

锅炉压力容器 检测基础知识



无损检测人员考核培训教材

劳动人事出版社

无损检测人员考核培训教材

锅炉压力容器检测基础知识

全国锅炉压力容器无损检测人员
资格鉴定考核委员会组织编写

劳动人事出版社

内 容 提 要

本书是全国锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核委员会组织编写的无损检测人员培训考核的统一教材。内容包括锅炉压力容器基本知识、金属材料及热处理基本知识、焊接基本知识、常规无损检测概述,并收录了锅炉压力容器无损检测的有关规程、标准。本书深入浅出、通俗易懂,对Ⅱ级无损检测人员所必需的基本知识作了全面的讲解。既是无损检测人员培训教材,也是锅炉压力容器无损检测初、中级技术人员的必读课本,还可供质量管理、检查人员学习参考。

锅炉压力容器检测基础知识

全国锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核委员会组织编写

·责任编辑:孙世昌

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 15.5印张 385千字

1989年4月北京第1版 1989年4月北京第1次印刷

印数:15 000册

ISBN7-5045-0333-9/TK·008 定价:6.65元

前 言

为了提高锅炉压力容器无损检测工作质量,保证设备安全运行,原劳动人事部于1987年3月23日颁布了经过修订的《锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核规则》。全国锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核委员会,为了贯彻这一鉴定考核规则,组织编写了一套锅炉压力容器Ⅱ级无损检测人员培训教材,作为培训考核无损检测人员的统一教材。

本书是这套教材中的一本,内容包括锅炉压力容器基本知识、金属材料及热处理基本知识,焊接基本知识、常规无损检测概述,并收录了锅炉压力容器无损检测的有关规程及标准。本书内容准确、深入浅出、通俗易懂,对Ⅱ级无损检测人员所必需的基本知识作了全面的讲解。既是无损检测人员培训教材,也是从事锅炉压力容器无损检测初、中级技术人员的必读课本,还有助于质量管理、检查人员了解无损检测的常识和概况。

本书由全国锅炉压力容器无损检测人员考核委员会组织编写,原稿为江苏省无损检测人员考委会编写的试用本。在此基础上,本书一至三篇由原作者吕隆锦、潘解季同志吸取各个方面的意见作了修订,第四篇无损检测概论由康纪黔同志编写。康纪黔同志并对全书作了审阅。

在这套教材的编写过程中,承蒙各地劳动部门,有关产业部,科研部门及大专院校的大力协作,特此致谢。

全国锅炉压力容器无损检测人员
资格鉴定考核委员会

目 录

第一篇 锅炉压力容器基本知识

第一章 锅炉压力容器概述.....	1
§ 1-1 定义	1
§ 1-2 锅炉压力容器的用途	1
§ 1-3 锅炉压力容器的特点	1
第二章 锅炉容器的基本参数.....	4
§ 2-1 锅炉的特性参数	4
§ 2-2 压力容器的工艺参数	5
第三章 锅炉的工作过程.....	7
§ 3-1 饱和水和水蒸汽的性质	7
§ 3-2 锅炉的组成与工作过程	7
§ 3-3 锅炉水循环	8
第四章 锅炉压力容器的分类.....	10
§ 4-1 锅炉的分类	10
§ 4-2 压力容器的分类	10
§ 4-3 工业锅炉和压力容器产品的型号	11
第五章 锅炉压力容器的结构.....	14
§ 5-1 锅炉结构	14
§ 5-2 压力容器结构	19
第六章 锅炉压力容器的检验.....	22
§ 6-1 制造检验	22
§ 6-2 无损探伤	22
§ 6-3 定期检验	25

第二篇 金属材料及热处理

第七章 金属的机械性能.....	27
§ 7-1 强度与塑性	27
§ 7-2 硬度	30
§ 7-3 韧性	31
§ 7-4 疲劳	32
第八章 金属的结构及铁碳合金.....	33
§ 8-1 铁碳合金的基本组织	33
§ 8-2 铁碳合金状态图	34
第九章 钢的热处理.....	38

§ 9-1 概述	38
§ 9-2 钢在加热及冷却时的组织转变	39
§ 9-3 钢的热处理工艺	42
第十章 碳钢与低合金高强度钢的特点和应用	45
§ 10-1 碳钢	45
§ 10-2 低合金高强度钢	47
§ 10-3 不锈钢	48
§ 10-4 锅炉压力容器用钢的特点和几种常用钢的简介	49

第三篇 焊接基本知识

第十一章 焊接方法简介	51
§ 11-1 概述	51
§ 11-2 锅炉压力容器常用的焊接方法及其特点	51
第十二章 焊接材料及其应用	58
§ 12-1 电焊条分类及其选用	58
§ 12-2 焊丝、焊剂及其选用	60
第十三章 锅炉压力容器用钢的焊接	62
§ 13-1 金属材料的可焊性及其试验方法	62
§ 13-2 焊接接头的组织与性能	63
§ 13-3 低碳钢的焊接	65
§ 13-4 低合金钢的焊接	65
§ 13-5 奥氏体不锈钢的焊接	66
第十四章 锅炉压力容器的焊接缺陷及防止措施	69
§ 14-1 焊接接头的缺陷及防止措施	69
§ 14-2 焊接裂纹及防止措施	70

第四篇 无损检测概论

第十五章 无损检测的目的和任务	73
§ 15-1 无损检测的目的	73
§ 15-2 无损检测应用的特点	74
§ 15-3 无损检测的应用范围	74
§ 15-4 缺陷的种类及其产生原因	76
§ 15-5 缺陷与材料强度的关系	78
§ 15-6 无损检测技术与其他专业的关系	78
§ 15-7 无损检测人员的任务及其培训考核	79
§ 15-8 无损检测技术的发展趋势	80
第十六章 射线照相探伤法	83
§ 16-1 射线的发生及其探伤原理	83
§ 16-2 射线照相探伤设备	87
§ 16-3 射线透照技术	88
§ 16-4 射线照相法的适用范围和特点	91

§ 16-5	射线的安全防护	91
第十七章	超声波探伤法	93
§ 17-1	超声波的发生及其性质	93
§ 17-2	超声波探伤的原理	97
§ 17-3	试块	99
§ 17-4	超声探伤的操作	101
§ 17-5	超声探伤的应用和特点	102
第十八章	磁粉探伤法	104
§ 18-1	什么叫磁粉探伤法	104
§ 18-2	钢铁材料的磁性和磁化	104
§ 18-3	磁化方法	105
§ 18-4	工件的检验方法	107
§ 18-5	磁化电流值的确定和灵敏度试片	107
§ 18-6	磁粉探伤的操作	108
§ 18-7	磁粉探伤的适用范围和特点	109
第十九章	渗透探伤法	110
§ 19-1	什么叫渗透探伤法	110
§ 19-2	渗透探伤方法	111
§ 19-3	渗透探伤的操作	112
§ 19-4	渗透探伤的适用范围和特征	113
§ 19-5	渗透探伤的安全管理	113
第二十章	涡流检测	114
§ 20-1	什么是涡流检测	114
§ 20-2	涡流检测的发展	114
§ 20-3	涡流的产生和检测	114
§ 20-4	探伤操作	116
§ 20-5	涡流探伤的范围	117
§ 20-6	涡流检测的优点	117
第二十一章	容器检漏技术	118
§ 21-1	什么是容器检漏技术	118
§ 21-2	检漏原理和方法	118
§ 21-3	检漏方法的选择要点	120
第二十二章	声发射检测技术	122
§ 22-1	声发射检测的物理基础及原理	122
§ 22-2	声发射检测系统	123
§ 22-3	声发射检测的应用及特点	124
附录1	锅炉压力容器安全监察暂行条例	126
附录2	蒸汽锅炉安全技术监察规程	141
附录3	热水锅炉安全技术监察规程	170

附录4	压力容器安全监察规程	188
附录5	锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核规则	205
附录6	锅炉压力容器Ⅱ级无损检测人员专业培训授课大纲	211
附录7	中华人民共和国机械工业部标准 无损检测名词术语(JB3111-82)	218

第一篇 锅炉压力容器基本知识

第一章 锅炉压力容器概述

§ 1—1 定 义

凡承受流体介质压力的密闭设备称压力容器，如各种气瓶、贮罐、合成塔等。锅炉也是一种压力容器，它是利用燃料燃烧时放出的热量或工业生产中的余热来生产蒸汽或热水的热力设备。生产蒸汽的叫蒸汽锅炉，生产热水的叫热水锅炉。由于锅炉直接受火焰加热，故与其它容器又有所区别，因此，将锅炉从容器范围内划分出来，单独进行安全监督和技术检验。

§ 1—2 锅炉压力容器的用途

锅炉是工业生产和人民生活中广泛应用的重要设备，它可以为工业生产、交通运输和人民生活提供动力和热能。例如：火力发电、炼油、化工、纺织、印染等行业都利用锅炉产生的蒸汽来获得动力或热能；另外，人民生活中的取暖、饮食、洗澡和消毒也都是利用锅炉产生的蒸汽或热水来提供热能的。

压力容器也是工业生产中的常用设备，尤其是在石油、化学等行业具有多工序而连续性生产较强的工业部门中，使用得更为普遍。因为这些部门的生产所涉及的各种化学反应过程在许多场合下，需要在有压力的特定容器中进行或完成。据估计，石油、化学工业部门拥有的压力容器约占压力容器总数的一半，随着科学技术的发展，压力容器在人民生活 and 医疗卫生等方面的应用也越来越普遍。

§ 1—3 锅炉压力容器的特点

锅炉压力容器一旦投入运行，一般都要求连续运行，而不能任意停车，否则，往往会影响到一条生产线、一个厂甚至一个地区的生活和生产，其直接间接经济损失巨大，有时还会造成灾难性的后果。

锅炉压力容器都在承受较高压力的条件下运行，同时锅炉和部分压力容器还在高温下工作，它们的工作条件较一般机械设备恶劣得多。如：锅炉受热面内外广泛接触烟、火、灰、水、汽等物质，这些物质在一定的条件下会对锅炉元件起腐蚀作用，锅炉各受压元件上承受不同的内外压力而产生相应的应力，同时由于各元件的工作温度不同，热胀冷缩程度也不同而产生附加应力。随着负荷和燃烧的变化，这种应力也发生变化，这就容易使一部分承受集中应力的受压元件发生疲劳破坏；依靠锅炉内流动的水汽来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，都可能使高温区的受热面烧损、鼓包、开裂；另外，飞灰造成磨损，渗漏引起腐蚀等都使锅炉设备更易损坏。压力容器的结构虽然简单，但受力情况较复杂，特别是开孔附近和结构不连续处，会引起各种不同的附加应力，有的甚至会引起应力集中；再则，由于工业生产的需要，压力容器内多为易燃易爆、有毒或有腐蚀性的介质，特别是一些高、中压的高温或深冷容器，其配置位置又往往处于生产系统的“心脏”部位，此类设备的潜在危险性更大，一旦损坏，后果不堪设想。

锅炉压力容器还具有爆炸的危险性。锅炉压力容器在使用中发生破裂，使内部压力瞬时降至等于外界大气压力的现象叫爆炸。引起设备爆炸的原因很多，归纳起来有两种：一是内部压力升高，超过允许工作压力，而安全附件失灵，未能及时报警或泄压，致使内部压力继续升高，当该压力超过某一受压元件所能承受的极限压力时，设备便发生爆炸；另一种是在正常工作压力下，由于受压元件本身有缺陷或使用后造成损坏，或钢材衰老而不能承受原来的工作压力时，就可能突然破裂爆炸。

锅炉压力容器一旦发生爆炸，其破坏性很大。据计算，一个容积为 10m^3 ，压力为 0.98MPa (10kgf/cm^2) 的容器，如果盛装空气，爆炸时释放的能量相当于 3.15 公斤TNT炸药的爆炸能量。一台SHL10-13型锅炉爆炸时相当于 100 公斤TNT炸药的爆炸能量。所以这些设备爆炸时破坏性很大，有时还会造成人员的重大伤亡。例如：1979年南阳柴油机厂浴室加热水箱爆炸，冲击波将两侧立墙全部推倒，筒体打穿两堵墙，又将锅炉房后墙撞了一个窟窿，跌落在距原位 17 米处，这起事故造成 44 人死亡， 37 人受伤。又如1979年年底，某煤气公司液化石油气站罐区发生一起恶性球罐爆炸燃烧火灾事故，大火持续 23 小时，烧毁全部建筑和设备，烧死 24 人， 600 多万元财产毁于一炬。

基于锅炉压力容器的上述特点，保证锅炉压力容器的安全运行是至关重要的。一旦发生事故，不仅毁坏设备，破坏生产，造成重大的经济损失，而且会造成人员伤亡和社会不安定，其后果十分严重。因此我国和世界上大多数国家都在政府部门设有专管机构，专门从事这类设备的安全监督和技术检验工作，而且有一套严格的技术监督制度。1982年2月6日国务院发布了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》规定所有承压锅炉和工作压力 $\geq 0.1\text{MPa}$ (1kgf/cm^2) 的压力容器都受国家监察，这些设备的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造单位都必须执行本条例和有关规程。1987年2月17日劳动人事部颁发了《蒸汽锅炉安全技术监察规程》，它适用于承压的以水为介质的固定式锅炉，而不适用于交通运输车、船上的锅炉、用电加热的锅炉和原子能锅炉。1981年5月原国家劳动总局颁发了《压力容器安全监察规程》，该规程适用于同时具备下列三个条件的容器：

(1) 最高工作压力 $P_w \geq 0.1\text{MPa}$ (1kgf/cm^2) (不包括液体静压力)；

(2) 容积 $V \geq 25$ 升，且 $P_w V \geq 19.5$ 升·兆帕 (200 升·公斤力/厘米 2)；

(3) 介质为气体、液化气体和最高工作温度高于标准沸点(指在一个大气压下的沸点)的液体。该规程不适用于核能容器、船舶上的专用容器和直接受火焰加热的容器。另外，原国家劳动总局和劳动人事部还先后颁发了《热水锅炉安全技术监察规程》、《气瓶安全监察规程》、《溶解乙炔气瓶安全监察规程》、《液化石油气汽车槽车安全管理规定》、《锅炉压力容器焊工考试规则》、《锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核规则》、《锅炉压力容器事故报告办法》等法规，国家其它有关部门还先后发布了锅炉压力容器的有关设计规定、强度计算标准、施工验收技术规范等。上述“条例”、“规程”是对锅炉压力容器实行安全监察和技术监督

的法律依据和基本法规，是设计、制造、安装、使用、检验等部门必须遵守的基本要求，其他技术规范和标准在安全技术方面的要求不得低于“条例”和“规程”的要求。几年来的实践证明，认真贯彻“条例”和“规程”，对确保锅炉压力容器的安全运行，保障人民生命财产的安全，促进国民经济的发展都具有重要的意义。

复 习 思 考 题

1. 什么叫压力容器？什么叫锅炉？
2. 为什么要对锅炉压力容器实行国家安全监察？
3. 在锅炉压力容器方面，国家发布了哪些主要法规和标准？
4. 试述《蒸汽锅炉安全监察规程》、《热水锅炉安全技术监察规程》、《压力容器安全监察规程》三者的适用范围？
5. 监察规程和其它规范、标准间的关系如何？

第二章 锅炉压力容器的基本参数

§ 2—1 锅炉的特性参数

锅炉的作用是产生一定数量和质量的蒸汽或热水，其数量用容量来表示，其质量用蒸汽或热水的压力和温度来表示。

一、容量

锅炉容量又称锅炉出力，蒸汽锅炉用蒸发量来表示，热水锅炉用供热量来表示。

锅炉在每小时内产生的蒸汽数量叫蒸发量。常用符号“ D ”表示，单位是“吨/时”。热水锅炉每小时送入系统的热量称为该炉的供热量。常用符号“ Q ”表示，单位是41868焦耳/时（ 10^4 大卡/时）。从对外供给热量的角度来看， $D=1$ 吨/时的蒸汽锅炉相当于 $Q=2512$ 千焦耳/时（ 60×10^4 大卡/时）的热水锅炉。

蒸汽锅炉在每平方米受热面积上每小时能产生蒸汽的数量称为这台锅炉的蒸发率。常用符号“ D/H ”表示，单位是公斤/米²·时。蒸发率是衡量锅炉蒸发性能的一项技术指标，它决定于锅炉结构、燃料品种、燃烧工况和传热效果等因素。一般火管锅炉的平均蒸发率为 $15 \sim 20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ ，水管锅炉的平均蒸发率为 $30 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 以上。

在锅炉上凡是一面和火焰或烟气接触，吸收燃料燃烧时放出的热量，另一面再将热量传给水和蒸汽等介质的钢管或钢板，就称为这台锅炉的受热面。通常以接触火焰或烟气的一面来计算受热面积，常用符号“ H ”表示，单位是米²。锅炉受热面越大，吸热量也越多，其出力也越大。显然，锅炉的蒸发量决定于它的蒸发率和受热面积。

二、蒸气压力

工程上把均匀地垂直作用于单位面积上的力叫压力，物理上称它为压强，单位是帕斯卡（ $1 \text{ 帕斯卡} = 1.02 \times 10^{-5} \text{ 公斤力/厘米}^2$ ）。

锅炉铭牌上标示的压力是锅炉设计工作压力，又称额定工作压力。对有过热器的锅炉是指过热器出口处的蒸汽压力，对无过热器的锅炉是指锅筒内的蒸汽压力，对热水锅炉是指出水阀入口处的热水压力。锅炉内为什么会有压力呢？这是因为蒸汽锅炉内的水吸收热量后，由液态变为气态，其体积增大很多，由于锅炉是密闭容器，这就限制了汽水的自由膨胀，随着炉水不断受热蒸发，锅筒内的蒸汽密度相应增加，压力也随之增大，结果就使锅炉各受压元件受到了汽水压力的作用。热水锅炉的压力绝大多数来源于循环水泵。

测量压力的方法有两种基准，一种是以压力为零（即绝对真空）作为测量起点的，这时测出的压力叫绝对压力；另一种是以大气压力作为测量起点，即压力表上直接读出的压力值，此称表压力。平时我们所说的锅炉压力或介质压力都是指的表压力，但在蒸汽热力特性表中所列的压力值和热工计算中用的压力值都是指绝对压力。

绝对压力 = 表压力 + 1个大气压力

通常我们把低于大气压力的压力叫“负压”，高于大气压力的压力叫“正压”。锅炉炉膛和

烟道往往都处于负压状态。

三、蒸汽温度

标志物体冷热的程度叫温度，通常用温度计来测量它。温度计上所采用的温标有三种，即摄氏温标 ($^{\circ}\text{C}$)、华氏温标 ($^{\circ}\text{F}$)、凯氏温标又叫绝对温标 ($T^{\circ}\text{K}$)。它们之间的换算关系如下：

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.2$$

锅炉额定蒸汽温度是指锅炉输出蒸汽的最高温度，对有过热器的锅炉是指过热器出口处蒸汽的最高温度，对无过热器的锅炉是指额定压力下的饱和蒸汽温度。

§ 2—2 压力容器的工艺参数

工艺参数是进行压力容器结构设计和强度设计的主要依据，工艺参数是由生产的工艺要求确定的，影响压力容器设计的主要工艺参数有压力、温度、介质、直径等。

一、压 力

在各种压力容器设计规范中，经常出现工作压力、最高工作压力和设计压力等概念，它们的意义分别是：

工作压力（也称操作压力）系指容器在正常工艺操作时的压力（不包括液柱压力）。

最高工作压力系指容器在工艺操作过程中所能出现的最高压力（不包括液柱压力）。

设计压力系指在相应设计温度下用以确定容器壳壁壁厚及其元件尺寸的压力。一般情况下取设计压力等于或略高于最高工作压力。

另外，还会遇到公称压力这一概念，所谓公称压力是一种标准化后的压力数值，即把压力范围按等极区分成一定数目的系列，该系列中的各压力值称为公称压力。常用的公称压力有（0.1, 0.245, 0.59, 0.98, 1.57, 2.45, 3.92, 6.28, 9.81, 15.7, 24.5, 31.38兆帕 kgf/cm^2 ）等。

二、温 度

压力容器的设计温度和其内部介质可能达到的温度不是一回事，设计温度是指容器在工作过程中在相应的设计压力下壳壁或元件金属可能达到的最高或最低温度。按设计温度的高低，压力容器可分为：低温容器，常温容器，高温容器。

三、介 质

它是指在容器内贮存或工作的物质。有些介质具有强腐蚀性，在设计选材和考虑腐蚀裕度时应应对介质的性能有清楚的了解。

四、直 径

一般所说容器直径是指其内径，单位多用毫米表示。由于标准化的需要，把容器的直径按尺寸大小排列成一定数目的系列，该系列中的各尺寸称为公称直径，常用符号 D_g 表示。

如 $Dg720$ 即表示容器的公称直径为720mm。在设计和计算容器的直径时，应取用与之相近的公称直径作为容器的直径，以利封头、法兰等零部件的标准化生产。

复 习 参 考 题

1. 锅炉和压力容器各有哪些基本参数？

第三章 锅炉的工作过程

§ 3—1 饱和水和水蒸汽的性质

锅炉中燃料燃烧后放出的热量通过受热面传给水，水的温度逐渐升高，首先在液体表面上部分液体汽化为蒸汽，当水温升到一定值时，液体内部也开始进行汽化，涌现出大量的汽泡，这时水的状态叫沸腾。水沸腾时的温度叫饱和温度（又叫沸点），这时的水叫饱和水，蒸汽叫饱和蒸汽。饱和温度与压力有关，随着压力升高，饱和温度也相应升高，即一定的压力对应一定的饱和温度。例如：一个绝对大气压力下的饱和温度为99.09℃，14个绝对大气压力下的饱和温度为194.13℃。如果保持一定的压力继续加热，则饱和水继续汽化，此时的温度不变，锅筒内的汽和水就处于这种状态。从锅筒内的汽水分离装置中分离出来的饱和蒸汽通常还带有少量的饱和水，这种带有饱和水的蒸汽叫湿饱和蒸汽，不带水的饱和蒸汽叫干饱和蒸汽，在一定的压力下，将干饱和蒸汽继续加热就变成过热蒸汽。

在一定的压力下，使一公斤水从0℃加热到饱和温度所需要的热量称为液体热或显热，单位是千焦耳/公斤。液体热仅用于提高水的温度而不改变水的形态，它与压力有关，压力越高，液体热越大。在一定压力下，一公斤饱和水完全汽化变成相同温度的干饱和蒸汽所需要的热量称为汽化潜热，又称蒸发热，单位是千焦耳/公斤。汽化潜热仅增加汽化量而不提高温度。它也与压力有关，压力越高，汽化潜热越小。在一定压力下，一公斤水从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，其单位也是千焦耳/公斤。饱和水的焓等于液体热，干饱和蒸汽的焓等于液体热与汽化热之和。

§ 3—2 锅炉的组成与工作过程

现以SHL20-13/300型锅炉（图3—1）为例来说明锅炉的组成和工作过程。

这台锅炉由上、下锅筒、对流管束和炉膛四周的水冷壁及过热器组成。尾部受热面配有省煤器和空气预热器，燃烧设备为齿轮传动链条炉排。该锅炉所用的燃料是煤。首先将锅炉用煤在煤场经过筛选、破碎后，由皮带输送机送至锅炉前煤仓，煤仓内的煤通过煤闸板，落到链条炉排上，随着链条的移动，炉排上的煤被送到炉膛燃烧。燃烧所需的空气由送风机抽取锅炉房内温度较高的空气，经过空气预热器吸收一部分烟气余热，提高温度后再分段送到炉排下面，穿过炉排缝隙进入煤层助燃，炉排上的煤经过一定时间即被燃尽而成为灰渣，再通过老鹰铁刮入灰坑，并由出渣机将灰坑内的灰渣除去。燃烧所产生的高温烟气，首先将一部分热量传给水冷壁，然后烟气从炉膛上部经过立式过热器，往后折转于对流管束之间，再进入后烟道，经省煤器和空气预热器进一步放出热量，最后经除尘后被引风机送至烟囱并排入大气。

原水经水处理设备后，水中的杂质及钙、镁离子被除去，变成软水。软水经水泵注入除

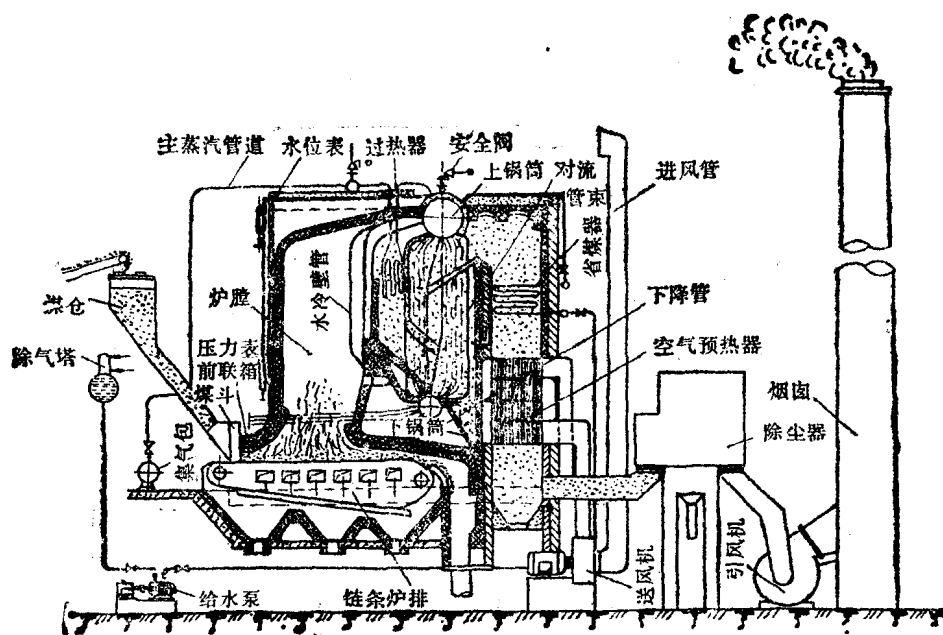


图 3—1 SHL20-13/300 锅炉组成图

氧器除去水中的氧气，经过除氧的水被送到省煤器，吸收部分烟气热量，提高水温后进入上锅筒。上锅筒内的炉水不断地沿着处在烟气温度较低区域的对流管束进入下锅筒，下锅筒的水一部分进入炉膛四周水冷壁的下联箱，另一部分进入烟气温度较高区域的对流管束。进入对流管束的部分炉水受热汽化，汽水混合物升入上锅筒。每个下联箱上接出一排水冷壁管，水在水冷壁管内受热不断汽化，汽水混合物上升至上联箱或直接进入上锅筒。蒸汽经过汽水分离装置由上锅筒离开，经导汽管进入过热器继续受热，变成过热蒸汽，并由出口联箱汇集后，经出汽总管输送到用户。

由上可见，锅炉设备存在着水汽系统、燃料灰渣系统和风烟系统。锅炉运行时同时进行着三个过程，即燃料的燃烧过程、火焰和烟气向水和蒸汽的传热过程、水的加热、汽化、分离和蒸汽的过热即锅内过程。上述三个过程进行得好坏，不仅影响锅炉的蒸发量和经济性，同时也影响锅炉的安全性。

§ 3—3 锅炉水循环

蒸汽锅炉运行时，“锅”内的水实际上总是沿着一定的路线不断地流动，这个路线往往是一个回路，叫做循环回路。水在锅炉循环回路中的流动叫锅炉水循环。水循环的主要作用，是使锅水沿受热面连续不断地流动，把受热面传递的热量及时吸去，不使金属壁温过分升高，保持其应有的强度。此外，水循环还能减少和防止水中泥渣的沉积，使受热面不至被泥渣积附，影响锅水的吸热，从而使壁温提高，引起事故。所以说锅炉水循环对锅炉的安全运

行关系很大。锅炉运行时，必须保证水循环的正常进行。

锅炉水循环有自然循环和强制循环两种。工业锅炉普遍采用自然循环方式。自然循环的原理如下：如图3—2所示，位于炉膛内的水冷壁管，受到高温热辐射，管中的水有一部分汽化，故水冷壁内是汽水混合物，而位于炉膛外的下降管不受热，管内是温度较低的水。由于水冷壁管内汽水混合物的比重 γ_{qs} 比下降管中水的比重 γ_s 为小，于是就产生了一个流动压头 Δp ，这个压头使水沿着下降管向下流动，汽水混合物不断沿水冷壁管向上流动，整个回路在锅炉运行中循环不息。水在对流管束中同样有自然循环，接触烟气温度高的管道吸热多，其中水的比重较小，于是这些管道内的水就向上流动，另外一些吸热少的管道内的水就向下流动，这就形成了水的自然循环。

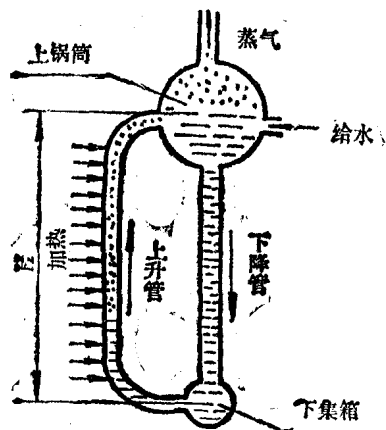


图 3—2 自然循环原理图

自然循环的流动压头 Δp 可用下式表示：

$$\Delta p = H(\gamma_s - \gamma_{qs})$$

式中：H——水循环回路的高度（米）

γ_s ——下降管内水的比重

γ_{qs} ——上升管内汽水混合物的比重

由上式可见，水循环回路高度H越高，上升管受热程度越强，下降管不受热，顺循环流动压头越大。流动压头是用来克服水和汽水混合物在循环回路中流动时的总阻力的。回路的总阻力越小，则产生的循环流速越大，循环回路的工作越可靠。所以必须一方面增加循环流动压头，另一方面减少循环回路中的阻力，才能有良好的水循环工况。强制循环是利用水泵的推动作用，强迫锅水流动的。

复习思考题

1. 锅炉设备有哪几个工作过程？
2. 锅炉水循环有哪几种？如何保证锅炉有良好的水循环？