

锅 炉 压 力 容 器 无 损 检 测 培 训 辅 助 教 材

林 志 宏 石 瑛 编

辽 宁 省 锅 炉 压 力 容 器 无 损 检 测 人
员 资 格 鉴 定 考 核 委 员 会
辽 宁 省 锅 炉 压 力 容 器 无

前 言

锅炉和压力容器是国民经济中的两种特殊设备，因其受压元件容易损坏，又有爆炸危险，所以，使用各种方法和手段保证它们连续安全运行，是非常必要的。无损检测是在不损坏检测对象的前提下，对其有关部分进行探伤的一种物理方法。目前，它已经成为控制锅炉和压力容器设备的质量，保证其安全运行的重要手段，并广泛地应用到原材料、半成品、成品和安装、维修的检查中。但是，无损检测的可靠与准确程度，往往取决于检测人员的技术水平、操作经验和责任心。因此，对无损检测人员进行专业培训和技術资格等级考核，是十分必要的。

根据劳动人事部颁发的《锅炉压力容器无损检测人员资格考核规则》对Ⅱ、Ⅲ级检测人员的技术要求，为了适应培训工作的需要，我们已经编写《射线探伤》、《超声波探伤》、《磁粉探伤》、《渗透探伤》和《涡流探伤》等教材。

作为锅炉和压力容器Ⅰ、Ⅱ级无损检测人员，除了应熟悉本专业无损检测方法和有关装置的基本知识，能够独立进行检测工作外，还应了解锅炉或压力容器，以及金属材料 and 焊接等方面的基本知识。为此，编写了这本辅助教材，以与上述探伤教材配合使用。

本教材由石英同志写成初稿，经林志宏同志修改定稿。在编写过程中，承蒙辽宁省劳动局锅炉压力容器安全监察处指导和协助，谨致衷心感谢。对教材中的缺点和错误，敬请读者批评、指正。

无损检测教材编写组

一九八四年九月二十日

目 录

第一章 锅炉和容器的基本知识

第一节 锅炉和容器的概念	1
一 锅炉和容器的定义	1
二 工作压力	2
三 压力来源	3
第二节 锅炉和容器的应用与分类	5
一 锅炉和容器的应用	5
二 锅炉和容器的分类	6
三 锅炉和容器的型号	9
第三节 锅炉和容器的结构	12
一 立式锅壳锅炉的结构	12
二 卧式锅壳锅炉的结构	15
三 水管锅炉的结构	17
四 容器的结构	19

第二章 金属材料的基本知识和锅炉容器用钢

第一节 金属材料的机械性能	25
一 应力	25
二 拉伸试验	25
三 强度	27
四 塑性	28
五 硬度	30
六 韧性	30

第二节 铁碳合金状态图	31
一 钢铁的基本组织	31
二 铁碳合金状态图分析	34
三 铁碳合金在冷却时的转变	36
四 铁碳合金状态图的实际应用	37
五 钢的热处理	38
第三节 锅炉和容器用钢	40
一 对锅炉和容器用钢的要求	40
二 碳钢	42
三 合金钢	46

第三章 锅炉和容器的焊接

第一节 锅炉和容器的焊接方法	50
一 手工电弧焊	50
二 埋弧自动焊	57
三 氩弧焊	62
四 电渣焊	64
第二节 锅炉和容器用的焊接材料	65
一 焊接冶金过程的特点	65
二 手工电弧焊焊条	66
三 埋弧自动焊焊剂和焊丝	68
第三节 焊接接头	69
一 焊缝对焊接接头的影响	69
二 热影响区对焊接接头的影响	70
三 对焊接接头质量的评价	73
四 焊接接头的基本型式	74

第四节 锅炉和容器钢材的焊接	75
一 金属的焊接性能.....	75
二 锅炉和容器钢材的焊接特点.....	77
第五节 焊接缺陷	78
一 焊接缺陷及原因分析.....	78
二 焊接缺陷的影响及返修.....	85
第六节 对锅炉和容器焊缝的探伤要求	87
一 无损检测.....	87
二 探伤合格标准.....	88
三 对蒸汽锅炉焊缝的探伤规定.....	89
四 对热水锅炉焊缝的探伤规定.....	91
五 对容器焊缝的探伤规定.....	92

第一章 锅炉和容器的基本知识

第一节 锅炉和容器的概念

一、锅炉和容器的定义

所谓压力容器（以下简称容器），从广义上说，应该包括国民经济各行各业和人民生活中，所有承受压力载荷的密闭容器。但是，这样认定的容器，其范围太广泛，数量太大，重点也不突出。事实上，有些容器（如储水塔）相对地说，发生事故的可能性不大，而且事故的危害程度也比较轻，不可能也没有必要加以特殊管理。根据我国《压力容器安全监察规程》的规定，只对同时具备下列三个条件的容器，才列为受国家监督的特种设备。

1. 最高工作压力 (P_w) ≥ 1 公斤力/厘米²（不包括液体静压力，下同）；

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

3. 介质^①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。

锅炉也是一种容器，但它直接受火焰加热，故与其它的容器又有所区别。因此，许多工业发达的国家，都将锅炉从容器范围内划分出来，单独进行监督。根据我国《蒸汽锅炉安全监察规程》和《热水锅炉安全技术监察规程》的规定，

^① 介质指容器内所盛装的，或在容器中参加反应的物质。

对工作压力 ≥ 1 公斤力/厘米²，以水为介质的固定式蒸汽锅炉和额定供热量 $\geq 5 \times 10^4$ 千卡/小时，以水为介质的固定式承压热水锅炉，列为受国家监督的特种设备。

锅炉和容器是生产和生活中广泛使用的、有爆炸危险的特种设备。因此，搞好锅炉和容器的安全监察工作，确保安全运行，对于保障人民生命和财产的安全，促进生产建设事业的发展，有着十分重要的意义。国家授权各级劳动部门对这些设备的设计、制造、安装、使用、检验、修理、改造等各个环节，进行监督检查和综合管理。国务院颁布的《锅炉压力容器安全监察条例》，以及劳动人事部颁发的《蒸汽锅炉安全监察规程》、《热水锅炉安全技术监察规程》和《压力容器安全监察规程》，就是实行安全技术监察和管理的基本法规。此外，《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考核规则》等，都是锅炉和容器的设计、制造、安装、使用、管理和检修等单位必须认真贯彻执行的法規。

二、工作压力

压力是均匀地垂直作用于单位面积上的力。正确的名称应该是压力强度，或简称压强，但在工程应用上习惯称为压力，单位是公斤力/厘米²。

锅炉和容器的工作压力，即是在确保设备安全运行的前提下，所允许的最高使用压力，用符号“P”来表示，单位是公斤力/厘米²（Kg_f/cm²）。所有锅炉和容器的金属铭牌或使用说明书上，都必须标明工作压力（用表压力表示）的数

值，以供使用单位根据实际需要来选用。

锅炉和容器中的压力大小，常用弹簧管式压力表来测量。压力表上指示的数值（称为表压力，即 $P_{表}$ ），并不是作用在锅炉或容器上的真实压力，而是表明锅炉或容器中的压力超过周围大气压力的数，是一个相对的压力值。所以，实际作用在锅炉或容器壁上的真实压力（称为绝对压力，即 $P_{绝}$ ），应该是表压力再加上周围的大气压力。为了简化计算，通常将当时当地的大气压力取近似值为1公斤力/厘米²。即：

$$P_{绝} = P_{表} + 1 \quad (\text{公斤力/厘米}^2)$$

$$\text{或 } P_{表} = P_{绝} - 1 \quad (\text{公斤力/厘米}^2)$$

三、压力来源

蒸汽锅炉是通过燃料燃烧后释放出来的热量，将锅炉内的水加热蒸发，逐渐产生蒸汽的一种设备。由于蒸汽的比容^①比水的比容大得多，例如在1个绝对大气压力下，沸腾水的比容为1.043升/公斤，而饱和蒸汽的比容却为1725升/公斤，也就是说，水变成相同压力的水蒸汽时，体积要增大1650倍。但锅炉是密闭的容器，锅筒的容积是固定不变的，这就限制了汽水的自由膨胀，结果使锅炉受到了汽水作用的压力。随着炉水不断受热蒸发，锅筒内的蒸汽密度^②相应增加，压力也就随之增大。

热水锅炉的压力，绝大多数来源于循环水泵。

容器承受的压力，多数来源于容器之外，少数是在容器

①单位质量的物质所占有的体积，称为比容，单位是升/公斤（1/kg）。

②单位体积的物质所具有的质量，称为密度，单位是公斤/升（kg/l）。

内产生的。

由外界向容器内施加的压力，一般来自于气体压缩机或蒸汽锅炉，通过在容器内压缩气体的体积，也就是增加气体的密度来提高工作压力。

在容器内部产生的气体压力，一般是由于介质的聚集状态发生改变，或者介质在容器内受热后温度剧烈升高，或者是介质在容器内发生体积增大的化学反应。

由于介质的聚集状态发生改变而产生的压力，一般是液态或固态物质在容器内受热（受周围环境温度的影响、受高温物体的加热或容器内其它物料发生放热的化学反应等），因而蒸发或分解为气体，使体积剧烈膨胀；但因受到容器容积的限制，促使气体密度很快增加，即在容器内产生了压力或使原有的压力增高。例如，氢气在 0°C 时的饱和蒸汽压力为4.38绝对大气压，而当温度升至 50°C 时，压力很快升至20.7绝对大气压。有些高分子聚合物，原来是固体，如果在容器内受热“解聚”，变成单分子的气体，也会因体积膨胀而在容器内产生压力。例如聚甲醛（固体）的比容约为0.7升/公斤，当它“解聚”变为甲醛（气体）时的比容为746升/公斤，即体积增大1065倍，这对容器产生的压力也是很大的。

容器内的气体介质，仅因受热而产生压力的情况，一般是少见的。因为，一定质量的气体在体积不变的情况下，温度每升高 1°C ，其压力的增加等于在 0°C 时的压力的 $1/273$ 。所以，气体在容器内温度的小量升高，不会引起压力的明显增加。但是，如果由于某种特殊的原因，使气体在容器内吸收大量的热量，致使温度剧烈升高，则也会产生很大的压力。例如有些盛装容易发生聚合反应的气体容器（如某些碳

氢化合物贮罐)，在合适的条件下，其中单分子气体可以局部发生聚合反应，产生出大量的聚合热，从而使容器内的其它气体受热，温度大幅度上升，压力也随之剧烈增高，甚至导致容器超压爆炸。

容器内的介质由于发生体积增大的化学反应，而产生压力的现象是比较多的。如常见的用碳化钙加水产生乙炔的反应，就是由于乙炔气体的体积增加很大，但在密闭的容器内又受到限制，因而产生了较高的压力。又如在密闭的容器内电解水制取氢和氧时，1米³的水可以分解成1240米³的氢气和620米³的氧气，反应后的气体体积增大近两千倍，所以也能产生极高的压力。

第二节 锅炉和容器的应用与分类

一、锅炉和容器的应用

锅炉是人们经常见到的设备，它在国民经济的各个领域和人民生活当中，都得到了广泛的应用。

在火力发电厂里，应用锅炉产生的蒸汽来驱动汽轮发电机组，输出大量电能；在各行各业单位里，应用锅炉产生的蒸汽来加热、烘干、蒸煮、消毒，或者驱动其它设备；机车、船舶锅炉所产生的蒸汽用于驱动蒸汽动力装置，使火车、轮船行驶；在日常生活中，利用锅炉产生的蒸汽或热水进行炊事、取暖、洗澡等。

容器在工业生产中的应用也极为普遍，尤其是在化学工业中，几乎每一个工艺过程都离不开它，而且在许多单位是生产中的主要设备。例如，用乙烯和水（高压过热蒸汽）制

造乙醇(酒精),需要在70大气压下进行;用氮和氢来合成氨,需要在100~1000大气压下进行。这样,不但反应器本身需要用容器,而且由于这些参与反应的介质,往往先要经过精制、加热或冷却等工艺过程,也都需要用容器来完成。又如,用乙烯气体聚合成固体的聚乙烯,低压法要在35~100大气压下进行,高压法要在1000~2500大气压下进行。因此,制取高分子聚合物的设备,不仅聚合釜(进行聚合的设备)是容器,而且各单体分子在聚合以前的一系列工艺处置过程(储存、精制、加热等)也需要容器。另外,盛装压缩气体和液化气体的设备,如气瓶、液化气体贮罐及槽车等,也都是容器。

容器除了用于工业生产外,还用于基本建设、医疗卫生、地质勘探、文教体育等国民经济的各个部门。

二、锅炉和容器的分类

1、锅炉分类

(1)按安装位置分类:有固定式锅炉、移动式锅炉(如机车、船舶和压道机上的锅炉)两种;

(2)按用途分类:有电站锅炉、工业锅炉、采暖锅炉、机车锅炉和船舶锅炉五种;

(3)按出口介质分类:有蒸汽锅炉和热水锅炉两种;

(4)按压力分类:有高压锅炉(工作压力高于60表压)、中压锅炉(工作压力26~60表压)、低压锅炉(工作压力低于26表压)三种;

(5)按蒸发量^①分类:有大型锅炉(蒸发量大于75吨/时)、中型锅炉(蒸发量20~75吨/时)、小型锅炉(蒸

^①锅炉每小时产生的蒸汽数量,称为蒸发量,用符号“D”来表示,单位是吨/时(t/h)。

发量小于20吨/时)三种;

(6)按结构分类:有火管锅炉、水管锅炉和水火管组合锅炉三种;

(7)按燃料分类:有燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气(天然气、煤气、石油气等)锅炉和原子能锅炉四种;

(8)按燃烧方式分类:有层燃炉、沸腾炉和室燃炉三种。层燃炉又分手烧炉、链条炉排炉、往复炉排炉、双层炉排炉、振动炉排炉和抛煤机炉等多种;

(9)按循环动力分类:有自然循环锅炉、多次强制循环锅炉和直流锅炉三种。

2、容器分类

(1)按壁厚分类:有薄壁容器(壁厚小于内径的十分之一)、厚壁容器两种;

(2)按承压方式分类:有内压容器(壳体内部承压)、外压容器两种;

(3)按壁温分类:有高温容器、常温容器和低温容器三种;

(4)按形状分类:有球形容器、圆筒形容器、圆锥形容器和轮胎形容器四种;

(5)按制造方法分类:有焊接容器、锻造容器、铆接容器、铸造容器和组合式容器五种;

(6)按材质分类:有钢制容器、铸铁容器、有色金属容器和非金属容器四种;

(7)按压力分类:有低压容器($1 \leq P < 16$ 公斤力/厘米²)、中压容器($16 \leq P < 100$ 公斤力/厘米²)、高压容器($100 \leq P < 1000$ 公斤力/厘米²)、超高压容器($P \geq 1000$ 公

公斤/厘米²)四种;

(8)按工艺用途分类:有反应容器(反应器、发生器、反应釜、分解锅、分解塔、聚合釜、高压釜、超高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、蒸球等)、换热容器(废热锅炉①、热交换器、冷却塔、冷凝器、蒸发器、加热器、硫化锅、消毒锅、蒸压釜、蒸煮器、染色器等)、分离容器(分离器、过滤器、集油器、缓冲器、贮能器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔等)、贮运容器(球罐、槽车等)四种,

此外,为了有利于安全技术管理和监督检查,《压力容器安全监察规程》又按照容器的压力高低、介质的危害程度,以及在生产过程中的作用大小,将其适用范围内的容器划分为三类:

(1)属于下列情况之一者为一类容器:

- ①非易燃或无毒介质的低压容器;
- ②易燃或有毒介质的低压分离容器和换热容器。

(2)属于下列情况之一者为二类容器:

- ①中压容器;
- ②剧毒介质的低压容器;
- ③易燃或有毒介质的低压反应容器和贮运容器;
- ④内径小于1米的低压废热锅炉。

(3)属于下列情况之一者为三类容器:

- ①高压、超高压容器;
- ②剧毒介质,且 $P_w \times V \geq 2000$ 升·公斤力/厘米²的低

① 管壳式废热锅炉按容器范围管理,烟道式废热锅炉按锅炉范围管理。

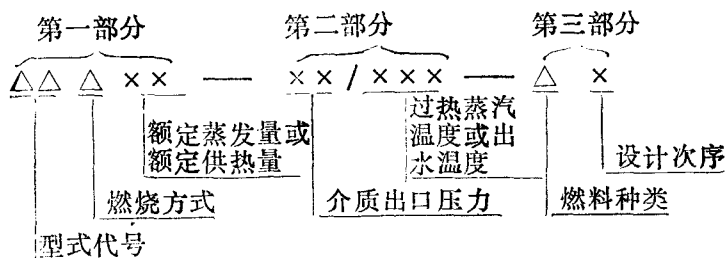
压力容器或剧毒介质的中压容器；

③易燃或有毒介质，且 $P_w \times V \geq 5000$ 升·公斤力/厘米²的中压反应容器，或 $P_w \times V \geq 50000$ 升·公斤力/厘米²的中压贮运容器；

④中压废热锅炉，或内径大于1米的低压废热锅炉。

三、锅炉和容器的型号

工业锅炉（蒸发量不大于65吨/时或介质出口压力不大于25公斤力/厘米²）的型号，是按第一机械工业部制定的《工业锅炉产品型号编制方法》（JB1626）标准执行。每个产品型号均由三部分组成，各部分之间用短横线联接，表示方法如下：



型号的第一部分共分三段，分别表示锅炉型式、燃烧方式和蒸发量。型式代号是用两个汉语拼音字母代表锅炉整体型式，见表（1—1）和表（1—2）；燃烧方式是用一个汉语拼音字母代表，见表（1—3）；蒸发量是用阿拉伯数字表示，单位是吨/时（热水锅炉以额定供热量表示，单位是10⁴千卡/时）。

火管锅炉的整体型式代号

表1—1

整体型式	代号
立式水管	LS (立·水)
立式火管	LH (立·火)
卧式内燃	WN (卧·内)
卧式外燃	WW (卧·外)

水管锅炉的整体型式代号

表1—2

整体型式	代号
单锅筒立式	DL (单·立)
单锅筒纵置式	DZ (单·纵)
单锅筒横置式	DH (单·横)
双锅筒纵置式	SZ (双·纵)
双锅筒横置式	SH (双·横)
纵横锅筒式	ZH (纵·横)
强制循环式	QX (强·循)

锅炉燃烧方式代号

表1—3

燃烧方式	代号	燃烧方式	代号
固定炉排	G (固)	下饲炉排	A (下)
活动手摇炉排	H (活)	往复推动炉排	W (往)
链条炉排	L (链)	沸腾炉	F (沸)
抛煤机	P (抛)	半沸腾炉	B (半)
倒转炉排加抛煤机	D (倒)	室燃炉	S (室)
振动炉排	Z (振)	旋风炉	X (旋)

老标准为了区别水管锅炉快装、组装、散装三种型式，组成KZ(快·纵)、KH(快·横)型式代号，由于这些型式代号不能反映锅炉的结构特点，所以现在不再采用这些型式代号。

型号的第二部分表示介质参数，用阿拉伯数字表示。共分两段，中间用斜线联接。第一段表示介质出口压力，单位是公斤力/厘米²；第二段表示过热蒸汽温度(热水锅炉表示出水温度)，单位是℃。无过热器的锅炉，蒸汽温度为饱和温度，第二部分无斜线和第二段。

型号的第三部分表示燃料种类和设计次序。共分两段，第一段用汉语拼音字母代表燃料种类，见表(1—4)；如同时使用几种燃料，主要燃料代号写在前面；第二段用阿拉伯数字表示设计次序，和第一段顺序书写；原型设计无第二段。

燃 料 种 类 代 号 表1—4

燃 料 种 类	代 号	燃 料 种 类	代 号
无烟煤	W (无)	气	Q (气)
贫 煤	P (贫)	木 柴	M (木)
烟 煤	A (烟)	稻 糠	D (稻)
劣质烟煤	L (劣)	甘蔗渣	G (甘)
褐 煤	H (褐)	煤矸石	S (石)
油	Y (油)		

锅炉型号举例:

1、WNG1—8—A

卧式内燃锅炉, 固定炉排, 蒸发量为1吨/时, 工作压力为8公斤力/厘米², 饱和温度, 燃用烟煤, 原型设计的锅炉。

2、DZL4—13—W2

单锅筒纵置式锅炉, 链条炉排, 蒸发量为4吨/时, 工作压力为13公斤力/厘米², 饱和温度, 燃用无烟煤, 第二次设计的锅炉。

3、SZ S10—13/250—YQ

双锅筒纵置式水管锅炉, 室燃炉燃烧方式, 蒸发量为10吨/时, 工作压力为13公斤力/厘米², 过热蒸汽温度为250℃, 燃烧油和气, 以油为主, 原型设计的锅炉。

4、QX S120—8/130—Y

强制循环热水锅炉, 室燃炉燃烧方式, 出水有效带热量为 120×10^4 千卡/时, 工作压力为8公斤力/厘米², 热水出口温度为130℃, 燃烧油, 原型设计的锅炉。

容器的设计参数和结构型式十分繁杂, 很难统一编制产品型号。目前只能以其名称来表示, 如高压釜、冷凝器、铜洗塔、槽车等。

第三节 锅炉和容器的结构

一、立式锅壳锅炉的结构

立式锅壳锅炉是指锅壳的纵向中心线与地面垂直的锅炉。常用的有立式大横水管锅炉、立式多横水管锅炉、立式平头火管锅炉、立式多横火管锅炉、立式直水管锅炉和立式