

劳动保护丛书



刘积贤 编

工业锅炉安全技术

化学工业出版社

本书是《劳动保护丛书》之一。书中主要介绍了工业锅炉的基本知识,本体结构、安全附件、运行管理、检验方法、强度计算、消烟除尘及水质处理等有关的安全技术,其内容是掌握工业锅炉安全技术必须具备的基础知识。

本书从基本理论入手,结合我国当前工业锅炉的现状和技术水平,向读者提供了保证工业锅炉安全、经济运行的主要技术手段和行之有效的措施。内容实用,通俗易懂,可供广大劳动保护工作者、工业锅炉运行管理干部、司炉工人及有关技术人员学习和参考。也可作为司炉工人培训教材。

劳动保护丛书
工业锅炉安全技术

刘积贤 编

化学工业出版社出版
(北京和平里七区十六号楼)
化学工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本 787×1092¹/₃₂ 印张 11 ⁵/₈ 插页 1 字数 253 千字 印数 1-40,450
1981年6月北京第1版 1981年6月北京第1次印刷
统一书号 15063·3236 定价 0.95 元

出版说明

建国三十年来,我国的劳动保护工作取得了很大成绩.企业里劳动条件有了很大的改善,职工伤亡事故、职业病和职业中毒显著下降,从而保障了广大职工在生产中的安全与健康,促进了我国社会主义建设的发展.这充分显示了我国社会主义制度的无比优越性.

1975年全国安全生产会议纪要中指出:为了搞好安全生产,作好劳动保护工作,对职工群众要加强安全教育,“对特殊工种工人,要进行专业安全技术训练”.为了适应这一需要,我们着手出版一套《劳动保护丛书》,这套丛书包括《用电安全技术》、《起重机及其安全技术》、《工业锅炉安全技术》、《焊接安全技术》、《工业噪声控制》、《通风除尘》、《工业防毒技术》、《受压容器》.

《丛书》可作为生产工人和技安人员的安全培训教材,也可供其他工作人员参考.

化学工业出版社

一九八〇年六月

序 言

锅炉是国民经济各部门中不可缺少的一种热力设备，它与生产建设和人民生活有着密切的关系。随着我国国民经济的飞跃发展，全国锅炉的数量增加很快。目前仅工业锅炉的数量比六十年代初期增加了约一倍。现在，锅炉不仅用于城市的工业生产和人民生活所需，而且也广泛地使用在广大农村。由于锅炉是一种承受内压力、具有高温爆炸危险、必须严加管理的特种热力设备，因此，加强锅炉的安全管理，保证锅炉安全、经济地运行，更好的发挥其效益，并对保护人民的生命财产，促进社会主义现代化建设，实现新时期的总任务，都具有十分重要的现实意义。

为了贯彻党的安全生产方针，搞好锅炉的安全管理，普及锅炉安全技术知识。编者依据国家劳动总局拟定的《蒸汽锅炉安全监察规程》，编写了《工业锅炉安全技术》一书。本书是《劳动保护丛书》之一，共分工业锅炉的基本知识、本体结构、安全附件、运行管理、检验方法、强度计算、消烟除尘及水质处理等八章。其内容是掌握工业锅炉安全技术所必须具备的基础知识。可供广大劳动保护工作者、工业锅炉运行管理干部、司炉工人及有关技术人员学习和参考。

本书在具体内容的选择和编排上，编者力求结合我国当前工业锅炉现状和技术水平，突出其安全技术问题。对各种类型的工业锅炉本体结构，特别是最易损坏造成事故的受压元件，进行了安全技术要求的重点综合介绍。但对其燃烧设

备只作了简述。因考虑到目前需充分利用我国蕴藏丰富的劣质煤炭资源,所以较为详细的介绍了沸腾燃烧锅炉;并扼要介绍了一些旧式锅炉的改造方法和应注意的安全技术。为了搞好锅炉运行管理,防止锅炉发生重大事故,本书综合叙述了工业锅炉在运行中常见的事故处理、预防措施及锅炉的检查。还考虑到从事锅炉安全管理的劳保工作者,对年久锈蚀锅炉的鉴定需提出科学的依据,本书对工业锅炉现用的检验方法及主要受压元件的强度计算方法,给予了必要的指导。同时为了防止锅炉烟尘对环境的污染,减少公害,书中编入了烟尘危害及其防治的基本措施。此外,锅炉用水质量的好坏也是保证锅炉安全、经济运行的重要环节,为此,本书还介绍了工业锅炉水质标准(GB1576-79)以及几种常用行之有效的水处理方法。

本书在编写过程中,很多单位提供了宝贵资料,并承国家劳动总局、西安冶金建筑学院、北京市劳动局等单位帮助审阅了初稿,提出了不少宝贵意见。在此,谨向上述各单位的领导和同志们表示衷心地感谢。

由于编者水平有限,调查研究不够全面,又缺乏实际经验,书中难免存在错误和不妥之处,诚恳希望广大读者帮助和指正。

编 者

目 录

第一章 工业锅炉基本知识	1
第一节 锅炉工作特性的基本参数	1
第二节 工业锅炉用水概述	6
一、水的性质	6
二、水中杂质及其对锅炉的危害	7
三、工业锅炉用水主要指标及其常用单位	9
第三节 水蒸汽的热力性质	14
一、水蒸汽的产生过程	16
二、水蒸汽的 $p-v$ 图和 $T-S$ 图	19
三、从水汽热力特性分析锅炉爆炸时的威力	22
第四节 锅内水循环	24
一、自然循环的原理	25
二、自然循环的故障及其处理方法	27
第五节 传热知识概述	30
一、热量的传递方式	31
二、热胀冷缩与锅炉安全	34
第六节 燃料及其燃烧	35
一、固体燃料	36
二、液体燃料	44
三、气体燃料	48
第七节 锅炉热效率及其热损失	51
一、锅炉热效率	51
二、锅炉热损失	52
第八节 锅炉钢材	56
第二章 工业锅炉结构及其安全技术	61

第一节 锅炉结构型式的发展概况	61
第二节 工业锅炉产品型号编制方法	66
第三节 火管锅炉	70
一、立式多横火管锅炉	70
二、立式横火管锅炉	79
三、立式直水管锅炉	83
四、卧式双炉胆锅炉	89
五、卧式内燃(三回程)锅炉	91
第四节 水管锅炉	94
一、双锅筒横置式水管锅炉(SH 型)	94
二、双锅筒纵置式水管锅炉(SZ 型)	107
第五节 水火管组合锅炉	117
一、立式水火管组合锅炉	117
二、卧式水火管组合锅炉	119
第六节 沸腾燃烧锅炉	127
一、全沸腾炉的工作原理	128
二、全沸腾炉的炉膛结构	130
三、SZF4-13型沸腾锅炉	137
第七节 工业锅炉本体结构安全技术	141
一、火管锅炉各受压元件的安全技术要求	143
二、水管锅炉各受压元件的安全技术要求	148
第三章 工业锅炉附件及其安全技术	151
第一节 压力表	151
一、弹簧管式压力表的构造原理	151
二、压力表的安全技术要求	154
第二节 安全阀	156
一、构造原理	156
二、安全技术要求	160
第三节 水位计	164
一、构造原理	164

二、安全技术要求	172
第四节 汽水管道的的主要阀门	175
一、主汽阀	175
二、给水阀	179
三、止回阀	180
四、排污阀	183
第四章 工业锅炉安全运行及科学管理	186
第一节 锅炉点火前的检查与准备	186
一、锅内检查	186
二、锅外检查	186
三、上水	187
四、烘炉	188
五、煮锅	189
六、锅炉的水压试验	190
第二节 锅炉的点火与并炉	193
第三节 锅炉运行时的管理与维护	196
第四节 停炉及停炉后的保养	202
一、事故停炉	202
二、正常停炉	202
三、停炉后的保养	203
第五节 工业锅炉常见事故及预防措施	205
一、锅内缺水	207
二、锅炉超压	208
三、锅内满水	209
四、汽水共腾	209
五、炉管爆破	209
六、炉膛爆炸	210
七、二次燃烧	212
八、锅炉灭火	213
第六节 锅炉房的安全要求	213

第五章 工业锅炉检验	216
第一节 锅炉检验的方法	216
一、宏观检验	217
二、锤击检验	217
三、灯光检验	218
四、钻孔检验	218
五、超声波测厚	219
六、荧光探伤	220
七、着色探伤	221
八、磁力探伤	223
第二节 锅炉检验的内容	224
一、运行时的检验	224
二、停炉后的检验	226
第三节 工业锅炉的报废	231
第六章 工业锅炉受压元件的强度计算	234
第一节 水管锅炉受压元件的许用应力和安全系数	235
第二节 水管锅炉承受内压力的锅筒筒体的计算	245
一、筒体壁厚计算公式	245
二、减弱系数的确定	247
三、锅筒筒体弯曲应力的校核	253
四、计算实例	254
第三节 水管锅炉承受内压力的凸形封头的计算	258
一、封头壁厚的计算	258
二、计算实例	261
第四节 火管锅炉的管板计算	265
一、在管子区域以内不装拉撑管的管板计算	265
二、在管子区域以内装有拉撑管的管板计算	266
三、管子区域以外的平板部分计算	267
四、有关拉撑的几种尺寸的规定	269
五、计算实例	269

第七章 烟尘危害及其防治措施	272
第一节 烟尘的危害	274
第二节 消烟措施	278
一、简易煤气炉	278
二、往复炉排	280
三、间断二次风	282
四、简易改炉	284
第三节 除尘措施	285
一、重力沉降除尘室	286
二、SW 型双级蜗旋除尘器	287
三、DG 型旋风除尘器	289
四、PW 型平面旋风除尘器	291
五、扩散式除尘器	291
第四节 目测烟气浓度	293
第八章 工业锅炉的水处理	296
第一节 锅外化学水处理	297
一、石灰-纯碱软化法	298
二、钠离子交换软化法	302
三、部分钠离子交换软化法	313
第二节 锅内加药水处理	317
一、锅内加入校正剂	318
二、锅内加入防垢剂	323
第三节 给水的除氧	325
一、热力除氧法	325
二、化学除氧法	327
第四节 工业锅炉水质标准	330
第五节 锅内水垢的清除	333
一、手工除垢	333
二、机械除垢	334
三、化学除垢	334

附录

附录一	水蒸汽的热力性质	343
附录二	工业锅炉燃料分类和设计用代表性燃料	351
附录三	常用符号字母表	354
附录四	常用计量单位及换算关系	355
参考书目		360

第一章 工业锅炉基本知识

从事工业锅炉安全管理的劳动保护工作者，为要掌握工业锅炉安全技术、做好工业锅炉的安全管理工作，必须具备有关工业锅炉方面的一些基本知识。这些基本知识是：锅炉概念及其工作的基本参数；对锅炉用水的要求；水蒸汽的热力性质；锅内水循环；传热知识与热胀冷缩；锅炉用燃料及其燃烧；锅炉热效率及其热损失；锅炉受压元件对钢材性能的要求等。本章将分节梗概地介绍这些基本知识。

第一节 锅炉工作特性的基本参数

锅炉是由“锅”与“炉”两个主要部分组成，锅与炉结合起来，通称为锅炉。

锅炉的作用是将燃料在炉中燃烧放出的热能传递给锅内的水，使水变成具有一定压力和温度的热力蒸汽。

反映锅炉工作特性的基本参数，是指锅炉产生蒸汽的数量和质量。

锅炉在每小时内所产生蒸汽的数量，称为锅炉的蒸发量，也有称为锅炉的“出力”或锅炉的“容量”。蒸发量还有正常蒸发量与最大蒸发量之分。正常蒸发量是指锅炉在连续运行中热效率最高时，每小时所产生的蒸汽量，所以又叫经济出力；最大蒸发量是指锅炉在连续运行时，每小时所能产生的最大蒸汽量，也叫最大出力。但是，为了简明精确地表示锅炉产生蒸汽的数量，统一规定用额定蒸发量来反映锅炉产生蒸汽的数量。

所谓额定蒸发量,是指锅炉保持在规定的蒸汽质量(压力、温度)和一定的热效率下,长期连续运行时,每小时所产生的最大蒸汽量。通常所说的锅炉蒸发量,指的就是额定蒸发量。锅炉出厂时铭牌上所标示的蒸发量,也就是该锅炉的额定蒸发量。

现代锅炉的蒸发量,其单位采用吨/时表示;旧式锅炉是用“锅炉马力”来表示锅炉产生蒸汽的数量。所谓1“锅炉马力”指的是锅炉每小时在大气压力下能将15.65公斤、100℃的水加热汽化为同温度饱和蒸汽的能力;它所消耗的热量为8440大卡/时。例如,“80马力”的考克兰锅炉,其蒸发量即相当1.25吨/时。因为“锅炉马力”不能科学地反映锅炉产生蒸汽的数量,现已不再采用,只是一些旧式锅炉还沿用此名称,所以在此只是顺便一提。

锅炉蒸发量的大小,取决于锅炉的受热面和蒸发率的大小。锅炉每平方米受热面上,每小时所能产生的蒸汽量,叫做锅炉的蒸发率,其单位是公斤/米²·时。各种类型锅炉的蒸发率不同,可参看表1-1。

表 1-1 各主要炉型的蒸发率^①

锅 炉 类 型	蒸发率, 公斤/米 ² ·时
立式多横火管锅炉(考克兰)	25
卧式双炉胆锅炉(兰开夏)	20~30
立式大横水管锅炉	25
立式直水管锅炉	24~27
水火管组合锅炉(快装)	25~35
卧式内燃锅炉	23~30
双锅筒横置式水管锅炉	25~30
双锅筒纵置式水管锅炉	25~40

① 系指燃煤锅炉的蒸发率,燃油锅炉的蒸发率比表中偏高。

显然,已知锅炉的蒸发率与受热面,就可以计算出锅炉的蒸发量,即

$$\text{锅炉蒸发量} = \text{蒸发率} \times \text{受热面}$$

锅炉产生蒸汽的质量,常用状态参数**压力**和**温度**来反映。锅炉的蒸汽压力和温度,是指锅炉过热器后主汽阀出口处过热蒸汽的压力和温度;对于没有过热器的锅炉,是以主汽阀出口处饱和蒸汽的压力和温度来表示。

压力指的是垂直作用在单位面积上的力。锅内蒸汽压力是大量水蒸汽分子,在紊乱运动中对筒壁频繁撞击和相互挤压的总结果。它的单位以公斤力/厘米²表示。或采用大气压力表示。工程上规定1大气压等于1公斤力/厘米²。此外压力还有用毫米汞柱、毫米水柱来表示的,它们之间的换算关系如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 大气压} &= 1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 735.6 \text{ 毫米汞柱} \\ &= 10000 \text{ 毫米水柱} = 10 \text{ 米水柱} \end{aligned}$$

锅炉上测量蒸汽的压力,经常使用弹簧管式压力表,这种压力表测出的压力称为**表压力**。表压力加上当地大气压力称为**绝对压力**。绝对压力是指作用在单位面积上的实际压力。它的大小等于表压力加上1大气压。水蒸汽图表上所标示的压力是绝对压力,而锅炉铭牌上所标示的锅炉工作压力指的是表压力。本书中凡特别注明外,锅炉工作压力亦皆指“表压”。

温度是表示物质冷热程度的物理量,它反映了物质分子热运动的强弱程度。我国在热力工程中,温度的单位采用摄氏温标(°C)和绝对温标(K)两种。在这两种温标中,每一度的间隔是相等的,所不同的是读数的起点。摄氏温标是把压力在760毫米汞柱下纯水的冰点定为0°C,沸点定为100°C,在冰点与沸点之间平均分成100格,每格是1°C。因此,摄氏

温标,也叫百分温标。绝对温标又叫开氏温标,它是以摄氏温标的 -273.16°C 作为起点的。所以,它们之间的关系是

$$T(K) = t + 273.16$$

式中 T ——绝对温度, K;

t ——摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

锅炉铭牌上所标示的蒸汽温度为摄氏温度。

锅炉的蒸发量,蒸汽压力和蒸汽温度,都是反映锅炉工作特性的蒸汽参数。为了满足工业生产所需要的蒸汽参数和提高锅炉产品的性能、质量、配套水平,促进锅炉工业的发展,必须科学地制订全国统一的蒸汽锅炉参数系列。我国工业蒸汽锅炉参数系列(草案),曾于一九七五年十二月由锅炉行业标准审查会通过。但是,经过两年多的实践,证明该草案所规定的工业蒸汽锅炉参数系列,已不能适应我国社会主义现代化工业生产日益发展的需要。因此,在广泛征求意见的基础上,一九七八年十月由北京一机部标准化研究所主持,由全国各有关部、委、设计院、大学及各大区锅炉制造行业等 28 个单位参加,讨论拟定了《工业蒸汽锅炉参数系列》的国家标准(见表 1-2)。该标准为审查稿,待国家标准总局批准后,即可在全国施行。

按照表 1-2《工业蒸汽锅炉参数系列》的规定,对于什么是工业锅炉?在我国当前可以理解为:蒸汽压力 ≤ 25 公斤力/厘米²(表压),蒸汽温度 $\leq 400^{\circ}\text{C}$,蒸发量 ≤ 65 吨/时的蒸汽锅炉,叫做工业锅炉。这是为了区别火力发电站锅炉而言的。随着现代化工业的规模不断扩大,世界各国对什么是工业锅炉各有不同的理解。例如美国过去认为工作压力在 25 公斤力/厘米² 以下,蒸发量在 35 吨/时以下的蒸汽锅炉,属于工业锅炉。但是,现代化工业中使用的蒸汽锅炉,如炼油厂中有的

表 1-2 工业蒸汽锅炉参数系列(审查稿)

额定蒸发量 吨/时	额定出口蒸汽压力, 公斤力/厘米 ² (表压)										
	4	7(8)	10	13		16		25			
	额定出口蒸汽温度, °C										
	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	250	350	饱和	400
0.1	△										
0.2	△										
0.5	△	△									
1	△	△	△								
1.5	△	△	△								
2	△	△	△	△							
4		△	△	△						△	
6		△	△	△	△	△			△	△	△
10		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
15			△	△	△		△	△	△	△	△
20			△	△	△	△	△	△	△	△	△
35				△	△		△	△	△	△	△
65				△ *	△		△	△	△	△	△

注: (1) 带括号的不推荐采用。
(2) 对 6.5 吨/时容量参数的原有产品仍暂予保留。

压力高达 90 公斤力/厘米², 有的蒸发量达 70 吨/时以上, 这就突破了过去限制。因此, 目前按美国工业中大多数动力工程人员的意见, 认为工业锅炉是指固定的水管锅炉, 其蒸发受热面中有一部分是对流受热面; 而电站锅炉的蒸发受热面, 则主要是辐射受热面(即水冷壁管子)。随着我国工业的现代化, 工业锅炉的蒸汽参数必将突破目前这种限制。

第二节 工业锅炉用水概述

锅炉用水质量的好坏,直接关系到锅炉的安全、经济和使用寿命的长短。例如●,据安徽省统计,由于锅炉水质不良,造成的锅炉事故占事故总数的百分之四十多。沈阳市的七十五台报废锅炉中,有一半是因锅炉水质不良而造成的。据有关部门统计,东北三省每年因锅炉水质不良而报废、损坏的锅炉约有一千多台。由此可见,锅炉用水质量的好坏,是保证锅炉能否安全、经济运行的重要环节。从事工业锅炉安全管理的劳动保护工作者和技术员,必须对水的一般性质、水中杂质及其对锅炉的危害以及工业锅炉用水指标等基本知识有所了解,以便对锅炉用水进行有效的监督和检查。关于如何才能获得符合质量标准的工业锅炉用水,将在本书“工业锅炉的水处理”一章里专门介绍。

一、水的性质

纯水是无色、无臭、无味、透明的液体,在标准大气压下,冰点是 0°C , 沸点是 100°C ; 1 公斤纯水的体积是 1 升; 由 0°C

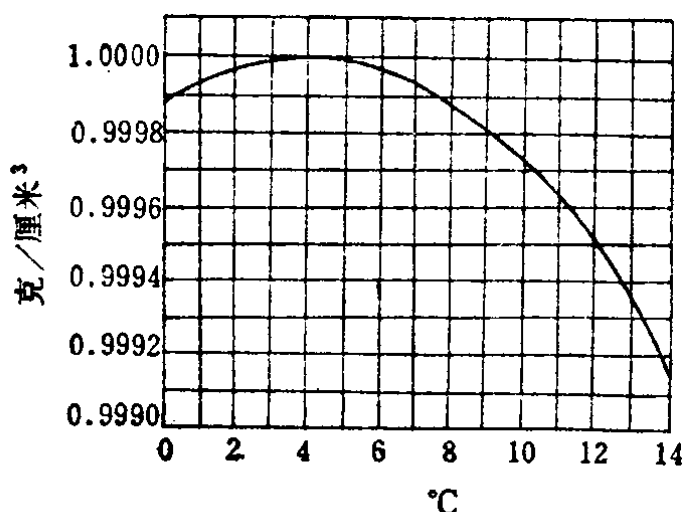


图 1-1 水的密度随温度变化的图线

的冰,化为 0°C 的水,所需要的溶解热为 80 大卡/公斤。

水和其它物质不同,大多数物质的体积与温度成正比,而水是一种反常液体。它在 1 绝对大气压下,在 0°C 到 4°C 这一温

● 参看国家计划委员会(77)计劳字 489 号文。