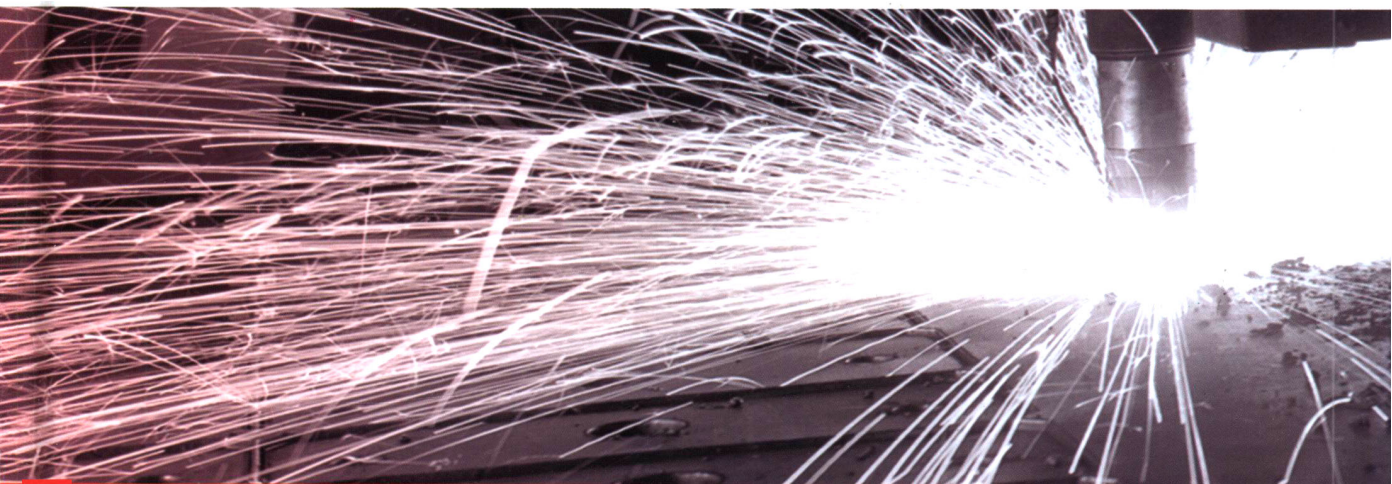


生产一线实战专家经验集结  
焊接生产与管理者必备宝典

# 焊接结构 生产与管理 实战手册

张应立 周玉华 主编



# 焊接结构生产与管理 实战手册

张应立 周玉华 主编



机械工业出版社

本书共 13 章,包括焊接结构概述、焊接工艺基本知识、焊接工艺装备、焊接工艺过程设计及管理、焊接结构生产常用焊接方法、焊接结构生产过程与管理、典型焊接结构的生产工艺、焊接结构生产的机械化和自动化、焊接应力与变形、焊接结构的失效破坏、焊接结构的质量检验、焊接缺陷及返修等技术及管理知识,同时对焊接安全技术与劳动保护作了扼要介绍。

本书图文并茂、深入浅出、突出重点、理论联系实际、立足实用,是焊接工程技术人员、焊接技师、焊接技术工人的必备工具书。同时,还可作为职业技术学院的教学参考书和实战培训教材,也可供焊接采购人员及相关专业大专院校师生和科研院所的研究人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

焊接结构生产与管理实战手册/张应立,周玉华主编. —北京:机械工业出版社,2014.9

ISBN 978-7-111-49304-4

I. ①焊… II. ①张…②周… III. ①焊接结构-焊接工艺-技术手册 IV. ①TG 44- 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 025935 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:何月秋 责任编辑:何月秋 王彦青 版式设计:霍永明  
责任校对:张晓蓉 闫玥红 封面设计:马精明 责任印制:刘 岚  
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·64.25 印张2插页1762 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-49304-4

定价:199.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

策 划 编 辑:010-88379879

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金 书 网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

# 前 言

随着全球经济一体化步伐的加快，我国正在由制造业大国向制造业强国迈进，机械制造业也得到了飞快的发展。焊接结构生产在机械制造业中占有重要的地位，并且焊接结构的生产涉及设备、企业和社会的安全，因此，必须引起焊接结构生产企业的高度重视。

在现实生活中，因焊接结构达不到标准规定的要求，导致产品质量下降，甚至造成严重安全事故，如锅炉压力容器爆炸事故，起重机械焊接结构垮塌事故，大型储罐的失效破坏事故等，就时有发生。这不但给国家财产造成了极大的损失，还可能造成人身伤害事故，这些血的教训应该深刻吸取。

近年来，焊接结构不断向大型化、重型化和高参数方向发展，对焊接生产企业操作人员的技术素质、管理人员的组织与管理能力要求越来越高。为适应焊接结构生产发展的需要，许多企业迫切需要熟练掌握技术和管理的复合型人才。没有众多掌握焊接操作技术的工人、技术人员和组织管理者，许多重要的焊接结构是无法制造的，或难以达到标准规定的要求。因此，为满足各企业对这方面人才综合素质提高或培训的需要，我们在地方有关部门和企业领导、专家的指导和帮助下，收集大量文献资料，并结合企业的生产实际编写了《焊接结构生产与管理实战手册》一书。全书采用国家最新标准和法定计量单位。图文并茂、深入浅出、突出重点、理论联系实际、立足实用，注重实践和综合技术与管理的阐述，能帮助读者提高焊接操作技术和管理技能。相信本书将成为广大焊接工程技术人员、管理人员和操作人员的良师益友。

本书由张应立、周玉华主编，参加编写的还有贾晓娟、吴兴莉、周玉良、谢美、李家祥、张莉、耿敏、周琳、张崢、吴兴惠、周玥、刘军、程世明、杨再书、梁润琴、邓尔登、王丹、王正常、陈洁、张军国、黄德轩、王登霞、连杰、唐猛、王明会、陈蓉、张宝春、周竞兰、周亮、傅伟伟、贾进力、杨晓娅、蹇东宏、车宣雨、陈明德、张举素、张应才、唐松惠、王正荣、张梅、张举容、杨雪梅、李祥云、侯勇、程力、钱璐、薛安梅、徐婷、黄月圆、李守银、王海、陆彩娟、方汪键、郭会文、王杰、王美玲、智日宝、王威振、王仕婕、罗栓、李新民、杨忠英、夏继东、王祥明、韩世军，全书由高级工程师张梅审定。本书在编写过程中得到了地方劳动安全、质量监督部门和贵州路桥工程有限公司的领导、专家的大力支持与帮助，特向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请专家和读者提出批评意见和建议。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第一章 焊接结构概述 ..... 1

### 第一节 焊接结构的特点与类型 ..... 1

一、焊接结构的特点 ..... 1

二、焊接结构的类型 ..... 2

### 第二节 焊接结构的制造工艺特点 ..... 5

一、焊接结构的制造工艺过程 ..... 5

二、焊接结构的制造工艺顺序 ..... 6

三、焊接结构的制造工艺要素 ..... 7

### 第三节 焊接结构的应用与发展 ..... 10

一、焊接结构的应用 ..... 10

二、焊接结构的发展 ..... 11

## 第二章 焊接工艺基本知识 ..... 13

### 第一节 焊接结构装配图的识读 ..... 13

一、焊接结构装配图的特点 ..... 13

二、焊接结构装配图的作用与内容 ..... 13

三、焊接结构装配图的基本要求 ..... 13

四、焊接结构装配图的表达方法 ..... 14

五、识读焊接结构装配图的方法 ..... 17

### 第二节 焊接接头的组成、分类及合理

选用 ..... 18

一、焊接接头的组成 ..... 18

二、焊接接头的作用 ..... 18

三、焊接接头的分类 ..... 18

四、应用最广的四种焊接接头 ..... 19

五、焊接接头形式的合理选用 ..... 21

### 第三节 焊接坡口的作用、形状尺寸选用及

坡口加工 ..... 28

一、坡口的作用 ..... 28

二、坡口的类型及几何尺寸 ..... 28

三、坡口的选择 ..... 29

四、坡口的加工 ..... 30

### 第四节 焊接位置分类及常见焊接位置 ..... 36

一、焊接位置分类 ..... 36

二、常见的焊接位置 ..... 37

### 第五节 焊缝形式、焊缝符号及焊接工艺

代号 ..... 39

一、焊缝形式、形状和尺寸 ..... 39

二、焊缝符号表示及标注 ..... 41

三、焊缝符号的简易表示方法 ..... 45

四、焊缝符号的尺寸及标注 ..... 45

五、焊缝符号的简化标注方法 ..... 47

六、焊接及相关工艺方法代号 ..... 47

### 第六节 焊接参数的选择及焊接参数对焊缝

形状的影响 ..... 50

一、焊接参数选择应考虑的因素 ..... 50

二、焊接参数的选择 ..... 51

三、焊接参数对焊缝形状的影响 ..... 51

### 第七节 焊件清理 ..... 53

一、焊前清理 ..... 53

二、焊后清理 ..... 55

### 第八节 焊接工件的组对和定位焊 ..... 55

一、焊接工件的组对 ..... 55

二、焊接工件的定位焊 ..... 56

### 第九节 焊接工件的热处理 ..... 57

一、焊前预热 ..... 57

二、层间保温 ..... 58

三、焊后缓冷 ..... 58

四、后热、消氢处理 ..... 58

五、焊后热处理 ..... 59

### 第十节 焊接工艺规程图及焊接工艺卡的

识读 ..... 61

一、焊接工艺规程图的识读 ..... 61

二、焊接工艺卡的识读 ..... 62

## 第三章 焊接工艺装备 ..... 63

### 第一节 焊接工艺装备的作用、分类及

特点 ..... 63

一、焊接工艺装备的地位和作用 ..... 63

二、焊接工艺装备的分类与组成 ..... 63

三、焊接工艺装备的特点 ..... 64

### 第二节 装配常用的工具、量具与设备 ..... 65

一、装配常用的工具及量具 ..... 65

二、装配常用的设备 ..... 65

### 第三节 装焊工装夹具 ..... 68

一、装焊工装夹具的分类 ..... 68

二、装焊工装夹具的用途和要求 ..... 69

三、定位器 .....	70	标准 .....	157
四、夹紧器 .....	75	七、编制焊接工艺评定报告 .....	161
五、夹具体 .....	88	八、焊接工艺评定实例 .....	163
六、工装夹具设计的基本知识 .....	90	第五节 焊接工艺规程的编制 .....	165
七、夹具结构实例分析 .....	94	一、焊接工艺规程的意义及作用 .....	165
八、装焊夹具的正确使用与维护 .....	99	二、焊接工艺规程的编制原则 .....	165
第四节 焊接变位机械装置与设备 .....	100	三、焊接工艺规程的编制依据 .....	166
一、焊接变位机械的分类与要求 .....	100	四、焊接工艺规程的编制步骤 .....	166
二、焊件变位机 .....	101	五、焊接工艺规程的内容与编制要求 .....	168
三、焊机变位机 .....	109	六、焊接工艺规程编制的注意事项 .....	168
四、焊工变位机 .....	114	七、焊接工艺规程示例 .....	168
五、变位机械装备的组合应用 .....	116	第六节 焊接技术方案的编制 .....	176
第五节 辅助装置与设备 .....	116	一、焊接技术方案的编制范围 .....	176
一、装焊吊具 .....	117	二、焊接技术方案的内容 .....	176
二、起重运输设备 .....	118	第七节 焊接工艺过程设计管理及生产 管理流程 .....	177
三、盘丝除锈机 .....	119	<b>第五章 焊接结构生产的常用焊接 方法 .....</b>	178
四、焊剂垫 .....	119	第一节 焊条电弧焊 .....	178
五、焊剂输送和回收装置 .....	121	一、焊条电弧焊的原理、特点及应用 范围 .....	178
<b>第四章 焊接工艺过程设计及管理 .....</b>	125	二、焊条电弧焊设备及辅助工具 .....	178
第一节 焊接工艺过程设计 .....	125	三、焊条的分类、选用及使用管理 .....	184
一、焊接工艺过程设计的内容 .....	125	四、焊条电弧焊焊接参数的选择 .....	187
二、焊接工艺过程设计的依据 .....	125	五、焊条电弧焊的基本操作技术 .....	190
三、焊接工艺过程设计的程序 .....	126	六、焊条电弧焊各种焊接位置的操作 要点 .....	194
四、焊接工艺过程设计的要求 .....	126	第二节 埋弧焊 .....	198
五、生产类型及其特点 .....	127	一、埋弧焊的原理、特点及应用范围 .....	198
第二节 焊接工艺过程分析及工艺方案的 确定 .....	128	二、埋弧焊设备 .....	199
一、对产品技术要求的分析 .....	128	三、埋弧焊焊接材料 .....	205
二、对先进工艺技术应用的分析 .....	129	四、埋弧焊工艺 .....	215
三、焊接工艺方案的确定 .....	130	五、特种埋弧焊工艺 .....	223
四、焊接工艺方案示例 .....	131	六、手工埋弧焊 .....	226
第三节 焊接工艺性审查 .....	132	第三节 钨极惰性气体保护焊 .....	226
一、焊接工艺性审查的目的 .....	132	一、TIG 焊原理、特点及应用范围 .....	226
二、焊接工艺性审查的内容 .....	132	二、TIG 焊设备 .....	227
三、焊接工艺性审查的步骤 .....	133	三、TIG 焊焊接材料 .....	237
四、焊接工艺性审查的注意事项 .....	134	四、TIG 焊工艺 .....	241
五、焊接工艺性审查实例 .....	138	五、TIG 点焊 .....	250
第四节 焊接工艺评定 .....	143	六、热丝 TIG 焊 .....	251
一、焊接工艺评定的目的 .....	143	第四节 熔化极气体保护焊 .....	251
二、焊接工艺评定的方法 .....	146	一、MIG 焊的原理、特点及应用范围 .....	251
三、焊接工艺评定的程序 .....	146		
四、焊接工艺评定的条件与规则 .....	148		
五、焊接工艺评定的试验项目 .....	156		
六、焊接工艺评定的试验方法与合格			

二、MIG 焊熔滴过渡类型及影响因素 .....	252	四、药芯焊丝气体保护焊焊接参数的 选择 .....	368
三、MIG 焊设备 .....	252	五、药芯焊丝熔化极气体保护焊的操作 技术 .....	373
四、MIG 焊焊接材料 .....	259	<b>第六章 焊接结构生产过程与管理</b> .....	375
五、MIG 焊工艺 .....	262	第一节 焊接结构设计的基本知识 .....	375
六、熔化极脉冲氩弧焊 .....	270	一、焊接结构设计的基本要求 .....	375
第五节 CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	273	二、焊接结构设计的基本原则 .....	375
一、CO <sub>2</sub> 焊的原理、特点及应用范围 .....	273	三、焊接结构设计的一般程序 .....	376
二、CO <sub>2</sub> 焊的一般知识 .....	274	四、焊接结构设计的一般方法 .....	376
三、CO <sub>2</sub> 焊设备 .....	276	五、焊接结构常见的焊接接头设计 .....	382
四、CO <sub>2</sub> 焊的焊接材料 .....	281	六、焊接结构的钢材选用 .....	396
五、CO <sub>2</sub> 焊工艺 .....	284	七、焊接结构深化设计 .....	398
六、CO <sub>2</sub> 电弧点焊 .....	294	第二节 焊接结构的基本构件 .....	400
第六节 等离子弧焊 .....	296	一、焊接梁、柱、桁架 .....	400
一、等离子弧的形成、类型及特点 .....	296	二、焊接网架结构 .....	408
二、等离子弧焊的分类、特点及应用 范围 .....	297	三、焊接容器结构 .....	411
三、等离子弧焊设备 .....	298	四、机械零部件焊接结构 .....	414
四、等离子弧焊的焊接材料 .....	304	五、薄板焊接结构 .....	417
五、等离子弧焊工艺 .....	304	第三节 焊接结构生产工艺过程 .....	418
六、脉冲等离子弧焊 .....	311	一、生产组织与准备 .....	418
第七节 电渣焊 .....	312	二、备料加工 .....	419
一、电渣焊的原理、特点及应用范围 .....	312	三、装配与焊接 .....	419
二、电渣焊设备 .....	315	四、焊后热处理 .....	419
三、电渣焊的焊接材料 .....	318	五、结构质量检验与后处理 .....	420
四、电渣焊工艺 .....	321	六、焊接结构安全评定 .....	420
五、电渣焊焊后热处理 .....	333	第四节 焊接结构的备料及成形加工 .....	421
第八节 螺柱焊 .....	333	一、原材料的复验 .....	421
一、螺柱焊的分类与螺柱焊方法的 选择 .....	333	二、钢材的矫正及预处理 .....	422
二、电弧螺柱焊 .....	334	三、划线 .....	435
三、电容放电螺柱焊 .....	342	四、放样 .....	439
四、短周期螺柱焊 .....	346	五、下料 .....	451
五、螺柱焊的质量控制及缺陷防止 .....	348	六、坯料的边缘加工 .....	465
六、螺柱焊的质量检验 .....	349	七、水火成形 .....	467
第九节 摩擦焊 .....	350	八、折边成形 .....	468
一、摩擦焊的原理、特点及应用范围 .....	350	九、弯曲成形 .....	468
二、摩擦焊的分类 .....	351	十、压延与旋压成形 .....	483
三、摩擦焊机 .....	354	十一、爆炸成形 .....	488
四、摩擦焊工艺 .....	358	十二、缩口与扩口成形 .....	491
第十节 药芯焊丝气体保护焊 .....	364	十三、成形件的一般质量要求 .....	491
一、药芯焊丝气体保护焊的原理、特点及 应用范围 .....	364	十四、焊接构件备料实例 .....	492
二、药芯焊丝气体保护焊设备 .....	366	第五节 焊接结构的装配 .....	494
三、药芯焊丝的类型及其选用 .....	366	一、焊接结构装配的特点 .....	494
		二、装配的基本条件及装配基准 .....	494

三、装配中的测量 .....	496	五、塔器的制造工艺 .....	610
四、装配工艺 .....	498	六、立式圆柱形大型储罐的制造工艺 .....	612
五、装配方法 .....	501	七、换热器的制造工艺 .....	617
六、装配焊接顺序 .....	503	第三节 起重机械的生产工艺 .....	621
七、装配质量检查 .....	504	一、桥式起重机的生产工艺 .....	621
八、装配中的注意事项 .....	504	二、桁架起重机的生产工艺 .....	632
九、典型焊接结构装配 .....	505	三、塔式起重机的生产工艺 .....	634
第六节 焊接结构的焊接工艺 .....	511	第四节 船体结构的制造工艺 .....	638
一、焊接工艺制订的原则和内容 .....	511	一、船舶的类型与船体结构 .....	638
二、焊接方法的选择 .....	512	二、船体结构的制造工艺 .....	639
三、焊接材料的选择 .....	517	三、整体造船中的焊接工艺 .....	643
四、焊接加工设备及其无损检测设备的 合理选用 .....	529	第五节 混凝土搅拌机的生产工艺 .....	644
五、产品焊接试板的力学性能试验 .....	534	一、JS1000 双卧轴强制式搅拌机的基本 构造 .....	644
六、各种长度焊缝的焊接方法 .....	537	二、JS1000 双卧轴强制式搅拌机的制造 工艺 .....	644
七、焊接工艺评定 .....	538	第六节 轻型建筑钢结构的生产工艺 .....	649
第七节 焊接结构生产的质量管理 .....	538	一、建筑钢结构的应用范围 .....	649
一、焊接企业的质量管理体系 .....	538	二、轻型建筑钢结构的制造工艺 .....	649
二、焊接质量管理任务及质量管理 手册 .....	539	三、轻型超高层建筑焊接箱形柱的制造 工艺 .....	652
三、焊接质量管理的环节及程控文件的 编制 .....	540	四、梁、柱结构的制造工艺 .....	655
四、焊接质量的全过程检验 .....	541	五、桁架的制造工艺 .....	657
五、焊接质量的检验管理 .....	546	六、管道的焊接工艺 .....	658
第八节 焊接结构生产的组织与管理 .....	547	<b>第八章 焊接结构生产的机械化和 自动化</b> .....	668
一、焊接车间及其平面布置 .....	547	第一节 焊接自动机 .....	668
二、焊接结构生产组织的形式与内容 .....	554	一、梁、柱结构件的焊接自动机 .....	668
三、焊接结构生产管理措施 .....	557	二、水轮机活动导叶的焊接自动机 .....	669
四、焊接结构生产的材料消耗定额 管理 .....	558	三、摩托车部件的焊接自动机 .....	670
五、焊接结构生产的劳动工时定额 管理 .....	567	四、液化气钢瓶的焊接自动机 .....	672
<b>第七章 典型焊接结构的生产工艺</b> .....	575	五、箱形梁的 CO <sub>2</sub> 焊接自动机 .....	672
第一节 锅炉的生产工艺 .....	575	六、锅炉膜式壁的焊接自动机 .....	672
一、锅炉的型号、分类及参数 .....	575	第二节 焊接中心 .....	673
二、锅炉的构造 .....	577	一、细长管体内环缝焊接中心 .....	674
三、锅炉锅筒的制造工艺 .....	578	二、大直径容器筒节纵缝焊接中心 .....	674
四、锅炉集箱的制造工艺 .....	583	三、大直径容器筒体内环缝焊接中心 .....	675
五、锅炉受热面管件的制造工艺 .....	587	四、容器筒体外环缝焊接中心 .....	676
第二节 压力容器的生产工艺 .....	595	五、汽车车轮合成焊接中心 .....	677
一、压力容器的基本知识 .....	595	六、汽车储气筒外环缝焊接中心 .....	678
二、中、低压容器的制造工艺 .....	598	七、桥式起重机主梁焊接中心 .....	678
三、高压容器的制造工艺 .....	603	第三节 焊接生产线 .....	679
四、球形容器的制造工艺 .....	604	一、中小直径筒（管）体焊接生产线 .....	679

二、汽车车轮合成自动装焊生产线 .....	680	二、试验方法及步骤 .....	768
三、钢筋网装焊生产线 .....	681	三、试验报告 .....	769
四、锅炉膜式壁的脉冲 MAG 焊生产线 .....	682	第五节 控制焊接应力与变形的工程	
第四节 焊接机器人 .....	687	实例 .....	769
一、焊接机器人的优点及其应用意义 .....	687	一、大型水轮机转子的工地拼焊 .....	769
二、焊接机器人的构成与分类 .....	687	二、大型管板盒状结构的焊接 .....	770
三、焊接机器人的工作方法、原理及		<b>第十章 焊接结构的失效破坏</b> .....	772
操作步骤 .....	691	第一节 焊接结构的失效及其类型 .....	772
四、对焊接机器人的要求 .....	693	一、焊接结构的失效及其影响 .....	772
五、焊接机器人的主要技术指标 .....	693	二、焊接结构失效的原因 .....	772
六、焊接机器人的运动控制及命令		三、焊接结构失效的类型 .....	773
体系 .....	695	第二节 焊接结构的塑性破坏及其防止 .....	774
七、点焊机器人的特点及应用 .....	698	一、塑性破坏的特征与危害 .....	774
八、弧焊机器人的特点及应用 .....	703	二、塑性破坏的机理与原因 .....	776
九、国内外几种典型的焊接机器人		三、塑性破坏的防治措施 .....	776
介绍 .....	716	第三节 焊接结构的脆性断裂及其防止 .....	777
第五节 计算机图像处理及模式识别在		一、脆性断裂的特征与危害 .....	778
焊接中的应用 .....	723	二、脆性断裂的原因 .....	779
一、图像处理系统 .....	723	三、脆性断裂的影响因素 .....	779
二、焊接近弧区机器人的视觉成像 .....	724	四、抗脆性断裂性能的评定 .....	784
三、图像处理在窄间隙 MIG/MAG 焊		五、预防焊接结构脆性断裂的措施 .....	789
在线检测中的应用 .....	725	第四节 焊接结构的疲劳断裂及其防止 .....	794
<b>第九章 焊接应力与变形</b> .....	728	一、疲劳断裂的基本特征及危害 .....	794
第一节 焊接应力与变形的基本知识 .....	728	二、疲劳断裂的基本类型 .....	795
一、焊接应力与变形的概念 .....	728	三、疲劳断裂的原因与影响因素 .....	795
二、焊接应力与变形的危害性 .....	728	四、提高焊接接头疲劳强度的措施 .....	799
三、焊接应力与变形产生的原因 .....	729	第五节 焊接结构的腐蚀疲劳 .....	802
四、焊接应力与变形的影响因素 .....	729	一、腐蚀疲劳的特征 .....	802
五、焊接应力与变形之间的关系 .....	730	二、影响腐蚀疲劳的因素 .....	803
第二节 焊接残余应力的控制及消除 .....	730	三、提高腐蚀疲劳强度的措施 .....	803
一、焊接残余应力的分类 .....	730	第六节 焊接结构失效分析的程序 .....	804
二、焊接残余应力的分布与影响 .....	731	一、焊接结构失效分析的一般过程 .....	804
三、控制焊接残余应力的措施 .....	737	二、常用失效分析的试验方法 .....	805
四、消除焊接残余应力的方法 .....	742	<b>第十一章 焊接结构的质量检验</b> .....	808
五、测量焊接残余应力的方法 .....	746	第一节 焊接质量检验的重要性及检验	
第三节 焊接残余变形的控制及矫正 .....	747	方式 .....	808
一、焊接残余变形的分类 .....	748	一、焊接质量检验的重要性 .....	808
二、影响焊接残余变形的因素 .....	749	二、焊接质量检验的内容与方法 .....	808
三、焊接残余变形的估算及经验数据 .....	751	三、焊接质量检验的依据 .....	808
四、控制焊接残余变形的措施 .....	755	四、焊接质量检验的方式 .....	810
五、薄板低应力无变形的焊接方法 .....	762	第二节 焊接接头的非破坏性检验 .....	811
六、矫正焊接残余变形的的方法 .....	765	一、外观检验 .....	811
第四节 焊接变形的观测试验 .....	767	二、焊接容器的密封性检验 .....	815
一、试验材料、设备及工具 .....	768		

三、焊接容器的耐压检验 .....	816	十一、磁粉检验缺陷磁痕的分级 .....	940
四、焊缝的无损检测 .....	816	十二、焊缝渗透检测缺陷迹痕的分级 .....	941
五、堆焊层超声波探伤检验 .....	861	十三、钎缝外观质量评定标准 .....	941
六、无损检测新技术 .....	862	<b>第十二章 焊接缺欠及缺陷返修</b> .....	943
<b>第三节 焊接接头的破坏性检验</b> .....	869	<b>第一节 焊接缺欠的分类及其危害</b> .....	943
一、焊接接头力学性能试验的取样		一、焊接缺欠与焊接缺陷 .....	943
方法 .....	869	二、焊接缺欠的分类 .....	944
二、焊接接头冲击试验 .....	873	三、焊接缺欠的特征 .....	944
三、焊接接头拉伸试验 .....	875	四、不同焊接方法易产生的各种焊接	
四、焊缝及熔敷金属拉伸试验 .....	879	缺欠 .....	945
五、焊接接头弯曲试验 .....	881	五、焊接缺欠的产生原因及影响因素 .....	950
六、焊接接头四点弯曲疲劳试验 .....	889	六、焊接缺欠的危害 .....	952
七、焊接接头硬度试验 .....	891	<b>第二节 焊接缺欠的分类标准</b> .....	955
八、焊接接头金相检验 .....	897	一、金属熔焊焊接缺欠的分类 .....	955
九、焊接接头不锈钢晶间腐蚀试验 .....	900	二、金属压焊焊接缺欠的分类 .....	955
十、焊接接头 ECO 试验 .....	910	三、金属钎焊焊接缺欠的分类 .....	964
十一、焊接试件的断口分析 .....	911	<b>第三节 焊缝缺欠及其预防措施</b> .....	966
十二、焊接接头的化学分析试验 .....	912	一、焊缝表面尺寸不符合要求 .....	966
十三、焊接接头的微型剪切试验 .....	916	二、焊接裂纹 .....	967
<b>第四节 异种金属的焊接质量检验</b> .....	917	三、层状撕裂 .....	967
一、异种金属焊接接头力学性能检验 .....	917	四、气孔 .....	968
二、异种金属焊接接头耐蚀性检验 .....	917	五、咬边 .....	968
三、异种金属焊接接头金相组织检验 .....	917	六、未焊透 .....	968
<b>第五节 焊接产品总体检验及产品接头的</b>		七、未熔合 .....	969
<b>表面性能检验</b> .....	918	八、夹渣 .....	969
一、焊接产品的总体检验 .....	918	九、焊瘤 .....	969
二、焊接产品的最终检验 .....	918	十、塌陷 .....	970
三、焊接产品接头的表面性能检验 .....	919	十一、凹坑 .....	970
<b>第六节 焊接质量检验标准</b> .....	919	十二、烧穿 .....	970
一、钢结构焊缝外形尺寸 .....	919	十三、根部收缩 .....	970
二、钢的弧焊接头缺陷质量分级指南 .....	921	十四、夹钨 .....	971
三、金属熔焊焊接接头射线照相质量		十五、错边 .....	971
分级 .....	925	<b>第四节 常见的焊接缺欠及排除方法</b> .....	971
四、金属管道熔焊环向对接接头射线		一、熔焊缺欠 .....	971
照相质量分级 .....	927	二、电阻焊缺欠 .....	973
五、钢制焊接压力容器技术条件 .....	932	三、钎焊缺欠 .....	976
六、钢焊缝手工超声波探伤结果的		四、其他焊接缺欠 .....	976
分级 .....	933	<b>第五节 焊缝外观缺陷的返修</b> .....	978
七、钢制管道环向焊缝对接接头超声波		一、返修要求 .....	978
检测结果的质量分级 .....	934	二、返修前的准备 .....	978
八、二氧化碳气体保护焊质量评定		三、返修补焊坡口的制备 .....	979
标准 .....	935	四、返修操作的技术要求 .....	979
九、铝制压力容器的一般技术要求 .....	938	五、返修的方法 .....	980
十、蒸汽锅炉的焊接质量评定标准 .....	939	六、返修的注意事项 .....	981

<b>第十三章 焊接劳动安全与卫生技术</b> ... 982	十四、野外（或露天）焊接作业的安全措施 ..... 999
第一节 焊接作业的危险因素和有害因素 ..... 982	十五、焊接防火、防爆安全技术 ..... 999
一、焊接作业的危险因素 ..... 982	第四节 焊接劳动卫生及个人防护 ..... 1001
二、焊接作业的有害因素 ..... 982	一、评价焊接作业环境的卫生标准 ..... 1001
第二节 焊接作业的安全规程与卫生标准 ..... 986	二、改善安全卫生条件的焊接技术 ..... 1004
一、有关焊接作业的主要安全规程 ..... 986	三、焊接作业场所的通风除尘 ..... 1005
二、有关焊接作业的安全与卫生标准 ..... 986	四、焊接物理危害因素的防护 ..... 1008
第三节 焊接安全技术 ..... 987	五、焊工个人劳动防护用品 ..... 1009
一、焊条电弧焊安全技术 ..... 987	第五节 常用焊接方法的安全与卫生防护要点 ..... 1011
二、等离子弧焊安全技术 ..... 990	一、焊接安全与卫生防护的一般要点 ... 1011
三、真空电子束焊安全技术 ..... 990	二、焊条电弧焊安全与卫生防护要点 ... 1012
四、激光焊安全技术 ..... 991	三、气焊、气割安全与卫生防护要点 ... 1012
五、电渣焊安全技术 ..... 991	四、二氧化碳气体保护焊安全与卫生防护要点 ..... 1012
六、电阻焊安全技术 ..... 992	五、氩弧焊安全与卫生防护要点 ..... 1013
七、高频焊安全技术 ..... 992	六、等离子弧焊与切割的安全与卫生防护要点 ..... 1013
八、超声波焊安全技术 ..... 993	七、电阻焊安全防护要点 ..... 1013
九、摩擦焊安全技术 ..... 993	八、碳弧气刨卫生防护要点 ..... 1014
十、爆炸焊安全技术 ..... 993	<b>参考文献</b> ..... 1015
十一、碳弧气刨安全技术 ..... 993	
十二、气焊与气割安全技术 ..... 994	
十三、高处焊接作业安全技术 ..... 998	

# 第一章 焊接结构概述

## 第一节 焊接结构的特点与类型

### 一、焊接结构的特点

#### 1. 焊接结构的优点

焊接结构具有一系列其他结构无法比拟的优点，主要体现在以下几个方面：

1) 焊接结构的整体性强。由于焊接是一种金属原子间的连接，刚度大、整体性好，在外力作用下不会像其他机械连接那样因间隙变化而产生过大的变形，因此焊接接头的强度、刚度一般可达到与母材相等或相近，能够随基本金属承受各种载荷的作用。

2) 焊接结构的强度高、质量轻。焊接结构多采用轧材制造，承受冲击载荷能力强，且钢材比砖石、混凝土等建筑材料的强度要高出很多倍，应用现代焊接技术制造出的焊接接头，其强度高于母材。

焊接结构的零件或部件可以直接通过焊接方法进行连接，不需要附加任何连接件。与铆接结构相比，具有相同结构的质量可减轻 10% ~ 20%。

3) 焊接结构的安全性能高。由于钢材具有良好的塑性，在一般情况下，不会因偶然超载或局部超载造成突然断裂破坏，而是事先出现较大的变形预兆，以便采取补救措施。钢材还具有良好的韧性，对作用在结构上的动载荷适应性强，为焊接结构的安全使用提供了可靠保证。

在一定的应力范围内，钢材处于理想弹性状态，与工程力学所采用的基本假定较符合，故计算结果准确可靠，以确保焊接结构的安全使用。

4) 焊接结构的致密性好。由于焊缝的致密性，焊接结构能保证产品的气密性和水密性要求，这是锅炉、储气罐、储油罐等压力容器在正常工作时不可缺少的重要条件。

5) 焊接结构的制造周期短。焊接结构是由各种加工制成的型钢和钢板组成，采用焊接手段制造成基本构件，运至现场装配拼接。故制造简单、运输和架设也方便，施工周期短、效率高，且修配、更换方便。这种工厂制造、工地安装的施工方法，具备了大型结构、成批大件生产和成品精度高等优点，例如，一个静载 20 万 t 的焊接储罐，制造周期为三个月，而同样正式形状与尺寸的铆接储罐，其制造周期往往超过一年。因此焊接结构为降低造价、发挥投资的经济效益创造了条件。

6) 焊接结构的经济效益好。焊接结构在使用一些型材时比轧制更经济。例如用宽扁钢与钢板焊成的大型工字钢（高度大于 700mm）往往比轧制的型钢成本更低。

焊接结构生产一般不需要大型、特殊和昂贵的设备，投资少、见效快，容易适应不同批量产品的生产，产品更新换代快速方便，经济效益好。

7) 焊接结构应用广泛，主要表现在以下几个方面：

① 焊接结构适应制作的外形尺寸范围特别大。不仅可以制造微型机器零件（采用微焊接技术），而且可以制造大型钢结构，特别适用于几何尺寸大而形状复杂的产品，如船体、桁架、球形容器等。对大型或超大型的复杂工程，可以将结构分解，对分解后的零件或部件分别进行焊接

加工，再通过总体装配焊接成一个整体结构。

② 可以制造任意外形的结构，并能实现现场安装。

③ 可以实现异种材料的连接，如异种金属的连接、金属与非金属的连接等，从而使焊接结构的材料运用更加合理。

## 2. 焊接结构的缺点

焊接结构的缺点及不足之处，集中表现在以下几个方面：

1) 由于焊接接头要经历冶炼、凝固和热处理三个阶段，所以焊缝中难免产生各类焊接缺陷，虽然大多数焊接缺陷可以修复，但若修复不当或缺陷漏检，将形成过大的应力集中，从而降低整个焊接结构的承载能力，可能带来严重的问题。

2) 由于焊接结构多是整体的大刚度结构，裂纹一旦扩展，就难以被制止，因此焊接结构对于脆性断裂、疲劳、应力腐蚀和蠕变破坏都比较敏感。

3) 由于焊接过程是一个不均匀的加热和冷却过程，焊接结构必然存在焊接残余应力和变形，这不仅影响焊接结构的外形尺寸和外观质量，同时给焊后的继续加工带来很多麻烦，甚至直接影响焊接结构的强度。

4) 焊接会改变材料的部分性能，使焊接接头附近变为一个不均匀体，即具有几何的不均匀性（包括截面的改变和焊接变形）、力学的不均匀性（接头形式引起的应力集中和焊接残余应力）、化学的不均匀性（成分不均匀）以及金属组织的不均匀性（即金相组织结构不均匀）。

5) 对于一些高强度的材料，因其焊接性较差，容易产生焊接裂纹等缺陷。

根据以上这些特点可以看出，若要获得优质的焊接结构，必须做到合理地设计结构、正确地选择材料和选择合适的焊接设备，制订正确的焊接工艺和进行必要的质量检验，才能保证合格的产品质量。

## 二、焊接结构的类型

焊接结构形式各异，繁简程度不一，类型很多。但焊接结构都是由一个或若干个不同的基本构件组成的，如梁、柱、桁架、箱体、容器等。分类的方法有几种，按半成品的制造方法可分为板焊结构、铸焊结构、锻焊结构、冲焊结构等；按结构的用途则可分为车辆结构、船体结构、飞机结构、容器结构等；按材料厚度可分为薄壁结构、厚壁结构；按材料种类可分为钢制结构、铝制结构、钛制结构等；现在国内通用的分类方法是根据焊接结构的工作特性来分类，主要分为以下几种类型：

### 1. 梁及梁系结构

梁是在一个或两个主平面内承受弯矩的构件。这类结构的工作特点是构件受横向弯曲，当多根梁通过焊接组成梁系结构时，其各梁的受力情况变得比较复杂。如大型水压机的横梁、桥式超重机架中的主梁以及大型栓焊钢桥主桥钢结构中的 I 形主梁等。

### 2. 柱类结构

柱类结构是轴心受压和偏心受压（带有纵向弯曲）的构件。柱和梁一起组成厂房、高层房屋和工作平台的钢骨架。这类结构的特点是，承受压力或在受压同时又承受纵向弯曲。与梁类结构一样，结构的断面形状大多为 I 形、箱形或管式圆形断面。

### 3. 桁架结构

桁架结构常用于大跨度的厂房、展览馆、体育馆和桥梁等公共建筑中。这里的桁架指的是桁架梁，是格构化的一种梁式结构。由于大多用于建筑的屋盖结构，因此桁架通常也被称作屋架。其主要结构特点在于各杆件受力均以单向拉、压为主，通过对上下弦杆和腹杆的合理布置，可适应结构内部的弯矩和剪力分布。由于水平方向的拉、压内力实现了自身平衡，整个结构不对支座产生水平推力。结构布置灵活，应用范围非常广。如用于大中型工业和民用建筑、大跨度的桥式

起重机、门式起重机等。

#### 4. 板壳结构（又称壳体结构）

这类结构是由钢板焊接而成，钢板的厚度远小于其他两个尺寸。按照几何形状，板又分为薄板和薄壳。薄板是平面的板；薄壳是曲面的板。因为板壳结构是由薄板和薄壳组成的，所以板壳结构又称薄壁结构。板壳结构如储气罐、储液罐等要求密闭的容器，大直径高压输油管、输气管等，以及高炉的炉壳、轮船的船体等。另外还有汽车起重机箱形伸缩臂架、转台、车架、支腿等。挖掘机的动臂、斗杆、铲斗，门式起重机的主梁、刚性支腿、挠性支腿等也都属于板壳结构。

#### 5. 杆系结构

这类结构是由若干杆件按照一定的规律组成几何不变结构。其特征是每根杆件的长度远大于宽度和厚度，即截面尺寸较小。常见的塔式起重机的臂架和塔身是杆系结构；高压输电线路塔架、变电构架、广播电视发射塔架也是杆系结构。

#### 6. 骨架结构

这类结构的作用因像动物骨骼一样，故而得名。大多数用于起重运输机械，通常受动载荷，故要求它具有较轻的重量和较大的刚度。如北京奥运会主体育场“鸟巢”、船体钢肋、客车棚架、列车和汽车厢体等，均属此类结构。

#### 7. 网架结构（又称网格结构）

这类结构是一种高次超静定的空间杆系结构。网架结构空间刚度大、整体性强、稳定性好、安全度高，具有良好的抗振性和较好的建筑造型效果，同时兼有重量轻、材料省、制作安装方便等优点，因此是适用于大、中跨度屋盖体系的一种良好的结构形式。近 30 年来，网架结构在国内外得到了普遍的推广应用。

#### 8. 机器结构

这类结构通常是在交变载荷或多次重复性载荷下工作，它要求有良好的动载性能和刚度。此外，它本身往往还需机械加工以保证尺寸精度和稳定性。主要包括机器的机身、机座、大型机械零件（如齿轮、滚筒、轴）等。大多数采用钢板焊接或铸焊、锻焊联合工艺，可以解决铸锻设备能力不足的问题，同时大大缩短了制造周期。这类结构有机座、机架、机身、机床横梁及齿轮、连杆和轴等。

几种主要结构形式如图 1-1 ~ 图 1-6 所示。

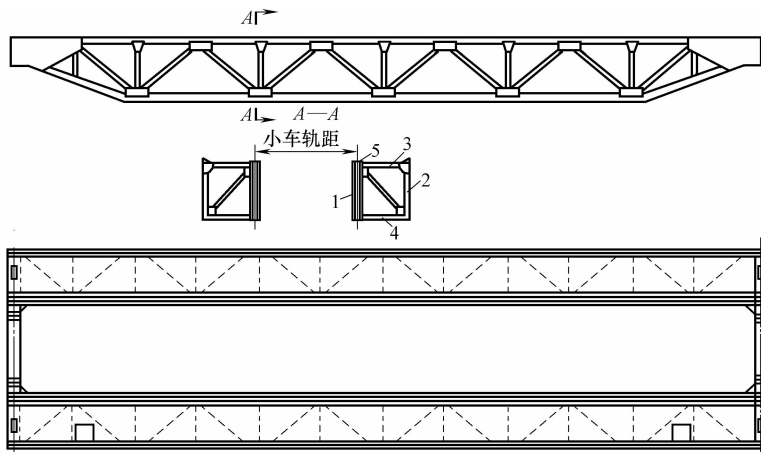


图 1-1 四桁架式桥式起重机桥架图

1—主桁架 2—辅助桁架 3—上水平桁架 4—下水平桁架 5—钢轨

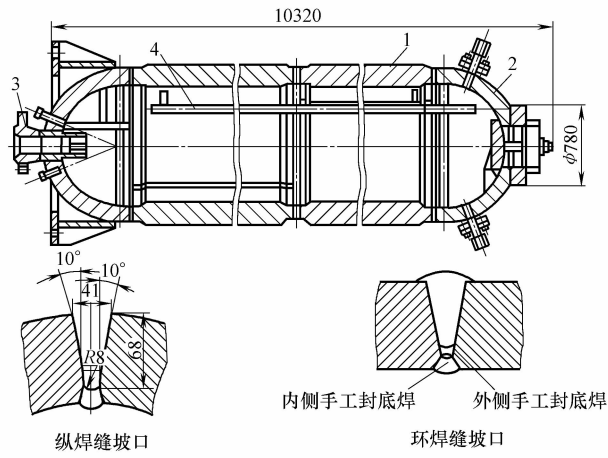


图 1-2 钢板卷焊容器的典型结构

1—筒体 2—封头 3—接管 4—内件

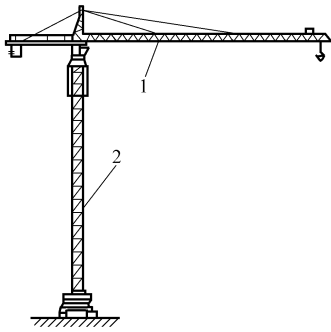


图 1-3 塔式起重机

1—臂架 2—塔身

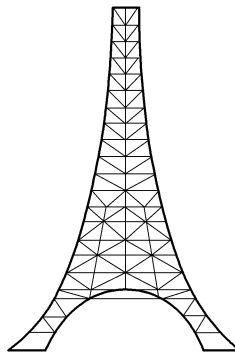


图 1-4 广播电视发射塔架

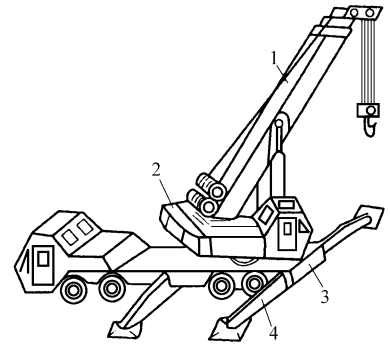


图 1-5 汽车起重机

1—臂架 2—转台 3—车架 4—支腿

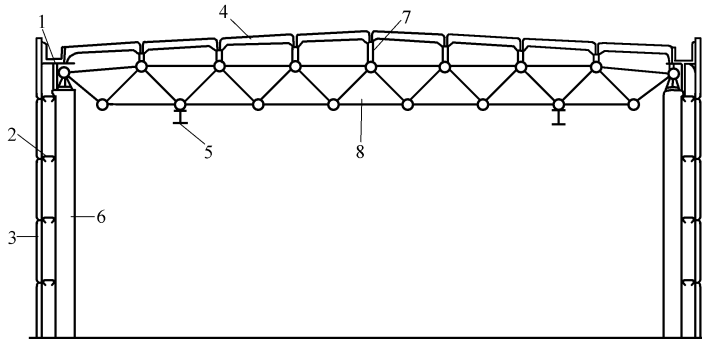


图 1-6 网架

1—内天沟 2—墙架 3—太空轻质条形墙板 4—太空网架板 5—悬挂吊车  
6—混凝土柱 7—找坡小立柱 8—网架

## 第二节 焊接结构的制造工艺特点

### 一、焊接结构的制造工艺过程

焊接结构的制造是从焊接生产的准备工作开始的，它包括结构的工艺性审查、工艺方案和工艺规程设计、工艺评定、编制工艺文件（含定额编制）和质量保证文件、订购原材料和辅助材料、外购和自行设计制造装配焊接设备和装备；从材料入库开始就真正进入了焊接结构工艺过程，包括材料复验入库、备料加工、装配焊接、焊后热处理、质量检验、成品验收等；其中还穿插返修、涂饰和喷漆等；最后是合格产品入库。典型的焊接结构制造工艺过程如图 1-7 所示。

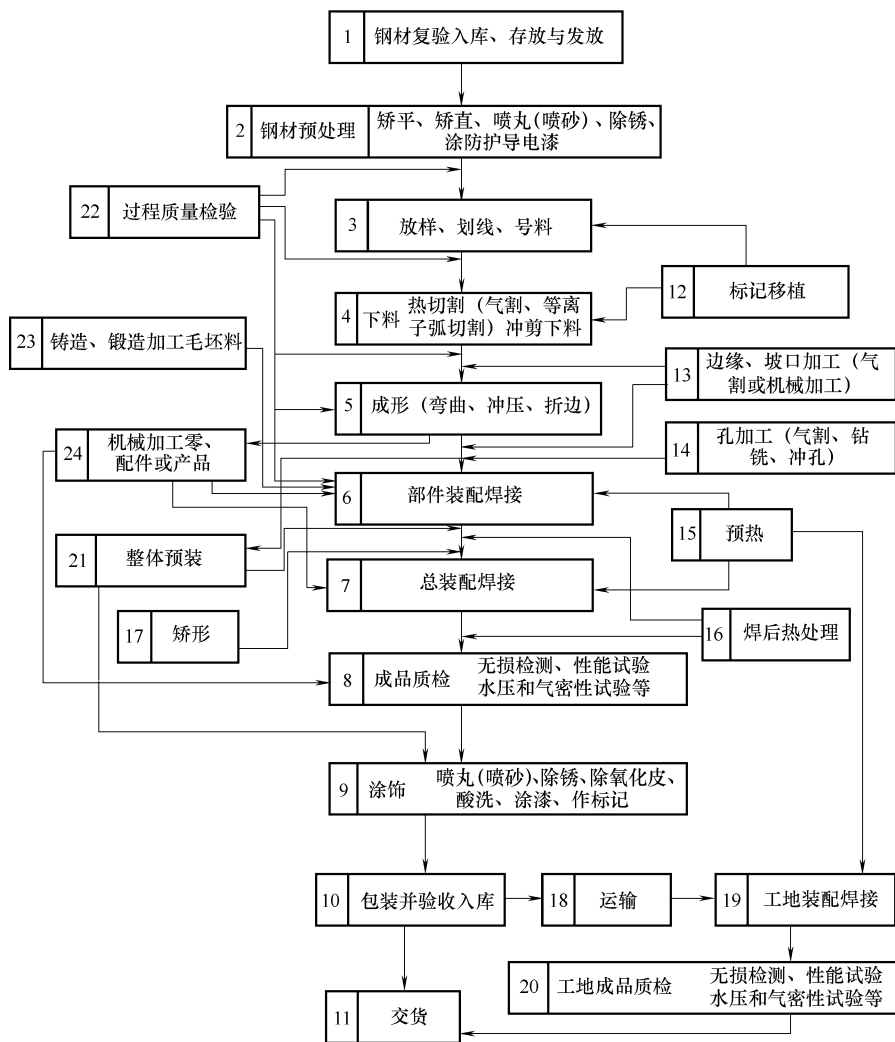


图 1-7 焊接结构制造工艺过程

图 1-7 中序号 1~11 表示出焊接结构制造流程，其中序号 1~5 为备料工艺过程的工序，还包括穿插其中的 12~14 工序。应当指出，由于热切割技术，特别是数字切割技术的发展，下料工序的自动化程度和精细程度大大提高，手工划线、号料和手工切割等工艺正逐渐被淘汰。序号

6、7 以及 15~17 为装配焊接工艺过程的工序。需要在结构使用现场进行装配焊接的, 还需执行 18~21 工序。序号 22 需在各工艺工序后进行, 序号 23、24 表明焊接车间和铸、锻、冲压与机械加工车间之间的关系, 在许多以焊接为主导工艺的企业中, 铸、锻、冲压与机械加工车间为焊接车间提供毛坯, 并且机加工和焊接车间又常常互相提供零件、半成品。

## 二、焊接结构的制造工艺顺序

钢板卷焊式容器的应用最为广泛, 其典型的外形结构如图 1-2 所示。下面以钢板卷焊式容器制造工艺过程为例, 简要说明制造工艺过程的各工序特点及要求。

在钢板卷焊式容器的制造中, 对板厚在 150mm 以下的大多数筒体采用卷板机卷制成形, 150mm 以上的筒体则采用大吨位液压机在专用的模具上压制成形。容器两端的封头可用水压机, 将钢板毛坯通过冲头和冲模冲压成半球形、椭球形或碟形封头。其中坡口和边缘加工常采用热加工和冷加工方法。常用的热加工方法有气割、等离子弧切割、激光切割等; 常用的冷加工设备有剪板机、刨边机、卷板机、平板机等。卷焊结构容器的优点是制造工艺简单, 材料利用率高, 生产周期短, 制造成本低。其制造工艺顺序见表 1-1。

表 1-1 卷焊式容器制造工艺顺序

序号	工序名称	该工序主要作用及特点	注意事项
1	钢板切割下料	卷焊结构容器用材料,除接管材料为无缝钢管或锻件外,其余均为钢板。经检查合格、确认无表面裂纹后才能进行卷制或冲压	下料前钢板要作预处理。厚板还应做超声波探伤。板厚大于 60mm 的钢板热切割表面应作磁粉探伤
2	筒体卷制及封头的冲压成形	筒体的卷制视钢板厚度选择冷卷还是热卷。卷板机可卷制筒体的最小直径为上辊筒直径的 1.15~1.2 倍	筒体热卷圆时应控制好始卷温度和终卷温度。封头冲压成形后的尺寸公差参照有关规定执行
3	纵缝坡口的制备	电渣焊接头直边、中薄板 V 形坡口可采用半自动火焰切割机加工。厚板的 U 形坡口则应在龙门刨床或龙门铣床上加工	按图样规定的筒体名义直径测量筒体的实际周长划两次线,割去余量后按工艺要求加工坡口
4	筒体纵缝的焊接和热处理	筒体纵缝的焊接方法可按壁厚选定,壁厚 50mm 以下的筒体纵缝通常采用单丝或多丝埋弧焊,50mm 以上的纵缝则采用电渣焊或窄间隙埋弧焊。筒体纵缝焊接后或淬火+回火处理后,应作复校圆或整形	电渣焊后一般需立即作正火+回火处理。纵缝埋弧焊可根据壁厚考虑是否进行中间消除应力处理,筒体环缝总装焊接后要进行整体消除应力处理
5	筒体内壁的堆焊	对高温下工作的容器,内壁防腐层必须采用堆焊法。而对大直径厚壁容器的内壁,必须选用高熔敷率堆焊方法如带极埋弧堆焊或带极电渣堆焊。封头内壁的堆焊程序一般有两种,如在切割成圆形封头的坯料上先堆焊再冲压或在封头冲压以后堆焊。在变位机上堆焊封头内壁时,也可按闭合环带型或螺旋线型两种方式进行	堆焊后,堆焊层表面应略作修磨,并按技术条件的要求做局部或全部渗透探伤,以检测表面裂纹等缺陷。不锈钢复合层堆焊后一般可不作焊后消除应力处理
6	环缝坡口的制备	环缝坡口形式取决于容器壳体壁厚及所选用的焊接方法。对薄壁的多采用 V 形坡口,对厚壁的多采用 U 形坡口,其坡口角度大小可按壁厚和焊接方法确定。焊条电弧焊坡口角小于埋弧焊的坡口角。窄间隙埋弧焊其坡口角为 1°~3°	坡口尺寸必须按设计图样或焊接工艺规程所规定的尺寸和公差严格检查,在不按图样要求的坡口中进行焊接,将导致各种焊接缺陷的形成