

高职高专焊接专业工学结合系列规划教材

焊接结构制造 工艺及实施

HANJIE JIEGOU ZHIZAO
GONGYI JI SHISHI

朱小兵 张祥生◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专焊接专业工学结合系列规划教材

焊接结构制造工艺及实施

主 编 朱小兵 张祥生 (企业)
参 编 蔡志伟 陶迺淳 (企业) 张叔权
王德伟 (企业) 窦红强 侯 勇
刘太华 (企业) 黄公望 郜建中
王 东 (企业)
主 审 许 健 (企业) 杨 跃

机械工业出版社

本书以校企合作制订的《焊接制造岗位职业标准》为依据,针对高职高专焊接专业培养学生焊接结构制造工艺编制与实施能力的需要,由全国机械职业教育材料类专业教学指导委员会组织,通过校企合作、校校合作编写而成。

本书按照制造业焊接产品的实际生产过程,以典型的焊接结构为载体,以焊接结构加工工艺流程为主线进行编写。全书分二篇共九章内容,包括焊接结构概述、焊接应力与变形、焊接接头及结构强度、焊接结构工艺概述、典型焊接结构制造工艺流程、备料工艺编制及实施、装配—焊接工艺装备、装配—焊接工艺编制与实施、焊接结构生产的组织。附录提供了几个焊接结构的制造工艺案例和企业通用焊接技术文件样本,供学习时参考。

本书在编写过程中广泛吸纳了国内企业焊接结构制造的成熟技术和生产实际经验,贴近生产,贴近工程实践。通过学习,使学生初步掌握现代化焊接结构生产工艺流程,明确工艺工作的内容及工艺人员的职责,熟悉焊接结构的备料与装配—焊接工艺编制方法,为以后走上工作岗位打下良好的基础。

本书是高职高专院校焊接专业教材,也可作为企业有关焊接人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

焊接结构制造工艺及实施/朱小兵,张祥生主编. —北京:机械工业出版社,2010.9

高职高专焊接专业工学结合系列规划教材
ISBN 978-7-111-31889-7

I. ①焊… II. ①朱…②张… III. ①焊接结构—焊接工艺—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG44

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第178553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:王海峰 责任编辑:王海峰

版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·17.25印张·2插页·426千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31889-7

定价:30.00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

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材为高职院校焊接技术与自动化专业工学结合规划教材，是针对高职高专焊接专业培养学生焊接结构制造工艺编制与实施能力的需要，以行业主导、校企合作制订的《焊接制造岗位职业标准》为依据，由中国机械职业教育材料类专业教学指导委员会组织国家示范性高职院校教师和企业专家共同编写的。

“焊接结构制造工艺及实施”是一门涉及多种焊接相关知识及多种工程技术、理论与实际结合极为紧密的课程。所以，本教材按照制造业焊接产品的实际生产过程，以典型的焊接结构为载体，以焊接结构加工工艺流程为主线，将焊接结构制造分为基础知识和制造工艺与实施两部分内容，以点带面、点面结合地编排内容，并且在编写过程中广泛吸纳了国内企业焊接结构制造的成熟技术和生产实际经验，贴近生产，贴近工程实践，体系完整。通过对焊接结构制造工艺过程中各个环节相关知识的学习、工艺编制等的训练，使学生初步掌握现代化焊接结构生产工艺流程，明确工艺工作的内容及工艺人员的职责，熟悉焊接结构的备料与装配—焊接工艺编制方法，培养理论联系实际、分析问题和解决问题的能力。教材附录提供了几个焊接结构的制造工艺案例和企业通用焊接技术文件样本，帮助学生了解实际产品的制造工艺及一些典型的工艺要求，初步积累经验，为以后走上工作岗位打下良好的基础。

本书分二篇共九章教学内容。按照校企合作、校校合作原则，由四川工程职业技术学院副教授朱小兵和东方电气集团公司教授级高级工程师张祥生任主编，负责整体策划、设计和校企编审人员整合与组织协调，并编写第八、九章及附录 D；第一、二章由武汉船舶职业技术学院副教授蔡志伟和长航青山船舶重工有限公司高级工程师陶迺淳编写；第三章及附录 A 由安徽机电职业技术学院讲师张叔权和安徽金鼎锅炉有限责任公司焊接工程师王德伟编写；第四章由四川工程职业技术学院讲师窦红强编写；第五章由四川工程职业技术学院讲师侯勇和四川石油化工机械厂焊接工程师刘太华编写；第六章及附录 B 由广西机电职业技术学院、南宁通用机械厂焊接工程师黄公望编写；第七章及附录 C 由包头职业技术学院副教授郜建中和五二研究所天利焊业有限公司高级工程师王东编写。全书由朱小兵统稿，由东方电气集团公司焊接分厂教授级高级工程师许健、四川工程职业技术学院教授级高级工程师杨跃主审。

在编写过程中，编者参阅了有关同类教材、书籍和网络资料，并得到参编学校和企业的全力支持，在此致以深深的谢意！

由于编者水平有限，加上时间仓促，书中难免存在某些需要进一步完善和改进的地方甚至错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

国家机械职业教育材料类专业教学指导委员会

教材编审委员会

主 任 孙长庆

副 主 任 管 平 杨 跃

委 员 戴建树 曹朝霞 陈长江 王小平 王海峰

企业顾问 高凤林 张祥生 许 建

秘 书 长 陈云祥

目 录

前言

第一篇 焊接结构制造基础知识

第一章 焊接结构概述	2
第一节 焊接结构在工业中的应用及特点	2
一、焊接结构的应用及发展	2
二、焊接结构的特点	3
第二节 典型焊接结构的类型及制造特点	4
一、焊接结构的类型	4
二、焊接结构的制造特点	5
第二章 焊接应力与变形	9
第一节 焊接应力与变形的产生	9
一、焊接应力与变形的一般概念	9
二、焊接引起的应力与变形的分析	10
第二节 焊接残余变形	14
一、焊接残余变形的种类	14
二、影响焊接变形的因素	17
三、焊接变形的控制	20
四、焊后变形的矫正	23
第三节 焊接残余应力	25
一、焊接残余应力的分布	25
二、焊接残余应力的影响	28
三、焊接生产中调节内应力的措施	31
四、焊后降低或消除焊接残余应力的方法	33
思考题	36
第三章 焊接接头及结构强度	37
第一节 焊接接头与焊缝	37
一、焊接接头的概念及特点	37
二、焊缝及焊接接头的基本形式	37
第二节 焊接接头的工作应力分布	40
一、应力集中的概念	40
二、焊接接头的工作应力分布	41
第三节 焊接接头的静载强度计算	44
一、工作焊缝和联系焊缝	44

二、焊接接头的组配	44
三、焊接接头静载强度计算的基本假设	44
四、电弧焊接头的静载强度计算	45
第四节 焊接结构疲劳	46
一、疲劳的概念	47
二、影响焊接结构疲劳强度的因素	47
三、提高焊接结构疲劳强度的措施	48
第五节 焊接结构的失效	51
一、焊接结构的脆断	51
二、焊接结构的应力腐蚀破坏	57
思考题	59

第二篇 焊接结构制造工艺与实施

第四章 焊接结构工艺概述	62
第一节 焊接结构制造工艺工作的内容	62
一、焊接生产工艺过程的内容	62
二、焊接结构的工艺性审查	62
三、焊接生产工艺过程的设计与步骤	64
第二节 焊接结构制造工艺文件	69
一、工艺规程的组成	69
二、焊接制造工艺文件简述	70
三、焊接结构制造工艺文件	70
第三节 焊接结构设计合理性分析	77
一、焊接结构的强度分析	77
二、焊接结构的工艺性和经济性分析	78
三、部件的合理划分分析	81
第四节 焊接结构制造的质量检测与试验计划 (ITP)	82
一、ITP 的概念与特点	82
二、ITP 的应用	82
三、ITP 的应用说明	85
第五节 综合训练	85
第五章 典型焊接结构制造工艺流程	86
第一节 气液分离器总装图分析	86
一、总装图	86

二、压力容器结构特点	86	二、零件的夹紧机构	166
三、气液分离器结构特点	86	第三节 焊接变位设备	176
第二节 气液分离器制造工艺流程	87	一、焊件变位设备	177
第六章 备料工艺编制及实施	90	二、焊机变位设备	184
第一节 金属材料管理的基本知识	90	三、焊工变位设备	188
一、焊接结构常用钢材	90	第四节 焊接生产其他装置与装备	189
二、焊接结构金属材料的管理	91	一、装配—焊接吊具	189
第二节 原材料的矫正及预处理工艺	94	二、起重运输设备	191
一、钢材产生变形的原因	94	三、焊接机器人简介	191
二、钢材变形的实质和矫正方法	94	第五节 工装夹具设计	194
三、钢材的预处理	99	一、工装夹具设计的基本知识	194
第三节 放样与划线工艺过程及质量		二、夹具结构设计与变位设备选择	
要求	100	实例	199
一、放样	100	思考题	202
二、划线(号料)	111	第八章 装配—焊接工艺编制与	
第四节 下料工艺过程及质量要求	113	实施	203
一、机械切割	113	第一节 焊接结构的装配基础知识	203
二、热切割	119	一、装配的基本条件	203
第五节 边缘(坡口)加工及质量要求	126	二、零件的定位	205
一、边缘加工及其目的	126	三、装配中的定位焊	207
二、边缘(坡口)常用的加工方法	126	四、装配中的测量	208
三、坡口的检查	128	五、装配用工夹具及设备	211
第六节 零件成形过程及质量要求	128	六、焊接结构的装配工艺	213
一、机械压弯成形	128	七、典型焊接结构件装配实例	215
二、钢板卷圆(滚弯)成形	131	第二节 焊接结构制造工艺过程分析	218
三、压延成形	135	一、工艺过程基础知识	218
四、旋压成形	140	二、工艺过程分析的具体内容	219
五、爆炸成形	141	第三节 气液分离器装配—焊接工艺的	
六、成形件的一般质量要求	141	编制与装焊质量要求	223
第七节 气液分离器备料工艺规程的		一、气液分离器结构制造重点及工艺性	
编制	142	分析	223
一、备料前的准备	142	二、气液分离器装配—焊接工艺及	
二、备料工艺编制	142	质量要求	225
第八节 综合训练	155	第四节 综合训练	226
思考题	156	思考题	228
第七章 装配—焊接工艺装备	157	第九章 焊接结构生产的组织	229
第一节 装配—焊接工艺装备的类型及		第一节 焊接结构生产车间布置基本	
特点	157	知识	229
一、工艺装备在焊接生产中的地位和		一、焊接车间的类型	229
作用	157	二、焊接车间的组成	229
二、工艺装备的分类与特点	157	三、焊接车间平面布置	229
第二节 装配—焊接工装夹具	159	四、车间平面布置举例	231
一、零件的定位及定位器	159		

第二节 焊接结构生产组织的形式与 内容	233	附录 B 转轮室的制造	243
一、焊接生产的空间组织	233	附录 C 水箱制造工艺	252
二、焊接生产的时间组织	234	附录 D 焊接通用技术文件实例	257
思考题	237	参考文献	268
附录 A 中压容器制造工艺	238		

第一篇

焊接结构制造 基础知识

第一章 焊接结构概述

第一节 焊接结构在工业中的应用及特点

一、焊接结构的应用及发展

随着国民经济的发展，焊接结构的应用日益广泛，尤其在桥梁建筑、重型机械、压力容器、舰船制造、化工和石油设备、核容器、航天飞行器和海洋工程领域中，焊接结构的应用更为广泛。图 1-1 为几种焊接结构的应用示例。

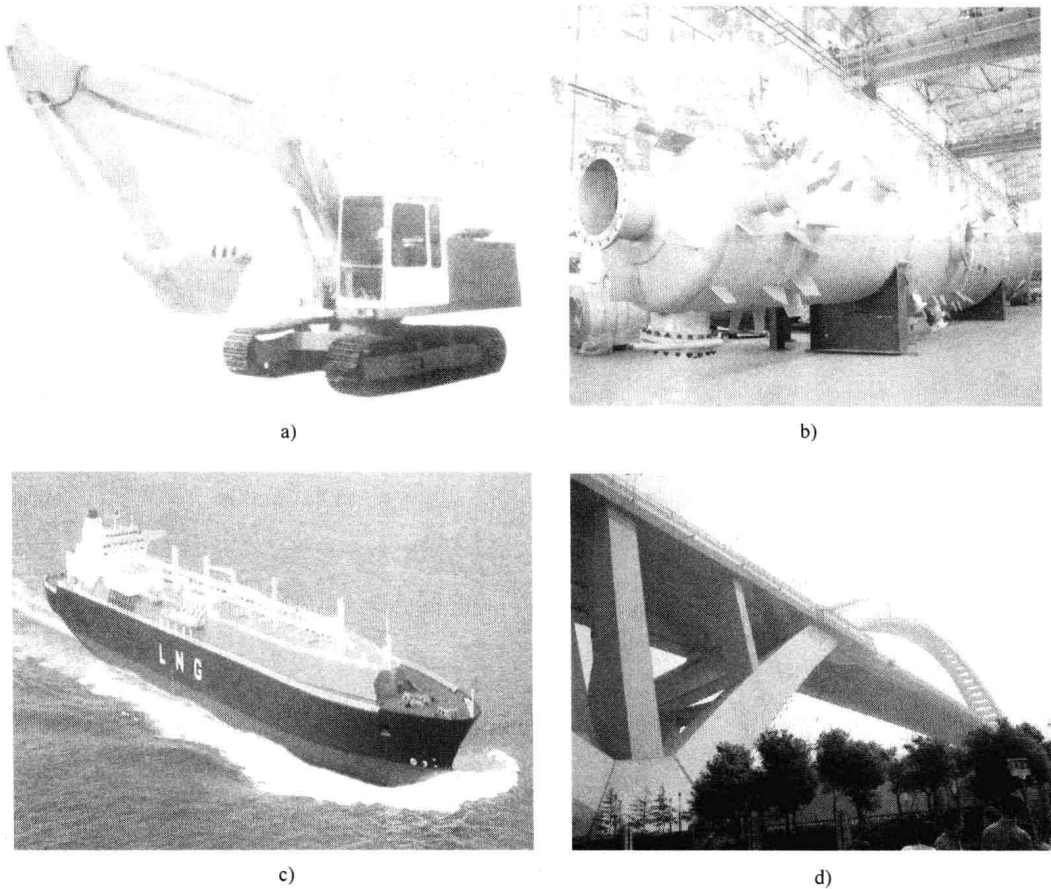


图 1-1 焊接结构的应用

a) WY32 液压挖掘机 b) 氨精馏塔 c) LNG 船 d) 上海卢浦大桥（全焊钢结构）

焊接是金属连接的一种工艺方法，特别是在钢铁连接方面，也是一门古老的综合性应用技术，焊接技术从近代以后随着科学技术的整体进步而快速发展。焊接技术是随着金属的应用而出现的，古代的焊接方法主要是铸焊、钎焊和锻焊。中国商朝制造的铁刃铜钺，就是铁

与铜的铸焊件，其表面铜与铁的熔合线蜿蜒曲折，结合良好。春秋战国时期曾侯乙墓中的建鼓铜座上有许多盘龙，是分段钎焊连接而成的。经分析，所用的与现代软钎料成分相近。19世纪初，英国的戴维斯发现电弧和氧乙炔焰两种能局部熔化金属的高温热源，1885~1887年，俄国的别纳尔多斯发明碳极电弧焊钳，开始了电弧焊的应用。20世纪前期发明和推广了焊条电弧焊，中期发明和推广了埋弧焊和气体保护焊；随着现代科学的发展和进步，各种高能束（电子束、激光束）也在焊接上得到应用。到了20世纪70年代，在世界范围内，焊接技术已经成为机械制造业中的关键技术之一。特别是20世纪后期，随着世界新技术革命的到来和电子技术及自动控制技术的进步，焊接产业开始向高新技术方向发展，出现了焊接机器人和高智能型的焊接成套设备及焊接新技术，焊接技术更加突出地反映了整个国家的工业生产发达水平和机械制造技术水平。

由于世界工业化进程的加快，钢铁产量大幅提高，钢铁的应用不断扩大，促使焊接技术不断发展和进步，钢铁作为主要金属的焊接结构的应用也越来越广泛，目前各国的焊接结构用钢量，均已占其钢材消费量的40%~60%。焊接结构几乎渗透到国民经济的各个领域，如工业中的重型与矿山机械、起重与吊装设备、冶金建筑、石油与化工机械、各类锻压机械等；交通航务中的汽车、列车、舰船、海上平台、深潜设备的制造；兵器工业中的常规兵器、炮弹、导弹、火箭的制造；航空航天技术中的人造卫星和载人宇宙飞船如“神六”、“神七”的制造等。对于许多产品或工程，例如用于核电站的工业设备和三峡水电站的闸门以及开发海洋资源所必需的海底作业机械或潜水装置等，为了确保加工质量和后期使用的可靠性，必须采用焊接结构，因为很难找到比焊接更好的制造技术，也难以找到比焊接工艺更能保证这些机械结构满足其使用性能要求的其他方法。因此，焊接结构的应用无论是现在或者是将来仍会在相当长的时间内，展现出它的巨大的优越性。

二、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。

3) 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），而且可以制造现代钢结构，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，对分解后零件或部件分别进行焊接加工，再通过总体装配焊接连接成一个整体结构。

4) 焊接结构比较经济。在使用一些型材时，采用焊接结构比轧制更经济。例如用宽扁钢与钢板焊成的大型工字钢（高度大于的700mm）往往比轧制的型钢成本更低。

5) 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%左右。

2. 焊接结构的不足

焊接结构的不足之处，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, 虽然大多焊接缺陷可以修复, 但若修复不当或缺陷漏检, 则可能带来严重的问题, 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。

2) 由于焊接结构多是整体的大刚度结构, 裂纹一旦扩展, 就难以被制止住, 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, 因其焊接性能较差, 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, 制定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。

第二节 典型焊接结构的类型及制造特点

一、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、框架、箱体、容器等。分类的方法有好几种, 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结构件受横向弯曲, 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、桥式起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) 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, 其结构的断面形状大多为 “I” 形、箱型或管式圆形断面。

(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) 壳体结构 这类结构承受较大的内压或外压载荷，因而要求焊接接头具有良好的气密性，如容器、锅炉、管道等。大型储罐和运送液体或液化气体的罐车罐体等均由钢板焊成。

(5) 骨架结构 这类结构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，故要求它具有较轻重量和较大的刚度。如奥运“鸟巢”、船体钢肋、客车棚架、列车和汽车箱体等，均属此类结构。

(6) 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 1-2 所示。

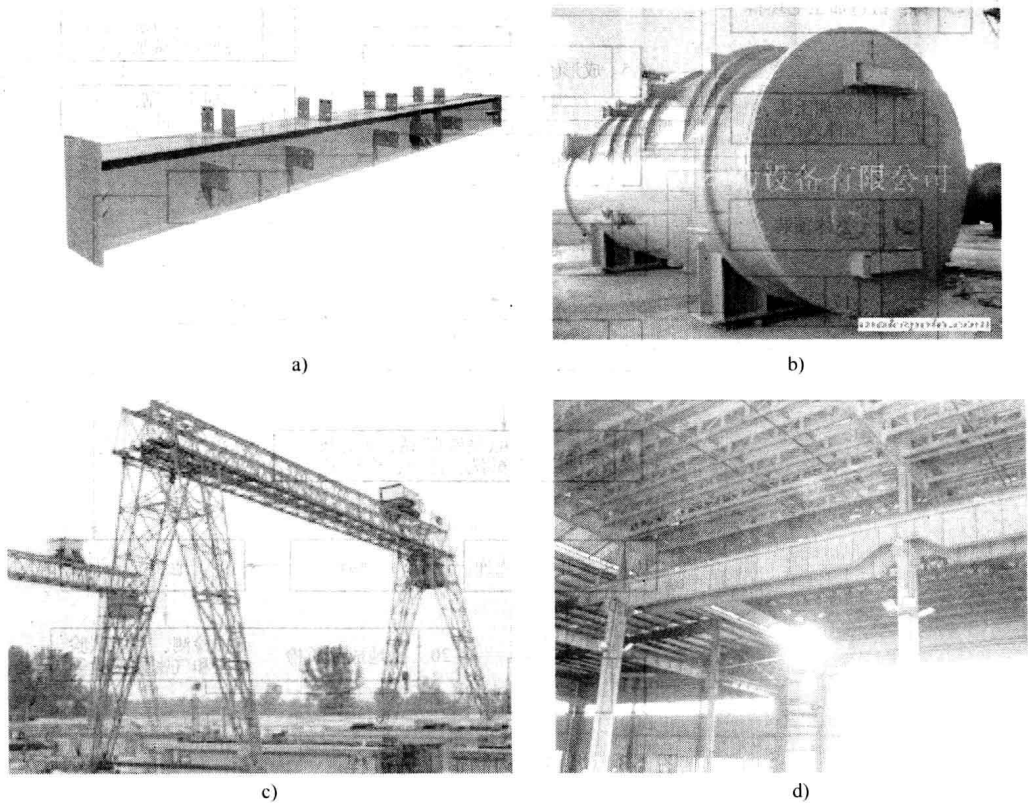


图 1-2 焊接结构类型

a) 梁柱结构 b) 发电厂的配套设备凝汽器 c) CGH 型桁架结构门式起重机 d) 厂房骨架结构

二、焊接结构的制造特点

焊接作为一种特殊的加工工艺，企业在投产前，对于焊接工艺评定、焊接工艺规程、焊工资格及无损检测人员的资格尚需进行不同程度的认可。

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；从材料入库开始真正进入了焊接结构制造工艺过程，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；最后是合格产品入库。典型的焊接制造工艺顺序如图 1-3 所示。

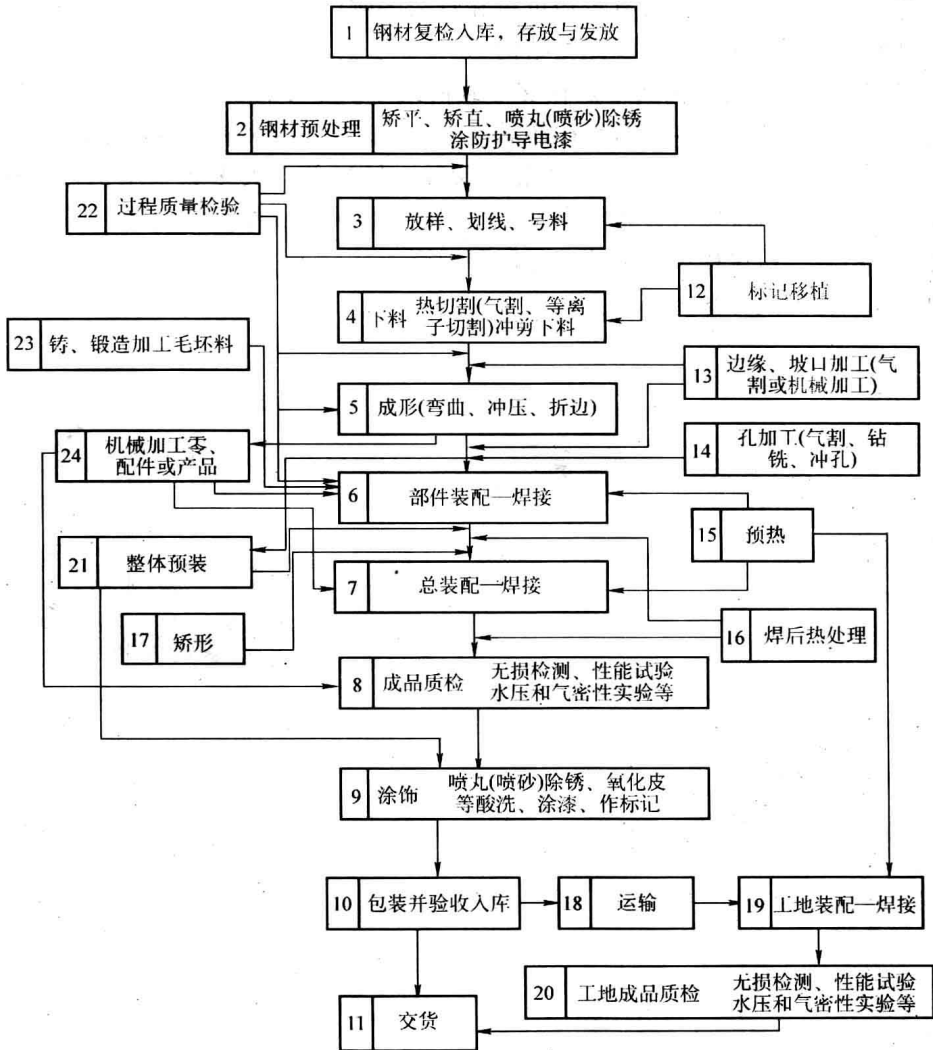


图 1-3 焊接结构制造工艺过程

图 1-3 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，还包括穿插期间的 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。主要过程如下：

(1) 生产准备 为了提高焊接产品的生产效率和质量，保证生产过程的顺利进行，生产前需做以下准备工作：

1) 技术准备。焊接结构生产的准备工作是整个制造工艺过程的开始。它包括了解生产任务，审查（重点是工艺性审查）并熟悉结构图样，了解产品技术要求，在进行工艺分析的基础上，制定全部产品的工艺流程，进行工艺评定，编制工艺规程及全部工艺文件、质量保证文件，订购金属材料 and 辅助材料，编制用工计划（以便着手进行人员调整与培训）、能源需用计划（包括电力、水、压缩空气等），根据需要定购或自行设计制造装配—焊接设备和装备，根据工艺流程的要求，对生产面积进行调整和建设等。生产的准备工作很重要，做得越细致，越完善，未来组织生产就越顺利，生产效率越高，质量越好。

2) 物质准备 根据产品加工和生产工艺要求，订购原材料、焊接材料以及其他辅助材料，并对生产中的焊接工艺设备、其他生产设备和工夹具进行购置、设计、制造或维修。材料库的主要任务是材料的保管和发放，它对材料进行分类、储存和保管并按规定发放。材料库主要有两种，一是金属材料库，主要存放保管钢材；二是焊接材料库，主要存放焊丝、焊剂和焊条。

(2) 材料加工 焊接结构零件绝大多数是以金属轧制材料为坯料，所以在装配前必须按照工艺要求对制造焊接结构的材料进行一系列的加工。其中包括以下两项内容：

1) 材料预处理。焊接生产的备料加工工艺是在合格的原材料上进行的。首先进行材料预处理，包括矫正、除锈（如喷丸）、表面防护处理（如喷涂导电漆等）、预落料等。

2) 构件加工。除材料预处理外，备料包括放样、划线（将图样给出的零件尺寸、形状划在原材料上）、号料（用样板来划线）、下料（冲剪与切割）、边缘加工、矫正（包括二次矫正）、成形加工（包括冷热弯曲、冲压）、端面加工以及号孔、钻（冲）孔等为装配—焊接提供合格零件的过程。备料工序通常以工序流水形式在备料车间或工段、工部组织生产。

(3) 装配—焊接制作 装配—焊接制作充分体现焊接生产的特点，它是两个既不相同又密不可分的工序。它包括边缘清理、装配（包括预装配）、焊接。绝大多数钢结构要经过多次装配—焊接才能制成，有的在工厂只完成部分装配—焊接和预装配，到使用现场再进行最后的装配—焊接。装配—焊接顺序可分为整装—装焊、部件装配焊接—总装配焊接、交替装配—焊接三种类型，主要按产品结构的复杂程度、变形大小和生产批量选定。装配—焊接过程中时常还需穿插其他的加工，例如机械加工、预热及焊后热处理、零部件的矫形等，贯穿整个生产过程的检验工序也穿插其间。装配—焊接工艺复杂，种类繁多，采用何种装配—焊接工艺要由产品结构、生产规模、装配—焊接技术的发展决定。

(4) 焊后热处理 焊后热处理是焊接工艺的重要组成部分，与焊件材料的种类、型号、板厚、所选用的焊接工艺及对接头性能的要求密切相关，是保证焊件使用特性和寿命的关键工序。焊后热处理不仅可以消除或降低结构的焊接残余应力，稳定结构的尺寸，而且能改善接头的金相组织，提高接头的各项性能，如抗冷裂性、抗应力腐蚀性、抗脆断性、热强性等。根据焊件材料的类别，可以选用下列不同种类的焊后热处理：消除应力处理、回火、正火+回火（又称空气调质处理）、调质处理（淬火+回火）、固溶处理（只用于奥氏体不锈钢）、稳定化处理（只用于稳定型奥氏体不锈钢）、时效处理（用于沉淀硬化钢）。

(5) 质量检验与后处理 检验工序贯穿整个生产过程, 检验工序从原材料的检验, 如入库的复验开始, 随后在生产加工每道工序都要采用不同的工艺进行不同内容的检验, 最后, 制成品还要进行最终质量检验。最终质量检验可分为焊接结构的外形尺寸检查、焊缝的外观检查、焊接接头的无损检查、焊接接头的密封性检查、结构整体的耐压检查等。检验是对生产实行有效监督, 从而保证产品质量的重要手段。在全面质量管理和质量保证标准工作中, 检验是质量控制的基本手段, 是编写质量手册的重要内容。质量检验中发现的不合格工序和半成品、成品, 按质量手册的控制条款, 一般可以进行返修, 但应通过改进生产工艺、修改设计、改进原供应等措施将返修率减至最小。

焊接结构的后处理是指在所有制造工序和检验程序结束后, 对焊接结构整个内外表面或部分表面或仅限焊接接头及邻近区进行修正和清理, 清除焊件表面残留的飞溅物, 消除击弧点及其他工艺检测引起的缺陷。修正的方法通常采用小型风动工具和砂轮打磨, 氧化皮、油污、锈斑和其他附着物的表面清理可采用砂轮、钢丝刷和抛光机等进行, 大型焊件的表面清理最好采用喷丸处理, 以提高结构的疲劳强度。不锈钢焊件的表面处理通常采用酸洗法, 酸洗后再作钝化处理。

产品的涂饰(喷漆、作标记以及包装)是焊接生产的最后环节, 产品涂装质量不仅决定了产品的表面质量, 而且也反映了生产单位的企业形象。

对一些重要的焊接结构需作安全性评价, 因为这些结构的安全性不仅影响经济的发展, 同时还关系到人民群众的生命安全。因此, 发展与完善焊接结构的安全评定技术和在焊接生产中实施焊接结构安全评定, 已经成为现代工业发展与进步的迫切需要。

第二章 焊接应力与变形

在焊接生产中，控制和消除焊接应力与变形是重点和难点之一。焊接时，由于焊接热源高度集中，使焊件各部位受热不均匀，产生应力和变形。如果应力超过了材料的屈服强度，就会发生塑性变形，冷却后结构中会出现残余变形和残余应力。例如：在焊接大型储油罐时，会引起罐体的局部变形和总体变形。如果构件焊后的变形超过了精度要求的允许值，就需要进行矫正变形处理。有的变形经矫正以后虽然可以达到精度要求，但耗资较大，有的无法矫正，只好报废，造成浪费。同时，焊后构件内部还会产生焊接残余应力，这种应力会影响结构的承载能力，有的还会影响构件机械加工的精度，而且也是引起焊接裂纹和脆断的主要因素。

本章是学习本课程的重点和基础，主要讨论焊接应力与变形的产生原因、预防和减少焊接应力与变形的措施、消除焊接残余应力和矫正焊接残余变形的办法。

第一节 焊接应力与变形的产生

一、焊接应力与变形的一般概念

（一）应力与变形的基本概念

物体在受到外力作用时，会产生形状和尺寸的变化，这种变化称为变形。物体的变形分为弹性变形和塑性变形两种。当外力除去后能够恢复到初始状态和尺寸的变形称为弹性变形，不能恢复的就称为塑性变形。

在外力作用下物体会产生变形，同时其内部会出现一种抵抗变形的力，这种力称为内力。单位面积上的内力称为应力。应力的大小与外力成正比，与本身截面积成反比，应力方向与外力相反。如果没有外力作用，物体内部也存在应力，则称为内应力。构件中的内应力分为拉应力和压应力，二者大小相等、方向相反、合力为零、合力矩为零，这就是内应力的基本特征。内应力存在于许多工程结构如铆接结构、铸造结构和焊接结构中。

（二）焊接应力的分类

焊接应力和变形的种类很多，可以根据不同的要求来分类。为了简便起见，这里先对焊接应力进行分类，焊接变形的分类将在下节详细介绍。焊接应力可从不同的角度来进行划分。

1. 按其分布的范围分

（1）第一类内应力 它们具有一定数值和方向，并且内应力在整个焊件内部平衡，故又称为宏观内应力，这种应力与焊件的几何形状或焊缝的方向有关。

（2）第二类内应力 内应力在一个或几个金属晶粒内的微观范围内平衡，相对焊件轴线没有明确的方向性，与焊件的大小和形状无关，它主要由金相组织的变化引起。

（3）第三类内应力 内应力在金属晶格各构架之间的超微观范围内平衡，在空间也没有一定的方向性。