

压力容器实用技术丛书

# 压力容器 制造和修理

《压力容器实用技术丛书》编写委员会 编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

压力容器实用技术丛书

# 压力容器制造和修理

主编单位：兰州石油机械研究所

《压力容器实用技术丛书》编写委员会 编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

压力容器制造和修理/《压力容器实用技术丛书》编写委员会编. —北京: 化学工业出版社, 2004  
(压力容器实用技术丛书)  
ISBN 7-5025-5639-7

I. 压… II. 压… III. ①压力容器-制造②压力容器-维修 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 061042 号

---

压力容器实用技术丛书  
**压力容器制造和修理**  
《压力容器实用技术丛书》编写委员会 编  
责任编辑: 张兴辉  
责任校对: 郑捷  
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  
北京永鑫印刷有限责任公司印刷  
三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 38¼ 字数 955 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5639-7/TH·208

定 价: 90.00 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

## 序

随着科学技术的进步和工业生产的发展,特别是国民经济持续稳定的发展,压力容器已经广泛应用于化工、石油化工、冶金、国防等诸多工业领域及人们的日常生活中,且数量在不断增加,高参数大容积的设备也越来越多。这就对压力容器的设计、材料、制造、现场组焊、检验、监督、使用、防腐、维护、修理、管理等诸多环节提出了越来越高的要求。压力容器又是一种多学科、跨学科、综合性很强的学科,一台压力容器从参数确定到投入正常使用,要通过上述各环节及相关各部门的各类工程技术人员共同努力才能实现。要使各类工程技术人员和管理使用者全面掌握压力容器的各种知识是非常困难的。《压力容器实用技术丛书》就是从这一客观实际需要出发,将压力容器的各种实用技术做一全面介绍,以满足不同岗位,不同部门的工程技术人员和管理者、使用者对其相关知识,特别是非本职、非本岗位的其他相关知识的了解和掌握,以不断提高我国压力容器的建造和应用水平。

本丛书共分六册,第一册《压力容器设计知识》,第二册《压力容器用材料及热处理》,第三册《压力容器制造和修理》,第四册《压力容器检验及无损检测》,第五册《压力容器安全监察与管理》,第六册《压力容器腐蚀与控制》,涉及容器的全过程和方方面面知识。这是我国第一套有关压力容器实用技术的综合性丛书。

本丛书力求重点突出实用性和全面性,对常用标准管辖下的设计、制造、材料、检验、防腐等内容进行简化处理,对不常用的和标准中不易查找的内容和背景知识做详细介绍,力求写细、写透、写全。

本丛书还力求突出新颖性和公正科学性,除介绍现有知识内容外,还介绍许多新技术、新材料、新方法、新工艺、新标准。站在全国全行业的立场,公正、科学地反映压力容器的先进技术水平。

本丛书力求体现国内最新技术和国外技术的发展,邀请了国内 50 多个单位的近百名知名专家和学者参加编审,遍及压力容器教学、研究、设计、制造、监督、检验、使用、防腐等各个方面,反映国内的最新技术内容和研究成果以及国外压力容器技术的发展和趋势。

本丛书从编写形式上还力求突出适应读者需求和便于查找的特点,对较深较难的理论性问题做通俗化处理,重点介绍相关知识和背景知识,提出相关数据,将国外技术内容与国内技术进行对比。

本丛书由兰州石油机械研究所主编,刘福录教授级高工负责全套丛书的策划和组织工作。各册的负责人为:第一册朱保国,第二册高守成,第三册王增新,第四册王纪兵,第五册陈长宏,第六册任凌波。慕瑞峰同志负责主要的文字编辑工作。

由于本丛书篇幅浩大,编者甚多,各册和各章节内容的协调和取舍等方面,难免有不妥之处,而且限于编者的水平,错误之处不可避免,恳请广大读者批评指正。

《压力容器实用技术丛书》编写委员会

2003 年 7 月 6 日

## 前 言

众所周知,压力容器产品的安全使用不但取决于合理的设计和正确的使用管理,更主要的是要保证制造质量优良。国家技术监督机构建立压力容器制造资格审查认证制度,这仅仅是确保压力容器制造质量的一个前提,具体到制造单位来讲,如何控制压力容器制造质量,还要从各个技术和管理环节入手。本书就是从压力容器制造的全过程、各项要求和工艺经验。各章节的编写者都是长期从事压力容器制造和修理方面的技术专家,内容既有理论知识,又有作者多年工作积累的实践经验,尤其适合从事压力容器制造和修理工作的工程技术人员参考使用。在当今系统完整介绍压力容器制造和修理这方面书籍十分匮乏的情况下,本书的编写和出版会受到各个岗位相关技术和管理人员的欢迎。

参加本书各章节的编写人员分别是:第1章王增新(兰州石油化工机器总厂);第2章吴宗烈(兰州机械制造公司);第3章黄仰东(兰州石油化工机器总厂);第4章的第1、2、5节由程真喜(蓝科石化设备有限公司)编写,第3、4、6节由雷万庆(兰州石油化工机器总厂)编写;第5章张健泰(兰化公司化工机械厂);第6章第1、4节由贾小斌、陈建玉(兰州石油化工机器总厂)编写,第2节由余勇、陈建玉(兰州石油化工机器总厂)编写,第6、7节由陈建俊(南化公司化工机械厂)编写;第7章第1、2节由王寿培(兰州石油机械研究所)编写,第3、4节由吴晓燕(甘肃省第一安装工程公司)编写,第5节由廖巨智、刘恩清、谷文(中国第一重型机械集团公司)编写;第8章雷万庆;第9章吴宗烈。本书由王增新主编。

在编写过程中,得到了兰州石油化工机器总厂、南化公司化工机械厂、兰州蓝科石化设备有限公司、中国第一重型机械集团公司、兰化公司化工机械厂、甘肃省第一安装工程公司等单位的大力支持和协助,在此一并感谢。

编者

2004年5月于兰州

## 内 容 提 要

本书是“压力容器实用技术丛书”之一。系统、全面地阐述了压力容器制造的全过程、各项要求和工艺经验，包括压力容器制造的基本要求，制造主要工序和方法，制造主要设备，焊接工艺和方法，质量检测，现场组焊，在役压力容器的修理和改造，以及包装、运输等技术内容。内容上理论联系实际，融入了作者长期的工作实践经验，有很强的实用性。

本书适用于压力容器设计、制造、使用工程技术人员查阅和参考。

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>第 1 章 概述</b> .....             | 1  |
| 1.1 压力容器的特点 .....                 | 1  |
| 1.1.1 压力容器的基本概念 .....             | 1  |
| 1.1.2 压力容器的分类 .....               | 1  |
| 1.1.3 压力容器的操作条件特点 .....           | 2  |
| 1.1.4 压力容器的基本结构及其制造特点 .....       | 3  |
| 1.2 压力容器制造的基本要求 .....             | 5  |
| 1.2.1 控制压力容器制造质量的重要意义 .....       | 5  |
| 1.2.2 压力容器制造的基本要求 .....           | 5  |
| 1.3 在役压力容器修理和改造的意义和一般要求 .....     | 6  |
| 1.3.1 修理和改造的意义 .....              | 7  |
| 1.3.2 修理和改造的一般要求 .....            | 7  |
| 1.4 压力容器制造的现状和发展趋势 .....          | 7  |
| 1.4.1 现状 .....                    | 7  |
| 1.4.2 发展趋势.....                   | 10 |
| 参考文献 .....                        | 11 |
| <b>第 2 章 压力容器制造的主要工序及方法</b> ..... | 12 |
| 2.1 备料.....                       | 12 |
| 2.1.1 放样、画线.....                  | 12 |
| 2.1.2 下料.....                     | 15 |
| 2.2 成形.....                       | 26 |
| 2.2.1 冲压成形.....                   | 26 |
| 2.2.2 卷制成形.....                   | 31 |
| 2.2.3 旋压成形.....                   | 34 |
| 2.2.4 爆炸成形.....                   | 37 |
| 2.2.5 弯制成形.....                   | 38 |
| 2.2.6 特殊零部件的成形（三通管、膨胀节等） .....    | 43 |
| 2.3 机械加工与坡口制备.....                | 47 |
| 2.3.1 焊接坡口加工.....                 | 47 |
| 2.3.2 典型零部件的机械加工.....             | 49 |
| 2.3.3 特殊形状零件的加工.....              | 51 |
| 2.4 装配.....                       | 52 |
| 2.4.1 筒节纵缝装配.....                 | 52 |
| 2.4.2 壳体环缝的组装.....                | 53 |
| 2.4.3 人孔、接管、支座等零部件与壳体的组装.....     | 55 |

|            |                    |           |
|------------|--------------------|-----------|
| 2.4.4      | 定位焊要求              | 59        |
| 2.5        | 焊接                 | 59        |
| 2.5.1      | 焊工资格               | 59        |
| 2.5.2      | 焊接工艺评定             | 60        |
| 2.5.3      | 焊接工艺规程             | 61        |
| 2.5.4      | 焊接材料               | 61        |
| 2.5.5      | 焊接设备               | 62        |
| 2.6        | 无损检测               | 68        |
| 2.6.1      | 原材料无损检测            | 68        |
| 2.6.2      | 焊缝无损检测             | 70        |
| 2.6.3      | 特殊零部件的无损检测         | 73        |
| 2.7        | 热处理                | 74        |
| 2.7.1      | 焊后消除应力热处理          | 74        |
| 2.7.2      | 其他热处理              | 77        |
| 2.8        | 压力试验和致密性试验         | 81        |
| 2.8.1      | 压力试验               | 81        |
| 2.8.2      | 致密性试验              | 85        |
| 2.9        | 表面处理、油漆包装          | 85        |
| 2.9.1      | 表面处理               | 85        |
| 2.9.2      | 油漆                 | 90        |
| 2.9.3      | 包装                 | 91        |
|            | 参考文献               | 91        |
| <b>第3章</b> | <b>压力容器制造的主要设备</b> | <b>93</b> |
| 3.1        | 切割及坡口加工设备          | 93        |
| 3.1.1      | 剪板机                | 93        |
| 3.1.2      | 数控切割机              | 96        |
| 3.1.3      | 刨边机                | 97        |
| 3.1.4      | 球壳板坡口半自动切割设备       | 98        |
| 3.1.5      | 专用机械               | 98        |
| 3.2        | 成形设备               | 99        |
| 3.2.1      | 液压机                | 99        |
| 3.2.2      | 卷板机                | 100       |
| 3.2.3      | 旋压设备               | 102       |
| 3.2.4      | 弯制设备               | 106       |
| 3.3        | 机械加工设备             | 106       |
| 3.3.1      | 车床                 | 106       |
| 3.3.2      | 钻床                 | 107       |
| 3.3.3      | 镗床                 | 108       |
| 3.3.4      | 刨床                 | 108       |
| 3.3.5      | 铣床                 | 109       |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 3.3.6      | 加工中心 .....              | 109        |
| 3.4        | 装配焊接设备 .....            | 123        |
| 3.4.1      | 装配焊接夹具 .....            | 123        |
| 3.4.2      | 手工焊 .....               | 124        |
| 3.4.3      | 自动焊接装置 .....            | 125        |
| 3.4.4      | 气体保护焊设备 .....           | 125        |
| 3.4.5      | 特殊专用焊接设备 .....          | 126        |
| 3.5        | 无损检测设备 .....            | 127        |
| 3.5.1      | 无损检测技术的发展方向 .....       | 127        |
| 3.5.2      | 射线检测设备 .....            | 129        |
| 3.5.3      | 超声检测仪器 .....            | 132        |
| 3.5.4      | 磁粉检测设备 .....            | 132        |
| 3.5.5      | 声发射检测设备 .....           | 136        |
| 3.6        | 热处理设备 .....             | 137        |
| 3.6.1      | 热处理炉 .....              | 137        |
| 3.6.2      | 局部热处理设备 .....           | 137        |
| 3.6.3      | 大型容器现场整体热处理设备 .....     | 138        |
| 3.7        | 压力试验设备 .....            | 140        |
| 3.7.1      | 液压泵 .....               | 140        |
| 3.7.2      | 空气压缩机(气泵) .....         | 143        |
| <b>第4章</b> | <b>压力容器的焊接</b> .....    | <b>145</b> |
| 4.1        | 概述 .....                | 145        |
| 4.1.1      | 压力容器焊接结构特点 .....        | 145        |
| 4.1.2      | 压力容器焊接质量保证体系 .....      | 152        |
| 4.2        | 钢材的焊接性及其焊接特点 .....      | 156        |
| 4.2.1      | 钢材的焊接性 .....            | 156        |
| 4.2.2      | 钢材的焊接特点 .....           | 160        |
| 4.3        | 各种焊接方法在压力容器制造中的应用 ..... | 228        |
| 4.3.1      | 气焊 .....                | 228        |
| 4.3.2      | 焊条电弧焊 .....             | 234        |
| 4.3.3      | 埋弧焊 .....               | 240        |
| 4.3.4      | 气体保护焊 .....             | 244        |
| 4.3.5      | 堆焊 .....                | 249        |
| 4.3.6      | 其他焊接方法 .....            | 250        |
| 4.4        | 压力容器焊接工艺 .....          | 252        |
| 4.4.1      | 焊接工艺要素 .....            | 252        |
| 4.4.2      | 焊接工艺评定原理 .....          | 273        |
| 4.4.3      | 焊接工艺的制定 .....           | 275        |
| 4.4.4      | 压力容器主要零部件的焊接 .....      | 276        |
| 4.4.5      | 典型压力容器焊接工艺 .....        | 277        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 4.5 焊接缺陷及防止 .....          | 293 |
| 4.5.1 焊接缺陷的种类 .....        | 293 |
| 4.5.2 焊缝缺陷产生的原因及预防措施 ..... | 298 |
| 4.6 焊接工时及材料定额 .....        | 325 |
| 4.6.1 工时及材料定额的计算方法 .....   | 325 |
| 4.6.2 典型焊缝的焊接工时及材料定额 ..... | 327 |
| 参考文献 .....                 | 328 |
| <b>第5章 压力容器的质量检测</b> ..... | 329 |
| 5.1 压力容器制造质量的控制 .....      | 329 |
| 5.1.1 制造质量的总体要求 .....      | 329 |
| 5.1.2 主要控制系统 .....         | 329 |
| 5.2 材料进厂验收及复验 .....        | 330 |
| 5.2.1 原材料的进厂验收 .....       | 330 |
| 5.2.2 外购件、外协件的进厂验收 .....   | 331 |
| 5.2.3 其他金属材料的验收 .....      | 332 |
| 5.2.4 材料的复验 .....          | 333 |
| 5.3 制造施工过程中的检验 .....       | 334 |
| 5.3.1 材料质量控制 .....         | 334 |
| 5.3.2 热加工过程中材料质量控制 .....   | 336 |
| 5.3.3 人员资格的控制 .....        | 338 |
| 5.3.4 施工工艺的控制 .....        | 339 |
| 5.4 产品外观及几何尺寸检验 .....      | 344 |
| 5.4.1 外观检验 .....           | 344 |
| 5.4.2 几何尺寸检验 .....         | 345 |
| 5.5 产品的无损检测 .....          | 354 |
| 5.5.1 压力容器无损检测的方法 .....    | 354 |
| 5.5.2 壳体母材的无损检测 .....      | 354 |
| 5.5.3 主要零部件的无损检测 .....     | 354 |
| 5.5.4 焊缝无损检测 .....         | 355 |
| 5.6 产品焊接试板的检验 .....        | 355 |
| 5.6.1 产品焊接试板 .....         | 355 |
| 5.7 耐压试验及致密性试验 .....       | 357 |
| 5.7.1 耐压试验 .....           | 357 |
| 5.7.2 致密性试验 .....          | 358 |
| 5.8 交工资料及产品铭牌 .....        | 358 |
| 5.8.1 交工资料 .....           | 358 |
| 5.8.2 产品铭牌 .....           | 359 |
| 5.9 典型压力容器产品质量检验细则 .....   | 359 |
| 5.9.1 管壳式换热器 .....         | 359 |
| 5.9.2 球形储罐 .....           | 359 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 5.9.3 加氢反应器 .....           | 359        |
| 附录1 管壳式换热器质量检验细则 .....      | 359        |
| 附录2 钢制球形储罐质量检验细则 .....      | 365        |
| 附录3 加氢反应器质量检验细则 .....       | 371        |
| 参考文献 .....                  | 378        |
| <b>第6章 典型压力容器制造工艺 .....</b> | <b>379</b> |
| 6.1 概述 .....                | 379        |
| 6.1.1 工艺编制原则 .....          | 379        |
| 6.1.2 工艺编制的要求及细则 .....      | 379        |
| 6.2 螺纹锁紧环式换热器制造工艺 .....     | 380        |
| 6.2.1 概述 .....              | 380        |
| 6.2.2 结构分类及特点 .....         | 381        |
| 6.2.3 螺纹锁紧环式换热器制造 .....     | 384        |
| 6.3 球形储罐的制造 .....           | 392        |
| 6.3.1 概述 .....              | 392        |
| 6.3.2 工艺流程 .....            | 392        |
| 6.3.3 材料进厂验收和材料复验 .....     | 392        |
| 6.3.4 球壳板的制造 .....          | 397        |
| 6.3.5 零部件的制造 .....          | 406        |
| 6.3.6 球壳板与零部件的组焊 .....      | 406        |
| 6.3.7 可焊性防锈涂料、油漆及包装 .....   | 408        |
| 6.3.8 铭牌 .....              | 410        |
| 6.3.9 制造技术文件 .....          | 410        |
| 6.4 加氢反应器的制造工艺 .....        | 410        |
| 6.4.1 概述 .....              | 410        |
| 6.4.2 流程 .....              | 414        |
| 6.4.3 材料验收及复检 .....         | 414        |
| 6.4.4 划线及下料 .....           | 415        |
| 6.4.5 封头成形 .....            | 416        |
| 6.4.6 筒体的制造 .....           | 416        |
| 6.4.7 筒体内壁堆焊 .....          | 417        |
| 6.4.8 冷氢盘支持凸台的制造 .....      | 417        |
| 6.4.9 热电偶口、冷氢口等接管口的制造 ..... | 418        |
| 6.4.10 分配盘、冷氢盘等内件的制造 .....  | 418        |
| 6.4.11 产品焊接试板及检验 .....      | 419        |
| 6.4.12 焊缝无损检测及返修 .....      | 419        |
| 6.4.13 焊后整体热处理 .....        | 420        |
| 6.4.14 压力试验 .....           | 421        |
| 6.4.15 气密性试验 .....          | 421        |
| 6.4.16 油漆、包装、运输 .....       | 421        |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 6.5 钛复合板容器制造工艺 .....              | 421 |
| 6.5.1 概述 .....                    | 421 |
| 6.5.2 流程 .....                    | 422 |
| 6.5.3 材料验收及复验 .....               | 422 |
| 6.5.4 划线及下料 .....                 | 423 |
| 6.5.5 封头、筒节成形 .....               | 424 |
| 6.5.6 筒节纵、环焊缝坡口制备 .....           | 426 |
| 6.5.7 筒节纵、环焊缝装配焊接 .....           | 426 |
| 6.5.8 焊缝无损检测及返修 .....             | 428 |
| 6.5.9 酸洗及包装 .....                 | 429 |
| 6.6 尿素合成塔制造 .....                 | 429 |
| 6.6.1 概述 .....                    | 429 |
| 6.6.2 尿素合成塔结构形式与制造工艺分析 .....      | 431 |
| 6.6.3 投产制造前的技术准备和制造过程中的质量控制 ..... | 436 |
| 6.6.4 制造流程 .....                  | 436 |
| 6.6.5 材料验收和复验 .....               | 437 |
| 6.6.6 主要零部件的制造 .....              | 438 |
| 6.6.7 组合、竣工检验 .....               | 445 |
| 6.6.8 油漆、包装、运输 .....              | 446 |
| 6.6.9 制造记录和出厂技术文件 .....           | 447 |
| 6.7 特大型地埋式储罐的制造 .....             | 447 |
| 6.7.1 概述 .....                    | 447 |
| 6.7.2 制造流程 .....                  | 449 |
| 6.7.3 材料验收及复验 .....               | 449 |
| 6.7.4 划线及下料 .....                 | 451 |
| 6.7.5 封头、筒节成形 .....               | 452 |
| 6.7.6 筒节纵、环焊缝的装配焊接 .....          | 452 |
| 6.7.7 焊缝无损检测及返修 .....             | 454 |
| 6.7.8 焊后热处理 .....                 | 454 |
| 6.7.9 整体拖运出厂房 .....               | 454 |
| 6.7.10 水压试验 .....                 | 455 |
| 6.7.11 涂层喷涂和包扎施工 .....            | 456 |
| 6.7.12 整体装运(滚装)上船 .....           | 457 |
| 6.7.13 特大型储罐砂床的设计和施工 .....        | 457 |
| 参考文献 .....                        | 458 |
| <b>第7章 压力容器的现场组焊</b> .....        | 459 |
| 7.1 概述 .....                      | 459 |
| 7.1.1 现场组焊的特点 .....               | 459 |
| 7.1.2 现场组焊的现状 .....               | 459 |
| 7.2 球形储罐的现场组焊 .....               | 459 |

|        |                        |     |
|--------|------------------------|-----|
| 7.2.1  | 概述 .....               | 459 |
| 7.2.2  | 施工条件的准备 .....          | 459 |
| 7.2.3  | 基础检查验收 .....           | 460 |
| 7.2.4  | 零部件的检查验收 .....         | 461 |
| 7.2.5  | 组装 .....               | 463 |
| 7.2.6  | 现场焊接 .....             | 467 |
| 7.2.7  | 焊缝检验 .....             | 471 |
| 7.2.8  | 产品焊接试板 .....           | 472 |
| 7.2.9  | 球罐焊后整体热处理 .....        | 473 |
| 7.2.10 | 压力试验和气密性试验 .....       | 474 |
| 7.2.11 | 球罐的复查 .....            | 476 |
| 7.2.12 | 交工验收 .....             | 476 |
| 7.3    | 大直径塔器的现场组焊 .....       | 477 |
| 7.3.1  | 概述 .....               | 477 |
| 7.3.2  | 施工准备 .....             | 477 |
| 7.3.3  | 基础的检查验收 .....          | 479 |
| 7.3.4  | 半成品、零部件及焊材的检查验收 .....  | 479 |
| 7.3.5  | 塔器现场组装 .....           | 482 |
| 7.3.6  | 筒体、封头的组装 .....         | 482 |
| 7.3.7  | 筒体、封头的焊前准备及检查 .....    | 484 |
| 7.3.8  | 筒体、封头的焊接 .....         | 485 |
| 7.3.9  | 试板与试样 .....            | 487 |
| 7.3.10 | 焊缝外观及几何尺寸检查 .....      | 487 |
| 7.3.11 | 焊缝无损检测 .....           | 487 |
| 7.3.12 | 焊缝返修 .....             | 489 |
| 7.3.13 | 塔内件安装 .....            | 490 |
| 7.3.14 | 压力试验和致密性试验 .....       | 494 |
| 7.3.15 | 交工验收 .....             | 496 |
| 7.4    | 钢制焊接立式圆筒型储罐的现场组焊 ..... | 497 |
| 7.4.1  | 概述 .....               | 497 |
| 7.4.2  | 施工准备 .....             | 498 |
| 7.4.3  | 基础的验收检查 .....          | 499 |
| 7.4.4  | 零部件（原材料）的检查验收 .....    | 500 |
| 7.4.5  | 壁板坡口加工及滚圆预制 .....      | 501 |
| 7.4.6  | 底板预制、组装 .....          | 502 |
| 7.4.7  | 壁板预制、组装 .....          | 505 |
| 7.4.8  | 浮顶预制、组装 .....          | 514 |
| 7.4.9  | 附件预制、安装 .....          | 516 |
| 7.4.10 | 焊接 .....               | 518 |
| 7.4.11 | 焊缝无损检测及严密性试验 .....     | 520 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 7.4.12 充水试验 .....             | 522 |
| 7.4.13 交工验收 .....             | 523 |
| 7.5 厚壁分段容器的现场组焊 .....         | 524 |
| 7.5.1 概述 .....                | 524 |
| 7.5.2 对分段容器的检查验收 .....        | 525 |
| 7.5.3 分段容器的组装 .....           | 526 |
| 7.5.4 分段容器的焊接 .....           | 527 |
| 7.5.5 局部热处理 .....             | 528 |
| 7.5.6 无损检测 .....              | 529 |
| 7.5.7 焊接试板的制造和验收 .....        | 529 |
| 7.5.8 压力试验 .....              | 530 |
| 7.5.9 交工验收 .....              | 530 |
| 参考文献 .....                    | 530 |
| <b>第8章 在役压力容器的修理及改造</b> ..... | 531 |
| 8.1 概述 .....                  | 531 |
| 8.2 修理 .....                  | 531 |
| 8.2.1 遵循的法规 .....             | 531 |
| 8.2.2 资格 .....                | 531 |
| 8.2.3 方案的制订及备案 .....          | 532 |
| 8.2.4 施工要求 .....              | 532 |
| 8.2.5 检查 .....                | 534 |
| 8.2.6 安全评定 .....              | 534 |
| 8.2.7 验收 .....                | 536 |
| 8.2.8 典型案例 .....              | 537 |
| 8.3 改造 .....                  | 545 |
| <b>第9章 压力容器涂料、包装、运输</b> ..... | 546 |
| 9.1 涂料和防锈涂料 .....             | 546 |
| 9.1.1 涂料 .....                | 546 |
| 9.1.2 防锈涂料 .....              | 562 |
| 9.1.3 油漆涂覆要求 .....            | 564 |
| 9.2 包装 .....                  | 577 |
| 9.2.1 包装原则 .....              | 577 |
| 9.2.2 包装形式 .....              | 579 |
| 9.2.3 包装标志及发货标志 .....         | 580 |
| 9.3 运输 .....                  | 581 |
| 9.3.1 运输标志 .....              | 581 |
| 9.3.2 装车发运要求 .....            | 581 |
| 参考文献 .....                    | 597 |

# 第 1 章 概 述

## 1.1 压力容器的特点

### 1.1.1 压力容器的基本概念

容器按所承受的压力大小分为常压容器和压力容器两大类。压力容器和常压容器相比，不仅在结构上有较大的差别，而且在设计原理方面也不相同，应该指出的是，所谓压力容器和常压容器的划分是人为规定的。一般泛指最高工作压力  $P_w \geq 0.1 \text{ MPa}$  ( $P_w$  不包括液体静压力)，用于完成反应、换热、吸收、萃取、分离和储存等生产工艺过程，并能承受一定压力的密闭容器称为压力容器。另外，受外压（或负压）的容器和真空容器也属于压力容器。

由于压力容器是一种承压设备，是在各种介质和环境（有时十分苛刻）条件下工作，所以，一旦发生事故其破坏性往往是非常严重的。为安全生产起见，从 20 世纪 80 年代初国务院就制定和颁发了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》（简称“条例”），1981 年原国家劳动总局颁布了《压力容器安全监察规程》，并于 1982 年 4 月正式执行。为适应新形势发展需要，在总结经验的基础上，原劳动部于 1989 年对其进行修改后，1990 年颁布了《压力容器安全技术监察规程》（简称“容规”），并于 1991 年 1 月正式执行。贯彻“容规”以来，对强化压力容器使用管理，提高压力容器制造质量水平，以及减少爆炸事故等方面起到了积极的作用，是压力容器安全监察和监督检验的重要依据之一。为进一步完善压力容器质量安全监察工作，国家质量技术监督局对“容规”再次进行修订，于 1999 年 6 月正式颁布，并于 2000 年 1 月正式执行。

另外，1984 年全国压力容器标准化技术委员会（简称“容委会”）成立后，在已实施了 20 多年的三部标准《钢制石油化工压力容器设计规定》和 JB 741—80《钢制焊接压力容器技术条件》等标准的基础上，经调查和实验验证，结合成功的使用经验并吸取国际上同类先进标准的内容，于 1989 年制定了国家标准 GB 150—89《钢制压力容器》，后于 1998 年重新修订出版。这是一部综合设计、制造、检验和验收等压力容器设计、制造过程必须遵循的基本技术法规。

这里要强调的是，“容规”从安全监察和便于管理的角度出发，对压力容器的条件做出了一些规定，凡符合这些条件的压力容器，称为规程管辖的压力容器。至此，可以这样说，现在一般从设计、制造、使用管理角度出发所指的压力容器，实际上都是指规程管辖的压力容器，而不是指所有的压力容器。

### 1.1.2 压力容器的分类

压力容器的分类方法有多种。归结起来，常用的分类方法有如下几种。

#### (1) 按制造方法分

根据制造方法的不同，压力容器可分为焊接容器，铆接容器，铸造容器，锻造容器，热套容器，多层包扎容器和绕带容器等。

#### (2) 按承压方式分

内压容器和外压容器。

(3) 按设计压力 ( $p$ ) 分

- a. 低压容器 (代号 L):  $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$
- b. 中压容器 (代号 M):  $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$
- c. 高压容器 (代号 H):  $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$
- d. 超高压容器 (代号 U):  $p \geq 100\text{MPa}$

这里要说明的是,原三部标准“设计规定”和 JB 741—80 以及新的国标 GB 150 都取消了按压力对容器分等的规定,只对设计压力  $p \leq 35\text{MPa}$  的容器,给出了统一的设计、制造准则。之所以这样做,主要是因为以下原因。

① 容器破坏时所造成的危害大小,并不只取决于压力的高低,还和容积的大小、内部的介质状态及性质、操作条件等因素有关。认为凡高压容器就一定比中、低压容器危险的观点是不全面的。

② 应力是导致容器破坏的基本因素之一。高压容器和中、低压容器壳壁中的设计应力值是近似或相当的,因应力大引起的容器破坏的危险性对不同操作压力的容器是相同的。

③ 压力容器制造的难易程度也并非完全取决于压力的高低,还和材料的焊接性、加工工艺性能的优劣以及结构的复杂程度等因素有关。只重视高压容器的制造质量而忽视中低压容器的产品质量是错误的。

④ 目前国外各主要压力容器技术规范,也都没有按压力高低对容器划分等级。

(4) 按容器的设计温度 ( $T_{\text{设}}$ —壁温) 分

- a. 低温容器:  $T_{\text{设}} \leq -20^\circ\text{C}$
- b. 常温容器:  $-20^\circ\text{C} < T_{\text{设}} < 150^\circ\text{C}$
- c. 中温容器:  $150^\circ\text{C} \leq T_{\text{设}} < 400^\circ\text{C}$
- d. 高温容器:  $T_{\text{设}} \geq 400^\circ\text{C}$

一般说来,高温容器的温度界限应和所用钢材产生蠕变的温度范围有关,故除低温容器在 GB 150 标准中有明确规定外,其他类容器的划分仅供参考。

(5) 按容器的制造材料分

钢制容器、铸铁容器、有色金属容器和非金属容器等。

(6) 按容器外形分

圆筒形(或称圆柱形)容器,球形容器,矩(方)形容器和组合式容器等。

(7) 按容器在生产工艺过程中的作用原理分

反应容器(代号为 R),换热容器(代号为 E),分离容器(代号为 S),储存容器(代号为 C,其中球罐代号为 B)。

(8) 按容器的使用方式分

固定式容器和移动式容器。

(9) 根据容器的压力高低,容积大小,使用特点,材质,介质的危害程度以及它们在生产过程中的重要性分

为便于安全技术监察和管理,“容规”将容器分为一、二、三类。

### 1.1.3 压力容器的操作条件特点

安全可靠性是压力容器在设计、制造中首要考虑的问题。要想从制造角度出发确保压力容器的质量,使之在使用中安全可靠,了解压力容器在使用中操作条件特点是十分必要的。压力容器操作条件主要包括压力、温度和介质。

#### 1.1.3.1 压力

容器内介质的压力是压力容器在工作时所承受的主要外力。

① 表压力 压力容器中的压力是用压力表测量的，压力表上所表示的压力为表压力，他实际上是容器内介质压力超过环境大气压力的压力差值。

② 最高工作压力 是指在正常操作情况下，容器顶部可能产生的最高工作压力（指表压）。它不包括液体静压力。

③ 设计压力 是指在相应设计温度下，用以计算容器壳体壁厚及其元件尺寸的压力。设计压力和设计温度的配合是设计容器的基本依据。其值不得小于最高工作压力。一般应略高于他。

#### 1.1.3.2 温度

容器的设计温度是指在正常操作情况时，在相应的设计压力条件下，壳壁或受压元件可能达到的最高或最低（ $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 时）温度。

压力容器的设计温度并不一定是其内部介质可能达到的温度。由于容器材料的选用与设计温度有关，从上面得知，容器设计温度是指壳体的设计温度，所以设计温度是压力容器材料选用的主要依据之一。

#### 1.1.3.3 介质

压力容器在生产工艺过程中所涉及的工艺介质品种繁多复杂。其使用安全性与内部盛装的介质密切相关。我们关心的主要是它们的易燃、易爆、毒性程度和对材料的腐蚀等性质，比如说光气，只要发生一点点泄漏，就有可能致死人命。所以在压力容器制造中，从使用安全性出发，应将容器内部介质状况作为重点考虑因素之一。

#### 1.1.3.4 举例

炼油厂中的加氢反应器，其设计压力一般为  $8\sim 18\text{MPa}$ ，工作温度高达  $400^{\circ}\text{C}$  以上，介质主要是氢气、油，是一种高温、高压、介质为易燃易爆又具有氢腐蚀性质的压力容器，对于这种压力容器无论从设计上还是从制造角度而言，都要从严要求，一丝不苟，且制造难度极大。

### 1.1.4 压力容器的基本结构及其制造特点

压力容器虽然种类繁多，形式多样，但其基本结构不外乎都是一个密闭的壳体，壳体内部大多数情况下都有内件，有的内件与壳体一样也承受一定压力，此时这些内件与壳体就都属于受压元件，在制造过程中都要按要求认真对待。常见的压力容器多为圆筒形壳体，其基本结构主要由以下几大部件组成。

#### 1.1.4.1 筒体

一台容器的筒体通常由用钢板卷焊而成的一个或多个筒节组焊而成，这时的筒体有纵环焊缝。也有些小直径容器筒体用无缝钢管制成。对于厚壁高压容器的筒体还经常采用数个锻造筒节通过环缝焊接连接而成，这种容器则称为锻焊结构的压力容器。锻焊结构筒体虽省去了筒节纵缝焊接及钢板卷制，校圆的工序，但由于锻件成本要远比钢板高得多，所以，一般只有当筒体壁厚大于一定厚度时，才采用锻焊结构。当然，根据制造方法不同和各厂的制造条件限制，容器筒体还有热套式、多层包扎式和绕带式等多种形式，它们都是厚壁筒体的一些特殊制造方式，没有卷制大厚度钢板能力或生产大厚度锻造筒节的厂家，对于某些厚壁压力容器产品，可以采用这些方式来制造筒体，此时只要增添一些必要的工艺装备即可。对于中、薄厚度的筒体基本上还是用钢板卷制焊接而成。