



高职高专“十一五”规划教材

焊接结构生产与实例

赵岩 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

焊接结构生产与实例

赵 岩 主编

王非森 彭 硕 副主编

卢正彬 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是焊接专业主干课程教材之一,是根据高职高专焊接专业教学大纲和教育部 16 号文件精神编写的。

全书主要包括绪论、焊接结构基本知识、焊接应力与变形、焊接结构零件加工工艺、焊接结构装配与焊接工艺、焊接结构工艺性审查及典型生产工艺、焊接工艺评定、焊接结构生产的组织与安全技术、焊接结构课程设计等主要内容。为了达到学以致用目的,提高学生调研、组织资料及管理的能力,本教材加入了焊接工艺评定和焊接结构课程设计的内容,可使教师在实际教学中取舍。每章都编入了生产实例,更能方便学生的学习和掌握。全书采用了最新的国家和行业标准。

本书可作为高职高专院校和其他职业学校焊接专业学生的教材,也可供从事焊接生产管理方面的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊接结构生产与实例/赵岩主编. —北京:化学工业出版社, 2008.7

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-03152-5

I. 焊… II. 赵… III. 焊接结构-焊接工艺-高等学校:技术学院-教材 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 097389 号

责任编辑:韩庆利 高 钰

装帧设计:史利平

责任校对:宋 夏

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 1/2 字数 336 千字 2008 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

前 言

教育部 16 号文件曾强调“加强教材建设,重点建设好 3000 种左右国家规划教材,与行业企业共同开发及紧密结合生产实际的实训教材,并确保优质教材进课堂”。本书是为落实教育部 16 号文件精神,并根据“高职高专焊接专业人才培养目标及岗位定位”的要求,及结合企业生产实际组织有经验的职业院校教师共同编写的。

焊接结构与生产是装备制造业、化工制造业、船舶制造业等诸多领域的重要生产内容,焊接结构生产与实例是焊接专业的一门重要专业技能课,它主要包括绪论、焊接结构基本知识、焊接应力与变形、焊接结构零件加工工艺、焊接结构装配与焊接工艺、焊接结构工艺性审查及典型生产工艺、焊接工艺评定、焊接结构生产的组织与安全技术、焊接结构课程设计等主要内容。为了达到学以致用目的,提高学生调研、组织资料及管理能力,本教材加入了焊接工艺评定和焊接结构课程设计的内容,可使教师在实际教学中取舍。每章后面或者是每章中都编入了源于企业的生产实例,将生产中遇到的鲜活技术、案例引进课堂,达到了“虚拟工厂、虚拟车间、虚拟工艺、虚拟试验”的效果,不但注重生产而且还注重生产管理。全书采用了最新的国家和行业标准。

本书对焊接结构生产进行了理论分析,并与企业生产实际紧密结合,重点突出,逻辑性强,图文并茂,对生产中易出现的变形问题进行了准确分析,提出了防止措施。本书可作为高职高专院校和其他职业学校焊接专业学生的教材,也可供从事焊接生产管理方面的技术人员参考。

本书绪论、第 1 章由黑龙江工商职业技术学院赵岩编写,第 2 章由荆楚理工学院彭硕编写,第 3 章、第 5 章由四川化工职业技术学院王非森编写,第 4 章由渤海石油职业技术学院刘松森编写,第 6 章、第 7 章由哈尔滨工业大学华德应用技术学院崔元彪、杨德云共同编写,第 8 章由黑龙江工商职业技术学院赵岩和哈尔滨建成集团李学军共同编写,全书由赵岩任主编,负责统稿和定稿,由王非森、彭硕任副主编,由齐齐哈尔市特种设备检验研究所卢正彬主审。

在此要感谢参编院校的领导和老师对教材编写工作给予的大力支持,此外教材编写过程中援引大量的参考文献,向文献的原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,调研论证不足,书中缺点在所难免,敬请各界读者批评指正,提出宝贵意见,以便再版时修订。

编 者

2008 年 6 月

目 录

绪论	1
第1章 焊接结构基本知识	11
1.1 焊接结构基本构件	11
1.1.1 机器零部件焊接结构	11
1.1.2 压力容器焊接结构	16
1.1.3 梁、柱焊接结构	19
1.1.4 船舶焊接结构	22
1.2 焊接接头基本知识	23
1.2.1 焊接接头组成和基本形式	23
1.2.2 焊缝符号及其表示方法	29
1.2.3 焊接接头设计和选用原则	32
1.3 焊接接头静载强度计算	33
1.3.1 静载强度计算的假定	33
1.3.2 对接、搭接和T形接头焊缝强度计算	34
1.4 焊接结构生产工艺过程简介	38
1.4.1 生产准备	38
1.4.2 材料加工	38
1.4.3 装配与焊接	39
1.4.4 质量检验与安全评定	39
1.5 焊接标准简介	40
1.6 实例	41
第2章 焊接应力与变形	44
2.1 焊接应力与变形的产生	44
2.1.1 焊接应力与变形的基本概念	44
2.1.2 焊接应力与变形产生的原因	45
2.2 焊接残余应力	48
2.2.1 焊接残余应力的分类	48
2.2.2 焊接残余应力的分布	48
2.2.3 焊接残余应力对焊件性能的影响	52
2.2.4 减少焊接残余应力的措施	53
2.2.5 消除焊接残余应力的方法	56
2.3 焊接残余变形	57
2.3.1 焊接变形的分类及其影响因素	57
2.3.2 控制焊接变形的措施	63
2.3.3 矫正焊接变形的的基本方法	68
2.4 实例	70
第3章 焊接结构零件加工工艺	72

3.1 钢材的矫正及预处理	72
3.1.1 钢材的矫正	72
3.1.2 钢材的预处理	81
3.2 划线、放样与下料	82
3.2.1 识图与划线	82
3.2.2 放样	84
3.2.3 下料	89
3.2.4 坯料的边缘加工	94
3.2.5 碳弧气刨	95
3.3 弯曲与成形	96
3.3.1 板材的弯曲	96
3.3.2 型材的弯曲	98
3.3.3 冲压成形	101
第4章 焊接结构的装配与焊接工艺	104
4.1 焊接结构的装配	104
4.1.1 装配方式的分类	104
4.1.2 装配的基本条件	104
4.1.3 定位原理及零件的定位	105
4.1.4 装配中的测量	105
4.2 装配用工具与常用设备	107
4.2.1 装配用工具及量具	107
4.2.2 定位器	107
4.2.3 压夹器	108
4.2.4 装配用设备	108
4.2.5 工装夹具设计简介	111
4.3 焊接结构的装配方法	112
4.3.1 装配基本方法	112
4.3.2 装配工艺过程的制定及典型结构件的装配	114
4.4 焊接结构的焊接工艺	116
4.4.1 焊接工艺制定的目的和内容	116
4.4.2 焊接方法的选择	116
4.4.3 焊接工艺参数的选定	116
4.5 焊接变位机械	118
4.5.1 焊件变位机械	118
4.5.2 焊机变位机械	121
4.5.3 焊工变位机械	121
4.5.4 变位机械的组合应用	121
4.6 其他装置与设备	122
4.6.1 装焊吊具	122
4.6.2 起重运输设备	124
4.6.3 焊接机器人	125
第5章 焊接结构工艺性审查及典型生产工艺	129

5.1 焊接结构工艺性审查	129
5.1.1 焊接结构工艺性概念及审查的目的	129
5.1.2 焊接结构工艺性审查的内容	130
5.1.3 焊接结构工艺性审查的步骤	137
5.1.4 焊接结构工艺性审查的实例	138
5.2 焊接结构加工工艺过程	139
5.2.1 焊接结构加工工艺过程的概念及组成	139
5.2.2 焊接结构加工工艺规程的制定	140
5.2.3 制定工艺规程的主要依据和步骤	141
5.2.4 工艺文件及制定工艺过程实例	143
5.3 典型焊接结构的生产工艺	147
5.3.1 桥式起重机箱型桥架的生产工艺	147
5.3.2 典型压力容器的生产工艺	153
第6章 焊接工艺评定	164
6.1 焊接工艺评定的目的和意义	164
6.1.1 焊接工艺评定的定义	164
6.1.2 焊接工艺评定的目的和意义	164
6.1.3 焊接工艺评定方法	164
6.2 焊接工艺评定试验	171
6.2.1 焊接工艺评定试验简述	171
6.2.2 实例	175
第7章 焊接结构生产的组织与安全技术	178
7.1 焊接结构生产的组织	178
7.1.1 焊接结构生产的空间组织	178
7.1.2 焊接结构生产的时间组织	179
7.2 焊接车间的组成与平面布置	181
7.2.1 焊接车间的组成	181
7.2.2 焊接车间设计的一般方法	182
7.2.3 焊接车间的平面布置	183
7.3 焊接生产中的质量管理、劳动保护和安全技术	188
7.3.1 焊接生产中的质量管理	188
7.3.2 焊接生产中的劳动保护	188
7.3.3 焊接生产中的安全管理	190
第8章 焊接结构生产与实例课程设计	192
8.1 课程设计工作规范	192
8.1.1 课程设计的目的	192
8.1.2 课程设计的选题原则	192
8.1.3 课程设计任务书、指导书	193
8.1.4 课程设计的答辩	193
8.1.5 课程设计成绩评定标准	193
8.1.6 课程设计说明书规范	194
8.1.7 对指导教师的要求	195

8.1.8 对学生的要求	195
8.1.9 课程设计成果保存	196
8.2 课程设计实例	196
8.2.1 实例一 磨煤机进料端盖裂纹补焊变形的控制	196
8.2.2 实例二 2000m ³ 球罐的焊接实例	198
8.2.3 实例三 压力容器焊接结构加工的质量控制	201
8.2.4 实例四 压力容器焊接结构生产管理	202
参考文献	205

绪 论

1. 焊接结构及焊接生产的发展

我国是世界上最早应用焊接技术的国家之一。远在战国时期,铜器的主体、耳、足就是利用钎焊来连接的。其后明代《天工开物》一书中有“凡铁性逐节黏合,涂黄泥于接口之上,入火挥锤,泥渣成枵而去,取其神气为谋合,胶结之后,非灼红斧斩,永不可断”的记载。这说明当时人们已懂得锻焊使用焊剂,可获得质量较高的焊接接头。我们的祖先为古老的焊接技术发展史留下了光辉的一页,显示出我国是一个具有悠久焊接历史的国家。

近代焊接技术是在电能成功地应用于工业生产之后出现的,从1882年发明电弧焊到现在已有一百余年的历史。在电弧焊的初期,不成熟的焊接工艺使焊接在生产中的应用受到限制,直到20世纪40年代才形成较为完整的焊接工艺体系,埋弧焊和电阻焊得到成功的应用。20世纪50年代的电渣焊、各种气体保护焊、超声波焊,20世纪60年代的等离子弧焊、电子束焊、激光焊等先进焊接方法的不断涌现,使焊接技术达到一个新水平。近年来对能量束焊接、太阳能焊接、冷压焊等新的焊接方法也开始研究,尤其是在焊接工艺自动控制方面有了很大的发展,采用电子计算机控制和工业电视监视焊接过程,使焊接过程便于遥控,有助于实现焊接自动化。工业机器人的问世,使焊接工艺自动化达到一个崭新的阶段。

焊接结构随焊接技术的发展而产生,从20世纪20年代开始得到了越来越广泛的应用。第一艘全焊远洋船是1921年建造的,但开始大量制造焊接结构是20世纪30年代以后。伴随焊接结构的发展也发生了一些事故,如20世纪30年代末有名的比利时全焊钢桥的断裂和第二次世界大战期间紧急建造的EC2货轮的断裂等。随着冶金和钢铁工业的发展,一些新工艺、新材料、新技术不断涌现,以及焊接技术和理论的发展,更重要的是国民经济和军事工业发展的需要,大大推动了焊接结构及焊接生产,使其获得了迅猛的发展。

(1) 焊接结构的发展 焊接结构近几年来的发展趋势如下。

① 焊接结构获得进一步推广和应用。焊接结构生产是将各种经过轧制的金属材料及铸、锻等坯料采用焊接方法制成能承受一定载荷的金属结构制造过程。随着焊接技术的发展和进步,焊接结构的应用越来越广泛,焊接结构几乎渗透到国民经济的各个领域。如机械制造、石油化工、矿山机械、能源电力、铁道车辆、国防装备、航空航天、舰船制造等,与其他可制造金属结构的工艺如锻造、铸造、铆接相比,只有焊接结构的占有率是上升的。在工业发达的国家中一般焊接结构占钢产量的45%~50%,如前苏联到20世纪80年代中期焊接结构已近80兆吨,其用钢量占全前苏联总量的50%。我国2001年钢产量即达1.5226亿吨,2002年更达1.8亿吨。所以仅根据“九五”工业现代化目标,2000年产钢量1.5亿吨,原煤产量14亿吨,原油产量1.6~1.7亿吨,天然气产量300~400亿立方米,发电设备年装机容量2000万千瓦(其中火电设备1500万千瓦),2007年汽车产量560万辆,2006年船舶产量1452万吨。2007年1~11月份,我国粗钢产量达44783万吨,焊接钢材用量占全部钢产量的50%。由于采矿机械,采油、炼油、输油装备,大型风能、水电、火电、核电成套设备,大中型建筑机械,国防工业成套装备以及规模生产汽车和农用车及其组装焊接生产线的建设,要求机械工业提供大型冶金设备,并且这些重大成套技术装备极大部分为焊接

结构。

② 焊接结构向大型化、高参数、精确尺寸方向发展。如 100 万吨级巨型油轮；容积为 10 万立方米的大型储罐；国产核电站 600MW 反应堆压力壳，高达 12.11m，内径 3.85m，外径 4.5m，壁厚从 195~475mm，国外还有 1480MW 反应堆压力壳，高 12.85m，直径 5~5.5m，壁厚从 200~600mm，重达 483t；工作压力为 32.4MPa，温度为 650℃ 的 1.2GW 电站锅炉；壁厚达 200~280mm，内径 2m，筒体部件长 20 多米，重达 560t 的热壁加氢反应器；还有众所周知的，总发电装机容量达 1820 万千瓦的三峡电站，年发电 847 亿千瓦时，相当于 6 个半葛洲坝电站和 10 个大亚湾核电站，到 2009 年全部机组发电后，三峡电站向华东、华中、川东供电，并与华北、华南联网，成为中国电力布局的“中枢”，它采用 26 台 70 万千瓦水轮发电机组，其水轮机的座环、转轮——叶片、主轴、蜗壳等都是巨型焊接结构，仅蜗壳其进口直径就达 12m，壁厚 70~80mm，而水轮机叶片不仅焊接量大，而且要求精度高。与此相对应，数控切割、数控卷板、少切屑、无切屑和一次成形、精密成形的应用使得一些重型机械的主要部件在设计时采用焊接件，已经突破了将其作为毛坯的传统概念，这些焊接件采用先进的切割和焊接方法，不经机械加工或很少加工即可直接进行装配，并保证必要的安装装配精度和公差要求。如近净形焊熔（焊熔工件达到或接近净加工尺寸外形）

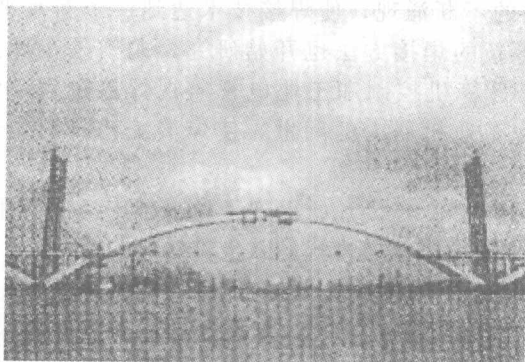


图 0-1 正在合拢中的上海卢浦大桥

技术——特别适用于对材料有特殊要求或对形状有一定要求的场合，可获得或接近获得最终形状的零部件，故特别适用于零部件原型的开发；具有“世界第一拱桥”之称的上海卢浦大桥，全长 3900m，跨度 550m，为世界跨度最大的全焊钢结构拱桥，用厚度 30~100mm 的细晶粒钢焊接而成，如图 0-1 所示。2007 年由美国《时代》周刊评出的世界十大建筑奇迹之一的 2008 年奥运会主会场——中国国家体育场造型呈双曲面马鞍形，东西向结构高度为 68m，南北向结构高

度为 41m，钢结构最大跨度长轴 333 m，短轴 297m，由 24 榀门式桁架围绕体育场内部碗状看台旋转而成，结构组件相互支撑，形成网格状构架，组成体育场整个的“鸟巢”造型，如图 0-2 所示；在石油输送管道建设安装方面，如图 0-3 是某油田集团正在建设中的西部原油成品油管道工程；在航空航天方面，已建成了一个最大的空间环境模拟装置，它是一个大型不锈钢整体焊接结构，主舱是一个直径 18m，高 22m 的真空容器，辅舱直径 12m，我国发射的第一个“神州”五号载人飞船就曾在这个模拟舱中进行试验。

③ 焊接结构材料已从碳素结构钢转向采用低合金结构钢、合金结构钢、特殊用途钢，工业发达国家采用了的而我国已经开发或正在研制的微合金化控轧钢（如 TMCP 钢）、高强度细晶粒钢、精炼钢（如 CF 钢）、非微合金化的 C-Mn 钢、制造海洋平台基础导管架用的 Z 向钢。高强和超高强度钢也开始广泛用于制造焊接结构，如高强管线钢 X80、X100、X120 钢，汽车车身用超轻型结构用钢，高耐火性高层建筑用钢；制造固体燃料火箭发动机壳的 4340 钢，抗拉强度可达 1765MPa 等。

与焊接结构的使用环境相对应日益复杂的苛刻条件，一些耐高温、耐腐蚀、耐深冷及脆性断裂的高合金钢及非钢铁合金也在焊接结构中获得了应用，如 3.5Ni、5.5Ni 及 9Ni 钢，不锈钢和耐热钢，铝及铝合金，钛及钛合金，还有用防锈铝合金制造输送液化天然气的货船

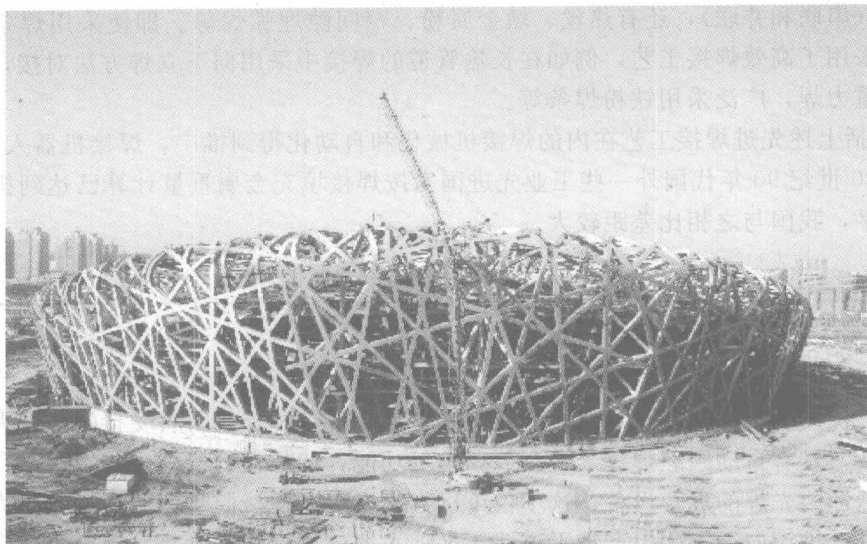


图 0-2 中国国家体育场

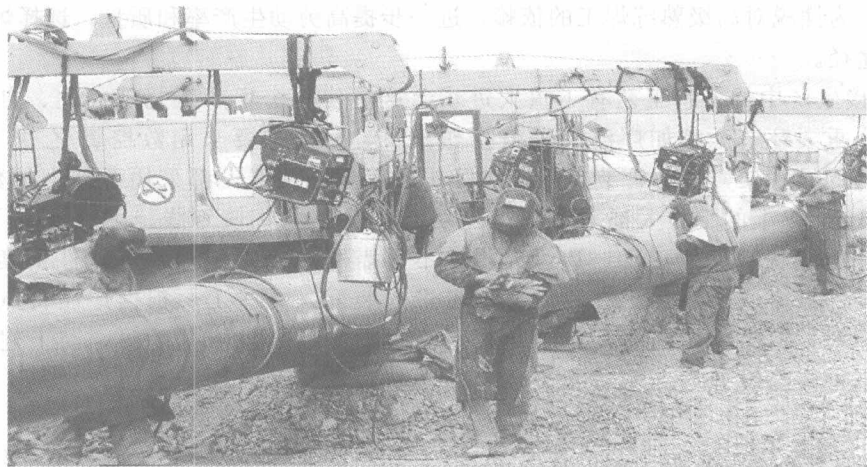


图 0-3 西部原油成品油管道工程

和球罐等。

④ 焊接结构的设计应依据其工作条件和要求分别按照有关的规范进行，接受有关部门的监督，但结构设计共同的发展趋势是采用计算机辅助技术进行优化设计，从而使结构更加经济合理，并且减少了设计的工作量。

(2) 焊接结构生产的发展 与以上焊接结构的发展趋势相适应，必然有以先进的焊接工艺为基础的焊接生产发展，近年来焊接生产的主要发展趋势如下。

① 先进的优质、高产、低耗、廉价和清洁的焊接不断发展并快速在焊接生产中获得应用。如在很多场合， CO_2 气体保护焊代替了焊条电弧焊；用富氩的混合气体保护焊、氩弧焊（MIG 焊和 TIG 焊）焊接高强度钢、大厚度的压力容器；热壁加氢反应器采用窄间隙焊；需要单面焊的压力容器和管道中常用的 TIG 焊、STT（表面张力过渡法）焊打底；药芯焊丝气体保护焊已用于诸如造船、重型机械、大型储罐等焊接结构的空腔焊缝；管道的高速旋转电弧焊，全自动的气电保护焊和脉冲闪光焊；在航空航天、核设备的焊接中使用了激光焊、氩弧焊。一些传统的焊接工艺又有新发展，如搅拌摩擦焊、活性焊剂氩弧焊，埋弧焊

有了多丝（串联和并联），还有热丝、填金属粉、窄间隙埋弧焊等。即使采用焊条电弧焊的场合，也采用了高效焊接工艺，例如在长输管道的焊接中采用向下立焊方法对接，在造船焊接中采用重力焊，广泛采用铁粉焊条等。

② 包括上述先进焊接工艺在内的焊接机械化和自动化得到推广，焊接机器人得到应用。表 0-1 是 20 世纪 90 年代国外一些工业先进国家按焊接填充金属重量计算已达到机械化、自动化的水平，我国与之相比差距较大。

表 0-1 一些国家机械化、自动化比例

国 别	前苏联	美国	日本	德国	中国
机械化和自动化所占百分比	40%	55%	45%	64%	25%

高效、优质的机械化和自动化是靠相应的自动化设备和焊接材料支持的。像大型化的焊接成套设备，具有自动跟踪焊缝、检测、调整等功能，如长输管线的全位置气电自动焊的成套设备、脉冲闪光焊的成套设备，这不仅可以大幅度提高焊接质量和生产率，也为改善工人的劳动强度，进而向无人化生产铺平道路。又如大型储油罐壁焊缝自动焊机，特别是焊接机器人，目前在世界上所有的工业机器人中，50%以上为焊接机器人，在一些劳动条件十分恶劣的场合，为摆脱对高级熟练焊工的依赖，进一步提高劳动生产率和质量，选择焊接机器人是重要的途径。

③ 焊接生产中的备料工艺有了重大进步。这是使整个生产工艺现代化、自动化和短流程的一个重要环节。例如广泛采用数控热割机，目前主要采用数控氧-乙炔气割下料，如海上平台的导管架，全部管节点的构成管头各种空间曲线，都采用了精密的数控切割。有的工厂 6mm 以上的钢材大都采用数控热切割方法下料，使划线、下料实现了自动化，保证了零件的形状、尺寸正确，边缘光滑，不再需用边缘刨削来改善零件精度，80% 以上的板材零件只需这道下料工序和修磨即可进入装配。一些工厂根据产品特点还保留了部分剪床下料，但由剪切向热切割、数控切割过渡的趋向已十分明显。与上述变化相对应，热切割工艺与设备得到了很大发展，新的热切割工艺，如等离子弧切割、激光切割等获得应用。

备料生产中的材料成形工艺也有很大变化，如制造圆筒容器所用大量卷板工艺，已经开始采用数控卷板代替繁重的手工卷板。各种封头的成形工艺也有了很大进步。

④ 加强了基本金属如钢材、铝合金等的表面处理和边缘处理，以保证热切割的连续、焊接及装配质量和成本涂饰质量。

⑤ 焊接结构的可靠性预测。焊接结构的可靠性保证主要体现在三个方面：大型装备中焊接结构的应力控制；薄板结构的变形控制；服役装备结构的寿命预测和评估。目前采用的主要方法是利用高速计算机、工具软件和模型进行仿真模拟，提供工艺优化的方法，以及利用各种消除应力的手段来解决这一问题，进行大型水轮机转子的应力评估、大功率电动机主轴应力分析等。焊接工作者正在完成焊接结构的“理论—工程试验—实践”向“理论—计算机模拟—实践”的过渡。

⑥ 焊接结构生产的发展趋势。焊接领域将来的发展趋势是高速焊接、数字化电源、传感技术、激光应用、自动化、省力化。

综上所述焊接结构与焊接生产的发展趋势，不难看出无论在结构设计还是在焊接工艺、焊接设备、备料工艺与设备和焊接材料方面均有较大的发展。在图样设计方面采用了先进的技术标准、高性能的材料，在制造时采用了与技术标准和材料相适应的高质、

高效、低成本的工艺,制造出了一流的产品,而焊接生产是整个生产制造过程中主要的一环,占有极重要的地位。现在我国产品进入国际市场,面临残酷激烈的竞争,我国机电产品,包括焊接结构能否站住脚,争一席之地,这与焊接生产的能力有很大关系,它往往是产品打入国际市场,在国内取代进口产品,能否成为与外商合作的伙伴,并参与国际竞争的首要条件之一。

在焊接理论研究方面,建立了焊接研究所和焊接设备研究所,在许多高、中等职业院校设置了焊接专业,为发展焊接科学技术和培养焊接技术技能型人才创造了良好的氛围。

目前,随着科学技术的进步和工业的发展,一方面高强度钢等新材料不断开发和应用;另一方面焊接结构日趋复杂,焊接工作量越来越大,对焊接技术的要求越来越严格,对提高焊接生产率的要求日益迫切。

2. 焊接结构的特点与分类

(1) 焊接结构优点 焊接结构之所以能有上述巨大的发展,是与焊接结构的一系列优点分不开的。

① 焊接结构可以减轻结构的重量,提高产品的质量,特别是大型毛坯的质量(相对铸造毛坯)。相对铆接结构其接头效能较高,节省金属材料,节约基建投资,可以取得较大的经济效益。如120000kN水压机改用焊接结构后,主机重量减轻20%~26%,上梁、活动横梁减轻20%~40%,下梁减轻50%;某大型颚式破碎机改用焊接结构后,节约生产费用30多万元,成本降低了20%~25%。

② 焊接结构由于采用焊接连接,理论上其连接厚度是有限制的(与铆接相比),这就为制造大厚度巨型结构创造了条件。采用焊接能使结构有很好的气密性和水密性,这是储罐、压力容器、船壳等结构必备的性能。前述热壁式加氢反应器和核容器是极好的实例。

③ 焊接结构多用轧钢制造,它的过载能力、承受冲击载荷能力较强(与铸造结构相比)。对于复杂的连接,用焊接接头来实现要比铆接简单得多,高水平的焊接结构设计人员可以灵活地进行结构设计,并有多种满足使用要求可供选择,简单的对接焊和角焊就能构成各种焊接结构。

④ 焊接结构可根据结构各部位在工作时的环境,所承受的载荷大小和特征,采用不同的材料制造,并采用异种钢焊接式堆焊制成。从而满足了结构使用性能,又降低制造成本。如热壁加氢反应器,内壁要有抗氢腐蚀能力,如全用抗氢钢卷制,贵而不划算,尿素合成塔则要耐包括尿素在内多种化工产品的腐蚀,故这类厚壁筒内壁采用堆焊(或内衬)不锈钢(或镍基合金)来制造。

⑤ 节省制造工时,同时也就节约了设备及工作场地的占用时间,这也可以获得节约资金的效果。例如在现代造船厂里,一个自重20万吨的油轮,可在不到3个月的时间里下水,同样的油轮如用铆接制造,需要一年多的时间下水。与铆接结构的经济性相比,它还具有结构制造成品率高的特点,即焊接结构制造过程中一旦出现焊接缺陷,修复比较容易,很少产生废品。

(2) 焊接结构存在的问题 焊接结构也存在一些问题,这些问题正是本书要进行讨论的主要内容之一。

① 焊接结构中必然存在焊接残余应力和变形。绝大多数焊接结构都是采用局部加热的焊接方法制造,这样不可避免地将产生较大的焊接应力和变形。焊接应力和变形不仅影响结构的外形和尺寸;在一定条件下,还将影响结构的承载能力,如强度、刚度和稳定性;

对焊后加工也带来一些问题,如尺寸的稳定性和加工精度;同时还是导致焊接缺陷的重要原因之一。

② 焊接过程会局部改变材料的性能,使结构中的性能可能不均匀。尤其是某些高强度、超高强度钢,如微合金控轧钢有优良的性能,但它要求焊接过程实现焊缝金属净化化和通过微合金化使之实现细晶粒化。一些金属材料焊接比较困难,这就导致了焊接缺陷,虽然焊接缺陷大多数能够修复,但是一旦漏检或修复不当则可能带来严重的问题,如形成应力集中,加之性能不均匀将更严重地影响结构的断裂行为,降低结构的承载能力。

③ 焊接结构是一个整体,这一方面是气密、水密的前提,另一方面刚度大,在焊接结构中易产生裂纹,使之很难像铆接或螺栓连接那样在零件的过渡处被制止,由于这个原因和上述原因(焊接应力和变形、缺陷、大应力集中、性能不均匀等)导致焊接结构对脆性断裂和疲劳、应力腐蚀等的破坏特别敏感。

④ 由于科学技术的进步,无损检测手段获得了重大发展,但到目前为止,经济而十分可靠的检测手段仍感缺乏。

(3) 焊接结构的分类 焊接结构难以用单一的方法将其分类。有时按照制造结构板件的厚度分为薄板、中厚板、厚板结构;有时又按照最终产品分为飞机结构、油罐车、船体结构、客车车体等;按采用的材料,可分为钢焊结构,铝、钛合金结构等。按结构工作的特征,并与其设计和制造紧密相连,结构的分类及其各自的特点可简述如下。

① 梁、柱和桁架结构。分别工作在横向弯曲载荷和纵向弯曲或压力下的结构可称为梁和柱。由多种杆件被节点连成承担梁或柱的载荷,而各杆件都是主要工作在拉伸或压缩载荷下的结构称为桁架。作为梁的桁架结构杆件分为上下弦杆、腹杆(又分竖杆和斜杆),载荷作用在节点上,从而使各杆件形成只受拉(或压)的二力杆。实际上,许多高耸结构,如输变电钢塔、电视塔等也是桁架结构。

梁、柱和桁架结构是组成各类建筑钢结构的基础,如高层建筑的钢结构、冶金厂房的钢结构(屋架、吊车梁、柱等)、冶炼平台的框架结构等。它还是各类起重机金属结构的基础,如起重机的主梁、横梁,门式起重机的支腿、栈桥结构等。用作建筑钢结构的梁、柱和桁架常常在静载下工作,如屋顶桁架。而作为起重机的金属结构,包括桥梁桁架和起重机桁架则在交变载荷下工作,有时还是在露天条件下工作,受气候环境与温度的影响,这类结构的脆性断裂和疲劳问题应引起更大关注。

② 壳体结构。它是充分发挥焊接结构水、气密特点,应用最广、用钢量最大的结构。它包括各种焊接容器、立式和卧式储罐(圆筒形)、球形容器(包括水珠状容器)、各种工业锅炉、废热锅炉、电站锅炉的锅筒、各种压力容器,以及冶金设备(高炉炉壳、热风炉、除尘器、洗涤塔等)、水泥窑炉壳、水轮发电机的蜗壳等。

壳体结构大多用钢板成形加工后拼焊而成,要求焊缝致密。一些承受内压或外压的结构一旦焊缝失效,将造成重大损失。

③ 运输装备的结构。它们大多承受动载,有很高的强度、刚度、安全性要求,并希望重量最小,如汽车结构(轿车车体、载货车的驾驶室等)、铁路敞车、客车车体和船体结构等。而汽车结构全部、客车体大部分又是冷冲压后经电阻焊或熔焊组成的结构。

以上所述结构因失效会造成严重损失,这类结构的设计和制造监察应按国家法规进行。

④ 复合结构及焊接机器零件。这些结构或零件是机器的一部分,要满足工作机器的各项要求,如工作载荷常是冲击或交变载荷,还常要求耐磨、耐蚀、耐高温等。为满足这些要

求,或满足零件不同部位的不同要求,如前焊接结构优点所述,这类结构往往采用多种材料与工艺制成的毛坯再焊接而成,有的就构成所谓的复合结构,常见的有铸-压-焊结构、铸-焊结构和锻-焊结构等。

复合结构的焊接可以在加工毛坯后完成,如挖掘机的焊接铲斗;而大多数是粗加工或未经机加工的毛坯焊接成结构后再精加工完成,如巨型焊接齿轮、锅筒、汽轮发电机的转子和水轮机的焊接主轴、转轮和座环,60000kN 水压机的立柱、梁、工作缸等。

(4) 焊接结构设计和制造的相关标准 这里列举最重要和最常用的一些国内外标准,以便在具体工作中参照执行,先列举与焊接结构设计有关的标准,后是有关结构制造(施工)及验收(质量监控)的规范。

有一些标准在下面的有关章节(1.5 焊接标准简介)将会作进一步介绍。

① 国内常用标准代号:

GB 国家标准代号

GB/T 国家推荐性标准代号

SH 石油化工业专业标准代号

QB 轻工行业标准代号

YB 冶金行业标准代号

HG 化工行业标准代号

JB 机械行业标准代号

SJ 电子行业标准代号

QC 汽车行业标准代号

TB 铁道运输行业标准代号

CB 船舶工业标准代号

HB 航空工业行业标准代号

QJ 航天工业行业标准代号

② 国外常用标准代号:

ISO 国际标准化组织代号

IEC 国际电工委员会标准代号

IIW 国际焊接学会代号

AWS 美国焊接学会代号

CEN 欧洲标准化委员会代号

ANSI 美国国家标准学会代号

AISI 美国钢铁学会代号

AISE 美国钢铁工程师学会代号

ASM 美国金属学会代号

ASIM 美国材料学会代号

ASME 美国机械工程师协会或锅炉压力容器规范代号

BS 英国标准代号

DIN 德国标准代号

JIS 日本工业标准代号

NF 法国标准代号

ГОСТ 前苏联标准代号

③ 焊接基础标准:

焊缝符号表示法 (GB/T 324—1988); 焊接术语 (GB/T 3375—1994);
 气焊、焊条电弧焊及气体保护焊焊缝坡口基本形式和尺寸 (GB/T 985—1988);
 埋弧焊焊缝坡口基本形式和尺寸 (GB/T 986—1988);
 焊接及相关工艺方法代号 (GB/T 5185—2005);
 钢结构焊缝外形尺寸 (JB/T 7949—1999); 钢制件熔焊工艺评定 (JB/T 6963—1993);
 焊接质量要求 金属材料的熔焊 第1~4部分 (GB/T 12467.1~4—1998);
 钢熔焊焊工技能评定 (GB/T 15169—2003)。

④ 锅炉、压力容器、核电用容器常用标准及规程:

压力容器安全技术监察规程 (99版); 蒸汽锅炉安全技术监察规程 (1996);
 热水锅炉安全技术监察规程 (1992); 钢制压力容器 (GB 150—1998);
 钢制球形储罐 (GB 12337—1998);
 钢制塔式容器 (JB 4710—1992);
 液化石油气钢瓶 (GB 5842—2006); 固定式锅炉建造规程 (GB/T 16507—1996);
 锅炉角焊缝强度计算方法 (JB/T 6734—1993);
 锅炉焊接工艺评定 (JB 4420—1989);
 工业锅炉焊接管孔 (JB/T 1625—2002);
 钢制压力容器焊接工艺评定 (JB 4708—2000);
 钢制压力容器焊接规程 (JB 4709—1992); 锅炉压力容器焊工考试规则 (劳动部); 锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则 (国质检锅 2002);
 2×600MW 压水堆核电厂核岛系统设计建造规范 (GB/T 15761—1995);
 压水堆核电厂核岛机械设备焊接规范 (EJ/T 1027.1~.19 包括焊接材料验收、工艺评定、焊工的资格评定等 19 项);
 ASME 第Ⅸ卷焊接和钎焊评定;
 EN288-Ⅲ 钢材电弧焊工艺评定。

⑤ 造船和建筑工程行业常用标准及规程:

钢质海船入级与建造规范 (2005版); 船舶焊缝符号 (CB/T 860—1995);
 921A、922A 钢焊接坡口基本形式及焊缝外形尺寸 (CB 1220—1993);
 船体结构焊接坡口形式及尺寸 (CB/T 3190—1997);
 钢结构设计规范 (GB 50017—2003); 网架结构设计与施工规定 (JGJ 7—91);
 焊工考试规则 (船检局);
 钢结构工程施工及验收规范 (GB 50205—2001)。

⑥ 水利、电力行业常用标准及规程:

火力发电厂金属技术监督规程 (DL 438—2000);
 电站钢结构焊接通用技术条件 (DL/T 678—1999);
 火力发电厂焊接技术规程 (DL/T 869—2004);
 工业金属管道工程施工及验收规范 (GB 50235—1997);
 现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范 (GB 50236—1998);
 水工金属结构焊接通用技术条件 (SL 36—2006);
 水工金属结构焊工考试规则 (SL 35—1992);

焊工技术考核规程 (DL/T 679—1999)。

⑦ 铁路桥梁、机车车辆行业常用标准及规程:

铁路桥梁钢结构设计规范 (TB 10002.2—1999);

钢桥制造 (包括通用桁梁、板梁、箱梁三个技术条件; TB/T 2659.1~.3—1995);

机车车辆耐候钢焊接技术条件 (TB/T 2446—1993);

机车车辆焊接技术条件 (包括新造和修理: TB/T 1580—1995~1581—1996);

内燃机车柴油机机体焊接技术条件 (TB/T 1742—1991);

铁路工人技术标准 (TB/T 2152.19~.21—1990 包括了焊接的主要工种)。

⑧ 石油天然气和其他一些行业常用标准及规程:

立式圆筒形钢制焊接油罐施工及验收规范 (GBJ 128—1990);

海上固定平台规划、设计和建造的推荐做法 (SY/T 4802—1992 等同采用 API RP 2A);

浅海钢质固定平台结构设计与建造技术规范 (SY/T 4094—1995);

浅海钢质移动平台结构设计与建造技术规范 (SY/T 4095—1995);

长输管道线路工程施工及验收规范 (SY J4001—1990);

油气管道焊接工艺评定方法 (SY 4052—1992);

管道下向焊接工艺规程 (SY/T 4071—1993); 汽轮机焊接工艺评定 (JB/T 6315—1992)。

⑨ 工程机械:

工程机械焊接件通用技术条件 (JB/T 5943—1991)。

⑩ 机器人标准:

工业机器人词汇 (JB/T 12643—1997);

工业机器人性能规范及其试验方法 (JB/T 12642—2001);

工业机器人特性表示 (JB/T 12644—2001)。

从以上所列有关标准和规范看 (并非全部), 由于条块分割, 并非行业实际需要, 有一些是重复的, 以焊工考试 (考核) 规程最明显, 这就造成了我国焊工证书五花八门, 互不认可, 这既造成资源浪费, 又造成行业之间, 我国和国外业界之间交流困难, GB/T 15169—2003 标准实施, 进一步等同或等效采用国际标准的方式将是未来我国焊工考核的发展方向。

注意学习上述标准、规程、法规和技术条件时应以现行公布的为准。

3. 焊接生产的特点

焊接生产过程是指采用焊接的工艺方法把毛坯、零件和部件连接起来制成焊接结构的生产过程。如上所述, 各种各样的焊接结构都是焊接生产的产品, 有许多就是最终的制成品, 如大型球罐、全焊钢桥、热风炉、加氢反应器、蒸煮球、尿素合成塔等; 更多则是最终制成品的主要部件或零件, 如全焊船体、工业锅炉主体、起重机的金属结构, 压力容器的承压壳、油罐车的油罐和底架、内燃机车柴油机的焊接机体及水轮机的主轴、转轮和座环等。

在工厂中负担焊接生产的车间, 如金属结构车间、装焊车间、总装车间等是工厂的主要车间之一, 在一些情况下, 它是初级产品、半成品的准备车间 (如汽车制造厂的车体车间或车身车间), 是工厂最终产品的总装车间、涂饰车间或成品库的供应者, 同时它也是工厂的备料车间 (切割下料与冲压成形、零件机加工等)、机加工车间、某些中间仓库的“消费