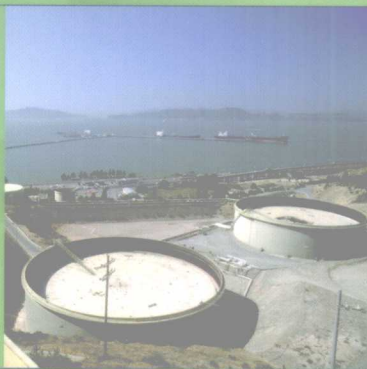




全国高职高专教育“十一五”规划教材



向寓华 主编
王绍良 主审

化工容器与设备



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育“十一五”规划教材

化工容器与设备

向寓华 主编

王绍良 主审

高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本书以应用为主,突出实用性、先进性和工学相结合特色,以工作岗位知识技能的需求为依据,采用模块—任务—子任务的形式完成技能与知识的学习。理论上不苛求完整性和系统性,以实用为度,突出工程观念及标准、规范的应用;对化工生产中常用的设备及其主要零部件,从结构特点、作用原理、选用、安全使用与维护等方面进行重点介绍。全书共分为压力容器、换热设备、反应设备、塔设备、储存设备、化工管路及阀门六个知识模块。每个模块开头提出学习目标;每个子任务完成后编排了一定数量的训练题,并将该任务目前的新技术、新结构、新材料等前沿知识以知识拓展的形式编出。

本书可作为高职高专院校化工机械类专业及化工工艺类等专业的教材,亦可作为中职院校相关专业的教材或教学参考书,还可供从事化工机械的设计、制造和管理工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工容器与设备/向寓华主编.—北京:高等教育出版社,2009.7

ISBN 978-7-04-026522-4

I.化… II.向… III.化工设备—容器 IV.TQ053.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 090036 号

策划编辑 周先海 责任编辑 李京平 封面设计 于 涛 版式设计 王艳红
责任校对 杨雪莲 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京北苑印刷有限责任公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2009 年 7 月第 1 版
印 张	19.75	印 次	2009 年 7 月第 1 次印刷
字 数	480 000	定 价	25.40 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26522-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E-mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

前 言

本书是为了更好地适应高等职业教育发展的需要,针对高等职业教育的特点和培养目标,结合高等职业教育化工装备类专业建设和教学改革的要求,在专业教师和企业技术人员共同参与下,在广泛吸收相关教材优点和借鉴兄弟院校教学改革经验的基础上编写的。本书以应用为主,突出实用性和先进性,突出工学结合特色,以工作岗位知识技能需求为依据,采用模块—任务—子任务的形式完成技能与知识的学习。理论上不刻求完整性和系统性,以实用为度,突出工程观念及标准、规范的应用;对化工生产中常用的设备及其主要零部件,从结构特点、作用原理、选用、安全使用与维护等方面进行重点介绍。

全书分为压力容器、换热设备、反应设备、塔设备、储存设备、化工管路阀门六个知识模块。每个模块开头提出学习目标;每个子任务完成后编排了一定数量的训练题,并将该任务目前的新技术、新结构、新材料等前沿知识以知识拓展的形式编出。

本书由向寓华担任主编并统稿。本书模块一中任务一、任务二,模块六由向寓华编写;模块一中任务三由李琴编写;任务四、任务五由陈慧玲编写;模块二由安改娣编写;模块三由张明明编写;模块四由王勇编写;模块五由刘德志编写。

本书承蒙全国化工高等职业教育教学指导委员会主任王绍良教授主审,他提出了很多很好的意见和建议;在编写过程中还得到了湖南化工职业技术学院有关领导和诸多兄弟院校同行的指导和支持;特别是参加本书提纲确定及审稿的企业专家、同行以及高等教育出版社的有关同志,对本书的编写也提出了许多建设性的意见。在此,一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏甚至错误在所难免,敬请各位读者批评指正。

编者

2009年5月

目 录

模块一 压力容器	1	子任务二 厚壁容器密封结构的 选用	124
任务一 压力容器结构	1	相关知识	128
子任务一 分析压力容器的基本结构	1	知识拓展	129
子任务二 确定压力容器的类型	3	小结	130
子任务三 化工设备材料选用	5	模块二 换热设备	132
相关知识	12	任务一 换热设备类型的选用	132
知识拓展	14	相关知识	135
任务二 内压薄壁容器	14	知识拓展	142
子任务一 分析典型内压薄壁壳体的 应力	14	任务二 管壳式换热器内件选用	143
子任务二 确定内压薄壁壳体厚度	18	子任务一 管壳式换热器的选用	143
子任务三 校核内压薄壁壳体强度	30	子任务二 换热管与管板选用	145
子任务四 内压封头的选用	32	子任务三 管箱的选用	151
子任务五 确定内压封头厚度	34	子任务四 折流板、拉杆与定距管 选用	152
子任务六 压力容器的检验	44	子任务五 防冲板与导流筒选用	154
相关知识	48	子任务六 膨胀节的选用	156
知识拓展	50	相关知识	157
任务三 典型零部件选用	51	知识拓展	159
子任务一 法兰的选用	51	任务三 管壳式换热器的检验	160
子任务二 支座的选用	69	相关知识	161
子任务三 开孔补强计算与附件 选用	81	知识拓展	163
相关知识	94	任务四 管壳式换热器的使用与维护	163
知识拓展	100	子任务一 管壳式换热器的日常 维护	163
任务四 外压容器	100	子任务二 管壳式换热器的检修	165
子任务一 确定外压圆筒厚度	100	子任务三 管壳式换热器的清洗	166
子任务二 确定外压球壳厚度	110	子任务四 管壳式换热器常见故障与 处理	168
子任务三 外压封头的选用	111	相关知识	169
相关知识	114	知识拓展	170
知识拓展	119	小结	170
任务五 厚壁容器	120		
子任务一 厚壁圆筒结构	120		

模块三 反应设备 172

 任务一 反应设备选用 172

 相关知识 174

 知识拓展 181

 任务二 釜式反应器 181

 子任务一 确定釜体尺寸 181

 子任务二 传热装置的选用 183

 子任务三 搅拌装置的选用 185

 子任务四 传动装置的选用 186

 子任务五 轴封装置的选用 188

 子任务六 釜式反应器的使用与
 维护 188

 子任务七 釜式反应器常见故障与
 处理 190

 相关知识 192

 知识拓展 197

 小结 197

模块四 塔设备 198

 任务一 板式塔 198

 子任务一 板式塔类型的选用 198

 子任务二 塔盘的安装 200

 子任务三 溢流装置的选用 208

 子任务四 除沫装置的选用 210

 子任务五 进出口接管装置的选用 213

 相关知识 215

 知识拓展 221

 任务二 填料塔 222

 子任务一 填料的选用 222

 子任务二 填料支承装置的选用 224

 子任务三 液体分布装置的选用 226

 子任务四 液体再分布装置的选用 231

 相关知识 233

 知识拓展 237

 任务三 塔设备的使用与维护 238

 子任务一 板式塔与填料塔比较 238

 子任务二 塔设备的运行与维护 241

 子任务三 塔设备常见故障

 与处理 242

 相关知识 245

 知识拓展 253

 小结 254

模块五 储存设备 255

 任务一 确定储罐的容量 255

 相关知识 257

 知识拓展 262

 案例分析 263

 任务二 卧式储罐 264

 子任务一 分析卧式储罐的受力
 情况 264

 子任务二 卧式储罐的校核计算 266

 相关知识 276

 知识拓展 277

 小结 278

模块六 化工管路与阀门 279

 任务一 常用管件 279

 子任务一 管件材料的选用 279

 子任务二 管件的选用 281

 相关知识 283

 知识拓展 284

 任务二 阀门的选用与维护 284

 子任务一 阀门的选用 284

 子任务二 阀门的使用与维护 291

 相关知识 293

 知识拓展 295

 任务三 管路的安装 296

 子任务一 安装管路 296

 子任务二 管道的隔热 298

 相关知识 300

 知识拓展 301

 任务四 管道的使用与维护 301

 相关知识 303

 知识拓展 305

 小结 306

参考文献 307

模块一 压力容器

学习目标

- 能综合分析设备的工作环境和用材要求,正确选用设备材料。
- 具有确定压力容器厚度并按国家标准要求对容器进行检验的能力。
- 具备根据工艺生产条件正确选用压力容器标准零部件结构类型的技能。
- 了解国内外压力容器设计典型标准规范,具有查阅手册、标准、规范的能力。
- 了解厚壁容器的结构特点及应力分析特点。

任务一 压力容器结构

子任务一 分析容器的基本结构

【任务描述】

熟知容器的基本结构组成。

【任务指导】

从形状来看,压力容器主要有圆筒形、球形和矩形三种形式。其中,矩形容器由于承压能力差,多用做小型常压储槽;球形容器由于制造上的原因,通常用做有一定压力的大中型储罐;而对于圆筒形容器,由于制造容易、安装内件方便、承压能力较好,在工业中应用最为广泛。

圆筒形压力容器最常见的结构形式如图 1-1 所示,用单层钢板卷制而成,由筒体、封头、支座、接管法兰、人孔(手孔)、安全附件等零部件组成。对厚壁容器可采用多层包扎结构,如图 1-2 所示。

筒体与封头是构成容器空间的主要受压元件。壳体按形状的不同,可以分为圆筒壳体、圆锥壳体、球壳体、椭圆壳体、矩形壳体等;而封头有椭圆形封头、半球形封头、碟形封头、锥形封头及平板封头等。

支座是用于支承和固定设备的部件。根据压力容器结构形式的不同,常见的有立式支座、卧式支座和球形容器支座三种型式。支座型式的选用主要是根据容器的重量、结构、承受的载荷以及操作和维修要求来选定的。

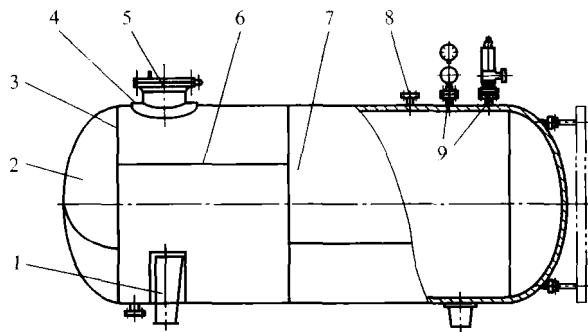


图 1-1 单层钢板压力容器结构

1—鞍式支座;2—封头;3—封头拼接焊缝;4—补强圈;5—人孔;6—筒体纵向拼接焊缝;7—筒体;8—接管法兰;9—压力表、安全阀接管

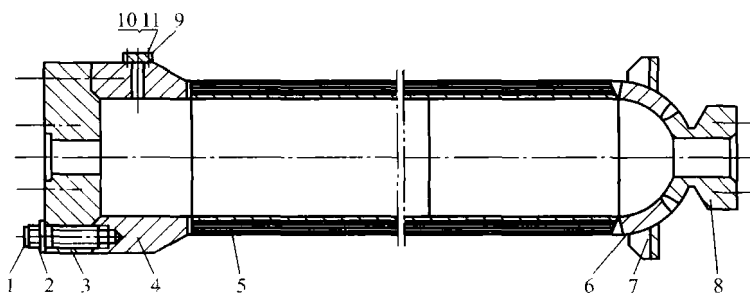


图 1-2 多层包扎厚壁压力容器

1—主螺栓;2—主螺母;3—平盖;4—筒体端部;5—筒节;6—封头;7—支座圈;
8—接口锻件;9—管法兰;10、11—螺栓、螺母

人孔、手孔的开设是为了满足工艺过程和检修的需要、便于制造、检验和维护管理而设置的部件,属主要受压元件,而工艺接管是介质进出容器的通道。

密封装置避免介质发生泄漏以保证压力容器正常、安全、可靠地运行,连接处常采用法兰密封结构。法兰为主要受压元件,分为设备法兰和管法兰两种。

安全附件包括液面计、安全阀、压力表,用于观察或监控液位的部件。

组成压力容器的各种零部件统称为化工设备通用零部件,它们的设计、制造、验收均已规范化,设计时可查阅有关标准直接选用。

【任务训练】

1. 指出压力容器主要零部件的名称。
2. 理解各组成部分的作用。

子任务二 确定压力容器的类型

【任务描述】

能根据工艺条件参数正确划分压力容器所属种类。

【任务指导】

压力容器的种类很多,从使用、制造和监检的角度分类,有以下几种方法。

一、按承压性质分类

按承压性质可分为内压容器和外压容器两类。当容器内部压力大于外部压力时称为内压容器,反之则为外压容器。如未特别说明,容器所承受的压力均指表压。压力容器根据承受压力的大小分为常压容器、低压容器、中压容器、高压容器和超高压容器五个等级。

- 1) 常压容器 $p < 0.1 \text{ MPa}$
- 2) 低压容器(代号 L) $0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$
- 3) 中压容器(代号 M) $1.6 \text{ MPa} \leq p < 10 \text{ MPa}$
- 4) 高压容器(代号 H) $10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$
- 5) 超高压容器(代号 U) $p \geq 100 \text{ MPa}$

二、按工艺过程中的作用不同分类

- 1) 反应容器(代号 R):用于完成介质的物理、化学反应的压力容器。如反应器、反应釜、合成塔、变换炉、分解塔等。
- 2) 换热容器(代号 E):用于完成介质的热量交换的容器。如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、加热器等。
- 3) 分离容器(代号 S):用于完成介质的流体压力平衡缓冲,气体净化,固、液、气分离的容器。如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、吸收塔、除氧器等。
- 4) 储存容器(代号 C,球罐代号为 B):用于盛装液体或气体物料的容器。如各种形式的储罐。

三、按安全技术监察规程分类

为了更有效地实施科学管理和安全监检,我国《压力容器安全技术监察规程》(简称《容规》)中根据工作压力、介质危害性及其在生产中的作用将压力容器分为三类。介质毒性危害程度分级见表 1-1。

表 1-1 介质毒性危害程度分级

指 标	分 级			
	I (极度危害)	II (高度危害)	III (中度危害)	IV (轻度危害)
急性中毒发病状况	生产中易发生中毒,后果严重	生产中可发生中毒,愈后良好	偶可发生中毒	迄今未见急性中毒,但有急性影响

续表

指 标	分 级			
	I (极度危害)	II (高度危害)	III (中度危害)	IV (轻度危害)
慢性中毒发病 状况	患病率高 ($\geq 5\%$)	患病率较高(< 5%)或症状发生 率高($\geq 20\%$)	偶有中毒病例 发生或症状发生 率较高($\geq 10\%$)	无慢性中毒而有慢 性影响
慢性中毒后果	脱离接触后,继 续进 展 或 不 能 治愈	脱离接触后,可 基本治愈	脱离接触后,可 恢 复, 不 致 严 重 后果	脱离接触后,自行恢 复,无不良后果
致癌性	人体致癌物	可疑人体致癌 物	实验动物致癌 物	无致癌性
最高容许浓度/ (mg/m^3)	<0.1	0.1 ~ 1.0	1.0 ~ 10	>10
实例	光气(碳酰氯)、 汞、氰化氢、氯甲 醚等	甲醛、氟、氯化 氰、丙烯腈等	一氧化碳、二氧化 化硫、硫酸、氨等	氢氧化钠、四氟乙烯 等

1. 《容规》规定有下列情况之一的,为第三类压力容器
- 1) 高压容器;
 - 2) 中压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质);
 - 3) 中压储存容器(仅限易燃或毒性程度为中度危害介质,且 pV 乘积大于等于 $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$; 易燃介质是指与空气混合的爆炸下限小于 10% ,或爆炸上限、下限之差大于等于 20% 的气体,如丁二烯、丁烷、乙烯、丙烷等);
 - 4) 中压反应器(仅限易燃或毒性程度为中度危害介质,且 pV 乘积大于等于 $0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$);
 - 5) 低压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质,且 pV 乘积大于等于 $0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$);
 - 6) 高压、中压管壳式余热锅炉;
 - 7) 中压搪玻璃压力容器;
 - 8) 使用强度级别较高(指相应标准中抗拉强度规定值下限大于等于 540 MPa)的材料制造的压力容器;
 - 9) 移动式压力容器,包括铁路罐车(介质为液化气体、低温液体)、罐式汽车[液化气体运输(半挂)车、低温液体运输(半挂)车、永久气体运输(半挂)车]和罐式集装箱(介质为液化气体、低温液体)等;
 - 10) 球形储罐(容积大于等于 50 m^3);
 - 11) 低温液体储存容器(容积大于 5 m^3)。

2. 下列情况之一的,为第二类压力容器

- 1) 中压容器;

- 2) 低压容器(仅限毒性程度为极度和高度危害介质);
- 3) 低压反应容器和低压储存容器(仅限易燃介质或毒性程度为中度危害介质);
- 4) 低压管壳式余热锅炉;
- 5) 低压搪玻璃压力容器。

3. 第一类压力容器

除已列入第二类或第三类的所有低压容器。

第三类容器要求最高。类别越高,设计、制造、检验、管理等方面的要求越严格。《容规》对每个类别的压力容器设计、制造过程以及检验项目、内容和方式作出了不同的规定。

四、按相对壁厚分类

根据器壁厚度的不同又可将压力容器分为薄壁和厚壁容器,两者是按其外径 D_o 与内径 D_i 的比值大小来划分的。

- 1) 薄壁容器 直径之比 $K = D_o/D_i \leq 1.2$ 的容器。
- 2) 厚壁容器 直径之比 $K = D_o/D_i > 1.2$ 的容器。

按壁厚分类的意义主要是说明以上两类容器在进行设计计算时的理论依据和要求是不同的。薄壁容器由于其壁厚相对于直径较小,其强度计算的理论基础是旋转薄壳理论和薄膜应力公式,由此确定的薄膜应力是二向应力,且沿壁厚均匀分布。而厚壁容器的强度计算的理论基础是由弹性应力分析所得的拉美公式,由此计算得到的应力是三向应力,沿壁厚为非均匀分布,且比较准确地表征了器壁内应力的实际分布规律。

中低压容器一般为薄壁容器。

五、按容器壁温分类

- 1) 低温容器 设计温度 $t \leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 常温容器 设计温度 $t > -20 \sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 中温容器 设计温度 $t > 20 \sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 4) 高温容器 设计温度 $t > 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

另外,按材料可分为金属材料压力容器、非金属材料压力容器、复合材料压力容器;按形状分有圆筒形容器、矩形容器、球形容器等。

【任务训练】

1. 简述压力容器按《容规》进行分类的方法。
2. 按不同的分类方法确定容器的种类:内径 1 400 mm,壁厚 8 mm,工作温度 $(100 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$,工作压力 2.6 MPa。

子任务三 化工设备材料选用

【任务描述】

根据材料的性能及设备的工作环境和操作条件等,综合考虑选用设备材料。

【任务指导】

一、化工设备常用金属材料

压力容器及受压元件用钢有板材、管材、型材、锻件及铸件等,目前化工设备的金属用材主要是碳钢、合金钢、有色金属及其合金。

(一) 钢板

压力容器的筒体大多是由钢板卷焊而成的,封头或球壳则是用钢板加热成形和热加工后再拼焊的方法制造而成的。钢板的常用厚度见表 1-2,按照 GB 150—1998《钢制压力容器》中对材料的规定,压力容器可选用碳素结构钢、压力容器用碳素钢、低合金钢和不锈钢等钢种。

表 1-2 钢板的常用厚度 mm

2	3	4	(5)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	30	32	34	36	38
40	42	46	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120		

注:5 mm 为不锈钢常用厚度。

1. 碳素钢

按 GB/T 700—2006 的规定,碳钢又称为非合金钢。碳钢是指含碳的质量分数小于 2.11% 的铁碳合金。根据含碳量的不同可分为低碳钢($w_c \leq 0.25\%$)、中碳钢($0.25\% < w_c < 0.6\%$)、高碳钢($w_c \geq 0.6\%$)三种,低碳钢的塑性、韧性和焊接性较好,但强度、硬度不高;高碳钢的强度、硬度较大,而塑性、韧性和焊接性差。

部分碳钢的应用见表 1-3、表 1-4。表 1-5 列出了部分碳素结构钢板的使用条件。

表 1-3 部分普通碳钢的应用

钢号	质量等级	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_s /%	性能及应用
Q195	—	195	315	33	用于制作承受载荷不大的金属结构件、铆钉、垫圈、地脚螺栓、冲压件及焊接件等
Q215	A, B	215	335	31	
Q235	A, B, C, D	235	375	26	有良好的强度、塑性和焊接性,用于制作一般的金属结构件、钢筋、型钢、螺栓、螺母、轴、非受压容器。B、C 在限定条件下可制作压力容器的壳体
Q255	A, B	255	410	24	强度较高,用于制作承受中等载荷的零件,如键、销、转轴、拉杆及链轮等
Q275	—	275	490	20	

表 1-4 部分优质碳钢的应用

钢号	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_s /%	ψ /%	性能及应用
10	335	205	31	55	强度、硬度低,塑性、韧性好,冷塑性加工性和焊接性优良,切削加工性欠佳
20	410	245	25	55	
40	570	335	19	45	综合力学性能好,热塑性加工性和切削性较差,冷变形能力与焊接性中等,多在调质或正火下使用,45 钢应用最广
45	600	355	16	40	

续表

钢号	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_s /%	ψ /%	性能及应用
60	670	400	12	35	强度、硬度高,耐磨性、弹性好,切削性能中等,焊接性能不佳,可做弹簧、钢丝绳等
65	695	410	10	30	
60Mn	695	410	11	35	淬透性和强度较高,可用于制造截面尺寸较大的零件,65Mn 常用
65Mn	735	430	9	30	

表 1-5 碳素结构钢钢板的使用条件

钢 号	钢板标准	规格厚度 /mm	使 用 条 件			
			容器设计压力 /MPa	钢板使用温度 /℃	做壳体时的厚度 /mm	介 质
Q235AF	GB912 GB3274	3 ~ 4 4.5 ~ 16	≤ 0.6	0 ~ 250	≤ 12	①
Q235A		3 ~ 4 4.5 ~ 40	≤ 1.0	0 ~ 350	≤ 16	②
Q235B		3 ~ 4 4.5 ~ 40	≤ 1.6	0 ~ 350	≤ 20	③
Q235C		3 ~ 4 4.5 ~ 40	≤ 2.5	0 ~ 400	≤ 30	

注:① 不得用于易燃介质及毒性程度为中度、高度或极度危害介质的压力容器

② 不得用于液化石油气介质以及毒性程度为高度或极度危害介质的压力容器

③ 不得用于毒性程度为高度或极度危害介质的压力容器

2. 合金钢

合金钢是在碳钢的基础上加入一定量的合金元素而形成的钢种。

(1) 低合金钢

低合金钢一般是指合金含量在 3% 以内的合金钢。常用的钢种有 16MnR、15MnVR 和 18MnMoNbR 等,使用性能见表 1-6,化工压力容器常用的是低合金结构钢。对该钢除要求强度外,还要求有较好的塑性和焊接性,以利于设备的加工制造。但强度较高者,其塑性和焊接性能将有所下降。因此,必须根据容器的具体工作条件(如温度、压力)和制造加工要求(如卷板、焊接)来选用适当强度级别的钢材。

(2) 不锈钢

不锈钢分为铬不锈钢和铬镍不锈钢两种。铬不锈钢主要牌号有 0Cr13、0Cr17Ti、1Cr13、2Cr13 等;铬镍不锈钢,主要牌号有 1Cr18Ni9、0Cr18Ni11Ti 和 0Cr17Ni12Mo2 等。不锈钢的应用见表 1-7。

表 1-6 低合金钢板的使用性能

钢号	钢板标准	厚度范围 /mm	使用温度 /℃	说 明
16MnR	GB 6654—1996	6 ~ 120	-20 ~ 475	16MnR 是在低碳钢的基础上加入合金元素 Mn 而得到的低合金钢,与 20R 钢相比,含碳量相仿,但加入适量的 Mn 元素后,使 16MnR 的强度显著提高
15MnVR		6 ~ 60	-20 ~ 400	15MnVR 是在 16MnR 钢采用 Mn 元素进行强化的基础上再加入 0.04% ~ 0.12% 的 V 元素而得到的强度级别为 400 MPa 的低合金钢。一般在热轧状态下使用。其强度、塑性、韧性以及可焊性均较好
15MnVNR		6 ~ 60	-20 ~ 400	15MnVNR 是在 16MnR 和 15MnVR 钢的基础上再添加工 N 元素。在高温时,显著降低钢的过热敏感性,并大大提高钢的常温和高温强度
18MnMoNbR		30 ~ 100	-20 ~ 475	18MnMoNbR 是在采用 Mn 元素的基础上再添加 Mo、Nb 合金元素进行复合强化后的一种高强度钢。它不仅具有强度高的特点,而且也可作为中温和抗氢容器用钢。热轧状态下,其塑性和韧性值偏低,故一般均在正火+回火状态下使用,是制造石油、化工压力容器和锅炉汽包的一种有前景的钢种
13MnNiMoNbR		30 ~ 120	-20 ~ 400	13MnNiMoNbR 是 GB 150—1998 中强度级别较高的一种钢材,强度级别达到 650 MPa
15CrMoR		6 ~ 100	-20 ~ 550	15CrMoR 是一种耐热低合金钢。由于钢中加入了 Cr、Mo 元素,除具有良好的常温力学性能和工艺性能外,还具有较好的热强性、热稳定性和高温抗氧化性
14Cr1MnR	—	16 ~ 120	-20 ~ 550	已列入 GB 150—1998 附录,但尚未列入材料标准(国家标准或行业标准)的钢材
07MnCrMoVR	—	16 ~ 50	-20 ~ 350	已列入 GB 150—1998 附录,但尚未列入材料标准(国家标准或行业标准)的钢材