

劳动保护技术教材

国家劳动总局主编



锅炉与压力容器安全

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书是有关锅炉和压力容器安全的相关知识读物。

书中概括地设计、制造、使用管理及检验等方面介绍了锅炉和压力容器安全的基本知识,分析了锅炉、压力容器爆炸事故及其危害,可供有关干部、管理人员及初步接触锅炉、压力容器安全工作的同志参阅。

劳动保护技术教材

锅炉与压力容器安全

国家劳动总局 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路430号)

上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.625 字数 98,000

1982年10月第1版 1982年10月第1次印刷

印数 1—51,150

统一书号: 15119·2194 定价: (科三)0.39元

内 部 发 行

前 言

劳动保护是我们社会主义国家和社会主义企业的神圣职责,也是全国一切经济部门和生产企业的头等大事。建国三十二年来,党和政府一直是关怀与重视劳动保护工作的,把它看成是消除生产中不安全和不卫生因素、防止伤亡事故和职业病的发生、保障劳动者安全顺利地完成任务的一项重大措施。

十年内乱,给劳动保护工作带来很大的破坏。自党的十一届三中全会确定工作重点放到经济建设上以后,党的安全生产方针得到了进一步贯彻,劳动保护工作取得了新的成就。

建设四个现代化的社会主义强国,需要有一支宏大的有社会主义觉悟、有科学文化知识、有专业技术和经验的职工队伍。劳动保护是国家经济建设中的一个重要组成部分。为适应经济建设发展的需要,必须发展劳动保护事业。发展劳动保护事业,首先应当壮大劳动保护专业队伍。没有一支专业队伍,所谓加强劳动保护,只能是一句空话。

我局主编出版的一套劳动保护技术教材,计有《劳动保护概论》、《工业通风与防尘》、《工业防毒技术》、《射频频射防护技术》、《噪声控制技术》、《电气安全技术》、《起重安全技术》、《焊接安全技术》、《锅炉与压力容器安全》和《煤矿安全》等十种。这套教材较为详细地阐述了安全技术与工业卫生技术的原理和方法,可供各地区、各工矿企业劳动部门培训劳动保护干部之用;也可供企业单位劳动保护干部和生产管理干部学

习参考,并可作为中等专业学校的劳动保护教材。

由于编写时间仓促,书中恐有错误、不妥之处,敬希读者批评指正,俾在重版时改正。

1981年10月

目 录

前 言

第一章 锅炉与压力容器是一种特殊设备	1
一、锅炉与压力容器在工业生产中的应用	1
二、锅炉与压力容器是比較容易发生破坏事故的特殊设备	3
三、各主要工业国的锅炉与压力容器监督机构以及它们所制 订的规范	7
第二章 工业锅炉及其结构	9
一、锅炉基本知识	9
二、火管锅炉	13
(一)立式火管锅炉	13
1. 立式横水管锅炉	19
2. 立式多横火管锅炉	20
3. 立式弯水管锅炉	22
(二)卧式火管锅炉	23
1. 兰开夏锅炉	23
2. 卧式内燃回火管锅炉	24
三、水管锅炉	26
四、水管锅炉	27
(一)分联箱横锅筒直水管锅炉 (FHL 型)	28
(二)双横锅筒弯水管锅炉 (SHH 型)	29
(三)双横锅筒煤粉锅炉 (SHS 型)	31
第三章 压力容器及其结构	33
一、压力容器	33
二、压力容器的分类	35

(一)固定式容器	35
(二)移动式容器	36
三、压力容器的结构	37
(一)低压容器	39
(二)高压容器	42
(三)气瓶	45
第四章 设计、制造锅炉与压力容器的安全技术要求	48
一、锅炉与压力容器设计	48
(一)对承压部件强度的基本要求	48
1. 有关强度的基本概念	49
2. 主要受压元件的强度计算	52
(二)材料的选用	56
1. 对钢材性能的基本要求	56
2. 常用材料及其使用范围	58
(三)对受压元件结构的基本要求	61
1. 对元件整体结构或结构形状的原则要求	62
2. 有关开孔及开孔结构的要求	63
(四)有关设计管理的规定	64
二、锅炉与压力容器制造	64
(一)锅筒和容器制造的大致过程	64
1. 封头的压制	65
2. 筒身的卷焊	65
3. 筒体总装	66
(二)制造中可能产生的缺陷及其对安全的影响	67
1. 焊接缺陷及其对安全的影响	67
2. 组装成形的缺陷及其对安全的影响	70
3. 焊接残余应力与焊后热处理	72
(三)质量要求与检验	73
1. 表面质量要求	73
2. 焊缝的无损探伤检查与返修	75
3. 产品的检验与验收	78
(四)对制造管理的有关规定	80

第五章 锅炉、压力容器的运行与使用82

一、锅炉的运行82

(一)锅炉的启动与停炉82

1. 启动前的准备83

2. 锅炉启动84

3. 停炉87

(二)锅炉运行中的安全操作要点88

(三)锅炉运行中的常见事故90

1. 锅炉缺水90

2. 锅炉超压90

3. 锅炉满水91

4. 汽水共腾91

5. 炉管爆破92

6. 炉膛爆炸92

7. 二次燃烧92

(四)运行锅炉的检验93

(五)锅炉的停炉保养95

1. 干法保养95

2. 湿法保养95

二、压力容器的使用管理96

(一)容器的操作与维护96

1. 容器的安全操作96

2. 容器的维护99

(二)气瓶的充装与使用101

1. 气瓶充装与使用不当造成的事故101

2. 对充装、使用、运输气瓶的安全技术要求104

三、对使用管理的有关规定105

第六章 锅炉、压力容器安全附件107

一、压力表107

(一)单弹簧管压力表结构及原理107

(二)压力表的选用108

(三)压力表的装设109

(四)压力表的维护和检查	110
二、水位表	111
(一)水位表结构及原理	111
(二)水位表的装设	112
(三)水位表的维护和检查	113
三、安全泄压装置	113
(一)安全阀的作用和原理	113
(二)安全阀的结构型式	114
(三)安全阀的选用	115
(四)安全阀的装设	116
(五)安全阀的维护	117
(六)其它安全泄压装置	117
第七章 锅炉与压力容器的定期检验	121
一、定期检验的重要性	121
二、定期检验的期限和内容	123
(一)检验期限	123
(二)检验主要内容	124
三、定期检验中的安全问题	125
(一)作好检验前的准备工作	125
(二)检验中的安全注意事项	126
第八章 锅炉、压力容器爆炸及其危害	128
一、锅炉爆炸	128
(一)锅炉爆炸能量	128
(二)锅炉爆炸所生成蒸汽的体积	131
二、压缩气体容器爆炸	132
(一)压缩气体膨胀时所释放的能量	132
(二)可燃压缩气体的器外二次爆炸	134
三、液化气体容器爆炸	135
(一)液化气体容器爆炸能量	135
(二)有毒的液化气体容器爆炸时可以形成的毒空气体 积	136
(三)可燃液化气体容器爆炸时的燃烧范围	137

第一章 锅炉与压力容器 是一种特殊设备

锅炉与压力容器是工业生产中的常用设备，又是比较容易发生灾害性事故的特殊设备。要安全生产，顺利地进行社会主义现代化建设，就必须保证锅炉与压力容器的安全运行。

一、锅炉与压力容器在工业生产中的应用

锅炉与压力容器被广泛地应用在工业生产中。可以说，没有一个行业能够离开这种设备。

锅炉是生产水蒸汽的设备。而蒸汽作为动力常常被用来：带动汽轮发电机组发电；推动蒸汽机驱动机车和轮船；推动汽锤进行锻压等。作为热能，它又常常被用于物料的加热、蒸煮、烘干等工艺过程。所以锅炉广泛地用于电力、交通运输、机械制造、化工、轻工、纺织、冶金、医疗卫生等各部门。

压力的应用同样广泛。压缩空气是一种普遍使用的动力，它被用于：带动风动机械和风动工具进行金属加工、矿山开采、挖掘隧道、铆接桥梁；还被用于喷砂、喷漆、搅拌、输送物料以及控制仪表、自动化装置等。特别是煤矿，用压缩空气就更为普遍。因为风动机械在使用中不会产生火花，可以防止瓦斯爆炸。压缩空气主要来源于空气压缩机，压缩机的一套辅助设备，如冷却器、油水分离器、储气罐等都是压力容器。除了使用压缩空气之外，在工业生产中还经常使用各种有压

力的气体，作为生产的原料或辅助材料。如制造农药要用氯气；金属的焊接和气割需要氧气、氢气等。储存或运输这些气体的容器也是压力容器。

有些工业生产的工艺过程需要在较低的温度下进行，例如食品的冷藏或运输、某些化工产品的制备等。要获得持续的低温，就得采用制冷装置。一套制冷装置通常包括好几个压力容器，如冷凝器、蒸发器、冷冻剂储罐等。有些工业生产的工艺过程则需要在较高的温度下进行，因此常常需要用水蒸汽将物料加热。水蒸汽通常是有一定压力的，用它来对物料加热的设备，无论是间接式，如蒸汽夹套、列管加热器；或是直接式，如蒸煮锅、消毒器等都是压力容器。

石油和化学工业生产中所用的设备，很大一部分是压力容器。因为许多化学反应需要在加压的条件下进行，或者要用提高压力的方法来加速它的进行，以提高设备效率。例如，石油的加氢裂化工艺过程需要在70~200个大气压下进行；用氮和氢来制氨，则要在100~1000个大气压下实现。近年来，随着石油化学工业的迅速发展，高分子聚合物的生产不断扩大，而大部分聚合反应都需要在较高的压力下进行。例如用乙烯气体聚合成固体的聚乙烯，高压法聚合需要1000~2500个大气压。在这些产品的生产过程中，不但反应或聚合需要压力容器，而且参与反应的、有压力的介质往往需要经过精制、加热或冷却等，所以要使用很多的压力容器来实现这些过程。

锅炉与压力容器不仅仅用于工业生产，还用于基本建设、医疗卫生、地质勘探、文教体育等国民经济各部门。我们的日常生活也经常须用锅炉与压力容器。例如取暖、消毒等要用锅炉生产的蒸汽；民用的液化石油气瓶就是一种压力容器。

二、锅炉与压力容器是比较容易发生破坏事故的特殊设备

锅炉与压力容器一方面在工业和其它国民经济部门得到广泛的应用,另一方面比较容易发生事故,而且锅炉与压力容器的爆炸具有较大的破坏性,因此,它的安全问题就特别值得重视。在许多工业国家中,锅炉与压力容器都作为一种特殊设备,由专门机构进行监督。并按特定的规范进行制造和使用。

锅炉与压力容器之所以需要进行监督,一是它的事事故率较高,二是事故的破坏性较大。

锅炉与压力容器虽然不象一般转动机器那样容易磨损,也不象高速发动机那样反复变载容易疲劳,但是它们的事事故率还是比较高的。英国原子能局及联合部技术委员会为了摸清压力容器的安全可靠性能,曾组织一个小组,对使用年限在30年以内、符合英国标准的12700台压力容器进行了一次事故情况的调查,结果在100300台·运行年(即容器台数与运行年数的乘积累计)中,记载有132次事故,具体情况如表1-1。

表 1-1 英国调查统计的压力容器事故率

容 器 数	一 般 事 故		重 大 事 故		总 计	
	次数	事 故 率	次数	事 故 率	次数	事 故 率
12700 台 (使用前)	7	5.5×10^{-4}	3	2.8×10^{-4}	10	7.8×10^{-4}
100300 台·运行年 (使用后)	125	12.5×10^{-4}	7	0.7×10^{-4}	132	13.2×10^{-4}

这个统计数字表明,在使用的 10,000 台压力容器中,每年发生的事故要达 13.2 次,其中重大事故 0.7 次。另据报道,英国的原子能容器的事故率更是高得惊人,在 1352 台·运行年中即有 12 次破坏事故,事故率差不多高达 1%。上面所调查的都是一些合乎技术标准的压力容器,如果有粗制滥造的情况,事故率将高到什么程度是可以想象的。

我国的锅炉与压力容器的事故率还缺少正确的统计数字,但从电厂统计的锅炉事故次数来看,估计事故率也是比较高的。应该说,无论是锅炉的设计制造或者运行管理,电厂锅炉一般都比工业锅炉的情况好得多,所以工业锅炉的事故率更高。

为什么锅炉与压力容器的事故率比较高呢?从设备的特性来分析,主要有以下一些原因:

(一)锅炉与压力容器的结构一般都比较简单,但其承压部件的受力情况却是比较复杂的,特别是在开孔附近以及其它一些几何形状发生突变的部位。

(二)锅炉与压力容器的使用条件比较复杂,锅炉直接受火焰加热,温度变化幅度较大,局部地方容易产生过热;压力容器常常承受多种载荷,而且有些还是在高温或深冷的条件下运行。现代的锅炉与压力容器大都是焊接结构,制造过程(特别是焊接)中留下的微小缺陷,在使用中遇到合适的条件(例如温度的变化)就会迅速扩展而突然发生破坏。

(三)与其它设备比较起来,锅炉与压力容器比较容易超载,而且一旦超载会迅速酿成破坏事故。

— (四)锅炉与压力容器易受工作介质的腐蚀,使壁厚减薄或材料机械性能发生变化而造成破坏事故,如锅炉的碱脆破裂,压力容器的晶间腐蚀、应力腐蚀等。

锅炉与压力容器之所以作为一种特殊设备，除了因为它们比较易于发生事故以外，更主要的是它们事故破坏性较大。锅炉与压力容器发生爆炸事故，不但设备被毁坏，而且还常常要破坏周围的设备及建筑物，并造成人身伤亡事故。因为锅炉和压力容器内的介质都是有压力的气体或饱和液体，当锅炉或压力容器破裂时，内部的介质即卸压膨胀，瞬时释放出较大的能量。这些能量可以使整个锅炉或容器，或者是它的碎块以很高的速度飞出，造成人身伤亡。并产生冲击波，在大气中传播，造成更大的破坏。例如1976年4月，河北省某厂发生高压容器爆炸事故，五个小容器全部炸成碎片飞出，碎片最远飞离1500米，一般飞出400~500米。从已回收到的碎片的数量和所占容器重量比来估计，碎片数约达千余块。其中有两块碎片分别飞到另外两个车间，将正在工作的两名工人砸死，另一碎片飞出厂外，把一个拾煤渣的青年的腿炸断。爆炸产生的冲击波使在场的工人几乎全被炸死，距离远的也受到击伤，有的肝脏被震伤，有的耳膜被震坏。

锅炉与压力容器爆炸时，除了产生冲击波和碎片造成伤亡外，工作介质的外溢也常常会造成大量伤亡。因为锅炉与一些压力容器里面盛装的是蒸汽和高温水。爆炸时，由于高温水大量蒸发，设备周围立即被热蒸汽所充满，在场的人员会被烫伤甚至死亡。例如1979年3月，河南省某厂职工浴室的热水箱发生爆炸事故，水箱的一个封头飞出，剩下的筒体和另一个封头向相反方向飞去，打穿两道墙，又将锅炉房的后墙撞了一个大窟窿，跌落在距原地17米处。由于该水箱是密封的，内通入压力为3~4大气压的水蒸汽，所以水箱内实际是压力为3~4大气压的高温饱和水，水箱一爆炸，箱内的部分

水便瞬时蒸发成蒸汽，产生巨大冲击波，把浴室的墙全部冲倒，大梁折断，七间浴室 134 平方米的屋顶全部塌下。同时，整个浴室及其附近全被热蒸汽所笼罩，致使 44 人死亡，37 人重伤。有些压力容器盛装有毒的介质，如液氯、液氨等。这些容器爆炸时，里面的液体也会迅速蒸发，变成有毒的气体，并向四周扩散，造成大量中毒事故。例如 1979 年 9 月，浙江省某电化厂发生氯气瓶爆炸事故，除了产生的冲击波将 400 多平方米的厂房冲倒，并使附近的楼房及 280 多间民房遭到程度不同的破坏以外，约有 10 吨的氯气外溢扩散，附近数公里之内的居民都有程度不同的中毒，共死亡 59 人，中毒住院治疗的 779 人。

有些压力容器的工作介质是可燃的气体或液化气体，这些容器发生爆炸后，里面的可燃介质溢出与大气混合，产生二次爆炸或燃烧等连锁反应，危害就更大。例如 1944 年 10 月，在美国的东俄亥俄州发生了一次液化天然气储罐爆炸火灾事故。开始是一个储罐脆裂，大量气体和液体从罐内喷出，立即着火燃烧，接着引起另一台储罐倒塌和爆炸，造成一片火海。这一次事故死亡 128 人，其它损失达 680 万美元。1964 年 9 月，日本茨木市的一个液化石油气充装站也发生过同样的爆炸着火事故，该站的一辆运油车，往一个 10 吨的储罐卸装液化石油气时，因接头漏气而着火，致使储罐受热，罐内压力升高，最后发生储罐爆炸。大量可燃气和油喷出，并迅速着火燃烧，升起一条 40 米高的大火柱，爆炸冲击波把周围建筑物摧毁，500 米以内的门窗全被破坏。我国也发生过类似事故，1979 年 12 月，吉林省某液化石油储运站，一个容积为 400 米³的液化石油气球形储罐爆炸，引起大火，并导致邻近的另三个储罐和千余个气瓶爆炸，酿成一片火海。

三、各主要工业国的锅炉与压力容器监督机构以及它们所制订的规范

从本世纪初期一些国家发生了几起重大的锅炉与压力容器爆炸事故以后，锅炉与容器的安全问题逐渐引起了人们的注意，许多工业发达国家都先后成立了各种研究机构，从事锅炉与压力容器的科学研究工作并制订有关技术规范。有些国家还设置专门机构负责锅炉与压力容器的安全监督工作。例如在苏联十月革命后不久，即成立苏联国家锅炉及起重运输设备监察委员会，包括监察总局以及各地的锅炉监察机关，从事锅炉与压力容器的安全监察工作，制订技术规范（锅炉监察手册）并监督各部门对规范的执行情况。所有生产用的锅炉与压力容器，在安装投产之前都需要按规定向当地的锅炉监察机关申请登记，并经过技术检验认为合格后方可使用。美国也有专门从事锅炉与压力容器安全监督的官方机构，并颁发了法令性的管理条例。联邦德国也设立有压力容器的监督及检验的权力机关——技术检验协会。这个机构负责监督有关技术规范的执行情况；有关压力容器的官方规范则由压力容器委员会制订。日本的锅炉与压力容器安全监督工作属劳动省管辖，劳动省根据劳动基准法制订有压力容器结构规范等；日本通产省还制订有高压气体管理法规。法国负责压力容器安全监督的权力机关是法国内政部矿业司，该机构除了监督有关技术规范的执行情况外，还负责参与新制压力容器的技术检验工作。其它如罗马尼亚等国也设立有国家和地方的锅炉与压力容器安全监察机构，并制订有法令性的技术规范。

我国也很早就成立了锅炉与压力容器的安全监督专门机构。1958年在劳动部成立了锅炉检查总局，1964年改为劳动

部锅炉监察局，现在是国家劳动总局锅炉压力容器安全监察局。主要负责制订有关锅炉与压力容器的安全监察规程，并监督检查这些规程的执行情况等。

当然，在不同社会制度的国家中，锅炉与压力容器安全监督机构的服务对象与根本目的是不同的。尽管都是安全监督，但在资本主义国家，主要是保护资本家的利益；而在社会主义国家，则是保护劳动人民的安全和健康，保证社会主义建设的顺利进行。

第二章 工业锅炉及其结构

一、锅炉基本知识

锅炉是把燃料的化学能变成热能，再利用热能把水加热成具有一定温度和压力的蒸汽的设备。锅炉也是一种压力容器，只是这种直接受火加热的压力容器在设计结构、材料选用和运行维护等方面都另有一些特殊的要求，所以常常不包括在一般的压力容器的范围内。

顾名思义，锅炉包括两大部分：盛装水、汽的“锅”和进行燃烧加热的“炉”。最原始的锅炉也确实是由一个圆筒形的锅和锅下面烧火用的炉所组成的。后来，随着工业的不断发展，为了提高热效率和蒸汽产量，经过两三个世纪来的一系列改进，锅炉才发展成目前的各种形式，但它基本上还是由锅——锅炉的水、汽受热系统和炉——锅炉的风、煤、烟等加热系统这两个部分构成。

锅炉生产蒸汽的数量用蒸发量——单位时间内产生蒸汽的数量来表示，常用的单位是[吨/时]。锅炉铭牌上标明的蒸发量是锅炉按额定蒸汽参数和给水品质长期运行所能产生的最大蒸发量，叫额定蒸发量。

表示蒸汽工作特性的主要参数是压力和温度。压力的单位是[公斤力/厘米²]（或工程大气压，简称大气压）；温度的单位是[°C]。我们通常用压力表测量压力，压力表上显示的压力实际上是被测压力与大气压力的差值，所以叫表压力，表压力加上大气压力才是真正作用在被测对象上的压力，叫绝对