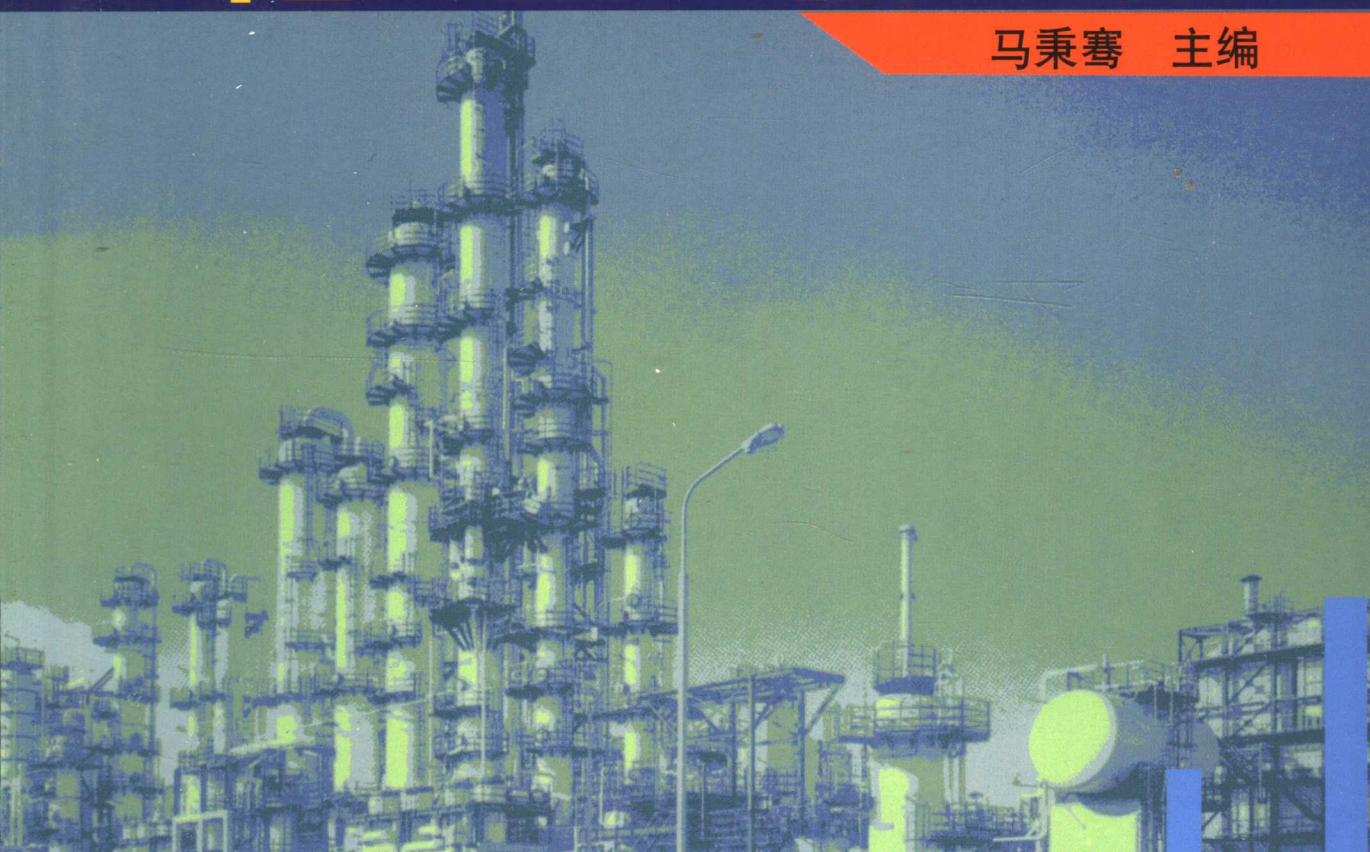


中等职业学校教材

化 · 工 · 设 · 备

马秉骞 主编



43

化学工业出版社
教材出版中心

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工设备/马秉骞主编. —北京:化学工业出版社,
2001.6

中等职业学校教材

ISBN 7-5025-3282-X

I. 化… II. 马… III. 化工设备-专业学校-教材 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 037535 号

中等职业学校教材

化 工 设 备

马秉骞 主编

责任编辑:高 钰

责任校对:马燕珠

封面设计:田彦文

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17¼ 字数 426 千字

2001 年 7 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-3282-X/G·854

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

中等职业教育是我国教育体系的重要组成部分,近年来在结构调整的基础上得到了较大的发展,但教材建设相对滞后,尤其是适应中等职业教育特点的各类专业课教材则更为匮乏。为此我们编写了这本供职业技术学院化工机械专业使用的专业课教材。

本书是根据全国化工中专教学指导委员会编制的最新的教学大纲编写的,从职业技术教育的特点出发,以培养生产第一线应用型技术骨干为目标,以应用为目的,以需要和够用为度。本书重点阐述了压力容器常用钢材、最新标准规范及应用,压力容器基本理论的工程应用,典型化工设备及主要零部件的结构、特点、选型、使用,压力容器的安全使用与管理等实用性内容。为满足不同层次的要求,对部分理论性较强但又有必要的内容用小字印刷,供各校选用。为便于教学选配了适量的例题、习题和思考题。教材中*号部分内容为选学内容。

本书适用于中等职业学校化工机械专业学生使用,加上*号部分的内容也适用于高职、职工大学、业余大学化工机械专业学生使用,也可供其他相近专业师生参考,也可作为石化行业职工培训教材,还可供石化企业生产一线的工程技术人员和生产管理人员阅读。

本书绪论、第一、二、三、十章由马秉骞编写,第四、七、九章由李晓东编写,第五、六、八、十一章由刘小宁编写。本书由马秉骞主编,由王绍良主审。参加审稿的还有潘传九、邢晓林、杨兰、袁晓萍、樊惠民、唐和业、谢业东等。

本书的编写得到了10余所职业技术学院的大力支持和帮助,编写中参阅了大量的有关书目及标准规范,在此对有关作者、全体审稿人员及所有对本书的出版给予支持和帮助的同志表示感谢。

由于编者水平所限,书中疏漏甚至错误在所难免,请广大读者批评指正。

编 者

2001年1月

目 录

绪论	1
第一节 化工设备概述	1
一、化工设备的应用	1
二、压力容器的分类	1
三、化工设备的基本要求	4
四、压力容器规范介绍	5
第二节 化工设备常用材料	7
一、对压力容器用钢的基本要求	7
二、常用钢材介绍	7
思考题	12
第一章 旋转壳体的受力分析	13
第一节 旋转壳体的基本概念	13
一、旋转壳体的形成及几何特征	13
二、典型壳体的第一、第二曲率半径及平行圆半径	13
第二节 无力矩理论的基本方程	14
一、无力矩理论的概念	14
二、基本方程式	14
第三节 无力矩理论在典型壳体上的应用	16
一、受气体压力作用的壳体	17
* 二、受液体压力作用的壳体	17
第四节 有力矩理论及边缘问题	18
一、无力矩理论的适用范围	18
二、有力矩理论的概念	19
三、边缘问题	19
习题	20
思考题	20
第二章 内压薄壁容器设计	21
第一节 强度计算	21
一、圆筒及球壳强度计算	21
二、容器的最小厚度	23
三、容器厚度的确定	23
第二节 设计参数的确定	24
一、设计压力	24
二、设计温度	26
三、许用应力	27

四、焊接接头系数	33
五、厚度附加量	34
第三节 容器的压力试验及致密性试验	36
一、压力试验的目的及对象	36
二、压力试验的方法及要求	36
三、试验应力的校核	38
四、致密性试验	39
第四节 内压封头设计	41
一、半球形封头	41
二、椭圆形封头	41
三、碟形封头	42
四、锥形封头	43
五、圆形平封头	49
习题	51
思考题	52
第三章 压力容器零部件	53
第一节 法兰联接	53
一、概述	53
二、法兰联接的密封	54
三、压力容器法兰 (JB 4700~4707-92)	56
四、管法兰 (HGJ 44~76-91)	62
第二节 容器的开孔与补强	69
一、开孔类型及对容器的影响	69
* 二、开孔附近的应力集中	69
三、对容器开孔的限制及补强结构	71
四、开孔补强设计的准则	73
第三节 压力容器的其他主要零部件	75
一、人孔、手孔 (HG 21514~21535-95)	75
二、接管及视镜	81
三、支座	83
习题	93
思考题	94
第四章 厚壁容器	95
第一节 概述	95
一、厚壁容器的结构特点及选材	95
二、厚壁容器筒体的结构类型	97
三、厚壁容器的失效形式	100
第二节 厚壁圆筒的计算	101
一、单层厚壁圆筒的弹性应力计算	101
二、厚壁圆筒的弹性失效准则强度计算	103

* 三、塑性失效准则和爆破失效准则强度计算	107
第三节 厚壁容器的密封性及主要零部件	108
一、厚壁容器的密封	109
二、主要零部件简介	113
习题	114
思考题	114
第五章 外压薄壁容器	115
第一节 概述	115
一、外压容器的稳定性	115
二、外压薄壁圆筒的临界压力及计算	115
三、外压薄壁圆筒类型的判定	117
第二节 外压薄壁圆筒厚度的确定	119
一、解析法	119
二、图解法	121
第三节 加强圈的计算	126
一、加强圈的作用、结构及要求	126
二、加强圈间距	128
* 三、加强圈的图算法	129
第四节 外压封头	131
一、凸形封头	131
二、锥形封头	133
习题	135
思考题	136
第六章 卧式容器	137
第一节 卧式容器的受力分析	137
一、双鞍座支承的卧式容器的力学模型	137
二、轴向弯矩计算	139
第二节 容器各危险部位的应力校核	140
一、轴向应力校核	141
二、切向剪应力校核	143
三、周向应力校核	146
习题	154
思考题	155
第七章 换热设备	156
第一节 概述	156
一、换热设备的应用及基本要求	156
二、换热设备的类型	157
三、换热设备的选型	161
第二节 管壳式换热器的类型与标准	162
一、管壳式换热器的类型及特点	162

二、管壳式换热器的标准介绍·····	164
第三节 管壳式换热器的结构设计·····	166
一、换热管及其在管板上的排列·····	166
二、管板及其与换热管的连接·····	167
三、管板与壳体的连接·····	168
四、折流板及其他挡板·····	169
五、管箱与接管·····	172
六、膨胀节·····	173
七、换热器的几个特殊问题·····	175
思考题·····	176
第八章 塔设备·····	177
第一节 概述·····	177
一、塔设备在化工生产中的作用和地位·····	177
二、化工生产对塔设备的基本要求·····	177
三、塔设备的分类和总体结构·····	177
第二节 填料塔·····	179
一、填料·····	179
二、喷淋装置·····	181
三、液体再分布装置·····	186
四、填料支承结构·····	187
五、进气管及出液管·····	188
第三节 板式塔·····	190
一、常用板式塔的类型及特点·····	190
二、塔盘·····	196
三、板式塔的其他附件·····	207
第四节 塔设备的载荷分析·····	212
一、塔设备的使用工况·····	212
二、塔设备的主要危险截面·····	212
三、不同截面上的载荷分析·····	213
思考题·····	214
第九章 反应设备·····	215
第一节 概述·····	215
一、反应设备的作用·····	215
二、反应设备的种类及特点·····	215
三、反应设备的选型·····	216
四、搅拌反应器的总体结构·····	217
第二节 搅拌反应器的搅拌装置·····	217
一、搅拌器的类型及选择·····	217
二、搅拌附件·····	220
三、搅拌器的功率·····	221

四、传动装置及搅拌轴.....	221
第三节 搅拌器的轴封.....	225
一、填料密封.....	225
二、机械密封.....	226
第四节 搅拌反应器的罐体.....	227
一、罐体尺寸的确定.....	227
二、传热装置.....	229
三、工艺接管.....	231
思考题.....	232
第十章 压力容器的安全使用与监察管理.....	233
第一节 压力容器的安全附件.....	233
一、超压泄放装置.....	233
二、安全阀.....	235
三、爆破片装置.....	238
四、压力表及液面计.....	240
第二节 压力容器的安全使用.....	243
一、压力容器的普查登记.....	244
二、压力容器的定期检验.....	246
第三节 压力容器的监察管理.....	250
一、实施监察管理的依据.....	251
二、压力容器安全状况等级.....	251
三、事故调查处理规定.....	252
四、事故技术分析.....	253
思考题.....	257
第十一章 压力容器应力分析设计简介.....	258
第一节 应力分析设计的概念.....	258
一、常规设计的特点.....	258
二、应力分析设计的指导思想.....	259
第二节 应力分类及限制.....	260
一、应力分类.....	260
二、应力强度及限制.....	262
思考题.....	265
主要参考资料.....	266

绪 论

第一节 化工设备概述

一、化工设备的应用

石油、化工产品都是按照一定的工艺过程，利用与之相配套的机械设备生产出来的。例如，生产尿素就需要有与尿素生产工艺相配套的合成塔、气体压缩机等；加工原油就需要有与原油加工工艺相配套的精馏塔、换热器、加热炉、泵等。因此化工机械是为化工工艺服务的，是实现化工生产的工具和手段。不同的化工工艺过程对化工机械提出了不同的要求，促进了化工机械的发展，而设计合理、质量优良的新型高效化工机械又会促使产品质量和产量的提高及消耗的降低，甚至使原来难以实现的生产工艺成为现实，生产出许多新产品。

化工机械可分为两大类：一类为动设备，如各种类型的泵、压缩机、离心机等，通常又称为“机器”；另一类为静设备，如用于精馏、解吸、吸收、萃取等工艺的各类塔式设备；用于流体加热、冷却、液体汽化、蒸汽冷凝及废热回收的各种热量交换设备；化肥生产中的合成及石油化工中三大合成材料生产中的聚合、加氢、裂解、重整等工艺用的各类反应设备；用于原料、成品及半成品储存、运输、计量的各种储运设备等。通常把这一类设备就称为“设备”，也就是本书所说的“化工设备”。据统计，化工厂的机械装备 80% 左右都属于化工设备。

化工设备不仅应用于化工、石油和石油化工生产中，而且在轻工、医药、食品、冶金、能源、交通等工业部门也有着广泛的应用。由此可见，化工设备与人民生活有着密切的关系，对国民经济的发展起着十分重要的作用。本课程的主要任务就是：研究典型化工设备及常用零部件的材料选用、结构组成、性能特点及设计计算的方法。

不同类型的化工设备虽然其服务对象不同、操作条件各异、结构形式不一，但就其外壳而言大多数都是含有压力介质的容器，从设计的角度分析都属于压力容器的范畴。所以本书对各类化工设备所共有的并与压力容器密切相关的内容，均在“压力容器”名称下予以介绍。

二、压力容器的分类

（一）压力容器的定义

所谓“压力容器”是指压力和容积达到一定的数值，容器所处的工作温度使其内部介质呈气体状态的密闭容器。这类容器一旦发生事故其后果是很严重的，世界各国都把这类容器作为一种特殊的设备，由专门的机构实施安全监督，制订专门的法规和标准予以管理。

按照中国《压力容器安全技术监察规程》的规定，同时具备下列条件的容器就称为压力容器。

- （1）最高工作压力大于等于 0.1MPa（不含液柱静压力）；
- （2）内直径（非圆形截面指断面最大尺寸）大于等于 0.15m，且容积大于等于 0.025m³；
- （3）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。

（二）压力的来源

压力容器的工作介质是有压力的流体，其压力来源有以下几个方面。

1. 压力来源于压缩机

由压缩机对气体进行压缩而产生压力,其设备如储气筒、油气分离器等。这些容器可能达到的最高压力就是压缩机出口的气体压力。

2. 压力来源于蒸汽锅炉

工作介质为蒸汽,其设备如蒸汽罐、蒸汽加热器等。这些容器可能达到的最高压力就是锅炉的出汽压力。

3. 液化气体的蒸发压力

工作介质为液化气体,其设备如液化气储罐、液化气钢瓶等。这些容器的压力就是该液化气体的饱和蒸气压。

4. 由于化学反应产生的压力

两种或两种以上的物质经化学反应生成物的体积增大而产生气体压力,其设备如反应器、聚合釜等。这些容器的压力取决于参与化学反应物料的数量和进行化学反应的程度。

(三) 压力容器的类型划分

对压力容器进行分类的目的是为了了解各种压力容器的结构特点、适用场合及设计、制造、管理等方面的要求。压力容器的应用极为广泛,形式也多种多样,通常从以下几方面进行分类。

1. 按工艺用途分类

(1) 反应压力容器(代号 R)。主要用于完成介质的物理、化学反应。如反应器、反应釜、分解塔、聚合釜、合成塔、蒸煮锅、煤气发生炉等。

(2) 换热压力容器(代号 E)。主要用于完成介质的热量交换。如热交换器、冷却塔、冷凝器、蒸发器、加热器、烘缸、电热蒸汽发生器等。

(3) 分离压力容器(代号 S)。主要用于完成介质的流体压力平衡和气体净化分离等。如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、除氧器等。

(4) 储存压力容器(代号 C,其中球罐代号 B)。主要用于盛装生产用的原料气、液体、液化气体等。如储槽、球罐、槽车等。

如果一种压力容器,同时具备两个以上的工艺作用时,应按工艺过程中的主要作用来划分。

2. 按壳体的承压方式分类

(1) 内压容器。作用于器壁内部的压力高于容器外表面承受的压力。

(2) 外压容器。作用于器壁内部的压力低于容器外表面承受的压力。

将压力容器区分为内压容器和外压容器的意义在于这两类容器的设计计算方法及要求不同,容器失效的形式也不同。对内压容器而言,器壁主要受拉应力,通常按强度条件确定壁厚;而外压容器特别是薄壁容器,在外压力作用下突出的问题则是能否保持原有形状而不失稳。也就是说这两类容器设计计算的理论基础和应满足的条件是不同的。

3. 按设计压力的高低分类

(1) 低压容器(代号 L), $0.1 \sim < 1.6 \text{ MPa}$ 。

(2) 中压容器(代号 M), $1.6 \sim < 10 \text{ MPa}$ 。

(3) 高压容器(代号 H), $10 \sim < 100 \text{ MPa}$ 。

(4) 超高压容器(代号 U), $\geq 100 \text{ MPa}$ 。

按设计压力对容器分类的意义在于对不同压力等级的容器实行安全管理的程度不同,中国有关压力容器安全监察方面的法规就是依不同的压力等级再结合容器的用途和盛装介质的

性质,使不同类别的容器接受不同级别的安全监察机构的管理和监督。

4. 按容器的壁厚分类

(1) 薄壁容器。径比 $K = D_o/D_i \leq 1.2$ 的容器 (D_o 为容器的外直径, D_i 为容器的内直径)。

(2) 厚壁容器。 $K > 1.2$ 的容器。

按壁厚分类的意义在于薄壁容器的壁厚相对于直径较小,在内压力作用下,按薄膜理论假设器壁内呈两向应力状态而且沿壁厚均匀分布,这种假设有一定的近似性,但可简化计算且应用于工程设计中有足够的准确性, K 值越小,实际应力状况就越接近这种假设。但随着 K 值的增大,器壁内的实际应力状态和薄膜理论所作的假设出入就越大,器壁内的三向应力状态就愈加明显且沿壁厚分布就愈不均匀,若按薄膜理论进行计算误差就较大,这时需要采用能反映三向应力状态的方法进行计算。综上所述,薄壁容器与厚壁容器设计计算的理论根据和要求也是不同的。而以 $K = 1.2$ 为界限则是根据长期的使用经验确定的。

5. 按容器的工作温度分类

(1) 低温容器,设计温度 $\leq -20^\circ\text{C}$ 。

(2) 常温容器,设计温度 $> -20 \sim 200^\circ\text{C}$ 。

(3) 中温容器,设计温度 $> 200 \sim 450^\circ\text{C}$ 。

(4) 高温容器,设计温度 $> 450^\circ\text{C}$ 。

按工作温度分类虽然没有严格的科学依据,但其意义在于温度对材料的性能影响较大,在不同的温度区间,对容器材料选用上要考虑一些特殊的问题,如在低温下要考虑材料的冷脆性,中温下要考虑氢腐蚀及材料的抗回火脆性,高温下要考虑材料的蠕变性、石墨化、抗氧化性等。

6. 按安全技术监察规程分类

为了区别对待安全要求不同的压力容器的技术管理和监督检查,中国《压力容器安全技术监察规程》按容器的压力等级、容积大小、介质的危害程度及在生产过程中的作用综合考虑,把压力容器分为三个类别,其中第三类压力容器最为重要,要求也最严格。这种分类方法对从事压力容器的设计、制造、安装及管理人员而言更为重要。具体划分如下。

(1) 第一类压力容器。除第二类、第三类压力容器以外的所有的低压容器。

(2) 第二类压力容器。包括以下类型:

- ① 除第三类压力容器以外的所有中压容器;
- ② 易燃介质或毒性程度为中度危害介质的低压反应容器和储存容器;
- ③ 毒性程度为极度和高度危害介质的低压容器;
- ④ 低压管壳式余热锅炉;
- ⑤ 搪玻璃压力容器。

(3) 第三类压力容器。包括以下类型:

① 毒性程度为极度和高度危害介质的中压容器和设计压力与容积的乘积大于等于 $0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的低压容器;

② 易燃或毒性程度为中度危害介质且其设计压力与容积的乘积大于等于 $0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压反应容器和设计压力与容积的乘积大于等于 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压储存容器;

③ 高压、中压管壳式余热锅炉;

④ 高压容器。

易燃介质是指与空气混合的爆炸下限小于 10%,或爆炸上限和下限之差值大于等于 20%

的气体，如一甲胺、乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、环丙烷、氢、丁烷、三甲胺、丁二烯、丁烯、丙烷、丙烯、甲烷等。

介质的毒性程度参照 GB 5044《职业性接触毒物危害程度分级》的规定，按其最高允许浓度的大小分为下列四级：

- 极度危害（Ⅰ级） 最高允许浓度 $<0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ；
- 高度危害（Ⅱ级） 允许浓度 $0.1\sim<1.0\text{mg}/\text{m}^3$ ；
- 中度危害（Ⅲ级） 允许浓度 $1.0\sim<10\text{mg}/\text{m}^3$ ；
- 轻度危害（Ⅳ级） 允许浓度 $\geq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 。

属Ⅰ、Ⅱ级的常见介质有氟、氢氟酸、氢氰酸、光气、氟化氢、碳酰氟、氯等；属Ⅲ级的介质有二氧化硫、氨、一氧化碳、氯乙烯、甲醇、氧化乙烯、硫化乙烯、二硫化碳、乙炔、硫化氢等；属Ⅳ级的介质有氢氧化钠、四氟乙烯、丙酮等。

三、化工设备的基本要求

化工生产具有生产过程复杂，工艺条件苛刻，介质具有易燃、易爆、有毒、腐蚀性强等特点，生产装置大型化及生产过程的连续性、自动化程度高等特点。因此要求化工设备既能满足化工工艺的要求，又要能安全可靠地运行，同时还应经济合理。

（一）满足工艺要求

在化工生产中设备是为工艺服务的，化工设备的许多结构尺寸都是由工艺计算决定的，工艺人员通过工艺计算确定容器的直径、容积等尺寸并提出压力、温度、介质特性等生产条件。机械人员所提供的设备从结构形式和性能特点上应能在指定的生产条件下完成指定的生产任务。所以化工设备首先应满足化工工艺的要求。

（二）安全可靠运行

化工生产的特点决定了化工设备安全可靠运行的重要性。国内外生产实践表明，化工设备发生的事故相当频繁，而且事故的危害性极大。为了保证其安全运行，防止事故发生，世界各国都先后成立了专门的研究机构，从事专门的研究工作并制订了相关的技术规范。

保证化工设备安全可靠运行具体体现在强度、刚度（稳定性）、密封性、耐久性及耐腐蚀性等方面。

化工设备的所有零部件都应有足够的强度，否则就不能保证其安全运行。设备各零部件的连接大部分是焊接连接，这些部位受力复杂，应力集中现象严重，存在缺陷的可能性较大，在设计和制造时应予以足够的重视。

刚度（稳定性）也是保证化工设备安全运行的重要方面。有时容器的设计主要考虑的是刚度而不是强度，如受外压的薄壁容器失稳就是主要的失效形式；又如当设计压力较小时按强度计算的容器壁厚较小，但为了满足制造、运输、安装等方面的要求，还应按满足刚度要求的最小厚度来确定容器的厚度等。

化工设备必须具有良好的密封性。如果易燃、易爆、有毒介质泄漏出来，不仅使生产和设备本身受到损失，而且威胁操作人员的安全、污染环境，甚至引起爆炸，造成极其严重的后果。

耐腐蚀性对保证化工设备的安全运行也是十分重要的。化工生产中许多介质都有程度不同的腐蚀性，腐蚀使设备厚度减薄，使用寿命缩短。尤其是在应力集中、两种材料或构件焊接处等区域造成更为严重的腐蚀，更有甚者有些腐蚀表面不易发现，如氢腐蚀及奥氏体不锈钢的晶间腐蚀等，危害性更大。选择合适的耐腐蚀材料或采取相应的防腐蚀措施可大大提高设备的使用寿命和运行的安全性。

（三）经济合理性要求

化工设备在满足工艺要求和保证安全可靠运行的前提下，应尽量做到经济合理。从选材、设计、制造、安装等方面减少费用。不仅要降低设备本身的成本，还要考虑操作、维护、修理费用，能源及动力的消耗等。因此经济合理性是一项综合性指标。

四、压力容器规范介绍

鉴于压力容器安全问题的重要性，世界各工业国家都制订了压力容器规范。如美国的《锅炉、压力容器规范》，日本的《锅炉及压力容器安全规范》，中国的《钢制压力容器》及《压力容器安全技术监察规程》等。

中国压力容器规范的制订工作开始于 20 世纪 50 年代，当时要求自力更生设计制造大量的压力容器，相应的就要求有自己的规范。1959 年由当时的化工部、一机部等四个工业部联合颁布了第一本规范《多层高压容器设计与检验规程》，1960 年原化工部颁布了适用中低压容器的《石油化工设备零部件标准》。这两个标准相互配套，满足了当时生产的需要。20 世纪 60 年代初，中国工程界着手进行较为完整的设计规范制订工作，1967 年由上海化工设计院主持完成了第一版《钢制石油化工压力容器设计规定》试用本，以后经过多次的补充、修改和完善，形成了目前的格局。下面将简要介绍几部设计和管理规范。

（一）GB 150—1998《钢制压力容器》

GB 150—1998《钢制压力容器》是我国压力容器方面一部最重要的国家标准。由全国压力容器标准化技术委员会提出，国家技术监督局发布实施。该标准除正文部分外还有五个附录和四个提示性附录。

正文部分的内容包括以下几方面。

1. 范围

指出本标准适用和不适用的情况。

2. 引用标准

说明本标准引用了哪些现行的单项标准。

3. 总论

规定了压力容器设计、制造单位的资格与职责；给出了容器设计的一般规定和各主要参数的定义及确定原则等。

4. 材料

介绍了压力容器常用材料的性能、特点、规格、标准及使用和验收条件等。

5. 内压圆筒和球壳

给出了受内压的单层、多层包扎、热套圆筒和球壳设计计算和校核计算的公式。

6. 外压圆筒和球壳

规定了外压圆筒、球壳及加强圈图算法设计的方法，加强圈设置的相关要求；给出了有关图表。

7. 封头

规定了凸形封头、锥壳、变径段、平盖及锻制紧缩口设计计算的方法；给出了相关的图表。

8. 开孔和开孔补强

介绍了容器开孔的范围和相关规定，接管及补强结构和方法。

9. 法兰

介绍了压力容器法兰的类型, 法兰及垫片的选材及要求; 不同类型法兰的设计计算方法。

10. 制造、检验与验收

介绍了压力容器制造、检验与验收的一般规定, 冷加工成形的有关要求, 焊接与热处理及其试板与试样的相关内容, 容器无损检测的有关规定和要求, 容器的压力试验及质量证书、铭牌、包装、运输等内容。

五个附录包括材料的补充规定, 超压泄放装置, 低温压力容器及非圆形截面容器的相关规定, 产品焊接试板的力学性能检验等内容。

四个提示性附录包括钢材的高温性能及材料的指导性规定, 密封结构及焊接结构的相关规定等内容。

(二) GB 151—89《钢制管壳式换热器》

该标准是钢制管壳式换热器的国家标准, 是钢制管壳式换热器设计、制造、检验与验收、安装、试车和维护的直接依据。由全国压力容器标准化技术委员会提出, 国家技术监督局发布实施。

该标准有正文和附录两部分。正文部分包括总论、材料、设计、制造、检验与验收、安装、试车和维护等内容。附录部分有三个补充件和六个参考件, 补充件是必须遵循的规定, 参考件为推荐性的。附录的内容包括低温管壳式换热器; 换热管与管板接头的焊接工艺评定; 管板与圆筒、管箱的连接; 螺纹换热管; 管束振动; 壁温计算; 管子特性表及垫片等。

(三) JB 4710—92《钢制塔式容器》

该标准是压力容器方面最重要的行业标准, 是塔式容器设计、制造、检验与验收的直接依据。由全国压力容器标准化技术委员会提出, 由原机械电子工业部、化学工业部、劳动部及中国石油化工总公司联合发布实施。

该标准有正文和附录两部分。正文部分包括: 标准的适用范围及所引用的各单项标准; 塔设备的结构及设计和选材的一般规定; 塔设备的强度及稳定性校核计算的方法; 塔设备的制造、检验与验收等内容。附录部分有三个补充件和三个参考件: 包括塔器高振型的计算; 场地土的分类及近震、远震的影响; 全国基本风压分布图及塔器挠度计算等内容。

(四)《压力容器安全技术监察规程》

保证压力容器安全可靠运行, 仅靠设计、制造方面的标准和规范是不够的, 还必须有监察和监督。中国锅炉和压力容器的安全监督职权, 由劳动部门执行。

1981年发布了《压力容器安全监察规程》, 1982年发布了《锅炉压力容器安全监察条例》及该条例的《实施细则》, 1987年锅炉压力容器安全监察部门又针对压力容器的实际使用情况颁发了《在役压力容器检验和缺陷处理若干问题的参考意见》, 1990年对《压力容器安全监察规程》进行了修订, 更名为《压力容器安全技术监察规程》。这些规程和条例的颁布实施大大促进了我国压力容器的管理和监督工作, 使压力容器管理工作逐步走向规范化。

《压力容器安全技术监察规程》是压力容器安全管理的技术法规, 从事压力容器设计、制造、安装、改造、使用、检验、修理的单位都要贯彻执行。它又是压力容器安全技术的一个最低标准, 凡是压力容器部颁标准、企业标准都不得低于《压力容器安全技术监察规程》所规定的技术标准。

《压力容器安全技术监察规程》包括: 压力容器安全技术管理的一般规定; 材料的使用及容器设计方面的相关要求; 制造与现场组焊、无损检测与压力试验的有关规定和要求; 容

器的使用、管理、定期检验、压力容器安全附件的使用及安装等主要内容。

第二节 化工设备常用材料

材料是构成化工设备的物质基础,化工生产工艺的复杂性决定了化工设备选材的广泛性,但使用量最多的还是各种钢材。要确保化工设备安全可靠运行就必须对其所用的钢材有较为全面的、综合性的认识,不仅要熟悉钢材的常规性能,也要熟悉设备在特殊条件下,如高温、低温、特殊介质下长周期运转,对材料的特殊要求,以便合理地选择使用。

一、对压力容器用钢的基本要求

从受力角度看,压力容器用钢首先应有足够的强度以满足其压力载荷的需要,若强度过低势必使容器过厚而显得粗笨且使制造安装不便;从容器的制造方面看,大多数是用冷卷、热冲压成形工艺和焊接连接,为此要求材料应有良好的塑性和焊接性,使冷卷及热冲时不裂不断,焊接后能得到质量可靠的焊接接头;从容器结构上看,不可能做到无任何小圆角或缺口,另外在焊接接头中存在缺陷也是难免的,这些都可能形成应力集中,这就要求材料应具有良好的韧性,不至于因载荷突变、冲击、过载或低温而造成断裂,同时还要求材料在交变载荷作用下具有抗疲劳破坏的能力,使容器有足够的安全使用寿命;由于化工生产介质大多都有腐蚀性的,所以要求材料还应有较好的耐腐蚀能力。

综上所述,对压力容器用钢的基本要求是:较高的强度,良好的塑性、韧性,良好的焊接性和耐腐蚀性。钢材的性能是通过控制钢中的化学成分及实施不同热处理方法来获得,通过钢材的力学性能来体现,所以对压力容器用钢的出厂、交接货都有非常严格的要求。作为钢厂出厂时必检项目是:化学成分、抗拉强度 σ_b 、屈服点 σ_s 、断后伸长率 δ_5 、180°冷弯、冲击功 A_{kv} 。制造厂接受钢材来货时必须检查钢厂的质量保证书,对制造重要容器的钢材甚至还要进行抽样复验,以至逐张进行超声波 100% 面积检测以确定其轧制质量。

二、常用钢材介绍

(一) 钢板

压力容器用钢数量很多的是板材,为适应压力容器各种不同的工作条件,中国已生产了多种不同用途的专用钢材,也有一些一般用途的钢板在规定的使用条件下用于制造压力容器。现就 GB 150—1998《钢制压力容器》中允许选用的钢板简要介绍如下。

1. 碳素结构钢板

在压力容器可供选用的碳素结构钢钢板的牌号有 Q235-A·F、Q235-A、Q235-B、Q235-C。这属于一般用途的碳素结构钢而并非压力容器专用钢,但由于其轧制技术成熟,质量稳定,价格较低,在限定的条件下使用是可靠的,所以在规定的条件下可用于压力容器。其具体使用条件见表 0-1。

2. 压力容器用碳素钢和低合金钢板

这类钢板是按 GB 6654—1996《压力容器用钢板》生产的,是一般的压力容器专用钢板,包括 20R、16MnR、15MnVR、18MnMoNbR、13MnNiMoNbR 及未列入 GB 6654—1996 而被纳入 GB 150—1998 的 07MnCrMoVR 等七个钢号。具体使用条件见表 0-2。

3. 低温压力容器用低合金钢板

按中国设计规范规定,设计温度小于等于 -20°C 者为低温容器,其壳体应选用耐低温的钢板,按 GB 3531—1996 生产的钢板就是低温压力容器专用钢板,包括 16MnDR、15MnNiDR、09Mn2VDR、09MnNiDR 及未列入 GB 3531—1996 而被纳入 GB 150—1998 中的

07MnNiCrMoVDR 等五个钢号。具体使用条件见表 0-3。

表 0-1 碳素结构钢板

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 /mm	适 用 范 围			
				容器设计压力 /MPa	钢板使用温度 /℃	用作壳体时厚度/mm	介 质
Q235-A·F	GB 912	热轧	3~4	≤0.6	0~250	≤12	不得用于易燃介质及毒性程度为中度以上的介质
	GB 3274		4.5~16				
Q235-A	GB 912	热轧	3~4	≤1.0	0~350	≤16	不得用于液化石油气介质及毒性程度为高度以上的介质
	GB 3274		4.5~40				
Q235-B	GB 912	热轧	3~4	≤1.6	0~350	≤20	不得用于毒性程度为高度以上的介质
	GB 3274		4.5~40				
Q235-C	GB 912	热轧	3~4	≤2.5	0~400	≤32	
	GB 3274		4.5~40				

表 0-2 压力容器用碳素钢和低合金钢板

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 /mm	使用温度 /℃	其 他 条 件
20R	GB 6654—1996	热轧	6~100	-20~475	下列情况应在正火状态下使用： ① 用于壳体厚度大于 30mm 的 20R 和 16MnR
16MnR		正火			
15MnVR		热轧	6~120	-20~475	② 用于其他受压元件（法兰、管板、平盖等）的厚度大于 50mm 的 20R 和 16MnR
15MnVNR		正火			
18MnMoNbR		热轧	6~60	-20~400	③ 厚度大于 16mm 的 15MnVR 下列情况应逐张进行拉伸和夏比（V 形缺口）冲击（常温或低温）试验：
13MnNiMoNbR		正火			
15CrMoR		正火	6~60	-20~400	① 调质状态供货的钢板 ② 多层包扎压力容器的内筒钢板 ③ 用于壳体厚度大于 60mm 的钢板
07MnCrMoVR	—	加回火	30~100	-20~475	下列情况应每批抽一张钢板进行夏比（V 形缺口）低温冲击试验： ① 使用温度低于 C 时，厚度大于 25mm 小于 60mm 的 20R，厚度大于 38mm 小于 60mm 的 16MnR、15MnVR 和 15MnVNR，任何厚度的 18MnMoNbR、13MnNiMoNbR 和 07MnCrMoVR
14Cr1MoR		正火			
		加回火	30~120	-20~400	② 使用温度低于 -10℃，厚度大于 12mm 的 20R，厚度大于 20mm 的 16MnR、15MnVR 和 15MnVNR 使用 07MnCrMoVR 和 14Cr1MoR 时应考虑介质的应力腐蚀问题
		正火	6~100	-20~550	
		加回火	16~120	-20~550	

4. 不锈钢钢板

化工生产介质大多都是有腐蚀的，为确保容器安全运行，从选材角度考虑需要选用耐腐蚀的不锈钢。但腐蚀介质的性质千差万别，而且其腐蚀性在很大程度上受介质的浓度及温度的影响，因而为适应不同介质和操作条件的要求，不锈钢的牌号也很多，其中主要是按

GB 4237—92《不锈钢热轧钢板》生产的各类热轧钢板。具体使用条件见表 0-4。

表 0-3 低温压力容器用低合金钢板

钢 号	钢板标准	使用状态	厚度 /mm	使用温度 /℃	最低冲击试验温度 /℃
16MnDR	GB 3531—1996	正火	6~36	-40~350	-40
			36~100	-30~350	-30
15MnNiDR		正火	6~60	-45~100	-45
		正火加回火			
09Mn2VDR		正火	6~36	-50~100	-50
		正火加回火			
09MnNiDR		正火	6~60	-70~350	-70
		正火加回火			
07MnNiCrMoVDR	—	调质	16~50	-40~350	-40

表 0-4 不锈钢钢板

钢 号	钢板标准	使用 状态	厚度 /mm	使用温度 / C	其他要求
0Cr13	GB 4237—92	退 火	2~60	-20~600	按 GB 4237—92 的规定
0Cr18Ni9		固溶	2~60	-196~700	
0Cr18Ni10Ti		固溶 稳定化	2~60		
0Cr17Ni12Mo2Ti		固溶	2~60		
0Cr18Ni12Mo2Ti		固溶	2~60	-196~500	
0Cr19Ni13Mo3		固溶	2~60	-196~700	
00Cr19Ni10		固溶	2~60	-196~425	

(二) 钢管

钢管在化工设备中应用也是很多的,如容器壳体上各种接管,管壳式换热器上的换热管、加热炉的炉管等。这些都要求使用无缝钢管,另外大直径的无缝钢管还可直接用做容器的壳体。现就纳入 GB 150—1998 中的几类钢管简要介绍如下。

1. 输送流体用无缝钢管

GB 8163—87《输送流体用无缝钢管》是一项适用于流体输送用的一般无缝钢管的标准,推荐使用于压力容器的有 10、20 两个钢号,可以与壳体材料为 Q235 级、20R、16MnR 等配合使用,是应用最广泛的一种无缝钢管。这类钢管分热轧和冷拔两种,其中的冷拔管按其直径和壁厚的尺寸精度分为普通级和较高级。作为短管或 GB 151—89《钢制管壳式换热器》中Ⅱ级换热器(适用于重沸、冷凝传热和无振动的一般场合)用的换热管选用普通级即可,对Ⅰ级换热器(适用于无相变传热和易产生振动的场合)用的换热管则要选用较高级。

2. 化肥设备用高压无缝钢管

GB 6479—86《化肥设备用高压无缝钢管》,被纳入 GB 150—1998 中的牌号有 10、20G、16Mn、15MnV、12CrMo、15CrMo、10MoWVNb、12Cr2Mo、1Cr5Mo 等。这类钢管适用温度 -40~400℃,适用压力 10~32MPa,不仅应用于化肥设备上,还可以和多种压力容器选用钢板配套使用。