



教育部 高职高专规划教材

化工设备基础

● 王绍良 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

化工设备基础

王绍良 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工设备基础/王绍良主编. —北京:化学工业出版社, 2002.6

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-3647-7

I. 化… II. 王… III. 化工设备-高等学校: 专业学校-教材 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 040823 号

教育部高职高专规划教材

化工设备基础

王绍良 主编

责任编辑:高 钰

责任校对:蒋 宇

封面设计:郑小红

*

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

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 414 千字

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3647-7/G·988

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

全国高等职业教育化工专业教材编审委员会

主任：赵杰民

副主任：张鸿福 李顺汀 田 兴 黄永刚 任耀生

基础化学组：李居参 赵文廉 宋长生
苏 静 胡伟光 初玉霞 丁敬敏 王建梅 张法庆
徐少华

数理基础组：于宗保 王绍良 王爱广
金长义 陈 泓 朱方鸣 高 松 刘玉梅 杨 凌
董振珂 李元文 丛文龙 傅 伟

化工基础组：唐小恒 周立雪 秦建华
王小宝 张柏钦 张洪流 邢鼎生 张国铭 徐建良
周 健

化工专业组：刘德崢 陈炳和 杨宗伟
王文选 文建光 田铁牛 李贵贤 梁凤凯 卞进发
杨西萍 舒均杰 郑广俭

人文社科组：曹克广 霍献育 徐沛林
刘明远 曾悟声 马 涛 侯文顺 曲富军 高玉萍
史高锋 赵治军

工程基础组：丁志平 刘景良 姜敏夫
魏振枢 律国辉 过维义 吴英绵 章建民 张 平
许 宁 贺召平

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特性和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书是根据高等职业教育化工工艺类专业教学计划和课程教学大纲的要求编写的。其目的是通过本课程的学习,使工艺类的学生获得必要的机械基础知识,扩充知识面,优化知识结构和能力结构,更好地符合高等职业教育的专业培养目标的要求,适应生产、管理第一线高等技术人才实际工作的需要。为此,本教材力求突出如下特点。

① 在体系上有所突破。全书分为化工设备基本知识、化工设备力学基础、机械传动与联接、压力容器、典型化工设备、化工管路、化工设备故障诊断等部分,与同类教材相比,突出了塔设备、换热设备、反应器等典型化工设备的内容,增加了化工管路、化工设备故障诊断技术等生产现场实用的知识。

② 在知识结构上有所调整。材料选择、力学基础、机械传动与联接等基础性内容,围绕典型化工设备所涉及的范围而取舍,以实用为主,够用为度,不强调各自知识的系统性和学科性。

③ 在能力培养上有所侧重。突出结构分析、力学模型建立、故障诊断与排除及标准选择等解决工程实际问题的能力培养,而对于高压容器应力分析、换热器管板强度计算、边缘应力等工艺类工程技术人员不常用到且繁杂的内容作了删除。

④ 在内容的组织上有所创新。本教材除了吸收同类教材的优点和近年来教学研究与改革的经验外还采用了最新版本的有关标准和规范,注重知识更新,在一定程度上体现了有关的新技术、新材料、新工艺、新设备的成果,反映了学科发展的趋势。

本书第一章的第一节、第二节和第三节、第五章、第六章、第七章、第八章由王绍良编写,第一章第四节和第五节、第三章、第四章、第九章由丛文龙编写,第二章由黄开旺编写。全书由王绍良主编并统稿,由吉林工业职业技术学院栾学钢主审。

由于编者水平所限,书中不妥甚至错误之处在所难免,敬请读者指正。

编 者

2002年5月

目 录

第一章 化工设备基础知识	1	一、弯曲变形的概念	57
第一节 化工生产对化工设备的基本要求	1	二、直梁弯曲时的内力	58
一、化工生产的特点	1	三、弯曲正应力	62
二、化工生产对化工设备的基本要求	2	四、提高弯曲强度的主要措施	64
第二节 化工容器结构与分类	3	第五节 压杆稳定	66
一、化工容器的基本结构	3	一、压杆稳定性的概念	66
二、化工容器与设备的分类	4	二、压杆的临界力和临界应力	67
第三节 化工容器与设备有关标准规范简介 ..	6	三、压杆稳定性计算	68
一、常用材料标准	6	四、提高压杆稳定性的措施	70
二、压力容器规范简介	7	思考题	71
第四节 化工设备常用材料	10	习 题	72
一、材料常用性能	10	第三章 机械传动与联接	76
二、钢的热处理	11	第一节 带传动	76
三、金属材料	13	一、带传动原理、特点、类型、应用	
四、非金属材料	17	场合	76
五、选材的基本原则	18	二、普通 V 带和带轮	77
第五节 金属材料的腐蚀与防护	19	三、带传动的失效、张紧、安装与维护	78
一、腐蚀基本概念	19	第二节 齿轮传动	79
二、腐蚀类型及机理	19	一、齿轮传动的特点、类型及应用场合	79
三、防腐措施	20	二、齿轮传动比计算	80
思考题	22	三、齿轮常用材料及选择	81
第二章 化工设备力学基础	24	四、齿轮传动失效形式及原因	81
第一节 物体的受力分析	24	第三节 蜗杆传动	83
一、力的概念与基本性质	24	一、蜗杆传动的特点、类型及应用场合	83
二、受力图	26	二、蜗杆传动的失效形式及原因	84
三、平面汇交力系	29	三、蜗杆蜗轮的常用材料与结构	85
四、力矩和力偶	32	四、蜗杆传动装置的润滑与维护	86
五、平面一般力系	35	第四节 轴与联轴器	87
第二节 轴向拉伸与压缩	39	一、轴的分类、材料、结构	87
一、轴向拉伸与压缩的概念	39	二、联轴器的功用、分类、结构、标准及	
二、轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	39	选用	88
三、轴向拉伸与压缩时的强度计算	41	第五节 轴承	91
四、轴向拉压时的变形	42	一、滑动轴承的分类、常用材料、滑动轴承	
五、典型材料拉伸与压缩时的力学性能 ..	44	润滑	91
第三节 剪切与圆轴扭转	48	二、滚动轴承的构造、类型、代号、标准	
一、剪切与挤压	48	及类型选择	93
二、圆轴扭转	52	三、滚动轴承的润滑、密封与维护	95
第四节 直梁的弯曲	57	第六节 螺纹联接、键联接、销联接	96

一、螺纹联接类型、标准、预紧与防松	96	二、填料支承装置	165
二、普通平键的结构、标准与选择	98	三、液体喷淋装置	167
三、销联接	100	四、液体再分布装置	169
思考题	101	第三节 塔体强度校核	171
习 题	102	一、各种载荷计算	171
第四章 压力容器	103	二、塔体不同工况时的组合应力计算与校核	176
第一节 内压薄壁容器	103	三、塔体壁厚确定方法	178
一、内压薄壁圆筒与球壳的应力计算	103	四、裙座结构	178
二、强度条件与壁厚计算	105	第四节 塔设备常见机械故障及排除方法	180
三、设计参数的确定	107	一、塔设备的振动	180
四、容器压力试验	109	二、塔设备的腐蚀	180
第二节 内压容器封头	113	三、其他常见机械故障	181
一、常用封头的形式	113	思考题	182
二、标准椭圆形封头及选用	114	第六章 换热器	183
三、半球形封头	114	第一节 概述	183
四、碟形封头	115	一、换热设备的分类	183
五、锥形封头	116	二、间壁式换热器的主要类型	184
六、平板形封头	116	第二节 管壳式换热器	188
第三节 容器附件	117	一、管壳式换热器的形式与结构	188
一、容器设计的标准化	117	二、换热管	189
二、法兰联接	119	三、管板	190
三、容器的支座	128	四、管箱、折流板、挡板	194
四、容器的开孔与补强结构	132	五、温差补偿装置	197
五、容器安全装置	135	第三节 换热器技术的发展及标准化	198
六、其他附件	137	一、传热理论创新	198
第四节 外压容器	138	二、设备结构的改进	198
一、外压容器的稳定性、临界压力计算	139	三、换热器标准及选用	199
二、外压容器设计参数的确定	140	第四节 管壳式换热器的常见故障及排除方法	201
三、外压圆筒图算法	141	一、管子的振动与防振措施	201
四、外压封头图算法	143	二、管壁积垢	202
五、外压容器的压力试验	144	三、管子的泄漏	202
六、提高外压容器稳定性的途径	146	思考题	202
思考题	147	第七章 搅拌反应釜	203
习 题	148	第一节 概述	203
第五章 塔设备	149	一、反应釜的作用	203
第一节 板式塔结构	150	二、反应釜的设计	203
一、总体结构与基本类型	150	三、搅拌反应釜的总体结构	203
二、塔盘结构	154	第二节 筒体和传热装置	204
三、除沫装置	160	一、内筒的直径和高度及壁厚确定	204
四、进出口管装置	161	二、夹套	205
五、人孔与手孔	163	三、蛇管	206
第二节 填料塔结构	164		
一、填料	164		

第一章

化工设备基本知识

第一节 化工生产对化工设备的基本要求

化工生产是以流程性物料（气体、液体、粉体）为原料，以化学处理和物理处理为手段，以获得设计规定的产品为目的的工业生产。化工生产过程不仅取决于化学工艺过程，而且与化工机械装备密切相关。化工机械是化工生产得以进行的外部条件。如介质的化学反应，由反应器提供符合反应条件要求的空间；质量传递通常在塔设备中完成；热量传递一般在换热器中进行；能量转换由泵、压缩机等装置承担。同时化工机械技术的发展和进步，又能促进新工艺的诞生和实施，如大型压缩机和超高压容器的研制成功，使人造金刚石的构想变为现实，使高压聚合反应得以实现。所以，先进的化工机械，一方面为化学工艺过程服务，另一方面又促进化学工艺过程的发展。

化工机械通常分为化工设备和化工机器两大类，化工设备指静止设备，如各种塔器、换热器等；化工机器指动设备，如各种压缩机、泵等。本书主要介绍化工设备。

一、化工生产的特点

与其他工业生产相比，化工生产具有其自身的特点。

1. 生产的连续性强

由于化工生产所处理的大多是气体、液体和粉体，便于输送和控制，处理过程如传质、传热、化学反应可连续进行，为了提高生产效率，节约成本，化工生产过程一般采用连续的工艺流程。在连续性的过程中，每一生产环节都非常重要，若出现事故，将破坏连续性生产。

2. 生产的条件苛刻

(1) 介质腐蚀性强

化工生产过程中，有很多介质具有腐蚀性。例如，酸、碱、盐一类的介质，对金属或非金属物件的腐蚀，使机器与设备的使用寿命大为降低。腐蚀生成物的沉积，可能堵塞机器与设备的通道，破坏正常的工艺条件，影响生产的正常进行。

(2) 温度和压力变化大

根据不同的工艺条件要求，介质的温度和压力各不相同。介质温度从深冷到高温，压力从真空到数百兆帕。使得有的设备要承受高温或高压，有的设备要承受低温或低压。温度和压力的不同，影响到设备的工作条件和材料选择。

(3) 介质大多易燃易爆有毒性

化工生产过程中,有不少介质是容易燃烧和爆炸的,例如氨气、氢气、苯蒸气等均属此类。还有不少介质有较强的毒副作用,如二氧化硫、二氧化氮、硫化氢、一氧化碳等。这些易燃、易爆、有毒性的介质一旦泄漏,不仅会造成环境的污染,而且还可能造成人员伤亡和重大事故的发生。

(4) 生产原理的多样性

化工生产过程按作用原理可分为质量传递、热量传递、能量传递和化学反应等若干类型。同一类型中功能原理也多种多样,如传热设备的传热过程,按传热机理又可分为热传导、对流和辐射。故化工设备的用途、操作条件、结构形式也千差万别。

(5) 生产的技术含量高

现代化工生产既包含了先进的生产工艺,又需要先进的生产设备,还离不开先进的控制与检测手段。因此,生产技术含量要求高。并呈现出学科综合,专业复合,化、机、电一体化的发展势态。

二、化工生产对化工设备的基本要求

(一) 安全性能要求

1. 足够的强度

材料强度是指载荷作用下材料抵抗永久变形和断裂的能力。屈服点和抗拉强度是钢材常用的强度判据。过程设备是由材料制造而成的,其安全性与材料强度紧密相关。在相同设计条件下,提高材料强度,可以增大许用应力,减薄过程设备的壁厚,减轻重量、便于制造、运输和安装,从而降低成本,提高综合经济性。对于大型过程设备,采用高强度材料的效果尤为显著。

2. 良好的韧性

韧性是指材料断裂前吸收变形能量的能力。由于原材料制造(特别是焊接)和使用(如疲劳、应力腐蚀)等方面的原因,化工设备的构件常带有各种各样的缺陷,如裂纹、气孔、夹渣等。如果材料韧性差,可就能因其本身的缺陷或在波动载荷作用下发生脆性破断。

3. 足够的刚度和抗失稳能力

刚度是过程设备在载荷作用下保持原有形状的能力。刚度不足是过程设备过度变形的主要原因之一。例如,螺栓、法兰和垫片组成的连接结构,若法兰因刚度不足而发生过度变形,将导致密封失效而泄漏。

4. 良好的抗腐蚀性

过程设备的介质往往是腐蚀性强的酸、碱、盐。材料被腐蚀后,不仅会导致壁厚减薄,而且有可能改变其组织和性能。因此,材料必须具有较强的耐腐蚀性能。

5. 可靠的密封性

密封性是指化工设备防止介质泄漏的能力。由于化工生产中的介质往往具有危害性,若发生泄漏不仅有可能造成环境污染,还可能引起中毒、燃烧和爆炸。因此密封的可靠性是化工设备安全运行的必要条件。

(二) 工艺性能要求

1. 达到工艺指标

化工设备都有一定的工艺指标要求,以满足生产的需要。如储罐的储存量、换热器的传热量、反应器的反应速率、塔设备的传质效率等。工艺指标达不到要求,将影响整个过程的

生产效率，造成经济损失。

2. 生产效率高、消耗低

化工设备的生产效率用单位时间内单位体积（或面积）所完成的生产任务来衡量。如换热器在单位时间单位传热面积的传热量、反应器在单位时间单位容积内的产品数量等。消耗是指生产单位质量或体积产品所需要的资源（如原料、燃料、电能等）。设计时应从工艺、结构等方面来考虑提高化工设备的生产效率和降低消耗。

（三）使用性能要求

1. 结构合理、制造简单

化工设备的结构要紧凑、设计要合理、材料利用率要高。制造方法要有利于实现机械化、自动化，有利于成批生产，以降低生产成本。

2. 运输与安装方便

化工设备一般由机械制造厂生产，再运至使用单位安装。对于中小型设备运输安装一般比较方便，但对于大型设备，应考虑运输的可行性，如运载工具的能力、空间大小、码头深度、桥梁与路面的承载能力、吊装设备的吨位等。对于特大型设备或有特殊要求的设备，则应考虑采用现场组装的条件和方法。

3. 操作、控制、维护简便

化工设备的操作程序和方法要简单，最好能设有防止错误操作的报警装置。设备上要有测量、报警和调节装置，能检测流量、温度、压力、浓度、液位等状态参数，当操作过程中出现超温、超压和其他异常情况时，能发出警报信号，并可对操作状态进行调节。

（四）经济性能要求

在满足安全性、工艺性、使用性的前提下，应尽量减少化工设备的基建投资和日常维护、操作费用，并使设备在使用期内安全运行，以获得较好的经济效益。

第二节 化工容器结构与分类

一、化工容器的基本结构

在化工类工厂使用的设备中，有的用来贮存物料，如各种储罐、计量罐、高位槽；有的用来对物料进行物理处理，如换热器、精馏塔等；有的用于进行化学反应，如聚合釜，反应器，合成塔等。尽管这些设备作用各不相同，形状结构差异很大，尺寸大小千差万别，内部构件更是多种多样，但它们都有一个外壳，这个外壳就叫化工容器。所以化工容器是化工生产中所用设备外部壳体的总称。由于化工生产中，介质通常具有较高的压力，故化工容器通常为压力容器。

化工容器一般由筒体、封头、支座、法兰及各种开孔所组成，见图 1-1。

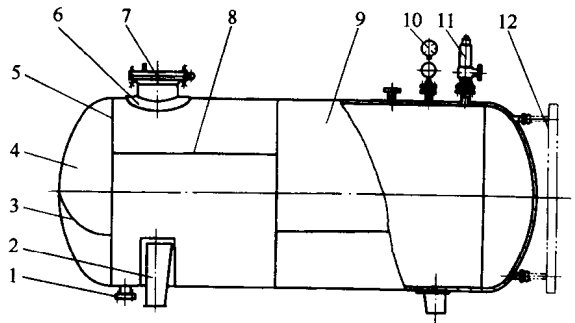


图 1-1 化工容器的总体结构

- 1—法兰；2—支座；3—封头拼接焊缝；4—封头；
5—环焊缝；6—补强圈；7—人孔；8—纵焊缝；
9—筒体；10—压力表；11—安全阀；12—液面计

1. 筒体

筒体是化工设备用以储存物料或完成传质、传热或化学反应所需要的工作空间，是化工容器最主要的受压元件之一，其内直径和容积往往需由工艺计算确定。圆柱形筒体（即圆筒）和球形筒体是工程中最常用的筒体结构。

2. 封头

根据几何形状的不同，封头可以分为球形、椭圆形、碟形、球冠形、锥壳和平盖等几种，其中以椭圆形封头应用最多。封头与筒体的连接方式有可拆连接与不可拆连接（焊接）两种，可拆连接一般采用法兰连接方式。

3. 密封装置

化工容器上需要有许多密封装置，如封头和筒体间的可拆式连接，容器接管与外管道间的可拆连接以及人孔、手孔盖的连接等，可以说化工容器能否正常安全地运行在很大程度上取决于密封装置的可靠性。

4. 开孔与接管

化工容器中，由于工艺要求和检修及监测的需要，常在筒体或封头上开设各种大小的孔或安装接管，如人孔、手孔、视镜孔、物料进出口接管，以及安装压力表、液面计、安全阀、测温仪表等接管开孔。

5. 支座

化工容器靠支座支承并固定在基础上。随安装位置不同，化工容器支座分立式容器支座和卧式容器支座两类，其中立式容器支座又有腿式支座、支承式支座、耳式支座和裙式支座四种。大型容器一般采用裙式支座。卧式容器支座有支承式、鞍式和圈式支座三种；以鞍式支座应用最多。而球形容器多采用柱式或裙式支座。

6. 安全附件

由于化工容器的使用特点及其内部介质的化学工艺特性，往往需要在容器上设置一些安全装置和测量、控制仪表来监控工作介质的参数，以保证压力容器的使用安全和工艺过程的正常进行。

化工容器的安全装置主要有安全阀、爆破片、紧急切断阀、安全联锁装置、压力表、液面计、测温仪表等。

上述筒体、封头、密封装置、开孔接管、支座及安全附件等即构成了一台化工设备的外壳。对于储存用的容器，这一外壳即为容器本身。对于用于化学反应、传热、分离等工艺过程的容器而言，则须在外壳内装入工艺所要求的内件，才能构成一个完整的产品。

二、化工容器与设备的分类

从不同的角度对化工容器及设备有各种不同的分类方法，常用的分类方法有以下几种。

（一）按压力等级分

按承压方式分类，化工容器可分为内压容器与外压容器。内压容器又可按设计压力大小分为四个压力等级，具体划分如下：

低压（代号 L）容器	$0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$ ；
中压（代号 M）容器	$1.6 \text{ MPa} \leq p < 10.0 \text{ MPa}$ ；
高压（代号 H）容器	$10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$ ；
超高压（代号 U）容器	$p \geq 100 \text{ MPa}$ 。

外压容器中，当容器的内压小于一个绝对大气压（约 0.1 MPa）时又称为真空容器。

（二）按原理与作用分

根据化工容器在生产工艺过程中的作用，可分为反应容器、换热容器、分离容器、储存容器。

① 反应容器（代号 R）主要是用于完成介质的物理、化学反应的容器，如反应器、反应釜、聚合釜、合成塔、蒸压釜、煤气发生炉等。

② 换热容器（代号 E）主要是用于完成介质热量交换的容器。如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器等。

③ 分离容器（代号 S）主要是用于完成介质流体压力平衡缓冲和气体净化分离的容器。如分离器、过滤器、蒸发器、集油器、缓冲器、干燥塔等。

④ 储存容器（代号 C，其中球罐代号 B）主要是用于储存、盛装气体、液体、液化气体等介质的容器。如液氨储罐、液化石油气储罐等。

在一台化工容器中，如同时具备两个以上的工艺作用原理时，应按工艺过程的主要作用来划分品种。

（三）按相对壁厚分

按容器的壁厚可分为薄壁容器和厚壁容器，当筒体外径与内径之比小于或等于 1.2 时称为薄壁容器，大于 1.2 时称厚壁容器。

（四）按支承形式分

当容器采用立式支座支承时叫立式容器，用卧式支座支承时叫卧式容器。

（五）按材料分

当容器由金属材料制成时叫金属容器；用非金属材料制成时，叫非金属容器。

（六）按几何形状分

按容器几何形状，可分为圆柱形、球形、椭圆形、锥形、矩形等容器。

（七）按安全技术管理分

上面所述的几种分类方法仅仅考虑了压力容器的某个设计参数或使用状况，还不能综合反应压力容器面临的整体危害水平。例如储存易燃或毒性程度中度以及上危害介质的压力容器，其危害性要比相同几何尺寸、储存毒性程度轻度或非易燃介质的压力容器大得多。压力容器的危害性还与其设计压力 p 和全容积 V 的乘积有关， pV 值愈大，则容器破裂时爆炸能量愈大，危害性也愈大，对容器的设计、制造、检验、使用和管理的要求愈高。为此，《压力容器安全技术监察规程》采用既考虑容器压力与容积乘积大小，又考虑介质危害程度以及容器品种的综合分类方法，有利于安全技术监督和管理。该方法将压力容器分为三类。

1. 第三类压力容器

具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 $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；
- ④ 中压反应容器（仅限易燃或毒性程度为中度危害介质，且 pV 乘积大于等于 $0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；
- 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 MPa·m³);

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 540MPa)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 m³);

⑪ 低温液体储存容器(容积大于 5 m³)。

2. 第二类压力容器

具有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

除上述规定以外的低压容器为第一类压力容器。

上述压力容器分类方法综合考虑了设计压力、几何容积、材料强度、应用场合和介质危害程度等影响因素,分类方法比较科学合理。

第三节 化工容器与设备有关标准规范简介

为了确保压力容器和化工设备的安全运行,世界各国都制订了一系列有关的规范和标准。在材料、设计、制造、使用、检验等方面提出了明确的基本要求。

一、常用材料标准

由于化工生产工艺条件的多样性,化工容器及设备所用材料范围广、品种多、既有金属材料,又有非金属材料。其中金属材料使用较多,尤以钢材为甚。现将常的钢板和钢管标准作一简介。

1. 钢板

化工容器多采用钢板卷焊而成。常用的钢板及标准有以下几种。

(1) 碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带(GB 912—89)

该标准通过引用 GB 700—88(碳素结构钢)和 GB 1591—94(低合金结构钢)等相关标准,规定了厚度不大于 4 mm 的碳素结构钢和低合金结构钢热轧薄钢板及钢带的尺寸、外形、技术要求、试验方法、检验规则等。

(2) 碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带(GB 3274—88)

该标准通过引用 GB 700—88 和 GB 1591—94 规定了碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带的技术条件。适用于厚度为 4~200 mm 的普通碳素结构钢热轧厚钢板和厚度为

4~25 mm 的热轧钢带。

(3) 不锈钢热轧钢板 (GB 4237—92)

该标准适用于一般用途的耐腐蚀的热轧钢板。规定了奥氏体型、奥氏体-铁素体型、马氏体型三个类别 48 个牌号的不锈钢热轧钢板的尺寸、外形、技术要求、试验方法、检验规则、包装标法及质量证明书等内容, 在各类不锈钢中, 含铬量 18%、含镍量 8%~9% 的 18-8 型奥氏体不锈钢, 因其具有优良的耐蚀性能和良好的塑性、冷变形能力及可焊性, 得到广泛的应用。

(4) 压力容器用钢板 (GB 6654—1996)

该标准适用于中、常温压力容器受压元件用厚度为 6~120 mm 的钢板。它规定了 20R、16MnR、15MnVR、18MnMoNbR、13MnNiMoNbR、15GrMoR 等 6 种压力容器钢板的尺寸、外形、技术要求 (包括化学成分、冶炼方法、交货状态、力学和工艺性能、超声波探伤检查、表面质量等)、试验方法、检验规则、包装标法和质量证明书等内容。

2. 钢管

钢管在化工机械装备中应用较多。如各种接管和流体输送管道, 换热器的换热管、小型设备的筒体等。应用较多的钢管品种有

(1) 输送流体用无缝钢管 (GB 8163—87)

该标准适用于输送流体用一般无缝钢管。它规定了 10、20、09MnV、16Mn 4 种材质制造的钢管尺寸、外形及重量、技术要求、试验方法、检验规则、包装标志、质量证明书等内容。需方还可就重量允许偏差、扩口试验、冷弯试验、表面涂层、取样数量和试验方法提出附加要求。

(2) 石油裂化用无缝钢管 (GB 9948—88)

该标准规定了石油裂化用无缝钢管尺寸外形、技术要求、试验方法、检验规则、包装标法和质量证明书等内容。它适用于石油炼制厂的炉管、热交换管和管道用无缝钢管。选定的材料有优质碳素钢 10、20, 合金钢 12GrMo、15GrMo, 耐热钢 1Gr2Mo、1Gr5Mo、不锈钢 1Gr19Ni9、1Gr19Ni11Nb。

(3) 化肥设备用高压无缝钢管 (GB 6479—86)

该标准适用于工作温度为 -40~400 ℃、工作压力为 10~32 MPa 的化工设备和管道用优质碳素钢和合金钢的无缝钢管。规定了优质碳素钢 10、20G 和合金钢 16Mn、15MnV、10MoWVNb、12GrMo、15GrMo、1Gr5Mo、12Gr2Mo、9 种材质钢管的尺寸、外形及重量、技术要求、试验方法、检验规则、包装质量、质量证明书等内容。

(4) 高压锅炉用无缝钢管 (GB 5310—85)

该标准适用于制造高压及其以上压力的蒸汽锅炉、管道等用的优质碳素结构钢、合金钢和不锈钢耐热钢无缝钢管。规定了高压锅炉用无缝钢管的尺寸、外形及重量、技术要求、检验规则、包装标志和质量证明书等内容。高压锅炉用无缝钢管, 有 14 种材料品牌。其中 20G、12GMoG、15GrMoG 和 12Gr2MoG 可用于化肥设备。

二、压力容器规范简介

现代化工生产的技术不断进步, 而操作条件则越来越苛刻。介质温度从深冷到高温, 压力从真空到超高压, 且大多为易燃、易爆、有毒、有腐蚀的物质。一旦发生事故, 其后果往往不堪设想。这就使得化工生产的安全问题比其他行业更为突出。为了保证化工容器及设备的安全运行, 许多国家都先后成立了各种研究机构, 从事压力容器的研究工作, 制订了许多

技术规范。如美国机械工程协会制订的《锅炉和受压力容器规范》(简称 ASME 规范)、前苏联国家锅炉监察委员会制订的《锅炉监察手册》、英国制订的《非直接火焊制受压力容器规范》(简称 BS 规范)、联邦德国制订的《受压力容器规范》(简称 AD 规范)、日本制订的《压力容器标准》(简称 JIS 标准)等。中国也非常重视这方面的探索和研究。早在 1958 年,就由原化工部制订了管法兰等一系列标准,1959 年颁布了《多层高压容器设计与检验规程》,1960 年又颁发了《石油化工设备零部件标准》。在此基础上,由原石油部、原化工部和一机部于 1977 年联合制订了《钢制石油化工压力容器设计规定》,使压力容器的设计、制造、检验工作有规可循。为了加强对压力容器的监督和管理,国家劳动总局于 1981 年颁发了《压力容器安全监察规程》。除此之外,各有关行业部门也相继制订了许多有关压力容器的部颁标准和行业标准。特别是在 1989 年制订了有关容器的第一部国家标准《钢制压力容器》(简称 GB 150),使中国容器的设计、制造、检验、验收、包装、运输等工作走上了规范化的轨道。这些规范的制订和实施,提高了容器的设计水平和制造质量,促进了安全生产,减少了安全事故。

现对国内外有关容器的重要规范做一简单介绍。

1. 美国 ASME 规范

ASME 规范共有 11 卷 22 册,包括锅炉、压力容器、核动力装置、焊接、材料、无损检测等内容。它是一部封闭型的成套标准,自成体系、无需旁求,篇幅庞大、内容丰富,全面包括了锅炉与压力容器质量保证的要求。

ASME 规范中与容器设计有关的主要是第 VIII 篇《压力容器》,共有 3 个分篇:第 1 分篇《压力容器》,属于常规设计标准,适用于压力小于 20 MPa 的容器。它以弹性失效准则为依据,根据经验确定材料的许用应力,并对零部件尺寸作出一些具体规定;第 2 分篇《压力容器—另一规则》,采用的是分析设计标准。它要求对容器各区域的应力进行详细的分析,并根据应力对容器失效的危害程度进行应力分类,再按不同的设计准则分别予以限制;第 3 分篇《高压容器另一规则》主要适用于设计压力不小于 70 MPa 的高压容器。它不仅要求对容器零部件作详细的应力分析和分类评价,而且要求作疲劳分析和断裂力学评估,是一个到目前为止要求最高的容器规范。

美国 ASME 规范是世界上制订最早(1915 年)、最完备的容器规范。其他国家大多参照 ASME 规范,结合本国实际情况制订了各自的容器规范。

2. GB150《钢制压力容器》

GB150《钢制压力容器》是中国第一部容器国家标准,现行为 1998 年版。它的基本思路与 ASME 第 1 分篇相同,但它结合了中国成功的使用经验,吸收了先进技术和各国同类标准的先进内容。该标准适用于设计压力不大于 35 MPa 的钢制容器的设计、制造、检验及验收。适用的设计温度范围根据钢材的允许使用温度确定,从 $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到钢材的蠕变极限温度。

GB 150 主要考虑了容器承受的静载荷,也考虑了风载荷和地震载荷的作用。它不适用于下列容器:直接用火焰加热的容器;核能装置中的容器;旋转或往复运动的机械设备中自成整体或作为部件的受压室;经常搬运的容器;设计压力低于 0.1 MPa 的容器;真空度低于 0.02 MPa 的容器;内径小于 150 mm 的容器;要求作疲劳分析的容器等。

GB 150 的技术内容包括圆柱形筒体和球壳的设计计算、零部件结构和尺寸的具体规定、密封设计、超压泄放装置的设置,以及容器的制造、检验与验收要求等。GB 150 是在我国