

现代生产安全技术丛书

# 锅炉安全技术

任廷沈 彭 良 编著



化学工业出版社

安全科学与工程出版中心

· 北京 ·

# (京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉安全技术/任廷沈, 彭良编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 4  
(现代生产安全技术丛书)  
ISBN 7-5025-5450-5

I. 锅… II. ①任…②彭… III. 锅炉-安全技术  
IV. TK288

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 028035 号

---

现代生产安全技术丛书

锅炉安全技术

任廷沈 彭良 编著

责任编辑: 杜进祥 郭乃铎

文字编辑: 丁建华

责任校对: 王素芹

封面设计: 关飞

\*

化学工业出版社 出版发行  
安全科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印装

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 13¼ 字数 308 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5450-5/X·443

定 价: 28.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

在工业生产中，蒸汽作为动力，带动蒸汽轮机发电，或驱动透平压缩机，作为热能用于物料加热、蒸煮、烘干等，同时还作为工艺用汽，以满足生产的工艺要求。锅炉是产生蒸汽或热水、具有爆炸危险的热力设备。近年来，随着锅炉的广泛使用，从业人员的不断扩大，技术水平有了较大提高，并积累了一些成功经验。但锅炉由于设计、制造不合理，尤其是人的使用和管理不当等原因，导致事故的发生频率较高，这给锅炉安全运行带来一定的困难。因此，目前迫切需要提高锅炉运行人员和检修人员的技术水平，使他们尽快掌握理论基础、安全运行基本知识和丰富的实践经验，更好地在实际工作中运用。为了帮助锅炉运行、检修人员及锅炉管理人员提高技术水平和管理水平，特编写本书。本书由浅入深，通俗易懂，突出安全，实用性强，可供相关人员使用和学习参考。

编著者

2004年3月

# 目 录

第一章 锅炉基础知识 .....	1
第一节 锅炉容量及参数 .....	1
一、容量 .....	1
二、压力 .....	1
三、温度 .....	3
第二节 锅炉常用术语 .....	4
第三节 燃料及燃烧 .....	6
一、燃料的化学成分和性质 .....	6
二、燃料的分类 .....	9
三、燃烧的基本条件 .....	11
四、燃料的燃烧 .....	12
第四节 锅炉设备及其工作原理 .....	15
一、锅炉的构成 .....	15
二、锅炉工作原理 .....	16
第五节 水与蒸汽性质 .....	21
第六节 锅炉水循环 .....	22
第七节 锅炉分类 .....	23
第八节 工业锅炉型号表示法 .....	24
第二章 锅炉结构及安全技术 .....	27
第一节 水管锅炉 .....	27
第二节 火管锅炉 .....	32
第三节 水火管组合锅炉 .....	34
第四节 热水锅炉 .....	35

一、热水锅炉的特点和分类 .....	35
二、自然循环和强制循环热水锅炉 .....	37
三、供热网路的水循环 .....	37
四、各种热水锅炉的结构 .....	40
<b>第五节 沸腾燃烧锅炉 .....</b>	<b>42</b>
<b>第六节 燃烧设备 .....</b>	<b>47</b>
一、燃烧方式 .....	47
二、固定炉排 .....	48
三、双层炉排 .....	50
四、链条炉排 .....	52
五、倾斜往复炉排 .....	56
六、水平往复炉排 .....	59
七、振动炉排 .....	61
八、抛煤机 .....	62
九、煤粉燃烧装置 .....	64
十、简易煤气发生器 .....	69
十一、燃油装置 .....	71
<b>第三章 工业锅炉安全附件及其安全技术 .....</b>	<b>75</b>
<b>第一节 安全装置 .....</b>	<b>75</b>
<b>第二节 安全阀 .....</b>	<b>78</b>
一、结构原理 .....	79
二、安全技术要求 .....	80
<b>第三节 压力表 .....</b>	<b>83</b>
一、弹簧管式压力表的原理 .....	83
二、压力表的安全技术要求 .....	84
<b>第四节 爆破片 .....</b>	<b>87</b>
一、爆破片的原理 .....	87

二、爆破片的安全要求 .....	87
<b>第五节 水位计 .....</b>	<b>88</b>
一、水位计的结构原理 .....	88
二、水位计的安全技术要求 .....	90
<b>第六节 排污装置 .....</b>	<b>92</b>
一、定期排污装置的结构及原理 .....	93
二、连续排污装置的结构及原理 .....	94
三、排污装置的安全技术要求 .....	95
<b>第七节 防止热水锅炉锅水汽化装置 .....</b>	<b>95</b>
<b>第八节 汽水管道的的主要阀门 .....</b>	<b>97</b>
<b>第四章 工业锅炉的安全运行与科学管理 .....</b>	<b>102</b>
<b>第一节 承压系统的安装及检查 .....</b>	<b>102</b>
<b>第二节 锅炉启动前的准备 .....</b>	<b>103</b>
一、对锅炉进行全面检查 .....	103
二、给锅炉上水 .....	103
三、烘炉 .....	104
四、煮锅 .....	104
<b>第三节 锅炉启动 .....</b>	<b>105</b>
一、锅炉点火 .....	105
二、锅炉升压 .....	107
三、锅炉的并炉和送汽 .....	108
<b>第四节 锅炉运行时的管理与维护 .....</b>	<b>108</b>
一、蒸汽锅炉的运行 .....	110
二、热水锅炉的运行 .....	115
<b>第五节 停炉及停炉后的保养 .....</b>	<b>127</b>
一、事故停炉 .....	127
二、正常停炉 .....	129

三、停炉后的保养 .....	129
<b>第六节 工业锅炉常见事故及预防措施</b> .....	<b>131</b>
一、锅炉事故的分类 .....	132
二、常见事故的分析及处理 .....	133
<b>第七节 锅炉房安全设计、施工与管理</b> .....	<b>150</b>
一、锅炉房建设的基本程序 .....	150
二、锅炉房设计的基本安全要求 .....	153
三、锅炉房的安全管理 .....	157
四、锅炉房消防的基础知识 .....	171
五、锅炉房安全管理规则和检查评定标准 .....	182
<b>第五章 锅炉的检验</b> .....	<b>189</b>
<b>第一节 锅炉检验的内容</b> .....	<b>189</b>
一、外部检验 .....	189
二、内部检验 .....	190
三、内外部检验的内容 .....	190
<b>第二节 锅炉检验方法</b> .....	<b>191</b>
一、常规检验 .....	191
二、无损探伤 .....	192
三、机械性能试验和金相试验 .....	192
<b>第三节 锅炉的水压试验</b> .....	<b>192</b>
一、水压试验的目的 .....	193
二、水压试验压力 .....	193
三、水压试验前的准备工作 .....	194
四、水压试验的程序 .....	194
五、水压试验的安全注意事项 .....	195
<b>第四节 锅炉缺陷的处理原则</b> .....	<b>195</b>
<b>第六章 烟尘危害及其防止措施</b> .....	<b>198</b>

<b>第一节 烟尘的危害</b> .....	198
<b>第二节 烟尘污染的防治措施</b> .....	200
<b>第三节 除尘措施</b> .....	201
一、除尘装置的分类 .....	202
二、重力除尘器 .....	202
三、惯性除尘器 .....	203
四、电除尘器 .....	205
五、洗涤式除尘器 .....	210
六、过滤式除尘器 .....	212
七、旋风除尘器 .....	214
<b>第七章 锅炉水处理</b> .....	224
<b>第一节 锅炉用水基本知识</b> .....	224
一、天然水质分类及其特性 .....	224
二、天然水中的杂质及其对锅炉的危害 .....	225
三、锅炉用水的基本概念 .....	227
四、锅炉用水的主要评价指标 .....	229
<b>第二节 水垢的结生及危害</b> .....	233
一、水垢结生过程 .....	233
二、水垢的种类 .....	234
三、水垢的危害 .....	236
<b>第三节 水垢的清除</b> .....	237
<b>第四节 锅外处理</b> .....	239
一、石灰-纯碱软化法 .....	240
二、离子交换软化法 .....	241
<b>第五节 锅内处理</b> .....	247
<b>第八章 锅炉的安全检修</b> .....	249
一、锅炉检修的基本原则 .....	249

二、主要设施检修安全要求 .....	250
附录一 案例选编 .....	254
附录二 锅炉房安全管理规则 .....	262
附录三 蒸汽锅炉安全技术监察规程 .....	268
附录四 热水锅炉安全技术监察规程 .....	340
附录五 特种设备安全监察条例 .....	380
附录六 锅炉司炉人员考核管理规定 .....	402

# 第一章 锅炉基础知识

本章简要介绍锅炉的基础知识，为司炉人员循序渐进地学好以后各章打下基础。

## 第一节 锅炉容量及参数

### 一、容量

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

#### 1. 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/小时(t/h)。

#### 2. 供热量

热水锅炉长期连续运行，在额定回水温度、压力和额定循环水量下，每小时出水的有效带热量，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 ( $60 \times 10^4$  kcal/h) 的热量，大体相当蒸汽锅炉产生 1t/h 蒸汽的热量。

### 二、压力

垂直作用于单位面积上的力，叫做压强，俗称压力。常用符号为“ $p$ ”，单位是兆帕（MPa）。测量压力有三种标准方法：第一是以零压（即压力为零）作为测量起点的压力，叫做绝对压力，常用符号为“ $p_{\text{绝}}$ ”；第二是以当时当地的大气压力作为测量的起点，也就是用压力表测出的读数，叫做表压力，

常用符号为“ $p_{表}$ ”；第三是某一物体（如水泵的吸水管，锅炉炉膛等）内部的压力低于大气压力时，比大气压力低的数值叫做“负压”或“真空”，常用符号为“ $p_{真}$ ”，常用单位是毫米水柱（ $\text{mmH}_2\text{O}$ ， $1\text{mmH}_2\text{O}=9.80665\text{Pa}$ ）。

大气压力、绝对压力、表压力和真空（负压）等的关系如图 1-1 所示。

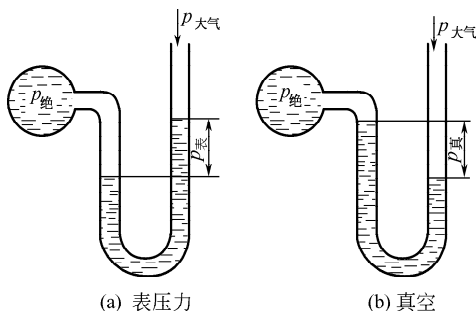


图 1-1 大气压力、绝对压力、表压力和真空（负压）的关系示意

如图 1-1 所示

$$p_{绝} = p_{表} + p_{大气}$$

$$p_{表} = p_{绝} - p_{大气}$$

$$p_{真} = p_{大气} - p_{绝}$$

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，由于锅炉是个密闭容器，限制了汽水的自由膨胀，结果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的压力。

锅炉铭牌和设计资料上标明的压力，是锅炉的额定工作压力，为表压力。司炉工在操作锅炉时，要控制锅炉压力不能超

过锅炉铭牌上标明的压力。

### 三、温度

衡量物体冷热程度的标志，叫做温度。常用符号“ $t$ ”表示，单位是摄氏温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。物质的温度高，表示处于较热的状态；温度低，表示处于较冷的状态。所以，温度是表示物体冷热程度的物理量，同时也是反映物质热力状态的一个基本参数。

在锅炉技术工作中，温度是经常遇到的基本参数之一。锅炉给水、进风、蒸汽、炉膛火焰、烟气、锅炉钢材和炉墙等都必须用温度作重要标志。

物体温度的高低，必须用温度计来衡量。温度计采用的温标表示方法，一般有以下 3 种。

#### 1. 摄氏温标 ( $t_{\text{C}}$ )

在  $1\text{atm}$  ( $1\text{atm}=101325\text{Pa}$ , 下同) 下，在温度表上取水的冰点为摄氏 0 度，沸点为摄氏 100 度，把冰点和沸点之间等分 100 格，每格就表示摄氏 1 度，用“ $^{\circ}\text{C}$ ”表示。例如 KZL4-13 型锅炉的饱和蒸汽温度为摄氏 194.1 度，则以“ $194.1^{\circ}\text{C}$ ”表示。又如水银的凝固温度为零下 38.9 度，则以“ $-38.9^{\circ}\text{C}$ ”表示。现在摄氏温标用得比较普遍。

#### 2. 华氏温标 ( $t$ )

在  $1\text{atm}$  下，在温度表上取水的冰点为华氏 32 度，沸点为华氏 212 度，把两点之间等分为 180 格，每格就表示华氏 1 度，用“ $^{\circ}\text{F}$ ”表示。华氏温标主要用于英制地区的国家，目前，我国甚少采用。

#### 3. 开氏温标 ( $T_{\text{K}}$ )

也叫热力学温标，采用摄氏温标的分度法，把在  $1\text{atm}$  下的冰点取为开氏 273.2 度，沸点取为开氏 373.2 度，用“ $\text{K}$ ”表示，它的数值与摄氏温标相差 273.2 度，开氏温标多用于热

力学中。

以上 3 种温标的换算公式如下：

$$t_{\text{C}} = 5/9(t_{\text{F}} - 32)$$

$$t_{\text{F}} = 9/5t_{\text{C}} + 32$$

$$T_{\text{K}} = t_{\text{C}} + 273.2$$

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，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的水温。

## 第二节 锅炉常用术语

### 1. 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、管子等的壁面。

### 2. 辐射受热面

以辐射换热方式从放热介质吸收热量的受热面，一般是指炉膛内能吸收辐射热（与火焰直接接触）的受热面，如水冷壁管壁面、炉胆壁面等。

### 3. 对流加热面

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，如烟管壁面、对流管束壁面等。

### 4. 炉膛

进行燃烧和传热的锅炉内空间称为炉膛。

### 5. 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。

## 4

## 6. 排污量

排污时的排污水流量称为排污量。

## 7. 蒸汽品质

蒸汽纯洁的程度用蒸汽品质来表示。一般饱和蒸汽中或多或少带有微量的饱和水分，通常把带水量超过标准要求的蒸汽称为蒸汽品质不好。

## 8. 锅炉热效率

锅炉有效利用的热量与单位时间内所消耗燃料的输入热量的百分比即为锅炉热效率，用符号“ $\eta$ ”表示，其公式为：

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

### 蒸汽锅炉热效率

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

### 热水锅炉热效率

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

## 9. 水管锅炉

水汽走管内，烟气在管外冲刷流动的锅炉称为水管锅炉。

## 10. 锅壳锅炉

受热面主要布置在锅壳内的锅炉称为锅壳锅炉。它包括卧式锅壳锅炉、立式锅壳锅炉等。

### 11. 卧式锅壳锅炉

锅壳纵向轴线平行于地面，燃料在炉胆内或外置式炉膛中燃烧，烟气流入烟管的锅炉称为卧式锅壳锅炉。

### 12. 立式锅炉

锅壳纵向轴线垂直于地面的锅炉称为立式锅炉。

## 13. 蒸汽锅炉

用于产生蒸汽的锅炉称为蒸汽锅炉，一般为生产用锅炉。

#### 14. 热水锅炉

用于产生热水的锅炉称为热水锅炉，一般为采暖用锅炉。

#### 15. 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密度差，使锅水进行循环的锅炉称为自然循环锅炉。锅炉的工作压力愈低，密度差愈大，循环愈可靠。

#### 16. 强制循环锅炉

除了依靠水与汽水混合物之间密度差之外，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。

#### 17. 直流锅炉

工质、水、汽水混合物和蒸汽是由给水泵的压力而一次经过全部受热面的锅炉称为直流锅炉。它只有互相连接的受热面，没有锅筒。

### 第三节 燃料及燃烧

#### 一、燃料的化学成分和性质

锅炉燃料有煤、油母页岩、石油和天然气等。

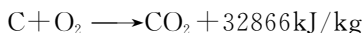
我国以煤为最主要的锅炉燃料。燃烧重油和天然气的电站锅炉，只占很小的比例。

各种燃料，包括固体、液体及气体燃料均属有机燃料，它们都是复杂的高分子碳氢化合物。其主要成分是碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、硫（S）、灰分（A）及水分（W）。除灰分和水分之外，其他元素多以化合物状态存在。

（1）碳（C） 是燃料中主要可燃元素，一般占燃料成分的15%~90%。碳元素包括固定碳（挥发分放出后所剩下的纯碳）和挥发分（ $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 及CO等）中的碳。对煤来说，埋藏年代越久，碳化程度越深，固定碳的含量逐渐增多，而

氢、氧、氮的成分由于挥发而逐渐减少。

1kg 纯炭完全燃烧时生成二氧化碳，可放出 32866kJ 的热量。



而 1kg 纯炭不完全燃烧时生成一氧化碳，仅放出 9270kJ 的热量。



纯炭不易着火燃烧，因此含碳量高的煤，其着火及燃烧均较困难。

(2) 氢 (H) 氢是燃料中发热量最高的元素，每千克氢燃烧后放出的低位发热量为 120370kJ，约为纯碳发热量的 4 倍。但固体燃料中氢的含量不多，约 4%~5%，且随碳化程度的加深而逐渐减少；液体燃料中稍多，约占 14%；天然气中含氢量最多。

(3) 氧 (O)、氮 (N) 它们都是不可燃成分，由于氧与燃料中一部分氢和碳组成化合物，如二氧化碳、水等占据了可以燃烧的碳、氢元素，使燃料中的可燃元素相对减少，燃料发热量有所下降。燃料中的氧含量变化很大，液体燃料仅含 1% 左右，固体燃料则随碳化程度的加深而减少，如无烟煤的含氧量仅 1%~2%，而泥煤却高达 40%。燃料中的氮量很少，约为 0.5%~2.5%。

特别应该注意的是氮和氧在高温下形成氮氧化物 (NO 及 NO<sub>2</sub>)，这是一种有害物质，当氮氧化物与碳氢化合物在一起受到阳光紫外线照射时，会产生一种浅蓝色烟雾状的光化学氧化剂，当它在空气中含量超过一定值后，对人体和植物十分有害，设计锅炉时也应给予足够重视。

(4) 硫 (S) 燃料中的硫常以三种形式存在，有机硫、硫化铁硫亦即黄铁矿硫和硫酸盐硫，前两种硫均能燃烧放出热

量，称可燃硫或挥发硫。硫酸盐硫不参加燃烧，是灰分的一部分。我国煤的硫酸盐硫很少，可忽略不计。一般可用元素分析所得之全硫代表可燃硫。

硫的发热量很低，每千克硫燃烧后仅产生 9050kJ 的热量。

硫是一种有害元素，烟气中的二氧化硫及三氧化硫会使烟气中的水蒸气露点大大升高，二氧化硫及三氧化硫溶于水形成的亚硫酸及硫酸会造成低温受热面金属的腐蚀及堵灰。排烟中的硫化物还要污染空气、损害人体健康及影响农作物生长。此外燃料中的硫有时还将引起液态排渣炉的高温腐蚀问题。我国动力用煤的含硫量大部分小于 1%~1.5%，但有些贫煤、无烟煤和劣质煤的含硫量可达 3%~5%，甚至有个别煤种高达 8%~10%。对于含硫分高的燃料 ( $S > 2\%$ )，在设计锅炉时应予以足够的重视。

(5) 灰分 (A) 是燃料中不可燃的矿物杂质。对于各种燃料，其灰分含量相差很大，如气体燃料基本上不含灰分，固体燃料一般含 5%~15%。而油页岩含灰分竟高达 50%~60%。

灰分的存在，不仅使燃料的发热量减小，而且影响燃料的着火和燃烧，固体状态的灰粒沉积在受热面上所造成的积尘和熔融状态灰粒黏附与受热面上所造成的结渣都将影响受热面的传热。此外，烟气中的灰粒还会使受热面磨损及堵灰。因而，灰分是影响燃煤质量的主要成分。

(6) 水分 (W) 也是燃料中的不可燃成分。其含量变化很大，少的仅百分之几，如液体燃料约含 1%~4%；多的可达 40%~50%，如云南褐煤。

水分增加将降低燃烧室的温度，影响燃料的着火，延长燃烧过程，并大大增加烟气溶剂，使排烟热损失增大，此外，还加剧尾部受热面的低温腐蚀和堵灰。