上为了计算方便，大气压力近似计为 $10 \times 10^4\text{Pa}$ 或 0.1MPa。

压力表指示的压力称为表压力，用符号“ $P_{\text{表}}$ ”表示。锅炉上所说的压力都是表压力，表压力是相对压力，因为当压力表指针为零时，实际上还受到周围大气压力的作用，所以压力表指示的压力数值是指超过大气压力的那部分实际压力，实际压力又称为绝对压力，用符号“ $P_{\text{绝}}$ ”表示，其数值就是表压力与大气压力之和。当实际压力低于大气压力时的表压力，称为负压（或称为真空度 H ）。绝对压力、表压力和大气压力之间的关系可以写成：

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + B$$

$$P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - B$$

$$H = B - P_{\text{绝}}$$

绝对压力与压力的关系如图 1-1 所示。

二、温度

温度是反映物体冷热程度的物理量，是物体内部所拥有能量的一种表现方式，温度越高能量越大。

物体温度的高低，不能单凭感觉来判断。如冬季在井下工作，并不觉冷，而夏日在井下工作就又不觉热。实际上，井下温度变化不大。由一种温度环境到另一种温度环境的感觉，是不能说明冷热程度的。衡量温度要使用仪器，这种仪器，就叫做温度计。

温度计的种类很多，有膨胀温度计、电阻温度计、热电偶（也叫热电对、电偶温度计）、辐射高温计等。

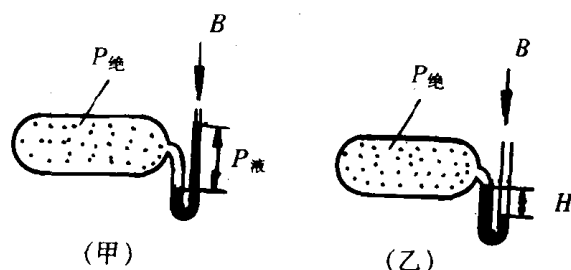


图 1-1 绝对压力与表压力的关系

常用温度计有水银温度计。水银温度计为管中盛以水银，最低可测 -25°C ，最高则视玻璃管材料而定，最高可测 500°C 。有机液体温度计为玻璃管中盛以酒精、甲苯或石油醚等，可测 -200°C 的低温度。

温度的表示方法有三种：

1. 摄氏度 ($t^{\circ}\text{C}$)

在标准大气压下，把冰水混合物的温度规定为 0 度，沸水温度规定为 100 度，在 0 度和 100 度之间分成 100 份，每一份就是一度，符号为 “ $^{\circ}\text{C}$ ”，用这种方法确定的温度叫做摄氏度，符号为 “ t ”。

2. 华氏温度 ($t^{\circ}\text{F}$)

标准大气压下，把冰的熔点规定为 32 度，水的沸点规定为 212 度，两者间平均分成 180 份，每一份为一度，用 “ $^{\circ}\text{F}$ ” 表示，这种单位在日、美、英国家常用。

在工作中有时会碰到两种刻度计的情况，为了明确温度的大小，必须将两种温标，换算为同一种温标。其关系如下：

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (t^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} t^{\circ}\text{C} + 32$$

〔例〕 某锅炉除氧器温度计指示为 215.6°F ，折合成摄氏若干度？

解：代入计算摄氏温度公式中：

$$\text{则摄氏温度} = \frac{5}{9} (215.6 - 32) = 102^{\circ}\text{C}$$

3. 绝对温度

规定从 -273.15°C 为绝对零度的，称为绝对温度，用符号 “ T ” 表示。单位：开尔文，简称 “开”，用 “ K ” 表示，它与摄氏度之间的关系为

$$T = t + 273$$

三、重度、比容

重度是指单位体积的物体重量，用符号 “ r ”，单位牛/米³ (N/m^3)

$$r = G/V$$

G ——物质的重量 (N);

V ——物质的体积 (m^3)。

比容是指单位质量的物体所含有的体积, 用符号“ v ”表示, 单位 $\text{米}^3/\text{千克}$ (m^3/kg)

$$v = v/m$$

V ——物质的体积 (m^3);

m ——物质的质量 (kg)。

四、密度

密度是指单位体积的物质中所含有的质量, 用符号“ ρ ”表示, 单位 $\text{千克}/\text{米}^3$ (kg/m^3)

$$\rho = m/v$$

m ——物质的质量 (kg);

v ——物质的体积 (m^3)。

五、质量和重量

物体所含物质的多少称为质量, 用符号“ m ”表示, 单位 千克 (kg), 常用单位还是有克 (g)、吨 (t)。物体由于地球的吸引而受到的力称为重量, 用符号“ G ”表示。单位 牛顿 (N), 质量与重量两者之间的关系为:

$$G = mg$$

g ——重力加速度 $9.81 \text{ 米}/\text{秒}^2$ (m/s^2)

六、比热、显热和潜热

比热是指单位质量的某种物质, 温度升高 (或降低) 1°C 时吸收 (或放出) 的热量。用符号“ C ”表示。单位: $\text{焦耳}/\text{千克}\cdot\text{开}$; ($\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$) $\text{千焦}/\text{千克}\cdot\text{开}$; ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$) 可用下式求得:

$$Q = cm (t_2 - t_1)$$

式中: c ——物质的比热, $\text{焦耳}/\text{千克}\cdot\text{开}$ ($\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$);

m ——物质的质量, 千克 (kg);

t_2 ——物质加热后的温度, ($^\circ\text{C}$);

t_1 ——物质加热前的温度, ($^\circ\text{C}$);

Q ——物质吸收或放出的热量, 焦耳 (J)。

显热是指介质在吸收或放出热量过程中, 状态不变, 温度变化。热水采暖就是利用介质的显热交换来输送热量。

潜热也称汽化热, 是指单位质量的液体介质变成同温度的蒸汽时所吸收的热量, 单位: $\text{千焦}/\text{千克}$ (kJ/kg)。蒸汽采暖就是利用介质的潜热交换来输送热量的。

七、流量、流速

流量是指单位时间内介质通过有效断面的数量。单位是 $\text{米}^3/\text{小时}$ (m^3/h)、 $\text{千克}/\text{秒}$ 、(kg/s)、 $\text{吨}/\text{小时}$ (t/h)

流速是指单位时间内介质流经的距离。单位是 $\text{米}/\text{秒}$ (m/s) 流速可用下式求得:

$$W = V/S$$

W ——介质的平均流速, $\text{米}/\text{秒}$ (m/s);

V ——介质的流量, 米³/秒 (m^3/s);

S ——介质的有效断面, 米² (m^2)。

第二节 水和水蒸气

一、物质的三态变化

固态、液态、气态是物质存在的三种状态。例如在通常状态下, 铁是固体, 水是液体, 氧气是气体。液态的水可以变成固态的冰, 也可以变成气态的水蒸气, 随着温度的变化, 水会呈现液态 (水)、气态 (水蒸气) 和固态 (冰、霜、雪) 三种形态, 它们之间互相转化关系如图 1-2 所示。

1. 熔解和凝固

物质从固态变成液态的过程称为熔解, 从液态变成固态的过程称为凝固。

给冰加热, 当冰的温度升高到 0°C 时, 冰开始熔解, 在熔解过程中, 虽然继续加热, 但是冰和水的温度并不改变, 仍保持在 0°C , 直到冰全部熔解成水, 温度才继续上升。让水冷却, 当温度降低到 0°C 时, 水开始结冰, 在结冰的过程中, 虽然不断向外放出热量, 但是冰和水的温度也保持在 0°C 不变, 直到全部水都结成冰, 温度才继续下降。可见, 冰的熔解和凝固都是在一定的温度下进行的, 熔解时的温度叫做熔点, 凝固时的温度叫做凝固点, 在外界条件不变的情况下, 物质的熔点和凝固点是相同的。

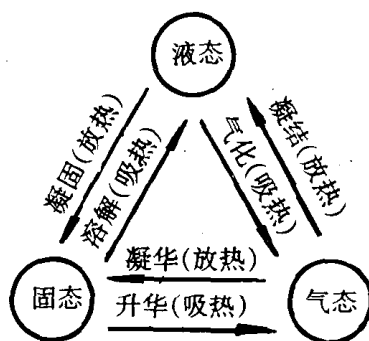


图 1-2 水的三态变化

冰在熔解过程中虽然温度保持不变, 但要不断给它加热, 这表明晶体在熔解过程中要吸收热量, 单位质量的晶体物质在熔点熔解成同温度的液体时吸收的热量, 叫做这种物质的熔解热。在国际单位制中, 熔解热的单位是焦/千克 (J/kg)。1 千克 0°C 冰熔解成 0°C 的水吸收的热量是 3.35×10^5 焦, 因此, 冰在 0°C 时的熔解热是 3.35×10^5 焦/千克。

2. 液化和汽化

物质从气态变成液态的过程称为液化。物质从液态变成气态的过程称为汽化。

汽化有二种方式: 蒸发和沸腾。

蒸发是仅在液体表面发生的汽化现象。如盛在碗里的水, 经过一段时间后会变少。蒸发的速度与温度、表面积有关, 温度愈高, 表面积愈大, 蒸发得越快。

沸腾是指在液体内部或表面同时进行的汽化现象。液体沸腾时的温度叫做沸点, 液体的沸点跟外界压强有关系, 压强增大时, 沸点升高; 压强减少时沸点降低。

3. 升华和凝华

物质从固态直接变成气态, 叫做升华。物质从气态直接变成固态, 叫做凝华。

二、水的特性

在锅炉中流动的介质主要是水和汽水混合物。为了了解锅炉的工作原理，必须先搞清楚水的基本性质。

水是无色、透明、无味、无臭的液体。当水中含有杂质时，即呈现色、味等现象，变更或影响了原有的物理性质。水是由氢与氧化合而成，其化学分子式为 H_2O 。水具有气体、液体和固体三态特性。

水还具有下列特性：

1. 水的体积在 $4^{\circ}C$ 时最小，当温度升高时，水的密度减小，因而体积膨胀；反之，当温度降低时，其密度也减小，体积也增加。所以水在 $4^{\circ}C$ 时，其密度最大，体积最小。

2. 水的比热最大，当水升高 $1^{\circ}C$ 时，所需要的热量是最大的。而其他物质升高 $1^{\circ}C$ 所需要的热量比水需要的热量都小。所以水做冷却、吸热的介质。

3. 饱和水的压力与温度有关，当水在标准大气压下被加热，温度升至 $100^{\circ}C$ 时，水即开始沸腾，即沸点。沸点是随压力的增加而提高的。如水在 10 个大气压力下的沸点，就不是 $100^{\circ}C$ 了，而是 $183.2^{\circ}C$ 。因此，水的沸腾温度不是一个不变的数，而是随着压力的变化而变化。但在一定压力下，水的沸点是不变的，即使继续增加热量，其沸点也是一定的，这时，只会使水逐渐汽化，而不会再提高温度。一定压力下水的沸腾温度，又称在此压力下的水的饱和温度。

4. 水具有的液体一般通性，在压力相等的条件下，各个部分的水面保持在同一平面上；水还具有某一部分受到压力作用时，它便以相等的压力向其余部分传递的性质；水没有一定的形态，而有一定的体积等。

三、饱和水蒸气的性质

在一定的压力下，水达到沸腾的温度，称做饱和温度。这种具有饱和温度的水称为饱和水。在一定的压力下，对饱和水继续加热，饱和温度保持不变，但水陆续转化为水蒸气，这种具有饱和温度的水蒸气称为饱和蒸汽。在一定的压力下，对饱和蒸汽继续加热可以提高蒸汽的温度，使其超过饱和蒸汽的温度，这种蒸汽称为过热蒸汽。

通常在饱和蒸汽中或多或少带些水分，故饱和蒸汽实际上是蒸汽和水的混合物，通常称为湿饱和蒸汽，简称湿蒸汽。而不含水分的蒸汽，称为干饱和蒸汽，简称干蒸汽。

湿蒸汽中的含水量与总重量的比值，称为蒸汽的湿度，用“W”表示。湿蒸汽中蒸汽的重量与总重量的比值，称为蒸汽的干度。用“X”表示。

$$W = \frac{G_{\text{水}}}{G_{\text{水}} + G_{\text{汽}}} \times 100\%$$

$$X = \frac{G_{\text{汽}}}{G_{\text{水}} + G_{\text{汽}}} \times 100\%$$

湿度是衡量蒸汽品质好坏的一个重要指标。湿度过大不仅会降低蒸汽的品质，影响使用效果，而且可以在蒸汽管道内发生水击现象，使管道剧烈震动以至损坏；若流入过热器，还会使过热器结垢烧坏。在工业锅炉中对蒸汽湿度的要求，水管锅炉应控制在 3% 以下，火管锅炉控制在 5% 以下。

饱和蒸汽离液态（水）较近，为不稳定状态，遇冷即转化为饱和水而放出汽化潜热，

工业或采暖上常用饱和蒸汽而较少用过热蒸汽。

过热蒸汽具有较大的能量，且没有水分，常用作推动汽轮机来发电或作为其它动力用，但过热蒸汽与饱和蒸汽比较，离液态（水）相对较远，当遇冷时，不易凝结变回液态，汽化潜热不易放出，因此作加热作用时热损失较大。

四、水蒸气在锅炉中的形成过程

动力设备中的热功转换必须靠介质的体积膨胀，气态介质体积变化最大、最灵敏，所以在热机中都以气态为介质。

水蒸气在锅炉中的形成过程可以近似的看作是定压加热过程。

用图 1-3 表示一台蒸汽锅炉简图，其内部汽水工作系统的流程结构见图 1-4 所示。

由图看到，给水经过水泵送入省煤器，吸收烟气热量提高水温后，进入锅筒，再经过炉内辐射和对流管束等蒸发受热面，吸收大量烟气热量，使之沸腾，汽化形成饱和蒸汽，在水循环的上升管中以汽、水混合物的形态随同锅水一起进入锅筒，进行汽水分离。被分离的锅水，回入锅炉水循环回路，分离出来的蒸汽进入过热器进一步吸热形成过热蒸汽向外输出。

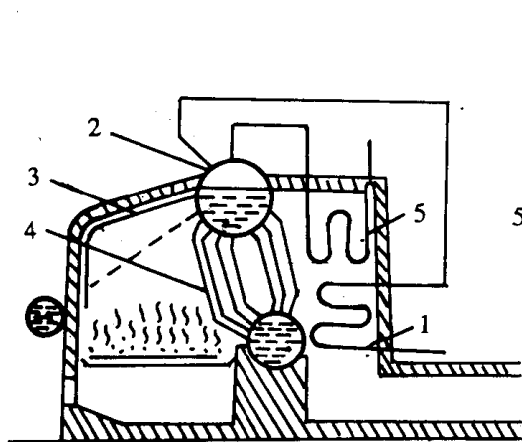


图 1-3 蒸汽锅炉简图

1-省煤器；2-锅筒；3-水冷壁
4-对流管束

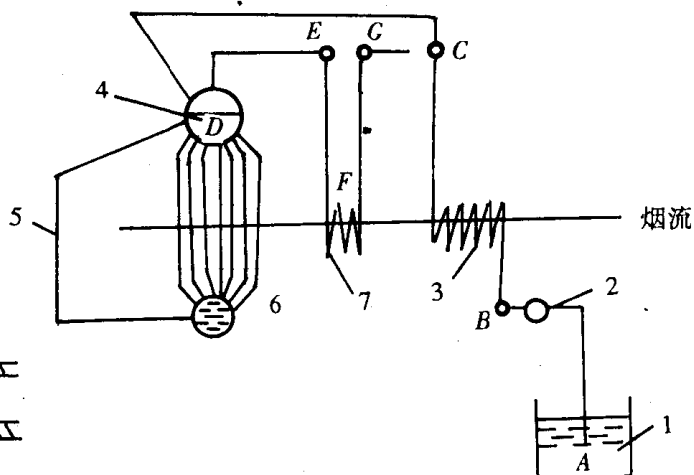


图 1-4 蒸汽锅炉汽水工作系统流程

1-给水箱；2-给水泵；3-省煤器；
4-锅筒；5-水冷壁；6-对流管束；7-过热器

水在锅内等压加热变成水蒸气，其形成过程为简便起见用图 1-5 来说明。如图 1-5 (a) 所示，设一端封闭的筒状容器中盛有 1kg 0℃ 的水，用一个可移动的活塞压在水面上，使水承受一定的压力 P ，并且和外界介质隔开；对水加热时水的温度将不断上升，水的比容则很少增加，当达到该压力下饱和温度时，就开始沸腾，形成了饱和水，如图 1-5 (b) 所示；在定压下继续加热温度仍然是饱和温度，这时就形成干饱和蒸汽，如图 1-5 (d) 所示；水还没有全部变成饱和蒸汽之前，饱和水与饱和蒸汽共存于容器中，如图 1-5 (c) 所示，就形成了湿饱和蒸汽；如果对饱和蒸汽再加热，蒸汽的温度又开始上升。这时蒸汽的温度已超过饱和温度，形成了过热蒸汽，如图 1-5 (e) 所示。

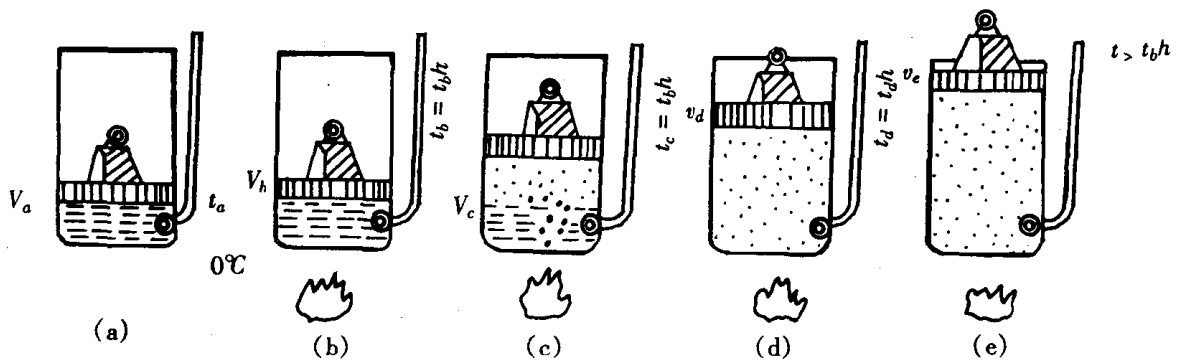


图 1-5 水蒸汽定压形成过程示意图

第三节 燃料与燃烧

一、燃料的分类

在燃烧过程中能够发出热量的物质称为燃料。也就是当加热到一定温度时，能和氧发生强烈反应并放出大量热量的碳化物和碳氧化物。燃料按形态可分为固体、液体和气体三种，按获得方法分为天然燃料（用它原有状态可以直接燃烧的燃料）和人造燃料（天然性燃料经过人工处理后，再用来做为燃料）两种，如表 1-1 所示：

表 1-1 燃 料 分 类 表

天然燃料	固 体	木材、泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤、木屑、甘蔗渣等
	液 体	植物油、动物油、石油等
	气 体	天然气、沼气等
人造燃料	固 体	木炭、焦炭等
	液 体	煤焦油、页岩油、石油分馏品、人造汽油、酒精等
	气 体	高炉煤气、炼焦炉煤气、发生炉煤气等

这两类又可分为固体的、液体的和气体的三种不同形态的燃料，表 1-2 所示：

表 1-2 燃 料 的 分 类

种 类	天 然 燃 料	人 造 燃 料
固体燃料	木柴、泥煤、褐煤、无烟煤、煤矸石、油页岩	木炭、半焦炭、焦炭、煤砖、煤粉
液体燃料	石 油	汽油、煤油、重油、渣油、煤焦油、酒精
气体燃料	天 然 气	高炉煤气、发生炉煤气、炼焦炉煤气、水煤气、地下气化煤气

1. 固体燃料

主要以煤为主。煤炭是有机化合物和无机矿物质的一种复杂混合物。随着煤的形成年代的增长，煤的炭化程度逐年加深，所含水分和挥发物逐渐减少，而碳的含量相应增大。

煤的炭化程度，是决定煤的成分和发热量多少的主要因素。炭化程度高低的顺序是无烟煤、烟煤、褐煤到泥煤，逐级减低的。

2. 液体燃料

在锅炉内燃用的液体燃料主要是重油和渣油。重油（也称燃料油）是石油提炼汽油、煤油和柴油后的剩余物，而渣油是进一步提炼后的剩余物，不经处理直接供给锅炉作燃料，一般在习惯上称为渣油。

重油的主要元素成分是碳和氢，作为燃料，它比煤具有以下优点：发热量高，灰分少，不需要出渣设备；运行调节也较方便；可以很方便地在管道内输送，贮藏和管理都较简便。但应指出，由于重油中含氢量高，燃烧后生成大量水蒸气，因此重油中所含硫分要比煤中含等量的硫分对锅炉受热面的腐蚀更为严重。

渣油、重油的共同特点是：重度和粘度较大，重度大脱水困难，粘度大则流动性差。为了保证顺利运输和良好雾化，必须将燃料油加热到较高的温度；沸点和闪点较高，不易挥发，因此，相对于轻质油和原油来说，火灾的危险性要小一些。

柴油、轻柴油通常作为高速柴油机的燃料，有时也作为锅炉点火用。重柴油一般用于中速或低速柴油机，有的也作锅炉燃料。如油田井下作业使用的燃油锅炉。

3. 气体燃料

常用的气体燃料有天然气、液化石油气、发生炉煤气和焦炉煤气等。锅炉常用的气体燃料分为天然气和人造煤气两大类。

天然气是碳氢化合物，硫和氢和某些惰性气体的混合物。

天然气的主要成分是甲烷（ CH_4 ），其次是乙烷（ C_2H_6 ）、丙烷（ C_3H_8 ）等碳氢化合物和少量硫化氢、氮、二氧化碳、氧及水分等。

天然气是一种优质工业原料，可以远距离输送，开采成本也不高，燃烧方便，燃烧效率也很高。但它是重要化工原料，目前在锅炉中燃用天然气仅局限在天然气产区，随着我国石油化学工业的发展，其使用范围将会逐步扩大。

人工煤气的种类很多，用于锅炉燃烧的主要是高炉煤气和炼焦炉煤气。

高炉煤气是炼铁高炉的副产物，其中主要成分是一氧化碳，其重度约为 $1.3\text{kg}/\text{Nm}^3$ ，发热量很低，约为 $3\,990\sim 4\,830\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。高炉煤气中含有大量的灰尘，需要净化后才能使用。

焦炉煤气是冶金工业中炼焦的副产物，它含有大量的氢（约占 40%~60%）和甲烷（约占 20%~30%），杂质不多，发热量较高（可达 $15\,960\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ），重度约为 $0.51\text{kg}/\text{Nm}^3$ 。从炼焦煤气中可以提炼出来焦油、氨等多种化工产品，因而它适用于作为化工原料。

其他类型的气体燃料（如发生炉煤气等），很少在锅炉中燃用。

二、燃料的成分分析及其特性

1. 煤、油的元素分析

煤、油的元素分析主要做为锅炉设计与改装的依据。

燃料是由碳、氢、硫、氧、氮、灰分和水分等组成的。其中碳、氢和一部分硫可以燃烧放出热量，其余成分则是不可燃烧的。

(1) 碳。碳用符号“C”表示，是燃料中的主要可燃质，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。煤中的含碳量约为40%~95%，年代越久的煤含碳量越多；燃料油中的含碳量约为83%~86%。

(2) 氢。氢用符号“H”表示，是燃料中的另一种可燃物质，氢在燃料中与碳成化合物存在。氢与氧起化学变化，发出一部分热量。另外有一部分氢燃烧后生成水，与煤中的水分一同变成水蒸气。氢是煤中挥发部分中主要的可燃物，所以燃料中含氢量越多，越容易着火燃烧。但含氢量多的燃料，特别是重碳氢化合物多的燃料，在燃烧过程中容易析出碳黑而冒黑烟，造成大气污染。煤中的含氢量约占2%~8%，年代越久的煤含氢量越少；油中的含氢量约为12%~13%。

(3) 硫。硫用符号“S”表示，它是燃料中的一种有害成分。硫的燃烧虽然能放出一些热量，但对锅炉对环境危害很大。硫的燃烧产物是二氧化硫 SO_2 和三氧化硫 SO_3 气体，与烟气中水蒸气相遇能化合亚硫酸 H_2SO_3 和硫酸 H_2SO_4 的气体，凝结在锅炉金属受热面（如省煤器、空气预热器）上会产生腐蚀。二氧化硫及三氧化硫由烟囱排入大气时，会对人体和动植物带来危害。煤中硫可分为有机硫和无机硫两大类，无机硫又分为硫化铁硫和硫酸盐硫两种。有机硫和硫化铁硫能参加燃烧，放了出热量，合称为可燃硫；硫酸盐硫不参加燃烧，也不能放出热量，故算在灰分中。在煤中硫约占可燃成分的0~8%。因在我国燃料中硫酸盐硫含量很小，一般所谓全硫含量即系指可燃硫含量；油中含硫量约为0.1%~2%。

(4) 氧和氮。氧和氮分别用符号“O”和“N”表示，都是燃料中的不可燃物质，它们是燃料中的内部杂质，不能燃烧，由于它们的存在，使燃料中真正可燃成分降低，燃料燃烧时放出热量减少。煤中的含氧量约2%~3%，年代越久的煤含氧量越少，含氮量约1%~3%；油中的含氧量低于2%，含氮量低于0.3%。

(5) 灰分。灰分用符号“A”表示，它是夹杂在燃料中的不可燃烧的矿物质，也是燃料的主要杂质。燃料中灰分增多，可燃成分相应减少，燃烧较困难；锅炉出灰量大，操作复杂而繁重；大量飞灰从烟囱飞出，将污染周围环境；燃用灰分多的燃料，受热面容易积灰；岩灰熔点过低，炉排和炉内受热面上会结渣，破坏锅炉正常的燃烧和传热过程；烟气中携带灰粒较多，烟气流速较高时，会磨损锅炉的金属表面，降低锅炉寿命。各种燃料灰分相差很大，固体燃料甚至达50%~60%，即使同一种煤，它们的灰分也有较大的差别；液体及气体燃料含灰很少。

(6) 水分。水分用符号“W”表示，它是燃料中的主要杂质之一。由于它的存在，不仅降低燃料中可燃成分的含量，而且在燃烧过程中因水分汽化而吸收一部分热量，降低炉膛温度，使燃料着火困难，故越湿的燃料越难着火。同时由于水分在燃料燃烧后形成烟气中的水蒸气，排烟时将大量热量带走，因而降低锅炉效率，而且加剧尾部受热面的低温腐蚀。各种固体燃料的水分含量差别很大，可以从5%~60%范围内变动；液体和汽体燃料

中的水分一般都很少。

2. 油的主要特性

燃料油的主要特性有粘度、闪点、燃点、凝固点和爆炸浓度极限以及发热量。

(1) 粘度。粘度是反映油流动性质的指标，表示流体流动性能的好坏，单位是恩氏粘度 ($^{\circ}\text{E}$)，表示将 200 毫升试验重油在某一温度下从恩氏粘度计中流出的时间，与 20°C 下同量蒸馏水流出的时间之比值。粘度与成分、压力、温度等因素有关系。油中含蜡成分高，粘度就大；油罐中的压力越高，粘度也越大；油温升高时，粘度却降低。因此，锅炉用油都需经过预热，以利于输送和提高雾化质量。但油温过高时，容易加剧气化造成跑罐、火灾等事故。一般要求油罐出口处的油温为 $70\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，油嘴前的油温根据不同型式油嘴所要求的粘度来确定。对蒸汽雾化油嘴，要求粘度为 $6\sim 15^{\circ}\text{E}$ ；对机械雾化油嘴，要求粘度为 $3\sim 7^{\circ}\text{E}$ 。

(2) 闪点与燃点。将油加热到适当温度，在其表面形成一定浓度的油蒸汽与空气的混合物，当和明火接触时发生短暂的闪光，产生这种闪光的最低温度称为闪点。闪点小于和等于 45°C 的油属于自燃品，对安全防火有较高的要求。将油继续加热，在常压下遇明火能着火并连续燃烧时间不少于 5 秒钟时的最低温度称为燃点。燃油的品种不同，它们的闪点和燃点也不相同。重油的闪点在 $80\sim 130^{\circ}\text{C}$ 之间，其燃点比闪点高 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 左右。

当无外界明火时，油品自行着火燃烧的最低温度称为自燃点。油的重度越小，闪点越低，自燃点反而越高。因此，重油的自燃点低于其它轻油，需要加强安全防范工作。

(3) 凝固点。油品失去流动性开始凝固时的最高温度称为凝固点。重油在常温下都呈凝固状态，为了运输和贮存必须设加热装置。

(4) 爆炸浓度极限。油气是可燃气，当它与空气混合浓度达到一定范围时，一遇明火就会发生爆炸。能够发生爆炸的最高和最低浓度称为爆炸浓度上下极限。如果混合物的浓度处于爆炸浓度极限的上限与下限之间，都有爆炸的危险性。爆炸浓度极限通常用容积百分比表示。重油的爆炸浓度极限上限为 1.2%，下限为 6.0%。

(5) 发热量。1 千克燃料燃烧时所放出的热量，称为发热量。发热量又称热值，并有高位发热量（高位热值）与低位发热量（低位热值）之分。煤中的水分，在燃烧时要吸收热量，汽化成蒸汽；凝结时又将热量释放出来，包括这部分热量的发热值称为高位发热量，但是这些水蒸气实际上随烟气由烟囱排出，并没有在炉内凝结放出热量，因此，扣除这部分热量的发热量称为低位发热量。

燃料油的发热量一般在 $38\,519\sim 43\,961\text{kJ/kg}$ 左右，燃料油越重，相对含氢越少，则发热量也越低。

3. 天然气的主要特性

锅炉用气体主要以天然气为主。天然气是以甲烷 (CH_4) 为主要成份的混合气体，其次是乙烷 C_2H_6 、丙烷 C_3H_8 等碳氢化合物和少量硫化氢、氮、二氧化碳、氧及水分等。天然气的低位发热量为 $34\,300\sim 35\,600$ 千焦/标立方米，具有比重轻、易燃、易爆、有毒等特性。当天然气与空气混合时，其浓度在 5%~15% 时遇明火或大于天然气着火点 350°C 的高温灼热体即着火爆炸，因此，燃烧天然气具有较大的危险性，天然气的爆炸是在一瞬间 ($1/1\,000\sim 1/10\,000$ 秒) 发生高温高压 ($2\,000\sim 3\,000^{\circ}\text{C}$) 的气体燃烧过程，爆炸时可