

“十二五”普通高等学校本科规划教材

过程装备制造 实习指南

GUOCHENG ZHUANGBEI ZHIZAO
SHIXI ZHINAN

董金善 周勇军 周剑锋 主编
顾伯勤 主审



化学工业出版社

“十二五”普通高等学校本科规划教材

过程装备制造 实习指南

GUOCHENG ZHUANGBEI ZHIZAO
SHIXI ZHINAN

董金善 周勇军 周剑锋 主编
顾伯勤 主审



化学工业出版社

“过程装备与控制工程”专业主要教学实习环节包括认识实习、生产实习、毕业实习,本书作为实习指导教材,包括压力容器和流体机械的分类、工作原理、总体结构、制造工艺、检验检测方法及制造质量保证体系等内容。书中语言浅显易懂,基本原理阐述简明,基本概念定义准确。

本书既是“过程装备与控制工程”专业学生实习的教材,也是过程装备与控制工程卓越工程师培养及相关工程技术人员实践培训的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

过程装备制造实习指南/董金善,周勇军,周剑锋主
编. —北京:化学工业出版社,2013.9

“十二五”普通高等学校本科规划教材

ISBN 978-7-122-18187-9

I. ①过… II. ①董…②周…③周… III. ①化工过程-
化工设备-制造-高等学校-教学参考资料 IV. ①TQ051.06

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第186568号

责任编辑:程树珍 李玉晖
责任校对:陶燕华

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张18 $\frac{3}{4}$ 字数476千字 2013年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

前 言

随着现代过程工业的快速发展,与过程装备设计、制造、检验检测相关的标准规范也在不断更新和改进。20 世纪 90 年代,在全国化工设备与机械专业教学指导委员会的指导和组织下,由浙江工业大学方德明教授等主编的《化工机械厂生产实习指南》,为“化工设备与机械”专业的实践教学奠定了良好的基础。1998 年国家教育部制定新的高校专业目录,将“化工设备与机械”等相关专业调整为“过程装备与控制工程”专业,专业面进一步拓宽。目前全国设置“过程装备与控制工程”专业的高校已达百余所,但仍无合适的教材可供实习教学环节选用。结合现代过程工业的发展需求,编写出版《过程装备制造实习指南》,可进一步完善实践教学手段,实现实践教学与现代过程工业的无缝对接,对本专业的建设与发展以及卓越工程师的培养具有重要的实践指导意义和应用价值。

作为过程装备与控制工程专业唯一的专业实习教材,编者希望学生通过本教材的自学,结合企业实习,掌握压力容器和流体机械的分类、工作原理、总体结构、制造工艺、检验检测方法及制造质量保证体系等内容,为“过程设备设计”、“过程流体机械”及“过程装备制造与检测”等后续课程教学打下良好基础。

本教材共分 8 章。第 1 章介绍了压力容器的结构分类、法规与技术标准、制造安全监察、压力容器用钢;第 2 章介绍了过程设备主要零件加工工艺及步骤;第 3 章介绍了过程设备的成型加工过程及控制要素;第 4 章介绍了过程设备的焊接方法、工艺及热处理;第 5 章介绍了过程设备制造质量检测方法及要求;第 6 章介绍了压缩机的制造工艺;第 7 章介绍了泵与阀门的制造工艺;第 8 章给出了典型过程装备的制造、检验过程及控制要求。全书由南京工业大学董金善、周勇军和周剑锋主编,顾伯勤教授主审。参加编写的有南京工业大学董金善(第 1 章、第 2 章)、虞斌(3.3~3.8 节)、周剑锋(4.1 节、4.4~4.7 节)、周勇军(第 6 章)、何世权(第 7 章);中国特种设备检测研究院梁琳(第 5 章);南京鑫科化工工程有限公司王正龙(4.2 节、4.3 节);南京高源环保工程有限公司沈国栋(3.1 节、3.2 节);江苏省特种设备检测研究院苏州分院张俊(8.1 节)、钱英豪(8.2 节);中石化南京化学工业公司化工机械厂韩冰(8.3 节)、南京压缩机股份有限公司杨文辉(8.4 节)。南京工业大学顾伯勤教授在主审本教材的过程中付出了大量的辛勤劳动,提出了许多很好的建议和意见,修正了诸多内容,在此表示衷心的感谢。此外,对南京工业大学高端过程设备设计制造先进技术团队的研究生们在书稿编排方面所做的工作表示感谢!

由于编者水平有限,书中缺点和不足在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2013 年 5 月 1 日 于南京

目 录

1 过程设备概述	001
1.1 制造概况	001
1.1.1 压力容器的结构	001
1.1.2 压力容器的分类	002
1.1.3 焊接压力容器主要制造工序及其特点	004
1.1.4 过程设备制造的发展	005
1.2 压力容器受压元件	006
1.2.1 球壳	006
1.2.2 圆筒壳	007
1.2.3 封头	009
1.2.4 法兰	011
1.2.5 支座	012
1.3 压力容器法规与技术标准	012
1.3.1 法规与标准的异同关系	012
1.3.2 国外压力容器法规与标准	012
1.3.3 中国压力容器法规与标准	013
1.3.4 压力容器法规与标准使用中应注意的几个问题	014
1.4 压力容器制造安全监察	015
1.4.1 压力容器制造许可证制度	015
1.4.2 压力容器制造中的有关技术要求	015
1.4.3 压力容器制造质量保证体系	018
1.4.4 压力容器制造质量的监督检验	019
1.5 压力容器用钢	020
1.5.1 对材料性能的基本要求	020
1.5.2 压力容器用钢的分类	022
1.5.3 压力容器用钢板	022
1.5.4 压力容器用钢管与锻件	025
思考题	026
2 过程设备加工工艺	028
2.1 筒节制造工艺	028
2.1.1 领料与划线	028
2.1.2 下料与坡口加工	029
2.1.3 预弯与卷圆	029
2.1.4 纵缝焊接	030

2.1.5	校圆	030
2.1.6	无损检测	031
2.2	封头制造工艺	031
2.2.1	主要工序	032
2.2.2	拼焊	032
2.2.3	加热	032
2.2.4	压型	033
2.2.5	检验与无损检测	033
2.2.6	热处理	035
2.3	法兰制造工艺	035
2.3.1	主要工序	035
2.3.2	拼焊	036
2.3.3	机加工	036
2.4	换热管制造工艺	037
2.4.1	拼焊与无损检测	037
2.4.2	弯管及盘管	037
2.4.3	管端处理	038
2.5	换热器管板制造工艺	038
2.5.1	拼焊与无损检测	038
2.5.2	机加工	038
2.5.3	划线及钻孔	039
2.6	膨胀节制造工艺	040
2.6.1	划线与下料	041
2.6.2	加热与压型	041
2.6.3	齐口与组焊	041
2.6.4	无损检测与总体检验	042
2.7	补强圈制造工艺	042
2.7.1	加工坡口与拼焊	043
2.7.2	煨形	043
2.7.3	加工螺孔	043
2.8	高压层板包扎工艺	043
2.8.1	材料复检	044
2.8.2	下料划线	045
2.8.3	内筒筒节的卷制与组焊	045
2.8.4	层板包扎	046
2.8.5	产品试板	047
2.8.6	层板的无损检测	048
	思考题	048

3 过程设备的成型加工 049

3.1	原材料的划线和切割	049
-----	-----------------	-----

3.1.1	过程设备主要零件的毛坯	049
3.1.2	材料的切割方法	051
3.1.3	边缘加工	057
3.2	单层筒体的成型加工	059
3.2.1	筒节卷圆设备	060
3.2.2	单层筒体制造工艺	061
3.2.3	筒节卷制质量	064
3.3	多层筒体的成型加工	065
3.3.1	多层筒体包扎	065
3.3.2	扁平钢带错绕式筒体的缠绕	066
3.4	凸形封头的压制成型加工	068
3.4.1	封头的冲压过程和设备	068
3.4.2	封头的冲压工艺	068
3.4.3	封头冲压时产生的典型缺陷分析	070
3.4.4	冲压力的计算	073
3.4.5	冲压模具的设计	073
3.5	凸形封头的旋压成型加工	074
3.5.1	旋压的工作原理和应用	074
3.5.2	旋压封头的方法及其工艺	074
3.5.3	旋压用工艺装备	077
3.5.4	旋压封头的缺陷	078
3.6	锥形封头的成型加工	078
3.6.1	冲压法	078
3.6.2	滚弯法	078
3.7	管子的弯曲成型加工	080
3.7.1	管子弯曲时的变形	080
3.7.2	弯管方法	081
3.7.3	弯管设备	083
3.7.4	弯管缺陷及其质量要求	084
3.8	板边的折弯成型加工	084
3.8.1	概述	084
3.8.2	折弯设备	084
	思考题	085

4	过程设备的焊接	086
4.1	焊接方法简介	086
4.1.1	手工电弧焊	087
4.1.2	埋弧焊	090
4.1.3	气体保护焊	095
4.2	焊接结构设计	100
4.2.1	焊接接头形式	100

4.2.2	坡口形式	100
4.2.3	压力容器焊接接头分类	100
4.2.4	压力容器焊接结构设计的基本原则	102
4.2.5	压力容器常用焊接结构设计	102
4.3	焊接材料	107
4.4	焊接工艺评定	112
4.5	焊接要求	112
4.5.1	焊前准备	112
4.5.2	预热	113
4.5.3	焊接	114
4.6	焊接热处理	115
4.6.1	后热	115
4.6.2	焊后热处理	115
4.7	焊接检验	117
	思考题	118

5 过程设备制造质量检测

5.1	材料理化性能测试	119
5.1.1	化学成分分析	119
5.1.2	力学性能测定	119
5.2	无损检测	124
5.2.1	概述	124
5.2.2	射线检测	127
5.2.3	超声波检测	135
5.2.4	渗透检测	145
5.2.5	磁粉检测	147
5.3	压力试验	151
5.3.1	液压试验	151
5.3.2	气压试验	153
5.3.3	泄漏试验	153
5.4	50m ³ 液化石油气贮罐的检验	154
5.4.1	钢板的超声波检测	154
5.4.2	贮罐尺寸和形状的检验	154
5.4.3	焊缝的检验	155
5.4.4	水压试验	155
5.4.5	气密性试验	155
	思考题	155

6 压缩机的制造工艺

6.1	概述	157
6.1.1	压缩机的分类	157

6.1.2 压缩机的特点	158
6.1.3 压缩机的应用	160
6.2 活塞式压缩机	163
6.2.1 活塞式压缩机的结构及制造工艺特点	163
6.2.2 活塞式压缩机主要构件的加工	164
6.2.3 活塞式压缩机的装配	179
6.3 离心式压缩机	182
6.3.1 离心式压缩机的结构	182
6.3.2 离心式压缩机主要构件的加工	183
6.3.3 离心式压缩机转子的装配	192
思考题	195

7 泵与阀门的制造工艺

7.1 泵	196
7.1.1 概述	196
7.1.2 泵的结构和工作原理	196
7.2 阀门	207
7.2.1 概述	207
7.2.2 阀门的结构类型和用途	216
7.3 阀门主要典型零件机加工工艺	230
7.3.1 阀门主要零部件常用材料	230
7.3.2 工业阀门的压力试验	240
思考题	244

8 典型过程设备的制造工艺

8.1 50m ³ 液化石油气贮罐	245
8.1.1 简介	245
8.1.2 主要受压元件成型前的通用工艺流程	246
8.1.3 主要受压元件的成型和焊接工艺	246
8.1.4 总装工艺	249
8.2 列管式换热器	250
8.2.1 简介	250
8.2.2 主要构件的加工制造要求	250
8.2.3 组装工艺	253
8.2.4 换热管与管板的连接	253
8.3 多层包扎高压容器	257
8.3.1 简介	257
8.3.2 技术特性与要求	258
8.3.3 主要元件成型工艺流程	258
8.3.4 尿塔总装工艺流程	262
8.4 活塞式压缩机	263

8.4.1 WP18L 型活塞式压缩机简介	263
8.4.2 曲轴箱的制造	263
8.4.3 曲轴的制造	266
8.4.4 连杆的制造	268
8.4.5 活塞的制造	270
8.4.6 气缸的制造	271
思考题	272

附录	273
-----------------	-----

附录 I 压力容器常用法规和标准	273
附录 II 压力容器用钢国内外牌号对照表	274
附录 III 焊接工艺卡	275
附录 IV 压力容器制造质量管理体系	279

参考文献	290
-------------------	-----

1 过程设备概述

过程设备（压力容器）广泛用于石油化工、医药、纺织、食品、冶金、动力、核能及运输等过程工业部门，是生产过程中必不可少的重要设备，甚至于是核心设备，如化工生产中的反应设备、换热设备、分离设备、贮罐及核动力反应堆压力壳、锅炉汽包等。随着科学技术的的发展和工业生产规模的扩大，过程设备趋向大型化，操作条件更为恶劣，结构形式越来越复杂，同时，设备所处理的介质往往是易爆或有毒。这些条件很自然地对过程设备和容器的安全可靠件提出了更严格的要求。要求从事设计、制造、安装、检验、使用及监督管理人员，必须十分重视它的全面质量及安全性，其中制造质量的优劣是最关键的，它将直接影响设备的安全运行。

本章介绍过程设备的制造概况、主要法规及标准和常见材料等。

1.1 制造概况

1.1.1 压力容器的结构

在工厂中可以看到许多设备。在这些设备中，有的用来贮存物料，如各种贮罐、计量罐；有的进行热量交换，如各种换热器、蒸发器、冷凝器、结晶器等；有的用来进行化学反应，如反应釜、聚合釜、发酵罐、合成塔等。这些设备虽然尺寸大小不一，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，这个外壳就叫做容器。

压力容器包括所有承受气液介质压力的密闭容器。压力容器一般是由筒体（圆筒）、封头（端盖）、法兰、支座、接管、人孔（手孔）、视镜、安全附件等组成（图 1-1），它们统称为压力容器通用零部件。常、低压压力容器通用零部件大都已有标准，设计时可直接选用。

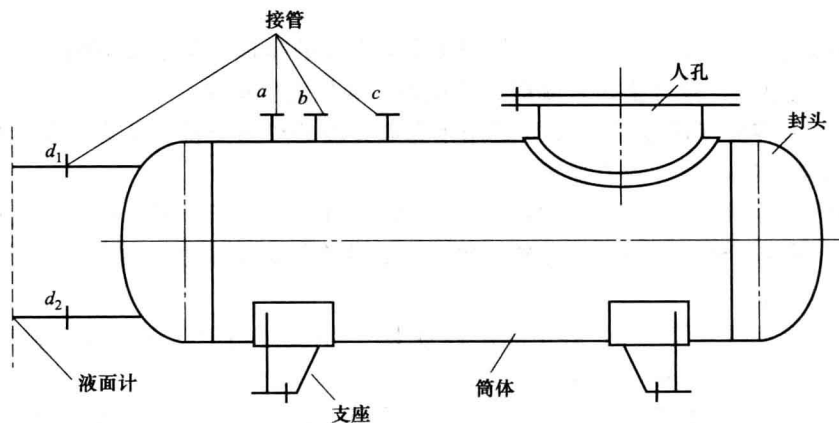


图 1-1 容器的结构

1.1.2 压力容器的分类

国务院《特种设备安全监察条例》(简称《条例》)于2003年和2009年先后两次修订,将涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器(含气瓶)、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施和场(厂)内专用机动车辆等8大类设备列入国家特种设备监督管理范畴。目前纳入TSG R004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》(简称《容规》)范围的压力容器必须是同时具备下列三个条件的压力容器:

- i. 工作压力大于或者等于0.1MPa(表压,不含液体静压力);
- ii. 工作压力与容积的乘积大于或者等于2.5MPa·L;
- iii. 盛装介质为气体、液化气体或者最高工作温度大于等于标准沸点的液体。

压力容器的形式很多,根据不同的要求,分类方法有很多种。按容器的壁厚分为薄壁容器(外直径与内直径比值小于或等于1.2)和厚壁容器;按承压方式分为内压容器和外压容器;按工作壁温分为高温容器、常温容器和低温容器;按壳体的几何形状分为球形容器、圆筒形容器、圆锥形容器和异形容器等;按制造方法分为焊接容器、锻造容器、铸造容器和铆接容器;按制造材料分为钢制容器、铸铁容器、有色金属容器和非金属容器。从安全管理和技术监督的角度,一般把压力容器分为两大类,即固定式压力容器和移动式压力容器。

1.1.2.1 固定式压力容器

固定式压力容器有固定的安装和使用地点,工艺条件和使用操作人员也比较固定。固定式压力容器还可以按其工作压力和用途进行分类。

1.1.2.1.1 按压力分类

压力是压力容器最主要的一个工作参数。从安全角度讲,压力越高,发生爆炸事故的危害越大。为了便于对压力容器进行分级管理和技术监督,《容规》将容器的设计压力(p)分为四个压力级别,即:

低压(代号 L)	$0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$
中压(代号 M)	$1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$
高压(代号 H)	$10.0\text{MPa} \leq p < 100.0\text{MPa}$
超高压(代号 U)	$p \geq 100.0\text{MPa}$

1.1.2.1.2 按用途分类

按照在生产工艺过程中的作用原理,划分为反应压力容器、换热压力容器、分离压力容器、贮存压力容器。

① 反应压力容器(代号 R) 主要是用于完成介质的物理、化学反应的压力容器,例如各种反应器、反应釜、聚合釜、合成塔、变换炉、煤气发生炉等。

② 换热压力容器(代号 E) 主要是用于完成介质的热量交换的压力容器,例如各种热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器等。

③ 分离压力容器(代号 S) 主要是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,例如各种分离器、过滤器、集油器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔、汽提塔、分汽缸、除氧器等。

④ 贮存压力容器(代号 C,其中球罐代号 B) 主要是用于贮存或者盛装气体、液体、液化气体等介质的压力容器,例如各种型式的贮罐。

实际生产过程中,如果一种压力容器同时具备两个以上的工艺作用原理时,应当按照工艺过程中的主要作用来划分品种。

1.1.2.1.3 按监督管理分类

为了在设计制造中对安全要求不同的压力容器有区别地进行技术管理和监督检查,《容规》根据压力容器介质危险程度及 pV 值大小,将适用范围内的压力容器划分为 I、II、III 类,具体划分原则如下。

(1) 介质分组

压力容器的介质分为以下两组:

- i. 第一组介质,毒性程度为极度危害、高度危害的化学介质,易爆介质,液化气体;
- ii. 第二组介质,除第一组以外的介质。

(2) 介质危害性

介质危害性指压力容器在生产过程中因事故致使介质与人体大量接触,发生爆炸或者因经常泄漏引起职业性慢性危害的严重程度,用介质毒性程度和爆炸危害程度表示。

① 毒性程度 综合考虑急性毒性、最高容许浓度和职业性慢性危害等因素,极度危害最高容许浓度小于 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$; 高度危害最高容许浓度 $0.1\sim 1.0\text{mg}/\text{m}^3$; 中度危害最高容许浓度 $1.0\sim 10.0\text{mg}/\text{m}^3$; 轻度危害最高容许浓度大于或者等于 $10.0\text{mg}/\text{m}^3$ 。

② 易爆介质 指气体或者液体的蒸汽、薄雾与空气混合形成的爆炸混合物,并且其爆炸下限小于 10% ,或者爆炸上限和爆炸下限的差值大于或者等于 20% 的介质。

③ 介质毒性危害程度和爆炸危险程度的确定 按照 HG 20660—2000《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类》确定。HG 20660 没有规定的,由压力容器设计单位参照 GB 5044—85《职业性接触毒物危害程度分级》的原则,确定介质组别。

(3) 压力容器类别划分方法

① 基本划分 压力容器类别的划分应当根据介质特性,按照以下要求选择类别划分图,再根据设计压力 p (单位 MPa) 和容积 V (单位 L),标出坐标点,确定压力容器类别:

- i. 第一组介质,压力容器类别的划分见图 1-2;
- ii. 第二组介质,压力容器类别的划分见图 1-3。

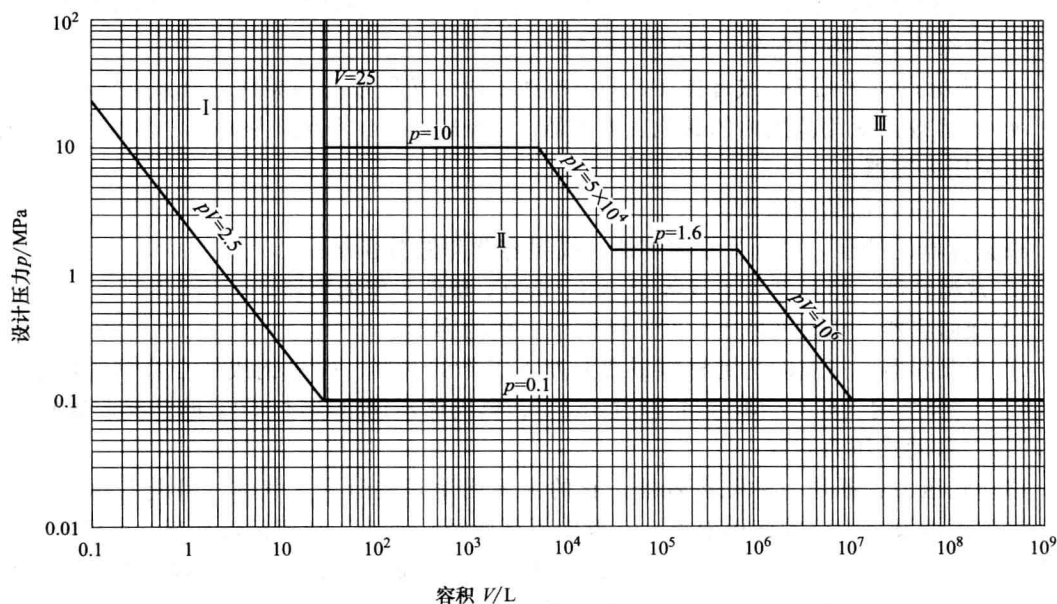


图 1-2 压力容器类别划分图——第一组介质

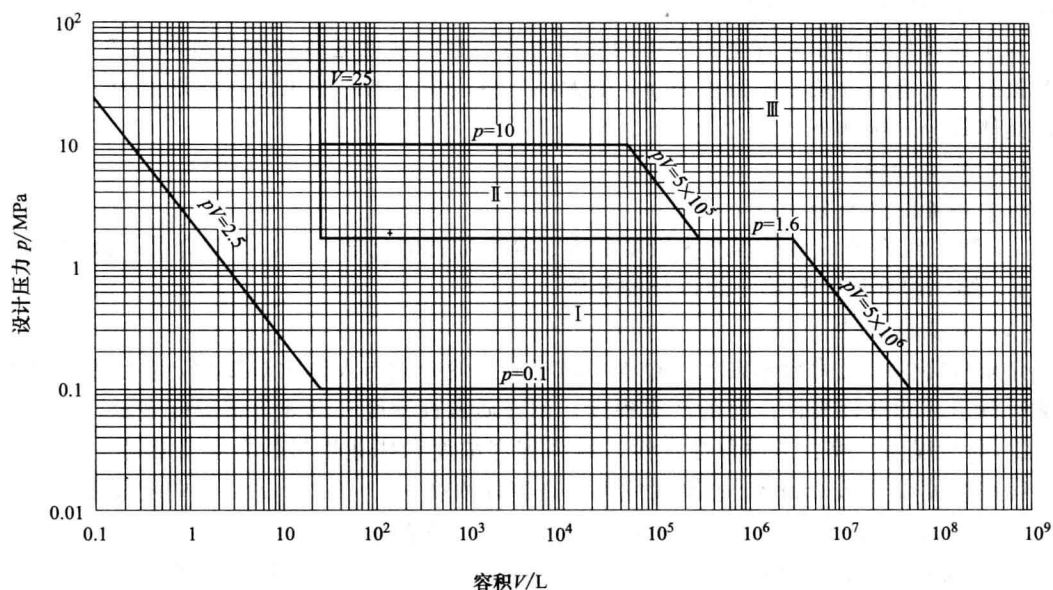


图 1-3 压力容器类别划分图——第二组介质

② 多腔压力容器类别划分 多腔压力容器（如换热器、夹套容器等）按照类别高的压力腔作为该容器的类别并且按照该类别进行使用管理。但是应当按照每个压力腔各自的类别分别提出设计、制造技术要求。对各压力腔进行类别划定时，设计压力取本压力腔的设计压力，容积取本压力腔的几何容积。

③ 同腔多种介质压力容器类别划分 一个压力腔内有多种介质时，按照组别高的介质划分类别。

④ 介质含量极小的压力容器类别划分 当某一危害性物质在介质中含量极小时，应当根据其危害程度及其含量综合考虑，按照压力容器设计单位确定的介质组别划分类别。

⑤ 特殊情况的类别划分 有以下两种：

- i. 坐标点位于图 1-2 或者图 1-3 的分类线上时，按照较高的类别划分其类别；
- ii. 《容规》适用范围内的其他压力容器（《容规》1.4 条范围内的压力容器）统一划分为第 I 类压力容器。

1.1.2.1.4 按容器的壁温分类

根据容器的壁温，可分为常温容器、高温容器和低温容器。

- ① 常温容器 指温度高于或等于 -20°C 条件工作的容器；
- ② 低温容器 指温度低于 -20°C 条件下工作的容器；
- ③ 高温容器 指温度达到材料蠕变温度下工作的容器。碳素钢或低合金钢容器温度超过 420°C 、合金钢（如 Cr-Mo 钢）超过 450°C 、奥氏体不锈钢超过 550°C 的情况，属此范围。

1.1.2.2 移动式压力容器

移动式压力容器是一种贮运容器，它的主要用途是装运永久气体、液化气体和溶解气体。这类容器没有固定的使用地点，一般使用环境经常变迁，管理比较复杂，也比较容易发生事故。移动式容器按其用途不同分为铁路罐车、汽车罐车或长管拖车、罐式集装箱三种。

1.1.3 焊接压力容器主要制造工序及其特点

压力容器的制造方法主要有锻造、焊接、铸造和铆接四种。锻造需大型锻件和锻造设

备,要求高的锻造技术,常用于制造直径较小的超高压设备;铸造容器由于质量尚不稳定,很少使用;至于铆接容器,也由于质量不佳早已被淘汰。目前普遍采用焊接法制造。

尽管压力容器种类很多,但主要的受压部件都由筒体、封头、法兰、接管、支座等零件组成,这些零件的原材料又主要是板材、管材和型钢,所以一台压力容器的制造工序包括:备料、放样划线、切割、边缘加工、弯曲和冲压、拼接、焊接、矫形、焊缝质量检查、热处理装配、压力试验和密封性试验以及表面处理等。

每台容器几乎都需要经过上述工序才能完成,且各工序间的顺序也基本固定不变。为确保下道工序的顺利进行及整体组装质量,每道工序后都设有检验。对过程设备压力容器制造来说,这种工序安排基本上具有固定性。

设备制造大都属于单位和小批量生产的范围。机械厂所制造的设备,其种类、材料及大小往往各不相同,主要根据用户的需要按所提供的设计图样来制造,一般无固定的系列产品。这就是过程设备制造的种类多样性。

此外,根据压力容器运行的安全性要求。其制造质量尤为重要。影响制造质量的因素很多,有设计问题、材料问题、制造工艺问题、质量检验问题,也有管理方面的问题等。为提高和保证制造质量,世界各国都制订了相应的规程、规定、标准和技术要求,在压力容器制造过程中必须遵守。这是过程设备制造的法规性。

压力容器制造的固定性、种类多样性和法规性成为不同于其他机械制造的三个显著特点。

1.1.4 过程设备制造的发展

化工、炼油等装置的大型化,使压力容器的直径、壁厚、体积、重量大为增加,对安全可靠性的要求更高,否则由于事故和停工会造成巨大的损失。因而对设计、制造和检验都提出了更为严格的要求。为了制造大型过程设备,需要重型卷板机、起重设备、高效率的焊接设备、大型热处理炉和厚板检测仪器等。目前各国相继出现了一些先进的工装设备及更为合理的制造工艺。

在切割划线工艺方面,出现电子照相和数控自动划线方法。采用计算机和先进的软件把划线、切割融为一体,使切割精度和效率大大提高。

在切口和坡口加工方面,采用了扩散型割嘴的高速氧气切割,使切割速度提高了1~3倍,精密切割误差不大于0.2~0.05mm。采用电气等离子弧和水射等离子弧切割碳钢和普低钢,比氧气切割快3~5倍,显示了其速度快、质量高的优点。并出现了数控和管子全位置等自动化切割机。

在成型工艺方面,为适应超厚板的卷制要求,卷板机热卷厚度可达380mm,弯板机的冷弯厚度达380mm。热冲压封头的直径达4.5m,壁厚达300mm。封头的旋压成型应用范围很广,直径从1m至20m。壁厚可由很薄到比较厚,如热旋压达120mm。目前,我国卷板机热卷厚度达250mm,冷旋压成型封头的直径达5.2m。

在焊接方面,由于气体保护焊有优质、低耗、高效和可进行全位置焊等特点,近几年来发展很快。窄间隙气体保护焊和粗丝二氧化碳气体保护焊,在厚壁容器焊接中,国外已取代了传统的埋弧自动焊。埋弧自动焊的最新进展是采用多丝、热丝、带极和大电流,以提高其焊接效率,并发展了铁粉埋弧焊,使堆敷效率大为提高。堆焊衬里是石油过程设备制造的一项新工艺,可用多丝埋弧堆焊,热丝等离子弧焊以及带极堆焊等。电渣焊的主要进展是窄间隙电渣焊,它可以减少电能和焊接材料的消耗,输入热量少,焊接速度高,减轻了晶粒粗化现象。等离子弧焊在很多领域内有取代钨极氩弧焊的趋势,大电流等离子弧焊已广泛用于

钛、镍、不锈钢及普低钢的焊接。脉冲等离子弧焊、等离子弧-熔化极气体保护焊工艺也发展很快。爆炸焊接已用于各工业部门，它在设备制造中，主要用于管子与管板的爆炸连接和异种金属的爆炸复合。爆炸复合板已广泛用于设备零件的制造。

在自动化焊接设备方面，出现了具有跟踪焊缝的自动焊机，并用数控控制焊接参数，用工业电视监视焊接过程等装置。此外，还发展了数控管子与管板焊机、管子全位置自动焊机、球形容器自动焊机等各种专用焊接设备。

为了适应大型容器的退火及某些低合金高强钢容器的调质处理，除了出现大型的砖砌加热炉之外，还发展了轻型加热炉。轻型炉的炉壁和炉顶都是用薄钢板衬陶瓷纤维、玻璃纤维、矿渣棉等组成，因此结构轻便、造价低，且升温快，节约燃料。淬火工艺有喷淋式淬火和入浸式淬火。此外，还有内部燃烧和局部加热退火，前者多用于球形容器而后者多用于大型筒体环焊缝及现场组焊焊缝的退火。局部加热方法有工频电加热、电阻加热和红外线加热，以红外线加热应用最多。

在无损检验方面， γ 射线检测采用了 Co^{60} 、 Ir^{192} 、 Cs^{137} 等同位素探测不同厚度的钢材。由于其灵敏度较低，须用超微粒胶片和铅箔增感。X射线检测由于受到X光管的限制，最高管电压是420kV，检测厚度最大为100mm。近年来的发展有轻型化和组件化，便于携带和现场检查，小焦点，使检测灵敏度提高；自动化发展了各种X射线影像屏幕显示，包括工业射线电视法等。

高能射线检测有直线加速器和电子感应加速器，都适用于厚板检测。直线加速器的灵敏度稍低于感应加速器，但它的辐射强度大，透照所需时间短，因此直线加速器更为先进。

超声波检测主要进展是在检测设备方面，包括仪器标准化和检测标准，检测结果的重现、记录和自动检测。例如，采用B型及C型扫描，数字显示、显像、自动记录和拍照，采用多探头计算机处理数据的自动检测系统。但目前焊缝检测的自动化还存在装置复杂、价格昂贵、灵敏度差等问题，而且发现缺陷后，往往还须手工复检。

磁粉、着色、涡流等表面检测方法，也广泛用于设备制造。它们也在向自动化检测发展，例如用荧光磁粉，配备光电检测系统，可实现半自动化磁粉检测。涡流检测的线圈不与工件接触，所以易对管子、棒料实现自动化检测。

声发射是20世纪60年代中期发展起来的一项新技术，它已广泛用于材料试验和断裂力学的研究等方面。在设备制造中，主要用于水压试验及压力容器使用过程的监控。

1.2 压力容器受压元件

压力容器中按几何形状划分的基本承压单元称为受压元件。一个封闭的承压结构往往包括多个受压元件。例如，一个圆筒形容器，可以分为圆筒体和封头两大受压元件，圆筒上的接管、人孔及人孔盖则又是另外的受压元件。

按《固定式压力容器安全技术监察规程》，压力容器本体中的主要受压元件，包括壳体、封头（端盖）、膨胀节、设备法兰、球罐的球壳板、换热器的管板和换热管、M36以上（含M36）的设备主螺柱以及公称直径大于或者等于250mm的接管和管法兰。

1.2.1 球壳

球形容器的本体是一个球壳，一般都是焊接结构。球形容器的直径一般都比较大，难以整体或半整体压制成形，所以它大多是由许多块按一定的尺寸预先压制成形的球面板组焊而成。这些球面板的形状不完全相同，但板厚一般都相同。只有一些特大型、用以贮存液化气

体的球形贮罐，球体下部的壳板材比上部的壳板要稍微厚一些。

从壳体受力的情况来看，最适宜的形状是球形。因为在内压力作用下，球形壳体的应力是圆筒形壳体的 1/2，如果容器的直径、制造材料和工作压力相同，则球形容器所需要的壁厚也仅为圆筒形的 1/2。从壳体的表面积来看，球形壳体的表面积要比容积相同的圆筒形壳体小 10%~30%（视圆筒形壳体高度与直径之比而定）。球形容器表面积小，所使用的板材也少，再加上需要的壁厚较薄，因而制造同样容积的容器，球形容器要比圆筒形容器节省板材约 30%~40%。但是球形容器制造比较困难，工时成本较高，而且作为反应或传热、传质用容器，既不利于在内部安装工艺附件装置，也不利于内部相互作用的介质的流动，因此球形容器仅用作贮存容器。

球壳表面积小，除节省钢材外，当需要与周围环境隔热时，还可以节省隔热材料或减少热的散失。所以球形容器最适宜作液化气体贮罐。目前大型液化气体贮罐多采用球形。此外，有些用蒸汽直接加热的容器，为了减少热损失，有时也采用球体，如造纸工业中用于蒸煮纸浆的蒸球等。

1.2.2 圆筒壳

圆筒形容器是使用的最为普遍的一种压力容器。圆筒形容器比球形容器易于制造，便于在内部装设工艺附件及内部工作介质的流动，因此它广泛用作反应、换热和分离容器。圆筒形容器由一个圆筒体和两端的封头（端盖）组成。

1.2.2.1 薄壁圆筒壳

中、低压容器的筒体为薄壁（其外径与内径之比不大于 1.2）圆筒壳。薄壁圆筒壳除了直径较小者可以采用无缝钢管外，一般都是焊接结构，即用钢板卷成圆筒后焊接而成。直径小的圆筒体只有一条纵焊缝；直径大的可以有两条甚至多条纵焊缝。同样，长度小的圆筒体只有两条环焊缝，长度大的则有多条。圆筒体有一个连续的轴对称曲面，承压后应力分布比较均匀。由于圆筒体的周向（环向）应力是轴向应力的两倍，所以制造圆筒时一般都使纵焊缝减至最少。

容器的筒体直径以公称直径 DN 表示。用无缝钢管制作的圆筒体，其公称直径是指它的外径；对于焊接的圆筒体，公称直径是指它的内径。按 GB/T 9019—2001《压力容器公称直径》，筒体用钢板卷制时，容器公称直径按表 1-1 规定。

表 1-1 压力容器公称直径												mm	
300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1100
1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000	5200

1.2.2.2 厚壁圆筒壳

高压容器一般都不是贮存容器，除少数是球体外，绝大部分是圆筒形容器。因为工作压力高，所以壳壁较厚，同样是由圆筒体和封头构成。厚壁圆筒的结构可分为单层筒体、多层板筒体和绕带式筒体三种形状。

(1) 单层筒体

单层厚壁筒体主要有三种结构形式，即整体锻造式、锻焊式和厚板焊接式。

① 整体锻造式厚壁筒体 是全锻制结构，没有焊缝。它是用大型钢锭在中间冲孔后套入一根芯轴，在水压机上锻压成形，再经切削加工制成的。这种结构，金属消耗量特别大，其制造还需要一整套大型设备，所以目前已很少采用。

② 锻焊式厚壁筒体 是在整体锻造式的基础上发展起来的。它由多个锻制的筒节组装