

YALI RONGQI
ANQUAN JISHU

压力容器 安全技术

刘道华 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

压力容器安全技术

刘道华 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要包括压力容器基础知识、安全性能及安全装置、压力容器定期检验及安全运行管理、气瓶的充装与使用、压力容器事故危害与事故分析。本书理论联系实际,结合国内外发生的大量压力容器事故案例,系统地阐述了压力容器发生各类事故的基本原因,并就容器的设计、制造、运行和检验等各个环节提出了防止事故发生所应采取的对策和具体措施。

本书可供压力容器使用单位的管理人员、操作人员和安全技术人员使用,也可供容器的设计、制造、检验、安全监察及其他有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

压力容器安全技术 / 刘道华编著. —北京: 中国石化出版社, 2009

ISBN 978 - 7 - 80229 - 881 - 1

I. 压… II. 刘… III. 压力容器 - 安全技术 IV. TH490.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 067732 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京密云红光制版公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 19 印张 478 千字

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

定价: 48.00 元

前 言

在化工、炼油、医药等行业中，压力容器几乎成为生产中的主要设备，比较容易发生事故且事故的危害较为严重。压力容器安全是“人命关天的事，一定要慎之又慎，确保万无一失”，“对制造、安装每个环节，都必须进行严格质量检验，不合格产品绝不允许出厂和使用，运行中的设备，也必须进行检查，及时发现和消除隐患，防患于未然”。

本书主要内容包括压力容器基础知识、安全性能及安全装置、压力容器定期检验及安全运行管理、气瓶的充装与使用、压力容器事故危害与事故分析。本书理论联系实际，结合国内外发生的大量压力容器事故案例，系统地阐述了压力容器发生各类事故的基本原因，并就压力容器的设计、制造、运行和检验等各个环节提出了防止事故发生所采取的对策和具体措施。本书可供压力容器使用单位的管理人员、操作人员和安全技术人员使用，也可供压力容器的设计、制造、检验、安全监察及其他有关人员参考。

本书在编写过程中，得到了张克舫、赵延茂以及李国成的大力帮助，在此表示衷心的感谢。

压力容器安全是实用性很强的一门技术，涉及面很广。由于编者的水平和编写时间有限，难免存在不妥甚至不当之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

第一章 压力容器基础知识	(1)
第一节 压力容器概论	(1)
一、压力	(1)
二、压力容器	(2)
三、保证压力容器安全的重要性	(6)
四、压力容器的分类	(9)
五、容器的基本结构	(14)
第二节 压力容器常用材料	(30)
一、钢材基本知识	(30)
二、压力容器常用材料及其性能	(44)
第三节 压力容器力学基础知识	(55)
一、应力和应变	(55)
二、承受内压壳体的应力	(60)
三、容器的边界应力与热应力	(67)
四、压力容器的应力分类与限制	(76)
第二章 压力容器安全性能及安全装置	(83)
第一节 压力容器的断裂模式	(83)
一、延性断裂	(83)
二、脆性断裂	(86)
三、疲劳断裂	(94)
四、应力腐蚀断裂	(100)
五、压力冲击断裂	(110)
六、蠕变断裂	(113)
第二节 容器部件的安全性能	(114)
一、承压部件的强度	(114)
二、承压部件的结构与安全	(125)
三、部件制造质量与安全	(136)
第三节 压力容器安全装置	(148)
一、安全泄压装置概述	(148)
二、安全阀	(157)
三、爆破片装置	(176)
四、其他安全装置	(188)
第三章 压力容器定期检验	(192)
第一节 检验目的与基本要求	(192)

一、压力容器定期检验的目的	(192)
二、检验周期和项目	(193)
三、检验要求	(196)
第二节 常见的缺陷及其检验	(199)
一、腐蚀	(199)
二、裂纹	(202)
三、变形	(205)
四、常用检验方法简介	(206)
第三节 压力容器耐压试验	(210)
一、目的与作用	(211)
二、试验用加压介质	(212)
三、试验温度与试验压力	(214)
四、试验程序与方法	(215)
五、残余变形测定	(216)
六、试验结果的评定	(219)
第四章 压力容器安全运行管理	(220)
第一节 运行	(220)
一、投用	(220)
二、运行的控制	(221)
三、操作的安全注意事项	(223)
四、运行中的主要检查内容	(224)
五、停止运行	(225)
第二节 使用管理	(227)
一、内容与要求	(227)
二、基础管理	(228)
三、安全使用管理制度	(232)
第三节 维护保养	(234)
一、使用期间	(234)
二、停用期间	(235)
第五章 气瓶的充装与使用	(237)
第一节 气瓶的充装	(237)
一、充装前的检查	(238)
二、气瓶的充装量	(240)
三、安全充装	(252)
第二节 气瓶定期技术检验	(256)
一、钢质焊接气瓶的技术检验	(256)
二、液化石油气钢瓶的技术检验	(257)
三、溶解乙炔气瓶的技术检验	(259)
四、无缝气瓶的技术检验	(260)

五、高压气瓶水压试验容积变形的测定及合格标准	(262)
第三节 气瓶使用管理	(271)
一、气瓶的运输和储存	(271)
二、气瓶的安全使用	(273)
第六章 压力容器事故危害与事故分析	(275)
第一节 容器破裂爆炸及其危害	(275)
一、容器的爆破能量	(275)
二、爆炸冲击波及其破坏作用	(278)
三、容器破裂爆炸可能引起的连锁反应	(282)
第二节 容器事故调查分析	(286)
一、传统的容器事故分析方法	(286)
二、系统工程的分析方法	(289)
三、分析程序与分析方案	(292)
四、调查与检测的具体内容	(293)

第一章 压力容器基础知识

第一节 压力容器概论

一、压力

(一) 力和力的单位

1. 力

力是对一个物体的作用，这个作用使物体的运动状态发生改变或使物体的形状发生改变，力是不能离开物体而单独存在的。因此力的大小就不能像长度那样用一个简单的单位来衡量，而只能根据它使物体的运动状态发生改变的程度，或形状发生改变的程度来衡量。而物体形状改变的程度又与它自身的特性有关。即是说，受同样大小的力，不同的物体可以产生不同的形状变化。因此，力的大小一般就只能用使物体的运动状态发生改变的程度来衡量。

2. 力的单位

根据国家规定，我国的法定计量单位采用国际单位制。在国际单位制中，力可用一个具有专门名称的导出单位来衡量，单位名称为牛，用符号 N 表示。它被定义为使质量为 1 千克(kg)的物体产生 1 米每二次方秒(m/s^2)的加速度的力。用国际单位制的基本单位表示，力的单位就是 $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

工程上常用千克力(符号为 kgf)作为力的单位。所谓 1kgf 就是质量为 1kg 的物体在纬度为 45° 的海平面上所受的重力。应该注意，力的单位“kgf”与质量的单位“kg”是完全不同的概念。“kgf”是物体所受的重力，也就是地球对物体的引力。这个力使物体的运动状态发生改变，产生自由落下，其加速度在纬度为 45° 的海平面上之值为 9.80665m/s^2 。所以 1kgf 的大小就是使质量为 1kg 的物体产生 9.80665m/s^2 (简作 9.8m/s^2) 的加速度，或使质量为 9.80665kg 的物体产生 1m/s^2 的加速度。这样，力的国际单位与非国际单位的换算关系即为：

$$1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$$

(二) 压力

物理学中和工程上关于压力的概念是不同的。

在物理学中，压力系指垂直作用在物体表面上的力，而把垂直作用于物体单位面积上的力称为压力强度，简称压强。

工程上的压力概念实质上就是物理学中的压强。即工程上把垂直作用于物体单位面积上的力称为压力，这是一种习惯性叫法。

1. 压力的单位

在了解了力和力的单位以后就可以很容易得到国际单位制和过去习惯用的压力(压强)的单位。在国际单位制中，长度的单位为米(m)，面积的单位为平方米(m^2)，力的单位为牛(N)，所以压力的单位便为牛每平方米(N/m^2)，其专门名称为帕(Pa)。由于这个单位太小，工程上常用它的 10^6 倍，即兆帕(MPa)作为压力的常用单位。即

$$1\text{MPa} = 10^6\text{N/m}^2 = 1\text{N/mm}^2$$

工程上过去习惯用千克力(kgf)作为力的单位,因此常用的压力单位便是千克力/平方厘米(kgf/cm²)。

围绕在地球表面上的空气由于受到地球引力的作用,对在大气里面的一切物体都产生压力,这种压力称作大气压力。在不同的纬度和高度上,地面上大气压力的大小是不同的。在纬度为45°的海平面上(即重力加速度为9.80665m/s²处),大气压力相当于在每平方厘米的面积上作用着1.0332kgf,所以过去也常用这个大气压力之作为压力的常用单位,称作标准大气压或物理大气压,用符号atm表示,而把与此单位及相接近的工程上另一个常用压力单位——kgf/cm²称作工程大气压,用符号at表示。这样,压力的国际单位与非国际单位的换算关系即为:

$$1 \text{ kgf/cm}^2 (\text{at}) = 0.0980665 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ atm} = 0.101325 \text{ MPa}$$

2. 表压力与绝对压力

容器中介质压力的大小常用测量压力的仪表——压力表来计量。压力表上所指示的压力值是指容器内介质的压力与容器周围大气压力之差值,这个压力值就是表压力或计示压力。表压力只是指明容器内的压力比它周围的大气压力高多少,是一个相对的压力值。而实际上流体作用在容器器壁上的压力应该是压力表上所指示的压力再加上容器周围的大气压力,这个绝对真实的压力值即为绝对压力。在工程计算中,特别是热力学、流体力学的有关计算公式中,经常需要采用绝对压力值,只有在有关强度设计或验算时,才用表压力值。绝对压力的表示方法是在压力单位后面加上“绝对”二字,如MPa(绝对)等。这样,如果容器上所设置的压力表的压力单位为MPa,则容器内介质的绝对压力值就应为压力表上所指示的数值加上0.101325(或简略为0.1)MPa的大气压力。

二、 压力容器

(一) 范围的划定及定义

1. 压力容器范围的划定

压力容器,从广义上来说,应该包括所有承受压力载荷的密闭容器。但在工业生产中,承载压力的容器很多,其中只有一部分相对来说比较容易发生事故,且事故的危害性比较大。所以许多工业国家都把这类压力容器作为一种特殊设备,需要由专门机构进行安全监督,并按规定的技术管理规范进行设计、制造和使用。这样的一种作为特殊设备的压力容器,当然要划定一个界限范围,不可能也没有必要将所有承载压力的容器(如像贮水塔那样的设备)都作为特殊设备。在工业上,一般所说的压力容器,就是指这一类作为特殊设备的容器。

压力容器指的是那些比较容易发生事故、特别是事故危害比较大的特殊设备,那么它的界限范围就应该从发生事故的可能性和事故危害的大小来考虑。一般来说,压力容器发生爆炸事故时,其危害的严重程度与容器的工作介质、工作压力及容积等有关。

工作介质是指容器内所盛装的或在容器内参与反应的物质。压力容器爆破时所释放的能量与它的工作介质的物性状态有极大关系,对工作介质是液体的压力容器,由于液体的压缩性很小,因此液体膨胀时的膨胀功也很小,也就是说爆破时所释放的能量很小。而对工作介质是气体的压力容器,则因为气体有很大的压缩性,因而在容器爆破时气体瞬时卸压膨胀所释放的能量也就很大。承载压力和容积都相同的压力容器,则因为气体有很大的压缩性,因

而在容器爆破时气体瞬时卸压膨胀所释放的能量也就很大。承载压力和容积都相同的压力容器，工作介质为气体的要比介质为液体的能量大数百倍至数万倍。例如，一个容积为 10m^3 、工作压力为 1.1MPa (绝对)的压力容器，如果盛装空气，则容器爆破时所释放的能量(即气体膨胀所作之功)均为 $1.4 \times 10^4\text{kJ}$ 。而如果盛装的是水，则容器爆破能量仅为 2.2kJ ，前者约为后者的6000倍。由此可以看出，压力容器的工作介质为液体时，即使容器万一爆破，其破坏性也是比较小的。所以一般都不把这类介质为液体的容器列入作为特殊设备的压力容器范围之内。不过应该注意的是，这里所说的液体，是指常温下的液体，而不包括温度高于其标准沸点(即在标准大气压下的沸点)的饱和液体(如锅炉锅筒中的高温饱和水)以及液化气体(指标准沸点在室温下、经加压液化了的液体)。工作介质为这类高温饱和液体和液化气体的容器仍然属于压力容器的范围。因为这些介质虽然在容器中由于压力较高而绝大部分呈液态(实质上是气、液并存的饱和状态)，但一旦容器破裂，器内压力下降，这些饱和液体中的一部分立即蒸发汽化，体积急剧膨胀，发生“爆沸”(或称气体爆炸)，其所释放出的能量是很大的。工作压力和容积相同的容器，贮存高温饱和液体时的爆破能量要比盛装饱和蒸汽时大得多。所以从工作介质的形态这一方面来考虑划分压力容器的界限范围，它应该包括介质为压缩气体、液化气体和工作温度高于其标准沸点的饱和液体的容器。

划分压力容器的界限，除了考虑工作介质的状态以外，还应考虑容器的工作压力和容积这两个条件。一般来说，工作压力越高，或者容积越大，则容器爆破时气体膨胀所释放的能量也越大，也就是事故的危害性越严重。但压力和容积的划分，并不像工作介质那样有一个比较明显的界限，所以一般都是人为规定一个比较适当的下限值。按照过去的习惯，锅炉作为一种特殊设备，曾规定以 0.7atm (表压)作为下限，当然压力容器也可以沿用这个规定。但一般认为， 0.7atm 也是人为规定，并不是一个特定的参数，故改以 1atm (表压)为其下限值。近年来，又按我国的法定计量单位，取压力容器的压力下限值为 0.1MPa (表压)。至于容器的容积，当然也应该有一个下限，以避免把一些容积很小而盛装有压力的气体的微型容器(如机器或仪表上的附属零件)也作为特殊设备来监督管理。

根据质技监局锅发[1999]154号《压力容器安全技术监察规程》的规定，该规定适用于同时具备下列条件的压力容器：

①最高工作压力(p_w)大于等于 0.1MPa (不含液体静压力，下同)；

②内直径(非圆形截面者指断面最大尺寸)大于等于 0.15m ，且容积(V)大于等于 0.025m^3 ；

③盛装介质为气体、液化气体或最高工作温度高于等于标准沸点的液体。

2. 压力容器的定义

从广义上讲，压力容器是指盛装一定的工作介质，能够承受压力(包括外压和内压)载荷作用的密闭容器。当然，这是一个泛指的概念。应当指出，由于压力容器具有一定的危险性且品种极多，在总结其设计、制造及使用等多方面的经验，以及对其事故分析后，人们认识到，为了安全地使用它，必须对其进行强制性的监督管理，并界定出合理的范围。因此，结合国情，我国的《特种设备安全监察条例》对压力容器作出了以下限制性定义：

“压力容器，是指盛装气体或者液体，承载一定压力的密闭设备，其范围规定为最高工作压力大于或者等于 0.1MPa (表压)，且压力与容积的乘积大于或者等于 $2.5\text{MPa} \cdot \text{L}$ 的气体、液化气体和最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体的固定式容器和移动式容器；盛

装公称工作压力大于或者等于 0.2MPa (表压), 且压力与容积的乘积大于或者等于 1.0MPa·L 的气体、液化气体和标准沸点等于或者低于 60℃ 液体的气瓶; 氧舱等。”

(二) 容器的压力源

容器的压力源可以分为两大类, 一类是气体的压力在容器外产生的; 另一类是气体的压力在容器内产生的。

1. 在容器外产生 (增大) 压力的压源

容器的气体压力产生于器外时, 其压源常见的就是气体压气机或蒸汽锅炉。压气机是使用机械方法来提高气体压力的滑机器。容积性压气机 (有活塞式、螺杆式、转子式及滑片式等) 通过缩小气体的体积, 增加气体的密度来提高气体的压力。速度型压气机 (有离心式、轴流式及混流式等) 则是通过增加气体的流动速度并把气体的动能转变为势能来提高气体压力的。工作介质为压缩气体的压力容器, 其可能达到的最高压力一般也只限于保持压力及出口的气体压力, 除非气体在器内温度大幅度升高或产生其他物理化学变化。蒸汽锅炉是用加热的方法将水蒸发而产生水蒸气的一种设备。蒸汽的比体积 (即单位质量物质所占有的体积) 要比水的比体积大得多, 例如在 0.1MPa (绝对) 的压力下, 饱和水的比体积约为 $0.001\text{m}^3/\text{kg}$, 而饱和蒸汽的比体积则约为 $1.7\text{m}^3/\text{kg}$, 也就是说, 饱和水变为压力相同的水蒸气时, 体积增大了 1700 倍。因为锅炉是密闭的, 锅筒内的容积有限, 随着炉水的不断受热蒸发, 锅筒内的蒸汽密度不断增加, 压力也随之增大。对工作介质为水蒸气的压力容器, 其可能达到的最高压力也只限于锅炉的出汽压力, 在容器的蒸汽进口管上装设减压阀, 并调整减压阀即可得到容器所需的蒸汽压力。

2. 在容器内产生 (增大) 的气体压力

在压力容器内产生的气体压力, 一般是由于器内介质的聚集状态发生改变, 或者介质在器内受热而使温度剧烈升高, 或是介质在器内发生了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 (增大) 压力的, 一般是在液态或固态物质于器内受热 (包括受周围环境温度的影响、受高温物料的加热或器内其他物料发生放热化学反应等) 而蒸发或分解为气体, 使体积剧烈膨胀时。此时又受到容器容积的限制, 于是密度大为增加, 在器内即产生气体压力或使原有的气体压力升高。例如二氧化硫, 如果介质温度低于 -10.1°C (标准沸点), 则它在密闭容器内的压力低于大气压力。而当温度升高至 60°C 时, 器内液态二氧化硫便大量蒸发, 它的饱和蒸汽压力即升高至约 1.1MPa (绝对)。再如氨, 在 0°C 的饱和蒸气压为 0.43MPa (绝对), 当温度为 50°C 时, 压力即升高至 2.03MPa (绝对)。有些高分子聚合物, 本来为固态, 但如果在容器内受热 “解聚” 而变成单分子气体时, 也会因体积膨胀而在器内产生气体压力。例如聚甲醛 (固体) 的比体积约为 $0.007\text{m}^3/\text{kg}$, 当它 “解聚” 变为甲醛 (气体) 时, 它的比体积约为 $0.75\text{m}^3/\text{kg}$ (标准状态下), 即体积增大千余倍。如果在一个密闭的容器内发生这种聚集状态的改变, 则会产生很高的压力。

容器内的气体介质因受热而产生 (增大) 压力的情况, 一般是很少见的。因为根据查理定律, 一定质量的气体在体积不变的情况下, 温度每升高 1°C , 压力的增量为它在 0°C 时压力的 $1/273$ 。所以气体在容器内温度的少量升高不会引起压力的明显增大。但是, 如果由于特殊的原因, 气体在器内吸收大量的热量, 致使温度急剧升高, 则它的压力仍然会显著增大的。如有些盛装易于发生聚合反应的气体 (如某些烃类) 的容器, 在合适的条件下, 单分子气体可能发生聚合反应而产生大量的聚合热, 使器内的其余部分受热, 温度大幅度升高, 压力急剧增大, 有时还会因此而促使容器发生超压爆破事故。国内外都有这类因部分气体聚合

而使容器(或气瓶)发生爆破事故的案例。

容器内由于介质的化学反应而产生气体压力的,一般都是体积增大的反应。最常见的如用碳化钙加水来制造乙炔的反应。固体的碳化钙和液态的水产生化学反应生成乙炔气,体积大为增加,在密闭的容器中就会产生较高的压力。在密闭容器内用电解水来制取氢和氧,也可产生极高的压力。 1m^3 的水可以分解成 1240m^3 的氢气和 620m^3 的氧气,反应后的气体体积比原来水的体积增大了约2000倍。

常用的压力容器,气体压力大多来自器外,大部分容器的工作介质都是各种压缩气体或水蒸气。在器内产生压力的压力容器一般用得较少,但是由于这种容器的压力是在器内产生的,因而危险性较大,对压力控制的要求也应该更严格。

(三) 容器的主要技术参数

压力器的技术参数是它在设计、制造、使用和检验等方面的主要依据。这些参数主要为设计压力、设计温度及公称直径等。

1. 设计压力

压力器的设计压力系指在相应设计温度下用以确定容器壳体壁厚的压力,以及标注在铭牌上的设计压力。

确定容器的设计压力一般应遵循下列原则:

① 容器的设计压力与容器最高工作压力(指在正常操作情况下,容器顶部可能出现的最高压力)的含义并不等同,但设计压力一般取略高于或等于最高工作压力;

② 装设有安全卸压装置的压力容器,其设计压力不得低于安全阀的开启(整定)压力和爆破片装置的爆破压力;

③ 盛装液化气体且无保温装置的压力容器,其设计压力(最高工作压力)不得低于所装液化气体在 50°C 时的饱和蒸汽压力;对有可靠保温设施的,其设计压力不低于试验实测最高温度下的饱和蒸汽压力。

有些已经制成并经过使用的压力容器,有时候也可以根据容器壳体及其他受压元件经实测后的有效厚度来确定其许用压力(最大允许工作压力)。所谓许用压力,系指在设计温度下,容器顶部所允许承受的最大压力。容器的几个受压元件所计算确定的许用压力不相等时,取其中的最小值作为容器的许用压力。使用许用压力(最大允许工作压力)时,应在图样和铭牌中说明。

2. 设计温度

压力器的设计温度系指容器在正常操作情况相应设计温度下,设定壳体的金属温度,亦即指壳体沿截面厚度的平均温度。

确定容器设计温度时,应注意以下几点:

① 对常温或高温操作的容器,其设计温度不得低于壳体金属可能达到的最高金属温度;

② 对 0°C 以下操作的容器,其设计温度不得高于壳体金属可能达到的最低金属温度;

③ 在任何情况下,容器壳体或其他受压元件金属的表面温度不得超过材料的允许使用温度;

④ 安装在室外且器壁无保温装置的容器,壁温受环境温度的影响而可能小于或等于 -20°C 时,其设计温度一般应按容器使用地区历年各月、日最低温度月平均值的最小值来确定其最低设计温度。

3. 公称直径

压力容器的公称直径是指容器零部件标准化系列中选定的壳体直径，用符号 DN 及数字表示，单位为 mm。应该注意的是，焊制的圆筒形容器，公称直径是指它的内径。而用无缝钢管制作的圆筒形容器，公称直径是指它的外径。因为无缝钢管的公称直径不是内径，而是接近而又小于外径的一个数值。为了方便，用无缝钢管作容器筒体时，选它的外径作为容器的公称直径。

三、 保证压力容器安全的重要性

压力容器使用广泛，用途广，且数量大，但比较容易发生事故，且事故的破坏性往往又比较严重，因此它的安全问题就特别值得注意。许多工业国家都把锅炉和压力容器作为一种特殊设备来对待，设有专门机构进行安全监督，并要求严格按照规定的规范进行设计、制造、使用和运行。

(一) 压力容器是工业生产中的常用设备

压力容器作为一种用于有压流体的贮存、运输或者是传热传质的密闭容器，具有各式各样的结构和形状。从小至只有几升容积的瓶或罐，到大至上万立方米的球形容器或高达上百米的塔式容器，在各个工业领域中都得到最广泛的应用。压力容器是工业生产中的常用设备。

压缩空气是一种使用最为普遍的动力源。它可以驱动气锤、风铲、风镐、风动砂轮、铆钉枪等风动机械或风动工具进行金属加工、矿山开采、挖掘隧道及铆接桥梁等。还可以用来喷砂(丸)、喷漆、搅拌、输送物料以及控制仪表及自动化装置等。因此在机械制造、交通运输、建筑、采矿、化工、冶金及国防工业等许多行业部门都有大量使用。特别是煤矿，由于风动机械在使用中不会产生火花，可以防止瓦斯爆炸，因而压缩空气的使用就更为普遍。压缩空气的主要来源是空气压缩机。压缩机的一整套辅助设备，如气体冷却器、油水分离器及贮气罐等都是压力容器。有些对干燥度和清洁度要求比较高的压缩空气，还要有干燥和过滤装置，这些装置也是压力容器。

除了使用压缩空气以外，在工业生产中还经常使用各式各样的气体作为原料或辅助材料。如制造农药要用氯气，金属的焊接和切割需要用氧气、氢气或乙炔气等。这些气体从气体制造厂送到使用单位，除了相距较近的可用管道直接输送外，大部分都用容器装运。而为了提高运输效率和设备利用率，这些气体往往都要经过加压使其成为压缩气体(如氧气、氮气及氢气等)或液化气体(如液氯和液氨等)或溶解气体(如乙炔)。这样，贮运这些压缩气体或液化气体和溶解气体的容器，如气瓶、液化气体贮罐及槽(罐)车等，也都是压力容器。

制冷装置是食品工业、化学工业和其他一些工业用以制造“人造冷”的一种通用设备。因为食品的冷藏运输、某些化工成品或中间产品的制备等需要在较低的温度下进行，而要获得持续的低温就得采用制冷装置。制冷装置是利用制冷压缩机将气态的冷冻剂(最常用的是氨和氟利昂)进行压缩，然后在冷凝器中用水将其冷凝为液体、再把这些液化了的冷冻剂通过调节阀截流降压进入蒸发器。由于液化冷冻剂的压力降低，因而在蒸发器内不断的蒸发并吸取大量的汽化热，使其周围的介质温度降低。蒸发后的冷冻剂再回到压缩机。如此继续循环，在蒸发器中便可以持续获得“人造冷”。制冷装置的多数设备，如冷凝器、蒸发器、液体冷冻剂贮罐等都是压力容器。

与上述的情况相反，有些工业产品的制备需要在较高的温度下进行。因此在生产工艺过

程中常将物料加热，而加热又往往用的是蒸汽，因为它是一种易于获得的热源。饱和蒸汽或过热蒸汽都是有压力的气体，所以用它来对物料进行加热的密闭设备，无论是间接式，如蒸汽夹套、蒸汽列管加热器等；或者是直接式，如蒸煮锅、蒸汽消毒器等都是压力容器。

化工生产中所使用的反应设备大部分也是压力容器。因为有许多化学反应需要在加压的条件下进行，或者需要在比较高的压力下加速反应、提高设备效率。例如，用乙烯和水（高压过热水蒸气）制造乙醇（酒精），就需要在 7MPa 的压力下进行；用氢和氮来制造合成氨，则要在 10 ~ 100MPa 的压力下才能较好地反应。这样，不但是反应器本身需要用压力容器，且由于这些参与反应的有压力的介质往往又都需要经过精制、加热或冷却等，这些工艺过程所用的设备，也都是压力容器。

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。高分子聚合物是由单体分子经过聚合反应而得到的，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聚乙烯，低压法也要在 3.5 ~ 10MPa 的压力下进行，高压法则需要 100 ~ 250MPa。因此制取高分子聚合物的设备往往不仅聚合釜（进行聚合的设备）是压力容器，且这些单体分子在聚合以前的一系列工艺处置过程（贮存、精制及加热等）也需要压力容器。

压力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、文体教育，以至人们日常生活等国民经济各部门。所以要发展国民经济，就需要大量的制造和使用各种压力容器。

（二）压力容器是容易发生破坏事故的特殊设备

压力容器作为一种特殊设备，是要由国家设置专门机构进行安全监督的，其最主要原因还是它的事故发生率要比一般机械设备高，且事故的危害往往又特别严重。

1. 压力容器的事故率

机器设备或装置发生事故的多少，常用设备事故率（或称故障率）来衡量。它是所要调查统计的某一类设备在一定时间内所发生事故次数与设备运行台年（按设备台数与运行年数乘积进行累积）的比值，表示为“次/台年”。例如所要调查统计地区每年运行的容器有 10^6 台，在 10 年内共发生事故 15 次，则该地区的容器事故率即为 $15 / (10 \times 10^6) = 1.5 \times 10^{-6}$ 次/台年。从不同的统计目标出发，压力容器的事故率有时又分为一般事故率、重大事故率和爆炸事故率。国外也有分成“潜在危险的”和“灾难性的”等等。

从各国发表的各种统计资料估计，工业发达国家压力容器总的事故率为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 数量级，爆炸事故率大约为 10^{-5} 数量级。

近 20 年来，我国特种设备安全监察制度日趋完善，法规标准体系初步建立，安全监察机构覆盖全国，检验队伍基本满足工作需要，特种设备检验率不断提高，重特重大事故得到有效遏制，锅炉和压力容器的爆炸事故率从 1979 年的 7.9 起/万台下降到 2000 年 0.5 起/万台（图 1-1）。

2. 事故率高的原因

设备事故率的大小，影响因素较多，也十分复杂。它不但与整个工业领域的各项技术水平有关，而且还与社会与人的因素有关，各国的情况也不尽相同。但从总的情况看，在相同的条件下，压力容器的事故率显然要比其他的一般机械设备高得多。

压力容器大多数是承受静止而比较稳定的载荷，并不像一般转动机械那样容易因过度磨损而失效，也不像高速发动机那样因承受高周反复载荷而容易发生疲劳失效。为什么它事故率比较高呢？

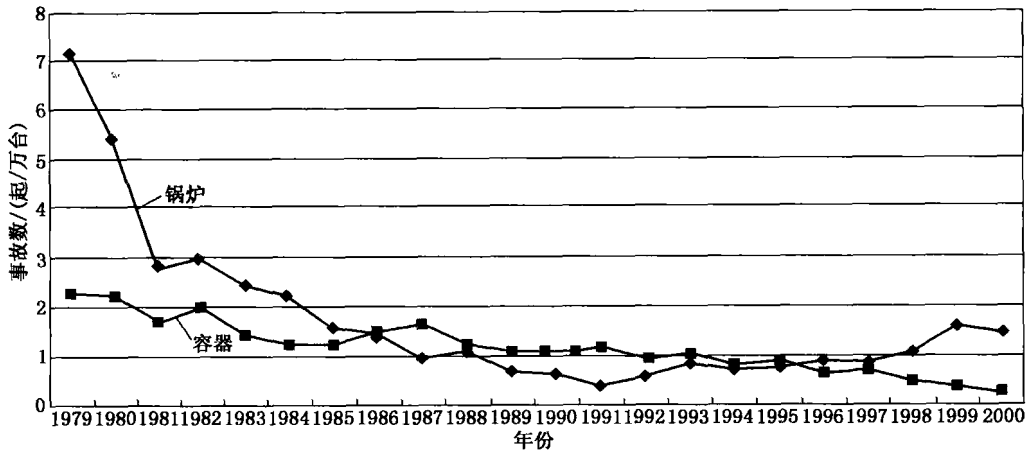


图 1-1 1978 - 2000 年锅炉和压力容器万台爆炸事故率曲线图

从技术条件方面分析,有以下一些主要原因:

(1) 使用条件比较苛刻。压力容器不但承受着大小不同的压力载荷(在有些情况下还是脉动载荷)和其他载荷,而且有的还是在高温或深冷的条件下运行,工作介质又往往具有腐蚀性,工况环境比较恶劣。

(2) 容易超负荷。容器内的压力常常会因操作失误或发生异常反应而迅速升高,而且往往在尚未发现的情况下,容器即已破裂。

(3) 局部应力比较复杂。如在容器开孔周围及其他结构不连续处,常因过高的局部应力和反复的加载卸载而造成疲劳破裂。

(4) 常隐藏着严重缺陷。焊接或锻制的容器,常会在制造时留下微小裂纹等严重缺陷,这些缺陷如在运行中不断扩展,或在适当的条件(如使用温度及工作介质特性等)下都会使容器遭到突然破裂。

在使用管理上存在有章不循及管理混乱无序等也是造成压力容器事故的重要原因,主要有以下五个方面:

(1) 使用不合法。购买一些没有压力容器制造资质工厂生产的设备作为承压设备,并非非法当做压力容器使用,以避免报装、使用注册登记和检验等安全监察管理,留下无穷后患。

(2) 容器虽合法而管理操作不符合要求。企业不配备或缺乏懂得压力容器专业知识和了解国家对压力容器有关法规、标准的技术管理人员。压力容器操作人员未经必要的专业培训和考核,无证上岗,极易造成操作事故。

(3) 压力容器管理处于“四无”状态。即一无安全操作规程,二无压力容器技术档案,三无压力容器持证上岗的操作人员和相关管理人员,四无定期检验管理,以致使压力容器和安全附件处于盲目使用和盲目管理的失控状态。

(4) 擅自改变使用条件,擅自修理改造。经营者无视压力容器安全,为了适应某种工艺的需要而随意改变压力容器用途和使用条件,甚至带“病”操作,违章超负荷超压生产造成严重后果。

(5) 地方政府的安全监察管理部门和相关行政执法部门管理不到位。安全监察管理部门和相关行政执法部门的工作未能适应社会主义市场经济的发展,特别是规模较小、分布广的民营、私营企业的激增,使容器的安全监察管理存在盲区和不到位的现象,助长了

压力容器的违规使用和违规管理。

3. 容器爆炸可能造成的严重破坏

压力容器一旦发生爆炸，不仅仅是设备本身遭到毁坏，且常会破坏周围的设备及建筑物。甚至发生连锁反应，酿成灾难性事故。

压力容器内的介质都是保持有较高压力的气体或液化气体。容器破坏时，这些介质即卸压膨胀，瞬时释放出很大的能量。这些能量产生空气冲击波，使周围的厂房、设备遭到严重的破坏。压力容器爆炸产生的冲击波不但损坏建筑物及设备，还会直接伤人。轻的可以损伤耳膜，重的往往伤及内脏。如有的人因肝脏损伤而昏迷，甚至还会造成粉碎性骨折而死亡。

如果容器是脆性破裂，或者是由于化学反应而发生爆炸，还会产生爆破碎片，特别是化学反应爆炸，常使容器发生粉碎性破裂。大量的碎片飞出而击伤周围的人员或设备。

容器爆破以后，器内介质外泄，还会引起一系列的恶性连锁反应，使事故的危害进一步扩大：如果介质是有毒的气体或液化气体，它向周围迅速扩展后即会造成大面积的毒害区。例如，1979年9月，某电化厂一个容积为415L的液氯瓶发生爆炸，产生的碎片将周围的10个液氯瓶击穿，并引起其中4个装满液氯的气瓶爆炸，约有10200kg的液氯外泄扩散，中毒的范围波及7.35km²，因中毒而死亡数十人，轻伤需住院治疗的达数百人。如果容器内的介质是蒸汽、饱和水或其他高温液体，则会造成严重的烫伤事故。例如，1979年12月，某柴油机厂职工浴室的一个热水罐（直径1.3m，长3.1m）发生爆炸，浴室内数十名职工几乎无一幸免死亡，损失惨重。更为严重的是，若器内介质为可燃气体或液化气体时，容器破裂后可燃介质会大量流出，并与周围的空气混合而产生二次爆炸，并酿成火灾。例如，1978年8月，西班牙一台盛装液化丙烷的汽车槽车，由于充装过量，又在烈日下暴晒，使器内压力剧烈升高，槽车在途中爆炸，车体飞离原地140m，厚度为16mm的壳体碎片飞出300m，大量的丙烷泄出后在空间爆炸燃烧，在半径为200m的地区内形成一片火海，火柱高达30m。爆炸产生的冲击波摧毁了公路旁的14座建筑物和正在路上行驶的100多辆汽车，伤亡150多人，烧伤120多人。1984年11月，墨西哥市培麦克斯公司所属的液化石油气供应中心，6台球形贮罐和48台卧式贮罐接连爆炸，大火持续36h，附近的民宅约1500栋被毁，造成500多人死亡，1000余人下落不明，3万余人流离失所。由于现场工作人员全部遇难死亡，事故原因一直没有查明。近年来，我国也发生过由液化石油气储罐爆破而造成的重大火灾事故，大火持续20多小时，大量建筑物、设备、车辆被烧毁，死亡数十人。

压力容器的事故率虽然较高，事故危害性较大，但也并不是说它事故完全是不可避免的。压力容器安全运行也有它的客观规律，有的压力容器之所以发生事故，造成严重后果，大多数是由于不重视或者无知，违反了它的客观规律而造成的。因此，为了防止压力容器发生事故，保证其安全运行，以保障人民生命财产或国家财产的安全，就必须加强对这种特殊设备的安全管理工作。

四、 压力容器的分类

压力容器的使用极其普遍，结构形式也很多。根据不同的需要，压力容器可以有若干种分类方法。例如，按容器的壁厚分，有薄壁容器（一般是指容器的外径与内径的比值不大于1.2者）和厚壁容器；按壳体承受压力的方式分，有内压力容器（壳体内部受压）和外压力容器；按容器的工作壁温分，有高温容器、中温容器、常温容器和低温容器；按壳体的几何形状分，有球形容器、圆筒形容器、圆锥形容器及轮胎形容器等；按容器的制造方法分，有焊接

容器、锻造容器、铆接容器、铸造容器以及各种组合式容器等；按构造材料分，有钢制容器、铸铁容器、有色金属容器和非金属容器；按容器的安放类型分，有立式容器和卧式容器等等。总之，各种不同的分类方法都是从各个不同需要的角度来考虑的。如按壁厚和承压方式分类，则有利于容器的设计计算，按制造方法和构造材料分类，则对容器的制造管理比较方便。

从使用管理的角度来考虑，常把压力容器分为两大类，即固定式容器和移动式容器。这两类容器由于使用情况不同，对它们的技术管理要求也不完全一样。我国和其他许多国家对这两类容器都分别制订有不同的管理规程或技术标准和规范等。为便于技术管理，每类容器还可以按它的设计和用途等再予细分。

(一) 固定式压力容器

固定式容器是指除了用作运输贮存气液体的盛装容器以外的所有容器，这类容器有固定的安装和使用地点，工艺条件和操作人员也比较固定。容器一般不是单独装设，而使用管道与其他设备相连。固定式容器还可以按它的设计和用途进行分类。

1. 按压力分级

压力是压力容器最主要的一个工作参数。从安全技术方面来看，容器的工作压力越高，发生爆炸事故的危害性就越大。为了便于对压力容器进行分级管理和技术监督，按它的设计压力将固定式容器再分等级是必要的。根据我国《压力容器安全技术监察规程》附件一的规定，压力容器按其设计压力分为低压、中压、高压、超高压4个等级。具体划分如下：设计压力为0.1MPa(表压，下同)至小于1.6MPa的为低压容器(代号L)；压力为1.6MPa至小于10MPa的为中压容器(代号M)；压力为10MPa至小于100MPa的为高压容器(代号H)；压力大于等于100MPa的为超高压容器(代号U)。

固定容器的这种分级方法，虽然是按设计压力来划分的，但也适当考虑了容器的相对壁厚、制造方法和使用行业等方面的条件。如从使用压力容器的工业行业来看，基本化工、机械制造、冶金及采矿等部门使用的压力容器大多是低压容器。中压容器多用于石油化工设备。高压容器目前使用的不太多，除实验装置外，目前国内用作工业生产设备的，大都是高分子聚合设备及人造水晶釜。从相对壁厚及制造方法来看，一般的中压容器都是薄壁容器，大部分使用碳钢板卷焊制成。高压容器因为其比较厚，大多采用各种形式的组装焊接或锻制结构。

2. 按工艺用途分类

固定式压力容器除了按设计压力的大小划分等级外，还可按它的工艺用途进行分类。虽然压力容器在各种工业中的具体用途非常复杂，但是根据它在生产工艺过程中的作用原理(用途)可以归纳为以下4种：即反应压力容器(代号R)、换热压力容器(代号E)、分离压力容器(代号S)和储存压力容器(代号C)。按工艺用途将容器分这4种，可以从它的种类归属大体上能了解容器在生产过程中的主要作用、工艺条件的稳定情况、压力控制的难易以及一旦容器发生爆炸事故可能造成危害的严重程度等，这对于容器的管理和技术监督都是比较便利的。

(1) 反应压力容器

反应容器(代号R)的主要作用是给工作介质提供一个进行化学反应的密闭空间。容器内的压力有的是从容器外部产生的，即工作介质经过加压后进入容器内进行反应。这种反应容器多数是因为介质的反应需要在较高压力的情况下才能很好完成，或者是需要通过增大压