

燃油燃气锅炉运行与管理

冯维君 主编

中国劳动出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃油燃气锅炉运行与管理/冯维君编. —北京: 中国劳动出版社, 1997
ISBN 7-5045-2118-3

1. 燃… I. 冯… III. ①燃油锅炉-锅炉运行②燃气锅炉-锅炉运行 IV. TK227

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 24960 号

中国劳动出版社出版

(100029 北京市惠新东街1号)

责任编辑 高水新

海丰印刷厂印刷 新华书店总店北京发行所发行

1998年3月第1版 1998年3月北京第1次印刷

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 17.75

字数: 448千字 印数: 5800册

定价: 26.00元

(凡购买劳动版图书, 如有缺页、倒页、脱页、
错装的, 本社发行部给予调换)

前 言

针对目前国内燃油锅炉的迅速发展和燃气锅炉的使用及国内尚无正式出版的燃油、燃气锅炉的培训教材，而不少读者又迫切需要了解和掌握这方面知识的情况，我们组织编写了《燃油、燃气锅炉运行与管理》一书。该书针对目前的现实状况，由浅入深地、较系统地阐述了燃油、燃气锅炉的基础知识、燃烧原理、国内外燃油、燃气锅炉的结构与特点、燃烧器的结构与特点、自控装置、安全附件、辅助设备、水处理常见事故与处理、燃料油的供应系统、消防知识及运行管理等方面的内容。该书内容新颖，实用性强，可作为燃油、燃气锅炉司炉工的培训教材，也可供锅炉设计、制造、安装、使用单位的专业人员使用。

本书由冯维君主编，刘福仁主审。其中第一章由孙志敏编写，第二章由冯维君编写，第三章由赵欣刚编写，第四章由徐友顺编写，第五章由张文斌编写，第六章由王奉强编写，第七章由周英编写，第八章由狄刚编写，第九章由潘金编写，第十章由娄克成编写，第十一章由许为权编写，第十二章由郑一方编写。

由于时间匆促，水平有限，经验不足，可能会出现不少疏漏，以至错误之处，诚恳希望读者给予批评指正。

本书的编写工作得到了杭州前线锅炉厂、杭州特种锅炉厂等单位的大力支持，在此深表感谢。

编者

一九九七年三月二十日

目 录

第一章 锅炉基础知识	(1)
第一节 锅炉安全的重要性.....	(1)
第二节 力学及热工学基础知识.....	(2)
第三节 水和蒸汽的性质.....	(6)
第四节 锅炉分类概述.....	(8)
第五节 锅炉参数及热效率	(11)
第六节 燃油锅炉的工作过程和工作系统	(14)
第七节 锅炉水循环	(15)
第八节 锅炉的金属材料	(17)
第二章 燃料及其燃烧	(19)
第一节 概述	(19)
第二节 液体燃料及其燃烧	(20)
第三节 气体燃料及其燃烧	(35)
第四节 燃料的燃烧计算	(37)
第三章 锅炉结构	(41)
第一节 锅炉结构的基本要求	(41)
第二节 锅炉型号	(42)
第三节 锅炉的主要受压元件及连接方法	(45)
第四节 典型锅炉的结构介绍	(57)
第四章 燃烧器	(80)
第一节 燃油燃烧器的一般知识	(80)
第二节 燃油燃烧器的供油	(82)
第三节 燃油燃烧器的常见油嘴	(85)
第四节 燃油燃烧器的调风及稳燃装置	(89)
第五节 燃油燃烧器的电气控制原理	(92)
第六节 气体燃烧器	(94)
第七节 燃烧器的常见故障及排除方法	(97)
第五章 自控装置	(100)
第一节 给水自动调节装置.....	(100)
第二节 燃烧自动调节装置.....	(105)
第三节 点火程序控制.....	(108)
第四节 保护装置.....	(109)
第五节 燃油燃气锅炉的自控系统.....	(110)
第六章 锅炉附件及辅助设备	(115)
第一节 安全阀.....	(115)
第二节 压力表.....	(121)

第三节	水位表	(124)
第四节	排污装置	(128)
第五节	给水设备	(131)
第六节	通风设备	(137)
第七节	常用阀门	(140)
第八节	温度测量仪表	(148)
第九节	流量仪表	(151)
第十节	防爆门	(152)
第十一节	重油加热设备	(153)
第七章	燃油、燃气锅炉的水处理	(156)
第一节	锅炉用水的基本知识	(156)
第二节	低压锅炉水质标准及其监测和控制	(157)
第三节	水垢结生的原因、危害及清除	(161)
第四节	锅外化学水处理	(163)
第五节	锅内加药水处理	(169)
第六节	给水的除氧	(171)
第八章	运行操作与保养	(176)
第一节	点火前的检查与准备	(176)
第二节	点火与升压	(176)
第三节	正常运行的安全管理	(178)
第四节	停炉保养	(182)
第九章	燃油锅炉常见事故与处理	(183)
第一节	事故定义、分类和处理	(183)
第二节	锅炉爆炸事故	(184)
第三节	锅炉缺水	(185)
第四节	满水事故	(186)
第五节	汽水共腾	(187)
第六节	爆管事故	(187)
第七节	水位表玻璃管爆破损坏	(189)
第八节	水击事故	(190)
第九节	空气预热器损坏事故	(191)
第十节	炉膛及烟道爆炸事故	(191)
第十一节	锅炉熄火	(192)
第十二节	二次燃烧	(193)
第十三节	串油事故	(194)
第十四节	油嘴故障	(194)
第十五节	锅炉尾部受热面的低温腐蚀	(195)
第十六节	燃油锅炉常见故障的原因及其处理	(196)
第十章	燃料油的供应系统	(198)

第一节	概述	(198)
第二节	燃料油的贮存设备	(198)
第三节	油泵	(203)
第四节	输油管道	(207)
第五节	油过滤器	(210)
第六节	重油加热器	(211)
第七节	油罐区的管理	(212)
第十一章	燃油锅炉的消防基础知识及环境保护	(215)
第一节	燃油锅炉的消防基础知识	(215)
第二节	环境保护	(229)
第十二章	燃油(气)锅炉房设计、施工与管理	(239)
第一节	锅炉房建设的基本程序	(239)
第二节	锅炉房设计的基本安全要求	(240)
第三节	常见燃油(气)锅炉房布置	(244)
第四节	锅炉房安全管理	(245)
第五节	锅炉定期检验	(253)
附录一	有关技术数据	(259)
附录二	锅炉压力容器常用钢材焊条、焊丝、焊剂选用表	(262)
附录三	锅炉压力容器常用钢材国内外钢号对照表	(263)
附录四	国内外焊条牌号对照表	(270)

第一章 锅炉基础知识

本章扼要介绍锅炉设备的特点、安全管理的重要性、力学及热工学基础知识、水和蒸汽的性质、锅炉分类、参数及热效率、锅炉工作过程和工作系统、锅炉水循环，以及制造锅炉需用的钢材等基础知识，为循序渐进地学好以后各章内容打下基础。

第一节 锅炉安全的重要性

锅炉是利用燃料燃烧释放的热能，或其他热能对水或其他介质进行加热，以获得规定参数（温度、压力）和品质的蒸汽、热水或其他工质的设备。顾名思义，锅炉包括“锅”和“炉”两个部分。同时，为了保证锅炉正常运行，还必须配齐必要的附件、仪表、自控装置和辅助设备。

“锅”是锅炉中盛水的部分，它的作用是吸收“炉”放出来的热量，使水加热到一定温度和压力（热水锅炉），或者转变为蒸汽（蒸汽锅炉）。“炉”是锅炉中燃料燃烧的部分，它的作用是尽量地把燃料的热量释放出来，传递给锅内介质，产生热量供“锅”吸收。

锅炉是一种受热、承压、有发生爆炸危险的特种设备，广泛使用于国民经济各个生产部门和人民生活，它具有与一般机械设备不同的特点。这些特点是：

1. 锅炉是一种密闭的容器，具有爆炸危险。其发生爆炸的原因很多，归纳起来不外乎三种情况：一种是锅内压力升高，超过允许工作压力，而安全附件失灵，未能及时报警和排汽降压，致使锅内压力继续升高，超过某一受压元件所能承受的极限压力时，发生爆炸；另一种是在正常压力的情况下，由于受压元件结构本身有缺陷，或制造质量低劣，或使用不当而造成损坏等，而不能承受原来允许的工作压力时就可能突然破裂爆炸；第三种是锅炉在严重缺水的情况下进冷水，导致锅壳、炉胆等主要受压元件开裂而引起爆炸。锅炉爆炸的破坏力较大，不但炉体或构件飞出会造成破坏，而更大的破坏是，由于锅炉爆炸时，锅内压力骤降，高温饱和水靠自身的潜热汽化，体积成百倍地膨胀，形成冲击波，冲跨建筑物，造成严重的破坏和伤亡。

2. 由于锅炉本体在高温、承压的条件下运行，比一般机械设备的工作条件更为恶劣。如受热面内外广泛接触烟、火、灰、水、汽、水垢等，它们在一定的条件下对锅炉元件起腐蚀作用；锅炉受压元件上产生相应的应力，随着负荷和燃烧的变化，这种应力也发生变化，使承受集中应力的受压元件疲劳损坏；依靠锅内流动循环的水汽冷却的受热面因缺水、结水垢或水循环破坏使传热发生障碍，也可能使高温区的受热面烧损鼓包、开裂；另外，飞灰造成磨损、渗漏引起腐蚀等等。由此可见，锅炉设备由于其工作条件恶劣而易损坏。

3. 锅炉的用途十分广泛，与国民经济关系相当密切。它是火力发电厂的“心脏”，是化工、纺织印染、轻工等行业中的关键性设备，同时在日常生活中的食品加工、医疗消毒、洗澡取

暖等，也都离不开它。锅炉遍及城乡各地、各行各业，随着人们生活水平的提高，锅炉也开始步入了家庭。不仅如此，锅炉一般还要求连续运行，不同于一般设备可以随时停车检修，因为它的突然停炉会影响到一条生产线、一个工厂、甚至一个地区的生产和生活。

基于锅炉设备的上述特点，保证锅炉设备安全运行是至关重要的。党和政府非常重视锅炉安全问题。国务院为此颁发了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》，授权各级劳动部门对锅炉的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造等重要环节进行监督检查。劳动部也先后颁发了《蒸汽锅炉安全技术监察规程》、《热水锅炉安全技术监察规程》、《锅炉房安全管理规则》等一系列规程、规范和标准，为我国锅炉安全工作提供了法律和技术的依据。锅炉使用单位必须用严格的科学态度管理锅炉，建立、健全以岗位责任制为中心的各项安全管理制度和操作规程，并严格贯彻执行，以杜绝锅炉爆炸事故的发生，避免重大事故和一般事故的发生，确保锅炉的安全经济运行。

第二节 力学及热工学基础知识

一、力学基础知识

1. 力

力是物体之间相互作用的一种形式。主要表现在两个方面：一方面，力能使物体改变运动状态，如：力能使静止的物体产生运动，也能使运动着的物体停止或改变速度与方向；另一方面，力能使物体的形状发生变化，如：弹簧受拉或受压后会伸长或缩短，钢板受冲击后会弯曲变形等。

2. 压力和压强

(1) 压力——垂直作用在物体表面上的力。量的常用符号是“ F ”，常用的单位是“牛顿”，单位符号是N。

(2) 压强——垂直作用在物体表面单位面积上的压力。量的常用符号是“ p ”，常用的单位是“帕斯卡”（简称“帕”），单位符号Pa。

在习惯上，常把压强称为压力，因此本书中以后提到的压力，实际上是压强。

锅炉内产生压力的原因，是因为锅炉内的水吸收热量后，由液体状态变成气体状态，其体积膨胀（在大气压下1kg水蒸发成蒸汽，体积膨胀1725倍），而锅筒是密闭容器，蒸汽不能自由膨胀，只能被迫压缩在锅筒内，因此对筒壁就产生了压力。

3. 大气压力

因为空气本身是有重量的（ 1m^3 在 0°C 时重12.9N），因此，空气中的任何物体，在任何方向上都受到空气的压力，这种压力称为大气压力。在标准状况下，即海拔为0m，温度为 0°C 时的大气压力称为标准大气压力，标准大气压力为 10^5Pa （亦为 $10\text{N}/\text{cm}^2$ ）。常用压力单位的换算关系如下：

$$\begin{aligned} 1\text{MPa} &= 10^6\text{Pa} \\ &= 10^2\text{N}/\text{cm}^2 \\ 10\text{N}/\text{cm}^2 &= 0.1\text{MPa} \end{aligned}$$

$$=10\text{mH}_2\text{O}$$

4. 表压力与绝对压力

(1) 表压力 ($p_{表}$) ——指以大气压力作为测量起点, 即压力表指示压力。表压力不是实际压力, 因为当压力指针为零时实际上已受到周围一个大气压力的作用力, 所以压力表指的数值, 是指超过大气压的部分。

(2) 绝对压力 ($p_{绝}$) ——指以压力为零作为测量起点, 即实际压力。其数值就是表压力加上当时当地大气压力 (一般近似取 0.1MPa)。

表压力与绝对压力的关系:

$$p_{绝} = p_{表} + (0.1\text{MPa})$$

$$p_{表} = p_{绝} - (0.1\text{MPa})$$

5. 负压与真空度

(1) 负压 ($p_{负}$) ——指低于大气压 (俗称真空) 的值。

$$\text{即: } p_{负} = p_{大气} - p_{绝}$$

通常负压燃烧的锅炉在正常燃烧时, 打开炉门会感觉到周围空气吸向炉膛, 这是炉膛内负压的缘故。

(2) 真空度——负压与大气压力之比的百分数。

6. 密度与比容

(1) 密度——物质单位体积的质量。常用的符号是“ ρ ”, 常用的单位是“ kg/m^3 ”。密度与压力和温度有关, 一般当温度升高时, 体积膨胀而密度降低。

(2) 比容——单位质量物质所占有的体积, 即密度的倒数。常用的符号是“ γ ”, 常用的单位是“ m^3/kg ”。

二、热工学基础知识

1. 物质的变化

物质有三种形态: 固态 (也称固体)、液态 (液体) 和气态 (气体)。在一定的条件下, 它们之间可以互相转变。水随着温度的变化, 会呈现液态 (水)、气态 (水蒸气) 和固态 (冰、霜、雪) 三种形态, 它们之间互相转变的关系, 如图 1-1 所示。

2. 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量。它反映了物质分子热运动的强弱程度。常用的符号是“ t ”, 常用的单位是“ $^{\circ}\text{C}$ ” (摄氏温度), 有时也采用“ $^{\circ}\text{F}$ ” (华氏温度) 和“ K ” (绝对温度) 表示。

(1) 摄氏温度 ($^{\circ}\text{C}$)

摄氏温度: 以在一个标准大气压下, 把水结冰时的温度 (即冰点) 定为 0°C , 把水沸腾时的温度 (即沸点) 定为 100°C , 两者之间平均分成 100 等分, 每一等分为 1°C 。摄氏温度简便

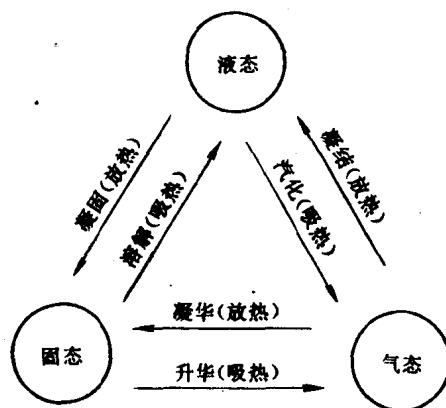


图 1-1 水的三态变化

实用，为国内普遍采用。锅炉铭牌上所标示的蒸汽温度均为摄氏温度。

(2) 华氏温度 (°F)

华氏温度：以在一个标准大气压下，把水的冰点温度定为 32°F，沸点温度定为 212°F，两者之间平均分成 180 等分，每一等分为 1°F。它与摄氏温度之间的关系是：

$$t_F = \frac{9}{5}t + 32$$

(3) 绝对温度 (K)

绝对温度：又叫开氏温度，它以摄氏温度的 -273.16°C 作为起点，每一度的间隔与摄氏温度相等。它与摄氏温度之间的关系是：

$$T = t + 273.16$$

3. 热量与比热

(1) 热量——热量是物体内部所含热能的数量。热可使物体的温度、体积及形态发生变化。热量的单位常用“J”或“kJ”。1kg 的纯水温度升高 1°C 所吸收的热量为 4.186kJ (1kcal)。

(2) 质量热容——单位质量的物质，温度升高（或降低）1°C 所吸收（或放出）的热量。常用的符号是“c”，常用的单位是“kJ/(kg·°C)”。水的质量热容为 4.186kJ/(kg·°C)。

4. 受热面积

锅炉的受压元件，如锅筒、集箱、水管和火管等，其一面受火焰或烟气加热，另一面被水或蒸汽冷却的表面积，称为锅炉的“受热面积”或称“传热面积”。通常以接触火焰或烟气的一面来计算。

5. 传热

热量从一个物体转移到另一个物体或者从同一个物体的一部分转移到相邻部分的过程称为传热。锅炉是一种换热设备，燃料在“炉”内燃烧后，放出高温热量，将热量通过各种受热面传递给“锅”内的水和蒸汽的过程称为锅炉的传热过程。迄今为止，传热有辐射、对流和传导三种方式。在锅炉炉膛里，辐射传热占主导地位；在对流受热面中，对流传热占主导地位。下面分别介绍热量传递的三种基本方式。

(1) 对流

对流是由于液体或气体依靠其本身的流动来达到热量传递的过程。对流的现象广泛存在，如夏天天热时煽扇子觉得凉快，是由于流动的空气以热对流的方式，从人体带走了热量的结果；又如火焰以某种流速冲刷锅炉受热面的管壁，在与管壁接触过程中的热量传递，都属于对流的传热过程。对流传热量的大小与流体的温差、流速等因素有关。温差越大、流速越快，对流传热就越强烈。

(2) 传导

传导（又称导热）是同一物体内部或两个不同温度的物体接触时，热量从高温部分传到低温部分的过程。在锅炉炉膛中，高温烟气将热量传送给管子外壁，管子外壁又把热量传送给管内壁的过程，就是热传导过程。在各种物质中，热传导的产生是：在液体和非金属介质中，热量转移主要是依靠弹性波的作用；固体金属主要依靠自由电子的运动；气体主要依靠原子或分子的运动。各种物体传导热的性能是不相同的。善于传导热的物体称为“热的良导体”。

如铜、铝、铁等金属；不善于传导热的物体称为“热的不良导体”或称“绝热体”，如水垢、空气、石棉等。传导热量的大小与物体的温差和传导系数有关。

传导系数（又称导热系数）就是在单位时间（h）内，单位面积（ m^2 ）上，沿导热方向上单位长度（m），温度差为 $1^\circ C$ 时所能通过的热量。不同的材料，导热系数不同。其单位为“ $W/(m \cdot ^\circ C)$ ”，符号为“ λ ”。常用材料在 $20^\circ C$ 时的导热系数见表1-1。

表 1-1 几种常用材料的导热系数 λ ($W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)

材料名称	导热系数	材料名称	导热系数
铜	341~581	烟 灰	0.05~0.116
铸铁、钢	40~50	油	0.116~0.174
红 砖	0.46~0.7	水	0.554~0.690
石 棉	0.15~0.3	烟 气	0.0226~0.105
水 垢	0.58~2.32	空 气	0.024~0.086

从表1-1可见，水垢的导热系数为铸铁或钢的 $1/25 \sim 1/80$ ；烟灰的导热系数只相当于铸铁或钢的 $1/500 \sim 1/800$ 。如果锅炉受热面外壁沉积烟灰，就会影响热传导的正常进行，造成燃料的浪费；锅炉受热面内壁积聚水垢，不仅会造成燃料的浪费，而且还会使受热面壁温升高，甚至过热而损坏。因此，锅炉在运行中必须经常吹灰，正常排污，认真搞好水处理，使受热面内外表面保持清洁，以保证锅炉安全经济运行。

(3) 辐射

辐射是高温物质通过电磁波、红外线等，把热量传递给低温物质的过程。它不仅产生能量的转移，而且还伴随着能量形式的转化，从热能转化为辐射能，或者从辐射能转化为热能。例如，在锅炉炉膛内，火焰与管壁之间；在宇宙空间中，太阳与地球之间，都在进行着热辐射过程。辐射传热的效果与热源绝对温度的四次方成正比，所以提高高温物体的温度，降低低温物体的温度，可使辐射传热量大大增加。一般情况下，当锅炉炉膛温度高于 $1200^\circ C$ 时，辐射传热可对比流传热提高5倍以上。但是，当炉膛温度低于 $1000^\circ C$ 时，辐射传热的效果不如对流传热，所以，在炉膛内不宜布置过多的水冷壁管。

6. 热胀冷缩与热应力

物体受热时膨胀，冷却时缩小，这就是热胀冷缩。在日常生活中这种现象很多。例如，铁路上的钢轨在连接处留有间隙，天冷时间隙变大，天热时间隙变小，就是热胀冷缩的原因。固体物质，在受热时虽然各个方向上都要伸长膨胀，但对于锅筒、管子等较长的物体，在长度方向上的伸长数值相对其他方向的伸长数值要大得多，因此需要特别引起注意。若在设计时没有预先考虑热膨胀，则在锅炉运行中，锅炉的主要受压部件（如锅筒、管子、集箱、炉胆等）就会损坏，炉墙就会开裂。

为此，对锅炉的热胀冷缩问题，在设计、制造、安装、使用、修理和改造等环节上都要有足够的重视，才能使锅炉受压部件和炉墙不致变形和损坏。例如：锅炉管道上每隔一定距离装设的U形或 Ω 形的膨胀节；管道穿墙壁时要留有活动间隙或安装套管；炉墙在拐角处要留出伸缩缝等，都是考虑热胀冷缩的缘故。同时，在锅炉运行中升火和停炉的操作必须缓慢，尽量使锅炉各部分温度均匀变化。否则，设备的热膨胀就要受到阻碍，使各元件的内部产生热应力。特别是当锅筒这类厚壁元件受热后，受热侧的温度必然高于另一侧的温度，因此受热

侧的金属膨胀较大，而使另一侧的金属受到拉伸的应力，这就是所谓的“热应力”。钢板越厚，两侧温差越大，热应力也就越大。显然，不受热的一侧要同时承受热应力和锅炉内部的压力，这两种力互相叠加，会在金属的最薄弱点（如有裂纹、腐蚀严重等处）造成应力集中，应力一旦超过了材料的强度极限，就会发生爆炸事故。

热应力的另一种表现形式是，如果锅炉升火、停炉次数频繁，或负荷经常变动，受热面温度的变化也相应频繁，使金属经常处于胀缩状态，即不断承受交变应力，很容易造成周期性的交替变形，促使金属因疲劳而损坏。

由此可见，在锅炉上，热胀冷缩的问题极为重要，如果认识不足，或者忽视了这个问题，可能导致严重的后果。

第三节 水和蒸汽的性质

一、水的性质

纯净的水是无色、无臭、无味、透明的液体物质，它由氢和氧化合而成，其化学分子式为 H_2O 。

水具有一定的体积，但没有固定的形状。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，它们之间互相转化的关系如图 1-1。

水在 1 个标准大气压下，温度为 $4^{\circ}C$ 时，体积最小，密度最大 ($10^3 kg/m^3$)。超过或低于 $4^{\circ}C$ 时，密度减小，其体积均要膨胀。所以在冬季停用锅炉和管道内不要存水，以防止结冰后体积膨胀而造成设备破裂。

水的质量热容较大，也就是说，单位质量的水，每升高 $1^{\circ}C$ 所需要的热量较大。其他物质单位质量每升高 $1^{\circ}C$ 所需要的热量，绝大多数比水小。

水在连通器内，当水面压力相同时，有保持水面高度相等的性质（图 1-2）。锅炉的水位表就是根据这个原理制成的（见图 1-3）。司炉人员通过观察水位表，就能知道锅筒内水位的高低。

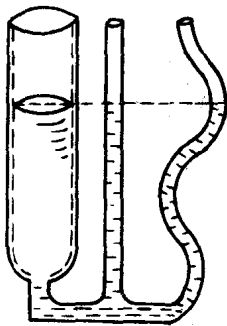


图 1-2 连通器

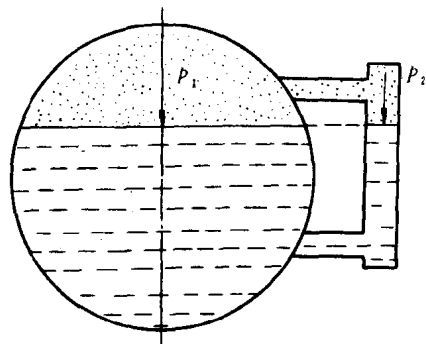


图 1-3 根据连通器原理制成的水位表

水在密闭的容器里，受到外加压力时，本身的体积几乎没有缩小，但是能均匀地向各个方向传递压力。锅炉水压试验就是利用这一原理进行的。

水在容器内任何方向都有压力，并且在同一深度时，向各个方向的压力都相等；深度增

加，压力也增加。所以，在同一台锅炉上，如果压力表安装位置高低不同，指示出的压力值也不同；高度相差 1m，压力就相差 0.01MPa。

二、水蒸气的性质

1. 饱和水、饱和蒸汽与过热蒸汽

水由液态转化为气态的过程称为汽化。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的汽化，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。

在一定压力下，对水不断加热，水温相应上升，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（见表 1-2）。

表 1-2 饱和蒸汽性质表

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 r
MPa	°C	m ³ /kg		kJ/kg		
0.10	99.64	0.0010432	1.694	417.4	2675.4	2258
0.20	120.23	0.0010605	0.8854	504.8	2706.8	2202
0.30	133.54	0.0010733	0.6057	561.4	2725.4	2164
0.40	143.62	0.0010836	0.4624	604.7	2737.7	2133
0.50	151.84	0.0010927	0.3747	640.1	2749.1	2109
0.60	158.84	0.0011007	0.3156	670.5	2756.5	2086
0.70	164.96	0.0011081	0.2728	697.2	2764.2	2067
0.80	170.42	0.0011149	0.2403	720.9	2768.9	2048
0.90	175.35	0.0011213	0.2149	742.8	2773.8	2031
1.00	179.88	0.0011273	0.1946	762.7	2777.7	2015
1.10	184.05	0.0011331	0.1775	781.1	2781.1	2000
1.20	187.95	0.0011385	0.1633	798.3	2785.3	1987
1.30	191.60	0.0011438	0.1512	814.5	2787.5	1973
1.40	195.04	0.0011490	0.1408	830.0	2790.0	1960
1.50	198.28	0.0011539	0.1317	844.6	2791.6	1947
1.60	201.36	0.0011586	0.1238	858.3	2793.3	1935
1.70	204.30	0.0011632	0.1167	871.6	2794.6	1923
1.80	207.10	0.0011678	0.1104	884.4	2796.4	1912
1.90	209.78	0.0011722	0.1047	896.6	2797.6	1901
2.00	212.37	0.0011766	0.09958	908.5	2799.5	1891
2.50	223.93	0.0011972	0.07993	961.8	2807.8	1840

在压力不变的情况下，对饱和水继续加热，饱和温度保持不变，但饱和水陆续汽化为水蒸气，这种具有饱和温度的水蒸气称为饱和蒸汽。

在压力不变的情况下，对饱和蒸汽继续加热，蒸汽的温度将相应提高，这种温度超过饱和温度的蒸汽称为过热蒸汽。

2. 湿度与干度

通常在锅炉锅筒中出来的饱和蒸汽中存在一定的水分，故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质量的比值称为蒸汽的湿度。湿蒸汽中蒸汽的质量与总质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1kg的饱和蒸汽中含有0.03kg的水和0.97kg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，甚至损坏；对装有过热器的锅炉，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，锅壳锅炉应控制在5%以下。

3. 液体热、汽化热和焓

在一定压力下，使1kg的水从0℃加热到饱和温度所需要的热量，称为液体热；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。

在一定压力下，使1kg的饱和水完全汽化，变成干饱和蒸汽所需要的热量，称为汽化热。汽化热仅增加汽化量，而不提高蒸汽温度。它与压力有关，但压力越高，汽化热就越小。

在一定压力下，使1kg的水从0℃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。饱和水的焓就等于液体热，干饱和蒸汽的焓就等于液体热与汽化热之和。

4. 水蒸气的特性

水蒸气具有良好的膨胀、压缩和载热性能，因此在动力工程和工业部门的生产工艺过程中，水蒸气是应用最广泛的一种介质。

饱和蒸汽离液态（水）较近，为不稳定状态，遇冷即转化为饱和水放出汽化潜热。所以工业上常用饱和蒸汽而较少用过热蒸汽。

过热蒸汽具有较大的能量，且没有水分，常用来推动汽轮机发电。

第四节 锅炉分类概述

一、锅炉发展过程

蒸汽锅炉被人们开始使用至今，已有二百多年的历史。随着社会生产力的不断发展，锅炉结构从最简单的圆球形锅炉开始，经过多次的改革、革新，演变成现在使用中的各种型式。图1-4即表示蒸汽锅炉的发展演变示意图。从图1-4中可以看出，锅炉的演变大体沿着两个方向进行。

一个是“水包火”的方向，受热面的增加是在锅筒内部发展，即在圆筒形锅炉内部增加

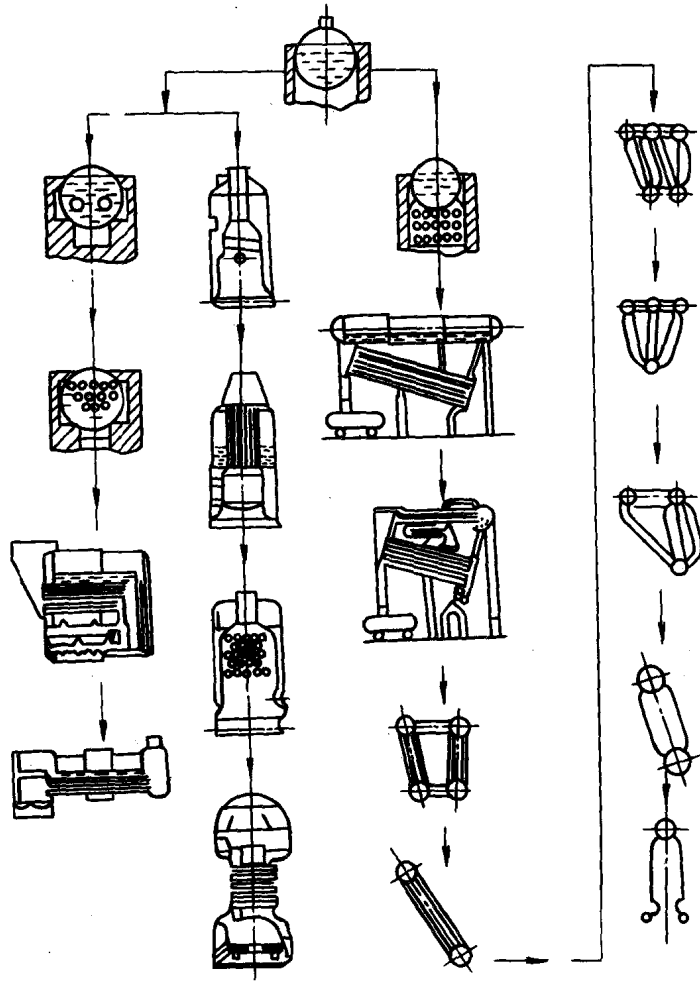


图 1-4 蒸汽锅炉发展示意图

火管或烟管等受热面，使高温烟气在管内流动并放热，水在管外流动，同时吸热汽化。这类锅炉通称为“锅壳式锅炉”，或简称“火管锅炉”。如单火管锅炉、烟管锅炉、烟火管锅炉、立式锅炉等。这类锅炉由于结构简单，维修方便，操作简便，所以目前仍被广泛用于小型工矿企业、饭店、旅馆等行业。

另一个是“火包水”的方向，受热面的增加是在锅筒外部发展，即水和汽在锅筒和水管中循环流动吸收外部热量，火焰和烟气在管外冲刷并放出热量。这类锅炉通称为“水管锅炉”。根据对锅炉传热原理的研究发现，直径越小，传热越强烈，在相同的烟气流速和烟气温度下，水管的传热性能越好，其吸热量比烟管增加约一倍，因而大大提高了锅炉效率，金属耗量也相应降低。所以现在的大容量锅炉都是水管锅炉。

二、锅炉的分类

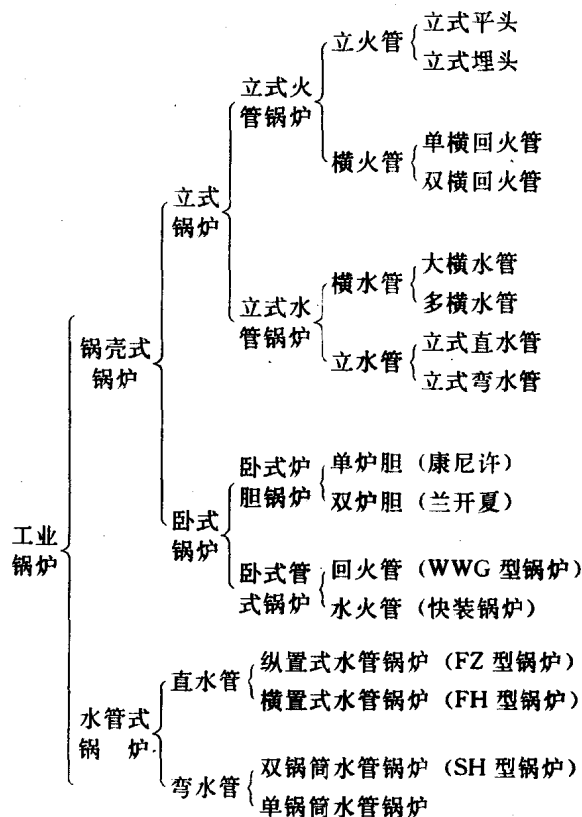
锅炉分类方式很多，一般根据用途、结构、压力、容量、燃烧方式、热能来源及载热工质等来划分（参见表 1-3）。

表 1-3

锅炉分类

分类方式	锅炉类型	简 要 说 明
按用途分类	电站锅炉 工业锅炉 船用锅炉 机车锅炉	用于发电，大多为大容量高参数锅炉，火室燃烧，热效率较高 用于工业生产和采暖，大多为低参数，小容量锅炉，火床燃烧，热效率较低。出口工质为蒸汽的称为蒸汽锅炉，出口工质为热水的称为热水锅炉 用作船舶动力，一般采用低、中参数，大多燃油。要求锅炉体积小，重量轻 用作机车动力，一般为小容量低参数，火床燃烧，以燃煤为主，锅炉设计紧凑
按结构分类	锅壳锅炉 水管锅炉	烟气在火管内流动，一般为小容量低参数锅炉，热效率较低但结构简单，水质要求低，运行维修方便 汽水在管内流动，大小容量、高低参数锅炉均可，电站锅炉一般均为水管锅炉，热效率较高，但对水质要求和运行水平的要求也较高
按锅炉出口工质压力分类	低压锅炉 中压锅炉 高压锅炉 超高压锅炉 亚临界锅炉 超临界锅炉	额定蒸汽压力小于或等于 2.45MPa (25kgf/cm ²) 额定蒸汽压力为 3.0~4.9MPa (30~50kgf/cm ²) 额定蒸汽压力为 7.80~11.0MPa (80~110kgf/cm ²) 额定蒸汽压力为 12.0~15.0MPa (120~150kgf/cm ²) 额定蒸汽压力为 16.0~20.0MPa (160~200kgf/cm ²) 额定蒸汽压力大于 22.1MPa (225.5kgf/cm ²)
按容量分类	小型锅炉 中型锅炉 大型锅炉	蒸发量小于 20t/h 蒸发量等于 20~75t/h 蒸发量大于 75t/h
按燃烧方式分类	火床燃烧锅炉 火室燃烧锅炉 沸腾燃烧锅炉	主要用于工业锅炉，其中包括固定炉排锅炉、链条炉排锅炉、倒转炉排抛煤机锅炉等。燃料主要在炉排上燃烧 主要用于电站锅炉，燃烧液体燃料、气体燃料和煤粉的锅炉都是火室燃烧锅炉。火室燃烧时，燃料主要在炉膛空间悬浮燃烧 送入炉排的空气流速较高，使大粒燃煤在炉排上面的沸腾床中翻腾燃烧，小粒燃煤随空气上升并燃烧，宜燃用劣质燃料
按所用燃料或能源分类	固体燃料锅炉 液体燃料锅炉 气体燃料锅炉 余热锅炉 原子能锅炉 废料锅炉 其它能源锅炉	燃用煤等固体燃料 燃用重油、轻油等液体燃料 燃用天然气、液化石油气、煤气等气体燃料 利用冶金、石油化工等工业的余热作热源 利用核反应堆所释放热能作为燃料的蒸汽发生器 利用垃圾、树皮、废液等废料作为燃料的锅炉 利用地热、太阳能等能源的蒸汽发生器
按载热工质分类	蒸汽锅炉 热水锅炉 有机热载体炉	锅炉提供的载热工质为蒸汽 锅炉提供的载热工质为热水 锅炉提供的载热工质为有机热载体，如导热油等

现除电站锅炉外，将工业锅炉的一般分类简介如下：



第五节 锅炉参数及热效率

一、锅炉参数

锅炉参数是表示锅炉蒸汽产量和质量的指标。蒸汽锅炉的主要参数是额定蒸发量、额定蒸汽压力和额定蒸汽温度。

1. 额定蒸发量

蒸汽锅炉每小时所产生的蒸汽数量，称为这台锅炉的蒸发量，又称为“出力”或“容量”。用符号“ D ”表示，常用的单位是 t/h。

锅炉蒸发量有额定蒸发量、经济蒸发量和最大连续蒸发量之分。

额定蒸发量——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的蒸发量。锅炉产品金属铭牌上标示的蒸发量，就是锅炉的额定蒸发量。

经济蒸发量——蒸汽锅炉在连续运行中，效率达到最高时的蒸发量称为经济蒸发量。经济蒸发量约为额定蒸发量的 75%~80%。

最大连续蒸发量——蒸汽锅炉在额定蒸汽参数、额定给水温度和使用设计燃料长期连续运行时所能达到的最大蒸发量称为最大连续蒸发量。这时锅炉的效率会有所降低，因此应尽量避免锅炉在最大连续蒸发量下运行。