

实用压力容器 焊工读本

SHIYONG YALIRONGQI
HANGONG DUBEN

● 孙景荣 主编



化学工业出版社

实用压力容器焊工读本

孙景荣 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

实用压力容器焊工读本/孙景荣主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 8
ISBN 7-5025-9228-8

I. 实… II. 孙… III. 压力容器-焊接 IV. TG457.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 101494 号

实用压力容器焊工读本

孙景荣 主编

责任编辑: 周 红

文字编辑: 项 激

责任校对: 陈 静

封面设计: 韩 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 227 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9228-8

定 价: 19.00 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

前 言

压力容器是一种特殊的焊接结构，它比较容易发生事故且事故的危害较为严重。随着我国改革开放的深入，压力容器的应用范围不断扩大，数量不断增加。在化工、炼油、医药等行业中，压力容器几乎成为生产中的主要设备。设备的增多，随之而来的安全问题，显得非常突出。近年来，国内已经多次发生压力容器爆炸伤人的恶性事故。因此，压力容器安全是“人命关天的事，一定要慎之又慎，确保万无一失”。中央领导同志针对一起压力容器事故曾指示：“像锅炉、压力容器这类设备，它的质量好坏，直接关系到国家财产和人民生命安全，切不可稍有疏忽。”“对制造、安装每个环节，都必须进行严格质量检验，不合格产品绝对不允许出厂和使用，运行中的设备，也必须进行检查，及时发现和消除隐患，防患于未然”。

保证压力容器生产和使用安全，是从事压力容器生产制造、管理以及压力容器使用人员义不容辞的责任和义务。本书就是根据目前国内压力容器的生产现状而编写的，旨在指导压力容器生产一线的焊接工人规范焊接工艺，以此提高焊接压力容器的产品质量，保证压力容器安全使用。

本书为压力容器制造、焊接过程中的焊工技术通俗读本。根据压力容器安全方面的内容和要求，从生产实际出发，根据国家标准《钢制压力容器》（GB 150—1998）、《管壳式换热器》（GB 151—1999）、《压力容器焊接工艺评定》（JB 4708—2000）、《压力容器安全技术监察规程》（1999 版）、《气瓶安全监察规程》（2000 版）等有关法规、标准，结合国内生产现状，特别是焊接生产现状，着重讲解了有关压力容器的基本知识、国家有关压力容器的法律、法规；压力容器设计、制造、材料选用以及各种金属材料在相应技术

条件下的压力容器焊接工艺和方法。特别介绍了对焊工技能素质的要求，以及焊接工艺评定程序、焊后检验等内容。

本书主要供从事压力容器焊接的技术工人阅读、自学，也可供焊接技术管理人员以及焊接工艺规程的编制人员等学习与参考。

全书由孙景荣主编，其中第2章为刘文贤编写，第6章由崔延鹏编写。由于编者水平所限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2006年6月

欢迎订阅我社焊接图书

书名	定价
过程设备焊接	27
不锈钢及耐蚀耐热合金焊接 100 问	17
低合金调质高强度钢焊接及工程应用	25
管道焊接技术	48
焊接修复技术	35
焊接组织性能与质量控制	48
特殊及难焊材料的焊接	48
低合金钢焊接及工程应用	50
焊接材料实用基础知识	32
焊接材料、工艺及设备手册	130
电焊条选用指南（三版）	44
焊丝选用指南	37
焊接与切割操作技能	42
有色金属焊接技术	38
焊接质量控制与检验	37
实用焊接技术丛书——钎焊技术及应用	23
实用焊接技术丛书——气体保护焊工艺及应用	38
实用焊接技术丛书——焊接材料的选用	44
实用焊接技术丛书——异种难焊材料的焊接及应用	42
实用焊接技术丛书——表面堆焊与热喷涂技术	39
实用焊接技术丛书——切割技术及应用	38
实用焊接技术丛书——特种焊接技术及应用	38
实用焊接技术丛书——复合材料的焊接	28

化学工业出版社出版机械、电气、化学、化工、环境、安全、生物、医药、材料工程、腐蚀和表面技术等专业科技图书。如要出版新著，请与编辑联系。如需要以上图书的内容简介和详细目录，或需要更多的科技图书信息，请登录 [www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)。

邮购：010 64982530，64918013，64982630（传真）（发行部邮购科）

编辑：010 64918069

Email：[kinglily@163. com](mailto:kinglily@163.com)

目 录

第 1 章 压力容器概述	1
1.1 压力容器的管理和监察	2
1.2 压力容器的分类	4
1.2.1 按压力等级分类	4
1.2.2 按工艺用途分类	4
1.2.3 按介质的危害程度分类	5
1.2.4 压力容器的类别	6
1.2.5 压力容器的代号标注	7
1.3 国家有关压力容器管理的法律、法规与标准	8
1.4 压力容器制造	10
1.4.1 成形与装配	10
1.4.2 焊接	11
1.4.3 焊接缺陷	15
1.4.4 压力容器组装缺陷	17
1.5 压力容器检验	18
1.5.1 加工成形检验	18
1.5.2 焊缝检验	19
1.5.3 焊接试板和试验	20
1.5.4 力学性能试验	22
1.5.5 无损探伤	23
1.5.6 压力试验和气密性试验	26
1.5.7 压力容器的出厂要求	28
1.6 压力容器制造管理	28
1.6.1 压力容器的制造条件	28
1.6.2 资格审批	29
1.6.3 日常管理与监督检查	30
1.6.4 质量保证体系和质量保证手册	30

1.6.5 产品制造质量监督检验	31
第2章 压力容器材料选用	33
2.1 材料的性能	33
2.1.1 力学性能	33
2.1.2 物理性能	34
2.1.3 耐蚀性	35
2.1.4 工艺性能	35
2.1.5 其他性能	36
2.2 制造工艺	36
2.2.1 轧制和锻造	36
2.2.2 焊接	36
2.2.3 腐蚀	37
2.2.4 氢脆	38
2.2.5 温度	38
2.3 压力容器材料选用	38
2.3.1 一般原则	38
2.3.2 碳素钢	39
2.3.3 低合金钢	40
2.3.4 复合钢板	41
2.3.5 低温容器和高温容器用钢	41
2.3.6 有色金属	42
2.3.7 紧固件	45
2.4 压力容器常用电焊条	45
2.4.1 电焊条的分类	49
2.4.2 电焊条的型号和牌号	50
2.4.3 电焊条的牌号划分	56
2.4.4 电焊条的选用	59
2.4.5 电焊条的保管和使用	60
第3章 焊接管理与质量保证	63
3.1 焊接生产定额管理	63
3.1.1 焊接材料消耗定额	63
3.1.2 劳动工时定额	72
3.2 焊工管理	73

3.2.1	焊工考核的重要性	74
3.2.2	压力容器焊工考试的内容及方法	74
3.2.3	压力容器焊工考试的具体要求	83
3.2.4	考试结果与评定	85
3.2.5	持证焊工管理	92
3.3	压力容器焊接工艺评定	95
3.3.1	焊接工艺评定的目的	95
3.3.2	焊接工艺评定的程序	95
3.3.3	焊接工艺评定的规则	98
3.3.4	试验要求和评定结果	113
3.4	压力容器焊接工艺规程	119
3.4.1	焊接工艺规程的作用	119
3.4.2	编制焊接工艺规程的原则	120
3.4.3	制定焊接工艺规程的依据	121
3.4.4	焊接工艺规程的内容	121
第4章	压力容器常用钢材焊接特点及工艺	122
4.1	低、中碳钢的焊接	122
4.1.1	常用低、中碳钢的成分和性能	122
4.1.2	低碳钢的焊接	122
4.1.3	低碳钢在低温状态的焊接	124
4.1.4	中碳钢的焊接	125
4.2	低合金钢的焊接	126
4.2.1	低合金钢的分类	126
4.2.2	16Mn 类钢的焊接	127
4.2.3	低温 3.5Ni 钢的焊接	129
4.3	铬钼耐热钢的焊接	130
4.3.1	常用的铬钼耐热钢牌号、成分和性能	130
4.3.2	铬钼耐热钢的焊接要点	133
4.3.3	铬钼耐热钢的焊接工艺	135
4.4	奥氏体不锈钢的焊接	138
4.4.1	奥氏体不锈钢的牌号、成分和性能	138
4.4.2	奥氏体不锈钢的焊接特点	139
4.4.3	奥氏体不锈钢的焊接工艺	144

第 5 章 典型压力容器的焊接工艺	150
5.1 纯镍蒸发器的焊接	150
5.1.1 蒸发器结构及材料	150
5.1.2 焊前准备	151
5.1.3 焊接工艺	153
5.1.4 焊后检验要求	154
5.2 高硅不锈钢容器的焊接	154
5.2.1 高硅不锈钢的性能和特点	155
5.2.2 高硅不锈钢的焊接	155
5.3 电站锅炉 10CrMo910 钢的焊接	157
5.3.1 母材性能因素	157
5.3.2 焊接工艺评定	158
5.3.3 焊接准备与装配	160
5.3.4 焊接工艺规范	161
5.3.5 焊后消氢及热处理	163
5.3.6 焊接检验	163
5.4 高压储罐的焊接工艺	163
5.4.1 材料选择及焊接性试验	164
5.4.2 焊接工艺	165
5.4.3 焊接检验	166
5.5 Q235/TA2 复合钢板的焊接	167
5.5.1 钛钢复合板的焊接性能	167
5.5.2 钛钢复合板的焊接接头设计	168
5.5.3 焊接材料的选择	168
5.5.4 焊前准备	169
5.5.5 焊接	169
5.5.6 焊缝质量检验	170
5.6 立式储罐倒装法埋弧自动焊工艺	171
5.6.1 倒装法简述	171
5.6.2 埋弧自动横焊设备	172
5.6.3 焊接工艺	173
5.6.4 焊缝质量检验	175
5.7 厚壁不锈钢容器的埋弧自动焊工艺	175

5.7.1	316L 钢的焊接性能	176
5.7.2	焊前准备	177
5.7.3	焊接工艺	178
5.7.4	焊缝检验	178
5.8	铝制铁路运输罐车的焊接工艺	179
5.8.1	焊前准备	179
5.8.2	焊接工艺	180
5.8.3	焊缝质量检验	181
5.9	HK-40 炉管与 SUS321 管板异种钢的焊接工艺	181
5.9.1	设备概况	181
5.9.2	焊前准备	182
5.9.3	焊接工艺	183
5.9.4	焊缝检验	184
5.10	天然气长输压力管道的焊接工艺	184
5.10.1	焊前准备	184
5.10.2	焊工培训	186
5.10.3	焊接工艺	186
5.10.4	焊缝检验	187
第 6 章	焊接接头的检验及试验	188
6.1	焊接材料质量评定试验	188
6.1.1	电焊条的质量评定试验	188
6.1.2	焊剂质量评定试验	204
6.1.3	焊丝质量评定试验	210
6.2	焊接性试验	211
6.2.1	焊接性的定义及分类	211
6.2.2	焊接性的间接试验方法	213
6.2.3	焊接性的直接试验方法	216
6.3	产品质量检验	230
6.3.1	焊缝的无损检验	230
6.3.2	焊接接头的力学性能试验	236
6.3.3	焊接接头的晶间腐蚀试验	245
6.3.4	压力容器的致密性试验	249
第七章	压力容器焊工安全与保护	251

7.1 焊作业的危險因素和有害因素	251
7.2 焊接设备安全技术	253
7.3 电焊工操作安全技术	254
7.4 电焊工劳动保护	257
参考文献	260

第 1 章 压力容器概述

器壁两侧存在着一定的压力差的所有容器，统称为压力容器。这是压力容器在广义上的定义。

压力容器广泛地存在于现代社会中，小到人们日常生活中经常接触的易拉罐、高压锅、液化气罐等，大到各行业生产装备中使用的各种“压力容器”，如万吨巨轮、深水潜艇、喷气式飞机、导弹等军事装备，甚至我国成功发射的“神舟六号”返回舱等航天设备，都属于压力容器。所以说，压力容器遍布工业生产、基础设施建设、医药、食品、纺织、国防、科研、航天以及人们日常生活等国民经济的各个领域。

由于压力容器承受压力载荷，所以压力容器也称为受压容器。压力容器在生产工况条件中，是人为地将压力载荷提升、积蓄，使之具备了能量释放的可能性和危险性，也就是会发生泄漏和爆炸。这种可能性和危险性与容器的介质、容积、压力载荷以及结构、用途等有关。实际上，只有一部分压力容器，容易发生事故，而且事故的危险性比较大。这部分压力容器，大多是工业生产中承载压力的容器。我国对这类设备的监督管理机构是国家质量监督检验检疫总局。

压力容器的工作压力是指容器在正常使用过程中，所承受的最高压力载荷。一般来说，工作压力越高，或者容器的容积越大，则爆炸时的气体膨胀所释放的能量也越大，事故的危害性越严重。但是，压力和容积范围的划分，并不像工作介质那样有一个明显的界限。我国目前纳入《压力容器安全技术监察规程》的压力容器，应同时具备下列三个条件：

- ① 最高工作压力 $p_w \geq 0.1 \text{ MPa}$ （不含液体静压）；
- ② 内直径（非圆形截面指其最大尺寸）不小于 0.15 m ，且容

积 $V \geq 0.025\text{m}^3$;

③ 盛装介质为气体、液化气体或最高工作温度高于或等于标准沸点的液体。

部分纳入《压力容器安全技术监察规程》适用范围的压力容器如下:

① 与移动压缩机一体的非独立的容积大于 0.15m^3 的储罐、锅炉的分汽缸;

② 容积小于 0.025m^3 的高压力容器;

③ 深冷装置中非独立的压力容器、直燃型吸收式制冷装置中的压力容器、空分设备中的冷箱;

④ 螺旋板式换热器;

⑤ 水力自动补气气压给水(无塔上水)装置中的气压罐、消防装置中的气体或气压给水(泡沫)压力罐;

⑥ 水处理设备中的离子交换器或过滤用压力容器、热水锅炉用膨胀水箱;

⑦ 电力行业专用的全封闭式组合电器(电容压力容器);

⑧ 橡胶行业使用的轮胎硫化机及承压的橡胶模具。

1.1 压力容器的管理和监察

在 GB 150《钢制压力容器》中,对纳入压力容器管理范畴的这些特种压力容器,从设计、制造、使用等各个环节,都明确确定了安全监察和管理的条例和法规。压力容器的全过程管理,正逐步向适应市场经济发展。

各行业必须依法使用压力容器。从选购、设计、制造、安装、使用和维修改造等,都必须按相应的法规要求进行。使用单位必须向有制造许可证的单位选购压力容器,制造单位要满足适用性、安全性和经济性,并要求制造单位提供如下文件。

① 产品合格证。

② 产品质量证明书及产品铭牌的拓印件。

③ 产品安全质量监督检验证书。

④ 产品竣工图。

⑤ 产品质量证明的附页，包括如下几项：

a. 产品技术特性表；

b. 产品主要受压元件使用材料表；

c. 产品焊接试板力学和弯曲性能检验报告；

d. 外观及几何尺寸检验报告；

e. 焊缝射线探伤报告或超声波检测、渗透检测、磁粉检测报告；

f. 焊缝探伤情况表；

g. 压力试验报告。

⑥ 对移动式压力容器，还应提供产品使用说明书（含安全附件的使用说明书）、随车工具及安全附件清单。

⑦ 有封头、锻件等受压元件的，还应提供受压元件质量证明书。

⑧ 容器到货后，还应检查容器本体必须设置的产品铭牌和注册铭牌。

具备以上条件的压力容器，还不能擅自安装使用，必须委托取得相应制造资格的单位或者是经安装单位所在地的省级安装监督机构批准的安装单位，也就是说，必须由具有压力容器制造或安装资质的单位，进行压力容器的安装。若还有与容器关联的压力管道（如蒸汽、压缩空气等）时，还必须请有设计资质的设计单位进行压力管道的设计，出图后一并安装。

在安装压力容器之前，将前面所列的压力容器随机文件原件，提交当地技术监督部门，填报压力容器安装申报表，获得批准后，安装单位才可进入现场施工。安装竣工后，要求安装单位提交包括安装申报表、压力管道安装安全质量监督证书、压力管道安装一览表、设备检验记录、安全阀和压力表等安全附件检验报告书或检验使用证明和安装记录、阀门、管材等的合格证明书，以及安装过程中的其他有关记录、图表等合订的《压力容器安装交工技术文件》，收回压力容器的随机资料，将以上这些资料全部带到当地质量技术监督

监督局，办理压力容器注册登记，领取《压力容器使用证》。此时，压力容器才具备了使用的前提。

压力容器使用单位还必须配备经地、市级安全监察机构认可的，经培训考核合格的压力容器操作人员并持证上岗，才可以合法地使用压力容器。

此外，压力容器使用单位，还必须指定具有压力容器专业知识、熟悉国家相关法规和标准的工程技术人员，负责压力容器的安全管理工作，要求管理好本企业压力容器以及操作人员。

1.2 压力容器的分类

压力容器的种类繁多，不同类别的压力容器，其存在的危险程度也不同。所以，应对不同类别的压力容器采用不同的管理方法和管理措施。为便于压力容器的设计、制造、安装使用和维护、检修、检验等，按类别进行全过程的跟踪管理，必须对压力容器进行分类。

1.2.1 按压力等级分类

工作压力是压力容器最主要的一个工作参数。从安全角度考虑，容器的工作压力越大，发生爆炸的可能性和危险性也越大。所以，按其设计压力进行分级，便于对压力容器进行管理和监督。我国现行的《压力容器安全技术监察规程》，是按压力容器的设计压力（ p ）划分为低压、中压、高压、超高压四个等级。其具体的划分标准如下：

① 低压（代号 L） $0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$ 。

② 中压（代号 M） $1.5\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$ 。

③ 高压（代号 H） $10\text{MPa} \leq p < 100\text{MPa}$ 。

④ 超高压（代号 U） $p \geq 10\text{MPa}$ 。

压力容器的设计压力在以上四个等级范围内，分别称为低压容器、中压容器、高压容器、超高压容器。

1.2.2 按工艺用途分类

压力容器根据在生产中所起的作用，可归纳为四大类。

① 反应容器（代号 R） 主要用于完成介质的物理、化学反应。这类容器的压力源于两种，即加压反应和反应升压。常用的反应容器有：反应釜、高压釜、合成塔、变换炉、蒸煮锅、蒸压釜、煤气发生炉等。

② 换热器（代号 E） 主要用于完成介质的热量交换，达到生产工艺过程中所需要的将介质加热或冷却的目的。其主要过程是物理过程。按传热的方式可分为蓄热式、直接式和间接式三种，较常见的是直接式和间接式。常用的有管壳式余热锅炉、热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、消毒锅、染色器、蒸炒锅、溶剂预热器、蒸脱机、蒸汽发生器、水夹套等。

③ 分离压力容器（代号 S） 主要用于完成介质的流体压力平衡、缓冲和气体净化分离。介质在分离器内通过降低流速、改变流动方向或用其他物料吸收、溶解等方法来分离气体中的混合物，达到净化气体或提取其中有有用物料的目的。分离器的名称较多，按容器的作用分为分离器、净化器、回收塔、吸收塔、洗涤塔、过滤器等。

④ 储存压力容器（代号 C，其中球罐代号为 B） 主要用于储存或盛装气体、液体、液化气体等介质，保持介质压力稳定。常用的压缩空气储罐、压力缓冲罐等，都属于这类容器。由于工作介质不发生物理或化学变化，所以结构较简单，一般由壳体、出入人孔、接管和一些外部附件（如支座、保温层、扶梯等）构成。常为直立或卧式圆筒形容器，大型的储罐则为球罐。

1.2.3 按介质的危害程度分类

压力容器的介质在发生事故时的危害程度，取决于介质的物理、化学特性，也就是介质是否易燃、易爆或有毒性。《压力容器安全技术监察规程》中注明，压力容器中化学介质的毒性程度和易燃介质的划分，参照 HGZO 660《压力容器中化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类》的规定。

易燃介质是指与空气的爆炸下限不高于 10%，或爆炸上限和下限之差不低于 20% 的气体，如乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、