

李平瑾 徐道荣 主编

锅炉压力容器焊接技术 及焊工问答



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书是为配合技术监督部门和各主管部门对锅炉压力容器制造单位进行检查、验收并换发“制造许可证”、培训焊工以及提高与锅炉压力容器相关技术人员的焊接知识而编写的。

本书的特点是以讲解锅炉压力容器常用的国内外最新版本标准、规范的形式结合生产实践经验和科研成果，将锅炉压力容器的基础知识、常用金属材料、焊接材料、焊接冶金、焊接工艺及设备、焊接缺陷及检验等较全面地、有机地揉合在各章节之中。

全书以问答形式，内容深入浅出、简明易懂、重点突出；章节之间融会贯通、衔接有序、思路清晰。书中还收集了“压力容器失效分析典型实例”，从机理上探讨各种因素对设备损伤的影响及防治措施。

本书可供锅炉压力容器的结构设计、制造、焊接、检验和使用的工程技术人员、大中院校的师生阅读，也可作为焊接技师自学和焊工培训的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉压力容器焊接技术及焊工问答/李平瑾，徐道荣主

编. —北京：机械工业出版社，2004.1

ISBN 7-111-13109-6

I. 锅... II. ①李... ②徐... III. ①锅炉-焊接-

问答②压力容器-焊接-问答 IV. TK226-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 084230 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：沈红、王正琼 版式设计：冉晓华

责任校对：李汝庚 封面设计：陈沛

责任印制：路琳

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32·13.75 印张·365 千字

0001-5000 册

定价：28.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

20世纪80年代,为配合劳动部门和各主管部门对锅炉压力容器制造单位的检查、验收以及发放“制造许可证”的需要,编者先后以“中国机械工程学会压力容器学会”和“中国压力容器标准化技术委员会制造分委员会”的名义主编了《压力容器焊工问答》,该书的第1版和第2版先后由机械工业出版社于1984年12月和1989年5月出版。它既作为一本科普性质的书籍,又是一本专业性很强在入门书籍,对填补与锅炉压力容器相关技术人员的焊接专业知识和提高焊工的技术素质起到促进作用。在同类书籍中,该书受到全国锅炉压力容器行业界各类技术人员和培训焊工的教师的欢迎和好评。

近十多年来,随着我国工业的发展以及与国际接轨的需要,大量的标准规范以及规程等都作了修订,普遍提高了对钢材、焊材、制造、设计和使用的要求。与此同时,相关领域涌现出大批的研究成果,例如,武汉钢铁公司和舞阳钢铁公司先后会同有关科研院所、高等院校和制造厂,开发了一系列高韧性的锅炉压力容器用钢,包括调质钢、正火钢、中温抗氢钢和镍系低温钢等。国内一些大、中型锅炉压力容器制造厂,例如,兰州石油化工机器厂、金州重型机器厂、南京化工机械厂、锦西化工机械厂、长沙化工机械厂、上海锅炉厂、哈尔滨锅炉厂、东方锅炉厂等以及诸多建设或安装工程公司,采用国产或进口的各种高韧性钢材(高强度钢、低温钢和耐热钢等)、锻件和焊材,制造出许多大型高难度的设备。本书将这些试验研究的动向和最新成果扼要地反映在有关章节之中,以供读者借鉴。

在这十多年期间,作者既参与一些国家级的攻关课题,也接触不少工程实践,积累了诸多经验,特别是如何现场处理一些高

难度的典型设备的焊接和修复技术。为此，编者针对锅炉压力容器的运行特点，设备对材料、制造、焊接和使用的特殊要求，工程实践中容易出现的焊接裂纹、腐蚀破坏、材质脆化或劣化等质量问题进行综合分析和阐述，并将一些典型设备失效分析的实例列于附录。此外，将受同行关注的相关标准规范中新的变化、新的工程应用成果、实践经验以及某些错误或教训一并奉献给读者。使本书既带有便于查找的手册性特征；又疏导读者深入思索、分析和判断，因此，具有较强的实用价值。

参加本书编写的成员：第1、3、4、8章李平瑾；第5、6章徐道荣；第10章杜护军；第2章肖有谷、李平瑾；第7章李平瑾、董家祥；第9章李平瑾、徐道荣。全书各章最后由李平瑾修改定稿。

本书在编写过程中，得到中国机械工程学会压力容器分会的支持和帮助。本书附录中的一些实例，除了编者书写之外，参加工作或部分编写的还有卜华全、范宇、柯嘉源、刘少平、张姚、吕运容、吴志海、魏安安、关卫和、阎长周、杜护军、罗小兰、张作伟、沈民杰、顾雪东等。武汉水利电力学院钱昌黔、李朝志等和合肥通用机械研究所李蓉蓉、艾志斌、王家辉等不仅参加工作和编写，还提供金相照片，在此一并表示感谢！

由于作者的水平有限，错误缺点在所难免，希望读者批评指正。

编者

2003年8月

目 录

前言

第一章 压力容器基础知识	1
1-1 何谓压力容器？如何分类？	1
1-2 压力容器主要由哪几部分构成？	2
1-3 我国压力容器制造的状况如何？	3
1-4 我国容器的安全性状况如何？	7
1-5 我国压力容器标准化体系及内容如何？	8
1-6 GB150—1998《钢制压力容器》的适用范围如何？	9
1-7 《压力容器安全技术监察规程》对压力容器的 范围如何监察？	10
1-8 《压力容器安全技术监察规程》对压力容器的 管理如何分类？	11
1-9 为何 GB150 不采纳《压力容器安全技术监察规程》 对容器的分类？	12
1-10 GB150 对压力容器的焊接接头（焊缝）如何分类？	13
1-11 压力容器受压元件几何尺寸有哪些主要允许偏差？ 其要求如何？	15
1-12 《压力容器安全技术监察规程》对第三类容器的原材料复验和 制造检验有何特殊要求？	17
1-13 《压力容器安全技术监察规程》对一、二类容器的原材料复验 和制造检验有何要求？	18
1-14 什么情况下钢板要逐件进行超声波检测？	19
1-15 压力容器及受压元件在哪些情况下要进行焊后热处理？ 其目的是什么？	20
1-16 什么情况下容器及受压元件的焊接接头要 100% 的射线或 超声波检测？	21

1-17	哪些容器每台要带产品焊接试板?	22
1-18	简述焊接工艺评定对接焊缝试件的检验项目及合格指标	23
1-19	简述焊接产品试板焊接接头试件的检验项目及合格指标	24
1-20	国内外焊工技能评定有何差异?	26
1-21	2002年颁布的《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》 与1988年的“考规”有哪些差异?	28
1-22	压力容器焊缝返修要求如何?	31
1-23	压力容器的压力试验和气密性试验有何规定?	32
第二章 锅炉压力容器用材料		34
2-1	锅炉压力容器对材料有哪些要求?	34
2-2	何谓材料的力学性能? 主要性能指标有哪些? 其含义如何?	34
2-3	锅炉压力容器用钢的高温强度指标有哪些? 其含义如何?	39
2-4	简述合金元素在钢中的作用及其对容器用钢发展的影响	41
2-5	锅炉压力容器用钢如何分类?	43
2-6	为何要控制钢中硫磷含量?	44
2-7	何谓沸腾钢和镇静钢?	45
2-8	简述我国的钢号表示法, 并举例说明	46
2-9	何谓钢的热处理? 简述其基本原理	47
2-10	简述热处理的种类及其作用	50
2-11	简述锅炉压力容器用钢中常见的金相组织及其性能	52
2-12	10号钢和16MnR钢在常温下的金相组织有何差异?	54
2-13	锅炉压力容器用钢的韧性有何特殊要求? “韧性” 评定方法有何发展?	54
2-14	何谓材料的断裂韧度?	56
2-15	材料的断裂韧度与传统的材料强度、塑性和 韧性有何差别?	58
2-16	何谓延性断裂和脆性断裂? 简述其特点及预防措施	59
2-17	我国标准对普通质量等级碳钢的应用有哪些限制?	60
2-18	何谓低合金高强度钢? 为何在压力容器 制造中得到广泛运用?	61
2-19	容器钢有何特殊要求? 试比较 Q235-A·F、Q235-A 和20R的区别	62

2-20	锅炉压力容器应用最广的低合金钢有哪些？ 其应用情况如何？	63
2-21	列举强度较高、综合性能较好的压力容器用钢， 说明其应用情况以及存在的问题	63
2-22	简述我国压力容器钢板标准近期的修订情况	64
2-23	列举压力容器常用碳素钢和低合金钢的化学成分	66
2-24	列举压力容器常用碳素钢和低合金钢的力学性能	67
2-25	简述锅炉用钢板标准近期的修订情况	69
2-26	列举我国锅炉用钢的化学成分	70
2-27	列举我国锅炉用钢的力学性能	70
2-28	何谓中温抗氢钢？其主要特点是什么？	71
2-29	简述我国锅炉压力容器常用中温抗氢钢的应用情况	72
2-30	何谓回火脆性？如何控制加氢反应器材料的回火脆性？	76
2-31	简述高温高压临氢设备材料选用的准则	79
2-32	如何对待在役的不符合现行“纳尔逊曲线”准则 的旧设备？	79
2-33	简述我国低温压力容器用碳锰钢的发展和应用情况	83
2-34	简述我国低温压力容器用 Ni 系低合金钢的发展和应用情况	84
2-35	简述我国低温压力容器用钢板标准近期的修订情况	86
2-36	列举我国低温压力容器用钢的化学成分和力学性能	87
2-37	对压力容器用锻件有何特殊要求？锻件如何分级？	88
2-38	简述压力容器钢锻件标准 1994 年版的修订情况	89
2-39	2000 年版的压力容器锻件标准有何变更？	91
2-40	列举压力容器碳素钢和低合金钢锻件的化学成分和 力学性能	92
2-41	列举压力容器低温用低合金钢锻件的化学成分和力学性能	94
2-42	列举压力容器不锈钢锻件的化学成分和力学性能	95
2-43	锅炉压力容器常用的不锈钢有哪些？简述常用 铁素体型不锈钢	96
2-44	简述石化工业常用的奥氏体不锈钢及其应用	97
2-45	何谓双相不锈钢？它有何特点？简述其发展和应用情况	101
2-46	简述我国石化工业中常用的双相不锈钢	102
2-47	列举锅炉压力容器常用不锈钢的化学成分和力学性能	104

2-48	何谓材料的耐蚀性能? 如何分类?	105
2-49	何谓晶间腐蚀? 如何进行检验? 简述其产生 原因及预防措施	106
2-50	何谓应力腐蚀? 简述其机理及压力容器常见的 应力腐蚀开裂	108
2-51	工业用钛及钛合金有哪些特点?	109
2-52	钛及其合金在国民经济中的应用情况如何?	110
2-53	工业上常用的钛和钛合金如何分类? 并列其力学性能	111
2-54	简述常用镍基耐蚀合金的特性及其应用情况	112
2-55	工业用铝及铝合金有哪些特点?	113
2-56	简述铝及铝合金在石化等部门中的应用, 列举新旧标准中 常用材料的牌号及状态	114
2-57	简述铜及铜合金的特性及其应用, 并简介其换热管新标准	115
第三章 焊接冶金和金属焊接性		118
3-1	焊接冶金过程的特点是什么?	118
3-2	焊缝金属怎样凝固和结晶?	118
3-3	焊缝金属氧化的后果怎样? 如何防止?	118
3-4	氮对焊缝金属有何影响? 如何防止?	119
3-5	氢对焊缝金属有何危害?	120
3-6	焊接过程中的主要冶金反应有哪些?	120
3-7	什么叫焊接接头? 它是怎样形成的?	121
3-8	简述低碳钢焊缝热影响区的组织和性能	121
3-9	简述低合金高强钢在焊接热循环作用下的组织和性能	123
3-10	何谓焊接性? 何谓焊接性试验? 如何用碳当量来评价 钢材的焊接性?	124
3-11	评定焊接性试验常用的方法有哪些?	125
3-12	简述焊接性试验方法的发展及其标准变化情况	126
3-13	斜 Y 坡口焊接裂纹试验方法简介及评述	128
3-14	焊接热影响区最高硬度试验方法简介	130
3-15	搭接接头 (CTS) 焊接裂纹试验方法简介	131
3-16	简述 T 型接头和压板对接 (FISCO) 焊接裂纹试验方法	132
3-17	简述插销焊接裂纹试验	133

3-18	简述窗形拘束焊接裂纹试验	135
3-19	以 18MnMoNbR 钢为例进行焊接性分析	136
3-20	简述 CF-62 钢的组织与性能, 并分析其焊接性	137
3-21	简述再热裂纹的试验方法	139
3-22	简述我国对锅炉压力容器用钢再热裂纹的试验研究概况	142
3-23	简述我国对锅炉压力容器用钢再热裂纹敏感性的评定情况	143
第四章 焊接材料		145
4-1	简述焊接材料的生产及发展前景?	145
4-2	简述焊条药皮的组成及主要作用	147
4-3	焊条如何分类?	148
4-4	酸性焊条的特点及其应用范围如何?	150
4-5	碱性焊条的特点及其应用范围如何?	150
4-6	焊条的牌号及其表示方法如何?	151
4-7	焊条型号及其表示方法如何?	152
4-8	列举锅炉压力容器常用碳钢焊条的化学成分和力学性能	154
4-9	列举锅炉压力容器常用低合金钢焊条的化学成分和力学性能	155
4-10	何谓超低氢高韧性焊条? 简述其研制和应用情况	157
4-11	简述低温钢焊条的研制和应用情况	160
4-12	何谓管接头全位置立向下焊条? 其类型和特点如何?	162
4-13	列举锅炉压力容器常用不锈钢焊条的化学成分和力学性能	164
4-14	埋弧焊剂如何分类?	167
4-15	焊剂牌号如何表示?	168
4-16	焊剂的型号如何表示?	169
4-17	简述焊剂的研制及应用情况	171
4-18	钢焊丝如何分类?	173
4-19	钢焊丝的牌号如何表示? 列举其化学成分和力学性能	174
4-20	钢焊丝的型号如何表示? 列举气保护焊丝的化学成分和力学性能	178
4-21	简述药芯焊丝的特点及应用情况	184
4-22	简述铝及铝合金焊丝的主要化学成分	186
4-23	简述钛及钛合金焊丝的主要化学成分和力学性能	187
4-24	简述镍及镍合金焊丝的主要化学成分	188

4-25	简述铜及铜合金焊丝的主要化学成分	190
第五章 焊接设备		192
5-1	何谓弧焊电源, 电弧焊对供电电源的性能有何要求?	192
5-2	弧焊电源的外特性曲线有几类? 它对焊接过程有何影响?	192
5-3	何谓弧焊电源的额定电流和额定负载持续率?	194
5-4	弧焊电源有哪些类型? 简述其结构及主要特征	195
5-5	弧焊电源的型号如何表示?	197
5-6	直流弧焊发电机有几种结构? 其外特性及应用场合如何?	198
5-7	硅弧焊整流器有几种结构? 其外特性和应用场合如何?	198
5-8	简述晶闸管弧焊整流器的特点	199
5-9	晶闸管弧焊整流器的电路结构有几种? 其外特性及 应用场合如何?	200
5-10	何谓逆变弧焊电源? 简述其特点	201
5-11	逆变弧焊电源的外特性和应用场合如何?	202
5-12	何谓脉冲弧焊电源? 简述其特点及应用场合	202
5-13	什么是等离子弧焊电源? 它有什么特点?	203
5-14	列举常用电弧焊机的型号	204
5-15	简述直流焊机的极性、接法及应用特点	204
5-16	如何正确使用焊条电弧焊机?	205
5-17	简述焊条电弧焊机常见故障及其产生原因	205
5-18	简述钨极氩弧焊机的组成	207
5-19	简述钨极氩弧焊机中控制器的作用	208
5-20	如何正确操作使用钨极氩弧焊机?	209
5-21	钨极氩弧焊机常见故障有哪些? 其原因是什么?	210
5-22	直流和交流钨极氩弧焊机主要适用于哪些场合?	210
5-23	熔化极气体保护焊机由哪几部分组成?	211
5-24	等速送丝与变速送丝焊机有何区别?	213
5-25	熔化极气体保护焊机主要用于哪些方面的焊接?	214
5-26	简述熔化极气保护焊机的操作要点及常见故障	215
5-27	简述埋弧焊机的构造和应用场合	216
5-28	如何正确使用埋弧焊机?	216
5-29	简述埋弧焊机常见故障及其产生原因	218

5-30	简述管子—管板全自动焊机及其用途	218
5-31	简述窄间隙焊机及其用途	219
5-32	简述带极埋弧堆焊机及其用途	221
5-33	简述深孔堆焊机及其用途	222
5-34	简述全位置自动焊机及其用途	222
5-35	简述等离子弧焊机及其用途	223
5-36	简述容器制造中常用的火焰加热、切割设备及其应用场合	225
5-37	简述等离子弧切割设备的构成及其用途	225
5-38	简述碳弧气刨设备的构成及其用途	227
5-39	简述焊接操作机的结构型式、特点及用途	227
5-40	简述焊接滚轮架的类型、特点及用途	231
5-41	简述焊接变位机及其应用	233
第六章 焊接应力与变形		235
6-1	何谓焊接应力？它有什么特点？	235
6-2	简述焊接应力产生的原因及其影响因素	236
6-3	焊接残余应力有哪些危害？如何减少其影响？	237
6-4	如何消除或降低焊接残余应力	239
6-5	简述焊接残余应力的测量方法、特点及应用	239
6-6	焊接变形有哪些形式？	242
6-7	焊接变形产生的原因是什么？有哪些危害？	245
6-8	错边变形是如何产生的？哪些场合易出现错边变形？	245
6-9	挠曲变形是如何产生的？哪些场合易出现挠曲变形？	246
6-10	角变形是如何产生的？哪些场合易出现角变形？	246
6-11	波浪变形是如何产生的？哪些场合易出现波浪变形？	247
6-12	扭曲变形是如何产生的；哪些场合易出现扭曲变形？	248
6-13	预防焊接变形的措施有哪些？	249
6-14	如何矫正焊接变形？	253
第七章 焊接工艺评定		256
7-1	简述焊接工艺评定的概念和目的	256
7-2	简述焊接工艺评定的程序	257

7-3	焊接工艺评定是否可以转让?	257
7-4	焊接工艺评定之前, 是否一定要进行抗裂性试验?	258
7-5	何谓焊接工艺评定中的重要因素、补加因素和次要因素? 如何理解补加因素?	259
7-6	焊接工艺评定报告中如何填写“预热、焊后热处理”? 什么情 况下需重新评定?	260
7-7	焊接工艺评定报告中“电特性”和“焊接技术” 包括哪些内容?	260
7-8	返修焊是否需重新进行焊接工艺评定?	261
7-9	一项评定(PQR)怎样支持多项焊接工艺(WPS)? 多项评定 怎样支持单项工艺?	261
7-10	焊接工艺评定中如何对母材分类分组? 分类 分组如何应用?	262
7-11	如何确定适用的焊件厚度范围?	265
7-12	冲击试验应注意哪些事项?	267
7-13	JB4708 标准的新版有哪些主要变更?	268
7-14	JB4744-2000 与 GB150 附录 E 的产品焊接试板 相比有何变更?	270
7-15	焊接工艺评定与产品焊接试板有何区别?	271
7-16	列举卧式容器应做的工艺评定项目	271
7-17	列举球形容器应做的工艺评定项目	273
7-18	列举脱甲烷塔的主要工艺评定项目	275
7-19	列举高压洗涤器的主要焊接工艺评定项目	276
7-20	简述热壁加氢反应器焊接工艺评定的特殊要求	279
第八章 焊接缺陷		281
8-1	何谓焊接缺陷? 如何分类? 容器制造中常见的 缺陷有哪些?	281
8-2	何谓咬边? 简述其产生原因并举例说明危害性	282
8-3	何谓未焊透和未熔合? 简述其产生原因并举例说明危害性 ..	283
8-4	何谓夹渣? 简述其产生原因并举例说明其危害性	285
8-5	何谓气孔? 简述其产生原因并举例说明其危害性	287
8-6	何谓焊接裂纹? 如何对容器中常见的焊接裂纹分类?	290

8-7	简述冷裂纹的产生原因及预防措施并举例说明危害性	291
8-8	简述热裂纹产生的原因及预防措施并举例说明危害性	293
8-9	简述层状撕裂产生的原因及防止措施	295
8-10	列举再热裂纹的破坏实例	297
8-11	阐述再热裂纹的形成机制	299
8-12	预防再热裂纹的主要措施有哪些?	300
第九章 锅炉压力容器用钢的焊接		302
9-1	何谓焊接工艺?如何定义和计算焊接工艺中的热输入?	302
9-2	何谓焊缝成形系数?何谓熔合比?焊接规范对成形系数、熔合比及焊接质量有何影响?	303
9-3	何谓焊接坡口?设计坡口时应注意哪些问题?	304
9-4	何谓预热?何谓层间温度?其作用是什么?	308
9-5	确定预热温度应考虑哪些因素?	309
9-6	何谓后热?简述其作用	311
9-7	如何确定后热规范?	312
9-8	何谓焊后热处理?国内外标准对它有何规定?	313
9-9	如何确定钢材的焊后热处理规范?	315
9-10	简述焊材选用的原则,何谓高匹配?何谓低匹配?	316
9-11	选用焊材时如何考虑匹配?	318
9-12	简述 C-Mn 类低合金钢的焊接方法及焊接材料	319
9-13	简述 C-Mn 类低合金钢的焊接工艺	319
9-14	简述 C-Mn 类低合金钢的焊后热处理	321
9-15	简述含 Mn-V (或 VN) 低合金钢的焊接方法及焊接材料	323
9-16	简述含 Mn-V (或 VN) 低合金钢的焊接工艺	323
9-17	简述含 Mn-V (或 VN) 低合金钢的焊后热处理	324
9-18	简述 Mn-Nb 低合金钢的焊接材料及焊接工艺	325
9-19	简述镍系低温钢的焊接方法及焊接材料	326
9-20	简述镍系低温钢的焊接工艺	328
9-21	简述镍系低温钢的焊后热处理对焊接接头性能的影响	330
9-22	简述锅炉压力容器常用耐热钢的焊接特点	331
9-23	简述锅炉压力容器常用耐热钢的焊接方法及焊接材料	332
9-24	简述锅炉压力容器常用耐热钢的焊接工艺	334

9-25	简述近年对常用耐热钢开发的焊接技术	335
9-26	简述不锈钢的焊接特点	336
9-27	简述尿素级不锈钢的焊接特点及焊接工艺	337
9-28	列举双相不锈钢设备的制造技术和焊接工艺	340
9-29	简述铝及铝合金的焊接特点及其焊接缺陷的预防	342
9-30	简述铜及铜合金的焊接特点及其焊接缺陷的预防	344
9-31	简述钛及钛合金的焊接特点及其焊接缺陷的预防	345
第十章 锅炉压力容器的无损检测		349
10-1	何谓无损检测? 锅炉压力容器常用的无损检测方法有哪些?	349
10-2	锅炉压力容器无损检测的目的是什么?	349
10-3	简述射线检测的工作原理、特点和适用范围	349
10-4	X射线机和 γ 射线源有何特点?	350
10-5	简述对接焊缝射线照相的基本透照方式及适用场合	351
10-6	如何辨认射线照相底片上的缺陷影像?	351
10-7	射线照相最主要的指标是什么? 如何评价照相质量?	352
10-8	射线检测对焊缝缺陷如何定级, JB4730—1994中I、II、III级不允许哪些缺陷?	352
10-9	JB4730—1994对于对接焊缝“圆形缺陷”如何确定和分级?	353
10-10	JB4730—1994对于对接焊缝“条状夹渣”如何分级?	353
10-11	简述超声检测的工作原理和适用范围?	354
10-12	超声检测的主要特点有哪些? 如何用超声对缺陷定位、定量和定性?	355
10-13	超声波探伤仪、探头和试块的主要作用是什么?	355
10-14	简述管座角焊缝的结构及其超声检测方法	356
10-15	小径管对接焊缝超声检测有哪些特点?	356
10-16	简述焊缝超声检测常用的扫查方式及其作用	356
10-17	JB4730—1994如何规定对接焊缝超声检测的缺陷等级? 焊缝中不允许的缺陷? 对于II区的缺陷如何评级?	357
10-18	试比较射线与超声对焊缝中缺陷检测的合适性	358
10-19	简述磁粉检测的工作原理、特点和适用范围	358

10-20	简述磁粉检测的应用和焊接接头表面裂纹的鉴别	359
10-21	简述磁粉检测灵敏度及其影响因素, 检测时为何要用 灵敏度试片?	360
10-22	简述渗透检测的工作原理、特点和适用范围	360
10-23	渗透检测有哪几种方法?	361
10-24	简述渗透检测缺陷痕迹的分类及形成, 缺陷与 显示尺寸有何差异?	361
10-25	渗透检测时如何识别焊接接头的表面缺陷?	362
10-26	JB4730—1994 对磁粉和渗透检测的线性、圆形、横向及纵 向缺陷如何定义? 不允许哪些缺陷?	362
10-27	试将渗透检测与磁粉检测加以比较	363
10-28	简述不锈钢焊缝的检测方法, 如何对不锈钢堆 焊层进行检测?	363
10-29	什么是涡流检测? 简述其适用范围及特点	364
10-30	何谓声发射检测技术? 简述其适用范围及特点	364
附录 压力容器及管道的失效分析及焊接修复实例		366
实例 1	渣油气化炉的评定与修复	366
实例 2	丁二烯球罐群安全隐患的改造	376
实例 3	制氢装置下集合管外接管开裂的失效分析	380
实例 4	制氢装置下支尾管与炉管加强接头连接处开裂的 失效分析	386
实例 5	渣油加氢汽油管线不锈钢弯头开裂成因分析	393
实例 6	氨中和塔的检验及焊接修复	401
实例 7	催化裂化再生器的检验及焊接修复	408
实例 8	氨合成塔焊缝裂纹成因分析	412

第一章 压力容器基础知识

1-1 何谓压力容器？如何分类？

容器按所承受的压力分为常压容器和压力容器。通常将最高工作压力 $p_w \geq 0.1\text{MPa}$ （不含液体静压力）的称为压力容器。

压力容器可以作为一个独立的部件，如球形容器、立式或卧式贮槽等；也可以作为其他设备或元件的外壳，为进行化学反应提供承压空间，如各类反应器、塔器和分离器等。

压力容器的分类方法很多，“压力容器安全技术监察规程”（以下简称“容规”）是这样分类的：

1. 按设计压力（ p ）分为低压、中压、高压和超高压四个等级。

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

(2) 中压容器（代号 M） $1.6\text{MPa} \leq p < 10\text{MPa}$

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

(4) 超高压容器（代号 U） $p \geq 100\text{MPa}$

2. 按生产工艺过程的作用原理，分为反应器、换热器、分离器和储存容器。

(1) 反应器（代号 R）：主要用于完成介质的物理、化学反应的压力容器。

(2) 换热器（代号 E）：主要用来完成介质的热量交换的压力容器。

(3) 分离器（代号 S）：主要用于完成介质的流体压力平衡缓冲以及气体净化分离等的压力容器。

(4) 储存器（代号 C，其中球罐代号为 B）：盛装原料气体、液体和液化气体等的储罐。

若一种压力容器具有两种功能，应按其主要作用来划分。

3. 按介质的毒性和易燃程度

介质的毒性程度参照 GB5044 《职业性接触毒物危害程度分级》的规定将介质的毒性（其毒性程度和易燃介质的划分按 HG20660 《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）分为四级，其最高允许的质量浓度分别为：

- | | |
|------------------|--------------------------------------|
| (1) 极度危害 (I 级) | $> 0.1\text{mg}/\text{m}^3$ |
| (2) 高度危害 (II 级) | $0.1 \sim < 1.0\text{mg}/\text{m}^3$ |
| (3) 中度危害 (III 级) | $1.0 \sim < 10\text{mg}/\text{m}^3$ |
| (4) 轻度危害 (IV 级) | $> 10\text{mg}/\text{m}^3$ |

也有按容器的设计温度分为低温、常温和高温容器。我国规范将设计温度低于 -20°C 的作为低温容器，而对中温或高温没有明确规定，这主要考虑钢材的蠕变温度范围与钢种有关。

1-2 压力容器主要由哪几部分构成？

压力容器一般构造有：筒体、封头、法兰、密封元件、开孔与接管以及支座等六大部分构成外壳。对于贮存容器，外壳即为容器；而反应、换热、分离等容器还需装入工艺所需内件才能构成完整的容器。如图 1-1 所示。

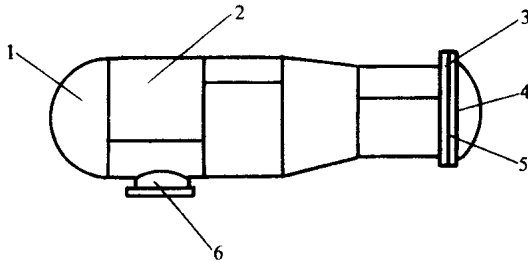


图 1-1 压力容器的简单构造

1—封头 2—筒体 3—法兰 4—顶盖 5—密封元件 6—开孔与接管

1. 筒体：储存或完成化学反应所需的压力空间。圆形筒体可分为整体式（容器壁在厚度方向是由一连续完整的材料构成，