



压力容器 设计实用手册

王国璋 ■ 编著

Pressure Vessel Design Practical Handbook

中國石化出版社

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

压力容器设计实用手册

王国璋 编著
胡安定 审阅

中国石化出版社

内 容 提 要

本书介绍了压力容器设计应具备的基本知识, 主要内容包括: 容器基本要求、压力容器分类、依据的强度理论、失效准则和破坏形式, 薄壁容器、高压及超高压容器基础理论、结构型式和设计计算, 压力容器开孔补强、密封结构、金属衬里结构、法兰连接、主要零部件型式、结构与计算方法, 压力容器安全附件(安全阀、爆破片等)型式、工作原理、计算方法及安全使用要求; 较详细地介绍了容器及其主要零部件用金属材料(钢、铸铁、有色金属及其合金等)分类、性能和应用等基础知识, 包括压力容器用碳素钢、低合金钢、低合金耐热钢及抗氢钢、低温压力容器用低合金钢、多层压力容器用低合金钢、压力容器用高合金钢及合金(不锈钢、耐热钢、耐蚀及耐热合金), 以及铸铁、铸钢、有色金属及其合金。

本书可供石油化工压力容器和设备技术领域从事设计、设备技术管理、生产运行维护等方面工程技术人员及中高级技工阅读, 也可作为石油化工行业以外的相关部门、企业及高等院校相关专业的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

压力容器设计实用手册/王国璋编著. —北京: 中国石化出版社, 2013. 4
ISBN 978-7-5114-1854-8

I. ①压… II. ①王… III. ①压力容器-设计-技术手册
IV. ①TH490.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 059654 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

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

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 82 印张 1981 千字
2013 年 5 月第 1 版 2013 年 5 月第 1 次印刷
定价: 268.00 元

序

容器及压力容器在国民经济各个部门皆有广泛应用，随着我国经济持续不断发展和科技水平日益提高，对压力容器设计、制造和检验水平也相应提高。现代压力容器技术更具有综合应用多学科先进技术的特点，以适应压力容器单元设备高科技化、复杂化、大型化的发展趋势。因此要求从事压力容器设计、制造、技术管理和使用的专业人员，必须首先掌握其基础设计知识和基础理论，熟悉使用和查阅与其密切相关的技术资料及标准、规范，出色地做好其本职工作。

石油化学工业是我国国民经济的重要组成部分，随着国民经济稳步增长和持续发展，要求石化企业技术水平不断提高，以及与之密切相关的石油化工压力容器设备设计和管理水平同步提高。

石化企业和国民经济其他行业一样，始终是在新老交替、新陈代谢中不断地前进发展。当前，石化企业年轻一代的工程技术人员、技术管理人员、中高级技工等迫切需要在承上启下的技术和管理岗位上，补充更多、更扎实的专业知识和基础理论，除了在生产实践中理论联系实际积累知识财富外，还必须潜心向书本学习，多读一些专业技术书籍。

提高石化企业职工队伍整体技术素质，需要不断造就大量的懂技术、懂管理的专业技术人才。其中，石油化工设备设计、设备技术管理、设备维护和检修是保障企业生产装置“安、稳、长、满、优”运行的关键组成部分之一。《压力容器设计实用手册》一书是编者积数十年从事石油化工设备设计与管理工作体验，以及结合近十年来参与对诸多石化企业生产装置设备安全检查、评定实践中现场了解的情况，针对当前多数在职设备专业技术人员的实际情况，编写出的专业内需要学习和掌握的基础知识，希望能够对读者有所帮助和提高专业技术素质，用以指导实践，解决有关生产问题。

《压力容器设计实用手册》一书详细阐述了容器的基本知识，压力容器强度理论、失效准则、设计计算、强度校核等内容；针对石化企业原油劣质化带来多数生产装置存在的设备腐蚀问题和产品质量升级要求，本着理论与实际相

结合的原则，着重介绍了压力容器在不同工况下，对主体和零部件如何选用材料，同时也对压力容器用碳钢、低合金钢、高合金钢及其他金属材料(铸铁、铸钢、有色金属及其合金)等方面知识作了较详细的介绍和阐述。

《压力容器设计实用手册》一书的发行，将有助于提高广大读者和从业人员有关压力容器专业技术素质，指导生产实践，应对和妥善解决生产中出现的压力容器设备问题，对实现和保障石化企业生产装置安全、平稳、长周期运行将会起到积极作用。

胡安定

前 言

压力容器广泛应用于国民经济各个部门(如炼油、化工、化肥、化纤、冶金、电力、医药、核能、轻工等),我国现代压力容器行业已形成一套关于设计、制造、检验、使用和技术管理的法规标准体系,从事压力容器设计、制造的专业技术人员和技术管理人员应该具备压力容器这些方面的基础知识。

压力容器是石油化工生产领域中设备的重要组成部分,占据相当大的比例,是保障石油化工生产装置、生产辅助装置及其公用工程安全、平稳、长周期运行和国民经济稳步增长、人民生命财产安全的根本保证。随着我国石油化工行业生产和技术的不断发展,压力容器设计、制造及维护等技术水平相应提高,工艺设备的大型化、压力容器结构的不断改进、高参数精心设计以及设备材料、焊接、制造等技术的进步,迫切要求从事石油化工压力容器设计、技术管理和维修等部门的工程技术人员必须具备比较全面的压力容器基础知识,以适应技术发展不断进步的要求。编者根据从事石油化工压力容器设备设计和技术管理工作数十年的体验,以及近十年来参与国内大多数石化企业生产装置设备安全检查、评定的现场了解情况,深深感觉到部分专业人员目前在理论知识和生产实践中要求及时学习掌握压力容器基础知识的必要性和迫切性。

本书在编写过程中,参考了有关石油化工容器及设备、压力容器材料与焊接、石油化工生产装置腐蚀与防护、压力容器安全使用与检验等方面的相关书籍、手册和技术杂志等资料,从基础理论、设计计算、合理选用石油化工压力容器材料等方面进行了详细阐述,并着重参考和引用了国家、石化行业等现行的规程、规范、标准,同时,针对我国石化企业生产装置中多数在用设备仍沿用原先设计的旧规范、旧材料牌号等实际情况,相应地重点列入了原先的标准和规范。

本书编写内容主要涉及石油化工压力容器设备设计、维护检修及工程技术管理等方面的基础理论和知识,全书共分六章。第一章介绍了容器的基础知识,内容包括:容器基本要求、压力容器分类、压力容器强度理论、失效准则和破坏型式,压力容器应力分类及设计方法,压力容器主要设计参数;第二章

较详细地介绍了容器及主要零部件用各类金属材料，内容包括：钢材基本知识，容器用钢的特点与要求，碳钢、低合金钢、高合金钢及耐蚀与耐热合金、压力容器用锻钢、有色金属及其合金以及压力容器零部件用铸铁、铸钢等材料；第三章介绍了薄壁容器，内容包括：薄壁容器基本假设、理论基础、设计计算、容器开孔补强设计方法及计算；第四章介绍了高压容器，内容包括：高压容器在石油化工中的应用、强度设计准则、高压容器壳体及主要受压元件设计计算、开孔补强及各类密封相关计算，以及高压容器用金属材料和金属衬里结构；第五章重点介绍了超高压容器筒体结构型式、主要零部件及密封结构型式，以及超高压容器用钢的基本要求和常用钢种；第六章着重介绍了压力容器用法兰、各种支座结构型式和设计计算，压力容器安全附件(安全阀、爆破片装置等)类型、工作原理、设计计算及安全使用要求，以及压力容器人孔、视镜等分类、结构型式和选用。关于压力容器焊接基础知识，在与本书同期出版的《压力容器焊接实用手册》一书中作了较详细阐述，可供读者参阅。

本书在编写过程中，得到了中国石化出版社、中国石化石家庄炼化分公司、河北都邦石化工程设计有限公司的大力支持，在此表示感谢。河北都邦石化工程设计有限公司刘璟、段新奇、王学军、田甜四位同志参与了本书打字、图表复制、校对等项工作，付出了辛勤劳动。此外，本书编写中参阅了诸多相关教科书、技术丛书、技术手册、专业技术杂志及大量标准、规范，在此诚恳对相关作者、编写人员等一并表示感谢。

由于编者学识水平有限，书中难免有错误和欠妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 容器的基本知识	(1)
第一节 容器概述	(1)
一、概述	(1)
二、容器的基本要求	(6)
三、压力容器分类	(10)
四、压力容器的强度理论、失效准则和破坏形式	(14)
五、应力分类及设计	(23)
六、压力容器标准规范与相关标准	(35)
七、压力容器技术现状与发展趋势	(55)
第二节 压力容器主要设计参数	(62)
一、压力	(62)
二、温度	(65)
三、厚度	(67)
四、载荷	(69)
五、许用应力、安全系数及选用规定	(70)
六、焊接接头系数 ϕ	(73)
第二章 容器用钢及有色金属	(75)
第一节 钢材基本知识	(75)
一、铁 - 碳合金状态图	(75)
二、钢的热处理特性	(80)
三、钢的常用性能指标	(81)
四、金属元素对钢性能的影响	(99)
五、容器用钢的分类	(121)
第二节 容器用钢的特点与要求	(124)
一、对机械性能的要求	(124)
二、对可焊性与冷、热加工性能的要求	(129)
三、对耐腐蚀性能的要求	(132)
四、对冶金质量的要求	(133)
五、对检验项目和试验方法的要求	(140)
第三节 压力容器用碳素钢	(142)
一、概述	(142)
二、压力容器用普通碳素钢	(142)
三、压力容器用优质碳素钢	(144)
四、常用普通碳素结构钢和优质碳素结构钢特性及工艺资料	(147)

五、化学成分对碳素钢性能的影响	(151)
六、低碳钢的时效	(154)
七、压力容器用碳素钢许用应力值	(155)
第四节 压力容器用低合金钢	(155)
一、概述	(155)
二、低合金结构钢	(158)
三、容器用钢	(170)
四、合金结构钢	(174)
五、低合金耐热钢和抗氢钢	(178)
六、低温压力容器用低合金钢	(198)
七、多层压力容器用低合金钢	(210)
第五节 压力容器用高合金钢	(212)
一、概述	(212)
二、高合金不锈钢耐酸钢	(213)
三、高合金耐热钢和耐热合金	(305)
第六节 压力容器用超高强度钢	(330)
一、概述	(330)
二、低合金超高强度钢	(331)
三、中合金超高强度钢	(335)
四、半奥氏体沉淀硬化超强不锈钢(奥氏体-马氏体沉淀硬化不锈钢)	(336)
五、马氏体时效超高强度钢	(336)
六、国内使用的几种低合金超高强度钢特性及工艺资料	(338)
第七节 压力容器锻件用钢及压力容器用棒钢	(341)
一、压力容器锻件用钢	(341)
二、压力容器用棒钢	(353)
第八节 容器用其他金属材料	(359)
一、铸铁	(359)
二、铸钢	(419)
三、有色金属材料	(444)
第三章 薄壁容器	(657)
第一节 基本假设和理论基础	(657)
一、基本假设	(657)
二、旋转薄壳的基础理论	(658)
三、旋转薄壳的边缘问题	(674)
第二节 薄壁内压力容器	(677)
一、内压薄壁圆筒及封头的设计计算	(678)
二、封头的选用	(716)
第三节 容器的开孔补强	(719)
一、开孔应力集中	(720)

二、开孔补强设计	(731)
第四节 薄壁外压容器	(764)
一、外压容器的失稳	(764)
二、外压圆筒稳定性理论计算	(766)
三、外压圆筒与球壳的图算法	(771)
四、不同载荷条件下外压圆筒的稳定计算	(778)
五、外压圆筒加强圈设计、计算	(780)
六、外压封头的计算	(784)
第四章 高压容器	(794)
第一节 概述	(794)
一、高压容器在石油化工中的应用	(794)
二、高压容器范围的划分	(794)
三、高压容器设计的基本要求	(794)
四、高压容器强度设计准则	(797)
第二节 高压容器筒体结构型式	(802)
一、单层筒体高压容器	(802)
二、多层筒体高压容器	(803)
第三节 高压容器零部件	(809)
一、筒体平盖及封头计算	(809)
二、筒体端部法兰设计计算	(814)
三、紧固元件及压紧元件的设计计算	(818)
四、高压容器吊耳、支座	(823)
第四节 高压容器开孔补强设计与计算	(831)
一、容器开孔应力集中和应力集中系数	(831)
二、应力集中系数曲线及其在开孔补强上的应用	(834)
三、开孔补强的设计计算	(836)
第五节 高压容器密封结构	(842)
一、概述	(842)
二、平垫密封	(844)
三、卡扎里密封	(848)
四、双锥密封	(850)
五、伍德式密封(楔形垫组合密封)	(855)
六、N. E. C 式密封(楔形垫密封)	(856)
七、C 形环密封	(858)
八、金属 O 形环密封(空心金属 O 形环密封)	(860)
九、B 形环密封	(867)
十、三角垫密封	(868)
十一、八角垫和椭圆垫密封	(870)

十二、透镜式密封	(878)
十三、平垫自紧式密封	(881)
十四、卡箍连接结构	(882)
十五、其他密封结构及各种密封结构比较	(883)
第六节 高压容器金属衬里结构	(889)
一、高压容器金属衬里设计要求	(889)
二、高压容器金属衬里设计	(891)
第七节 高压容器用材料	(899)
一、高压容器用材选择	(899)
二、高压容器用强度钢	(903)
三、高压容器用抗氢钢及抗氮钢	(905)
第五章 超高压容器	(923)
第一节 概述	(923)
一、超高压容器的发展和应用	(923)
二、超高压容器筒体设计结构和型式发展过程	(924)
第二节 超高压容器筒体结构型式	(925)
一、单层厚壁筒体	(925)
二、多层厚壁筒体	(926)
三、绕丝式筒体	(928)
四、扇形块(剖分块)式筒体	(929)
第三节 超高压圆筒静力强度计算	(930)
一、整体单层圆筒强度计算	(930)
二、多层圆筒强度计算	(934)
三、绕丝式筒体的强度计算	(940)
四、扇形块(剖分块)式筒体的强度计算	(941)
第四节 超高压容器零部件	(942)
一、超高压容器的密封结构	(942)
二、超高压容器端盖及其连接件	(953)
第五节 超高压容器用钢	(960)
一、超高压容器用钢的基本要求	(960)
二、超高压容器用钢的类别	(963)
三、超高压容器常用钢种	(966)
第六章 压力容器零部件	(975)
第一节 法兰	(975)
一、概述	(975)
二、法兰分类	(975)
三、法兰标准	(979)
四、法兰连接的密封	(993)

五、法兰设计计算	(1012)
六、其他类型法兰设计	(1026)
第二节 容器支座	(1034)
一、概述	(1034)
二、裙式支座	(1035)
三、鞍式支座	(1055)
四、球形储罐支座	(1065)
五、耳式支座(悬挂式支座)	(1081)
六、腿式支座	(1091)
七、支承式支座	(1104)
第三节 压力容器安全附件	(1106)
一、概述	(1106)
二、安全阀	(1106)
三、爆破片装置	(1125)
四、液面计和压力表	(1153)
第四节 压力容器其他安全附件	(1187)
一、人孔和手孔	(1187)
二、视镜	(1194)
附录 A	(1206)
A-1 PN2.5 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1206)
A-2 PN6 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1206)
A-3 PN10 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1207)
A-4 PN16 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1207)
A-5 PN25 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1208)
A-6 PN40 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1208)
A-7 PN63 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1209)
A-8 PN100 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1210)
A-9 PN160 钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压)(HG/T 20592—2009)	(1210)
A-10 材料组别为 1.0 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1211)
A-11 材料组别为 1.1 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1211)
A-12 材料组别为 1.2 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1211)
A-13 材料组别为 1.3 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1212)
A-14 材料组别为 1.4 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1213)

A-15	材料组别为 1.9 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1213)
A-16	材料组别为 1.10 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1214)
A-17	材料组别为 1.13 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1215)
A-18	材料组别为 1.15 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1215)
A-19	材料组别为 1.17 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1216)
A-20	材料组别为 2.1 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1217)
A-21	材料组别为 2.2 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1218)
A-22	材料组别为 2.3 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1218)
A-23	材料组别为 2.4 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1219)
A-24	材料组别为 2.5 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1220)
A-25	材料组别为 2.11 的钢制管法兰用材料最大允许工作压力(表压) (HG/T 20615—2009)	(1221)
A-26	公称压力等级属于欧洲体系的钢制管法兰用材料(GB/T 9124—2010)	(1222)
A-27	公称压力等级属于美洲体系的钢制管法兰用材料(GB/T 9124—2010)	(1223)
A-28	PN2.5 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1225)
A-29	PN6 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1226)
A-30	PN10 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1226)
A-31	PN16 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1227)
A-32	PN25 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1228)
A-33	PN40 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1228)
A-34	PN63 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1229)
A-35	PN100 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1230)
A-36	PN160 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1231)
A-37	PN250 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1232)
A-38	PN320 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1233)
A-39	PN400 法兰的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1234)
A-40	用 Class 标记的法兰 1.0 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1235)
A-41	用 Class 标记的法兰 1.1 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	(1235)

A-42	用 Class 标记的法兰 1.2 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1236)
A-43	用 Class 标记的法兰 1.3 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1237)
A-44	用 Class 标记的法兰 1.4 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1238)
A-45	用 Class 标记的法兰 1.9 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1239)
A-46	用 Class 标记的法兰 1.10 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1240)
A-47	用 Class 标记的法兰 1.13 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1240)
A-48	用 Class 标记的法兰 1.14 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1241)
A-49	用 Class 标记的法兰 1.15 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1242)
A-50	用 Class 标记的法兰 1.17 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1243)
A-51	用 Class 标记的法兰 2.10 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1244)
A-52	用 Class 标记的法兰 2.2 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1245)
A-53	用 Class 标记的法兰 2.3 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1247)
A-54	用 Class 标记的法兰 2.4 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1247)
A-55	用 Class 标记的法兰 2.5 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1248)
A-56	用 Class 标记的法兰 2.6 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1250)
A-57	用 Class 标记的法兰 2.7 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1251)
A-58	用 Class 标记的法兰 2.8 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1252)
A-59	用 Class 标记的法兰 2.11 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1252)
A-60	用 Class 标记的法兰 2.11 组材料的压力-温度额定值(GB/T 9124—2010)	····· (1253)
A-61	钢制管法兰材料(JB/T 74—1994)	····· (1254)
A-62	Q235-(A、B、C)、20、25、ZG230-450、16Mn 和 15MnV 法兰压力-温度等级 (JB/T 74—1994)	····· (1255)
A-63	12CrMo 法兰压力-温度等级(JB/T 74—1994)	····· (1255)
A-64	15CrMo、ZG20CrMo 法兰压力-温度等级(JB/T 74—1994)	····· (1256)
A-65	12Cr2Mo1、12Cr1MoV、15Cr1MoV、ZG20CrMoV、ZG15Cr1MoV 法兰压力-温度等级 (JB/T 74—1994)	····· (1257)
A-66	1Cr5Mo 法兰压力-温度等级(JB/T 74—1994)	····· (1257)
A-67	0Cr19Ni9(1Cr18Ni9Ti)、1Cr18Ni9、0Cr18Ni11Nb、ZG1Cr18Ni9、ZG1Cr18Ni9Ti 法兰压力-温度等级(JB/T 74—1994)	····· (1258)
A-68	对应于 $K = D/D_1 = 1.001 \sim 1.580$ 的环板因素(系数 $K、T、Z、Y、U$) (GB 150.3—2011)	····· (1259)
A-69	鞍式支座滑动支座所需螺栓孔长度	····· (1268)
A-70	过热修正系数(GB/T 12241—2005)	····· (1269)
A-71	拱型金属爆破片组件结构特征代号	····· (1272)
A-72	拱型金属爆破片装置夹持器结构特征	····· (1272)
A-73	正拱型金属爆破片组合形式	····· (1272)
A-74	反拱型金属爆破片组合形式	····· (1273)
A-75	石墨爆破片抗腐蚀性能及其适用工况	····· (1273)

A-76	部分常用气体的热力学特性	(1276)
A-77	爆破片气体泄放量(泄放能力)	(1277)
A-78	爆破片液体泄放量(泄放能力)	(1278)
A-79	密封膜材料的适用温度范围	(1279)
A-80	爆破片材料允许最高使用温度	(1279)
A-81	平板开缝型爆破片在 20℃ 下的设计爆破压力范围	(1280)
A-82	平板普通型爆破片在 20℃ 下的设计爆破压力范围	(1280)
A-83	平板带槽型爆破片在 20℃ 下的设计爆破压力范围	(1281)
A-84	石墨型爆破片在 20℃ 下的设计爆破压力范围	(1281)
A-85	钢制人、手孔的类型(HG/T 21514—2005)	(1282)
附录 B	(1290)
图 B-1	空气的压缩系数	(1290)
图 B-2	氧气的压缩系数	(1290)
图 B-3	氮气的压缩系数	(1291)
图 B-4	氢气的压缩系数	(1291)
图 B-5	一氧化碳的压缩系数	(1292)
图 B-6	甲烷的压缩系数	(1292)
图 B-7	气体压缩系数	(1293)
图 B-8	拱形金属爆破片装置标记方法	(1293)
图 B-9	平板开缝型爆破片示意图	(1294)
图 B-10	平板普通型爆破片示意图	(1294)
图 B-11	平板带“十”字槽爆破片示意图	(1294)
图 B-12	平板带环形槽爆破片示意图	(1294)
图 B-13	石墨爆破片的型式	(1294)
附录 C	(1295)
	本书引用技术规范、标准、规程一览表	(1295)
参考文献	(1298)

第一章 容器的基本知识

第一节 容器概述

一、概述

容器是工业生产过程中不可缺少的重要设备，广泛应用于炼油、化工、动力、冶金、核能、运输等各种工业领域中。按其几何形状，可以分为敞式容器、平底立式圆筒形储槽、具有成型顶盖的立式或卧式圆筒形容器、球形或类球形容器等类型。在炼油、化工、化纤、化肥生产过程中，一般情况下，无危险性的液体可以采用敞式容器；有危险性流体（例如具有毒性、腐蚀性、易燃易爆），在存储条件下为气态，或压力高于（或低于）大气压力、温度高于（或低于）常温的流体，则应采用密闭式容器。

石油化工的许多工艺过程中，常有高温、高压、低温、高真空等工况，为达到操作条件的要求，需要用能够承受压力的容器，即不同种类的压力容器，例如反应器、塔器、分离器、换热器、流体存储容器等，“压力容器”就是指这类压力达到一定的数值、容器的容积超过规定大小且在相应的工作温度下内部存有气态介质的密封容器。按照我国 TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》（以下简称新《容规》），当容器同时具备以下三个条件时，必须遵守新《容规》监督，即：

- (1) 工作压力大于或等于 0.1MPa(注 1)；
- (2) 工作压力与容积的乘积大于或等于 2.5MPa·L(注 2)；
- (3) 盛装介质为气体、液化气体以及介质最高工作温度高于或等于其标准沸点的液体(注 3)。

其中，超高压容器应符合 TSG R0002—2005《超高压容器安全技术监察规程》的规定，非金属压力容器应符合 TSG R7001—2004《非金属压力容器安全技术监察规程》的规定，简单压力容器应符合 TSG R0003—2006《简单压力容器安全技术监察规程》的规定。

注 1：工作压力是指压力容器在正常工作情况下，其顶部可能达到的最高压力（表压力）。

注 2：容积是指压力容器的几何容积，即由设计图样标注的尺寸计算（不考虑制造公差）并且圆整。一般应当扣除永久连接在压力容器内部的内件的体积。

注 3：容器内介质为最高工作温度低于其标准沸点的液体时，如果气相空间的容积与工作压力的乘积大于或等于 2.5MPa·L 时，也属于《容规》适用范围。

对于核能装置中受辐射作用的压力容器、移动式压力容器（例如各类气体槽车、罐车和气瓶、氧舱等）、真空下工作的压力容器（不含夹套压力容器）、直接受火焰加热的设备、正常运行工作压力小于 0.1MPa 的压力容器等，由于具有各自特点，另有专门规程进行监管，故不在新《容规》监察范围之内。

国家标准 GB 150.1 规定：凡设计压力不大于 35MPa、设计温度范围为 $-269^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ （钢制容器不得超过按 GB 150.2 中列入材料的允许使用温度范围；其他金属材料制容器按相应引用标准中列入的材料允许使用温度确定）。其设计、制造、检验和验收都必须符合该标准的规定，同时还应遵守国家颁布的有关法令、法规和规章，但对于下列各类容器则不属于 GB 150.1—2011 的监管范围，它们是：

- (1) 设计压力低于 0.1 MPa，且真空度低于 0.02MPa 的容器；
- (2) 《移动式压力容器安全技术监察规程》中的容器；
- (3) 旋转或往复运动机械设备中自成整体或作为部件的受压器室（如泵壳、压缩机外壳、涡轮机外壳、液压缸等）；
- (4) 核能装置中存在于辐射损伤失效风险的容器；
- (5) 直接火焰加热的容器；
- (6) 内直径（对非圆形截面，指截面内边界的最大几何尺寸，如矩形为对角线，椭圆为长轴）小于 150mm 的容器；
- (7) 搪玻璃容器和制冷空调行业中另有国家标准或行业标准的容器。

GB 150.1—2011 同时规定，该标准适用范围内的特定结构容器以及铝、钛、铜、镍及镍合金、锆制容器，其设计、制造、检验和验收除应符合该标准规定外，还应满足下述标准的要求：①GB 151—1999《管壳式换热器》；②GB 12337—1998《钢制球形容器》；③JB/T 4731—2005《卧式容器》；④JB/T 4710—2005《塔式容器》；⑤JB/T 4734—2002《铝制焊接容器》；⑥JB/T 4745—2002《钛制焊接容器》；⑦JB/T 4755—2006《铜制焊接容器》；⑧JB/T 4756—2006《镍及镍合金制焊接容器》；⑨NB/T 47011—2010《锆制压力容器》。

压力容器和常压容器相比，不仅在安全性要求上差别极大，而且在设计原理上也有区别。压力容器壳体的壁厚是根据强度设计确定的，而常压容器由于承受的压力很低，按强度计算出的壁厚很薄，从而使产品在制造、运输和安装过程中会由于刚度不够而产生过大的变形，因此常压容器的壁厚应按刚度和制造要求来确定。这里必须指出：即使是压力容器，当按强度计算的计算厚度小于其按刚度要求的最小厚度时，也应按刚度要求确定壁厚。

压力容器与常压容器不应只从压力高低来划分，我国 1985 年出版的《钢制石油化工压力容器设计规定》（以下简称《设计规定》）参照国外标准（英国 BS 1515），以压力和直径的组合来划分压力容器和常压容器，即设计压力的低限为：当设计压力 p 低于 $9.81/(Dg + 82)^2 \text{MPa}$ （或 $100/(Dg + 10)^2 \text{kgf/cm}^2$ ），真空度低于 $(3100/Dg + 82) \text{mmH}_2\text{O}$ 的容器均划为常压容器；否则，属于压力容器。按上述计算式可列出各种直径下容器的压力下限值，即以不同公称直径划分常压与压力容器的压力（或真空度）界限，见表 1.1-1。

对于压力容器与超高压容器的界限，我国将设计压力 $p \geq 100 \text{MPa}$ （即 1000kgf/cm^2 ）的容器划为超高压容器。高压和超高压容器属于厚壁容器，即容器外径和内径的比值 $K = D_o/D_i > 1.2$ ，器壁应力为三向受力状态；一般压力容器多属薄壁容器，比值 $K \leq 1.2$ ，厚度相对于直径较小，强度计算是以旋转壳体薄膜理论为基础，器壁应力可简化为两向应力状态，且应力沿壁厚均匀分布，当 K 值越小时，器壁的实际应力状况越接近薄膜理论假设的情况。但是随着 K 值的增大，器壁内的三向应力状态则愈加明显，应力沿壁厚分布也逐渐不均匀化，