

# SILUJICHU

上海市锅炉压力容器检验所 编

上海翻译出版公司



## 司炉基础

# 司 炉 基 础

上海市锅炉压力容器检验所 编

上海翻译出版公司

(上海陕西南路597号)

上海竟成印刷厂排版 上海市印刷十二厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 8 字数 179 千字

1989 年 6 月第 1 版 1989 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—20,100

ISBN 7-80514-502-4/TK·58

定价: 2.50 元



## 前 言

《司炉基础》是根据劳动人事部颁发《锅炉工人安全技术考核管理办法》的通知和上海市劳动局关于颁发《上海市锅炉司炉工人安全技术考核管理办法实施细则》(试行)的通知精神,结合我所近几年来举办司炉工培训班的教学实践编写的。

本书共分为八个章节,从锅炉的基本知识、结构、安全附件、安全操作、水处理、经济运行、消烟除尘等方面进行了深入浅出、通俗易懂的讲述,每一章节后附有思考题。为了强调锅炉安全运行,我们还将锅炉运行中常见的事故现象,分析其原因并提出了具体处理方法。因此,本书是权作司炉培训较为适宜的教材和新上岗司炉工人司炉入门理想的自学参考书。

《司炉基础》由我所陆世鸿副所长和市劳动局锅炉处凌家鸿工程师编审,朱传标工程师主编,各章分别由朱传标、徐剑雄、阙仲贤、王科进、张庆尧撰写,陈泽华协助整理。

由于水平所限,编写中难免存在一些缺点错误,恳请专家们批评指正。

上海市锅炉压力容器检验所

一九八九年元月

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第一章 锅炉基本知识.....    | 1  |
| 第一节 锅炉概述 .....     | 1  |
| 第二节 锅炉工作参数 .....   | 3  |
| 第三节 传热与热胀冷缩 .....  | 8  |
| 第四节 水与水蒸汽性质 .....  | 14 |
| 第五节 燃料、燃烧和通风 ..... | 19 |
| 思考题 .....          | 26 |
| 第二章 锅炉结构.....      | 27 |
| 第一节 概述 .....       | 27 |
| 第二节 立式锅壳锅炉 .....   | 35 |
| 第三节 卧式锅壳锅炉 .....   | 40 |
| 第四节 水管锅炉 .....     | 47 |
| 第五节 热水锅炉 .....     | 53 |
| 第六节 其它锅炉 .....     | 58 |
| 第七节 辅助受热面 .....    | 64 |
| 思考题 .....          | 69 |
| 第三章 锅炉附体.....      | 70 |
| 第一节 压力表 .....      | 70 |
| 第二节 安全阀 .....      | 75 |
| 第三节 水位表 .....      | 83 |
| 第四节 高低水位警报器 .....  | 89 |

---

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 第五节 排污阀 .....             | 93      |
| 第六节 给水设备 .....            | 98      |
| 第七节 汽水管道的阀门 .....         | 112     |
| 思考题 .....                 | 117     |
| <br>第四章 锅炉安全操作 .....      | <br>119 |
| 第一节 锅炉安全管理制度 .....        | 120     |
| 第二节 锅炉安全操作 .....          | 122     |
| 第三节 锅炉停炉保养 .....          | 143     |
| 第四节 锅炉检验 .....            | 152     |
| 思考题 .....                 | 156     |
| <br>第五章 锅炉事故与处理 .....     | <br>157 |
| 第一节 事故定义、分类与处理 .....      | 157     |
| 第二节 锅炉爆炸的原因与危害性 .....     | 158     |
| 第三节 紧急停炉与操作 .....         | 160     |
| 第四节 常见事故的现象、原因和处理方法 ..... | 161     |
| 思考题 .....                 | 168     |
| <br>第六章 锅炉水处理 .....       | <br>167 |
| 第一节 水中杂质及其危害 .....        | 167     |
| 第二节 水质指标与水质标准 .....       | 168     |
| 第三节 水处理方法 .....           | 172     |
| 第四节 锅炉酸洗 .....            | 183     |
| 思考题 .....                 | 187     |
| <br>第七章 经济运行、节约能源 .....   | <br>189 |
| 第一节 锅炉热效率 .....           | 189     |
| 第二节 科学司炉 .....            | 192     |

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| 第三节 锅炉节能改造 .....                                     | 195        |
| 第四节 科学管理 .....                                       | 198        |
| 思考题 .....                                            | 202        |
| <b>第八章 锅炉消烟除尘 .....</b>                              | <b>203</b> |
| 第一节 概述 .....                                         | 203        |
| 第二节 烟尘的产生及危害 .....                                   | 203        |
| 第三节 消烟措施 .....                                       | 207        |
| 第四节 除尘措施和除尘器 .....                                   | 216        |
| 思考题 .....                                            | 224        |
| 附录一 上海市劳动局关于颁发《上海市锅炉司炉工人安全技术考核管理办法实施细则》(试行)的通知 ..... | 225        |
| 附录二 上海市锅炉司炉工人安全技术考核管理办法实施细则(试行) .....                | 225        |
| 附录三 劳动人事部关于颁发《锅炉房安全管理规则》的通知 .....                    | 232        |
| 附录四 锅炉房安全管理规则 .....                                  | 232        |
| 附录五 全国工业锅炉先进司炉工试行标准(草案) .....                        | 239        |
| 附录六 全国工业锅炉先进锅炉房试行标准(草案) .....                        | 240        |
| 附录七 蒸汽锅炉安全使用注意事项 .....                               | 241        |
| 附录八 蒸汽锅炉司炉工人理论试卷(参考) .....                           | 244        |
| 附录九 蒸汽锅炉司炉工人应会考试试题(参考) .....                         | 247        |

# 第一章 锅炉基本知识

## 第一节 锅炉概述

### 一、锅炉定义与用途

从广义讲,锅炉是将燃料内蕴藏的热量,经过燃烧释放,把水加热到能产生规定温度和压力的蒸汽,是供生产和生活上使用的一种热能设备。

锅炉是由“锅”和“炉”以及为保证“锅”与“炉”安全、运行所必须的附件、控制仪表、附属设备等三大部分组成。

**锅**——指锅炉中盛水和蒸汽的密封受压部分,它的作用是吸收“炉”放出的热量,从而使低温水变成高温水(热水锅炉),或者变成具有一定压力和温度的蒸汽(蒸汽锅炉)。它主要包括:锅筒(汽包)、对流管(主炉管)、水冷壁、集箱(联箱)、过热器和省煤器等。

**炉**——指锅炉中使燃料进行燃烧产生热源的部分,它的作用是将燃料燃烧释放出的热量供“锅”吸收,主要包括:燃烧设备、炉墙、炉拱和钢架等。燃料在“炉”内通过燃烧所产生的高温烟气,经过炉膛和各段烟道向锅炉受热面放热,最后从锅炉尾部排出。

“锅”和“炉”,一个水,一个火,一个吸热,一个放热,是一对矛盾的统一体。

**锅炉附件仪表**——指安装在锅炉受压部件上用来控制锅炉安全和经济运行的一些附件和仪表装置,主要包括:安全阀、压力表、水位表、高低水位报警器、排污装置、给水系统、锅

炉的汽水管、常用阀门和有关仪表等。此外，近年来由于对锅炉的机械化和自动化要求不断提高，工业锅炉上配置机械操作和自动控制的附件及仪表也越来越多，如给水自动调节装置、燃烧自动调节装置、自动点火熄火保护装置以及鼓、引风机联锁装置等。

**锅炉附属设备**——指燃料的供给与制备系统，主要包括：上煤、磨粉、燃油、燃气装置以及鼓、引风机、出渣、清灰、除尘等装置。

## 二、锅炉安全的重要性与有关规定

锅炉是一种承压受火的设备，不仅是工业生产中的常用设备，又在工业中的各个领域得到广泛应用。如果管理不善或使用不当，往往会引起事故，轻则停炉影响生产，重则发生爆炸，造成人身伤亡，损坏厂房、设备，后果十分严重。因此，国内外把事故危害较大的锅炉作为一种特殊的热能装置，由锅炉压力容器安全监察与检验机构进行安全管理和监督检查，并按规定的技术规范进行设计、制造、安装、使用、改造、检验和修理。

我国《蒸汽锅炉安全技术监察规程》规定，实行安全监察的管辖范围是：“承压的以水为介质的固定式蒸汽锅炉”。按上述界限，交通运输车、船上的锅炉、用电加热的锅炉和原子能锅炉，均不包括在《蒸汽锅炉安全技术监察规程》的管理范围以内。

目前，国务院已颁布了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》，为我国在锅炉和压力容器的安全工作上制订了法律依据。近年来，劳动部门和中央有关部门也先后发布了一系列的规程、规范和标准，主要有：

《蒸汽锅炉安全技术监察规程》；

《热水锅炉安全技术监察规程》;  
 《水管锅炉受压元件强度计算标准》(GB 9222-88);  
 《锅壳式锅炉受压元件强度计算标准》JB 3622-84);  
 《工业锅炉产品技术条件》(JB 2316-80);  
 《锅炉压力容器焊工考试规则》;  
 《低压锅炉水质标准》(GB 1576-85);  
 《工业锅炉房设计规范》(试行) (GBJ 41-79);  
 《锅炉压力容器事故报告办法》;  
 《机械设备安装工程施工及验收规范》(第六册 T) 231  
 (六)-78);  
 《电力建设施工及验收技术规范》(锅炉机组篇) (DLJ 52-81)。

以上是国家各有关主管机构所颁布的最新规程和标准。此外,地方和基层单位还相应制订了具体的规定。

为了经济合理的使用锅炉设备,提高效率,搞好节煤、除尘,保证安全运行,就必须了解锅炉的特点,熟悉水、汽以及燃料在锅炉设备中的变化过程和一些有关基础知识,用以指导实践,使锅炉设备为我国的经济建设发挥更大的作用。

## 第二节 锅炉工作参数

反映锅炉工作特性的基本参数,包括锅炉产生蒸汽的数量(蒸发量)和质量(压力、温度)两个方面的指标。

### 一、额定蒸发量

锅炉每小时所产生的蒸汽数量,称为这台锅炉的蒸发量,用以表示其产汽的能力。蒸发量又称为“出力”或“容量”,用符号“D”来表示,常用的单位是(T/h)。

新锅炉出厂时,铭牌上所标示的蒸发量,指的是这台锅炉的额定蒸发量。所谓额定蒸发量,是指锅炉采用设计的燃料品种,并在设计参数下运行,即在规定的压力、温度和一定的热效率下,长期连续运行时每小时所产生的蒸发量。

公式: 锅炉蒸发量 = 蒸发率  $\times$  受热面积

由此可知,锅炉蒸发量的大小,取决于锅炉蒸发率的大小和受热面的多少。

**锅炉蒸发率**——指锅炉每平方米受热面积上每小时所产生的蒸汽量。用符号“E”来表示,单位“千克/米<sup>2</sup>·时”(kg/m<sup>2</sup>h)。

在同一台锅炉内,不同部位的受热面其蒸发率是各不相同的。如炉膛内辐射受热面的蒸发率可能达到 80 千克/米<sup>2</sup>·时,对流管束受热面的蒸发率约为 20~30 千克/米<sup>2</sup>·时。因此通常所说的锅炉蒸发率,是指这台锅炉的平均蒸发率。不同类型锅炉的平均蒸发率也是各不相同的。例如,旧式小型锅炉的平均蒸发率约为 20~25 千克/米<sup>2</sup>·时;无机械通风和省煤器的水管锅炉约为 30 千克/米<sup>2</sup>·时;有机械通风和省煤器的水管锅炉约为 36 千克/米<sup>2</sup>·时;有水冷壁的锅炉其蒸发率还要相应增大,常用的快装锅炉的蒸发率一般约 15~30 千克/米<sup>2</sup>·时。

对于热水锅炉是用受热面发热率来衡量的,即每平方米受热面积在每小时内所发出的热量,用符号“E”来表示,单位是“千卡/米<sup>2</sup>·时”(kcal/m<sup>2</sup>h)。一般热水锅炉的发热率不超过 20000 千卡/米<sup>2</sup>·时。

**锅炉受热面**——指锅炉盛水或蒸汽的受压元件受到火焰或烟气加热的表面积。用符号“H”表示,单位是平方米(m<sup>2</sup>)。

受热面积一般可分为辐射受热面和对流受热面。

对流受热面是指在锅炉对流烟道中主要受烟气对流放热的受热面。辐射受热面是指在炉膛内直接受高温火焰辐射放热的受热面。对流受热面吸收的热量与烟气温度成正比例；而辐射受热面吸热量是和炉膛火焰温度的四次方成正比例。锅炉受热面越大，吸收的热量越多，产生的蒸汽量也就越大。

知道了一台锅炉的蒸发率和受热面积，就可以大致算出这台锅炉的蒸发量。

例：一台快装锅炉，有引风机，无省煤器，受热面积约 50 米<sup>2</sup>，试估算其蒸发量。

解：取这台锅炉的平均蒸发率为 20 千克/米<sup>2</sup>·时，则其蒸发量为：

$$20 \times 50 = 1000 \text{ 千克/时}$$

所以这台锅炉的蒸发量为 1 吨/时。

## 二、额定蒸汽压力

压力——指垂直作用单位面积上的力，通常叫压力（实际上是压强）。用符号 P 表示，单位是 MPa（兆帕）（千克力/厘米<sup>2</sup>）。

换算关系：1 千克力/厘米<sup>2</sup> = 0.0981 MPa

$$1 \text{ MPa} = 10.2 \text{ 千克力/厘米}^2$$

锅炉额定蒸汽压力——指锅炉设计工作压力。它是根据所用金属材料的强度和受压元件的几何形状以及受压特点等条件，按照国家颁布的有关强度计算标准，对各个受压元件分别进行壁厚计算，然后从中选出一个所能承受该压力的最低值，作为这台锅炉的最高允许使用压力。

锅炉内为什么会有压力呢？这是因为锅炉内的水吸收热量后，由液体状态变成气体状态，体积膨胀（在大气压下面 1 千克水蒸发成蒸汽，体积膨胀 1725 倍）。由于锅筒是密闭容

器,蒸汽不能自由膨胀,而被迫压缩在锅筒内,因此对筒壁就产生压力。平时所说这台锅炉可烧 10 千克,即指这台锅炉的筒壁上每平方厘米面积所能承受的压力是 0.0981 MPa (10 千克力/厘米<sup>2</sup>)。

**大气压力**——指空气的重量。由于 1 立方米空气在 0℃ 时重 1.29 千克,所以地球上部的大气层对地球表面有一定的压力,这个压力叫大气压力。在 0℃ 时大气压力是 0.1013 MPa 或 1.033 千克力/厘米<sup>2</sup> (工程上把后面的小数去掉,约为 0.0981 MPa 或 1 千克力/厘米<sup>2</sup>)。

另外,随着使用的场合不同,度量压力的单位还有水银柱高(毫米)、水柱高度(米)、毫巴等,其换算关系如下,

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千克力/厘米}^2 &= 0.9678 \text{ 物理大气压} \\ &= 735.6 \text{ 毫米水银柱} \\ &= 10 \text{ 米水柱} \\ &= 981 \text{ 毫巴} \\ &= 14.223 \text{ 磅/英吋}^2 \\ &= 0.0981 \text{ MPa} \end{aligned}$$

**表压力**——指以大气压力作为测量起点,即压力表指示的压力。表压力不是实际压力,因为当压力指针为零时,实际上已受到周围一个大气压力的作用力,所以压力表指的数值,是指超过大气压的部分。

**绝对压力**——指以压力为零作为测量起点的,即实际压力。其数值就是表压力加 0.0981 MPa 或 1 千克力/厘米<sup>2</sup> (大气压力)。

表压力与绝对压力的关系,

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + (0.0981 \text{ MPa 或 } 1 \text{ 千克力/厘米}^2)$$

$$P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - (0.0981 \text{ MPa 或 } 1 \text{ 千克力/厘米}^2)$$

**负压**——指低于大气压(俗称真空)。通常负压燃烧的锅炉正常燃烧时,打开炉门会感觉到周围空气吸向炉膛,这是炉膛内负压的缘故。一般炉膛出口保持负压 2~3 毫米水柱。

### 三、额定蒸汽温度

**温度**——指物体冷热的程度(通常用符号  $t$  表示)。测量温度常用的单位是摄氏度,用  $^{\circ}\text{C}$  表示。在锅炉设计计算中,常用绝对温度单位,用  $^{\circ}\text{K}$  表示。绝对温度的零度为摄氏零下 273 度。如果以  $T$  表示绝对温度的值,以  $t$  表示摄氏温度的值,其转换公式为:  $T = t + 273^{\circ}\text{K}$ 。

**温度表**——指用来测量温度高低的仪表。通常用摄氏温度表(用符号  $^{\circ}\text{C}$  表示)和华氏温度表(用符号  $^{\circ}\text{F}$  表示)。目前我国常用的是摄氏温度表。

(1) 摄氏温度表:以水在一个大气压下面开始沸腾时的温度(即沸点)为  $100^{\circ}\text{C}$ ,水结冰时的温度(即冰点)为  $0^{\circ}\text{C}$ ,中间分成 100 格,每格为摄氏一度。

(2) 华氏温度表:以水的沸点为  $212^{\circ}\text{F}$ ,冰点为  $32^{\circ}\text{F}$ ,中间分成 180 格,每格为华氏一度。

两种温度的换算关系如下:

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

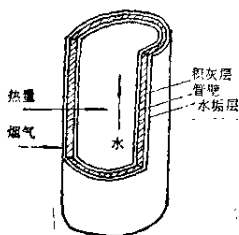
式中  $t^{\circ}\text{C}$  是摄氏温度,  $t^{\circ}\text{F}$  是华氏温度。

**锅炉额定蒸汽温度**——指锅炉输出蒸汽的最高工作温度。一般锅炉金属铭牌上载明的蒸汽温度是以摄氏温标表示的。对于小型锅炉,使用的蒸汽绝大多数是从锅筒上部的主汽阀直接引出的,其蒸汽温度是指该锅炉工作压力下的饱和蒸汽温度。对于有过热器的锅炉,其蒸汽温度是指过热器后主汽阀出口处的过热蒸汽温度。

### 第三节 传热与热胀冷缩

#### 一、传热

锅炉是一种热能设备,燃料在“炉”内燃烧后,放出高温热量,



将热量通过各种受热面传递给“锅”内的水或蒸汽。这里有个传热过程。图1—1是锅炉钢管传热过程示意图。它表示“炉”内的热量先由高温烟气传到受热面,如钢筒或管子的外壁,再由外壁传到内壁,最后传给锅水或蒸汽。

图1-1 传热过程示意图

**传热**——指热量从一个物体传到另一个物体,或者从同一个物体的一部分传到相邻部分的过程。用符号 $Q$ 表示热量,

单位通常是用卡或千卡(又称大卡)表示。1千克纯水升高摄氏一度所需要的热量为一千卡。

热量传递的方式有三种:辐射、传导和对流。这三种传热方式的物理本质不同,各有其独自的性质和规律。

**热辐射**——指高温物体直接将热量向四周按直线散发的形式。辐射是物体之间通过不同波长的电磁波(包括光波)的振动来传递能量,而物体与物体之间可以不接触,也可以不依靠流体的流动。如把炉门打开,只要能被火光照射到的地方就会感到灼热(锅炉燃烧室四周的水冷壁就是辐射传热的一种传热形式)。

锅炉运行的辐射热主要发生在有火焰辐照的地方,如炉

膛、水冷壁管等部分。只要物体之间的温度差很大时，热辐射就能成为主要传热方式。当炉膛燃烧温度在  $1200^{\circ}\text{C}$  以上时，布置适当的水冷壁来吸收辐射热量，可比对流受热面效果提高 5 倍以上；但当炉膛燃烧温度低于  $1000^{\circ}\text{C}$  时，由于辐射传热显著减弱，布置水冷壁管反而不经济了。

**热传导**——指物体的不同部位有温度差时，高温部分的热量向低温方向传播的形式。导热中物体本身各部分不发生相对移动。例如：锅炉清炉用的火耙前部接触火焰受热后，很快传到手柄部分，这就是热传递的现象。

物体传导热量的能力被称为热传导率。各种物质具有不同的热传导率。因金属的传导率较大，故称为导热体。一般钢的热传导率是 40 大卡/米·小时·度。热传导率越大，传热越强。而非金属体，如空气、塑料、石棉因传导率很小，故称为绝热体。它们的传导率很小。一般水垢的热传导率仅是钢的二十分之一至五十分之一，烟垢的热传导率还要小，因此锅炉受热面上积垢是十分有害的。

**对流传热**——指靠液体或气体流动，将热量由一处传到另一处的传热形式。例如：冬天用火炉取暖，就是由于火炉附近的热空气上升，周围冷空气下降，互相对流传热，而使全屋逐渐暖和起来。在锅炉内，水被加热后，热水上升，冷水下降，即形成循环，直至将水加热到相同温度为止。

对流传热面的效果除与传热面积、温度差和传热时间成正比外，尚与其它的一些因素有关，如增大烟气流速，烟气横向冲刷及水管直径减少，都能提高对流传热的效果。

这三种传热方式在锅炉设备中通常是同时存在的，但由于条件不同，起主要作用的只是其中一种或两种。

## 二、热胀冷缩

物体普遍存在热胀冷缩的现象。当温度升高时，物体的长度就会伸长，体积就会增大；反之，当温度降低时，长度就会缩短，体积就会缩小。这一因温度升高引起物体长度的伸长，体积的增大，叫做热膨胀。前者叫线膨胀，后者叫体膨胀。固体的膨胀既是线膨胀又是体膨胀；液体和气体的膨胀仅是体膨胀。

**线膨胀**——指长度方向发生的变化。固体的线膨胀与固体的材料、原来的长度以及温升的高低有关。

**体膨胀**——指受热后体积方向发生的变化。它与固体的材料、原来的体积以及温升的高低有关。

锅炉各部分由于受热不同、材料不同，所以膨胀量也不同。为此应预先考虑膨胀后的影响，如留出一定的膨胀余地或装膨胀节等等，以免膨胀时受到损坏。锅炉点火或停炉时温度必须缓慢均匀，就是为了防止部件发生急骤胀缩，避免造成锅炉损坏或炉墙发生胀裂等不良后果。

### 三、锅炉水循环

锅炉在运行过程中，只有使受热部分所吸收的热量不断被炉水所吸收，保证受热面得到可靠的冷却，才能达到安全、经济运行的目的。这就要求锅炉中的水或汽水混合物必须在闭合的回路中持续而有规律地流动，也就是要连续不断地进行水循环。

#### 1. 自然循环的原理

锅炉的水循环可分为自然循环和强制循环两类。自然循环是利用上升管中汽水混合物的比重较下降管的水为小，形成压力差，使锅水循环。强制循环则是依靠水泵的推动作用强迫锅水循环。绝大部分工业锅炉都利用锅水的自然循环。

按锅炉结构的不同,锅炉中的水循环,有的只有一个循环回路;有的却有几个循环回路。

图 1-2 是自然循环锅炉单回路水循环的示意图。它构成的循环回路是:水冷壁1——锅筒2——下降管4——下集箱5——水冷壁1。

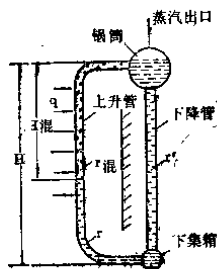


图 1-2 单回路水循环原理示意图

图 1-3 是自然循环锅炉多回路的水循环示意图。可以看出,图中 1、2、3,三组上升管(水冷壁管及对流排管)共同合用一组下降管 4, 构成三个水循环回路。

自然循环的机理,是利用上升管中汽水混合物的比重较小,重量较轻;下降管中尚未汽化的水比重较大,重量较重,造成压力差,使两段水柱之间失去平衡,导致锅水流动而循环。

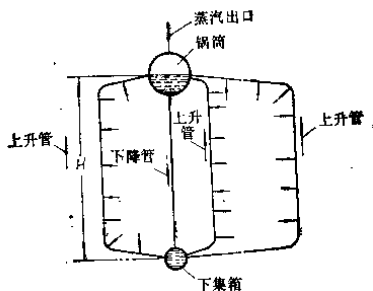


图 1-3 多回路水循环原理示意图