

INDUSTRIAL
BOILER

特种设备作业人员安全培训系列教材

Industrial Boiler
Operation and Safety Technology

工业锅炉 运行与安全技术

大庆油田特种作业安全培训中心 编



中国石油大学出版社

责任编辑：秦晓霞

封面设计： • 友一广告传媒
WOOL MEDIA

ISBN 978-7-5636-3695-2



9 787563 636952 >

定价：56.00 元

特种设备作业人员安全培训系列教材

工业锅炉

运行与安全技术

Industrial Boiler
Operation and Safety Technology

大庆油田特种作业安全培训中心 编

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉运行与安全技术/大庆油田特种作业安全
培训中心编. —东营:中国石油大学出版社,2012.5(2013.5重印)
ISBN 978-7-5636-3695-2

I. ①工… II. ①大… III. ①工业锅炉—安全技术
IV. ①TK229

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 059078 号

业锅炉运行与安全技术
庆油田特种作业安全培训中心

责任编辑: 宋晓霞 (0532—86983567)

封面设计: 青岛友一广告传媒有限公司

出版者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印刷者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0532—86983437)

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 23.00 字数: 513 千字

版 次: 2013 年 5 月第 1 版第 2 次印刷

定 价: 56.00 元

内容提要

本书简要介绍了与锅炉有关的热工、传热、焊接、材料等基础知识;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之后,专门介绍了自行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,可作为锅炉管理人员和操作人员的培训教材,亦可供安全技术监察干部和检验人员参考。

特种设备作业人员安全培训系列教材

编委会

主任:韩 忠

副主任:郭显平 韩玉华

委员:(按姓氏笔画排列)

马云龙 王 强 刘忠辉 李 阳

张福超 高继胜 徐 斌 梁贵喜

盛永权 谢荣辉 魏 东

工业锅炉运行与安全技术

编写组

主 编:王 新

副主编:王雪梅

主 审:刘中良 蒋文明 冯 青

编 者:韩志远 朱洪岩 李国栋 单国君

崔立国 石 楠 钱万红 于哈杰

颜世崇 刘凤强 陈家祥

序

特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器(含气瓶)、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场(厂)内专用机动车辆。

特种设备在国民经济建设中使用广泛,发挥了巨大的作用,涉及石油、化工、建筑等各行各业,而且数量巨大,发生事故后严重威胁人员生命及财产安全,破坏环境,甚至会引起国际反响。为此国家专门制定和颁布了相关的法律法规、规范等加强对特种设备及其作业人员的管理。

随着近几年《特种设备安全监察条例》、《特种设备作业人员监督管理办法》、《高耗能特种设备节能监督管理办法》、相关特种设备安全技术规范、相关特种设备安全技术监察规程等的修订、制定及颁布,原有培训教材已不能继续适应当前培训的需求。同时,为进一步促进特种设备安全培训的发展,为安全生产奠定良好的基础,大庆市质量技术监督局、大庆油田有限责任公司和大庆油田特种作业安全培训中心组织相关人员编写了《特种设备作业人员安全培训系列教材》。系列教材的编写者结合多年的培训、科研、生产及管理的经验,努力将理论与实际相结合,力求通俗易懂,形式新颖,使学员既学到真正技能又有一定理论基础,体现了科学性和实用性。

《特种设备作业人员安全培训系列教材》所有编写工作人员在此对鼓励、支持、帮助过我们的领导、同事、同行、朋友等表示衷心的感谢!

《特种设备作业人员安全培训系列教材》编委会

2011年12月

前 言

工业锅炉应用于国民经济的各个领域,主要为工业生产的工艺过程提供热能,是生产、生活得以进行的主要动力源,是现代化生产不可缺少的重要设备。我国工业锅炉量大、面广,平均容量小,涉及领域多,与人民生活密切相关。因此,确保工业锅炉的安全、经济、节能、环保运行,对发展经济和创造良好人居环境等起着重要的作用。工业锅炉运行应以节能优先、效率为本,科学管理、保障安全,减少污染、保护环境为原则,为发展生产和提高人民生活水平服务。

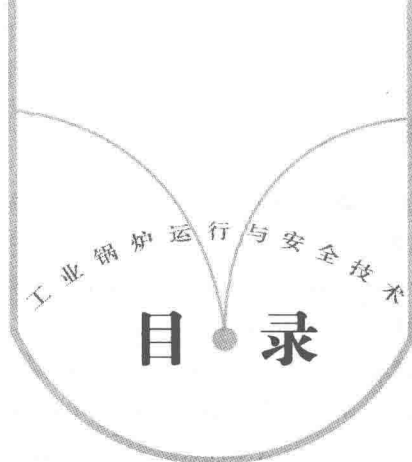
本书是《特种设备作业人员安全培训系列教材》之一,严格按照《锅炉安全管理人员和操作人员考核大纲》(TSG G6001—2009)标准编写。全书共分十二章,详细介绍了工业锅炉本体、安全附件、附属设备、燃烧设备等方面的构造原理及运行事故处理方法。本书不仅可以作为锅炉安全管理人员和操作人员的培训教材,也可以作为锅炉水处理作业人员、安全技术监察干部和检验人员的参考教材。

本书在编写过程中得到了北京工业大学环境与能源工程学院院长刘中良教授、景德镇陶瓷学院材料学院党总支书记冯青教授、中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院蒋文明博士及中国石油大学出版社有关人员的指导和帮助,在此一并致谢。

编者在写作过程中参阅了有关公开出版的书籍和文章、国内外生产厂家及公司的相关资料,其中绝大部分已在参考文献中注明,若仍有不尽之处,望谅解,并在此一并表示感谢!由于本书编写工作量比较大,书中不妥之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

《特种设备作业人员安全培训系列教材》编委会

2011年12月



第一章 基础知识	1
第一节 基本物理量	1
第二节 水和水蒸气	3
第三节 燃料与燃烧	6
第四节 热的传播和锅炉的热平衡	11
第五节 流体力学基础	15
第六节 金属材料及其焊接	17
第二章 锅炉的分类与结构	22
第一节 锅炉概述	22
第二节 锅炉分类与型号	22
第三节 锅炉主要部件	28
第四节 锅炉的辅助受热面	32
第五节 锅炉的水循环	36
第六节 锅炉结构及特性	38
第三章 锅炉安全附件及仪表	62
第一节 压力表	62
第二节 安全阀	67
第三节 水位表	72
第四节 温度测量仪表	78
第五节 流量测量仪表	82
第六节 烟气分析仪表	84
第七节 安全保护装置	89
第八节 锅炉自动调节及控制	94
第九节 常用阀门	100
第四章 锅炉附属设备	110
第一节 供水系统主要设备	110
第二节 烟风系统的主要设备	119



第三节	燃油系统的主要设备	124
第四节	燃气系统的主要设备	126
第五节	上煤设备	128
第六节	除渣系统主要设备	131
第七节	除尘系统主要设备	136
第八节	锅炉其他附属设备	143
第五章	燃煤锅炉燃烧设备	147
第一节	燃烧方式	147
第二节	手烧炉	148
第三节	链条炉排锅炉	150
第四节	倾斜式往复炉排锅炉	152
第五节	水平往复炉排锅炉	155
第六节	抛煤机锅炉	156
第七节	煤粉炉	158
第八节	沸腾锅炉	164
第六章	锅炉水处理	167
第一节	锅炉用水基础知识	167
第二节	锅炉水质标准	173
第三节	锅外化学水处理	177
第四节	锅内加药水处理	185
第五节	锅炉给水除氧	187
第六节	锅炉水垢的清除	192
第七章	工业锅炉运行	194
第一节	锅炉的烘炉和煮炉	194
第二节	锅炉点火前的检查	200
第三节	锅炉点火及燃烧调整	204
第四节	蒸汽锅炉的启动与运行	213
第五节	热水锅炉的启动与运行	220
第六节	有机热载体炉、电加热炉运行	227
第七节	锅炉的停运	229
第八节	锅炉模拟培训系统	234
第八章	锅炉事故及处理	238
第一节	锅炉事故的分类	238
第二节	锅炉爆炸事故	239
第三节	锅炉缺水事故	241
第四节	锅炉满水事故	243
第五节	锅炉超压事故	244



第六节 锅炉汽水共腾事故	245
第七节 锅炉爆管事故	247
第八节 锅炉水击事故	252
第九节 二次燃烧与烟气爆炸事故分析及处理	255
第十节 热水锅炉常见事故	257
第十一节 燃煤锅炉常见事故	265
第十二节 有机热载体炉、电加热炉事故处理	272
第十三节 锅炉事故报告及处理的程序	273
第九章 锅炉的检验、检修及保养	279
第一节 锅炉的检验	279
第二节 锅炉检验的一般方法	281
第三节 锅炉检修	286
第四节 锅炉保养	290
第五节 锅炉房的制度与记录	294
第十章 锅炉房的安全管理	296
第一节 锅炉房设计	296
第二节 锅炉的使用登记	301
第三节 锅炉的使用管理	303
第四节 锅炉操作人员管理	305
第十一章 节能减排应用技术	307
第一节 锅炉烟气排放治理技术	307
第二节 锅炉烟气净化设备选型、安装及运行管理	313
第三节 生产供热与节能减排应用技术	318
第四节 余热回收热能转换装置	323
第十二章 锅炉相关法律法规及标准	342
第一节 锅炉相关法律法规简介	342
第二节 锅炉相关标准简介	343
附 录	348
附录一 饱和蒸汽热力特性表	348
附录二 过热蒸气比焓(单位 kJ/kg)	349
附录三 常用物理量的法定计量单位及其与工程单位制的换算表	350
附录四 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	351
附录五 不同介质管道涂色标志	352
参考文献	353

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”,记作 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)表示较小的压力。它们之间的换算关系如下:

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 10\,000 \text{ mmH}_2\text{O} = 735.6 \text{ mmHg} = 9.806\,7 \times 10^4 \text{ Pa}$$

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 101 325 Pa。工程上为了计算方便,将大气压力近似记为 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 或 0.1 MPa。

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,是指超过大气压力的那部分压力,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。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,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、表压力与大气压力的关系如图 1-1 所示。

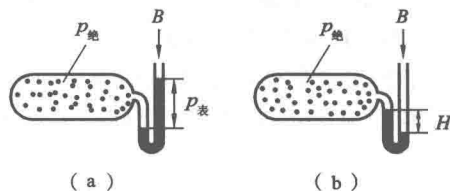


图 1-1 绝对压力、表压力与大气压力的关系

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。衡量温度所使用的仪器叫做温度计。

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



常用温度计是水银温度计。水银温度计管中盛以水银,最低可测 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高则视玻璃管材料而定,有些最高可测 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。有机液温度计玻璃管中盛以酒精、甲苯或石油醚等,可测 $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度。

温度的表示方法有三种:

1. 摄氏温度

在标准大气压下,把冰水混合物的温度规定为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,沸水的温度规定为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间分成100份,每一份就是一摄氏度,单位为 $^{\circ}\text{C}$,用这种方法确定的温度叫做摄氏温度,符号为“ t ”。

2. 华氏温度

在标准大气压下,把纯水凝固时的温度规定为 $32\text{ }^{\circ}\text{F}$,水的沸点规定为 $212\text{ }^{\circ}\text{F}$,两者间平均分成180份,每一份为一华氏温度,单位为 $^{\circ}\text{F}$,用 t' 表示。这种单位在日、美、英国家常用。

在工作中有时会碰到标有两种刻度的温度计的情况,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:

$$t\text{ }^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t'\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$t'\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t\text{ }^{\circ}\text{C} + 32$$

【例 1-1】 某锅炉除氧器温度计指示为 $215.6\text{ }^{\circ}\text{F}$,折合成摄氏度为多少?

【解】

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

3. 热力学温度

规定以 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为绝对零度的温度,称为热力学温度,用符号“ T ”表示。单位:开尔文,简称“开”,用符号“ K ”表示。它与摄氏温度之间的关系为:

$$T = t + 273.15$$

三、其他物理量

1. 质量和重量

物体所含物质的多少称为质量,用符号“ m ”表示,单位为千克(kg),常用单位还有克(g)、吨(t)。物体由于地球的吸引而受到的力称为重力(重量),用符号“ G ”表示,单位为牛顿(N)。质量与重量两者之间的关系为:

$$G = mg$$

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

2. 重度、比体积

重度是指单位体积的物质的重量,用符号“ γ ”,单位牛/米 $^3(\text{N/m}^3)$ 。

$$\gamma = G/V$$

式中: G ——物质的重量,N;

V ——物质的体积, m^3 。

比体积是指单位质量的物体所含有的体积,用符号“ v ”表示,单位:米 3 /千克(m^3/kg)。



$$v = V/m$$

式中: V ——物质的体积, m^3 ;

m ——物质的质量, kg 。

3. 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:千克/米³ (kg/m^3)。

$$\rho = m/V$$

式中: m ——物质的质量, kg ;

V ——物质的体积, m^3 。

4. 比热容、显热和潜热

比热容是指单位质量的某种物质,温度升高(或降低)1℃时吸收(或放出)的热量,用符号“ c ”表示,单位:焦耳/(千克·摄氏度) [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$],千焦/(千克·摄氏度) [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$]。水的比热容为 $4.2 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。 Q 可用下式求得:

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

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

m ——物质的质量, 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, J 。

显热是指介质不发生化学变化或相变化,只有温度变化吸收或放出的热量。热水采暖就是利用介质水的显热交换来输送热量的。

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(有相变化,无温度变化)所吸收的热量,单位:千焦/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。

5. 流量、流速

流量是指单位时间内介质通过有效断面的质量(或体积),单位是米³/小时 (m^3/h)、千克/秒 (kg/s)、吨/小时 (t/h) 等。

流速是指单位时间内介质流经的距离,单位是米/秒 (m/s)。流速可用下式求得:

$$W = V/S$$

式中: W ——介质的平均流速, m/s ;

V ——介质的流量, m^3/s ;

S ——介质的有效断面, 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,虽然继续吸热,但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。

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 的冰熔解成 0°C 的水吸收的热量是 3.35×10^5 焦(J),因此,冰在 0°C 时的熔解热是 $3.35 \times 10^5 \text{ J/kg}$ 。

2. 液化和汽化

物质从气态变成液态的过程称为液化,从液态变成气态的过程称为汽化。

汽化有两种方式: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;压强减小时,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,从气态直接变成固态叫做凝华。



图 1-2 水的三态变化

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。

水具有以下特性:

(1) 水是无色、无味、透明的液体。当水中含有杂质时,会呈现色、味等现象,改变或影响了原有的物理性质。水是由氢与氧化合而成的,其化学式为 H_2O 。水具有气体、液体和固体三态特性。

(2) 水的体积在 4°C 时最小。当温度升高时,水的密度减小,因而体积膨胀;当温度降低时,其密度也减小,因而体积也增加。所以水在 4°C 时,其密度最大,体积最小。

(3) 水的比热容很大,水温升高 1°C 所需要的热量是很大的。大多数物质升高 1°C 所需要的热量比水小。所以水常被用作冷却、吸热的介质。

(4) 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°C 时,水