

化工设备设计全书

化工容器

《化工设备设计全书》编辑委员会
丁伯民 黄正林 等编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

化工设备设计全书

化 工 容 器

《化工设备设计全书》编辑委员会

丁伯民 黄正林 等编

化 工 工 业 出 版 社
工业装备与信息技术出版中心
北 京

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工容器/丁伯民, 黄正林等编. —北京: 化学工业出版社, 2002.12
(化工设备设计全书)
ISBN 7-5025-3959-X

I. 化… II. ①丁…②黄… III. 化工设备-容器-设计 IV. TQ053.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 051058 号

化工设备设计全书

化 工 容 器

《化工设备设计全书》编辑委员会

丁伯民 黄正林 等编

责任编辑: 李玉晖

责任校对: 陶燕华

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(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

北京市燕山印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 24 $\frac{1}{4}$ 字数 813 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3959-X/TQ·1559

定 价: 48.00 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

《化工设备设计全书》编辑委员会

主任委员 袁 纽 中国石油和化工勘察设计协会

副主任委员 华 峰 中国石化集团上海医药工业设计院
洪德晓 全国化工设备设计技术中心站

委 员 叶文邦 钱小燕 黄正林 汪 扬 金国森 应道宴
魏兆灿 秦叔经 虞 军 曹文辉

前 言

《化工设备设计全书》第一版由原化学工业部化工设备设计技术中心站组织全国高校、科研、设计、制造近百家单位参与编写。

《化工设备设计全书》以结构设计、强度计算为主，从基础理论、设计方法、结构分析、标准规范、计算实例等方面进行了系统的阐述，并对相应的化工原理作简介。《全书》在重视结构设计、强度计算的同时，结合化工过程的要求去研究改进设备的设计，提高设备的效率，降低设备的成本，以求实现化工单元操作的最佳化，并力求反映当前国内及国际的先进技术。《全书》自20世纪80年代出版发行后，因其内容的实用性，得到化工、石化、医药、轻工等相关行业的设备专业人员欢迎。

近十余年来，我国化工装置的设计，化工设备的研究、开发、制造和标准化工作有了较大的发展，建造设备用的结构材料也有了新的进展，有必要对《全书》的内容加以更新、补充，以适应现代工程建设要求，满足广大工程技术人员，特别是年青一代工程技术人员需要。中国石油和化工勘察设计协会、中国石化集团上海医药工业设计院、全国化工设备设计技术中心站组成了《化工设备设计全书》编辑委员会，负责《全书》的修订工作。《全书》的修订原则是“推陈出新”，以符合现代工程建设要求。

《化工设备设计全书》计划出版十五种，计有：《化工设备用钢》、《化工容器》、《高压容器》、《超高压容器》、《换热器》、《塔设备》、《搅拌设备》、《球形储罐与大型储罐》、《废热锅炉》、《干燥设备》、《除尘设备》、《铝制化工设备》、《钛制化工设备》、《石墨制化工设备》和《钢架》等。

本书为《化工容器》，着重介绍了化工容器通用零部件的结构设计和强度计算，有关容器制造、焊接和检验的要求，以及保温结构设计等。对于我国现行规范中未作规定的某些通用零部件设计（如矩形法兰、支承式支座、大开孔补强等），也提出了可靠而合理的设计方法供设计者选用。

本书原编写者为陈偕中、吕忠良、任贤朋、钱逸、宋明晨、史慧娟、张荣庆、邱清宇、许长权、蔡建英、梁佩蓉。

现由华东理工大学丁伯民负责修订第一、五章；浙江工业大学钱逸负责修订第二章至第四章；东华工程公司姚羽飞负责修订第六、八章；全国化工设备设计技术中心站黄正林负责修订第七章；华东理工大学邱清宇负责修订第九章；上海医药工业设计院周惠萍负责修订第十章；全国化工设备设计技术中心站汪树华负责修订第十一章；上海医药工业设计院程侠负责修订第十二章。由丁伯民和黄正林负责全面校审和统稿。

内 容 提 要

《化工设备设计全书》计划出版十五种，计有：《化工设备用钢》、《化工容器》、《高压容器》、《超高压容器》、《换热器》、《塔设备》、《搅拌设备》、《球形储罐与大型储罐》、《废热锅炉》、《干燥设备》、《除尘设备》、《铝制化工设备》、《钛制化工设备》、《石墨制化工设备》和《钢架》等。

本书为《化工容器》，着重介绍了化工容器通用零部件的结构设计和强度计算，有关容器制造、焊接和检验的要求以及保温结构设计等。

本书内容实用，图表详尽，可供从事压力容器设计、研究、制造、使用及监督管理的工程技术人员及高等院校有关专业师生参考。

目 录

第一章 化工容器设计概述 1	第二节 封头的设计 44
一、对化工容器设计、制造、检验工作加强 监察管理的重要性及容器分类..... 1	一、受内压封头的强度设计 44
二、化工容器设计中应予考虑的主要因素..... 1	二、各种封头的比较 53
三、化工容器的失效准则和破坏方式..... 3	第三节 筒体和封头的稳定计算 54
四、化工容器设计简述及有关参数的确定..... 5	一、圆环的稳定性及其临界压力 54
五、有关压力容器设计规范简介..... 7	二、圆筒壳体的稳定性 55
参考文献..... 7	三、加强圈设计 64
第二章 旋转薄壳与平板的基本理论及 应用 8	四、外压封头计算 65
第一节 旋转薄壳的基本方程 8	第四节 在内压或外压作用下带法兰的凸形 封头设计 70
一、旋转薄壳的几何特性..... 8	一、类型 (a) 70
二、外力与内力..... 9	二、类型 (b) 71
三、微体平衡微分方程 10	三、类型 (c) 71
四、变形的几何关系 10	四、类型 (d) 73
五、物理方程 11	第五节 筒体和封头设计的参数选择 74
第二节 旋转薄壳的无力矩理论 11	一、设计压力 P 74
一、无力矩理论的一般方程 11	二、设计温度 t 75
二、应用无力矩理论的条件 11	三、许用应力 $[\sigma]$ 和安全系数 n 75
三、无力矩理论的应用 12	四、焊接接头系数 φ 75
第三节 旋转壳体的弯曲及边缘弯曲解 20	五、壁厚附加量 C 75
一、边缘力和边缘弯矩作用下的内力素与 变形 21	六、直径系列与板材厚度 76
二、旋转壳体在边缘力和边缘力矩作用下的 近似解 23	七、最小壁厚 76
第四节 承受轴对称载荷的圆平板的应力 分析 30	第六节 筒体与夹套的连接 76
一、平衡方程 30	第七节 压力容器的近代设计准则 78
二、几何方程 30	一、应力分类 78
三、物理方程 30	二、极限设计法 80
四、挠度微分方程及其解 30	三、关于安定性的概念 81
第五节 边缘力与边缘弯矩的求解 34	四、压力容器强度全面校核的计算步骤 82
一、边缘的变形协调条件 34	五、压力容器疲劳设计 83
二、几种连接边缘的边缘力和边缘弯矩 35	六、断裂力学在压力容器中的应用 89
三、边缘附近的应力计算 39	七、压力容器的蠕变 96
四、边缘应力的性质及在设计中的考虑 41	参考文献 99
参考文献 42	第四章 特殊形状容器 101
第三章 筒体和封头 43	第一节 基本公式 101
第一节 内压薄壁圆筒的强度设计 43	第二节 椭圆形容器 102
一、强度条件 43	第三节 近似椭圆形容器 102
二、受内压薄壁圆筒的壁厚计算公式 43	第四节 矩形容器 103
	一、应力分析及计算..... 103
	二、矩形容器的设计..... 108
	第五节 长圆形容器 112
	第六节 两种相贯壳体的计算 113
	一、串联球壳的计算..... 113

二、斜锥的计算	114	二、平板开椭圆孔附近的应力集中	179
第七节 带底板半圆筒形容器的计算	114	三、球形容器接管附近的应力集中	180
一、底板	114	四、压力容器开孔接管的应力集中系数	182
二、半圆筒	115	第二节 开孔补强设计	185
三、端板	115	一、开孔补强设计方法	185
第八节 几种异形管的计算	115	二、开孔补强结构设计	185
一、偏心厚壁圆筒的应力	115	第三节 等面积补强设计法	190
二、带圆孔矩形管的计算	115	一、适用的开孔范围	190
三、带椭圆孔的圆管的强度	116	二、内压容器开孔所需补强面积	190
四、带方孔的圆管屈服压力	116	三、外压容器所需补强面积	191
五、带矩形孔的矩形管的屈服压力	116	四、有效补强范围	191
第九节 几种管件的受力和计算	116	五、补强面积	191
一、弯头	116	第四节 基于弹塑性失效的补强方法	192
二、焊制三通的强度计算	119	一、采用弹塑性失效补强的限制条件	192
三、虾米腰弯头的计算	121	二、补强区的有效范围	193
四、等径叉形管的计算	122	三、补强计算	193
参考文献	122	第五节 大开孔的补强设计	193
第五章 局部应力	123	一、圆筒形和球形壳体的开孔补强	194
第一节 施加于圆筒上的局部载荷产生的应力计算	124	二、平盖中心开单个圆形孔 ($d > 0.5D_0$) 的强度计算	195
一、局部径向载荷	124	第六节 多个开孔的补强设计	197
二、局部弯矩	136	一、多个开孔补强要求	197
三、应力的合成与强度校核和失稳校核	137	二、排孔的补强要求	198
第二节 施加于球壳上的局部载荷产生的应力计算	138	参考文献	200
一、局部薄膜力和弯矩的图算法	139	第七章 法兰设计	202
二、应力集中系数	144	第一节 概述	202
三、图表使用范围	145	一、对法兰连接的基本要求	202
第三节 常见结构的局部载荷和局部应力	146	二、法兰的分类与结构	202
一、支腿式支座形成的局部载荷	146	第二节 法兰连接的密封	204
二、耳座形成的局部载荷	148	一、影响密封的主要因素	204
三、管系形成的局部载荷	151	二、法兰密封面与垫片	210
四、裙座外螺栓压紧盖板处局部应力	153	第三节 法兰设计	211
五、夹套连接处局部应力	154	一、Timoshenko 方法	212
六、不同壁厚对接焊缝处的局部应力	155	二、Taylor-Waters 方法	213
第四节 卧式放置的圆筒形容器应力计算	156	三、DIN 2505 方法	222
一、鞍式支座引起的应力计算	156	四、其他类型法兰设计	238
二、环式支座引起的应力计算	168	参考文献	242
三、支腿式支座对卧式容器引起的应力	169	第八章 支座设计	243
第五节 容器接管处瞬时热应力的估算	170	第一节 耳式支座	244
一、概述	170	一、结构和选型	244
二、计算方法	171	二、设计计算	244
三、应力校核	174	第二节 腿式支座	248
参考文献	176	一、结构和选型	248
第六章 开孔补强	177	二、设计计算	248
第一节 开孔接管引起的应力集中	177	第三节 支承式支座	253
一、平板开圆孔附近的应力集中	177	一、结构和选型	253
		二、设计计算	254

第四节 鞍式支座	254	一、液面计的结构与设计	288
一、结构和选型	254	二、材料	294
二、设计计算	254	三、玻璃管液面计的装设	294
参考文献	258	四、液面计的选型	295
第九章 爆破片装置设计	259	第四节 接管	296
第一节 概述	259	一、接管的结构形式	296
一、爆破片装置在国民经济中的作用	259	二、法兰的选用	300
二、爆破片装置的特点	259	三、接管长度及细长管的加强	302
三、爆破片和夹持器的结构型式	259	第五节 防涡流挡板	303
第二节 爆破片装置的材料	262	一、装设防涡流挡板的作用	303
一、爆破片选材原则	262	二、装设防涡流挡板的条件	303
二、金属膜片材料	263	三、结构形式	304
三、非金属膜片材料	263	参考文献	306
四、覆层膜片材料	263	第十一章 容器焊接、制造及检验要求	307
五、夹持器材料	265	第一节 容器焊接	307
第三节 爆破片泄放面积的计算	265	一、焊缝的形式及焊缝缺陷的消除方法	307
一、气体	266	二、常用焊接结构的设计原则	308
二、饱和蒸汽	266	三、焊条的选用原则	323
三、液体	268	四、焊接方法	324
第四节 爆破片的爆破压力计算及其影响		五、不锈钢的焊接	326
因素	268	六、复合钢板和异种钢焊接	326
一、爆破片的爆破压力计算	268	第二节 容器制造上的要求	329
二、影响爆破片爆破压力(失稳压力)的因素	269	一、对材料的要求	329
第五节 爆破片的爆破压力和容器设计压力、操作压力的关系	272	二、制造公差要求	331
一、爆破片的爆破压力和容器的设计压力、操作压力的关系	272	第三节 容器的热处理	333
二、容器上爆破片爆破压力容许超压的限度	273	一、热处理的要求	333
第六节 爆破片的配置及安装注意事项	274	二、热处理方法	337
一、爆破片的配置	274	三、热处理时需注意的几个问题	337
二、爆破片安装注意事项	275	第四节 容器的检验	338
参考文献	275	一、无损探伤	338
第十章 容器附件	277	二、强度检验	339
第一节 人孔和手孔	277	三、致密性试验	340
一、人孔的分类与结构形式	277	参考文献	340
二、手孔的结构形式	278	第十二章 容器保温结构	342
三、人孔和手孔尺寸的确定	279	第一节 概述	342
四、设计计算	280	一、绝热材料	342
五、人孔和手孔的装设与选用原则	280	二、绝热结构	342
第二节 视镜	282	三、施工方法	342
一、视镜的结构形式	282	第二节 常用绝热材料	343
二、设计计算	283	一、性能	343
三、材料	286	二、选材原则	348
四、视镜的选型与装设	287	第三节 绝热原理和绝热厚度计算	349
第三节 液面计	288	一、绝热原理	349
		二、绝热经济厚度计算	349
		三、绝热材料其他厚度计算方法	353
		第四节 绝热结构	353
		一、紧固装置	354

二、防潮层.....	362	二、保温（冷）层的施工.....	374
三、保护层和防水结构.....	365	三、防潮层施工.....	375
四、容器附件保温结构.....	367	四、保护层施工.....	375
第五节 施工与验收.....	374	五、质量检查和验收.....	375
一、施工前准备.....	374	参考文献.....	376

第一章 化工容器设计概述

一、对化工容器设计、制造、检验工作加强监察管理的重要性及容器分类

化工容器是用于化学工业、石油化学工业领域中受压设备的泛称。化学工业、石油化学工业领域使用的受压设备十分繁多，常用的有反应器、热交换器、塔设备以及各种储槽等。这些设备的功能及其内、外结构各异，但从强、刚度的角度分析，除个别者外都是受压力载荷的回转壳体，都属于压力容器范畴。

化工容器的操作条件是一般压力容器中最复杂、多变、严峻的，其所受压力可以从负压的整体处于真空以及部分部件处于外压，直至正压的数十至数百兆帕；所处温度可以从低温的零下数十至上百摄氏度直至高温的数百摄氏度；其介质可以是常见的水或空气，也可能是剧毒或强腐蚀性的流体；其容量可以从几百升直至数千、上万立方米；其载荷可以是在整个正常运行期间保持恒定直至几分钟交变一次；其所用材料可以是各种钢材、有色金属或非金属材料；其结构类型可以是单层、多层或复合层，等等。所以化工容器的选材、设计、制造、检验等工作是压力容器建造中最为复杂的。

由于化工容器操作的特殊性，如果在选材、设计、制造、检验、试验中稍有疏忽，一旦发生安全事故，其后果不堪设想。所以包括我国在内的各有关国家都对压力容器的设计、制造、检验工作通过各种途径采用取证管理及监察工作，必须持证设计、制造和检验。各国对压力容器的取证管理及监察工作在原则上都是为了保证使用的安全性，都是根据容器一旦发生事故所可能造成的危害性划分等级或类别，但在具体划分上则有所不同。我国国家质量技术监督局所制订及公布的《压力容器安全技术监察规程》^[1]根据设计压力的高低、在运行中可能发生危险的程度、所储介质的毒性和易燃等级等把压力容器划分成一、二、三等三个类别。其要点如下。

按设计压力的高低，划分为低压、中压、高压、超高压四个压力等级。

低压： $0.1 \text{ MPa} \leq p < 1.6 \text{ MPa}$ ；

中压： $1.6 \text{ MPa} \leq p < 10 \text{ MPa}$ ；

高压： $10 \text{ MPa} \leq p < 100 \text{ MPa}$ ；

超高压： $p \geq 100 \text{ MPa}$ 。

显然，压力越高，一旦发生事故而可能造成的危害越大，容器的类别越高。

按容器在生产工艺过程中的功能，分为反应容

器、换热容器、分离容器、储存容器等四种容器。

一般而言，反应容器在运行过程中因化学反应而引起超压、升温的可能性较大；储存极度毒性或易燃介质的中压容器在一旦发生事故时造成的危险性较大，所以容器的类别就高于无化学反应，且介质无毒、不易燃的小型分离容器的类别。按照容器中介质毒性和易燃程度，分为极度危害、高度危害、中度危害和轻度危害等四种程度。

此外，再计及是否属于移动式容器，是否属于低温容器，是否有可能接触直接火焰，以及某些特殊材料或结构等的因素，综合考虑而划成如下三个类别。

三类容器：高压容器；中压容器（仅限毒性程度为极度和高度危害介质）；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 $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；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 $0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；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 $0.2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^3$ ）；高压、中压管式余热锅炉；中压搪玻璃压力容器；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 540 MPa ）的材料制造的压力容器；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；球形储罐（容积大于 50 m^3 ）；低温液体储存容器（容积大于 5 m^3 ）。

二类容器：除已列入三类容器之外的以下容器为二类容器：低压容器（仅限毒性程度为极度和高度危害介质）；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）；低压管式余热锅炉；低压搪玻璃压力容器。

一类容器：除已列入三类、二类的低压容器为一类容器。

二、化工容器设计中应予考虑的主要因素

总的出发点是，要满足工艺过程所要求的功能并方便使用；要满足在运行中的安全可靠；要满足经济性，包括材料的易于获得，便于制造，所用的材料及总的花费最小。

（一）化工容器的选型

容器的选型首先要满足工艺过程的要求。例如，如仅为储存物料需要，特别是大型储罐，则球形容器是首选型式，因为它单位容积所花的材料最少，且从

强度观点分析, 受力最佳; 但如将球形容器用于反应、分离或换热, 则由于难以将其内件做成最佳的反应、换热、分离介质之间的完全接触, 因此不宜采用。又如, 如用于高压容器, 不论是反应、换热或分离, 虽然球形容器受力最佳, 但由于前述原因, 总选择长径比达 12~15 甚至更高的圆筒形容器, 因为直径越小, 器壁应力越小, 所以尽可能将其直径减小, 为满足工艺过程对反应体积或换热面积的要求, 宁可增加其长度, 甚至有时选用管式反应器。再如, 对一般中、低压反应容器, 一般都做成长径比在 1.2~1.5 左右的立式圆筒形容器, 这样既便于操作 (特别是液、液或固、液反应需要设置搅拌装置时), 又利于反应介质的充分混合, 且为方便卸料, 一般都应将底部做成锥形。对于一般中型储罐, 为便于操作管理, 且因球形容器涉及现场制造, 制造成本较高, 所以一般都做成长径比为 3~6 左右的圆筒形容器并卧式放置。对于化工、石油化工中常用的气液传质设备, 则完全从工艺过程要求出发而做成长径比可达 20 或以上的圆筒形立式容器, 以便设置所要求数量的塔板或填料。从强度观点分析, 除非工艺过程有特殊要求, 非圆形, 例如矩形或长圆形等截面的容器尽量不予选用。

对于不需或很少将内件拆卸的容器, 则可将封头和筒体采用焊接连接, 通过人孔或手孔进入容器内部进行必要的检修; 对于要经常将容器内件进行拆卸的容器, 可对封头和筒体之间采用螺栓法兰连接件; 对于要频繁拆卸封头的容器, 例如对固体物料的蒸煮罐等, 则宜对封头和筒体之间采用卡箍连接件或采用夹子螺栓的法兰连接件。

容器的选型也要尽可能满足强度及制造工艺的要求。例如, 虽然半球形封头受力最佳, 单位容积所花材料最少。但由于制造花费较大, 所以一般在中、低压容器中广泛采用制造略易、受力也不差的椭圆形及碟形封头。无折边球形封头则由于和圆筒连接处会产生很大的附加应力, 所以一般仅用于常压、低压或作为中间封头。锥形封头和无折边球形封头相似, 一般只用于中、低压反应容器等的下封头以便于卸料。虽然平板的受力远不如壳体, 但在中、小型高压容器中, 采用锻制平封头远比采用球形封头为普遍, 因虽然材料费用略增, 但制造费用大为下降。由于原件存在缺陷的可能、引起脆断的可能以及因焊接而产生缺陷的可能远比薄件为大, 所以在高压容器中, 采用各种类型的多层结构往往比采用单层锻造结构更为安全, 在某些情况下可能还会节省成本。

(二) 化工容器的选材

容器的选材和容器的选型相类似, 总的原则也是要满足工艺过程的要求、强度要求和制造工艺要求。

满足工艺过程主要是指材料对介质腐蚀性的抵抗能力, 如一般碳钢难以达到在容器使用寿命期内的抗腐蚀要求, 必要时可以针对介质具体性质选用高合金钢、有色金属或采用耐腐蚀衬里 (包括高合金钢衬里、复合钢板或堆焊层, 以及各类非金属材料衬里或镀层) 材料。此外, 满足工艺过程要求还包括该容器是否属于高温操作或低温操作, 以选用相应的抗高温或耐低温材料。满足工艺过程要求还指对于有换热要求的容器, 应尽可能选用导热系数较大的材料。

满足强度要求并非指选用材料的强度级别越高越好, 而是指选择适用的材料。如果选用材料的强度级别低, 只要相应增加容器元件厚度仍能满足强度要求; 无原则地选用高强度材料会带来材料和制造成本的提高以及抗脆断能力的降低。满足强度要求的另一方面是, 容器在运行中一旦发生意外, 材料要有一定适应能力, 例如要有足够的延伸率以使操作者能及时发现容器的非正常现象 (如法兰连接件因变形过大引起的泄漏, 甚至是在筒体或封头等部分能觉察得出的变形等端倪), 以便及时采取紧急措施防止事故的进一步恶化。材料的屈强比 (σ_s/σ_b) 也是能反映在事故起始阶段能否及时提醒操作者引起注意的一个重要指标。

我国现行容器标准 GB150《钢制压力容器》^[2] 仍采用冲击功 (CVN) 作为衡量钢材能否适应低温操作以防止低应力脆断的重要指标, 所以特别在低温容器设计中, 尤应关注这一指标。

满足制造工艺要求主要是指成形加工工艺 (冲压、旋压和卷制) 以及焊接工艺。一般而言, 延伸率在一定程度上能反映冲压、旋压或卷制工艺的适应程度, 而含碳量或碳当量在一定程度上能反映焊接工艺性能的要求。

常识告诉我们, 材料的强度级别越高, 其含碳量或碳当量都较高, 延塑性相对较差, 焊接工艺性能也较差。所以有关规程、规范都规定了用于焊制压力容器钢材的含碳量要求, 如我国规定含碳量不应大于 0.25%, 美国规定含碳量不应大于 0.35%。

为使所用材料全面满足容器用钢的各项要求, 各有关压力容器规范都已列出容器用钢的牌号、规格, 以及相应适用温度下的许用应力值和外压计算图表, 在设计时只要在所列材料中选用, 即能全面满足上述各项要求。

(三) 容器设计的规范化

尽管各有关资料都详细分析、介绍了容器设计的原理, 但为确保容器的选材、设计、制造、检验、试验各个环节都能达到相应要求, 各国都规定在设计、制造、检验中应予取证, 包括容器设计在内的各项工作, 都应遵照各国有关监管部门所规定或认可的规范

进行,绝不能根据容器设计原理,自行按规范、标准以外的规定或公式进行设计。有关压力容器规范的情况将在本章五中做出简要介绍。

三、化工容器的失效准则和破坏方式

介绍这一内容,连同本书第三章第六节中的应力分类,其目的是使设计人员对压力容器设计、制造、检验中关于材料选用,设计公式中的强、刚度限制条件,对某些结构上的限制,制造和检验的形状允许误差依据等加深理解。

(一) 容器的失效准则

化工容器的失效系指在载荷作用下丧失工作能力,其表现形式可以是泄漏、过度的变形甚至破裂。

化工容器的失效准则有强度失效准则和刚度失效准则两个方面。

如果不计及载荷的交变性、高温蠕变以及钢材中实际可能存在的缺陷等影响,则化工容器的强度失效可以分为弹性失效和塑性失效;刚度失效为过度的变形而导致受压元件丧失正常工作能力,如泄漏,或结构丧失稳定性。实际上某些化工容器还承受频繁的交变载荷,焊缝或钢材内部也不可避免地存在各种缺陷,某些容器则在高温或低温,或强烈的腐蚀或辐射条件下运行,因而,在强度失效方面又提出了弹塑性失效、疲劳失效、断裂失效以及腐蚀失效等。

1. 弹性失效 弹性失效准则即把容器元件上远离结构或载荷不连续处在外加机械载荷作用下可能出现的最大相当应力限制在所用材料的弹性范围,即近似地取限制于所用材料的 σ_s 以下,如果计及安全系数,则限制在许用应力 $[\sigma]'$ 以下。最大相当应力一旦超过这一限制则会使容器总体产生过大的变形直至爆破,或者使材料晶粒产生滑移而不能经受正常的操作条件,各有关国家的容器规范都是按照这一失效准则而且由最大主应力理论确定相当应力的强度校核条件的。

我国压力容器标准 GB150^[2]对内压圆筒、内压凸形封头等元件的设计公式都是按弹性失效原理制订的。

2. 塑性失效 塑性失效准则认为,器壁表面的应力达到材料的屈服强度时,并不会导致容器的失效,只有当器壁整个厚度范围全部屈服时,容器才算失效。

对于薄膜应力,因为它沿壁厚均匀分布,器壁上一点屈服即意味着该元件的整个受载截面同时屈服;但对于弯曲应力,因为它沿壁厚线性分布,由于压力容器所用都属延塑性较高的材料,则器壁表面应力达材料的 σ_s 时,还远未发挥整个截面的承载潜力,除表面以外的其余材料仍可承受继续外加的载荷。

根据承受弯矩的矩形截面梁(化工容器的绝大部

分元件由板、壳构成,而板、壳可以看成是矩形截面梁的相互组合)可以导得,按照弹性公式计算所得的应力、即最大虚拟应力达 $1.5\sigma_s$ 时,整个梁截面才能屈服,引入安全系数后,可得弯曲应力的强度校核条件可达 $1.5[\sigma]'$ 。

对于脆性材料,尽管也是承受弯曲应力,但当器壁表面达 σ_s 再继续增加外载荷时,器壁表面不能产生较大的塑性变形而将导致开裂。所以仅从化工容器设计中引入塑性失效准则这一点出发,也绝不允许选用塑性较差的材料即脆性材料。

我国压力容器标准 GB150^[2]对平板、对整体法兰(包括按整体法兰设计的任意式法兰)连接件的筒体(或接管)颈部等元件的设计或应力计算公式,都是按塑性失效原理制订的。

3. 弹塑性失效 弹塑性失效准则适用于反复加载过程。弹塑性失效准则认为,容器在筒壁应力远低于材料 σ_s 的情况下,筒体和封头或接管相连接的总体结构不连续地区由于附加边缘应力的缘故而可能已达 σ_s ,产生塑性变形。由于边缘应力的局部性,所以在已屈服以外的邻近材料仍处于弹性状态,在有限循环数的反复载荷作用下,此局部地区的塑性变形并不一定会导致容器破坏,这就是“安定性”原理。而当认为材料属理想弹塑性材料时,结构是否处于“安定”的虚拟应力界限值为 $2\sigma_s$,即 $3[\sigma]'$ (按照“分析设计”的规定,取以屈服强度为基准的安全系数为1.5),这就是对二次应力可以用 $3[\sigma]'$ 进行限制的依据。由于这一失效准则允许结构有局部的塑性变形存在,且由于应力在结构各处的分布不均匀,局部塑性区为广大弹性区所包围,所以称之为弹塑性失效准则。当虚拟应力超过 $3[\sigma]'$ 而“失去安定”时,每次加载、卸载循环都使结构出现塑性变形,因而结构进入缓慢的破坏过程,亦即进入有限寿命的积累损伤,必要时应进行疲劳寿命评定。

弹塑性失效准则也不适用于脆性材料。

我国压力容器标准 GB150^[2]对内压锥形封头和筒体的连接、无折边球形封头对筒体的连接等件的设计公式和图表,都是按弹塑性失效原理制订的。

4. 疲劳失效 压力容器的“按规则设计”方法,都是按照静载荷的条件来考虑的,即容器中各处所受的应力都不随时间而变化。所以我国国家标准 GB150并不适用于要求作疲劳分析的容器。

实际上,容器在交变载荷作用下运行的情况是经常发生的,例如压力的交变引起交变的机械应力,温度的交变在某些情况下会引起交变的温差应力等。容器的某些局部地区如开孔接管区,由于种种原因——结构不连续,以及焊缝的咬边、错边、余高、填角焊缝等而造成的应力集中处的局部应力甚至可高达

(2~3) σ_s ，即结构已超出了弹塑性失效准则的限制条件而“失去安定”，在交变应力作用下，最后导致在高应力区萌发疲劳裂纹。疲劳裂纹的扩展致使容器产生泄漏甚至破裂，这种失效属于塑性疲劳失效，即低循环疲劳失效。“按分析设计”的容器设计规范包括疲劳设计方法。疲劳失效准则把器壁上可能出现的交变应力幅值（或该容器所要求的载荷循环次数）限制在按疲劳设计曲线所求得的许用应力幅（或许用循环次数）以下。

由于疲劳设计涉及弹塑性失效准则，而且是在容器设计规范逐步成熟中发展起来的，所以各有关规范都把它列在分析设计系统，采用和常规设计（用最大主应力理论）不同的强度理论——最大剪应力理论。所以我国压力容器标准 GB150^[2]明确规定，要求作疲劳分析的容器并不属于该标准所管辖的范围。如果要求作疲劳分析，应总体上采用以应力分析为基础的标准——JB4732^[3]，它在选材、设计、结构、制造、检验等方面都严于按规则设计的 GB150。

5. 断裂失效 根据传统的强度设计观点，用板壳理论或弹性力学计算受压元件的应力时，并不考虑元件上实际可能存在的种种缺陷（裂纹），当元件上计算出的应力值达到材料的 σ_s 时该元件发生屈服，达到材料的 σ_b 时该元件断裂。大量的压力容器爆破试验表明，对于中、低强度钢（意指延塑性和冲击韧性值较高）制成的容器，即使存在微小的漏检缺陷，由于这种钢材对存在缺陷的敏感性较差，传统的强度设计方法基本上还是比较符合实际的。但是随着工业生产、科学技术的日益发展，对压力容器提出了越来越高的要求，因而高强度钢的应用也日益增多。高强度钢对缺陷的存在甚为敏感，以致容器的爆破压力和按传统强度设计观点所得结果相差甚大，即往往引起低应力脆断。因而从上世纪 50 年代开始把采用包括缺陷尺寸和元件所受应力水平在内的力学参量来衡量元件是否会引起断裂的断裂力学方法引入对压力容器的安全评定之中。用这一观点来判别容器是否会导致失效的准则称为断裂失效准则。按照断裂失效准则来判别容器是否安全时，常将包括裂纹尺寸大小和元件器壁垂直于裂纹的拉伸应力值二者在内的断裂参量限制在相应材料的断裂韧性指标以内。我国在 1984 年公布的《压力容器缺陷评定规范》（CVDA-1984）即是以断裂失效为判据的压力容器缺陷评定文件。但是该文件至今仍未作为正式标准。

《压力容器安全技术监察规程》^[1]在关于缺陷安全评定的说明中指出，我国缺陷安全评定已有多年的历史，但至今还处于不很完善的程度，主要表现在没有国家标准可依据，也没有技术法规规范，同时，实施评定的单位和人员的条件也参差不齐，因而作出的评

定在水平上相差较大。不能把缺陷安全评定简单地理解为用断裂力学的方法进行计算，也不能以断裂力学计算替代定期检验。因此，对带超标缺陷的设备，不主张广泛进行缺陷安全评定，因为那只是权宜之计。

国外，包括 ASME 在内的压力容器规范，则已列入这一内容。

6. 蠕变和应力松弛失效 化工容器在高温及内压的长期作用下，缓慢地、不断地产生塑性变形，致使其器壁不断减薄，最终导致破坏。这种在一定温度和拉伸应力的长期作用下，随着时间的延续，塑性变形不断增加和积累、元件强度不断下降，最后导致容器失效的现象谓之蠕变失效。相应地，如密封紧固件在拉伸应力状态其总长度保持不变，在高温下弹性应变不断地转化为塑性应变的过程，因而引起紧固件中弹性应力下降而导致密封失效的现象，则称为应力松弛。应力松弛和高温蠕变是同一问题的不同表现形式。按照蠕变失效准则进行设计时则把器壁的蠕变值（或按蠕变方程算得的相当应力）限制在某一许用范围。但国内外常规设计规范对高温容器的设计则仅在某一定的高温下选用合宜的高温用钢并按蠕变极限和持久极限来确定其许用应力以对蠕变值进行控制。

7. 腐蚀失效 化工容器的腐蚀失效是指和介质接触的器壁受到腐蚀性介质的侵蚀而产生破坏，它可以分为均匀腐蚀和局部腐蚀两大类。对腐蚀失效的控制实质上就是根据介质特性正确地选用合宜的材料。在通常情况下，对均匀腐蚀失效的限制条件，实际上就是弹性失效准则的限制条件，即在按照最大主应力计算出器壁厚度的基础上增加腐蚀裕量；对于局部腐蚀，它不仅与容器用材有关，而且与介质及其使用温度、压力、应力水平等有关，因此，局部腐蚀失效至今尚无统一的限制条件。

（二）容器的破坏方式

化工容器的破坏是各种失效类型中为数较多的一种失效形式，它可以分为延性断裂、脆性断裂和疲劳断裂等三种形式。

1. 延性断裂 一般不存在，或仅存在尺寸很小、数量很少的缺陷，且在使用温度下有足够延塑性的材料所制成的容器，在静载（相对交变载荷而言在整个使用寿命期间载荷交变数甚少者）作用下在破坏时都呈延性断裂。其主要特征如下。

（1）爆破曲线形状和延性材料的拉伸曲线相类似，有明显的屈服阶段和明显的塑性变形、应变硬化阶段；其爆破压力值和理论计算值相当接近。

（2）爆破口开裂成鱼形裂口，基本无分枝，更无任何碎片。

（3）断口一般为和最大主应力成 45° 夹角方向的

剪切断口。

(4) 断口呈无光泽的纤维状撕裂。

选材可靠、设计正确、结构合理、制造合格并通过有关规定检验的容器，在正常使用温度内爆破时一般都为延性断裂。符合各项要求的容器在爆破时都应该是延性断裂。

2. 脆性断裂 当材料或焊缝存在原始缺陷，或所选材料在承载温度下的冲击功过低的容器，在爆破时可能发生脆性断裂。如断裂时的爆破压力远低于按强度计算所得的爆破压力值时且为脆性断裂，则为低应力脆断。低应力脆断往往在未曾料及的情况下发生，所以危害性极大。脆性断裂的特征如下。

(1) 爆破曲线无明显的屈服点和塑性变形阶段。如果是低应力脆断，则在爆破压力在材料相应的屈服点以下。

(2) 一般情况下爆破时伴有碎片，或裂口有不规则的分枝。

(3) 断口一般和最大主应力相垂直；如对圆筒而言，则一般和周向应力方向相垂直。

(4) 断口呈光亮、粗糙的晶粒状。

脆性断裂、特别是低应力脆性断裂的发生，总是有其特殊原因的。其原因或为选材不当，或使用温度不当，或结构不合理、存在明显的难以全焊透的接头，或相连接件的器壁厚薄过于悬殊，或存在不符有关规程的焊接工艺，使焊缝及其热影响区晶粒粗大而造成脆性，或制造中存在明显的焊接缺陷或过大的残余应力，或检验工作疏忽，漏检可能存在的种种缺陷等。因为脆性断裂的发生并无特殊的前兆，且往往伴有碎片，因而一旦发生会造成很大的破坏和人员伤亡。所以在化工容器的选材、结构、设计、制造、检验、试验中，任何一个环节都要严格防止脆断的发生。

3. 疲劳断裂 化工容器的开孔接管区、补强区，焊缝的咬边、错边、余高处，角焊缝区和各种结构或载荷上的不连续地区，即在局部高应力地区，在交变载荷作用下，都有可能发生疲劳断裂。其特征如下。

(1) 失效前无明显的宏观变形，断裂或泄漏（疲劳裂纹穿透器壁所致）往往是突然发生的。

(2) 断口处总存在这样或那样的材料原始缺陷或制造缺陷，或由高应力集中所萌发的疲劳裂纹源。

(3) 断口呈纤维状起裂点（或原始缺陷），并由此点而散射出或大或小的贝壳纹形裂纹扩展区，最后是或大或小的脆性断裂区。

可以认为，如果容器在使用过程中能及时地加以检查，并对已查出的裂纹等缺陷进行安全评定并监测，则能大大地防止疲劳断裂的发生。

四、化工容器设计简述及有关参数的确定

包括我国现行标准在内的各国压力容器规范，为防止可能产生的各种失效，除在材料选用、结构要求、制造条件和允差、检测检验等相应都作了详细的规定外，都花了很大篇幅规定了强（刚）度的计算公式。尽管各个元件的计算公式看来相当繁复，其实总体思路并不复杂，即应用板壳理论或弹性力学分析受载元件的应力。对某些难以直接求解其应力的元件，必要时借助于由大量实践经验所积累的资料引入各项修正系数。对于因强度不足、可能导致失效的元件，大部分场合采用最大主应力理论并用弹性失效准则，将受压元件的最大主应力限制于材料的许用应力以内，以确定受压元件的厚度；对于因刚度不足可能导致失稳的元件，则根据所计算出的临界载荷并引入必要的稳定性安全系数，以作为其许用载荷。

由于某些元件的实际结构形式千差万别，其真实应力实难估算，按照规则设计的方法，对某些局部应力不予考虑，所以只好在结构细节上加以种种限制。如对接焊件的厚度差超过某一范围就一定要将较厚件削成一定锥度过渡；某些连接件之间要有足够半径值的圆角过渡；开孔接管尺寸超过一定值以后要进行补强等等，都只是定性地把局部应力（其中相当部分可划入峰值应力 F 之例）限制在一定范围。由于实际上对许多结构的局部应力并未进行限制，为此而需要在材料性能上加以限制，即规定以必要的延塑性和冲击功，以适应即使存在局部高应力也具有足够的应力再分布能力；规定以最高含碳量和某些焊接工艺条件（中国《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%），使之具有良好的焊接工艺性以保证在焊接过程中不致引起过分的缺陷；在确定材料的许用应力时，根据成熟的使用经验引入必要的安全系数，以保证受载元件既能在失效准则控制条件下安全工作，又有足够的经济性。

在应用以板壳理论或弹性力学为基础的公式进行强度或刚度计算时，总认为承压元件的几何形状是正确的（如圆筒形的横截面是正圆形，且壁厚处处均匀），实际制造中总会存在这样或那样的偏差；几何形状不正确的实际元件其应力状态必和规范所列公式计算所得之值产生很大出入，因而引起误差。为避免这一点，在制造工艺及检验要求中就列入了某些制造允差，如筒体的错边量、不圆度、对理想正圆形的正负偏差、焊缝的咬边、余高值等，以保证实际应力情况和由设计公式计算所得之值不致有过分的出入。

根据容器的应力分布情况，可将焊缝据其所处位置予以分类，对不同类别的焊缝，在尺寸制造允差、

热处理、检验要求等各方面均给以不同要求的控制。

总之，正如 ASME 规范的指导思想那样，各国压力容器标准把设计工作始终看成是从选材、结构、强（刚）度计算、制造、检验等环环相扣的一根完整链条，对任何一个环节都不能有丝毫放松。“千里之堤，溃于蚁穴”，决不能认为压力容器的设计工作仅仅是计算壁厚或校核强（刚）度，任何结构或制造、检验上的疏忽都可能带来意想不到的后果。

1. 设计压力 设计压力指设定的容器顶部的最高压力，与相应的（即同时存在的）设计温度一起作为设计载荷条件，其值应不低于工作压力（即容器顶部可能达到的最高压力）。

设计压力连同工作压力都应标在容器铭牌上。

设计压力的确定可参阅第三章第四节。

2. 计算压力 计算压力指在相应的（即同时存在的）设计温度下，用以确定容器元件厚度的压力，其中包括液柱静压力。当元件所承受的液柱静压力小于 5% 设计压力时，可忽略不计。

显然，计算压力和设计压力既有联系，又有区别。对于无液柱静压力的内压储罐以及相类似的容器，计算压力即设计压力。但对于带夹套的容器，由于容器的带夹套部分和不带夹套部分（包括其顶部用或不用法兰连接的封头等）所受压力载荷不同，所以尽管整个容器（夹套除外）的设计压力可以为同一值，但在计算各元件时，带夹套部分的容器和不带夹套部分的容器（包括其顶部用或不用法兰连接的封头等）其计算压力可以完全不同。

3. 试验压力 试验压力指容器在试验状态时其顶部的压力。试验压力应标在容器铭牌上。

我国容器标准规定如下。

对于内压容器，液压试验压力为 $p_T = 1.25p$

$\frac{[\sigma]}{[\sigma]^t}$ ，气压试验压力为 $p_T = 1.15p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t}$ ；

对于外压和真空容器，液压试验压力为 $p_T = 1.25p$ ，气压试验压力为 $p_T = 1.15p$ 。

上述各式中 p ——设计压力；

$[\sigma]$ 、 $[\sigma]^t$ ——容器元件材料在试验温度及设计温度下的许用应力。

4. 设计温度 设计温度指容器在正常工作情况下，设定的元件的金属温度（沿元件金属截面的温度平均值）。

在设计容器、选用材料时，设计温度应不超过规范所列材料表中的最高温度值，也不应超过规范所列外压设计图表上的最高温度值。如有超过，则说明所选材料不合适，而应予重选。

设计温度应标在容器铭牌上。如该容器属低温容器，则应标以最低设计温度。

设计温度的确定可参阅第三章第四节。

5. 试验温度 试验温度指压力试验时，壳体的金属温度。

为避免在压力试验时金属温度过低而引起脆性断裂。我国容器标准规定，在液压试验时，对碳素钢、16MnR 和正火 15MnVR 钢容器，液体温度不得低于 5℃；其他低合金钢容器，液体温度不得低于 15℃。如果由于板厚等因素造成材料无延性转变温度升高，则需相应提高试验液体温度。在气压试验时，对碳钢和低合金钢容器，试验时介质温度不得低于 15℃。

6. 计算厚度 计算厚度指按容器元件所受载荷按规范公式计算所得的厚度。

7. 设计厚度 设计厚度指计算厚度加上腐蚀裕量。

8. 名义厚度 名义厚度指设计厚度加上钢材厚度负偏差后向上圆整至钢材标准规格的厚度，即标注在图样上的厚度。

9. 有效厚度 有效厚度指名义厚度减去腐蚀裕量和钢材厚度负偏差。

有效厚度用于根据元件的名义厚度求取该元件的许用载荷或所受应力值。

10. 最小厚度 最小厚度指壳体加工成形后不包括腐蚀裕量的厚度。

规定最小厚度，其目的是为了保证壳体在加工成形后不致因自重而引起过大的变形。我国容器标准规定，对碳钢、低合金钢制造的容器，不小于 3 mm；对高合金钢制造的容器，不小于 2 mm。

11. 厚度附加量 厚度附加量 C 指钢材厚度负偏差 C_1 与腐蚀裕量 C_2 之和。

12. 钢材厚度负偏差 钢板或钢管的厚度负偏差按钢材标准的规定。当钢材的厚度负偏差不超过 0.25 mm，且不超过名义厚度的 6% 时，可忽略不计。

13. 腐蚀裕量 腐蚀裕量指为防止容器元件由于腐蚀、机械磨损而导致厚度削弱减薄时，应在计算厚度之外所增加的裕量。

腐蚀裕量的选用可参阅第三章第四节。

14. 许用应力 许用应力指根据钢材强度指标，已引入规范规定的安全系数后的钢材许可强度值，用于规范规定公式以确定容器元件尺寸。各国压力容器规范都对适用材料逐一列出。我国容器标准也对板材、管材、锻件、螺栓材料等逐一列出，按材料规格和设计温度选用。在设计温度低于 20℃ 时，取 20℃ 时的许用应力。

我国容器标准所采用的安全系数可参阅第三章第四节。

15. 焊接接头系数 焊接接头系数指因对接焊接而可能影响及材料强度而引入的其值不超过 1.0 的

系数。

我国容器标准规定,焊接接头系数应根据受压元件的焊接接头型式和无损检测的长度比例确定。

双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头:100%无损检测, $\phi=1.00$;局部无损检测, $\phi=0.85$ 。

单面焊对接接头(沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板):100%无损检测, $\phi=0.9$,局部无损检测, $\phi=0.8$ 。

对于受压缩应力的元件,可取焊接接头系数 $\phi=1.0$ 。

五、有关压力容器设计规范简介

压力容器规范基本上有两种类型,一种是开放型的,即每个标准只能解决特定的技术问题,我国GB150《钢制压力容器》即属此类,因此,解决化工容器设计中的所有问题,要与一系列相关标准配套使用。另一种是封闭型的,即通过某一标准,基本上可以处理化工容器设计中的所有问题,其代表性的标准即美国ASME锅炉及压力容器规范,该规范是建造压力容器安全运行的必要规则,它明确指出,所谓建造,是包括材料、设计、制造、检验、检查、试验、认证和泄压在内的一个含义广泛的名词。

GB150《钢制压力容器》是在一系列原规定的基础上逐步发展起来的,最初始于1967年的原化工部《钢制化工容器设计规定(试行)》,该规定主要吸收了美国ASME锅炉及压力容器规范的有关内容,也吸收了英国BS5500非直接火压力容器以及原苏联锅炉规范的部分内容,主要包括设计计算部分,但因十年动乱而在试行后未及时转为正式规定。至1997年,由原石油化学工业部、第一机械工业部颁发《钢制石油化工容器设计规定》供内部发行和使用,后经1982年、1985年两次修订改版,直至1989年出版的由全国压力容器标准化技术委员会制订的GB150—89《钢制压力容器》,取消了前述各标准中的“设计规定”字样,意指包括了设计、制造、检验等有关方面的内容,至1998年再次修订改版,即GB150—1998《钢制压力容器》的现行标准。

GB150从总体上参照了ASME《锅炉及压力容器规范》第Ⅶ卷第1册(压力容器建造规则)和第Ⅷ卷第2册(压力容器建造另一规则)的有关内容,只是在某些部分根据我国国情作了必要的调整或另行规定。GB150属于按“规则设计”的规范,它只涉及压力容器主要受压元件的设计、制造和检验方面的内

容,对于某些特定容器或元件,则另有相关标准。主要的如GB151—1998《钢制管壳式换热器》、GB12337—90《钢制球形储罐》、GB16749—1997《压力容器波形膨胀节》、JB4710—92《钢制塔式容器》、JB4731—98《钢制卧式容器》、JB/T4735—1997《钢制焊接常压容器》等。

和ASME规范相对应,在1995年,由原中国石油化工总公司、劳动部、原化学工业部、原机械工业部等联合颁布了JB4732—95《钢制压力容器——分析设计标准》,和GB150相类似,它从总体上参照了ASMEⅦ-2,并根据国情而调整、补充了某些内容。

前已述及,对于压力容器的有关监管工作,都必须遵守国家质量技术监督局在1999年颁发的《压力容器安全技术监察规程》。

美国《锅炉及压力容器规范》是世界上目前公认的权威性规范,是我国“按规则设计”和“按分析设计”标准《钢制压力容器》的主要参照规范,它从1915年正式公布的《锅炉制造规则》即ASME规范的始祖开始,至今发展至共包括十一卷、二十余册。和化工容器设计相联系的主要是Ⅶ-1《压力容器建造规则》^[4]、Ⅶ-2《压力容器建造另一规则》^[5]、Ⅶ-3《高压容器建造另一规则》^[6]。按规定,该规范在每年的12月增补一次,每3年进行版本修订,其有效的最新版本为2001年版,使用时务必注意版本的有效期。

国外相应的容器标准和规范还有日本的JIS B 8248、8249、8270~8285等标准,英国的BS 5500非直接火压力容器、德国的AD压力容器规范、法国的CODAP非直接火压力容器建造规范以及欧共体的EN1591标准等。

参 考 文 献

- 1 国家质量技术监督局. 压力容器安全技术监察规程. 1999.
- 2 国家技术监督局. GB150 钢制压力容器. 1998.
- 3 中华人民共和国机械工业部、化学工业部、劳动部、中国石油化工总公司. JB4732—1995. 钢制压力容器——分析设计标准.
- 4 ASME 锅炉及压力容器规范. 第Ⅶ卷第1册. 压力容器建造规则. 2001.
- 5 ASME 锅炉及压力容器规范. 第Ⅶ卷第2册. 压力容器建造另一规则. 2001.
- 6 ASME 锅炉及压力容器规范. 第Ⅶ卷第3册. 高压容器建造另一规则. 2001.