

劳动保护丛书



压力容器

(第二版) 吴粤荣 编著

安全技术

化学工业出版社

劳动保护丛书

压力容器安全技术

(第二版)

吴粤棠 编著

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

压力容器安全技术/吴粤桑编著. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 1993. 11 (1999. 3 重印)

(劳动保护丛书)

ISBN 7-5025-1150-4

I. 压… II. 吴… III. 压力容器-安全技术 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 00130 号

劳动保护丛书

压力容器安全技术

吴粤桑 编著

责任编辑: 林晨虹 张婉如 郭乃铎

封面设计: 宫 历

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 19 1/8 字数 438 千字

1993 年 11 月第 2 版 1999 年 3 月北京第 3 次印刷

印 数: 4901—6900

ISBN 7-5025-1150-4/TQ·672

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

第二版说明

《劳动保护丛书》出版十年来，受到了广大读者的热烈欢迎。为适应当前改革开放的需要，我们对原套丛书做了修订和扩充，进行再版。再版的这套丛书包括：色彩·标志·信号、压力容器安全技术、工业锅炉安全技术、起重搬运安全技术、建筑安全技术、化工安全技术、机械安全技术、焊接安全技术、安全人机工程、噪声控制、劳动保护管理与监察、产品可靠性与安全生产等。

本《丛书》可作为各类劳动保护专业的培训教材，也可供安全工程专业师生和劳动保护监察人员阅读。

第二版前言

压力容器既是工业生产的常用设备，又是容易发生灾难性事故的特殊设备。压力容器安全不但关系着个人的人身安全，也关系着国家的经济建设。因此，压力容器的安全问题一直为人们所关注。

本书自1982年出版以来，作为国内第一部有关压力容器安全的专门论著，受到广大读者的欢迎和厚爱，一再重印出版。近十年来，国内外压力容器技术（包括安全技术）不断发展，国内有关压力容器的规范、标准也在逐步修订完善，还颁布了一些新的国家标准。为适应广大读者的需要，拟确定对初版的《压力容器安全技术》*进行全面的修订和补充。

这次修订在章节上变动不大，仅根据广大读者的要求，增加了“压力容器常用材料”一章；在第八章（原第九章）中加入“气瓶定期技术检验”一节和在第九章（原第十章）中加入“事故调查分析”一节。各章节在内容上则有较大的改动。主要包括：①增加一些与压力容器安全有关的新知识、新技术；②有关技术数据改用新的国际标准与国家标准或作者近期的科研实验数据；③计量单位一律按国家规定改用国际单位制（SI）；④为便于读者学习，书中增加一部分例题，每章后附有练习思考题。

压力容器安全是实用性很强的一门技术，涉及的面很广。由

于作者的知识和水平有限，书中肯定会有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

作 者

1993

内 容 提 要

本书是重新修订的《劳动保护丛书》中的一本。内容主要包括三大部分：压力容器基本知识、安全技术要求和容器事故危害与事故分析。

本书理论联系实际，全书结合国内外近期发生的大量压力容器事故实例，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为防止事故所应采取的对策和具体措施。

本书可作为压力容器操作人员、设备管理人员、技术安全人员、锅炉与压力容器安全监察人员自学或培训读物。也可供压力容器的设计、制造、检验及其它有关人员参考。

目 录

第一章 压力容器概论	1
第一节 压力容器及其安全的重要性	1
一、压力	1
二、压力容器	5
三、保证压力容器安全的重要性	12
第二节 压力容器的分类	19
一、固定式容器	20
二、移动式容器	25
三、按安全的重要程度分类的压力容器	27
第三节 压力容器的基本结构	30
一、容器本体结构	30
二、容器主要附件	40
三、高压容器本体和密封结构	58
四、气瓶	80
练习思考题	83
第二章 压力容器常用材料	85
第一节 钢材基本知识	85
一、钢材的组成与组织	85
二、钢材的性能	91
三、常用钢材的种类及其特性	102
第二节 压力容器常用材料及其性能	113
一、对材料性能的基本要求	113
二、压力容器常用钢材	117
三、化工容器常用材料及其特性	122

练习思考题	137
第三章 压力容器力学基础知识	138
第一节 应力和应变	138
一、有关应力和应变的基本概念	138
二、构件受拉伸或压缩时的应力和变形	140
三、构件弯曲时的应力和变形	145
第二节 承受内压壳体的应力	149
一、薄壁回转壳体的应力分析理论	149
二、常用薄壁壳体的应力	152
三、厚壁圆筒的应力	156
第三节 容器的不连续应力与热应力	162
一、壳体的不连续应力	162
二、容器的热应力	169
第四节 压力容器的应力分类与限制	179
一、压力容器的应力分类	179
二、压力容器设计中各类应力的限制	183
练习思考题	193
第四章 压力容器的破裂模式	194
第一节 延性破裂	194
一、压力容器的变形和延性破裂	195
二、延性破裂的特征	197
三、延性破裂事故的预防	200
第二节 脆性破裂	203
一、容器脆性破裂事例	203
二、钢的冷脆性及其转变温度	207
三、断裂力学关于金属脆性断裂的判据	210
四、脆性破裂的特征	216
五、脆性破裂事故的预防	218
第三节 疲劳破裂	221
一、金属的疲劳	222

二、压力容器的疲劳破裂	227
三、疲劳破裂的特征	230
四、关于防止疲劳破裂的设计问题	232
第四节 应力腐蚀破裂	234
一、钢的腐蚀破坏型式	234
二、应力腐蚀的过程与方式	238
三、压力容器的应力腐蚀及其特征	241
四、防止压力容器应力腐蚀破裂的措施	257
第五节 压力冲击破裂	259
一、压力冲击造成的容器爆炸事例	259
二、压力冲击破裂的类型及其原因	261
三、压力冲击破裂的特征	262
第六节 蠕变破裂	263
练习思考题	266
第五章 容器部件的安全性能	267
第一节 承压部件的强度	267
一、有关强度验算的理论与参数	267
二、承压部件的强度验算	276
第二节 承压部件的结构与安全	288
一、应力集中及其对安全的影响	288
二、压力容器部件常见的应力集中	290
三、部件结构设计要求	303
第三节 部件制造质量与安全	310
一、部件制造过程中可能产生的缺陷	310
二、制造缺陷对容器安全的影响	315
三、工艺要求与允许偏差	324
四、检查与验收	331
练习思考题	337
第六章 压力容器安全装置	338
第一节 安全泄压装置概述	338

一、容器超压及其常见原因	338
二、安全泄压装置	347
三、压力容器的安全泄放量	351
第二节 安全阀	357
一、安全阀的工作特性	357
二、安全阀的基本结构	360
三、安全阀排量的计算	368
四、安全阀的选用、安装与维护	382
第三节 爆破片装置	397
一、爆破片装置在压力容器中的应用	397
二、爆破片装置的型式与特点	399
三、爆破片装置的选用	411
四、爆破片装置的质量要求	414
五、爆破帽	416
第四节 其它安全装置	419
一、压力表	419
二、液位计	424
练习思考题	426
第七章 压力容器定期检验	427
第一节 基本要求	427
一、压力容器定期检验的必要性	427
二、定期检验的周期和项目	431
三、容器检验或检修中的安全注意事项	435
第二节 常见的缺陷及其检验	437
一、腐蚀	437
二、裂纹	443
三、变形	452
四、常用检验方法简介	453
第三节 压力容器耐压试验	462
一、目的与作用	462

二、试验用加压介质	464
三、试验温度与试验压力	468
四、试验程序与方法	471
五、残余变形测定	473
六、试验结果的评定	478
练习思考题	479
第八章 气瓶的充装与使用	481
第一节 气瓶的充装	481
一、充装前的检查	485
二、气瓶的充装量	489
三、安全充装	509
第二节 气瓶定期技术检验	517
一、钢质焊接气瓶的技术检验	518
二、液化石油气钢瓶的技术检验	520
三、溶解乙炔气瓶的技术检验	522
四、无缝气瓶的技术检验	525
五、高压气瓶水压试验容积变形的测定及合格标准	528
第三节 气瓶使用管理	547
一、气瓶的运输和储存	547
二、气瓶的安全使用	550
练习思考题	553
第九章 压力容器事故危害与事故分析	555
第一节 容器破裂爆炸及其危害	555
一、容器的爆破能量	556
二、爆炸冲击波及其破坏作用	562
三、容器破裂爆炸可能引起的连锁反应	569
第二节 容器事故调查分析	576
一、传统的容器事故分析方法	576
二、系统工程的分析方法	583
三、分析程序与分析方案	588

四、调查与检测的具体内容	591
练习思考题	597

第一章 压力容器概论

第一节 压力容器及其安全的重要性

一、压力

均匀地垂直作用于单位面积上的力称为压力。它的正确名称应该是压力强度，或简称压强。因为它是单位面积上的作用力。但在工程上都习惯称作压力。

(一) 力和力的单位

1. 力

力是一个物体的作用，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象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，受同样大小的作用力，不同的物体可以产生程度不同的形状变化。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。它被定义为能使质量为 1 千克 (kg) 的物体产生 1 米/秒² (m/s²) 的加速度的力。用国际单位制的基本单位表示 1，力的单位就是 $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

工程上过去常用千克力 (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

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（符号为 m），面积的单位为米²（m²），力的单位为牛（N），所以压力的单位便为牛/米²（N/m²），其专门名称为帕（符号为 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/厘米²（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/s^2 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

常用这个大气压力值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，而把与此单位极相接近的工程上另一个常用压力单位—— kgf/cm^2 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，如果容器上所装设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 的大气压力值。

3. 气体压力的形成

压力是单位面积上的作用力。固体（或液体）的作用力是由于物体本身的重量作用于支承面上而产生的。在密闭容器中，气体的作用力则与固体不同，它并不产生于气体本身的重量，也不仅仅限于作用在容器的底面，而是遍及容器的整个周壁。气体压力的形成，用分子论来解释就可以很容易理解。

分子论认为，一切物质都是由一种极其微小的粒子构成的，这种微粒叫做分子。构成物质的分子并不是静止不动的，而是永远处在运动状态中。物质的分子也不是紧靠着排列的，在它们之间存在着一定的间隔距离，分子与分子之间的间隔距离越大，分子力就显得越为薄弱。在气体中，分子之间存在很大的间隔，因此分子引力甚小，于是分子在其中就可以不受分子力的约束而作着无规则的运动。在容器中，运动着的气体分子碰撞在器壁上就对器壁产生一个微小的冲击力，它的反作用力又把这个气体分子弹向另一个方向。于是，这个分子就不断地对周围器壁产生冲击力。当然，一个分子的冲击力是很微小的，而且是间断的。但气体中所有的（无数个）分子都是这样不断地频繁地碰撞着周围的器壁，其结果自然就是对器壁产生一个持续而稳定的作用力。虽然每一个气体分子碰撞器壁的方向和作用力都不一定相同，但无数分子的无规则运动，使它们向各个方向碰撞的机会相等。气体分子对器壁任何方向的作用力平均起来也是相等的，而且总的作用力总是垂直地作用于器壁。这样就形成了气体的压力。由此可知，气体压力不仅仅是作用力容器的底面，而是作用于整个周壁。

既然气体的压力是由于气体分子的运动并碰撞着器壁而产生的，则气体压力的大小，亦即在单位面积的器壁上碰撞力的大小，就取决于在单位时间内气体分子对器壁碰撞的次数和每一个分子对器壁冲击力的大小。分子对器壁的冲击力与分子的质量及它的运动速度成正比。对于同一种气体来说，分子的质量是相同的，因此分子对器壁冲击力的大小就只与它的运动速度有关。至于单位时间内碰撞器壁的分子次数，则取决于单位容积内气体的分子数以及分子运动的平均速度。单位容积内的气体分子数越多，则在单位时间内碰撞在器壁上的分子个数也