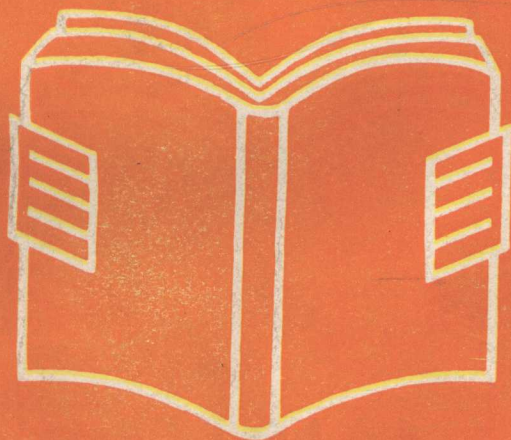


司炉工等级培训教材

—中级司炉工—

(中 册)

主 编	吕志信
主 审	石宗扬
技术顾问	李 毅



航空工业出版社

TK229.1

27

(2)

司炉工等级培训教材

—中级司炉工—

江苏工业学院图书馆 中册

藏书章

主 编 吕志伟

主 审 石宗扬

技术顾问 李 毅

航空工业出版社

1 9 9 7

前 言

本书主要是培训司炉工的技术教材,共分上、中、下三册,供初、中、高级司炉工用。它全面系统地介绍了锅炉的基础知识,结构及其安全附件、附属设备、燃料燃烧、锅炉运行及故障处理;对电站锅炉方面的知识、锅炉用钢、锅炉水循环及蒸汽品质、再热设备、电控都作了简明的阐述。

本书编写参考了机械工业部锅炉工技术等级标准,每册书后都有附录(参考题及答案),可作为工业锅炉和自备电站锅炉锅炉工培训用,亦可作为工程技术人员和管理人员学习参考。

在编写本书的过程中,得到了下列同志和单位的支持与帮助,他们是:抚顺市锅炉压力容器检验研究所所长胡凯华、郭魁文同志,抚顺市劳动局汪毅同志以及抚顺市华东锅炉配件厂、辽阳市低压锅炉厂、青岛节能电子仪器厂、天津泰伦特化学有限公司、本溪市北方锅炉辅机厂、内蒙古浩特兰区锅炉修造厂、延吉市工艺标牌厂,在此一并表示感谢。

编 者

1996.4

目 录

第一章 工业锅炉的基本知识	(1)
第一节 锅炉名词与参数	(1)
第二节 水和水蒸气的性质	(9)
第三节 锅炉水循环基本原理	(12)
第四节 锅炉结构及工作原理	(23)
第五节 锅炉的分类与型号表示法	(26)
第六节 锅炉受热面传热基本原理	(32)
第七节 燃料及燃烧	(33)
第八节 锅炉用钢	(58)
第二章 工业锅炉结构	(65)
第一节 锅炉结构一般要求	(65)
第二节 锅炉主要受压元件及要求	(67)
第三节 卧式锅壳锅炉	(74)
第四节 水管锅炉	(83)
第五节 热水锅炉	(94)
第六节 小型全自动燃油锅炉	(103)
第七节 燃气锅炉	(106)
第八节 燃油锅炉	(108)
第三章 工业锅炉燃烧设备	(114)
第一节 燃烧设备种类与方式	(114)
第二节 链条炉排	(119)

第三节	水平往复炉排和倾斜往复炉排·····	(128)
第四节	振动式炉排·····	(133)
第五节	抛煤机炉排·····	(137)
第六节	室燃炉床·····	(140)
第七节	沸腾炉床·····	(148)
第四章	工业锅炉附件与仪表·····	(154)
第一节	安全阀·····	(154)
第二节	双色水位计·····	(168)
第三节	压力表·····	(172)
第四节	水位表的种类与应用·····	(178)
第五节	水位自动控制与保护装置·····	(189)
第六节	自动排污装置·····	(195)
第七节	温度测量仪表·····	(200)
第八节	流量测量仪表·····	(210)
第九节	一、二仪表的应用·····	(218)
第十节	超温超压缺水示控保护装置·····	(221)
第十一节	水位自动调节装置·····	(230)
第十二节	锅炉常用阀门·····	(236)
第十三节	锅炉管路及要求·····	(248)
第十四节	锅炉应用微机装置·····	(257)
第五章	工业锅炉附属设备·····	(265)
第一节	运煤制煤设备·····	(265)
第二节	给水设备·····	(271)
第三节	通风设备·····	(276)
第四节	除氧设备·····	(280)
第五节	除渣设备·····	(291)

第六节 除尘设备·····	(297)
第六章 工业锅炉水处理·····	(307)
第一节 锅炉用水基本知识·····	(307)
第二节 锅内水处理法·····	(308)
第三节 锅外化学水处理法·····	(312)
第四节 锅炉管道真空水力除氧器 SLB 型 ·····	(327)
第五节 水垢的生成及危害·····	(328)
第六节 锅炉酸洗除垢的方法·····	(336)
第七章 工业锅炉运行及操作·····	(340)
第一节 锅炉运行前的必备条件·····	(340)
第二节 锅炉运行前的准备·····	(340)
第三节 点火前的检查和准备·····	(346)
第四节 烘炉与煮炉·····	(348)
第五节 点火、升温与升压·····	(354)
第六节 通汽与并汽·····	(361)
第七节 蒸汽锅炉运行与操作·····	(362)
第八节 真空热水锅炉与操作·····	(365)
第九节 燃气锅炉运行与操作·····	(368)
第十节 燃油锅炉运行与操作·····	(370)
第十一节 附件的操作·····	(374)
第十二节 停炉操作与保养·····	(382)
第八章 锅炉事故与处理·····	(390)
第一节 锅炉事故的分类·····	(390)
第二节 锅炉缺水事故与处理·····	(391)
第三节 锅炉满水事故与处理·····	(392)
第四节 热水锅炉产生汽化与处理·····	(394)

第五节	汽水共腾与处理	(395)
第六节	热水锅炉循环中断与处理	(396)
第七节	锅炉超压与处理	(398)
第八节	爆管事故与处理	(399)
第九节	省煤器爆破与处理	(400)
第十节	燃烧短路烟气爆炸事故与处理	(401)
第十一节	燃油锅炉事故预防与处理	(403)
第十二节	燃油、燃气锅炉炉膛熄火保护 与处理	(408)
第十三节	安全附件故障与处理	(411)
第十四节	附属设备常见故障与处理	(413)
附录	司炉工安全技术考核题及解答	(416)
第一部分	名词解释 20 例	(416)
第二部分	填空题 20 例	(418)
第三部分	判断题 20 例	(420)
第四部分	问答题 20 例	(421)
第五部分	计算题 20 例	(428)

第一章 工业锅炉基本知识

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，把热能最大限度地释放出来），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，提高热效率节约燃料、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。用于国民经济及其工业生产部门的锅炉，常称为工业锅炉。

第一节 锅炉名词与参数

一、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：锅炉蒸发量 $\text{受热面积} \times \text{平均蒸发率}$ ，可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。从放热介质中吸收热量并传递给受热介质的表面总和称为受热面积。

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 ($kg/m^2 \cdot h$)。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，在炉膛内的辐射受热面（水冷壁），其蒸发率可达 $80 \sim 150$ 公斤/米²·时；而对流受热面（烟管、对流管

束), 其蒸发率约为 $15 \sim 40$ 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。

3. 热水锅炉出力

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)。我国统一实行法定计量单位, 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)。

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 (t/h) 的蒸汽锅炉。

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

二、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”，因此我们在本书中所提到的压力，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。

1. 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（即海拔的零米处），当温度为零摄氏度（0℃）时，大气压力等于 760 毫米（mm）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。

2. 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。

3. 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）。

4. 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 (mm) 水柱。

5. 锅内产生的压力

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。那么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迫压缩在锅筒内，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。

6. 热水锅炉锅内产生的压力

热水锅炉锅内压力的产生。热水锅炉不允许有蒸汽存在，那么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箱的静压力；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，是由高位水箱水柱静压力决定的。

三、蒸汽温度

表示物体冷热的程度称为“温度”，用符号“ t ”来表示。温度是物体内部拥有能量的一种体现方式，温度越高，能量越大。因此，在同一压力下，过热蒸汽就比饱和蒸汽能

够做出更多的功。用来测量温度的仪表叫做温度计，它是根据液体（水银或酒精）热胀冷缩的性质制成的。常用的摄氏温度计，是在标准大气压下，把水结冰时的温度（冰点）定为零度，把水沸腾时的温度（沸点）定为100度，在两者之间平均分成100格，每格即是摄氏1度，记作 1°C 。

锅炉金属铭牌上载明的蒸汽温度，即是用摄氏温度标出的。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。

1. 过热温度

在一定的压力下，对饱和水继续加热，饱和温度保持不变，但水陆续转化为水蒸气，这种具有饱和温度的水蒸气称为饱和蒸汽。在一定的压力下，对饱和蒸汽继续加热，可以提高蒸汽的温度，使其超过饱和蒸汽的温度，这种蒸汽温度称为过热温度。也即称过热蒸汽温度。

2. 饱和温度

水由液态转化为汽态的过程称为汽化。汽化通过蒸发与沸腾两种方法进行。蒸发是水在自由表面上缓慢地汽化，在任何温度下都在持续进行。沸腾是水在表面和内部同时进行剧烈的汽化，只有当温度达到沸点时才会发生。

在一定的压力下，对水不断加热，水温相继上升，最后达到饱和温度（简称沸点）。这种具有饱和温度的水称为饱和水。饱和温度与压力有关，随着压力升高，饱和温度也相应升高，也就是一定的压力对应一定的饱和温度。

3. 湿度与干度

通常在饱和蒸汽中多少带有一些水分，饱和蒸汽实际上是蒸汽和水的混合物，通常称为湿蒸汽。而不含水分的蒸汽，称为干蒸汽。

湿蒸汽中的含水量与总重量的比值，称为蒸汽的湿度。湿蒸汽中蒸汽的重量与总重量的比值，称为蒸汽的干度。显然，对于同一湿蒸汽，其湿度与干度之和等于 1。例如，某蒸汽的湿度为 3%，则其干度为 97%，表明在每 1 公斤的饱和蒸汽中含有 0.03 公斤的水和 0.97 公斤的干蒸汽。

湿度是衡量蒸汽品质好坏的一个重要指标。湿度过大不仅会降低蒸汽的品质，影响使用效果，而且可能在蒸汽管道内发生水击现象，使管道剧烈震动以至损坏；若流入过热器，还会使过热器管结垢烧坏。在工业锅炉中对蒸汽湿度的要求，水管锅炉应控制在 3% 以下，火管锅炉应控制在 5% 以下。

4. 显热与汽化热

在一定的压力下，使 1 公斤的水从 0°C 加热到饱和温度所需要的热量，称为液体热或称显热。液体热仅用于提高水的温度，而不能改变水的形态。它与压力有关，压力越高，液体热就越大。

在一定的压力下，使 1 公斤的饱和水完全汽化，变为相同温度的干饱和蒸汽所需要的热量，称为汽化热，又称蒸发热或潜热。汽化热仅增加汽化量，而不提高蒸汽的温度。它也与压力有关，但压力越高，汽化热则越小。

5. 汽化热与焓

在一定压力下，使 1 公斤的水从 0°C 加热到任一状态下的水或蒸汽，所吸收的总热量称为该状态下水或蒸汽的焓，

干饱和蒸汽的焓等于饱和水的焓与汽化潜热之和。例如，在表压 1.1 兆帕 (MPa) 下，由表 1-2 可以看出饱和水的焓 781 千焦/公斤 (kJ/kg)，汽化潜热 2000 千焦/公斤 (kJ/kg)，它们之和正是相同压力下饱和蒸汽焓值 2781 千焦/公斤 (kJ/kg)。

表 1-2 干饱和蒸汽表

绝对压力 p	饱和温度 t_b	饱和水比容 u''	饱和蒸汽比容 u'	饱和水焓 i'	饱和蒸汽焓 i''	汽化潜热 i
MPa (kgf/cm ²)	℃	m ³ /kg		kJ/kg		
0.10 (1.02)	99.64	0.0010432	1.694	417.4	2675	2258
0.20 (2.04)	120.23	0.0010605	0.8854	504.8	2707	2202
0.30 (3.06)	133.54	0.0010733	0.6057	561.4	2726	2164
0.40 (4.08)	148.62	0.0010836	0.4624	604.7	2738	2133
0.50 (5.10)	151.84	0.0010927	0.3747	640.1	2749	2109
0.60 (6.12)	158.84	0.0011007	0.3156	670.5	2757	2086
0.70 (7.14)	164.96	0.0011081	0.2728	697.2	2764	2067
0.80 (8.16)	170.42	0.0011149	0.2403	720.9	2769	2048
0.90 (9.18)	175.35	0.0011213	0.2149	742.8	2774	2081
1.00 (10.20)	179.88	0.0011273	0.1946	762.7	2778	2045
1.10 (11.22)	184.05	0.0011331	0.1775	781.1	2781	2000
1.20 (12.24)	187.95	0.0011385	0.1633	798.3	2785	1987
1.30 (13.27)	191.60	0.0011438	0.1512	814.5	2787	1973
1.40 (14.29)	195.04	0.0011490	0.1408	830.0	2790	1960
1.50 (15.31)	198.28	0.0011539	0.1317	844.6	2792	1947
1.60 (16.33)	201.36	0.0011586	0.1238	858.3	2793	1935
1.70 (17.35)	204.30	0.0011632	0.1167	871.6	2795	1923
1.80 (18.37)	207.10	0.0011678	0.1104	884.4	2796	1912
1.90 (19.39)	209.78	0.0011722	0.1047	896.6	2798	1901
2.00 (20.41)	212.37	0.0011766	0.09958	908.5	2799	1891
2.50 (25.51)	223.03	0.0011972	0.07993	961.8	2802	1840

第二节 水和水蒸气的性质

工业锅炉的工质是水和水蒸气，水又是工业锅炉循环驱动的工质，锅炉工作原理就是水的三态变化原理，要了解锅炉的工作原理必须知道水和水蒸气的基本性质。天然水、地表水、纯水都是无味、无色透明的液体，是由氢和氧两种元素化合而成的。

一、水的性质

水的形态随温度变化而变化，它会呈现液态（水）、气态（水蒸气）和固态（冰）等三种形态，它们之间有能够相互转化的关系。

如水可转化成冰，冰又可转化成水，水又可转化成气，气又可转化成水，主要是温度的变化，水就随之而转化。

1. 水的体积与温度的关系

在大气压力下，温度为 4°C 时，水的体积最小，密度最大（ 1克/厘米^3 ）。超过或低于 4°C 时，其体积均要膨胀变大，而密度减小（ $<1\text{克/厘米}^3$ ）。由此可见，水和其他物质不同，大多数物质的体积与温度成正比，而水是一种反常的液体，所以在冬季停用的锅炉和管道内不要存水，以免结冰而体积膨胀，导致锅炉设备损坏。

2. 流体的密度和重度

(1) 密度：流体单位体积内所具有的质量称为密度。

(2) 重度：流体单位体积内所具有的重量称为重度。

流体的密度和重度不仅随流体种类而异，而且与流体的温度和压力有关。因为当温度和压力不同时，流体的体积要

发生变化，所以其密度和重度亦随之而变。对于液体来讲，密度和重度受压力和温度变化的影响不大，可近似地认为它们是常数。对于气体来讲，压力和温度对密度和重度的影响就很大。

3. 水平面

利用液体静力学基本方程式解释连通器内液体平衡问题。所谓连通器就是液面以下互相连通的两个容器。

水在连通器里，当水面上的压力（压强）相等时，水面始终保持相平，如图 1-1 所示。锅炉的水位表就是根据这个原理制成的，因为水位表与锅筒是一个连通器，所以水位表显示的水位就是锅筒的实际水位。

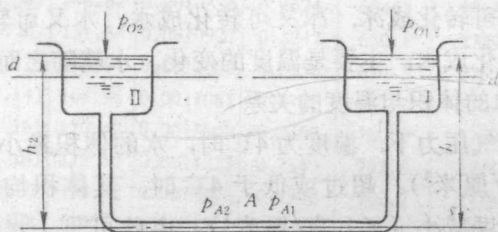


图 1-1 连通器平衡原理图

$$p_{A1} = p_{A2}$$

$$p_{01} + \gamma_1 h_1 = p_{02} + \gamma_2 h_2$$

因为 $p_{01} = p_{02}$; $\gamma_1 = \gamma_2$

所以 $h_1 = h_2$

水在密闭容器内对任何方向都有压力，且在相同高度时各方向的压力均相等。高度不同时，压力也就不同。所以，