

压力容器设计人员培训教材

压力容器设计指导手册(上)

全国化工设备设计技术中心站 编
中国石油和化工勘察设计协会设备设计专业委员会

叶文邦 张建荣 曹文辉 主编

云南出版集团公司
云南科技出版社

· 昆 明 ·

前 言

压力容器是涉及人民生命和财产安全的特种设备。为了确保容器的质量和安全,设计是一个重要环节。压力容器设计是一个综合专业,要求设计人员具有广泛的知识,例如:材料性能、容器的结构、元件的受力分析、防腐蚀措施、容器制造与检验等。

根据目前设备设计队伍中压力容器设计人员的现状,本书编写单位提出编写压力容器设计人员培训教材《压力容器设计指导手册》(以下简称“培训教材”)方案,并指出“培训教材”不同于现有的各种手册,也不同于大学教材,编写的目的是指导压力容器设计人员进行各类设备设计,并提高设计人员的设计水平和设计质量。因此,本“培训教材”的编写以现行设计标准为准则,不是照抄照搬,而是指导压力容器设计人员在设计中如何正确选择材料、结构、计算以及对制造与检验提出正确要求等,还可使设计人员了解一些工艺常识;此外,本书还介绍了一些设计过程中应注意的问题,并收集了常用标准、规范和设计中所需的各种物理数据。

国家质量监督检验检疫总局特种设备安全监察局张建荣副处长充分肯定了编写“培训教材”的必要性和重要性,指出编写“培训教材”的目的是为了提高压力容器设计人员的设计水平,并对本书的作用作了明确的定位:本“培训教材”是教材性指导手册。

为了确保“培训教材”的质量,特聘请国内压力容器行业专家参加编审工作,这些专家为大学教授和设计院、工程公司、制造厂(公司)的总工程师等。

本“培训教材”由叶文邦、张建荣、曹文辉主编,并由戴季煌和曹文辉负责统稿工作。在统稿工作中,黄正林、施汉威、应道宴、秦叔经、汪树华、陈泽溥、华天定等对全书中就相关专业的内容进行了审

阅,并提出了许多中肯的意见和建议。

本“培训教材”主要编写人员:

第一篇:丁伯民、叶文邦(第1章、第2章);王非(第3章、第4章);王钰玮、郝文生(第5章);华天定(第6章、第8章);庞成学、郝文生(第7章);丁伯民、黄正林(第9章)。

第二篇:朱秋尔(第10章、第12章);杨振奎、王荣贵、丁伯民(第11章);沈鹏飞(第13章);陈泽溥(第14章);宋文轩(第15章);刘宝中(第16章);盛昌国(第17章);姚佩贤、杨振奎(第18章、第19章);郝文生(第20章);曹文辉(第21章);张建荣、戴季煌(第22章)。

附录:丁伯民(附录1);黄正林、戴季煌(附录2)。

附表:王非(附表1、附表2、附表7);曹文辉、汪树华(附表3、附表4、附表5、附表8);盛昌国(附表6);郝文生(附表9)。

截止到本书出版前,编写人员又尽了最大的努力,跟踪收集了最新版本的标准、规范,使本“培训教材”的时效性与适用性更强。在此谨向全体编审人员、参加审查的专家、对本“培训教材”的编写给予支持和帮助的单位和个人表示衷心的感谢。

虽经多次讨论、审查、修改、补充,但由于引用的标准、规范更新较快,本“培训教材”难免存在疏漏和不足甚至错误之处,恳请广大读者提出宝贵意见和建议,以便再版时补充或修正。

全国化工设备设计技术中心站
中国石油和化工勘察设计协会设备设计专业委员会

2006年8月

目 录

上 册

第一篇 压力容器设计基础知识

第 1 章 压力容器的定义和分类	3
第 2 章 压力容器的失效准则和破坏方式	6
2.1 失效准则	6
2.2 破坏方式	9
2.3 运行功能的丧失或破坏	11
第 3 章 压力容器用钢	13
3.1 化学成分与力学性能	13
3.2 合金元素对钢材的影响及材料热处理	21
3.3 压力容器用钢材的选用	39
3.4 低温钢的要求及选用	51
第 4 章 钢材的腐蚀与防腐蚀措施	68
4.1 腐蚀的分类	68
4.2 均匀腐蚀	70
4.3 局部腐蚀	83
4.4 腐蚀防护	90
4.5 金属耐腐蚀性能的试验与检验	119
第 5 章 压力容器焊接材料的选用	125
5.1 焊接的基本知识	125
5.2 焊材选用	131
第 6 章 压力容器制造中的热处理	145
6.1 概述	145
6.2 焊后热处理	147
6.3 消氢处理	151
6.4 恢复或达到规定力学性能的热处理	152
6.5 奥氏体不锈钢的固溶处理与稳定化处理	154
第 7 章 无损检测方法及其应用	157
7.1 无损检测的目的	157
7.2 射线检测	158

7.3	超声检测	162
7.4	磁粉检测	167
7.5	渗透检测	170
7.6	压力容器用规程标准中无损检测的要求	171
第8章	耐压试验和气密性试验	185
8.1	概述	185
8.2	耐压试验(液压试验或气压试验)	187
8.3	多腔容器的耐压试验	190
8.4	气密性试验	191
第9章	压力容器应力分析	193
9.1	强度理论	193
9.2	薄壁壳体的无力矩理论	194
9.3	薄壁圆筒的有力矩理论及边缘问题	203
9.4	平板的应力分析	207
9.5	应力分类及其在容器设计中的应用	212
9.6	由应力分析所引起对压力容器设计的启示	216

第二篇 压力容器设计

第10章	压力容器设计参数的选取	221
10.1	设计压力 ^{[1][2]}	221
10.2	设计温度 ^[3]	222
10.3	厚度附加量(包括钢材厚度负偏差和腐蚀裕量)	222
10.4	设计中应考虑的载荷	224
10.5	安全系数及许用应力	225
10.6	焊接接头分类及焊接接头系数	227
第11章	压力容器零部件的结构和计算	229
11.1	圆筒和球壳	229
11.2	封头	235
11.3	开孔和开孔补强	243
11.4	法兰	247
11.5	焊接结构设计	269
11.6	局部应力计算	277
第12章	容器设计	300
12.1	概述	300
12.2	卧式容器	301
12.3	三鞍座卧式容器的计算 ^[3]	318
12.4	立式容器	321
12.5	低温容器的材料和结构选用 ^{[4][5][6]}	338
12.6	制造和检验中的有关问题	343

第 13 章 机械搅拌设备设计	349
13.1 综述	349
13.2 机械搅拌设备装配图	359
13.3 搅拌容器的结构设计与计算	364
13.4 搅拌机的设计、选型与计算	374
13.5 机械搅拌设备的制造、检验与验收	380
第 14 章 塔器设计	384
14.1 概述	384
14.2 结构简图	387
14.3 工艺设计	387
14.4 内件结构设计	398
14.5 塔体和裙座的强度与稳定校核	427
14.6 附件设计	437
14.7 技术要求	443

下 册

第 15 章 管壳式换热器设计	447
15.1 概述	447
15.2 管壳式换热器介绍	448
15.3 管壳式换热器的设计参数、材料及防腐	452
15.4 管板的计算	456
15.5 管壳式换热器结构设计	471
15.6 管束振动	491
15.7 低温管壳式换热器	492
15.8 管壳式换热器的制造工艺	495
15.9 管壳式换热器的压力试验	498
第 16 章 高压容器设计	500
16.1 概述	500
16.2 高压容器装配图	503
16.3 高压容器的结构	507
16.4 高压容器的设计计算	523
第 17 章 球形储罐设计	533
17.1 概述	533
17.2 装配图	533
17.3 设计参数	537
17.4 材料	538
17.5 结构	540
17.6 计算	546

17.7	球壳板结构尺寸	547
17.8	制造和检验	553
17.9	附件	555
第 18 章	钛制焊接容器设计	558
18.1	总论	558
18.2	材料	559
18.3	圆筒和球壳的强度计算	583
18.4	封头强度计算	584
18.5	开孔补强	585
18.6	法兰	586
18.7	容器结构设计	587
18.8	制造、检验和验收	598
第 19 章	铝制焊接容器设计	610
19.1	总论	610
19.2	材料	611
19.3	圆筒和球壳	620
19.4	封头	620
19.5	开孔补强	623
19.6	法兰	624
19.7	结构设计	626
19.8	制造、检验与验收	630
第 20 章	安全泄放装置的选用和计算	636
20.1	安全阀的分类及结构	636
20.2	爆破片安全泄压装置的分类及结构	642
20.3	安全阀与爆破片的主要区别	644
20.4	安全阀、爆破片及其组合结构的应用	645
20.5	安全阀安全泄放量的计算	647
20.6	爆破片安全泄放量的计算	652
20.7	安全阀与爆破片组合结构泄放量计算	654
20.8	国内外法规及标准对压力容器安全泄放量和安全阀额定泄放量的 计算公式	656
第 21 章	压力容器计算机应用软件	657
21.1	过程设备强度计算软件(SW6-1998)	657
21.2	化工设备 CAD 施工图软件(PVCAD)	665
21.3	压力容器设计技术条件专家系统(PVDS)	668
第 22 章	压力容器安全技术监察规程	673
22.1	适用范围	673
22.2	设计参数的确定	673
22.3	不符合《容规》产品	676

22.4	材料	676
22.5	设计	679
22.6	制造	681
22.7	定期检验	686
22.8	安全附件	686

附 录

附录 1	应力分析设计简介	691
1.1	应力分析设计方法的由来及其总体思想	691
1.2	按应力分析设计标准和按规则设计标准的主要区别	693
1.3	压力容器的低循环疲劳设计简介	696
附录 2	压力容器设计常用规范、规定和标准	704

附 表

附表 1	钢的性能	717
附表 2	钢材高温性能	721
附表 3	碳钢、不锈钢耐腐蚀数据	726
附表 4	毒性介质危害程度分级数据表	806
附表 5	爆炸危险介质数据表	812
附表 6	各地基本风压值、雪压值、地震烈度	822
附表 7	国内外常用压力容器用钢材对照	843
附表 8	常用计量单位换算	856
附表 9	常用液化气、液化石油气、饱和水蒸气在不同温度下的饱和蒸汽压	863

第 一 篇

压力容器设计基础知识

第1章 压力容器的定义和分类

承受介质静压力作用的密闭容器统称为压力容器。

压力容器可以按容器的受压方式、设计压力的大小、设计温度的高低、在生产工艺过程中的作用原理、受压室的多少、安装位置、使用场所、所用材料、形状、结构类型、受热方式等进行归类；从监察管理的安全性出发，则按容器潜在危害程度的大小分类。

1) 按容器的受压方式，可以分为内压力容器、外压力容器、真空容器。化工和石化行业中一般并无真正意义上的外压力容器。

2) 按设计压力 p 的大小，可以分为以下几类：

常压容器 $-0.02\text{MPa} \leq p < 0.1\text{MPa}$

低压容器 $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$

中压容器 $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$

高压容器 $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$

超高压容器 $p \geq 100\text{MPa}$

3) 按设计温度的高低分，设计温度 t 低于或等于 -20°C 的钢制容器称之为低温容器。

4) 按容器在生产工艺过程中的作用原理，可以分为以下几个种类：

① 反应压力容器。主要用于完成介质的物理、化学反应的压力容器，如反应器、反应釜、分解锅、硫化罐、分解塔、聚合釜、高压釜、超高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、蒸球、蒸压釜、煤气发生炉等。

② 换热压力容器。主要用于完成介质的热量交换的压力容器，如管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、消毒锅、染色器、烘缸、蒸炒锅、预热锅、溶剂预热器、蒸锅、蒸脱机、电热蒸汽发生器、煤气发生炉水夹套等。

③ 分离压力容器。主要用于完成介质的流体压力平衡缓冲和气体净化分离的压力容器，如分离器、过滤器、集油器、缓冲器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、分汽缸、除氧器等。

④ 储存压力容器。主要用于储存及盛装气体、液体、液化气体等介质的压力容器，如各种型式的储罐。

5) 按容器受压室的多少，可以分为单腔压力容器、多腔压力容器(组合容器)。

6) 按容器的安装位置，可以分为卧式容器、立式容器。

7) 按容器的使用场所，可以分为固定式压力容器、移动式压力容器。

8) 按容器的所用材料，可以分为钢制压力容器、非铁金属压力容器、非金属压力容器。

9) 按容器的形状，除应用最广的由回转壳体构成的压力容器外，还有非圆形截面容器、

球形容器。

10) 按容器的结构类型,可以分为单层容器、多层容器、覆层容器、衬里容器、复合钢板容器、搪玻璃容器等。

11) 按容器的受热方式,可以分为非直接火压力容器、直接火压力容器。

12) 国家质量技术监督局为了加强对压力容器的质量安全监察工作,从容器潜在危害程度大小的角度加以分类:

① 一般而言,压力越高,体积越大,则潜在危害程度越大;

② 移动式压力容器潜在危害程度大于固定式压力容器;

③ 可能发生脆性断裂材料建造的容器(例如,低温的钢制压力容器,高强度钢制压力容器),其潜在危害程度大于不可能发生脆性断裂材料建造的容器;

④ 反应压力容器和储存压力容器其潜在危害程度大于换热压力容器和分离压力容器;

⑤ 介毒性程度高的容器其潜在危害程度大于毒性程度低的容器;

⑥ 易燃介质的容器其潜在危害程度大于非易燃介质的容器等等。

根据这些原则,《压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)^[1]划分为一类、二类、三类压力容器,见表 1-1-1。

表 1-1-1 《容规》的压力容器划类

容器类别	压力等级或其他因素	容 器 种 类
三类	高压	① 所有种类的容器 ② 管壳式余热锅炉
	中压	① 毒性程度为极度及高度危害介质的所有种类容器 ② 易燃或毒性程度为中度危害介质,且 pV 乘积大于或等于 $10\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的储存容器 ③ 易燃或毒性程度为中度危害介质,且 pV 乘积大于或等于 $0.5\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的反应容器 ④ 管壳式余热锅炉 ⑤ 搪玻璃压力容器
	低压	毒性程度为极度及高度危害介质,且 pV 乘积大于或等于 $0.2\text{MPa} \cdot \text{m}^3$ 的所有种类容器
	其他因素	① $\sigma_b \geq 540\text{MPa}$ 材料制造的压力容器 ② 移动式压力容器 ③ $V \geq 50\text{m}^3$ 的球形储罐 ④ $V > 5\text{m}^3$ 的低温液体储存容器

表 1-1-1(续)

容器类别	压力等级或其他因素	容 器 种 类
二类	中压	所有种类的容器
	低压(已划为三类者除外)	① 毒性程度为极度和高度危害介质 ② 易燃介质或毒性程度为中度危害介质的反应容器和 储存容器 ③ 管壳式余热锅炉 ④ 搪玻璃压力容器
一类	低压(已划为三类、二类者除外)	所有种类容器

由于《容规》不适用于超高压容器、各类气瓶、非金属材料制造的压力容器以及真空容器、常压容器等,所以这些在化工、石化行业中可能采用的容器都未列入容器的分类中。

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

第2章 压力容器的失效准则和破坏方式

讨论压力容器的失效准则和破坏方式,以及因种种结构或操作不当而导致影响设备的正常运行功能或安全事故,目的在于有针对性地避免失效、破坏或影响设备正常运行提供指导,并对各有关元件设计公式的内涵加深理解。

2.1 失效准则

失效准则是指在容器元件设计中按照哪种观点、判定容器已不能承受其正常操作载荷的原则。压力容器的失效准则有强度失效准则和刚度失效准则两类。

强度失效一般指容器元件受拉伸(包括弯曲、剪切)应力作用下引起的失效。强度失效准则大致包括以下9种。

1. 弹性失效

按照弹性失效准则设计时,把远离筒体和封头连接区、接管区、支座区或其他局部载荷作用区,即容器元件在远离结构不连续地区可能出现的最大应力(或最大相当应力)限制在材料的弹性范围,即限制在材料的屈服强度以下,如果计及安全系数即限制在材料的许用应力 $[\sigma]$ 以下,一旦超过这一限制则会使元件产生过大的变形而导致密封连接处泄漏,或甚至导致在焊接连接或无焊接的整体处过大变形直至爆破。容器一旦发生泄漏或爆破,都指已经失效。

国内外有关的压力容器规范总体上都根据或包括这一准则设计。

2. 塑性失效

塑性失效准则认为,器壁表面的应力达到材料屈服强度时,对于应力沿截面均匀分布的元件,一点的屈服即指该元件整个受载截面的同时屈服,但对于受弯曲应力作用的元件,器壁表面的屈服则远未发挥材料整个截面的承载潜力,尚可继续承载,随着外加弯矩的加大,元件的屈服层由表面向中性面方向延伸,只有当屈服层延伸到中性面,即整个截面都达屈服时才算失效。据此观点,由平板在承受弯矩时按弹性公式计算得的最大应力(因为表面早已屈服,弹性公式已不再适用,故按照弹性公式计算得的应力称为虚拟应力)为 $1.5\sigma_s$ 时,整个截面才予屈服,引入 $n_s=1.5$ 的安全系数后,可得强度校核条件达 $1.5[\sigma]$ 。把平板类构件按照弹性公式计算得的最大应力限于 $1.5[\sigma]$ 的设计准则,即是按塑性失效准则导得。

3. 弹塑性失效

弹塑性失效适用于反复载荷。

弹塑性失效准则认为,对于二次应力,因为它具有自限性(关于二次应力以及自限性的解释见第一篇第9章“压力容器应力分析”中应力分类以及边缘问题),如在圆筒应力远低于材料屈服强度的情况下,在圆筒和封头或接管相连接的总体的结构不连续地区,由于存在边缘应力而使总应力大为提高,可能已达到材料的屈服强度而产生塑性变形,但在此高应力区的邻近地区仍处于弹性,在次数不多反复载荷作用下的塑性变形并不一定导致容器失效,如不出现递增的变形,则称为“安定性”,结构是安定的,结构在此以后的响应是弹性的或弹塑性的。判定结构是否安定的最大虚拟应力界限值是 $2\sigma_s$,即 $3[\sigma]$ 。只有失去安定才认为该容器已失效。

由于这一失效准则允许有局部的塑性变形存在,再因为应力分布的不均匀性,局部塑性区为广大的弹性所区所包围,所以称之为弹塑性失效准则。把二次应力强度范围限于 $3[\sigma]$ 以下即是按弹塑性失效准则导得。这一失效准则首先应用于应力分析设计标准。

4. 塑性不稳定——递增的垮塌失效

这一失效模式实际上也是由弹塑性失效引起。例如在成型封头和圆筒连接的边缘地区,因总体结构不连续而在封头和圆筒的一定范围内都存在附加的边缘应力,当该处的总应力超过 $2\sigma_s$ 后,在加载、卸载过程中会使该处出现塑性不稳定——递增的垮塌,即在连接边缘处进入塑性而使封头或圆筒的经线明显地扭曲起来。在按应力分析设计的JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》和ASME VIII-2中对成型封头的设计即包括了弹塑性垮塌和失稳垮塌在内的这一失效模式。

5. 爆破失效

由于材料总存在或大或小的应变硬化现象,所以实际上即使容器器壁达到全部屈服,尚不至发生爆破。爆破失效准则即是以器壁达到爆破作为极限条件进行设计。

爆破失效准则实际上仅用于高压和超高压等厚壁容器的设计,因为对于厚壁容器,应力沿壁厚不均匀分布程度越加明显,不能按薄壁容器那样由应力沿壁厚均匀分布考虑。器壁越厚,应力沿壁厚不均匀分布程度越甚,所以当内壁屈服时,外壁远离屈服而处于弹性状态。当压力很高时,为承受此压力,再增加壁厚也不能避免内壁产生屈服,一旦器壁出现屈服,就不能再按弹性公式计算器壁应力,所以,只能按照塑性失效或爆破失效准则设计,即由厚壁应力公式和屈服条件求出圆筒(或球壳)的全屈服压力或爆破压力,再引入相匹配的安全系数后作为该圆筒(或球壳)的设计压力。在容器正常操作时,绝不允许器壁出现屈服。所以,所引入的安全系数即是保证内壁最大应力仍处在弹性状态而作出。

6. 疲劳失效

虽然压力容器或各类化工设备在整个使用寿命期内的载荷不会达到很高的交变循环次数,但是,由于种种原因(例如,开孔接管区,焊缝的未焊透、错边,咬边处等)而造成在应力集中处的局部应力大为升高,因此,尽管交变循环次数只有($10^3 \sim 10^5$)次也会引起低循环高应

力(应变)疲劳失效。疲劳失效准则把容器上可能出现的最大交变应力幅(或要求的载荷循环次数)限制在由疲劳设计曲线所求得的许用应力幅(或许用循环次数)以内。

按规则设计的容器标准(如 GB 150—1998《钢制压力容器》)不适用于要求作疲劳分析的容器;当在整个使用寿命期内载荷的交变循环次数较高而要求进行疲劳分析时,应按应力分析设计的容器标准(如 JB 4732《钢制压力容器—分析设计标准》、ASME VIII-2)进行设计。有关疲劳分析内容的简单介绍列在本书附录中。

7. 断裂失效

前面所提及的各种失效准则,都是以传统力学的计算为基础的,即认为材料中并不存在任何缺陷,由材料力学、板壳理论或弹性力学方法进行计算,当构件的最大应力达到材料的屈服强度时产生屈服,达到材料的强度极限时产生断裂。

大量的容器爆破试验表明,对于中、低强度钢制成的容器,即使存在微小漏检缺陷,按传统的强度计算方法所得结果也是基本上符合实际的。但是,随着中、高强度钢的采用以及容器壁厚的增大,由于韧性降低再加上可能的漏检缺陷,在操作或耐压试验时有可能在工作应力低于材料屈服强度、甚至低于材料许用应力时就发生脆性断裂——低应力破坏。这一现象已在实际容器中发生多起,说明传统的强度设计方法有时可能不适用,因此提出了用断裂力学的计算方法作为评定失效与否的准则。

按照断裂失效准则设计压力容器,其基本点是器壁包括裂纹尺寸和应力水平在内的断裂参量限制在材料相应的断裂韧性指标以内。ASME VIII-3 高压容器建造另一规则已将这一设计方法用于某些高压元件的设计中。

8. 蠕变和应力松弛失效

压力容器在高温和内压的长期作用下,缓慢地、积累性地发生塑性变形,致使容器壁厚不断减薄,最后导致破裂。这种在一定温度和应力的长期作用下,随着时间的推移,塑性变形不断积累,承载能力不断下降,最后导致失效的现象称为蠕变失效。而构件(例如密封连接件中的紧固螺栓)在受应力状态下其总应变量保持不变,在长期高温作用下弹性应变不断地转化为塑性应变,因而使紧固件中弹性应力下降而导致密封失效的现象,称为应力松弛失效。

应力松弛和蠕变是同一问题的不同表现形式,都是受载件在长期高温下随着时间的推移而发生的弹性应变转化为塑性应变的过程,受载元件的承载能力都随着时间的推移而不断降低。按蠕变失效准则设计时,将器壁的蠕变值(或按蠕变方程算出的相当应力)限制在许用范围以内。常规的设计方法则仅在某一高温下选用合宜的高温用钢,或对一般钢材限制其使用温度加以控制,即并非像以上各种失效模式那样采用明显设计而是采用了并非通过计算、只是限制某些条件的隐含设计。

9. 腐蚀失效

压力容器的腐蚀失效包括和容器介质相接触的器壁受腐蚀性介质的侵蚀而发生破坏,以及由于材料的组织特性所引起的晶间腐蚀或应力腐蚀等。它可以是均匀腐蚀或局部腐蚀。对腐蚀失效的预防一般是通过选用合宜的材料,或对材料进行各种类型的热处理,或采

取包括阳极保护或各种防腐衬里等保护措施,一般并不通过强度计算进行限制,即也是通过限制某些条件或采取某些防护措施的隐含设计方法。

10. 刚度失效

刚度失效是指受压元件因变形过大而丧失其正常的运行功能,因变形过大而引起密封连接件的泄漏也可以说是刚度失效。但刚度失效通常是指受压缩应力作用下元件的失稳。

失稳可以在压缩应力低于材料的比例极限以下发生,也可以在超过比例极限、小于屈服强度以下发生(达到屈服则意指已发生压缩强度失效)。前者为线弹性失稳,后者为非线性失稳。由于材料的弹性模量 E 值在线弹性范围为常数,在非弹性范围并非常数,随其应变值而变。所以,在线弹性失稳和非弹性失稳范围的设计方法有所不同。

各种压力容器标准对刚度失效(失稳)的考虑基本上都采用同一方法,即线弹性失稳可用计算法,非线性失稳采用图算法。

2.2 破坏方式

压力容器的失效意指该容器已不能承担其在正常条件下所应该承受的载荷。失效的容器不一定是破坏,破坏了的容器当然已经失效。例如,弹性失效会使器壁材料产生滑移,从而导致在该介质的温度和压力作用下加速腐蚀或应力腐蚀;紧固件的蠕变或应力松弛失效会导致密封连接件产生泄漏等等。压力容器的破坏则是失效类型中较多的一种形式。

1. 延性断裂

一般不存在、或仅存在数量很少、尺寸很小的缺陷,结构上都有各种避免尖锐棱角、拐角、凹槽、急剧的厚度改变等措施,且在使用温度下有足够延塑性的材料所制成的容器,在破坏时都呈延性断裂。以容器的爆破为例,其特征为:

1) 爆破曲线有明显的屈服和明显的塑性变形、应变硬化阶段,见图 1-2-1。

2) 断口一般为和最大主应力成 45° 的剪切断口;爆破只有鱼形裂口,无分枝,更无碎片,见图 1-2-2。

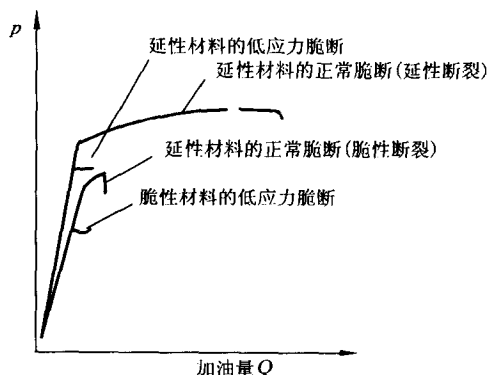


图 1-2-1 压力容器的爆破曲线

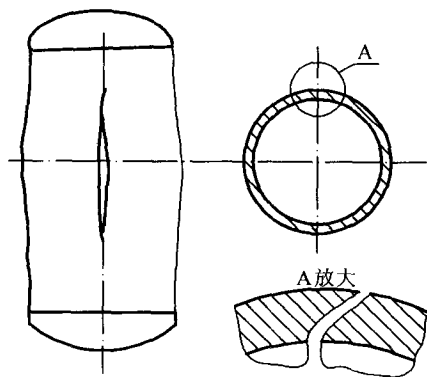


图 1-2-2 延性断裂