

21 世纪技工技能入门丛书

锅炉工技能 快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

便于自学

适合培训

就业入门

21SHIJIJIGONGJINENRUMENCONGSHU



凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

21 世纪技工技能入门丛书

锅炉工技能快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

锅炉工技能快速入门/上海市职业指导培训中心编. —南京: 江苏科学技术出版社, 2008. 5

(21 世纪技工技能入门)

ISBN 978-7-5345-5915-0

I. 锅… II. 上… III. 锅炉—技术培训—教材 IV. TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 016302 号

锅炉工技能快速入门

编 著 上海市职业指导培训中心
责任编辑 孙广能
特约编辑 冯 青
责任校对 郝慧华
责任监制 张瑞云

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)
网 址 <http://www.pspress.cn>
集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)
集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>
经 销 江苏省新华发行集团有限公司
照 排 南京展望文化发展有限公司
印 刷 江苏新华印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/32
印 张 10.625
字 数 230 000
版 次 2008 年 5 月第 1 版
印 次 2008 年 5 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5345-5915-0
定 价 22.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

前 言

发电离不开锅炉,生产和生活也离不开锅炉。目前我国已有各种锅炉 60 多万台。随着国民经济的不断发展和人民生活的不断改善,锅炉数量还在不断增加。因此,锅炉的安全运行是非常重要的。操作锅炉的工作人员稍有不慎,就会使锅炉发生故障甚至爆炸。一名合格的锅炉工作人员,必须掌握一定的锅炉专门知识,严格按照规程操作,及时发现和处理事故的苗头,才能确保锅炉时时处于安全运行。目前我国由于采暖锅炉以及某些行业季节性特点较强,锅炉人员流动性大,平均文化素质不高,因此编写一本使他们尽快掌握锅炉知识,掌握事故处理的措施,保证锅炉设备安全运行的书籍,确实当务之急。

本书根据中华人民共和国劳动和社会保障部制定的《锅炉操作工》职业标准,遵循有关技术规程的要求,针对从事供热或动力生产用锅炉安装、操作和检修人员从业所必备的知识要求而进行编写的。全书全面介绍了企业从事锅炉专业人员需要掌握的专业知识,在突出锅炉专业的基础上,还对与锅炉运行相关的热工基础、水质处理、蒸汽发电、燃料输送以及仪表等知识进行了阐述。

本书深入浅出、直观易懂、实用性强,既适合于广大锅炉工自学,又可作为初级锅炉工的培训教材,还可供相关专业职业技术学校师生阅读与参考。

本书在编写过程中参阅了有关资料及书籍,在此表示

目 录

第一单元 热工基础知识	1
课题一 水蒸气的状态参数	1
课题二 流体力学的基础知识	6
课题三 传热学的基础知识	15
课题四 锅炉用钢	24
课题五 锅炉的电气系统	39
第二单元 锅炉种类及其结构	45
课题一 锅炉的分类和构成	45
课题二 锅炉设备的基本特性	51
课题三 锅炉设备的组成	61
课题四 循环流化床锅炉的基本结构	73
课题五 锅炉的工作过程	90
第三单元 燃料及燃烧设备	92
课题一 燃料的种类及特性	92
课题二 燃烧的计算	108
课题三 沸腾炉及其燃烧设备	116
课题四 层燃炉及其燃烧设备	119
课题五 燃油燃气炉及其燃烧设备	132
课题六 油炉、气炉及其燃烧设备	144
课题七 锅炉热效率与传热	155



第四单元 锅炉的运行操作	163
课题一 锅炉运行前的准备	163
课题二 锅炉冷态启动	168
课题三 锅炉温态和热态启动	175
课题四 锅炉的停运	176
课题五 锅炉气温的控制与调整	187
课题六 蒸汽压力的调节	202
课题七 高低水位的调节	206
课题八 锅炉的燃烧调整	214
课题九 锅炉的结渣、磨损、积灰和腐蚀	232
第五单元 锅炉的给水处理	250
课题一 水中的杂质和水质指标	250
课题二 锅内水处理	257
课题三 锅外水处理	259
课题四 锅炉水、汽质量监督	266
第六单元 锅炉事故与处理	272
课题一 水位事故	272
课题二 锅炉的燃烧事故	278
课题三 热水锅炉超温报警与处理	292
课题四 热水锅炉中断循环与处理	295
课题五 厂用电中断事故	297
课题六 锅炉承压部件爆管及损坏	301
课题七 锅炉辅助设备的故障	318
参考文献	331

第一单元 热工基础知识

课题一 水蒸气的状态参数

火力发电厂的生产过程,实质是实现能量形式的转变,并从这种转变中获得电能。为了连续地实现这种转变,通常采用水蒸气作为工质,使其在热力设备中不断地进行热力循环。水蒸气的状态参数有压力、温度、比容、气体的内能、焓和工质的熵等。

1. 压力

所谓压力,简单地说,就是指均匀垂直地作用在单位面积上的力。根据分子运动论的观点,气体的压力是大气分子向容器壁面撞击的平均结果。工程上所用压力计的测量原理都是建立在力平衡基础上的。由此可见,表计所测定的压力都是工质的真实压力与大气压力之间的差值。工质的真实压力称为绝对压力,用 $p_{\text{绝}}$ 来表示;大气压力用 $p_{\text{大}}$ 来表示;绝对压力大于大气压力时,其超出大气压力之值,也就是表计所测的压力,称为表压力,用 $p_{\text{表}}$ 来表示。根据力平衡原则有

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{表}} + p_{\text{大}} \quad (1-1)$$

低于大气压力的绝对压力,其表压力必须是负值。这种情况下,通常以真空度来表示表压力的大小,即

$$p_{\text{绝}} = p_{\text{大}} - p_{\text{真}} \quad (1-2)$$

大气压力可用气压计测定,其值因测量时间、地点的变化



而不同,因此只有绝对压力才能作为状态参数。

计量压力的单位在我国法定计量单位中为牛顿每平方米(N/m^2),即 1 m^2 的面积上作用 1 N 的力,称为帕斯卡,单位符号为 Pa (帕)。工程上因单位 Pa 太小,读数不方便,常用 MPa (兆帕)表示。此外旧的单位制中有千克力/厘米 2 (kgf/cm^2)、毫米汞柱(mmHg)、毫米水柱(mmH_2O)等。

不同的压力单位用于不同的场合,如锅炉蒸汽的压力比较高,一般用 MPa 作单位来表示;锅炉炉膛的压力较低,一般用 Pa 作单位来表示。

各单位之间的转换关系见表1-1。

表1-1 各单位之间的转换关系^①

单 位	Pa (帕)	atm (标准大气压)	kgf/cm^2 (工程大气压)	mmHg (毫米汞柱)	mmH ₂ O (毫米水柱)
Pa	1	9.87×10^{-6}	1.019×10^{-5}	7.5×10^{-3}	1.019×10^{-1}
atm	1.013×10^5	1	1.033	760	1.033×10^4
kgf/cm^2	9.8×10^4	9.67×10^{-1}	1×10^{-4}	735.5	1×10^4
mmHg	133.3	1.31×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1	13.59×10^{-4}
mmH ₂ O	9.8	9.68×10^{-5}	1×10^{-4}	735.5×10^{-4}	1

注: ① 书中非法定压力单位不再换算。 $1\text{ mmHg} = 133.3\text{ Pa}$, $1\text{ mmH}_2\text{O} = 9.8\text{ Pa}$, $1\text{ bar} = 1 \times 10^5\text{ Pa}$, $1\text{ kgf/cm}^2 = 9.8 \times 10^4\text{ Pa}$, $1\text{ atm} = 1.013 \times 10^5\text{ Pa}$, $1\text{ kcal} = 4.18\text{ kJ}$ 。

2. 温度

温度是表示物体冷热程度的一个状态参数。根据分子运动论的观点,温度标志大量分子热运动的强烈程度。在工程上一般都用摄氏温标($^{\circ}\text{C}$)与绝对温标(K)来度量温度。摄氏

温标把压力在 760 mmHg 时水的冰点定为 0°C , 水的沸点定为 100°C , 从 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间分为一百个刻度, 每一刻度就是摄氏温标的一度, 用符号 t 表示, 单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。绝对温标也称热力学温标, 符号是 T , 单位是开尔文, 单位符号是 K 。绝对温标与摄氏温标有如下的关系

$$T = t + 273 \text{ K} \quad (1-3)$$

式中 T ——绝对温度(K);

t ——摄氏温度($^{\circ}\text{C}$)。

除上述温标外, 少数欧美国家在工程上还习惯采用华氏温标, 单位符号是 $^{\circ}\text{F}$ 。华氏温标规定, 在一个物理大气压下纯冰的熔点和纯水的沸点分别为 32°F 和 212°F 。华氏温标与摄氏温标之间的换算关系为

$$t/^{\circ}\text{C} = 5/9(t/^{\circ}\text{F} - 32) \quad (1-4)$$

3. 比容

1 kg 的工质(气体)所占容积的大小, 称为工质的比容, 其单位为 $\text{米}^3/\text{千克}$, 单位符号是 m^3/kg 。

1 m^3 容积工质(气体)的质量, 称为密度, 单位为 $\text{千克}/\text{米}^3$, 单位符号是 kg/m^3 。

设有 $G \text{ kg}$ 工质占据容积 $V \text{ m}^3$, 则其比容为

$$v = \frac{V}{G} \quad (1-5)$$

密度为

$$\rho = \frac{G}{V} \quad (1-6)$$

或 $\rho v = 1 \quad (1-7)$



式中 v ——比容(m^3/kg);
 ρ ——密度(kg/m^3);
 G ——气体的质量(kg);
 V ——气体的容积(m^3)。

4. 气体的内能

物质内部分子所具有各种形式能量的总和称为内能,如热能、化学能、电磁能和原子能等。但在热工过程中,水蒸气的内能中只有热能有较大的变化,其他各种能量可视为不变。因此,水蒸气的内能可视为由内动能与内位能两部分能量所组成。

组成气体的分子处在不断的紊乱运动中,其运动的形式有分子的直线运动、分子的旋转运动和分子内部原子的振动,这些运动都具有一定的能量,称它们为气体的内动能。内动能的大小取决于温度。气体分子之间还存在着吸引力,因此除了内动能以外,还具有用以克服分子间吸引力的位能,此位能叫做气体的内位能。内位能随气体的比容或压力而变。

内动能与内位能组成了气体的内能,通常用符号 u 来表示 1 kg 气体的内能,它的单位是 kJ/kg 。

5. 焓

当水被加热时,水由于吸收了热量,温度就会升高,当水达到沸点以后,再吸收热量,水就会成为蒸汽。因此,某一状态下的水或蒸汽的焓就是把 1 kg 水在等压下自 0°C 加热到这一状态下的水或蒸汽所吸收的总热量,用字母 i 表示,单位为 kJ/kg 。

在一般情况下,焓并无具体的物理意义,完全是为了简化工程计算和便于分析研究而定义的一个有用的量。

6. 工质的熵

熵是一个导出的状态参数,它是通过其他可以测量的数

值间接计算出来的。我们把给 1 kg 工质加入的热量与加热当时绝对温度的比值叫做工质在这个加热过程中的熵的增加量。

例如 1 kg 工质,在绝对温度 T 保持不变的情况下,加入为 q 的热量,那么 $\frac{q}{T}$ 这个比值就是在这一加热过程中工质熵的增加量。我们用 s 表示工质的熵,用 Δs 表示熵的增加量 $s_2 - s_1$,则这一等温加热例子中各量的关系就可写为

$$\Delta s = \frac{q}{T} \quad (1-8)$$

式中 s ——熵[kJ/(kg·K)];

q ——1 kg 工质所获得的热量(kJ/kg);

T ——工质在获得热量时的温度(K)。

如果加热过程不是等温情况,熵的定义仍如上述。这时熵的增量的计算可以这样来进行:把整个加热过程分割成很多小的加热阶段,在每一个小加热阶段中,加入的热量是很少的,因而温度的变化也就很小。加热阶段分割得越多,在小加热阶段中温度的变化就越小。当把整个加热过程分割成无穷多个小加热阶段时,每个加热阶段都可看成是在等温下进行的加热。这样在求得了每个加热阶段工质熵的增量后,再把每个加热阶段熵的增量相加,就是整个加热过程熵的增量。具体计算公式应用到高等数学,这里就不再叙述。

从上述熵的定义不难想到:给工质加热,工质的熵增加;从工质取出热,工质的熵减小;不加热也不取出热量,工质的熵保持不变。所以可以反过来用熵的变化来判断过程是加入还是取出热量。

课题二 流体力学的基础知识

1. 流体的物理性质

一切物质都是由分子组成的。在相同的体积中,气体和液体的分子数目要比固体少得多,分子间的空隙就比较大,分子间的内聚力小,分子运动剧烈。因此,气体和液体不能保持固定的形状而具有流动性,我们称气体和液体为流体。

流体的基本物理性质包括密度、压缩性、流体的黏性等。

(1) 密度 流体单位体积内所具有的质量称为密度,用 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-9)$$

式中 m ——流体的质量(kg);

V ——流体的体积(m^3)。

流体的密度不仅与流体种类有关,而且与流体所处的温度和压力有关。当温度和压力变化时,密度也随之发生变化。但对液体来说,温度、压力的变化对密度的影响不大;而对气体而言,压力和温度对密度的影响很大。气体的密度与温度、压力的变化关系为:

$$\frac{\rho_1 T_1}{p_1} = \frac{\rho_2 T_2}{p_2} \quad (1-10)$$

式中 ρ_1 、 T_1 、 p_1 ——状态变化前的密度、温度、压力;

ρ_2 、 T_2 、 p_2 ——状态变化后的密度、温度、压力。

(2) 压缩性 在一定温度下,流体的体积随压力升高而缩小的性质称为流体的可压缩性。流体可压缩性的大小用压

缩系数 k 表示。 k 的意义是当温度不变时,单位压力增量所引起的流体体积的相对缩小量,即

$$k = -\frac{1}{V} \times \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (\text{m}^2/\text{N}) \quad (1-11)$$

式中 V ——流体原有体积(m^3);

ΔV ——流体压缩后体积变化量(m^3);

Δp ——压力增量(Pa)。

液体的压缩系数很小,一般称液体为不可压缩流体。温度与压力的变化,对气体体积影响很大,故称气体为可压缩流体。

(3) 流体的黏性 指当流体运动时,在流体层间产生的内摩擦力,具有阻碍流体运动的性能,这种内摩擦力称为黏性力。黏性是流体运动时产生能量损失的根本原因。

流体的黏性大小用动力黏度(动力黏性系数) μ 表示,动力黏度是指流体单位接触面积上的内摩擦力与垂直于运动方向上的速度变化率的比值,即

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{\Delta u}{\Delta n}} \quad (\text{Pa} \cdot \text{s}) \quad (1-12)$$

式中 τ ——单位接触面积上的内摩擦力(N/m^2);

$\frac{\Delta u}{\Delta n}$ ——垂直于运动方向上的速度变化率(s^{-1})。

有时也用运动黏度 ν 来表示黏度,是指动力黏度 μ 与流体密度 ρ 的比值,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-13)$$

流体黏性的大小,不仅与流体种类有关,而且与流体的压力和温度有关。但压力变化对流体黏性影响很小,可忽略。因此,温度是影响黏性的主要因素。气体的黏度随温度升高而升高,液体的黏度则随温度的升高而下降。

液体黏性随温度升高而降低的特性,对电厂锅炉燃料油的输送和雾化是有利的,因此锅炉燃用的重油需加热到一定温度且降低黏度后,由供油泵送出。但这一性质对转机轴承的润滑是不利的。温度升高,黏度降低,会妨碍润滑油膜形成,引起轴承升温,甚至会使轴瓦烧损。为此,一般应将轴承温度控制在 60°C 之内。

2. 液体的静力学特性

(1) 液体静压力 指静止液体内任一点所承受的压力。液体某一点的静压力 p 等于液体表面上的压力 p_0 加上该点距离液面深度 h 的重力势能 ρgh ,即

$$p = p_0 + \rho gh \quad (\text{Pa}) \quad (1-14)$$

式中 p_0 ——作用于液体表面的压力(Pa);

ρ ——液体密度(kg/m^3);

g ——重力加速度(m/s^2);

h ——液体内某点距液面高度(m)。

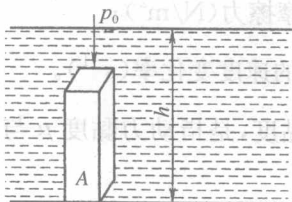


图 1-1 静力学方程示意

该方程为液体静力学基础方程式,如图 1-1 所示。

液体静压力有两个特性:液体静压力的方向和作用面相垂直,并总是指向作用面;液体任一点的各个方向的液体静压力均相等。

液体静力学方程式表明,在特定的条件下, p_0 、 ρ 是常数;静压力只与点的位置 h 成正比,即位置越深,压力越大。

(2) 绝对压力 指当某一点的液体静压力是以绝对真空为零计算时的压力,用 p_j 表示。如果液面上大气压力为 p_a ,则液体内某点的绝对压力为:

$$p_j = p_a + \rho gh \quad (1-15)$$

表压力是以大气压 p_a 为零计算的压力,也称相对压力。用 p_G 表示,即

$$p_G = p_j - p_a = \rho gh \quad (1-16)$$

真空值是指大气压力与绝对压力的差值,用 p_v 表示,也称负压。

$$p_v = p_a - p_j \quad (1-17)$$

液体静压力的计量单位除国际单位制“帕”以外,还有工程大气压、标准大气压等,表1-2是压力换算表。

表 1-2 压力换算表

单位名称 数量 单位名称	物理大气压 /(kgf/cm ²)	工程大气压 /(kgf/cm ²)	毫米汞柱 /mmHg	帕/Pa	毫米水柱 /mmH ₂ O
1 物理大气压 /(kgf/cm ²)	1	1.033 2	760	$1.013\ 25 \times 10^5$	$1.033\ 6 \times 10^4$
1 工程大气压 /(kgf/cm ²)	0.967 841	1	735.559	$9.806\ 65 \times 10^4$	1×10^4
1 毫米汞柱 /mmHg	0.001 32	0.001 36	1	133.322 4	13.6



(续表)

单位名称 数量 单位名称	物理大气压 (kgf/cm ²)	工程大气压 (kgf/cm ²)	毫米汞柱 /mmHg	帕/Pa	毫米水柱 /mmH ₂ O
1 帕/Pa	0.987×10^{-5}	1.0197×10^{-5}	75×10^{-4}	1	0.102
1 毫米水柱 /mmH ₂ O	9.6749×10^{-5}	10×10^{-4}	0.0736	9.81	1

(3) 连通器 连通器是液面以下相互连通的两个或几个容器。在实际中连通器有以下三种情况。

① 连通器的两个容器中注入同样的液体 ($\rho_1 = \rho_2$), 当液面上压力相等 ($p_{01} = p_{02}$) 时, 中间 A 点两侧静压力相等 (图 1-2), 即

$$p_{01} + \rho_1 g h_1 = p_{02} + \rho_2 g h_2$$

由于 $p_{01} = p_{02}, \rho_1 = \rho_2$

所以 $h_1 = h_2$ (1-18)

对于装有相同液体, 液面上压力相等的连通器, 其液面高度相等。

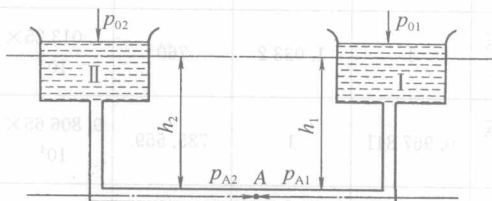


图 1-2 连通器原理