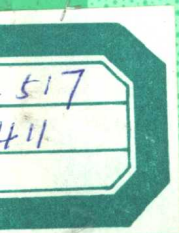


化工工人技术理论培训教材



化工压力容器

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心



化学工业出版社

化工工人技术理论培训教材

化 工 压 力 容 器

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心 组织编写

化 学 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工压力容器/化学工业部人事教育司,化学工业部教育培训中心组织编写. —北京:化学工业出版社,1997

化工工人技术理论培训教材

ISBN 7-5025-1641-7

I. 化… II. ①化…②化… III. 化工设备-压力容器-技术培训-教材 IV. TQ53.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 15440 号

化 工 压 力 容 器

化学工业部人事教育司
化学工业部教育培训中心 组织编写

责任编辑:周国庆
责任校对:凌亚男
封面设计:于 兵

*

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
北京市通县京华印刷厂印刷
三河市延风装订厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 4 $\frac{7}{8}$ 字数 13 千字
1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月北京第 1 次印刷
印 数:1—5000

ISBN 7-5025-1641-7/G · 418

定 价:9.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买化工版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平 and 实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划 and 教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168 个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册:《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应(一)》、《有机化学反应(二)》、《有机化学反应(三)》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册:《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表(一)》、《化工分析仪表(二)》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册:《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册:《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册:《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写作》、《标准化基础知识》和《化工生产管

理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材,尚是一种尝试,由于我们经验不足和教材编审时间的限制,部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意,为此建议:

一、各单位在组织教学过程中,应按不同等级的培训对象,根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求,以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外,还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况,制订相应的教学方案,确定相应的教学内容,以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题,可及时与我们联系,也可与教材的编者或出版单位联系,使教材中的问题得到及时更正,以利教学。

本套教材的组织编写,得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助,在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司
化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书系化工工人技术理论培训教材系列丛书之一。

本书介绍了内压薄壁容器、外压容器、高压容器的设计计算，以及压力容器附件如支座、法兰、开孔与补强、安全阀、爆破片等的计算和选型，并介绍了压力容器的维护和检验。

目 录

化工压力容器(检 029)	1
绪论	2
第一节 压力容器的分类	2
第二节 压力容器的基本要求	5
第三节 化工容器的常用材料	6
第一章 内压薄壁容器	9
第一节 内压圆筒形和球形壳体的受力分析	9
第二节 边缘应力的基本概念	12
第三节 内压圆筒及球形壳体的计算	16
第四节 内压容器封头的设计计算	27
第五节 压力试验和致密性试验	40
第二章 外压容器	47
第一节 外压容器的失稳	47
第二节 外压圆筒的计算	50
第三节 加强圈的设置	56
第四节 外压封头的计算	58
第三章 容器的附件	62
第一节 容器的支座	62
第二节 压力容器的法兰	74
第三节 容器的开孔与补强	87
第四章 高压容器	95
第一节 高压容器的结构特点和种类	95
第二节 高压容器的密封	99
第五章 压力容器的安全附件	110
第一节 超压泄放装置的作用	110
第二节 安全阀	111

第三节 爆破片	116
第六章 压力容器的维护和检查	121
第一节 压力容器的维护	121
第二节 压力容器的检验	122
第三节 压力容器的检验程序	124
附录一 压力容器综合练习题	127
附录二 金属材料机械性能	133
参考资料	144

化 工 压 力 容 器

(检 029)

吉 化 公 司 化 工 学 校 刘 纯 厚 编
吉 化 公 司 职 工 教 育 总 校 张 晓 明
吉 林 化 工 学 院 张 恩 泽 审

绪 论

化学工业已经成为国民经济的支柱产业,它与农业、轻工业、重工业、能源工业、交通运输以及国防工业等各方面都有密切的关系。国民经济的发展,人民生活水平的提高都离不开化学工业的发展。

化学工业的发展除了采用先进的工艺过程外,在很大程度上取决于化工机械和设备的制造水平和技术进步程度。改革开放以后,我国先后建成一批 30 万吨合成氨和 30 万吨乙烯装置,它集中反映了化工机械的技术进步水平。

化工机械可分为机器和设备两大部分。化工设备占化工厂装备的百分之八十以上,如各种压力下的贮存容器、换热器、反应器、塔器等。这些设备虽然内部结构不同,操作条件各异,但就其外壳来讲,从受力分析和设计计算角度分析,都属压力容器范畴。因为它们具有共同的特点,即都是由筒体、封头、法兰、支座、开孔和接管部分组成。组成压力容器的这些元件具有共同的应力分析和设计方法,因此,压力容器的设计和制造已经列入国家标准(GB 150—89),成为从事压力容器设计和管理人员的准则。同时我国劳动人事部颁发的《压力容器安全技术监察规程》〔劳锅字(90)8 号〕,则成为从事管理和使用压力容器人员必须遵守的法规。

第一节 压力容器的分类

压力容器的分类方法很多,《压力容器安全技术监察规程》(以下简称《监察规程》)按以下几种方法分类。

一、按压力容器品种划分

《监察规程》按压力容器在生产工艺过程中的作用原理,将压力容

器分为以下四种：

(1)反应压力容器(代号 R)它主要完成介质的物理、化学反应,如反应器、反应釜、分解塔、聚合釜、高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、煤气发生炉等。

(2)换热压力容器(代号 E)它主要用于完成介质的热交换,加热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、煤气发生炉水夹套等。

(3)分离压力容器(代号 S)它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、缓冲器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔等。

(4)储存压力容器(代号 C,其中球罐代号 B)它主要用于盛装生产用的原料气体、液体、液化气体等,如各种型式的储罐。

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

二、按压力容器的压力等级来划分

《监察规程》按压力容器的设计压力(p)分为低压、中压、高压、超高压四个压力等级,具体划分如下:

(1)低压容器(代号 L): $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$;

(2)中压容器(代号 M): $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$;

(3)高压容器(代号 H): $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$;

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

三、易燃介质与介质毒性程度等级的划分

1. 易燃介质

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或等于 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。

2. 介质毒性程度等级的划分

介质的毒性程度是根据国家标准(GB5044)《职业性接触毒物危害程度分级》的规定来划分的,共分四级,其最高容许浓度分别为:

(1)极度危害(I级) $< 0.1\text{mg}/\text{m}^3$;

(2)高度危害(II级) $0.1 \sim < 1.0\text{mg}/\text{m}^3$;

(3) 中度危害(Ⅲ级) $1.0 \sim < 10 \text{mg/m}^3$;

(4) 轻度危害(Ⅳ级) $\geq 10 \text{mg/m}^3$ 。

属于Ⅰ、Ⅱ级的介质有:氟、氢氰酸、光气、氟化氢、碳酰氟、氯等;属于Ⅲ级的有:二氧化硫、氨、一氧化碳、氯乙烯、甲醇、氧化乙烯、硫化乙稀、二硫化碳、乙炔、硫化氢等;属于Ⅳ级的有:氢氧化钠、四氟乙烯、丙酮等。

当压力容器中的介质为混合物质时,应以介质的组成并按以上毒性程度或易燃介质的划分原则,由设计单位的工艺设计或使用单位的生产技术部门,决定介质毒性程度或是否属于易燃介质。

四、压力容器的分类

1. 第一类压力容器

它包括除第二类、第三类压力容器外的所有低压容器。

2. 第二类压力容器

它包括:

(1) 除第三类压力容器外的所有中压容器;

(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

它包括:

(1) 毒性程度为极度和高度危害介质的中压容器和 pV 大于等于 $0.2 \text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的低压容器, p 为设计压力, V 为容积;

(2) 易燃或毒性程度为中度危害介质且 pV 大于等于 $0.5 \text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的中压反应器和 pV 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。

压力容器除按以上几种方法分类外,还有其他分类方法。例如按容器受压情况分为内压容器和外压容器。按容器筒体的外径 D_o 与内径

D_2 的比值 $K=D_0/D_1$ 大小可分为薄壁容器 ($K<1.1$) 和厚壁容器 ($K\geq 1.1$)。按容器的使用温度又可分为常温容器 ($T=253\sim 623\text{K}$)、高温容器 ($T>623\text{K}$)、低温容器 ($T=223\sim 253\text{K}$)、超低温容器 ($T<223\text{K}$)。按安全管理和技术监督分为固定式容器和移动式容器两类,前者容器有固定位置并由支座支承,工厂大部分容器属于此类;后者容器没有固定位置,如槽车、气瓶等,此类容器为了安全,设计时取材的安全系数较大。

第二节 压力容器的基本要求

化工生产都是连续化的过程,要求所采用的容器或设备必须保证连续化生产的顺利进行。任何一个容器或设备出现故障,都会影响生产的继续进行,使生产能力和产品质量下降。严重时,甚至会危及操作人员的人身安全。因此,压力容器的设计、制造、使用都必须遵守有关规定,满足各项规定条件的要求。

一、满足生产工艺条件的要求

各种压力容器都是根据一定的操作条件设计的,如容器的用途,内部结构,设计压力,设计温度,介质的腐蚀性,生产能力的大小等等。只有全面满足工艺条件的要求,才能完成预计的生产任务,保证产品的质量。否则就会影响产品的产量和质量。

二、必须满足安全运行的要求

压力容器在生产过程中都是在一定压力和温度条件下完成生产任务的,因此,压力容器的筒体截面和其他元件都承受一定的应力,有些连接部位受力很复杂,出现应力集中现象。为此,压力容器的设计必须考虑各部分应力的影响,保证筒体和各部分元件都具有足够的强度,才能达到安全生产的目的。外压容器要具有足够的稳定性,否则会因为容器的刚度不够出现失稳而变形,从而失去生产的功能。对于高温和低温的压力容器,还必须考虑容器材料在高温和低温时的机械性能,材料的高温蠕变和低温脆裂直接威胁操作人员的安全。

化工容器的密封必须严密可靠。特别是对装有易燃、易爆、有毒介

质的压力容器,一旦发生泄漏后果不堪设想,不仅给生产带来严重损失,污染环境,而且使操作人员甚至周围的群众生命受到严重威胁。1984年美国碳化物公司设在印度博帕尔市的一家农药厂,就是因为阀门泄漏使毒气外流,造成20多万人中毒,几千人死亡,至今还有数万人因中毒造成终身痛苦。

化工生产的流体多数具有腐蚀性。压力容器与流体直接接触必然会造成不同程度的腐蚀,使壁厚减薄,以致使压力容器的使用年限缩短,因此,为了保证压力容器在使用年限内的安全,必须要在设计时要增加足够的壁厚附加量。

压力容器的制造和检查是保证压力容器使用安全的关键,我国已经颁布一系列标准和规定,如GB 150—89《钢制压力容器》标准,劳动人事部颁发的《压力容器安全监察规程》。只有严格执行标准和遵守规程的条例,才能使压力容器的制造质量不断提高,保证其安全可靠。

三、技术经济合理

对压力容器的设计既要保证安全可靠,又要尽量做到技术经济指标合理,使产品成本最低。要做到这一点,在压力容器的设计和制造过程中,选材要合理,要尽量节约贵重材料以降低成本。结构设计在保证工艺要求的前提下,要尽量做到结构简单,用材少、重量轻,制造、检验、安装方便。对腐蚀性介质要选择耐腐蚀材料制造压力容器,减小因腐蚀而增大的壁厚附加量,延长压力容器的使用寿命。

第三节 化工容器的常用材料

目前我国制造压力容器的材料种类很多,广泛使用的材料为金属材料,如碳钢、普通低合金钢、各种有色金属等。由于化工生产的工艺条件十分复杂,在不同的生产条件情况下,对材料的要求是不同的。压力容器的各部分零部件由于加工方法不一样,所选用的材料也会有差异。但要求材料都必须有良好的机械工艺加工性能,具有较高的强度和韧性等。

一、壳体和封头的常用材料

圆筒形压力容器的筒体大多数是由薄壁钢板制造,采用冷卷成型。因此,要求钢板材料具有较好的冷弯性能,即要有较高的塑性,一般要求材料的延伸率在 $\delta_s=15\%\sim 20\%$,常温下的冲击韧性 $\alpha_k\geq 40\sim 60\text{J}/\text{cm}^2$,并要求具有较好的焊接性能。

对于封头或球形壳体,一般采用加热成型,成型后再拼焊。因此,除了要求材料具有上述性能外,还必须要有较好的热加工性能,即高温条件下具有良好的塑性和韧性。

中、低压力容器常用的材料有 Q235-A、Q235-B、Q235-C、16MnR、15MnVR、20R 等,对于腐蚀性强的介质常用的材料有不锈钢和耐硫酸钢,如 1Cr13、1Cr18Ni9 等。

二、压力容器附件常用材料

压力容器的附件有接管、法兰、支座、螺栓、螺母等。

接管常采用无缝钢管、钢管的材料可采用与筒体相类似的材料,如 10、20 优质钢,16Mn、15MnV 普通低合金钢等。

平焊法兰常采用厚钢板切割成毛坯后,再在车床上切削成型。高颈法兰是用锻造后的毛坯经车削加工后成型的,成型后的法兰再与容器壳体或接管组焊。因此,要求制造法兰的材料要有良好的可锻性、切削加工性和可焊性。同时法兰不仅受介质压力的作用,而且还受螺栓、垫片反力的作用,受力十分复杂。因此,法兰的材料选用应慎重,一般它的机械性能要高于壳体。常用的材料有 Q235-A、Q235-B、Q235-C、16Mn、15MnV、1Cr13 等。

容器的支座承受整个容器的负荷,但不受介质压力的作用,温度也不高。因此,一般选用刚性较好的材料即可。常用材料有 Q235-A、Q235-B。

螺栓因承受较大的负荷,所以一般采用机械强度高的材料制造,同时还要具有良好的机械加工性能。螺母要与螺栓配合使用,因此要求螺母的硬度略低于螺栓,达到保护螺栓和安装方便的目的。螺栓常用的材料有 40MnB、1Cr13、Cr17Ni2 等,螺母常用材料有 35、45、1Cr13 等。

目前我国钢材品种很多,压力容器的选材也不是固定不变的,只要

符合国家标准(GB150—89)的要求,满足工艺生产的条件,做到经济合理即可。

练 习 题

- 0-1 压力容器按压力划分可分为几类?按安全管理分为几类?
- 0-2 对压力容器有哪些要求?
- 0-3 压力容器常采用哪些材料制造?
- 0-4 10m^3 的液氨储罐属于几类容器?