

现代 焊接制造与管理

张建勋 ◎ 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



张建勋，男，1958年出生，工学博士，西安交通大学二级教授、博士生导师，国际焊接工程师。西安市政协委员，中国致公党西安市委会常委、交大总支部主委。西安焊接技术学会理事长，中国焊接学会常务理事，中国工程建设焊接协会常务理事，焊接力学与结构设计制造专业委员会副主任委员。《焊接学报》《焊接》《焊接技术》《焊管》《电焊机》等杂志编委。

长期致力于将信息与计算机、人工智能及数字化技术引入焊接科学与技术研究，主要从事焊接力学行为、激光与机器人焊接技术、焊接数值模拟与仿真、焊接结构服役性能与安全评价等教学与科研工作。主持与参加国家自然科学基金、博士点基金、国防973项目、国家科技支撑计划、国家重大专项、国家863项目及企业科技基金等50余项。获国家级、省部级等教学科研成果奖10余项。发表学术论文200余篇，获国家发明专利10余项，主编与参编教材及手册5部。培养博士20余名，硕士70余名。

现代焊接制造与管理

张建勋 编著



机械工业出版社

本书以焊接结构制造过程为主线,将现代管理思想与焊接制造技术相结合,系统介绍了焊接技术人员应具备的相关知识。具体内容包括:焊接制造概述、焊接制造基础、焊接技术基础、焊接应力与变形、焊接设计基础、焊接制造的备料加工、焊接结构制造工艺分析、焊接工艺评定与规程编制、焊接结构的装配与焊接、焊接制造工装夹具、焊接检验与质量管理、典型焊接结构制造工艺等,使焊接技术人员了解焊接制造与管理的特点和常用方法,提高焊接制造的安排、组织与管理水平。

本书可供企业的焊接技术人员参考,也可作为焊接工程师继续教育的教材,以及大、专院校焊接技术与工程、材料成形与控制工程、材料加工工程等专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代焊接制造与管理/张建勋编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 2
ISBN 978-7-111-41156-7

I. ①现… II. ①张… III. ①焊接 IV. ①TG4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第009074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:吕德齐 责任编辑:吕德齐 版式设计:张薇
责任校对:张媛 封面设计:赵颖喆 责任印制:邓博
北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)
2013年3月第1版第1次印刷
184mm×260mm·20.75印张·513千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-41156-7
定价:55.00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

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

策划编辑:(010)88379733

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前 言

在机械制造领域,焊接结构是指采用焊接作为主要连接技术的金属结构。随着我国从机械制造大国向机械制造强国的转变,焊接结构的应用领域也越来越广泛。虽然各种新型材料也已应用于焊接结构,但钢铁材料仍然是焊接结构的主要材料。

我国的钢产量自 1996 年突破 1 亿 t 后,连续六年居世界第一。从 2003 年起,我国钢产量已突破 2 亿 t,2004 年突破 3 亿 t,2006 年达到 4 亿 t,2007 年达到 5 亿 t,2011 年粗钢产量 6.9 亿 t,同比增长 8.9%,2012 年粗钢产量达到 7.3 亿 t。按照国家工业发展统计,钢材的 40% ~ 50% 要经过焊接加工才能投入使用,因此焊接技术在金属结构制造领域占有重要的地位。

本书是在作者 2006 年编写的《现代焊接生产与管理》基础上修编的,对整体结构进行了整理,增加了一些焊接设计与技术内容,并将“焊接生产”改为“焊接制造”,其意在于强调焊接结构和产品的集成创新性。实际上,制造是狭义生产中创造物质的过程,但是在编写中发现有些地方如将焊接生产改为焊接制造,在专业语言习惯上感到不很顺,因此在不引起混淆的情况下,本书中的焊接制造和焊接生产的意义是一样的。

本书综合了机械制造领域的焊接制造与管理的状况,将现代管理思想与焊接制造的技术水平相结合,使焊接工作者了解焊接制造与管理的特点和常用方法,提高从事焊接技术人员的焊接结构制造过程安排、组织与管理水平。

本书力求简明扼要,通俗易懂,期望能成为从事焊接结构制造的技术人员的参考书。由于作者现场工作经验薄弱和写作水平有限,书中难免存在缺欠和错误,恳请广大焊接工作者对本书提出批评和指正,以便有机会进一步修改和完善。

编 者

目 录

前言

第 1 章 焊接制造概述	1
1.1 焊接技术的历史沿革	1
1.2 焊接结构及其特点	2
1.3 焊接制造发展趋势	4
1.4 焊接制造管理	8
1.4.1 经营与生产	9
1.4.2 制造管理任务	10
1.4.3 企业组织结构	10
第 2 章 焊接制造基础	14
2.1 焊接制造过程	14
2.1.1 制造过程的分类	14
2.1.2 制造过程的时间组织	15
2.2 工艺过程及其组成	16
2.3 产品设计准备	18
2.4 产品工艺准备	21
2.5 合理组织焊接制造过程	23
2.6 制造类型与特征	24
2.6.1 制造类型概述	24
2.6.2 产品特点与制造类型的关系	25
2.6.3 改善制造类型的措施	27
2.7 制造纲领和工艺文件	27
2.7.1 制造纲领	27
2.7.2 制造工艺文件	28
2.8 焊接制造能力估算	34
第 3 章 焊接技术基础	41
3.1 焊接方法及其分类	41
3.2 电弧焊	42
3.2.1 焊条电弧焊	42
3.2.2 埋弧焊	44
3.2.3 钨极氩弧焊 (TIG 焊)	51
3.2.4 熔化极气体保护焊	55
3.3 高能束流焊接	60
3.3.1 电子束焊	60
3.3.2 激光焊	63
3.3.3 等离子弧焊	68

3.4 搅拌摩擦焊	70
第 4 章 焊接应力与变形	75
4.1 概述	75
4.1.1 焊接应力与变形的基本概念	75
4.1.2 焊接应力与变形的形成过程	76
4.1.3 影响焊接应力与变形的因素	78
4.2 焊接残余变形	79
4.2.1 焊接变形分类及其估算	79
4.2.2 焊接变形的预防、调整与控制	82
4.2.3 矫正焊接变形的的方法	84
4.3 焊接残余应力	85
4.3.1 焊接残余应力的分布	85
4.3.2 预防和控制焊接残余应力的措施	97
4.3.3 消除焊接残余应力的方法	98
4.3.4 焊接残余应力测试方法	103
第 5 章 焊接设计基础	108
5.1 焊接设计要求与原则	108
5.1.1 焊接设计要求	108
5.1.2 焊接结构设计的基本原则	108
5.2 焊接结构设计基本方法	110
5.2.1 许用参数设计法	110
5.2.2 强度可靠性设计	111
5.3 焊接接头及其设计	115
5.3.1 焊接接头及其组成	115
5.3.2 焊缝与坡口设计	117
5.3.3 焊接接头工作特性	121
5.3.4 焊缝代号	127
第 6 章 焊接制造的备料加工	134
6.1 钢材预处理	134
6.2 钢材落料与矫正	136
6.2.1 钢材的落料	136
6.2.2 钢材的矫正要求	137
6.2.3 手工矫正法	139
6.2.4 机械矫正法	139
6.2.5 火焰矫正	144
6.3 划线、放样及号料	145
6.4 钢材的下料	146

6.4.1 机械切割	146	9.1 焊接清理	221
6.4.2 热切割	148	9.2 结构装配工艺	224
6.5 钢材边缘与坡口加工	152	9.2.1 装配方法分类	224
6.6 钢材的弯曲及成形	154	9.2.2 装配中的定位焊	225
6.6.1 卷筒成形	155	9.2.3 装配间隙与偏差	225
6.6.2 折弯成形	156	9.2.4 焊接结构装配次序的确定	228
6.6.3 封头成形	157	9.2.5 分部件装配-焊接法	229
6.7 钢材的制孔	158	9.2.6 装配中应注意的问题	230
6.8 备料加工方法与适用范围	160	9.3 结构焊接工艺	232
第7章 焊接结构制造工艺分析	162	9.4 球罐的装配和焊接	233
7.1 焊接工艺分析原则	162	9.5 焊接热处理	238
7.2 焊接工艺分析方法	163	9.5.1 焊前预热	238
7.2.1 焊接结构准确的外形尺寸	163	9.5.2 后热	239
7.2.2 保证优良的焊接接头质量	168	9.5.3 焊后热处理	240
7.2.3 采用先进的工艺技术	173	9.6 焊接安全与防护	241
7.2.4 工艺方案论证与规划	177	9.6.1 焊接安全知识	242
7.2.5 焊接工艺分析流程	178	9.6.2 焊接安全操作	244
7.3 制造质量与效率	179	9.6.3 电焊工劳动保护	246
7.3.1 制造质量及其控制	179	第10章 焊接制造工装夹具	250
7.3.2 提高制造效率	180	10.1 工装夹具的作用、分类及特点	250
7.4 桥式起重机主梁制造工艺分析	182	10.1.1 作用	250
7.4.1 主梁的主要技术条件分析	183	10.1.2 分类及特点	250
7.4.2 主梁的焊接方案	184	10.2 定位原理与实施方法	251
7.4.3 主梁上挠度的制造	184	10.2.1 基准的概念	251
7.4.4 腹板失稳变形	185	10.2.2 六点定位律	251
7.4.5 主梁的水平旁弯	185	10.2.3 实施方法	252
7.4.6 主梁扭曲变形	186	10.3 定位器	253
7.4.7 上盖板波浪及主焊缝焊透问题	186	10.3.1 定位器的分类	253
7.4.8 主梁制造工艺要点	187	10.3.2 定位器的构造	253
第8章 焊接工艺评定与规程编制	189	10.3.3 定位器布置的注意事项	257
8.1 焊接方法与制造特点	189	10.4 压夹器	257
8.2 焊接工艺评定程序	191	10.4.1 分类及要求	257
8.2.1 编制“焊接工艺评定指导书”	191	10.4.2 压夹器的构造	258
8.2.2 试件的准备与焊接	194	10.4.3 对于压夹器的要求及布置时 的注意事项	261
8.2.3 试件检验与测试	196	10.5 拉紧及推撑夹具	262
8.2.4 编制焊接工艺评定报告	197	10.5.1 分类	262
8.3 焊接工艺评定的规则	199	10.5.2 拉、推夹具的结构	262
8.4 焊接工艺规程的编制	212	10.6 组合夹具	263
8.5 计算机辅助焊接工艺设计	214	10.6.1 分类及作用	263
8.5.1 焊接工艺设计系统	214	10.6.2 组合夹具的构造	264
8.5.2 焊接软件的开发步骤	219	10.6.3 设计组合夹具的注意事项	265
第9章 焊接结构的装配与焊接	221	10.7 焊接机械装置	265

10.7.1 机械装置的类型	265	11.5 全面质量管理	297
10.7.2 机械装置的结构及作用	266	11.5.1 质量管理的发展过程	297
10.8 焊接工装夹具的设计问题	272	11.5.2 全面质量管理的概念和特征	298
10.8.1 设计的依据	272	11.5.3 全面质量管理的工作内容	299
10.8.2 夹具设计的几个问题	273	11.5.4 质量保证体系	300
10.9 焊接机器人	274	第12章 典型焊接结构制造工艺	303
10.9.1 工业机器人的组成	274	12.1 梁系结构的装焊工艺	303
10.9.2 机器人的机械结构	278	12.1.1 技术条件分析	304
10.9.3 机器人焊接的精度	280	12.1.2 关于挠度问题	304
10.9.4 机器人工作站	280	12.1.3 心盘面倾斜问题	305
第11章 焊接检验与质量管理	282	12.1.4 中梁扭曲问题	305
11.1 焊接缺陷及其分类	282	12.2 壳体结构的装焊工艺	306
11.1.1 成形缺陷	282	12.2.1 黏油罐体	306
11.1.2 接合缺陷	284	12.2.2 球形容容器	308
11.1.3 焊接缺陷的危害	288	12.2.3 容器上的支管连接	312
11.2 焊接检验	289	12.3 桁架的装焊工艺	313
11.2.1 无损检测	289	12.3.1 结构特点	313
11.2.2 破坏性检验	293	12.3.2 技术要求	314
11.3 焊接缺陷的返修	294	12.3.3 桁架生产中的主要工艺问题	314
11.3.1 焊接缺陷的确定	294	12.4 管子结构的焊接	315
11.3.2 焊缝多次返修	294	12.5 机器结构的焊接工艺	319
11.4 焊接质量的概念	294	12.5.1 焊接变形与残余应力	320
11.4.1 产品质量	295	12.5.2 消除应力集中,提高疲劳强度	321
11.4.2 制造质量	296	12.5.3 提高结构承载能力	321
11.4.3 提高制造质量的意义	296	参考文献	325

第 1 章 焊接制造概述

随着现代工业科学技术的高速发展，作为机械制造重要手段之一的焊接技术，已被广泛应用于机械制造业的各个部门。在航空航天、能源动力、桥梁、压力容器、船舶等工程结构中，焊接是其制造过程中不可缺少的热加工技术，同时现代工业科学技术也对焊接提出了更高的要求。可以说一个国家的焊接技术发展水平往往也是这个国家工业科学技术现代化发展的重要标志之一。

在机械制造领域，焊接制造通常是指采用焊接技术作为主要连接技术的工业产品结构的制造，其相应产品可以称之为焊接结构，因此焊接制造也可以认为是采用焊接技术制造金属结构的过程。焊接结构的制造过程主要与结构设计、材料选择、成形与焊接技术相关。

1.1 焊接技术的历史沿革

焊接技术的诞生与发展经历了数千年的历史，如用火烙铁加热低熔点铅锡合金的软钎焊，可以追溯到公元前数千年。但是目前工业生产中广泛应用的焊接方法几乎都是 19 世纪末、20 世纪初的现代科学技术，特别是电工技术迅速发展以后所带来的现代工业的产物，如图 1-1 所示。这些焊接方法与金属切削加工、压力加工、铸造、热处理等其他金属加工方法一起构成的金属加工技术是现代一切机器制造工业，其中包括汽车、舰船、飞机、航天、原子能、石油化工、电子等工业部门的基本生产手段。

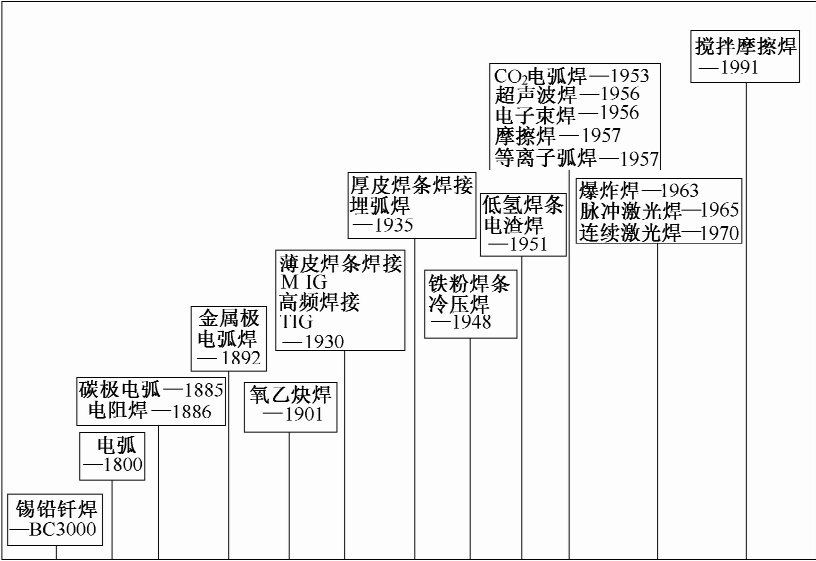


图 1-1 焊接方法的发展年代示意图

从图 1-1 可见，到 1970 年为止，已有 20 余种基本的焊接方法，而焊接方法的发展是以

电弧焊和电阻焊为起点的。电弧作为一种气体导电的物理现象，是在 19 世纪初被发现的，但直到 19 世纪末电力生产得到发展以后，人们才有条件来研究它的实际应用。1885 年俄国人别那尔道斯发明碳极电弧，可以看做是电弧作为工业热源应用的创始。而电弧焊真正应用于工业，则是在 1892 年发现金属极电弧后，特别是 1930 年前后出现了薄皮和厚皮焊条以后才逐渐开始的。电阻焊是 1886 年由美国人发明的，它的大规模工业应用也几乎跟电弧焊同时代。1930 年以前，焊接在机器制造工业中的作用还是微不足道的。当时造船、锅炉、飞机等制造工业基本上还是用铆接方法。这种铆接方法不仅生产效率极低，而且连接质量也不能满足船体、飞机等产品的发展要求。因此从 1930 年以后，电弧焊和电阻焊就逐渐取代铆接，成为机器制造工业中的一种基本加工手段。到目前为止，已经发展了 20 多种基本焊接方法，如计及各种派生方法，可以达到百种以上。

由此可见，从电弧焊和电阻焊的大量应用算起，至现代焊接方法还只有半个世纪多一点的历史。近 60 年来正是现代工业和科学技术，特别是航天、原子能、电子、石油化工、海洋开发等部门迅猛发展的时代。一方面，这些工业和科学技术的发展不断提出了各种使用要求（如动载、强韧性、高压、高温、低温、耐蚀等）、各种结构形式（如壁厚或截面直径从几微米至数千毫米）及各种黑色和有色金属材料的焊接问题。例如，造船和海洋开发工业的发展要求解决大面积拼板大型立体框架结构自动焊及各种低合金高强度钢的焊接问题；石油化学工业的发展要求解决各种耐高温、低温及耐各种腐蚀性介质的压力容器焊接；航空及空间工业中则要求解决大量铝、钛等轻合金结构的焊接；重型机械工业的发展要求解决大截面构件的拼接；电子及精密仪表制造工业则要求解决大量微型精密零件的焊接。另一方面，现代工业和科学技术的大量新成就又为焊接方法的发展提供了宽广的技术基础，焊接方法就是在现代工业和科学技术推动下相辅相成地蓬勃发展起来的。可以预料，随着工业和科学技术的不断发展，焊接方法也必定有新的跃进。1991 年发展的搅拌摩擦焊，开创了固态搅拌焊的先河，在铝合金、钛合金等有色金属的焊接中得到了广泛的应用，目前也在向黑色金属的焊接发展。

1.2 焊接结构及其特点

焊接结构，是指常见的最适宜于用焊接方法制造的金属结构。由于焊接结构的种类繁多，其分类方法也不尽相同。例如，按半成品的制造方法可分为板焊结构、冲焊结构等；按照结构的用途则可分为车辆结构、船体结构、飞机结构等；根据结构的材料厚度则可分为薄壁结构和厚壁结构；根据结构的材料种类则可分为钢制结构、铝制结构、钛制结构等。

现在国内外通用的分类方法是根据焊接物体或结构的工作特性来分类。将焊接结构分成下列几类。

(1) 梁及梁系结构 这类焊接结构的工作特点是组成梁系结构的元件受横向弯曲，当由多根梁通过刚性连接，组成梁系结构（或称框架结构）时，各梁的受力情况将变得较为复杂。

(2) 柱类结构 这类焊接结构的特点是承受压应力或在受压的同时又承受纵向弯曲应力。结构的断面形状多为“工”字形、“箱形”或管式圆形断面。柱类焊接结构也常用各种型钢组合成所谓虚腹虚壁式组合截面。采用这些形式都可增大惯性矩，提高结构的稳定性，

同时也节约材料。

(3) 格架结构 它是由一系列受拉或受压杆件组合而成,各杆件以节点形式互相连接组成各种形状结构,如桁架、网络钢架和骨架等。

(4) 壳体结构 这类结构承受较大的内部压力,因而要求焊接接头具有良好的气密性,如容器、储器和管道等,多用钢板焊制而成。

(5) 骨架结构 这类结构外形如同人体骨架,多用于起重运输机械,通常承受动载荷,故而要求它具有最小的重量和较大的刚度,船体骨架、客车棚架及汽车车厢和驾驶室等均属此类结构。骨架和格架结构的原材料多为各种型钢,有时将两类结构统称为格架或桁架结构。

(6) 机器和仪器的焊接零件 这类结构最适宜于在交变载荷或多次重负性载荷下工作,因此对这类结构要求具有精确的尺寸才能保证加工出的主要部件或仪表零件的质量。属于该类结构的有机座、机身、机床横梁及齿轮、飞轮和仪表枢轴等。这类结构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。

在焊接结构制造过程中需要考虑的基本问题如图 1-2 所示。在确保结构部件上焊接接头质量的同时,为了满足加工条件,既要提高生产率,又要通过改善制造时的作业环境来增加安全性。对于焊接结构制造技术人员来说,选择适当的材料,充实加工设备和技术工人的加工技术能力是重要的职责。

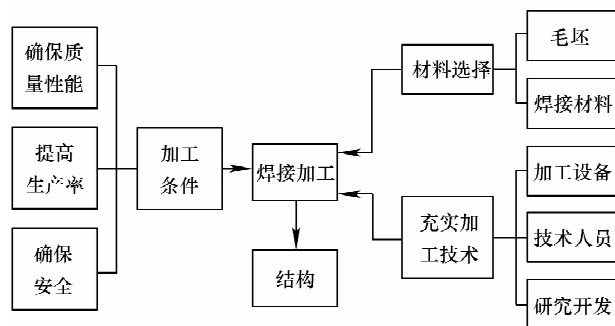


图 1-2 焊接结构制造中涉及各个方面

对焊接结构设计的要求,则是焊接结构的整体或各部分在其使用过程中不应产生致命的破坏。这些破坏包括弹性失效、失稳及断裂。从焊接结构的破坏事故的调查分析表明,作为裂纹发生原因的制造缺陷,大多与焊接接头有关。图 1-3 左侧表示对结构所要求的使用性能,取决于以下因素:载荷的大小和种类、使用温度、使用环境,并为由这些条件相应确定的设计原则所制约。影响焊接接头性能的因素如图 1-3 右侧所示,除材料选择外,还受到一些加工因素的影响。为了提高焊接结构的可靠性,重要的是要对焊接结构件的焊接接头性能问题,从设计、材料和加工方面作综合考虑。

在工业发达国家,焊接结构产品的用钢量已达到总钢产量的 55% 以上。为了制造如此庞大数量的焊接结构产品,需建立大量的专门制造焊接构件的企业,例如集装箱制造企业、压力容器企业等,而更多的制造企业,如造船厂、起重机厂、锅炉厂等,均设有焊接分厂或车间,并且是企业的主要车间之一。

焊接结构或零部件的特点表述如下:

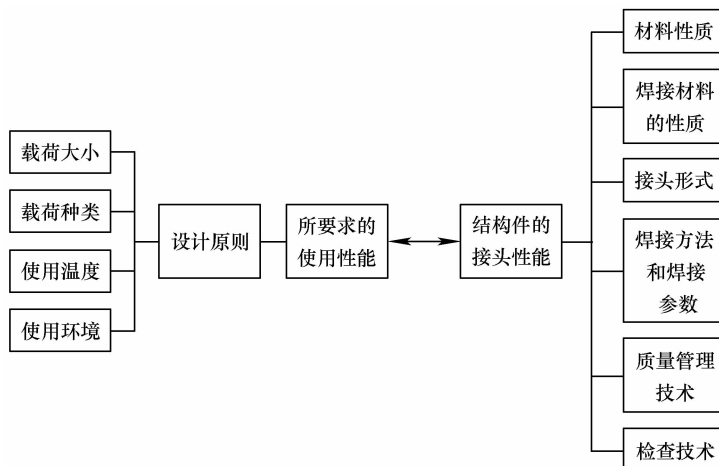


图 1-3 焊接结构设计与材料及加工的关系

(1) 刚性连接 焊接是一种金属原子间的连接，因此刚度大、整体性好，在外力作用下不像机械连接那样会因间隙变化而产生较大的变形，因此更容易产生应力集中。同时，焊接容易保证产品的气密性与水密性。相对来说，焊接接头承受动载荷的能力不如铆接等机械连接，疲劳强度低。

(2) 异质异形连接 焊接可以方便地将各种不同几何尺寸的金属材料连接起来，也可以将不同种类的金属材料连接起来。焊接也可以将铸钢件与锻钢件连接起来，从而使结构中材料的分布更合理，不同性能的材料应用更恰当。另外，金属结构中各零部件间通常可直接用焊接连接，不需要附加的连接件，同时焊接接头的强度一般可与母材相等。焊接方法特别适用于几何尺寸大而材料较分散的制品，例如船壳、桁架等，焊接还可以将大型、复杂的结构分解为许多小零件或部件分别加工，然后通过焊接连成整个结构，从而扩大了工作面，简化了结构的加工工艺，缩短了加工周期。

(3) 残余变形和应力 特别是在大型焊接结构制造中，对焊接变形预先控制的效果还不十分显著，许多生产厂家是在焊后通过矫形措施来保证尺寸精度，这样不仅费工费时，而且会导致复杂的焊接残余应力，从而影响产品的承载和使用性能。对于焊接应力控制也存在与焊接变形同样的问题，至于应力的降低与消除，虽然已采取了种种措施，但效果如何，在生产中常常是不进行检测的，即使有所测量，也没有具体标准可循，不知使焊接应力降低到何种程度为好。

1.3 焊接制造发展趋势

1. 焊接结构的发展

焊接作为材料成形加工的主要手段之一正在向各个领域渗透。焊接结构正在不断出现和完善。现代焊接结构在向着大型化和高参数方向发展，焊接结构的工作条件越来越苛刻，要求也越来越严格。如图 1-4，图 1-5 所示的核压力容器及 6100m 深海探测器就是典型的现代焊接结构，核压力容器的壁厚已达 200mm 左右，深海探测器要承受巨大的海水压力。又如全焊接油轮（50 万吨级）长 382 m，宽 168 m，高 27 m，采用低碳钢和低合金结构钢制造，

最大钢板厚度达 140mm。建造现代高层建筑的焊接钢屋架，通常都是将零部件在工厂内建成，然后再运到工地安装，所用材料强度级别达 490MP 以上，厚度达 100 ~ 150mm。

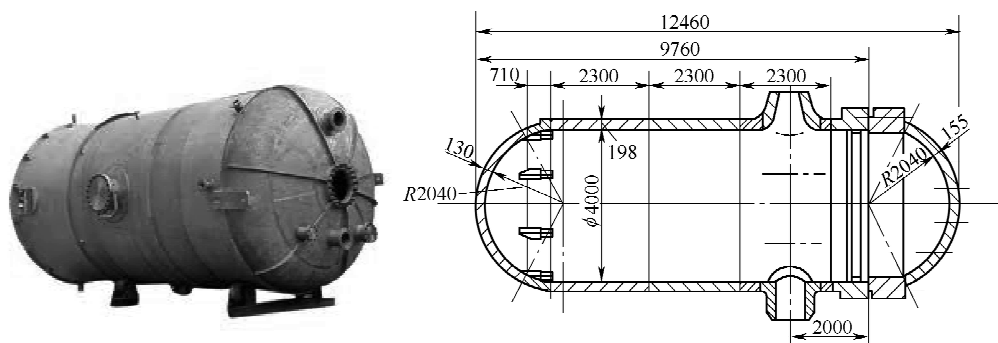


图 1-4 原子能电站核容器

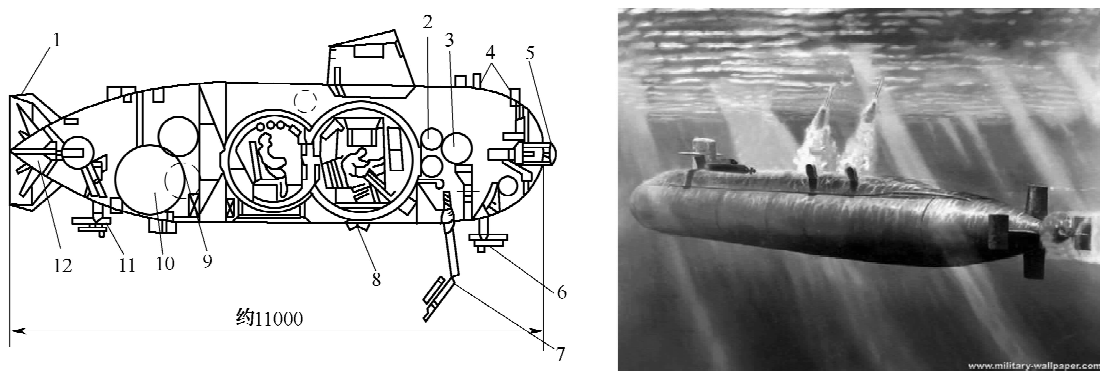


图 1-5 6100m 深海搜索器 (DSSV)

- 1—倾斜罩 2—液压系统 3—压力舱 4—声呐 5—螺旋桨系统 6—支承和摄影装置 7—操纵器
8—多普勒声呐 9—压水舱 10—燃料舱 11—支承和摄影装置 12—螺旋桨系统

现代焊接结构除尺寸越来越大之外，往往是在高温、高压或低温、深冷环境下工作的，有的是在动载或冲击条件下使用的。许多利用最新焊接技术制造的先进工业设备，例如，核电站用的单机功率高达 1.2GW 的电站汽轮机及其配套的锅炉（工作压力为 32.4MP，蒸汽温度为 650℃）和高压容器；容积 5080m³ 的钢铁工业大型高炉；直径达 33m、容积为 100 000m³ 的储罐等，都是在复杂苛刻的条件下工作的焊接结构。

2. 先进材料及其应用

传统的焊接结构通常采用强度低、韧性良好的低碳钢或低合金结构钢制造。随着焊接技术的不断完善，高强度高韧性钢在现代焊接结构中获得了广泛的应用，而且由于焊接结构的使用条件日益复杂和苛刻，各种耐腐蚀、耐高温，以及抗深冷脆断的合金钢，例如镍含量 w_{Ni} 为 9%、5.5% 和 3.5% 的镍系低温钢、铬镍不锈钢、耐热钢等，铝及铝合金，钛及钛合金都已用来制造焊接结构。

高强度钢分为传统高强度钢（CHSS）和先进高强度钢（AHSS）。传统高强度钢主要包括碳锰（C-Mn）钢、烘烤硬化（BH）钢、高强度无间隙原子（HSS-IF）钢和高强度低合金（HSLA）钢，AHSS 主要包括双相钢（DP）、相变诱导塑性钢（TRIP）、马氏体钢（M）、复

相钢 (CP)、热成形钢 (HF) 和孪晶诱导塑性钢 (TWIP) 等。

先进高强度钢的生产都要控制杂质元素、奥氏体相或奥氏体加铁素体相的冷却速度。马氏体钢是通过快速淬火致使大部分奥氏体转变成马氏体相而产生的。铁素体加马氏体双相钢的生产, 是通过控制其冷却速度, 使奥氏体相或铁素体 + 马氏体双相在残余奥氏体快速冷却转变成马氏体之前, 将其中一些奥氏体转变成铁素体。TRIP 钢通常需要保持在中温等温的条件以产生贝氏体。较高的硅碳含量使 TRIP 钢在最后的微观结构含过多的残余奥氏体。多相钢还遵循一个类似的冷却方式, 但这种情况之下, 化学元素的调整会产生极少的残余奥氏体并形成细小的析出以加强马氏体和贝氏体相。

图 1-6 为日本统计的部分大型焊接结构所用钢材强度等级与采用的板厚规格。抗拉强度 784MPa 的高强度钢 (HT80) 已用于桥梁、高压水管、重型电机、海洋结构等, 更高强度钢的应用研究也在进行之中。超高强度钢在航天、航海及机器制造业中应用也很广泛。用来制造固体燃料火箭发动机壳的 4340 钢, 经过合适的淬火一回火处理后, 其强度极限可达 1765MPa。不含碳的马氏体时效钢, 如 18Ni 钢, 是另一种常用的超高强度钢。这种钢在淬火状态下具有高韧性, 便于热处理, 也有良好的焊接性能。焊后经过时效处理, 可获得 1373 ~ 2059MPa 的高强度; 同时, 这种钢还具有很高的抗脆性断裂及耐应力腐蚀的能力, 国外正在推广用来制造某些结构, 例如飞机零件、大直径固体燃料火箭外壳、冷冻机及船体结构等。

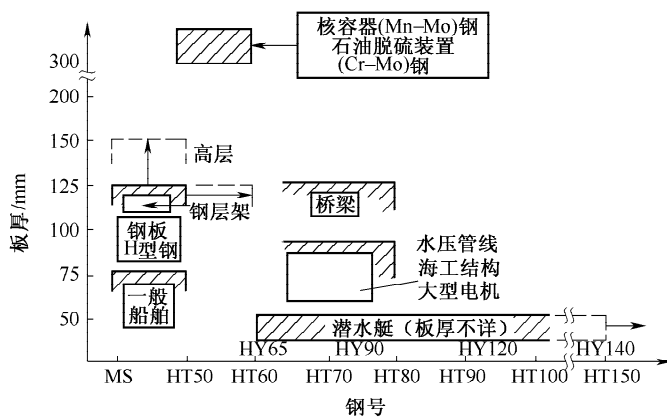


图 1-6 大型结构物所用钢材强度级别及板厚的范围

管线钢是采用控轧控冷技术生产的新一代钢铁材料的典型代表, 它具有良好的焊接性, 成功地应用于各种石油、天然气管道中。我国的“西气东输”一线工程管道全长 4200km, 管径 1118mm, 管线由新疆塔里木至长江三角洲地区, 途经 9 个省市自治区。该工程固定资产投资 384 亿元, 加上城市管网、工业利用等相关项目建设, 整个工程投资达 1200 亿元。由一条干线和八条支干线组成的“西二线”, 西起新疆霍尔果斯, 东达上海, 南抵广州、香港, 横贯中国东西两端, 横跨 15 个省区市及特别行政区, 年输气能力达 300 亿 m^3 , 可稳定供气 30 年以上。规划中的第三条天然气管道, 路线基本确定为从新疆通过江西抵达福建, 把俄罗斯和中国西北部的天然气输往能源需求量庞大的长江三角洲和珠江三角洲地区。西气东输管线途经沙漠戈壁、高山峻岭、深陷性黄土、大江大河、江南水网等复杂的地质地貌。为适应高热、高寒气候以及复杂的地质环境, 管线选用高强度、高韧性的管线钢, 一线选用

X70 钢, 二线选用 X80 钢。图 1-7 为西气东输工程的管道焊接场面。

十二五期间, 机械行业对钢材品种发展及性能提高的期望更为迫切, 需要更多具有耐高温、耐高压及耐腐蚀等性能要求的新品种钢材。高端装备用钢质量和档次提高, 如重点发展耐高温、耐高压、耐腐蚀电站用钢(钢管), 大型变压器用高磁取向硅钢, 轴承、齿轮、高强度紧固件用特种钢, 机床滚珠丝杠和直线导轨专用钢材等。新兴产业装备用钢需求值得关注。钢铁企业要关注新兴产业装备用钢需求, 例如风电设备对钢铁产品提出了较高的要求。机械用钢的结构调整方向是由局限于中低档装备向高档顶尖技术装备进军。



图 1-7 西气东输工程管道焊接

3. 焊接方法对焊接结构生产的影响

焊接工序在焊接结构生产过程中起着主导作用。不同的焊接工艺方法, 对焊接前后的生产工序有不同的要求和影响, 并且在很大程度上决定了焊接结构生产的工艺过程。例如, 焊条电弧焊是最早出现至今仍广泛应用的一种焊接方法, 它焊接时热输入、熔化深度及单位时间的金属熔敷量, 与埋弧焊相比均较小, 因此在焊接厚度大于 4 mm 的钢板时通常需要开坡口并采用多层焊, 这就增加了开坡口的工序, 并降低了焊接生产率。埋弧焊质量比较稳定, 焊接生产率也高, 但是仅适用于较长的焊缝, 对焊缝间隙、焊接位置等均有严格的要求, 需要钢板边缘加工及精确装配, 并要求有较宽敞的操作空间和有利的焊接位置, 这就限制了埋弧焊的使用。

CO₂ 气体保护焊在一定程度上可以取代焊条电弧焊和埋弧焊, 并可在各种位置进行焊接, 但是它需要特殊的焊丝、气体和可靠的送丝机构, 并且不宜在有风的环境中进行焊接。薄板焊接可考虑采用电阻点焊和缝焊, 它生产率高, 焊后变形小, 但需要较大功率的输电线路以供应足够的电能。为适应这种工艺方法, 产品的构造形式也应有较大的改变。

厚板的对接焊缝和角焊缝可以考虑用电渣焊, 它只需要焊接一次就可以完成所需要截面的焊缝, 对坡口的加工要求也较低, 但是焊缝必须处于垂直或接近垂直位置, 而且电渣焊的热输入较大, 焊接热影响区晶粒粗大, 通常需要进行焊后正火处理, 这就增加了附加的工序和费用。

总之, 由于焊接工艺方法不同, 对焊接生产的组织、工艺过程、劳动生产率及产品成本都有很大影响。因此在进行产品工艺分析及制订工艺文件时, 必需根据产品结构形式, 批量、工厂及所在环境、工人及技术人员水平等具体条件, 对各种焊接工艺方法的选择进行充分地分析和论证。但是在有些情况下可能必须选用某种焊接方法, 这时就应对焊接结构及接头形式进行分析, 以求适应该种焊接方法。

4. 焊接自动化技术

数十年来, 焊接技术和其他科学技术一样以迅猛的速度发展, 诸如激光焊、电子束焊、等离子弧焊及气体保护焊等焊接方法的出现以及高质量、高性能焊接材料的不断发展和完善, 使得几乎所有的工程材料都能实现焊接。而且焊接自动化技术迅速发展, 自动化的生产方式在很多的工业部门代替了手工焊生产方式。在各种焊接技术及系统中, 以电子技术、信

息技术及计算机技术综合应用为标志的焊接机械化自动化系统乃至焊接柔性制造系统，是信息时代焊接技术的重要特点。实现焊接产品制造的自动化、柔性化与智能化已成为必然趋势。采用机器人焊接已成为焊接自动化技术现代化的主要标志。焊接机器人由于具有通用性强、工作可靠的优点，受到人们越来越多的重视。在焊接生产中采用机器人技术，可以提高生产率、改善劳动条件、稳定和保证焊接质量、实现小批量产品的焊接自动化。

焊接柔性制造系统（单元）是信息时代焊接技术的典型代表，一般情况下，它由焊接机器人、先进焊接电源、离线编程 CAD 系统、工装机械系统等组成，如图 1-8 所示。焊接机器人具有比其他机器人更高超的能力，除能进行正常的行走及搬运外，还能自动跟踪焊接电弧轨迹，防止电弧及烟尘的干扰。

在焊接机械化、自动化系统中，采用的焊接电源均具有良好的动特性，大多采用以先进电子元器件及电子技术开发生产的焊接设备，如逆变式晶闸管焊接电源 IGBT 逆变式焊接电源等。焊接方法大多采用焊接质量高、生产率高的方法，如自动或半自动 CO_2 焊、MIG/MAG 焊、TIG 焊及埋弧焊等。

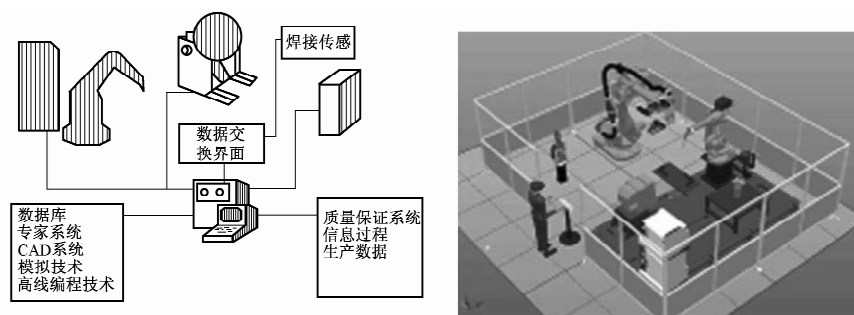


图 1-8 焊接柔性制造系统（单元）

离线编程 CAD 系统使得焊接过程的编程自主地进行，并能对整个焊接过程的大部分动作进行模拟试验而不依赖于柔性系统。焊接过程是一个多变量的复杂过程，同时在焊接过程中也会产生热变形等其他变量，因此很多预测这类变量情况的焊接工程软件应运而生，用来分析计算焊接过程的众多变量。这类软件在离线编程 CAD 系统中得到了广泛的应用。焊接工装机械系统主要是实现焊接产品的装配、变位和焊接等功能，包括诸如焊接变位器、焊接操作机滚轮支架、回转台及翻转机等；也包括实现焊接产品的自动运输的辅助工装设备等。

1.4 焊接制造管理

随着经济的发展，焊接正在形成一种独立的产业，包括焊接设备制造、焊接材料和焊接结构生产等，专门从事焊接设备、材料与结构的生产、流通、服务等经济活动，进行自主经营并实行独立核算。

焊接企业是工业企业的一种，其基本概念包括以下几个特征：

1) 须是从事生产、流通或服务性等经济活动的单位，包括物质生产、知识产品生产、提供各种劳务、进行各种方式的流通活动。由于社会经济生活的多样化、复杂化，企业进行的生产、流通活动也是多种多样、错综复杂的。

2) 企业的生产、流通或服务性活动都是为了满足社会某方面的需要,而不是为了自身的消费。

3) 是以产品生产和经营者的身份出现在市场上,并通过市场实现其劳动和劳务价值的,接受市场法则的约束。

4) 具有自身独立的经济利益。企业对自身的经济活动要进行准确的经济核算,以尽可能少的投入来获取尽可能多的产出。

1.4.1 经营与生产

经营是商品经济特有的范畴。在商品生产条件下,社会生产是商品生产过程与商品流通过程的统一。商品生产者不仅要通过生产过程把商品销售到使用者手中,实现产品的使用价值与价值,以补偿生产过程中物化劳动与活劳动的消耗,维持和扩大再生产。因此商品生产者既要用最有效的经济手段,通过直接生产过程生产出产品,又要以最有利的条件,通过流通过程获得尽可能多的利润。这便是我们常说的广义的经营活动。

一般来说,企业的经营活动具有外向性。其基本要求是依据市场环境的变化,制定企业的战略目标和经营计划,保证企业具有较高的应变能力和受益能力。而企业的生产活动则呈现内向性,其基本要求是充分利用内部资源,用科学的、经济的方法,按照计划生产产品。狭义的经营经营活动不包括生产活动,广义的经营经营活动是企业一切生产经营活动的总称。

现代经济管理的指导思想:

(1) 市场观念 即企业经营要面向市场和用户,按照市场需要组织生产,热诚为用户服务。坚持市场观念,要求企业从用户的立场出发,本着用户至上的原则,树立为用户服务的思想,为用户提供满意的产品、技术和服务,并保持与用户受益的一致性,使双方都得到好处。

(2) 竞争观念 即努力提高竞争能力。竞争是商品经济发展的原动力之一,是价值规律得以贯彻和实现的条件,其积极意义在于它是企业之间择优发展的一种手段,也是促进企业积极性和创造性不断发挥的一种外部压力。企业之间的竞争多表现为产品竞争、技术竞争、管理竞争和人才竞争。企业应扬长避短,善于发挥自身的优势,掌握竞争规律,不断提高竞争能力。

(3) 开发观念 即以不断开发求生存,以开发求发展。开发包括技术开发、产品开发、市场开发、智力开发及信息、物资、管理、资金等一切可利用的有形和无形资源的开发。开发意味着创新,意味着永不满足已经取得的成就。

(4) 效益观念 即千方百计地提高企业的经济效益。提高经济效益是企业一切经济工作的核心,即用尽可能少的资源消耗生产出尽可能多的用户满意的产品和服务。提高企业经济效益是企业生存与发展的必要保证。提高经济效益应把企业的短期行为和长期行为统一起来,使近期利益服从长远利益,使企业效益服从于社会效益。

(5) 效率观念 即节省时间、讲求速度。时间就是金钱,效率就是生命。没有效率,也就没有效益。现代企业必须树立效率观念,在生产经营活动中力求准时、快速,提高时间利用率、生产效率和工作效率,才能把握良机,在激烈的市场竞争中赢得胜利,创造更多的财富。

(6) 信息观念 即有效利用信息资源。当今社会已进入信息时代,信息已成为重要的