



高等院校“十一五”规划教材

化工容器及设备

HUAGONG RONGQI JI SHEBEI

(第二版)

卓震 主编 林钧富 审定

中国石化出版社

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

高等院校“十一五”规划教材

化工容器及设备

(第二版)

卓 震 主 编
林钧富 审 定

中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要介绍化工容器及设备的工程设计原理与方法,包括化工容器及设备设计概论,中低压容器、外压容器和高压容器设计的基本理论与工程设计方法;压力容器零部件设计原理及方法,还有近年来国内外压力容器设计理论与技术进展。最后介绍了最为典型的四种化工设备:塔器、换热设备、反应设备及管式加热炉。全书重点章节附有例题和设备的制造与检验主要技术要求。

本书可作为高等院校过程装备与控制工程专业的本科教学用书,也可供从事化工容器及设备设计、运行和科研的工程技术人员参考。

、 图书在版编目(CIP)数据

化工容器及设备/卓震主编. —2版. —北京:中国石化出版社,2008

ISBN 978-7-80043-732-8

I. 化… II. 卓… III. 化工设备-容器 IV. TQ053.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 015639 号

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.cn

金圣才文化(北京)发展有限公司排版

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 35.75 印张 881 千字

2008 年 3 月第 2 版 2008 年 3 月第 2 次印刷

定价:78.00 元

第二版前言

《化工容器及设备》教材自 1998 年 11 月出版以来,受到了广大教师和学生的欢迎。期间,国内外化工容器及设备研究已有了飞速进步;标准化工作也有了很大发展;特别是“化工设备与机械”专业名称已经更改为“过程装备与控制工程”。为了适应本科专业教材建设与人才培养的需要,及时展现学科发展的前沿成果,反映最新的压力容器和化工设备设计标准规范,在石油化工高等院校教材协作组的全面部署下,对本书第一版进行了相关内容的修订。

本次修订的指导思想是:

- 坚持本专业教材的特色:理论性、实践性和综合性。

在精选基本内容的前提下,不抽去其理论精髓;紧密联系典型容器及设备,注重培养学生分析问题、解决工程实际的能力;通过精选、融合、贯通、相互渗透的论述和实例,给学生以综合性的启迪。

- 突出“过程装备与控制工程”本科专业教学大纲的基本要求,以知识和能力为目标,便于教师灵活地组织教学和学生自学,真正做到“厚基础,重实践,易自学,引思考”。

- 增添学科发展的新趋势、新理论和新方法的相关论述。

- 以压力容器及化工设备的最新设计标准与规范,修订相关的内容。

本次教材修订工作正是遵循上述原则进行修订的,与此同时,还参考了有关教材和著作。在此谨向他们表示深切的感谢。修订工作由江苏工业学院卓震教授负责。在此,还要向参加本书第一版编写工作的茂名学院黄玉新副教授和原抚顺石油学院胡海龙副教授,对他们辛勤的工作表示衷心地感谢。最后还要感谢中国石化出版社精心的组织和指导。

鉴于作者的水平和修订时间有限,书中不妥之处在所难免,恳切地希望同行专家和广大读者批评指正。

编者

第一版前言

化工设备与机械专业自创建40余年来,在石油化学工业及相关工业的建设中起到了重要作用。《化工容器及设备》专业教材内容也在这个发展过程中得以不断更新和提高,出版了各具特色的一些教材,在我国不同发展时期、各个不同行业 and 不同教学层次中发挥了积极的作用,培养了大批专业人才。

随着化工机械技术的不断进展,无论在理论上和技术上近些年都取得了不少成果。及时总结这些理论与技术,并与当前和今后一个时期化工容器及设备的工程设计相接轨,无疑成为教材建设的主要目标。为此,本教材编写的指导思想是:

(1) 总结和发扬过去各种版本教材的优点,在满足高等专科院校化工机械专业培养目标的前提下,解决现阶段不适应的问题;

(2) 尽量反映当今化工机械学科特别是体现石油化工行业特色方面的新理论、新技术、新设备结构的成果;

(3) 密切联系国内压力容器及化工设备最新的标准与规范,以体现教材在工程设计上的实用性;

(4) 在保证《化工容器及设备》大专教材内容覆盖面与少而精的教学原则下,依照教学大纲的基本要求,使其具有教学的可操作性。

本教材的编写是以化工容器及设备的工程设计方法为主线展开的,重点介绍:①压力容器原理与方法;②化工设备的结构分析与强度计算方法。教学实践证明,从这个基点出发,有利于学生毕业后的工作实际,也能够为从事化工容器及设备的制造、施工、运行、维修和测试等方面的工艺、技术和管理人才提供必备的基本理论和基本知识。

本书在中国石油化工总公司人事教育部的领导下,由江苏石油化工学院卓震教授主编,抚顺石油学院胡海龙副教授和广东茂名石油化工高等专科学校黄玉新讲师参编,由北京化工大学林钧富教授主审。在编写过程中得到上述高校领导和教务处的的大力支持,在此表示衷心的感谢。

我们恳切地希望国内同行专家和广大读者提出宝贵的批评和意见。

目 录

第一章 化工容器及设备设计概论	(1)
第一节 绪言	(1)
一、化工容器及设备的应用及地位	(1)
二、化工容器及设备设计的基本要求	(1)
第二节 化工容器及设备的分类	(3)
一、化工容器的分类	(3)
二、化工设备的分类	(4)
第三节 化工容器及设备设计基本知识	(5)
一、化工容器及设备设计步骤	(5)
二、对化工容器及设备材料的要求	(5)
第四节 压力容器的质量保证体系	(7)
一、设计	(8)
二、材料	(8)
三、制造	(9)
四、检验	(10)
五、定期检验	(10)
第五节 压力容器规范、标准简介	(11)
一、国外压力容器规范简介	(11)
二、国内压力容器规范简介	(13)
第二章 中低压容器设计	(19)
第一节 薄壁容器壳体的应力分析	(19)
一、概述	(19)
二、薄壁回转壳体的无力矩理论	(19)
三、薄壁容器的薄膜应力与薄膜变形	(23)
四、圆筒壳体的有力矩理论	(30)
五、有力矩理论在边缘问题中的应用	(36)
第二节 圆平板理论	(45)
一、概述	(45)
二、圆平板轴对称弯曲微分方程	(46)
三、均布载荷作用下圆平板中的应力	(48)
四、轴对称载荷下环形薄板中的应力	(53)
第三节 内压薄壁容器的设计计算	(58)
一、概述	(58)
二、圆筒和球壳的设计计算	(59)
三、封头的设计计算	(61)
四、设计参数的确定	(74)

五、压力试验	(82)
第三章 外压力容器设计	(89)
第一节 概述	(89)
一、外压容器的稳定性	(89)
二、外压容器的临界压力	(89)
第二节 外压薄壁圆筒的稳定性计算	(90)
一、受均布侧向外压的长圆筒的临界压力	(90)
二、受均布侧向外压短圆筒的临界压力	(95)
三、临界长度	(97)
四、受径向及轴向均布外压时筒体的临界压力	(97)
五、圆筒壳受轴向压缩、弯曲载荷及复合载荷的稳定性计算	(97)
第三节 外压圆筒的设计计算	(99)
一、外压力容器设计参数的确定	(99)
二、外压薄壁圆筒的许用应力	(101)
三、外压厚壁圆筒的许用应力	(102)
四、图算法	(104)
第四节 外压圆筒加强圈的设计	(111)
一、加强圈的结构及作用	(111)
二、加强圈的计算	(112)
第五节 外压封头设计	(116)
一、外压球形封头	(116)
二、外压凸形封头	(118)
三、外压锥形封头	(118)
第四章 压力容器零部件设计	(120)
第一节 法兰	(120)
一、概述	(120)
二、密封设计	(121)
三、螺栓设计	(134)
四、法兰计算	(139)
第二节 容器开孔与补强	(160)
一、开孔附近的应力分析	(160)
二、受内压壳体开孔接管处的应力集中	(165)
三、开孔补强设计	(166)
第三节 卧式容器的支座设计	(174)
一、鞍座结构及载荷分析	(175)
二、筒体应力计算与校核	(179)
三、标准鞍座选用要求及说明	(183)
第五章 高压容器设计	(188)
第一节 概述	(188)
一、高压容器在过程工业中的应用	(188)

二、高压容器的结构特点	(188)
三、高压容器的材料	(189)
第二节 高压容器筒体的结构设计与强度计算	(190)
一、高压筒体的结构型式及设计选型	(190)
二、厚壁筒体的弹性应力分析	(193)
三、厚壁筒体的弹塑性应力分析	(202)
四、厚壁圆筒的自增强	(205)
五、厚壁筒体的失效准则与强度计算	(209)
第三节 高压密封结构设计与设计计算	(218)
一、高压密封分类与结构型式	(218)
二、典型密封结构的设计计算	(225)
三、高压容器主要零部件设计	(229)
四、高压筒体端部的设计	(233)
五、高压容器的开孔补强	(235)
第六章 化工容器设计技术进展	(238)
第一节 概述	(238)
一、容器设计规范的主要进展	(238)
二、近代设计方法的应用	(239)
第二节 压力容器的失效准则	(240)
一、容器的失效形式	(240)
二、容器强度设计准则	(242)
第三节 压力容器的应力分类及分析设计	(244)
一、分析设计法与我国规范(JB 4732)	(244)
二、容器的应力分类	(246)
三、分析设计法对各类应力强度的限制	(249)
四、应力分析设计的程序及应用	(256)
第四节 压力容器的疲劳设计	(260)
一、压力容器的低循环疲劳	(260)
二、疲劳曲线与方程式	(261)
三、平均应力对低循环疲劳的影响	(264)
四、结构对低循环疲劳的影响	(267)
五、疲劳累积损伤	(269)
六、疲劳设计规范	(270)
第五节 压力容器的防脆断设计	(273)
一、容器的低应力脆断问题	(273)
二、断裂力学基础	(274)
三、裂纹的亚临界疲劳扩展	(280)
四、压力容器的防脆断设计方法	(282)
五、在役压力容器缺陷安全评定	(284)
六、GB/T 19624《在役含缺陷压力容器安全评定》有关内容介绍	(285)
第六节 化工容器的高温蠕变	(288)
一、金属材料的高温蠕变	(288)
二、化工容器的高温设计	(291)

三、高温压力容器的残余寿命	(293)
四、高温密封螺栓的应力松弛	(294)
第七章 塔设备	(296)
第一节 概述	(296)
一、塔设备在石油化工生产中的作用、地位与特点	(296)
二、对塔设备设计的基本要求	(296)
三、塔设备的分类和总体结构	(296)
四、塔设备的现状与动态	(297)
第二节 板式塔	(298)
一、典型板式塔的类型	(298)
二、塔盘的结构设计	(302)
三、塔设备的附件设计	(312)
第三节 填料塔	(318)
一、填料塔的总体结构	(319)
二、填料	(319)
三、液体分布装置	(320)
四、液体再分布装置	(325)
五、填料支承装置	(326)
六、填料塔的发展趋势	(327)
第四节 塔设备的振动	(328)
一、振动的产生与分析	(328)
二、塔设备的自振周期	(331)
三、诱导共振时的强度分析	(336)
四、塔设备的防振	(340)
第五节 塔设备的强度计算	(340)
一、塔的载荷分析及载荷计算	(340)
二、筒体的强度计算及稳定性校核	(348)
三、裙座的强度计算及稳定性校核	(350)
第六节 制造与检验主要技术要求	(356)
第八章 换热设备	(363)
第一节 概 述	(363)
一、石油化工对换热设备的基本要求	(363)
二、换热设备的分类与结构	(365)
三、换热设备的设计要点	(369)
四、GB 151《管壳式换热器》简介	(370)
五、管壳式换热器设计的基本步骤与有关概念	(372)
第二节 管壳式换热器的结构设计	(373)
一、管壳式换热器主要结构类型与特点	(373)
二、管壳式换热器的结构设计要点	(378)
第三节 管板的计算	(395)
一、管板计算概述	(395)
二、以米勒法为基础的管板计算	(397)
三、我国 GB 151 管板计算原理与计算方法	(409)

第四节 温差应力与 U 形膨胀节的计算	(428)
一、温差应力	(428)
二、膨胀节结构型式	(428)
三、U 形膨胀节的计算	(429)
第五节 管壳式换热器的振动与防止	(439)
一、概述	(439)
二、振动的产生与分析	(439)
三、管子的自振频率	(442)
四、振动判据	(445)
五、管子振幅的计算	(446)
六、防止振动的措施	(447)
第六节 管壳式换热器制造与检验主要技术要求	(448)
一、管壳式换热器装配图	(449)
二、管壳式换热器部件图	(449)
第九章 反应设备	(461)
第一节 概述	(461)
一、反应设备在过程工业中的作用和地位	(461)
二、反应设备的种类与特点	(462)
第二节 搅拌反应器的总体结构与类型	(463)
一、搅拌反应器的总体结构	(463)
二、搅拌反应器的类型	(463)
第三节 搅拌装置	(465)
一、搅拌器的型式	(465)
二、搅拌器型式的选择	(467)
三、搅拌附件	(469)
四、搅拌功率的计算	(471)
五、搅拌器强度计算	(479)
六、搅拌轴的设计	(486)
第四节 传动装置	(490)
一、几种传动的方式	(490)
二、电机选型	(490)
三、釜用减速器类型、标准及其选用	(490)
四、传动装置的机座	(493)
第五节 轴封装置	(494)
一、填料密封	(494)
二、机械密封	(500)
三、其他密封	(507)
第六节 搅拌反应器的罐体	(510)
一、罐体的尺寸	(510)
二、搅拌反应器的传热	(512)

三、工艺接管	(516)
第七节 制造与检验主要技术要求	(518)
一、搅拌反应器装配图技术要求	(518)
二、搅拌轴技术要求	(518)
三、搅拌器的技术要求	(519)
四、机械密封技术要求	(519)
第十章 管式加热炉	(526)
第一节 概述	(526)
一、管式加热炉的地位与作用	(526)
二、管式加热炉的种类与特点	(526)
三、管式加热炉的一般构成	(531)
四、管式加热炉主要技术指标	(533)
五、炉型选择的基本原则与节能技术	(535)
第二节 燃烧器	(536)
一、燃烧器的组成、作用与分类	(536)
二、燃料气喷嘴	(537)
三、燃料油喷嘴	(538)
四、油-气联合燃烧器	(540)
五、配风器	(543)
六、燃烧道和预燃筒	(544)
第三节 管式裂解炉	(545)
一、概述	(545)
二、横管裂解炉	(545)
三、鲁姆斯(Lummus)SRT型裂解炉	(546)
四、梯台式裂解炉	(546)
五、区域型裂解炉	(547)
第四节 炼油装置管式加热炉	(549)
一、常压炉	(549)
二、减压炉	(550)
三、延迟焦化炉	(550)
四、催化重整炉	(551)
五、润滑油装置加热炉	(551)
第五节 烃类蒸汽转化炉	(552)
一、概述	(552)
二、I. C. I. 型转化炉	(552)
三、Kellogg 型转化炉	(554)
四、Topsøe 型转化炉	(557)
参考文献	(561)

第一章 化工容器及设备设计概论

第一节 绪 言

一、化工容器及设备的应用及地位

石油化学等过程工业的绝大多数生产过程都是在化工设备这一特定空间内进行的。在这些设备中,有的用来贮存物料,例如各种容积大小不一的贮罐、计量罐、计量槽、槽车;有的用其进行物理过程,例如各种型式的换热器、蒸馏塔、稳定塔、沉降器、过滤器;有的进行化学反应,例如合成炉、聚合釜、裂解炉、反应器。总之,涉及化工过程领域的传递过程(能量传递、热量传递和质量传递)和化学反应过程的操作,都必需在化工容器及设备内进行。尽管这些设备尺寸大小不一,形状结构不同,内部构件的型式更是多种多样,但是它们都有一个外壳,这个外壳就称作容器,所以它是化工设备的一个基本组成部分。化工容器及设备不仅是石油化学工业生产中的重要生产工具,而且还遍及各行业,诸如航空、航海、原子能、冶金、机械制造、精细化工、轻工、交通和农副业产品加工等等。然而,化工容器及设备有其自身的特点,它们不仅需要适应工艺过程所要求的不同压力和温度条件,而且要承受内部化学介质的作用,这些介质往往有腐蚀性、毒性或易燃易爆,还要能长期的安全工作,并且要保证密封。

可见,化工容器及设备是为生产工艺过程服务的,它必需在规定的工艺条件下,在单位时间内,尽可能利用最少的能源,最小的空间生产最多的产品,而且在经济上也是最为合理的。它们的性能,对整个装置的产品产量、生产能力、消耗定额以及“三废”治理和环境保护等各方面都有重大影响。

在各类生产装置中,设备的投资在整个工程的工艺设备费用中占有很大的比例。如在化工和石油化工生产装置中,仅仅是塔设备就占 25.39%;在炼油和煤化工生产装置中,塔设备占 34.85%。化工容器及设备所耗用的钢材在各类生产装置中也占有很大份额,占有的基建费用相当可观,如管式加热炉的基建费用在重整制氢和裂解等装置中约占 25%,可见,设备的费用在工程项目的投资中所占比重非常之大。

随着石油化工装置的大型化和高参数化,开发和应用新型、高效、节能的化工设备,对石油化工生产具有非常重大的意义。

二、化工容器及设备设计的基本要求

化工容器及设备的设计依据是给定的工艺尺寸和工作条件,考虑制造和安装检修要求,对化工容器及设备的各个元件正确地选择材料,全面地进行载荷分析和应力分析,选择合适的结构型式,并确定既安全可靠、又经济合理的强度尺寸。

化工容器及设备通常是在苛刻的操作条件下长期连续工作的。一个容器或设备的失效,甚至一个零件的破坏,往往导致整套装置的停工,以致给国家财产和人员安全造成严重损失。因而,保证化工容器及设备的长期安全运行,对石油化学等过程工业生产具有非常重要的意义。

化工容器及设备设计的基本要求是安全性与经济性，安全是核心问题，要在充分保证安全的前提下尽可能做到经济。石油化学工业生产中的许多工艺过程都需要在加压的条件下进行，压力容器这一特种设备一旦发生事故其危害性极大。压力容器发生破裂爆炸，不仅仅是容器和设备本身遭到毁坏，而且还往往会破坏周围的其他设备及建筑物，并造成人身伤亡事故，甚至还会由于内部介质的向外扩散而引起化学爆炸、着火燃烧或恶性中毒等连锁反应，造成更严重的破坏。为此，必须对涉及压力容器质量问题如设计、材料、制造、检验和在役监控等诸方面给予切实的保证和充分的重视。具体的要求是对设备的操作条件和作用载荷进行正确的估计；对容器元件的总体应力、局部应力以及温差应力等进行全面的分析和评价，并采用合适的安全系数。同时，对设备材料的选择和结构设计等，还要考虑我国的有关标准和制造条件，并进行全面的技术经济分析。

在进行化工容器及设备的结构设计时，必须满足以下各项要求。

(1) 强度。化工容器及设备要求有足够的强度尺寸以承受其机械载荷和外载荷。例如内压、自重、风载和地震载荷等。必要时还应考虑支座的作用反力、管道和其他部件的作用力、热膨胀引起的作用力、温度和压力变化的影响、运输和吊装时承受的作用力。

(2) 刚度。构件在外力作用下保持原来形状的能力。例如，塔设备塔盘板在液层和自重作用下的变形等。

(3) 稳定性。容器壳体在承受横向均匀外压载荷或轴向压缩载荷时不产生失稳或屈曲的能力。

(4) 密封性。这是对化工容器及设备密封可靠性的考核，包括物料漏出或空气漏入两种情况。当物料为易燃、易爆或有毒时，其密封性尤其重要；而对于低压或常压设备，同样不可放松对密封性的要求。

(5) 耐久性。化工容器及设备的使用寿命，大多决定于腐蚀情况，在某些特殊情况下还取决于设备的疲劳、蠕变以及振动等。使用年限设计得过长是不必要的，因为在科技迅速发展的今天，新型设备不断地涌现，现有的设备面临更新的选择。一般而言，高压设备使用年限不少于20年，塔设备和反应釜不少于15年，贮槽和换热器不少于8年。根据使用年限和腐蚀等情况，正确地选用结构材料，是保证设备耐久性的最重要措施。

(6) 节约材料及制造方便。化工容器及设备在结构设计上应保证最少的材料消耗，尤其是贵重材料的消耗。同时，在考虑其结构时应便于制造。在设计时应尽量采用标准设计和标准部件，从而提高设计质量和速度，降低制造成本，缩短制作周期。

(7) 操作方便和运输可能。在投资允许的前提下，提高设备的自动化程度可以大大地简化操作。此外还要考虑安装、维护和检修的方便，化工容器及设备在尺寸和形状方面有一定的要求，容器或设备的直径、长度与重量要符合铁路、公路或水路运输的规定。

技术经济分析的内容包括单位生产能力，消耗系数，设备价格，经济效益和社会效益等。

化工容器及设备设计者的任务就是要做到各部件中应力的合理分布，并综合考虑材料行为、制造过程、检验方法、运行与维修等各方面的因素确定合理的结构，交付出施工图纸和必要的设计文件。

可以看出，压力容器技术是一门综合性的技术科学，化工容器及设备又是为工艺过程服务的，因而它涉及到应用力学、材料科学、冶金工艺、机械制造和化工过程等领域。要成为

一个好的设计师，必需具备上述有关学科的扎实而广泛的知识，并不断吸收和积累这方面的工程实践经验。

第二节 化工容器及设备的分类

石油、化学等过程工业的生产过程是用化学或物理方法将物料转变成所需产品的过程。为了实现这些工艺过程，需要各种类型的化工设备。虽然服务对象不同、操作条件各异、结构型式不一，但就外壳而言，从设计角度分析，都属于压力容器范畴，都可以将其整体分解为筒体、封头、法兰、开孔及接管、支座等各种元件。通常，化工容器是用来贮存物料的，而化工设备则是在容器内部设置内件而组成的，在化工生产中用于传热、传质和化学反应等过程，如换热器、塔器、反应器等。

根据压力容器承受内压的高低，在生产工艺过程中的作用原理及危险性，破坏时释放能量的大小，以及内部介质对人体的危害程度等。我国国家质量技术监督局 1999 年颁发的《压力容器安全技术监察规程》将压力容器分成 3 类，对各类容器的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造等方面提出了不同的要求。

一、化工容器的分类

(一) 按压力容器的设计压力划分

可分为低压、中压、高压和超高压 4 个压力等级，具体划分如下：

低压容器(代号 L) $0.1\text{MPa} \leq P < 1.6\text{MPa}$

中压容器(代号 M) $1.6\text{MPa} \leq P < 10\text{MPa}$

高压容器(代号 H) $10\text{MPa} \leq P < 100\text{MPa}$

超高压容器(代号 U) $P \geq 100\text{MPa}$

(二) 按压力容器的压力等级、介质危害程度以及在生产工艺过程中的作用原理划分 可将容器划分为 3 类：

1. 第一类压力容器

低压容器(第 2、3 款规定的除外)为第一类压力容器。

2. 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 $0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$);

(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 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、低温气体)、罐式汽车[液化气体(半挂)车、低温液体运输(半挂)车、永久性气体(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 50m^3);

(11) 低温液体储存容器(容积大于 5m^3)。

附注:

1. 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。

2. 介质的毒性程度和易燃介质的划分参照 HG 20660《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸程度分类》的规定。无规定时,按下述原则确定毒性程度(最高容许浓度):

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

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

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

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

二、化工设备的分类

按压力容器在生产工艺过程中的作用原理,分为反应压力容器、换热压力容器、分离压力容器、储存压力容器。其相对应的化工设备具体划分如下:

(一) 反应设备(代号 R)

这类设备主要用于完成介质的物理、化学反应过程。如反应器、反应釜、分解锅、分解塔、裂解炉、高压釜、合成塔、转化炉、蒸煮锅、蒸球、蒸压釜、煤气发生炉、石油化工的苯乙烯聚合釜等。

(二) 换热设备(代号 E)

这类设备主要用于完成介质的热量交换过程。如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、硫化锅、消毒锅、染色器、烘缸、蒸炒锅、预热锅、电热蒸汽发生器、煤气发生炉水夹套等。

(三) 分离设备(代号 S)

这类设备主要用于完成介质的流体压力平衡和气体净化分离等过程。如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、洗涤器、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、石油化工的乙烯精馏塔、分汽缸、除氧器等。

(四) 储存设备(代号 C,其中球罐代号 B)

这类设备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。

对于外压容器,尽管不属于压力容器的监察范围,但仍属于化工容器及设备的研究范畴,本书将用相当的篇幅进行讨论,这是因为外压容器在达到临界载荷时,则会发生稳定失效。

中、低压容器通常为薄壁容器,对于高压与超高压容器则一般称之为厚壁容器。区分厚壁与薄壁的指标是径比,即 $K = D_o/D_i$, D_o 和 D_i 分别表示容器的外直径和内直径。当 $K > 1.2$ 时,为厚壁容器, $K \leq 1.2$ 时为薄壁容器。对于承受内压的薄壁容器,可只考虑其经向应力和周向应力,故为二向应力状态。至于径向应力一般相对较小,可以忽略不计。而厚壁容器的径向应力则不能忽略。故按三向应力进行分析,当然,厚壁容器为高压设备,在设计 and 制造上也都有更高的要求。

第三节 化工容器及设备设计基本知识

一、化工容器及设备设计步骤

化工容器及设备的设计应满足压力容器设计、制造、管理等各项规定。就设计步骤而言,它包括调查研究、确定方案、工艺计算、机械计算和绘制施工图等几个重要部分。在设计工作进行之中,上述步骤有时还要交错进行。一项完整的设计,最后提交的技术文件资料必须齐全。化工容器及设备经过制造、安装、检验和运转,得到了考核,发现了问题,再作必要的修改,使之达到正确的设计要求。

调查研究是化工容器及设备设计的首要步骤,通常包括访问使用部门、制造单位以及查阅必要的技术资料三个途径。从使用部门可了解到设备的特性和运转中的问题,分析问题存在的原因,寻找解决问题的对策。从制造单位可了解加工制造的技术与能力。通过查阅技术资料,可以了解国内外的技术水平;并据此对其进行技术经济分析,从而形成几个可行的设计方案,最后经过评价和选择确定出最佳方案。

工艺计算是在初步方案确定之后,根据提供的原始数据和工艺指标进行计算,确定出化工容器及设备的工艺尺寸。从专业分工而言,工艺尺寸一般由工艺专业负责,但是化工机械专业人员也应能独立进行。工艺尺寸一般指设备的直径、长度、台数以及内件的设计控制数据。工艺计算通常是在物料衡算、热量衡算的基础上进行的。积极采用先进技术,正确慎重地评价技术经济指标,是设计工作的重要方面。

机械计算是在工艺计算确定各部件重要尺寸之后进行的,为了进行机械计算往往需要先绘制结构草图。机械计算主要考虑内部介质温度、压力、腐蚀情况、外部环境以及制造安装等因素,依此确定设备零部件的强度尺寸、结构尺寸、配合尺寸、安装尺寸乃至总体尺寸,使该零部件满足强度、刚度、稳定性等指标,确保在安全运行的条件下,既满足工艺过程的要求,又符合经济合理的原则。

施工图绘制是在结构设计的基础上进行的,应力求在满足工艺要求的前提下,综合考虑操作效率、消耗功率、制造成本、安装检修等问题。在绘制施工图的同时,还要编制有关设计计算的说明书。

压力容器是类别品种繁多、使用广泛、有爆炸危险的特殊设备,为了保证压力容器的安全可靠,我国国务院发布了一系列条例,对压力容器的设计、制造实行许可证制度。为了推进设计工作的进行,近年来颁布了许多与压力容器有关的设计标准、规范规定;国家主管部门还发布了许多法令、规程。在化工容器及设备设计中都应熟悉、掌握和贯彻。

二、对化工容器及设备材料的要求

选择化工容器及设备材料时应遵循以下原则:即使用及操作条件(操作压力、操作温

度、介质特性及工作特点等);材料的焊接及冷热加工性能;设备结构及制造工艺;材料的来源及经济合理性;同一工程设计或设备设计中尽量注意用材统一。

(一) 压力容器用钢的基本要求

综合有关压力容器有关规范,对压力容器用钢有以下基本要求:

(1) 钢材要有良好的冶金质量。压力容器受压元件用钢应由平炉、电炉或氧气转炉冶炼。平炉炼钢冶炼时间较长,易于控制成分及去除有害杂质;电炉炼钢由于没有氧化火焰的接触,能准确控制炉温和在还原性介质中能较完全去除有害杂质;氧气转炉炼钢与传统的吹空气方法比,也可获得较高质量的钢。制造压力容器的钢材必须符合国家标准的规定。

(2) 钢材应满足强度、延塑性和韧性的要求。机械强度是材料抵抗外力作用而避免产生屈服和断裂破坏的能力,它是决定钢材许用应力值的依据。其常用指标有短期拉伸得到的 σ_b 、 σ_s 、 σ'_s ,高温长期得到的 σ'_n 、 σ'_b 。一般而言,钢材强度级别的提高总是伴随着延塑性和冲击韧性(或断裂韧性)的下降,从而带来制造工艺性的困难和防止脆性破坏性能的下降;高强度钢对应力集中比较敏感,抗低循环疲劳破坏的能力也较差。

延塑性反映材料塑性变形的能力,一般以钢材在断裂前塑性变形量的大小来衡量。表示钢材延塑性的指标主要是延伸率 δ 以及断面收缩率 ψ 。延塑性好的钢材在破坏前产生明显的塑性变形,破坏时呈剪切撕裂断口,不产生碎片,相对脆性破坏而言易于检查发现,即使破坏所构成的危害性也较小。国际标准化组织(ISO)推荐压力容器用钢其延伸率对于碳钢及锰钢不小于16%,对于合金钢不小于14%。

韧性是反映钢材延塑性和强度的综合指标,反映钢材在断裂破坏前吸收能量的能力。大量研究表明,材料的韧性是影响压力容器低应力脆断的重要因素。防止发生低应力脆断的主要指标是材料的冲击韧性 α_k 和材料的断裂韧性 K_{IC} 或临界裂纹张开位移 δ_c 。我国有关规定不仅对常温下的韧性提出要求,而且对低温下的冲击韧性最低值和容器进行压力试验时的最低温度均进行控制,以免发生突然性的脆断。

(3) 钢材要有良好的可焊性。这是由于压力容器绝大多数是焊接结构,故焊接性能是选择压力容器用钢应着重考虑的因素,容器的破坏也多是由于焊接缺陷引起的。《压力容器安全技术监察规程》规定,用于焊接结构压力容器的碳素钢和低合金钢,其含碳量不应大于0.25%,这是因为碳是影响可焊性的重要元素。

(4) 钢材要有良好的冷热加工性能。压力容器壳体在焊接之前都要进行弯卷,容器封头要进行冲压成型,管子要弯管制作,这些过程都要求钢材在冷热状态下具有良好的加工性能,它还包括可铸性、可锻性、切削加工性、热处理性等。

(5) 对非压力容器用钢(如普通碳素钢),应有条件地使用。这是鉴于一些结构钢来源方便、价格便宜,也具有较好的冷热加工性能、机械强度及使用经验,故规范及规程都允许采用此类钢材制作压力容器,但考虑其冶炼、内在质量及检验要求等因素,为保证安全性,对其使用范围都作了一定限制。如普通碳素钢牌号为Q-235A钢板,只允许在设计压力不超过1.0MPa,设计温度为0~350℃,壳体厚度不得超过16mm的条件下使用,并且明文规定不得用于盛装液化石油气体、毒性程度为极度、高度危害介质及直接火焰加热的压力容器。

(二) 压力容器用钢的特殊要求

压力容器是一种特殊的设备,因此不是任何钢材都可以用于制作压力容器,它必须采用