

第2版

工程压力容器 设计与计算

Design and Calculation of Engineering
Pressure Vessel

■ 王心明 W.Z.麦克 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

工程压力容器设计与计算

(第2版)

王心明 W. Z. 麦克 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书较为详细地介绍压力容器设计与计算的基础理论和方法。本书从壳体应力分析着手,详尽地阐述现代压力容器的设计方法和设计规范准则,特别是对高温蠕变容器、低温容器、低周疲劳和断裂力学在容器设计中应用等设计内容进行系统的分析。本书各章节尽量吸纳 20 多年来在压力容器设计方面的最新成果。

本书适用于各级压力容器监管部门管理人员,化工、能源、交通和船舶等相关企业工程技术人员,设计研究单位科研人员及大专院校师生阅读,也可供有关外贸人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程压力容器设计与计算 / 王心明, (美) 麦克编著.

—2 版. —北京: 国防工业出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-118-07411-6

I. ①工… II. ①王… ②麦… III. ①压力容器-设计
②压力容器-计算 IV. ①TH490.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 165111 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 30 $\frac{3}{4}$ 字数 708 千字

2011 年 10 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

《工程压力容器设计与计算》第1版自1986年出版以来,压力容器及设备设计无论是理论还是方法上都取得了巨大的进步和变化;作为设计依据的压力容器规范或标准以及法规、规定和规程更加完善和系统化;围绕着压力容器材料、设计、制造、试验和检验检测及设备管理等方面的科学研究取得了一系列的丰硕成果,使最新的分析方法和最先进的计算技术得以运用于压力容器设计当中去,从而促使压力容器的设计更加细化、准确和完整;近些年来,由于对压力容器在极其复杂工作状态下产生失效原因、机制和后果进行广泛深入的理论分析、实验研究和案例验证,使人们能够从微观上认识导致容器失效的规律,找出预防方法,提出控制失效的安全措施;过去十几年,断裂力学在压力容器设计上运用已经达到很高的水平,从壳体材料裂纹萌生、裂纹开裂、裂纹稳定扩展和裂纹失稳等几个阶段能够用数学关系式定量地进行描述并成功地运用到压力容器设计上;受腐蚀、辐射、高温、高压及恶劣环境作用的或其中几个组合作用的压力容器,尤其是与交变载荷交互作用的压力容器研究也取得了长足的进步,依此制订的设计规则或规定已经用于重要容器实际设计中。总而言之,涉及多种学科的压力容器和设备设计学受现代化大规模生产的牵动和不断进步更新的工艺引领必然会更系统、更完整、更准确和更先进。

由于压力容器是石油化工、冶金、能源、医药等工业过程设备、动力设备和储藏设施中非常重要的装置或单元,因此它的设计水平、建造质量和生产能力基本上决定一个国家重型设备的制造水平。而作为通用设备的压力容器在国民经济和民众生活中已经占据重要的地位,所以发达国家从安全和适用性角度对这种设备所使用的材料选择、设计方法、制造工艺和管理制度等方面制定一系列法律、法规、标准和规范及其他指令性规章制度或法律文件。

近30年来,压力容器规范或标准取得成就更为明显,除了世界各国公认的最权威的美国ASME压力容器规范外,在这期间欧盟于1997年颁布承压设备指令,紧接着在2002年又制定了与其配套的EN13445规范;法国压力容器和管道制造协会(SNCT)制定的非核压力容器规范(CODAP)自1980年正式颁布以来,每隔五年修订一次,该规范与ASME VIII相似,按照规则设计和分析设计分为两个分册,即CODAP 2005 Div. 1和CODAP 2005 Div. 2;英国压力容器规范从1950年颁布的BS1500规范,经过BS1515(1965)和BS5500(1976)修订后,当欧盟规范EN13445在2002年公布之后,以新的命名PD将BS5500变为PD5500规范,以适应EN13445规范没有广泛推广而暂时存在的空缺,但是其基本内容 and 应用范围不变,2009年英国正式颁布英国版的欧盟EN13445规范;俄罗斯在著名压力容器专家拉奇科夫(2008年逝世)等人领导下将苏联解体前后已有的部分化工和能源方面的规定、标准和设计方法等经过综合修订改编,加上近几年新制定的标准—

并于2007年以国家名义正式公布一套压力容器和装置的规范;日本也从2003年开始对JIS B有关压力容器和锅炉标准进行归纳增补,于2009年编纂出版一套由54个标准组成的适用于压力容器和锅炉设计计算的标准汇编,也可以说是日本国家规范。对于高温压力容器,美国ASME III NH、欧盟EN 13445-3、英国R5和法国的RCC-RM等设计规定都是非常权威的高温或蠕变设计准则。我国从改革开放以来,根据国内外的经验和各相关的研究开发,由国家颁布几个非常重要的压力容器标准如GB 150、JB 4732和其他配套标准、法规和规定,据说,国家正在组织人力对GB150标准进行修订,估计在2011年颁布。这些标准和文件无疑对我国压力容器设计起到积极的指导和规范作用。编者与美国和日本压力容器规范专家讨论世界各国规范时,意见比较一致的看法是当今压力容器规范大体上分为两大体系,即美国的ASME和欧盟的EN13445规范,由其引领的各国规范和规定虽然具有各自的特点,但是从理论基础和设计思路上都脱离这两个规范的基本框架范畴。为了更深入地了解欧盟相关设计规范和标准,本书有选择地介绍一些内容。

鉴于上述认识和同行的建议,编者觉得有必要对本书第1版进行修订和补充,尽最大可能吸收最近20多年的新成果和新进展,以更新原版的一些过时的内容,同时改正第1版中存在的一些错误和不足。

编者在改革开放初期有机会参与和压力容器有关项目的研究开发组织、ASME VIII-1规范取证和技术引进工作,接触一些国外专家,收集在当时看来比较先进的压力容器方面的研究成果和标准,借以在我国推广和介绍,在压力容器技术培训讲义的基础上编写本书的第1版。自此以后,编者得到众多单位和个人的帮助和支持,学到很多知识,依此有条件修订本书的第1版。编者借第2版出版机会向他们表达最深切的感谢。这里特别感谢日本日立造船株式会社陆上机械、日本川崎株式会社、日本压力容器规范编辑委员会;美国休斯敦大学图书馆、休斯敦图书馆及德国亚森工业大学图书馆,使我得到完整的美国、日本和欧盟压力容器规范和其他相关最新资料。本书在编写过程中得到了许多同仁帮助:日本友人野村克人、宫本智勇和小林英男等;美国朋友Richard H. Steph;大连理工大学王富岗教授、王泽武博士,大连北方大学李勇进博士。同时,还要对为出版本书做出大量工作的鹿道智高级工程师、谢世晶、张骞、朱立志表示谢意。这里特别感谢本书所引用的文献作者和出版单位。

由于编者学识粗浅、业务水平有限,实践经验不足,本书可能存在许多缺陷,敬请读者示教斧正,编者不胜感激。若本书尚能对我国压力容器设计与计算有所帮助,编者甚为自慰。

王心明

2010年10月 于美国休斯敦

目 录

第 1 章 压力容器设计基础	1
1.1 概述	1
1.2 压力容器分类	2
1.3 压力容器失效方式	3
1.4 压力容器设计准则	5
1.5 压力容器设计方法	8
1.5.1 规则设计法	8
1.5.2 分析设计法	9
1.5.3 对比经验设计法	9
1.6 压力容器规范设计	10
1.6.1 GB 150、JB 4732 压力容器设计标准	10
1.6.2 ASME VIII -1、2、3 设计方法	11
1.6.3 欧盟 EN 13445 -3 规范	13
1.6.4 法国压力容器规范 CODAP 和 RCC - M、RCC - MR 和 RCC - E	14
1.7 设计方法选择	15
1.8 设计基本要素	15
1.8.1 载荷及载荷工况	15
1.8.2 基本设计要素	17
1.8.3 许用应力	22
1.9 焊接接头和焊接接头系数	26
1.9.1 焊缝分类	26
1.9.2 焊接接头强度系数	27
1.10 压力试验	28
1.10.1 耐压试验	28
1.10.2 致密性试验	28
1.11 强度理论	29
1.11.1 最大主应力理论	29
1.11.2 最大剪应力理论	30
1.11.3 最大变形能理论	31
第 2 章 压力容器力学基础	32
2.1 壳体无力矩理论	32

2.1.1	微元体平衡方程	32
2.1.2	区域平衡方程	34
2.1.3	无力矩理论应用	35
2.2	壳体有力矩理论	46
2.2.1	内力分量	46
2.2.2	内力分量计算	48
2.2.3	边缘效应作用范围	53
2.2.4	各种形式壳体边界内力分量、挠度及转角计算	54
2.2.5	变形协调方程	57
2.2.6	变形协调方程应用	58
2.3	圆平板理论	67
2.3.1	均匀压力作用下圆平板微分方程	67
2.3.2	圆环形平板	75
第3章	压力容器应力分析	83
3.1	应力和应力分析	83
3.1.1	应力和应力分类	83
3.1.2	应力强度和强度极限	89
3.1.3	弹性应力分析步骤	92
3.1.4	EN 13445 - 3 应力分类方法	93
3.2	极限载荷设计准则	94
3.2.1	纯弯矩作用单位宽度矩形截面梁	94
3.2.2	拉伸和弯矩同时作用矩形截面梁	95
3.2.3	截面形状系数 α	97
3.3	安定性设计准则	98
3.3.1	安定性分析	99
3.3.2	欧盟 EN 13445 - 3 安定性分析	100
3.4	分析设计和应力分类	101
3.4.1	ASME VIII - 2 分析设计法	102
3.4.2	应力分类方法	107
3.4.3	非弹性分析的极限载荷求法	112
3.5	壳体温度应力	115
3.5.1	平板均匀温度场温度应力	115
3.5.2	平板在非均匀温度场温度应力	116
3.5.3	圆平板温度应力	117
3.5.4	圆柱壳温度应力	119
3.5.5	球壳温度应力计算	123
3.5.6	壳体边缘处温度应力分析	125

第4章 内压压力容器设计	131
4.1 内压圆柱壳体	131
4.2 内压球壳	132
4.3 内压成形封头	132
4.3.1 内压碟形封头	132
4.3.2 内压椭圆形封头	134
4.3.3 内压无折边球形封头	136
4.4 内压圆锥形壳体	137
4.4.1 内压圆锥形壳体	138
4.4.2 圆锥形壳体大端	139
4.4.3 圆锥形壳体小端	140
4.4.4 带折边圆锥形封头	141
4.5 内压平封头	142
第5章 外压压力容器设计	147
5.1 外压壳体稳定性	147
5.1.1 壳体临界压力和稳定性	148
5.1.2 外压短圆柱壳体的稳定性	150
5.1.3 外压圆柱壳体临界长度计算	152
5.2 外压圆柱形容容器算图设计	154
5.2.1 受侧向均匀外压作用圆柱壳算图	155
5.2.2 外压圆柱壳算图计算步骤	156
5.3 外压球形和成形封头设计	161
5.3.1 外压球形封头	161
5.3.2 外压成形封头计算	162
5.4 外压圆锥壳设计	164
5.4.1 计算法	164
5.4.2 圆锥壳与圆柱壳连接处设计	166
5.5 容器夹套设计	169
5.5.1 夹套受力分析和壁厚计算	170
5.5.2 半圆管夹套设计计算	172
第6章 单层厚壁压力容器设计	174
6.1 单层厚壁容器分类和设计要求	174
6.2 壳体受力分析	176
6.2.1 基本方程	176
6.2.2 应力计算	177
6.2.3 应力、压力与 K 值之间关系	179
6.3 球壳受力分析	180

6.3.1	基本方程	180
6.3.2	应力计算	181
6.4	厚壁容器强度计算	181
6.4.1	弹性失效设计	182
6.4.2	塑性失效设计	183
6.4.3	爆破压力计算	183
6.4.4	内压和温差同时作用强度计算	184
6.5	厚壁容器设计计算	187
6.5.1	圆柱壳容器设计计算	187
6.5.2	球形容器设计计算	188
6.5.3	ASME VIII-2 规范设计计算	189
6.6	圆柱壳体自增强	190
6.6.1	壳体自增强处理技术	190
6.6.2	自增强加载过程应力和自增强当量应力	191
6.6.3	自增强处理后壳体残余应力	193
6.6.4	自增强容器操作时壳壁应力分布	194
6.6.5	圆柱壳体最佳自增强压力和最佳自增强半径	195
6.7	球壳自增强	196
6.8	计算举例	198
第7章	多层压力容器设计	203
7.1	多层容器结构	203
7.1.1	多层厚壁圆柱壳的特征和结构	203
7.1.2	多层圆柱壳结构形式	205
7.2	套合圆柱壳体	205
7.2.1	应力分析	206
7.2.2	多层套合圆柱壳的压力计算	212
7.2.3	套合圆柱壳体特点	213
7.2.4	多层热套圆筒自增强处理	213
7.3	层板包扎圆柱壳	214
7.3.1	应力分析	215
7.3.2	设计计算	216
7.4	多层缠绕圆柱壳	218
7.4.1	钢带应力分析	218
7.4.2	内圆柱壳应力分析	219
7.4.3	组合圆柱壳体应力分析	219
7.4.4	设计计算	220
7.5	多层球形壳体	220

7.5.1	应力分析	221
7.5.2	壁厚计算	221
7.6	多层圆柱壳体设计要求	222
7.6.1	一般要求	222
7.6.2	设计步骤	222
7.6.3	多层容器结构设计	224
7.7	设计举例	225
第8章	非圆形压力容器设计	227
8.1	椭圆形柱壳	227
8.1.1	内压椭圆柱壳	227
8.1.2	内压和体积力作用的椭圆形柱壳	236
8.1.3	椭圆形壳体的设计效核	239
8.2	矩形容器	240
8.2.1	无支承和带加强圈矩形容器	240
8.2.2	带孔的矩形柱壳	244
8.2.3	加强矩形截面容器	246
8.2.4	无支承容器壁板应力计算	249
8.2.5	四周设置加强圈的壳体	249
8.2.6	加强圈与相连壳体强度条件	250
8.2.7	开孔补强限制条件	251
8.2.8	稳定性条件	251
8.2.9	设计举例	251
第9章	压力容器非压力载荷	256
9.1	球壳接管局部载荷	257
9.1.1	最大许用载荷	257
9.1.2	外部载荷和压力组合校核计算	258
9.1.3	应力范围和应力范围组合	258
9.1.4	接管纵向稳定性	261
9.1.5	适用条件和计算步骤	262
9.2	圆柱壳体接管局部载荷	262
9.2.1	外部载荷作用	262
9.2.2	外载荷和内压组合作用	265
9.2.3	应力范围和应力组合	265
9.2.4	接管纵向应力及强度校核	266
9.2.5	设计计算步骤	267
9.3	卧式鞍座局部载荷	267
9.3.1	受力分析	267

9.3.2	不带加强垫板时鞍座极限载荷	270
9.3.3	鞍座支承系统极限载荷校核程序	273
9.3.4	带加强垫板时鞍座极限载荷	274
9.3.5	适用条件	274
9.3.6	无需计算条件	275
9.4	裙座支承局部载荷	276
9.4.1	裙座结构形式	276
9.4.2	作用力和力矩	276
9.4.3	壳体和裙座薄膜应力和壁厚	277
9.4.4	弯曲应力计算	278
9.4.5	总应力和强度条件	280
9.5	托座支承局部载荷	282
9.5.1	托座作用力和壳体载荷	282
9.5.2	托座设计适用条件	285
9.6	腿式支座局部载荷	285
9.6.1	支腿上作用载荷	285
9.6.2	使用条件	287
9.7	吊耳支承局部载荷	287
9.7.1	吊耳上作用力和载荷	288
9.7.2	应用范围	290
9.8	设计举例	290
第10章	压力容器开孔和补强设计	295
10.1	壳体开孔概述	295
10.2	开孔应力集中分析	296
10.2.1	平板小圆孔单向拉伸应力分析	296
10.2.2	小圆孔双向拉伸的应力分析	298
10.2.3	平板椭圆小孔单向拉伸的应力分析	298
10.2.4	圆柱壳上小椭圆孔应力分析	299
10.2.5	球壳上椭圆孔边缘应力分析	301
10.3	开孔补强原理	301
10.3.1	补强要求及补强范围确定	301
10.3.2	接管补强位置和补强形状	302
10.3.3	补强设计方法	303
10.4	等面积补强	304
10.4.1	补强有效范围	304
10.4.2	补强设计准则	305
10.4.3	补强有效范围内各个元件补强面积计算	306

10.4.4	多个开孔补强	308
10.4.5	等面积补强限制条件	308
10.4.6	补强强度路径和焊缝承载能力	310
10.4.7	等面积补强计算实例	310
10.5	压力面积补强法	311
10.5.1	单开孔补强强度计算	313
10.5.2	应力作用截面面积	315
10.5.3	压力作用截面面积计算	317
10.5.4	多个开孔孔带强度计算	318
10.5.5	有效补强范围和开孔限制条件	323
10.5.6	开孔与不连续处缝距离	324
10.6	弹塑性补强	326
10.6.1	弹塑性补强原理	326
10.6.2	使用限制条件	326
10.6.3	弹塑性补强有效范围	327
10.6.4	补强所需有效面积	327
第 11 章	压力容器法兰设计	329
11.1	法兰连接结构	329
11.1.1	概述	329
11.1.2	法兰密封原理	329
11.1.3	法兰分类	330
11.1.4	法兰压紧面的型式	331
11.1.5	垫片种类和材料	332
11.1.6	垫片系数 m 和有效压紧力 y	334
11.1.7	垫片选择	335
11.2	紧固螺栓计算	337
11.2.1	螺栓载荷	337
11.2.2	螺栓所需有效截面积	338
11.2.3	螺栓设计载荷	338
11.2.4	螺栓许用应力	338
11.2.5	螺栓个数和直径	339
11.2.6	螺栓设计温度	340
11.3	法兰设计计算	340
11.3.1	活套法兰设计	341
11.3.2	整体法兰设计	342
11.3.3	法兰强度校核	345
11.3.4	法兰刚度校核	348

11.4	中央开大圆孔法兰	349
11.4.1	法兰平封头	349
11.4.2	无接管大开孔平封头	351
11.5	法兰凸形封头	352
11.5.1	a 型结构	352
11.5.2	b 型结构	353
11.5.3	c 型结构	355
11.6	宽面法兰	357
11.6.1	螺栓载荷和螺栓截面积	357
11.6.2	法兰上的力矩	357
11.7	反向窄面法兰	358
11.7.1	法兰力矩	359
11.7.2	法兰应力计算	360
11.8	反向宽面法兰	360
11.8.1	借助普通法兰设计方法设计	361
11.8.2	按 11.6 节宽面法兰设计	361
11.9	金属面接触法兰	362
11.9.1	法兰形式和分类	362
11.9.2	I 型法兰设计计算	363
11.10	法兰极限载荷设计简介	366
11.10.1	法兰极限载荷设计法的基本原理	366
11.10.2	螺栓连接法兰极限载荷设计方法的限制条件	367
第 12 章	压力容器疲劳设计	368
12.1	疲劳和疲劳应力	368
12.2	疲劳设计曲线	371
12.2.1	疲劳寿命方程	371
12.2.2	平均应力影响	372
12.2.3	疲劳设计曲线	375
12.3	线性累积损伤	376
12.4	应力集中和应力指数	377
12.4.1	应力集中系数 k_t	377
12.4.2	疲劳强度降低系数 k_f	377
12.4.3	开孔接管应力指数 k_b	378
12.4.4	内压和弯矩同时作用的侧向接管的应力指数	379
12.4.5	接管与壳体连接处温差应力计算	381
12.5	多向应力状态结构疲劳	382
12.6	疲劳设计	383

12.6.1	疲劳设计的一般要求	383
12.6.2	疲劳评定步骤	384
12.6.3	疲劳设计载荷计数方法	385
12.7	免于疲劳评定条件	386
12.7.1	A 条件	386
12.7.2	B 条件	387
12.8	2007 年版 ASME VIII -2 疲劳设计方法	388
12.8.1	弹性应力分析和当量应力法—疲劳评定	389
12.8.2	弹性应力分析和结构应力—焊接件疲劳评定	391
12.8.3	弹性应力分析疲劳设计	392
12.8.4	弹塑性应力分析和当量应变—疲劳评定	392
12.8.5	2007 年版 ASME VIII -2 规范疲劳设计方法比较	393
12.8.6	弹性疲劳分析有效交变应力幅计算	394
第 13 章	低温压力容器设计	397
13.1	脆性断裂概述	397
13.2	防脆断措施	400
13.2.1	GB 150 和 GB 4732 标准	400
13.2.2	ASME VIII 规范	401
13.2.3	断裂分析图	412
13.2.4	EN13445 规范防脆断措施	415
第 14 章	压力容器断裂力学设计	419
14.1	断裂力学基本概念	419
14.1.1	断裂力学基本概念	419
14.1.2	裂纹类型	420
14.2	线弹性断裂力学	420
14.2.1	裂纹尖端的应力场	420
14.2.2	应力强度因子	421
14.2.3	裂纹尖端塑性区及其修正	425
14.2.4	断裂韧性及断裂判据	427
14.2.5	应变能量释放率 G 与断裂韧性 K_{Ic} 之间关系	432
14.3	弹塑性断裂力学	433
14.3.1	裂纹尖端张开位移	433
14.3.2	J 积分法	434
14.4	交变载荷裂纹扩展	434
14.4.1	横幅交变载荷裂纹扩展	434
14.4.2	变幅疲劳载荷作用下裂纹扩展	437
14.5	断裂力学在压力容器设计中的应用	438

14.5.1	圆柱壳体上穿透斜裂纹	438
14.5.2	COD 判据在压力壳体和高应力区的应用	438
14.5.3	未爆先漏	440
14.6	当量裂纹计算	441
14.7	失效评定图	442
14.7.1	失效评定图概述	442
14.7.2	失效评定曲线	442
14.7.3	失效评定曲线应用举例	444
14.8	断裂力学设计举例	445
第 15 章	压力容器高温蠕变设计	446
15.1	蠕变和蠕变机理	446
15.1.1	概述	446
15.1.2	蠕变曲线	448
15.1.3	蠕变方程	449
15.2	蠕变设计准则	450
15.2.1	蠕变控制准则	450
15.2.2	蠕变设计基本要求	451
15.3	蠕变设计方法	452
15.3.1	美国 ASME VIII - NH 蠕变设计方法	452
15.3.2	ASME VIII 简化设计法	455
15.3.3	英国 R5 蠕变设计和评定法	457
15.3.4	欧盟 EN 13445 标准蠕变设计方法	460
15.4	多向应力状态蠕变强度分析	465
15.4.1	多向应力状态屈服条件	465
15.4.2	多向应力状态下蠕变断裂应力	466
15.4.3	圆柱形容器蠕变强度计算	467
15.5	应力松弛	469
15.5.1	应力松弛曲线	469
15.5.2	螺栓应力松弛	470
15.6	蠕变疲劳交互作用	471
15.6.1	蠕变累积损伤 D_c	472
15.6.2	疲劳累积损伤 D_f	474
15.7	蠕变范围焊接接头系数	476
参考文献		477

第1章 压力容器设计基础

1.1 概述

压力容器是指内外具有压力差的容器,一般情况下是内压大于外压。压力容器在人们生活和生产当中到处都能够见到,如日常生活中使用的液化气罐、高压锅;工业生产中的石化工业、化学工业各种过程和反应设备;能源和电力工业的锅炉和煤气化液化设备;原子能工业中的核反应堆压力壳;医药工业中的生产设施及气体和油品储存设备等。

(1) 顾名思义,压力容器是具有压力的在某些场合还受高温、高压联合作用的生产高端安全设备。因此确保压力容器在使用期间的绝对安全是压力容器设计首要准则;在某些特殊情况下,压力容器还装有易燃易爆和强腐蚀物质,对这种类型的容器必须保证在使用期间不能出现重大故障或发生泄漏。压力容器在运行过程中由于种种原因产生损坏或失效是导致人身伤害和财产损失的重要原因。在压力容器设计时,还要考虑其系统的整体性。基于上述原因,设计时必须遵循压力容器规范所规定的各项要求和准则,这是不容置疑的最基本条件。同时,还要指出的是,压力储罐和压力容器尽管都属于压力装置范围之内,但在设计和建造方面是有明显区别的。

在石化、动力、原子能工业中使用的压力容器基本上是整个企业生产系统中的组成部分,因此设计时需要以整个生产系统为基准,考虑所设计压力容器在整个生产环节的作用和功能。但就容器本身而言,设计还是相对独立的,它的界定范围在规范或标准中有规定。

压力容器设计必须在保证安全条件下能够满足生产工艺条件、保证强度和稳定性要求,同时还必须考虑其经济性。

(2) 对于受各种载荷作用的压力容器,设计时要充分掌握与所设计的压力容器相关的资料和设计数据,草拟设计方案,根据设计说明书和技术条件及用户要求,确定设计使用的规范或标准,利用规范和设计资料给出的计算公式计算出容器基本尺寸和壁厚,必要时还需进行效核。同时,对大型、高温、高压的重要压力容器,无论从经济还是安全角度,按照规范或设计规定对容器上的开孔接管、法兰、连接件等局部不连续处或危险部位进行应力分析,即分析设计。对于受交变载荷作用的压力容器,还需要对容器,尤其是高应力区域进行疲劳评定。当然,对于在高温下工作的容器需要进行高温蠕变校核,对于低温容器要进行防低温脆断设计。

(3) 确保压力容器在生产过程中绝对安全是设计的必要准则,特别是石化和化工压力容器,核反应堆压力壳,及内含有毒、有害、高辐射物质的压力容器。但是,容器设计时还需考虑经济性,在安全和经济两者中求取最佳方案,也就是说采取什么措施防范可能产生的危险是设计者的技术水平和智慧的体现。设计出一台既经济实用、又安全的压力容器是一件很复杂的工作。因为用数学方程定量计算出来的结果并不能完全精确反映出结

构的实际情况,这是因为:①容器在实际使用过程中的载荷状态(工况)要比设计时作为技术条件提出的复杂得多,由此也就不可能得出非常准确的计算值;②尽管目前在压力容器设计中运用数值法或实验测试法解决设计中的一些通过普通方法无法解决的计算问题,但是对一些特殊复杂的容器还是不能达到最为理想的要求。另外,就目前的检测、测试、监控手段和技术水平,还不可能完全掌握各种用途压力容器结构和元件的失效机制,预防各种失效的办法主要还是依赖于经验,因此设计使用的一些公式或结论都是依据一定的假设模型推导出来的,如材料是理想的弹塑性、材质是各向同性的,而实际上任何材料都是有缺陷(裂纹、气泡、夹渣等)的;对于结构局部高应力(局部应力)是用各种系数控制的,如应力集中系数、形状系数等,而这些系数在各种设计方法和设计标准中取法也不尽相同。必须指出的是,从经济角度考虑,除了特殊情况之外,只要能够满足压力容器设计规范或标准要求,基本上就能达到使用要求。

压力容器一般是依据规范或标准规定的准则进行设计,设计者在掌握压力容器建造所必需的设计基本知识后,最主要的就是需要完全掌握、熟悉压力容器规范或标准规定条款和内容并能运用自如。如果用户要求所制造的压力容器符合其他国家标准或规范时,则设计者还必须熟悉该国使用的或用户指定的规范或标准及其相关的配套规定、标准、法规和法律,同时对所设计的压力容器使用环境、技术条件和制造要求充分地了解和熟悉。必须指出的是,各国压力容器规范、标准和规则都是依据于具体理论和限定条件制定的,使用范围具有很强的针对性,就是同一个国家的规范或标准也不都是能够相互涵盖的,所以对于一个项目设计不能将规范或标准相互套用。

1.2 压力容器分类

由于压力容器用途比较广泛,分类方法也比较多。

(1) 按工作压力分为压力容器分为低压容器、中压容器、高压和超高压容器等。一般将工作压力低于 1.6MPa 的称为低压容器;工作压力为 1.6MPa ~ 10MPa 的称为中压容器;工作压力为 10MPa ~ 100MPa 的称为高压容器;工作压力高于 100MPa 的称为超高压容器。

(2) 按结构形式分为圆柱形容器、球形容器、非圆形容器;立式容器、卧式容器;薄壁容器(厚度/内径小于 0.1)和厚壁容器;单层壳体 and 多层容器;固定式容器和移动式容器等。

(3) 按工作原理分为反应容器、换热容器、分离容器和储存容器。

(4) 按工作温度分为常温容器、高温容器和低温容器。

(5) 按储存和内装介质毒性和易燃程度分为轻度危害、中度危害、高度危害和极度危害容器。

我国颁布的《压力容器安全技术检查规程》中,对压力容器分类是将适用于监察规程的容器(没有超高压)分为三类:第一、第二和第三类,见表 1-1。

无论是中低压容器,还是高压、超高压容器,对其分类的目的是为压力容器在设计、制造、检验、运输、安装和容器在役运行过程中,提供监督管理办法和安全法规。因此,在设计时必须认真地研究分析所设计的压力容器属于哪一种类型。