

● 主 编：吴文浩 吴求兴

工业锅炉

司炉工读本

锅炉司炉工培训教材

● 黄励阳 潘炉 庄力 苏德 梅炯 蔡荣 中心 组 编 写

《工业锅炉司炉工读本》编审者名单

技术顾问	李 毅	
主 编	吴文浩	吴来兴
主 审	刘福仁	童有武

序 言

工业生产和人民生活都离不开锅炉设备，锅炉已经遍布于国民经济的各个领域。随着国家的四个现代化建设的发展和人民生活需求的提高，锅炉设备的数量不断增多。目前，全国已有39万台锅炉，除少量用于发电之外，绝大部分属于工业锅炉。操作这种锅炉的司炉人员队伍也是相当庞大的。工业锅炉是一种受热承压的特种设备，在操作和管理中稍有疏漏就会使一台制造合格的锅炉设备发生爆炸，造成人员伤亡和财产损失。为此，国家对锅炉设备的安全特别重视，在劳动部门设立了锅炉压力容器安全监察机构，对锅炉安全工作实行全方位的监督检查，又组建了专门的检验所、站，考核了一大批锅炉检验员，对运行的锅炉实行定期检验，以保障设备不出或少出事故。

但是，一台制造合格的锅炉或一台经过检验合格的锅炉，在运行中会不会发生事故，还要看进行操作的司炉人员是否有专门的知识，是否能够按照操作规程办事，是否能够及时发现事故苗子，并能及时采取措施消除事故隐患。所以，国务院颁布的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》中要求：

“司炉工必须经过考试，取得当地锅炉压力容器安全监察机构颁发的合格证，才准独立操作。”为了达到这个要求，劳动部门和有关主管单位几乎年年都要办培训班，对司炉人员进行岗位训练。《工业锅炉司炉工读本》就是为了适应司炉

工技术培训和考核的需要而组织编写的教材。

《工业锅炉司炉工读本》共分八章，其中第一、六、七章由天津市劳动局吴来兴编写；第二、三、四、五章由天津市二轻局锅炉压力容器设备检测中心吴文浩编写；第八章由天津化工局周双平编写。劳动部锅炉压力容器检测研究中心高级技术顾问李毅教授在编写过程中给予具体指导和帮助，全书由劳动部锅炉压力容器安全监察局刘福仁高级工程师与劳动部锅炉压力容器检测研究中心童有武高级工程师审核定稿。

工业锅炉的品种繁多，但基本原理是一样的。这本教材力求用通俗易懂的语言，深入浅出的道理向司炉人员介绍他们所必须掌握的锅炉基本知识和安全操作程序。它密切结合劳动部颁发的《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《热水锅炉安全技术监察规程》及一些相关专业标准，对锅炉安全运行中所涉及到的各个环节作了简要而较为明确的解说，以求适合司炉人员的实际文化水平，使他们能够尽快学以致用，较全面地掌握保障锅炉安全运行应了解的安全技术知识、操作要领和应注意的问题。并且，对常见事故的发生原因、处理方法和如何预防也作了简要介绍。适合作为全国各地培训二、三、四类司炉人员的教材，也可作为锅炉管理人员和检验人员的参考读物。

司炉工培训量大面广，参加培训的人员文化水平参差不齐，特别是采暖锅炉和季节性行业用的锅炉，司炉人员不固定，流动性大，平均文化水平不高，而锅炉设备又是技术性很强、结构较复杂的设备，要编好一本通用教材确有很多难题。我们虽然组织编写了这本综合教材，并力求准确、易

学，但由于水平有限，难免有缺点和不足。敬请各位读者和
培训教员们批评指正。

劳动部锅炉压力容器检测研究中心主任

王韩挪 高级工程师

1990年5月13日

目 录

第一章 工业锅炉的基本知识 (1)

第一节 锅炉参数 (1)

第二节 工业锅炉常用的专业名词 (8)

第三节 比热、传热和热胀冷缩 (13)

第四节 燃料、燃烧与锅炉热效率 (16)

第五节 水和水蒸气的性质 (34)

第六节 锅炉水循环的基本原理 (39)

第七节 锅炉的工作过程 (44)

第八节 锅炉用钢 (45)

附表 1 饱和水和水蒸汽的比容及含热量 (52)

附表 2 过热蒸汽含热量 (50)

第一章思考题 (53)

第二章 工业锅炉的结构与辅助受热面 (56)

第一节 锅炉结构的一般要求 (56)

第二节 锅炉的主要受压元件及连接 (58)

第三节 工业锅炉的参数系列与型号 (69)

第四节 立式锅壳锅炉 (75)

第五节 卧式锅壳锅炉 (85)

第六节 水管锅炉 (92)

第七节 热水锅炉 (107)

第八节 蒸汽锅炉的锅内装置	(127)
第九节 锅炉的辅助受热面	(133)
第二章思考题	(142)
第三章 工业锅炉的燃烧设备	(145)
第一节 燃烧设备概述	(145)
第二节 层燃炉	(151)
第三节 室燃炉	(178)
第四节 沸腾炉	(193)
第五节 炉墙与拱	(199)
第三章思考题	(210)
第四章 工业锅炉的附属设备	(212)
第一节 运煤设备	(212)
第二节 给水设备	(221)
第三节 通风设备	(239)
第四节 除渣设备	(252)
第五节 除尘设备	(257)
第六节 其他附属设备	(272)
第四章思考题	(285)
第五章 工业锅炉的附件与仪表	(287)
第一节 安全阀与水封安全器	(287)
第二节 压力表	(303)
第三节 水位表	(312)
第四节 高低水位报警控制器	(322)

第五节	防爆门	(327)
第六节	锅炉管道	(330)
第七节	汽、水管道上的主要阀门	(344)
第八节	排污装置	(366)
第九节	锅炉热工仪表	(370)
第十节	工业锅炉的自动控制	(380)
第五章	思考题	(387)
第六章	工业锅炉的运行、保养及一般检验	(390)
第一节	锅炉房的安全管理	(390)
第二节	烘炉与煮炉	(396)
第三节	安装后的验收	(403)
第四节	锅炉点火前的准备工作	(410)
第五节	点火	(414)
第六节	蒸汽锅炉的升压与送汽	(419)
第七节	锅炉的正常运行	(420)
第八节	锅炉的停炉	(433)
第九节	沸腾炉的运行	(439)
第十节	双层炉排炉和简易煤气锅炉的操作要点	(444)
第十一节	真空热水锅炉的运行	(447)
第十二节	锅炉保养	(451)
第十三节	安全附件、辅机和炉墙的维护保养	(454)
第十四节	锅炉的一般检验	(474)
第六章	思考题	(481)

第七章 工业锅炉的水处理及除垢 (484)

第一节 天然水中的杂质及其对锅炉的危害 (484)

第二节 水质指标与低压锅炉水质标准 (492)

第三节 锅内水处理方法 (499)

第四节 锅外化学水处理方法 (510)

第五节 锅炉给水除氧 (540)

第六节 水垢的清除 (545)

第七章思考题 (553)

第八章 锅炉事故与处理 (555)

第一节 锅炉事故的分类 (555)

第二节 常见的锅炉事故 (556)

第三节 常见锅炉事故的产生机理 (572)

第四节 锅炉事故原因分析与预防 (587)

第五节 锅炉事故报告处理程序 (594)

第八章思考题 (600)

第一章 工业锅炉的基本知识

锅炉是能量转换设备，它是把燃料中的潜在能量，经过燃烧（氧化反应）放出热能，经过传热作用将热能传递给水，使水变成蒸汽或过热蒸汽（热水锅炉是将水加热变成一定温度的热水输出）的一种设备。

锅炉最基本的部件是“锅”与“炉”两大部分。锅是锅炉设备中的汽水系统，是水变成汽（或热水）的吸热部分；炉是锅炉设备中的燃烧系统，是燃料与空气发生化学反应产生高温火焰和烟气的放热部分。“锅”与“炉”，一个吸热（燃料经燃烧放出的热能，尽可能最大限度地被吸收），一个放热（使燃料尽可能最大限度地燃尽，把热能最大地释放出来），它们组成了一套完整的设备。

要做到经济合理地使用锅炉设备，提高热效率节约煤炭、搞好消烟除尘工作、保证安全运行，就必须了解锅炉的特点，掌握水、汽以及燃料在锅炉设备中的变化过程和有关的基本知识。用这些基本知识来指导实践，才能充分用好锅炉设备，发挥其应有的作用。

第一节 锅炉参数

锅炉参数是表示一台锅炉在工作时的基本特性的数据，主要有锅炉的出力、压力和温度等三项。

锅炉从制造厂出厂时，在锅炉前部的明显部位嵌有一块金属铭牌，在这块金属铭牌上标有锅炉参数。

一、锅 炉 出 力

蒸汽锅炉的出力用“蒸发量”表示，热水锅炉的出力用“热功率”表示。

1. 蒸发量

蒸汽锅炉在确保安全的前提下，长期运行中每小时所能产生蒸汽的数量，称为这台锅炉的蒸发量，用符号“ D ”表示，其单位是吨/时（ t/h ）。蒸汽锅炉在额定蒸汽压力、额定蒸汽温度、额定给水温度、使用设计规定的燃料并保证效率时所规定的每小时产生的蒸汽量，叫额定蒸发量。由于锅炉在使用中，受热面、着火面不可避免地要积灰垢，着水面也有可能结水垢，因此，蒸汽锅炉在额定蒸汽压力、额定蒸汽温度、额定给水温度下，使用设计规定的燃料，在长期连续运行时所能达到的每小时最大蒸发量将小于额定蒸发量，此时锅炉的热效率有所降低。

蒸发量的大小与锅炉的受热面积和平均蒸发率有关，即：

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

当一台旧锅炉，其金属铭牌丢失，且无同类型锅炉可作参考的情况下，就可采用上面的公式估算其蒸发量。

（1）受热面积。凡锅炉上的钢板和钢管，一面受火焰或烟气加热，另一面受水（或蒸汽、空气）等介质冷却的，称为锅炉的受热面，用符号“ H ”表示，单位是米²（ m^2 ）。锅炉受热面积越大，传递的热量亦越多，则锅炉的蒸发量亦

越大。

在计算锅炉的受热面积时，通常以接触火焰或烟气这一面的钢板和钢管来进行的。

(2) 蒸发率。蒸汽锅炉在每一平方米受热面积上，每小时所产生的蒸汽量，称为锅炉的蒸发率，用符号“ D/H ”表示，单位是公斤/米²·时(kg/m²·h)。蒸发率与锅炉结构、燃料品种、燃烧设备、燃烧工况和受热面的传热效果等因素有关，并且在同一台锅炉上，不同部位的受热面上，其蒸发率亦是不相同的。例如，在炉管内的辐射受热面(水冷壁)，其蒸发量可达80~150公斤/米²·时；而对流受热面(烟管、对流管束)，其蒸发率约为15~40公斤/米²·时。所以通常所说的锅炉蒸发率，是指锅炉的平均蒸发率。锅炉型号不同，其平均蒸发率也是各不相同的。

2. 热水锅炉出力

热水锅炉和蒸汽锅炉所不同的是，蒸汽锅炉输出的是蒸汽，而热水锅炉输出的是热水。热水锅炉的出力即在确保安全的前提下长期连续运行，每小时输出热水的有效供热量。原标准中，称为锅炉的额定供热量，用符号“ Q ”表示，单位为千卡/时(kcal/h)。现在根据1984年发布的《国务院关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，采用法定计量单位制，故热水锅炉的出力，改用热功率来表示，其单位为兆瓦(MW)。小时供热量和热功率的单位换算如下：

$$1 \text{ 千卡/时 (kcal/h)} = 1.163 \text{ 瓦 (W)}$$

$$1 \text{ 瓦 (W)} = 0.86 \text{ 千卡/时 (kcal/h)}$$

$$1 \text{ 兆瓦 (MW)} = 10^6 \text{ 瓦 (W)}$$

按上面公式换算，当锅炉的额定供热量为每小时 60×10^4

千卡时，其热功率相当于0.6978兆瓦（MW），取近似值为0.7兆瓦（MW）。现将原热水锅炉的额定供热量与现行的热水锅炉额定出力的换算关系列于表1-1。

表1-1 热水锅炉额定供热量与热功率的相互关系

额定供热量 10 ⁴ 千卡/时	额定出力 兆瓦（MW）	额定供热量 10 ⁴ 千卡/时	额定出力 兆瓦（MW）
5	0.06	360	4.2
10	0.12	600	7.0
20	0.23	900	10.5
30	0.35	1200	14.0
60	0.7	2500	29.0
120	1.4	5000	58.0
240	2.8	10000	116.0

热功率为0.7兆瓦的热水锅炉，大体相当于蒸发量为1吨时的蒸汽锅炉。

二、压 力

1. 压力

垂直均匀作用于物体单位面积上的力叫“压强”，用符号“P”表示，单位是帕斯卡，简称“帕”（即每平方米面积上作用一牛顿的力，称为1“帕”）。在锅炉专业上，人们习惯地常把“压强”称为“压力”，因此我们在读本中所提到的压力，实际上应是压强。

帕（Pa）是我国的法定计量单位，由于帕（Pa）的单位太小，在锅炉参数中压力常用兆帕（MPa）表示。过去

习惯上用工程大气压（公斤力/厘米²）表示，换算时：

$$1 \text{ 公斤力/厘米}^2 (\text{kgf/cm}^2) = 0.098 \text{ 兆帕 (MPa)} = 0.098 \times 10^6 \text{ 帕 (Pa)}$$

2. 大气压力

在地球表面包围着一层空气，这层空气叫做大气层。因为空气是有重量的，所以它对地球表面产生一定的压力（压强），并且地球上的所有物体在任何方向上也都受到这个压力，这个压力就叫大气压力。

大气压力的大小，通过科学试验得知：在北纬22.5°的海平面上（即海拔零米处），当温度为零摄氏度（0℃）时，大气压力等于760毫米水银柱高度的重量，也就是0.10133兆帕（MPa，相当于1.033公斤力/厘米²）的压力，我们叫这个压力为一个标准大气压。

3. 表压力、绝对压力和负压力

（1）表压力。用压力表指示出来的压力叫表压力，表压力不是锅炉实际承受的压力，因为当表压力指针为零时，锅炉实际上已经受到当地大气压力的作用，所以锅炉上压力表指示的压力数值，是指超过当地大气压力的部分，称为表压力。

（2）绝对压力。绝对压力的数值等于表压力加上当地的大气压力的数值。当地大气压力的数值，一般近似地取0.1兆帕（MPa）（约合1公斤力/厘米²）。

（3）负压力。负压力就是低于大气压力的压力。工业锅炉的燃烧方式绝大多数采用负压燃烧，当锅炉在正常燃烧时，打开炉门、看火门或拨火门时，会感觉到炉外周围的空气被吸进炉膛，这就是炉膛内的压力低于外界大气压力的缘

故，这种状况称为负压燃烧。在正常情况下，炉膛出口处一般保持负压20~30帕（Pa），约相当于2~3毫米水柱。

4. 锅内压力的产生

（1）蒸汽锅炉压力的产生。我们知道，在大气压力下，1公斤水全部蒸发成蒸汽，其体积要膨胀1725倍。那末锅内为什么会产生压力呢？这是因为锅筒是一个密闭的容器，当水在锅筒内受到火焰和烟气的加热，水吸收热量后温度升高达到沸点开始汽化成为蒸汽时，由于不能自由膨胀而被压缩在锅筒内，由于蒸汽的自由膨胀受到了限制，结果就使锅筒和各受压部件受到了汽水膨胀的作用力，从而产生了压力。

（2）热水锅炉压力的产生。热水锅炉不允许有蒸汽存在，那末它的压力是怎么产生的呢？热水锅炉压力的产生有两种情况：一种是自然循环采暖系统的热水锅炉，其压力来自采暖系统高位水柱的静压力；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运转时产生的压力。在强制循环系统中，当循环泵停止运转时，锅炉内的压力与自然循环系统一样，是由高水位水柱静压力决定的。

锅炉铭牌上标出的压力，是锅炉的设计工作压力，表示锅炉内部蒸汽或水的压力最大允许超过大气压力的数值，即表压力。

司炉操作锅炉时，千万要注意表压力不能超过锅炉铭牌所标出的压力。并且要知道压力表计量单位由原先的公斤力/厘米²过渡到法定计量兆帕（MPa），两者从数字上相差10倍还多，这一点必须特别注意。为使司炉工人掌握这两种压力单位的换算关系，列出表1-2。

表1-2 压力单位的换算

公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²)	兆 帕 (MPa)	公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²)	兆 帕 (MPa)
1	0.098 (≈0.1)	8	0.784 (≈0.78)
2	0.196 (≈0.2)	9	0.882 (0.88)
3	0.294 (≈0.3)	10	0.98
4	0.392 (≈0.4)	13	1.274 (≈1.27)
5	0.49	25	2.45
6	0.588 (≈0.59)	39	3.82
7	0.686 (≈0.69)	60	5.88

三、温 度

温度是指物体冷热的程度。用符号“*t*”表示，在锅炉参数中常用摄氏度(℃)为单位。要掌握物体温度的高低，通常采用摄氏温标计来表示。即在一个大气压下，水开始沸腾时的温度(即沸点)为100℃，水开始结冰时的温度(即冰点)为0℃，中间分为100格，每1格表示1摄氏度，记为1℃。

锅炉铭牌上标出的温度，是指锅炉输出介质的最高工作温度，又称额定温度。

对于无过热器的蒸汽锅炉，其额定温度是指对应于额定压力下的饱和蒸汽温度；对于有过热器的蒸汽锅炉，其额定温度是指过热器主汽阀出口处的过热蒸汽温度。

对于热水锅炉，分别以锅炉出口与进口处的水温来表示。

第二节 工业锅炉常用的专业名词

1. 锅炉

利用燃料燃烧放出的热能或其他热能加热给水，以获得规定参数（压力、温度）和品质的蒸汽或热水，这个设备叫锅炉。

（1）工业锅炉。蒸汽主要用于工业生产和采暖的锅炉。按GB1921-80工业蒸汽锅炉参数系列的规定：工业锅炉出口蒸汽压力最大为2.45兆帕（25公斤力/厘米²，表压），最大连续蒸发量最大为65吨/时。

（2）热水锅炉。用于产生热水的锅炉。锅炉出水温度 $< 130^{\circ}\text{C}$ 的热水锅炉，称为低温热水锅炉；出水温度 $\geq 130^{\circ}\text{C}$ 的热水锅炉，称为高温热水锅炉。

（3）快装锅炉 根据运输条件所允许的范围，在锅炉制造厂完成总装整台发运出厂的锅炉。

（4）组装锅炉。在锅炉制造厂内将整台锅炉分成几个装配齐全的大件，运到安装工地后可以将它们方便地组合而成的锅炉。

（5）散装锅炉。安装工作主要在安装工地进行的锅炉。

（6）水管锅炉。烟气在受热面管子外部流动，水或汽水混合物在管子内部流动的锅炉。包括：

横锅筒锅炉。锅筒纵向轴线与锅炉前后轴线相垂直的水管锅炉。纵锅筒锅炉。锅筒纵向轴线与锅炉前后轴线平行的水管锅炉。