

焊接工程基础

机械工业出版社
China Machine Press

普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材

焊 接 工 程 基 础

主 编 熊腊森

副主编 刘顺洪

参 编 王 学 何志江 吴丰顺

吴军 罗传红 张富巨

主 审 陈武柱



机 械 工 业 出 版 社

本书由三篇组成：第一篇焊接方法及设备主要论述焊接电弧物理基础、熔滴过渡基本理论、焊接自动化调节原理；介绍工程中常用焊接方法(电弧焊、电阻焊)的特点、应用和相关的设备电气原理、新型焊接自动控制技术；简述先进制造技术。第二篇金属材料焊接在概述金属材料焊接性基本理论的基础上，重点介绍常用工程材料如合金结构钢、耐热钢、不锈钢、铸铁和有色金属焊接。第三篇焊接结构重点介绍焊接应力与变形；焊接结构的脆性断裂和疲劳强度以及焊接接头的强度与计算等基本理论。

本书供高校材料成形与控制专业及大中专热加工工程专业学生使用，也可供机械、造船等专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接工程基础/熊腊森主编. —北京：机械工业出版社，2002. 2

普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材

ISBN 7 - 111 - 09829 - 3

I. 焊... II. 熊... III. 焊接 - 高等教育 - 教材
IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 002914 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：王霄飞 于淑香 版式设计：冉晓华 责任校对：张 佳

封面设计：姚 毅 责任印制：付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 11.625 印张·451 千字

0 001—4 000 册

定价：27.00 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、68326677 - 2527

普通高等教育材料成形及控制工程专业 改革教材编审委员会

主编单位：华中科技大学

策划单位：华中科技大学

机械工业出版社

顾问：杨叔子 院士

周 济 院士

崔 崑 院士

参编单位：西北工业大学

武汉理工大学

武汉大学

吉林大学

重庆工业大学

太原理工大学

湖北工学院

华南理工大学

太原重型机械学院

武汉科技大学

大连理工大学

上海交通大学

湖北汽车工业学院

武汉凯奇公司

机械科学研究院武汉材料保护研究所

审稿单位：武汉大学

东南大学

武汉理工大学

山东大学

合肥工业大学

中国科学院计算所

西安交通大学

浙江大学

福州大学

上海交通大学

(排名不分先后)

清华大学

序

我国社会主义现代化建设浪潮不断高涨，高等教育与教学改革不断深入发展，长江后浪推前浪。

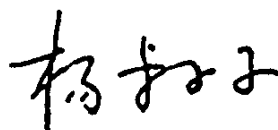
培养基础宽、素质高、能力强、适应面广，具有创新能力的人才，教材建设是一大关键。新的专业目录颁布以来，经过摸索和探讨，对一些改革力度大的专业组建和教材建设，各高校的观点和看法逐渐趋于大同。在这个基础上，编写一套适合于普通高等教育“材料成形与控制工程”专业系列改革教材是适时的，也是非常必要的。

该系列教材内容合理而先进，充分体现了专业重心下移，着重于专业的基础性、共性课程的设置。而反映铸、锻、焊专业方向性的课程，绝大部分作为选修课程设置。其主要特点，一是系列教材覆盖面宽，不仅覆盖了4个老专业近40门专业教材的内容，而且还延伸到材料热加工的最新技术及发展的前沿；二是内容精练，选材新颖，结构合理，13门教材平均每门不足30万字，仅为4个老专业教材篇幅的 $1/4 \sim 1/5$ ，且近一半的内容选自近10余年来的科研成果、国内外文献和国外原版教材；三是13门专业主干教材中，有4门是与计算机和信息技术相结合的教材，突出了计算机和信息技术的学习与应用。

我相信，通过这套专业系列教材的学习，可使材料成形与控制工程专业学生较为充分掌握系统的专业基础与共性知识，在先进的材料加工新技术和发展趋势方面较好了解乃至有所掌握，在计算机应用和外语水平方面能形成优势，这有利于培养较高的综合素质和较强的创新能力。

当然，任何事情不能一蹴而就。这套专业系列教材也有待于在教学实践中不断修改与完善。好的开始等于成功的一半。我祝愿在著者与读者的共同努力下，这套教材有一个更为美好的明天，谨此为序。

中科院院士



前 言

为了适应国家教育改革形势的发展,根据教育部最新颁布的新的专业目录,全国大部分工科院校已将原热加工专业的铸造、焊接、锻压、热处理四个专业合并为材料成形及控制工程大专业。1998年12月,教育部热加工专业教学指导委员会在哈尔滨召开年会,探讨了专业改造和教材建设的问题。

推行专业改革,为社会培养综合素质高、知识结构全面的栋梁之材,在很大程度上取决于教材建设。教育部颁布新的专业目录已两年多,经过这一阶段的摸索和探讨,对材料成形及控制工程专业的改造和教材建设,各高校观点和方法逐渐趋于大同,在这个基础上,编写一套普通高等教育材料成形及控制工程专业系列教改教材是适时的。为此,机械工业出版社教材编辑室成立了以华中科技大学为牵头单位的系列教改教材编审委员会,共同组织编写材料成形及控制工程专业系列教材。

本书是以材料加工工程、材料成形及控制工程、材料学、机械工程和船舶工程等专业本科生为主的教学用书。

“焊接工程基础”的主要专业技术基础是“电工电子学”、“金属学及热处理”、“计算机工程”、“材料成形原理”、“工程力学”等,是材料成形及控制工程专业开设的方向性较强的专业课教材。

本书分三篇共十六章。第一至八章为焊接方法及设备篇;第九至十二章为金属材料焊接篇;第十三至十六章为焊接结构篇。在编写过程中,编者力求做到以下几点:

(1) 突出重点,理顺知识 传统的焊接专业,专业课目繁多,内容庞杂,总量在200万字以上。由于体系、结构的原因,这些教材有些内容互相重叠、叙述多有冗余,有的甚至老化过时,已经不能适应专业改造和教材改革的需要。本书根据工程实际的需求,综合焊接方法及设备、金属材料焊接和焊接结构三大知识板块的主要内容,理顺焊接工程所必须的基础知识,删除传统焊接专业教材中大量的资料性图表和叙述,做到重点突出,内容精炼,条理清楚。

(2) 注重基础,抓住特点 本书焊接方法及设备篇重点介绍焊接电弧物理基础、熔滴过渡和自动焊接调节原理等基础理论;对于主要焊接方法则强调其工艺特点、电弧特点、熔滴过渡特点及应用特点,这样既突出了基础和重点,又做到了理论与实际相结合。同样,材料焊接重点讨论合金钢、不锈钢及有色金属的焊接性基础和焊接工艺特点;焊接结构则侧重设计基础和相关的的基本理论,如焊接

变形和残余应力、焊接结构的疲劳和脆性断裂等。上述基础理论和基本方法都具有很强的专业特点，是焊接工作者必须掌握的。

(3) 联系实际，技术求新 本书力求理论联系实际，在叙述基础理论时尽量介绍其可能的实际应用，介绍工艺应用时则引用其理论基础。焊接技术尽可能延伸到最新技术及其发展前沿，例如表面张力过渡技术、自动跟踪技术、自适应控制技术、计算机控制技术以及先进制造技术等，在焊接中的最新应用成果。

本书由华中科技大学熊腊森为主编(编写绪论、第一、二、三、五章，第八章第四节)，刘顺洪为副主编(编写第十五、十六章)。参加编写的有：华中科技大学吴丰顺(编写第八章一至三节，第十二章一、三节及第十章部分工作)，武汉大学张富巨(编写第四、六章)，王学(编写第九章、第十一章、第十二章第二节)，罗传红(编写第七章)，武汉理工大学吴军(编写第十章)，何志江(编写第十三、十四章)。最后由熊腊森统稿，并由清华大学陈武柱教授主审。

本书在编写过程中，得到了华中科技大学胡伦骥教授、夏巨湛教授、魏华胜教授及刘庆华同志等的帮助和支持，在此表示衷心的感谢。对所有为本书提供资料和建议的同志也一并表示诚挚的谢意！

限于编者水平，书中错误难免，敬请广大读者指正。

编者
2001年9月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 焊接方法及设备	5
-------------------	---

第一章 电弧焊基础知识	5
-------------------	---

第一节 焊接电弧	5
----------------	---

一、焊接电弧的导电特点	5
-------------------	---

二、焊接电弧的构成及其导电特性	10
-----------------------	----

第二节 焊接电弧中的能量平衡及电弧力	13
--------------------------	----

一、焊接电弧中的能量平衡	13
--------------------	----

二、电弧的能量密度和温度分布	14
----------------------	----

三、电弧的主要作用力	14
------------------	----

四、电弧的极性及其选择方法	16
---------------------	----

第三节 磁场对电弧的作用	17
--------------------	----

一、电弧自身磁场的作用	17
-------------------	----

二、电弧的磁偏吹	18
----------------	----

三、外加磁场对电弧的作用	20
--------------------	----

第四节 焊丝的熔化及熔滴过渡	22
----------------------	----

一、焊丝加热与熔化的能量	22
--------------------	----

二、焊丝的熔化速度及熔化系数	23
----------------------	----

三、熔滴过渡	25
--------------	----

四、熔滴过渡的控制	34
-----------------	----

第五节 母材熔化和焊缝成形	36
---------------------	----

一、熔池和焊缝的形状尺寸	36
--------------------	----

二、焊接条件对焊缝成形的影响	37
----------------------	----

三、焊缝成形的控制	39
-----------------	----

第二章 电弧焊自动控制基础	42
---------------------	----

第一节 熔化极自动电弧焊的自动调节系统	42
---------------------------	----

一、自动电弧焊自动调节概述	42
---------------------	----

二、熔化极等速送丝电弧自身调节系统	44
-------------------------	----

三、电弧电压反馈调节系统	48
--------------------	----

第二节 恒速调节系统	53
------------------	----

一、晶闸管可控制整流驱动电路	53
二、脉宽调制式开关管驱动电路	57
第三节 电弧焊的程序自动控制	60
一、程序自动控制的对象和要求	60
二、程序自动控制的转换和实现方法	61
三、电弧焊程序控制的基本环节	62
第三章 埋弧焊	69
第一节 埋弧焊的特点及应用	69
一、埋弧焊的特点	69
二、埋弧焊的应用及其局限性	70
三、埋弧焊的焊剂、焊丝及其选配	70
第二节 埋弧焊机	72
一、分类及结构	72
二、MZ—1000 型埋弧焊机	75
第三节 埋弧焊技术	77
一、常用埋弧焊技术	77
二、埋弧焊的其他焊接技术	81
第四章 熔化极气体保护电弧焊	84
第一节 熔化极气体保护电弧焊原理及分类	84
一、熔化极气体保护焊原理	84
二、熔化极气体保护焊方法分类及其应用	84
第二节 熔化极气体保护焊的气体选择与冶金特性	85
一、熔化极气体保护焊的气体选择	85
二、MIG 及 MAG 焊的冶金特性及焊丝选择	86
三、CO ₂ 焊接的冶金特性	86
四、CO ₂ 气体及焊丝	88
第三节 惰性及混合气体保护焊	90
一、熔化极惰性气体保护焊	90
二、熔化极混合气体保护焊	93
三、熔化极气体保护焊设备	94
第四节 CO ₂ 气体保护焊	95
一、CO ₂ 焊接方法特点及其应用	95
二、CO ₂ 焊接工艺技术	96
三、CO ₂ 焊接的飞溅控制	99
第五节 药芯焊丝电弧焊	103
一、药芯焊丝的结构及分类	103
二、药芯焊丝电弧焊的技术经济特性	104
三、药芯焊丝电弧焊的电弧形态与熔滴过渡	105

第六节 熔化极气体保护焊的特别技术	106
一、脉冲电流焊接	106
二、窄间隙焊接	109
第五章 钨极氩弧焊	113
第一节 钨极氩弧焊的原理与特点	113
一、钨极氩弧焊方法特征及应用	113
二、钨极氩弧焊焊枪	113
三、钨极氩弧焊的电极	114
第二节 钨极氩弧焊焊机	118
一、钨极氩弧焊的电流种类和极性	118
二、逆变式钨极氩弧焊设备简介	121
第三节 钨极氩弧焊工艺	129
一、常规钨极氩弧焊工艺技术	129
二、其他钨极氩弧焊工艺	130
第六章 等离子弧焊	134
第一节 等离子弧特性及其发生器	134
一、等离子弧的形成	134
二、等离子弧的分类	134
三、等离子弧特性	135
四、等离子弧发生器	136
五、双弧现象及其防止	139
第二节 等离子弧焊接与切割	140
一、等离子弧焊接工艺及其参数选择	140
二、等离子弧切割(PAC)	143
第三节 等离子弧堆焊和喷涂	145
一、等离子弧堆焊	145
二、等离子弧喷涂	146
第七章 电阻焊	149
第一节 电阻焊的基本原理	149
一、电阻焊过程及特点	149
二、电阻焊热源及热过程	150
三、焊接电流的种类及运用范围	155
四、金属材料电阻焊的焊接性	156
第二节 点焊、缝焊、凸焊	158
一、点焊	158
二、缝焊	160
三、凸焊	162
第三节 对焊	163

一、电阻对焊	163
二、闪光对焊	164
第四节 电阻焊设备及控制	166
一、电阻焊机的分类和主要技术要求	166
二、电阻焊机的主电源	168
三、电阻焊质量控制	172
第八章 新型焊接自动控制技术	176
第一节 焊缝位置自动跟踪控制	176
一、焊缝位置自动跟踪传感器	176
二、焊缝位置自动跟踪控制系统	181
三、焊缝位置自动跟踪控制的应用	182
第二节 焊接过程计算机控制	183
一、轨迹控制	183
二、自适应控制	185
第三节 焊接机器人	187
一、工业机器人的工作原理	187
二、焊接机器人	188
第四节 先进制造技术概述	192
一、先进制造技术的内涵、构成及其发展	192
二、焊接技术的未来	197
第二篇 金属材料焊接	200
第九章 金属焊接性基础	200
第一节 金属焊接性概念	200
一、金属焊接性的定义	200
二、金属焊接性的影响因素	200
三、金属焊接性评定方法	202
第二节 钢焊接性判据	202
一、碳当量法	202
二、冷裂纹敏感指数(P_c)	203
第三节 常用焊接裂纹试验方法	204
一、斜 Y 形坡口焊接裂纹试验	204
二、横向可变拘束热裂纹试验	206
三、层状撕裂试验	206
第十章 合金结构钢及铸铁的焊接	208
第一节 合金结构钢的焊接	208
一、合金结构钢的分类	208
二、合金结构钢的焊接性	208

第二节 铸铁的焊接	218
一、铸铁的种类及性能	218
二、铸铁焊接性分析	220
三、铸铁焊接方法简介	224
第十一章 耐热钢、不锈钢的焊接	226
第一节 耐热钢、不锈钢概述	226
一、耐热钢分类及特性	226
二、不锈钢分类及特性	227
三、不锈钢、耐热钢的物理性能	229
第二节 珠光体(含贝氏体)耐热钢的焊接	230
一、珠光体耐热钢的分类	230
二、珠光体耐热钢的焊接性	230
三、珠光体耐热钢的焊接工艺	232
第三节 马氏体、铁素体钢的焊接	234
一、铁素体钢的焊接	234
二、马氏体钢的焊接	236
第四节 奥氏体钢的焊接	239
一、奥氏体钢的分类和特性	239
二、奥氏体钢的焊接性	240
三、奥氏体钢的焊接工艺	245
第十二章 有色金属的焊接	247
第一节 铝及铝合金的焊接	247
一、铝及铝合金的分类	247
二、铝及铝合金的性能	248
三、铝及铝合金的焊接性	249
四、铝及铝合金的焊接工艺特点	251
第二节 铜及铜合金的焊接	253
一、铜及铜合金的分类和特性	253
二、铜及铜合金的焊接性	254
三、铜及铜合金的焊接工艺	256
第三节 钛及钛合金的焊接	257
一、钛及钛合金的分类和性能	257
二、钛及钛合金的焊接性	258
三、钛及钛合金焊接的工艺要点	263
第三篇 焊接结构	266
第十三章 焊接应力与变形	266
第一节 焊接应力和变形的形成过程	266

一、内应力与内部变形的基本概念	266
二、热循环中的应力与变形的演变过程	268
三、焊接过程中应力和变形的形成	270
第二节 焊接残余应力	275
一、焊接残余应力的分布	275
二、焊接残余应力对焊接结构性能的影响	278
三、焊接残余应力的控制和消除措施	281
四、焊接残余应力的测定	284
第三节 焊接残余变形	286
一、焊接残余变形的基本形式	286
二、焊接残余变形的计算及影响因素	287
三、焊接残余变形的控制与矫正	290
第十四章 焊接接头强度及计算	295
第一节 焊接接头的特点及形式	295
一、焊接接头的概念及特点	295
二、焊缝及焊接接头的基本形式	295
第二节 焊接接头的工作应力分布	297
一、焊接接头工作应力分布特点	297
二、电弧焊焊接接头的工作应力分布	298
第三节 焊接接头强度计算基础	300
一、焊接接头的组配	300
二、焊接接头强度计算的基本假设	301
三、强度计算的基本方法	301
四、焊接接头的静载强度计算	303
第十五章 焊接结构的脆性断裂	308
第一节 金属材料或结构的断裂及其影响因素	308
一、断裂分类	308
二、影响金属材料断裂的主要因素	309
第二节 金属材料和焊接结构断裂的评定方法	314
一、临界转变温度和断裂判据	314
二、防止裂纹发生和阻止裂纹扩展的原则	315
三、防止结构脆断的试验研究方法	315
第三节 焊接结构的特点及其对脆断的影响	321
一、焊接结构的特点	321
二、焊接结构制造工艺的影响	322
第四节 预防焊接结构脆性断裂的措施	327
一、正确地选用材料	327
二、采用合理的结构设计	329

三、精心制造, 严格执行制造工艺和质量要求	331
四、用断裂力学方法评定结构的安全性	332
第十六章 焊接接头和焊接结构的疲劳强度	333
第一节 疲劳断裂的基本概念	333
一、疲劳断裂	333
二、疲劳破坏的断口特征	333
第二节 疲劳破坏机理	334
一、疲劳裂纹萌生机理	334
二、疲劳裂纹扩展机理	335
三、瞬断阶段	337
第三节 疲劳断裂力学的基本概念	338
一、裂纹的亚临界扩展	338
二、疲劳裂纹的扩展特性	340
三、疲劳裂纹扩展寿命的估算	341
第四节 疲劳强度的常用表示法	342
第五节 影响焊接结构疲劳强度的因素	344
一、应力集中的影响	344
二、残余应力的影响	350
第六节 提高焊接接头疲劳强度的措施	353
一、降低应力集中	353
二、调整残余应力场	354
三、改善材料的力学性能	355
参考文献	356

绪 论

一、焊接技术的发展及其在现代先进制造技术中的作用

焊接是指通过适当的手段使两个分离的固态物体产生原子(分子)间结合而成为一体的连接方法。被连接的两个物体可以是同类或不同类的金属(钢、铁及非铁金属),也可以是非金属(石墨、陶瓷、塑料、玻璃等),还可以是金属与非金属。迄今为止,金属材料仍然是焊接的主要对象,在我国焊接研究与发展的重点仍然是金属材料。

焊接是一种新兴而又古老的加工技术,早在公元 3000 年前我国古代已有铜-金,铅-锡焊接的应用,举世瞩目的秦始皇墓中出土的铜车马构件上就有锻焊和钎焊焊缝。明代的科学著作《天工开物》中也有关于锻焊的记载。目前工业生产中广泛应用的现代焊接技术则几乎都是 19 世纪末 20 世纪初的现代科学技术,特别是冶金学、金属学、力学、电工、电子学等迅速发展的产物。1885 年俄国人发现气体放电电弧为电弧焊接提供了可靠的能源,1930 年前后出现了涂药焊条电弧焊,此后相继出现了埋弧焊、钨极氩弧焊以及熔化极气体保护焊等焊接方法。1886 年发明电阻焊,并逐步完善为电阻点焊、缝焊和对焊方法,几乎与电弧焊同时推向工业应用。从此电弧焊和电阻焊便逐步取代铆接成为制造工业中广泛应用的基础加工工艺。

20 世纪现代焊接技术的发展十分迅速,继几种主要的电弧焊技术出现后,20 世纪 50 年代出现电渣焊、电子束焊;60 年代出现等离子弧焊和激光焊接;70 年代出现脉冲焊和窄间隙焊接;80 年代开始太空焊接。至 90 年代已经有电弧焊 18 种、硬钎焊 11 种、固态焊接 9 种、软钎焊 8 种、电阻焊 9 种、气焊 4 种、其他焊 10 种、热喷涂 3 种、氧切割 9 种、电弧切割 7 种、其他切割 6 种以及扩散焊 1 种。近年来出现的表面张力过渡焊、搅拌摩擦焊、激光和电弧复合加热焊等显示了新的焊接技术仍在不断发展之中。

焊接是现代金属加工中最重要的方法之一,它和金属切削加工、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制造业的基础生产工艺。随着国民经济的高速发展和科学技术的不断进步,工业大型结构将进一步采用焊接方法,“锻焊结合”、“铸焊结合”也将会得到日益广泛的应用。

焊接技术是机械制造业中的关键技术之一,是现代先进制造技术的一个重要组成部分。20 世纪焊接技术获得了革命性的进展,在制造业中发挥了举足

轻重的作用。可以毫不夸张地说，没有现代焊接技术的发展，就不可能有现代工业和科学技术的今天。展望 21 世纪，全世界钢产量的 50% 将要通过焊接制成产品，焊接技术仍将在制造业中起着极其重要的作用。

先进制造技术的发展将带动焊接技术的发展，焊接将不断吸收高新技术成果，如信息，材料，能源，现代电力、电子技术及管理等方面的成果，适应和推动现代先进制造技术的发展。在 21 世纪焊接也将在科学技术发展和市场日益增大需求的引导下，向着人类活动的各个领域进军，以满足人类各方面的需要。优质、高效、安全、低耗、清洁、灵活的生产仍是努力的方向，取得理想的技术经济效益仍是最终追求的目标。

根据先进制造技术的发展方向，结合焊接技术本身的特点，未来焊接技术的发展趋势是：焊接成形精确化，焊接生产自动化和过程控制智能化，优质、高效的焊接工艺将不断涌现，特殊材料及特殊环境下焊接技术，焊接过程计算机模拟技术将得到不断发展和应用，同时焊接技术也将不断向材料科学和工程的新兴领域渗透和拓展。

二、焊接技术科学的形成以及焊接工程的主要基础

焊接不仅是一种技艺，而且是一门科学。这种从技艺向科学的发展建筑在其他学科发展的基础上，如化学冶金、物理冶金、材料力学、电工学、电子学、光电子学以及计算机技术等等。吸收、消化、发展这些科学，便使焊接从一门单纯的技艺发展成为一门科学的制造技术。推动这一发展的动力，则是焊接技术在重大工程中应用，以及因此而产生的后果。例如，20 世纪 30 年代欧洲数座焊接桥梁发生脆性断裂，造成重大人员伤亡；40 年代美国“自由轮”事件，5000 艘焊接船中 1000 余艘发生裂纹或脆性破坏；50 年代美国采用 HY 80 钢制造潜艇产生大量氢致裂纹；60 年代美国 APOLLO 计划，土星 V 飞船采用高强铝合金焊接产生气孔、变形及强度问题。这些重大的焊接事故引起了政府和技术界的极大关注，大量资金和技术研究的投入，极大地促进了焊接科学的发展。焊接冶金学、焊接金属学、焊接工艺和设备理论以及焊接断裂力学便应运而生，其中焊接断裂力学的形成不仅推动了焊接工程的应用，而且也推动了力学学科的发展。

随着科学技术的发展以及焊接技术在各行各业中的广泛应用，焊接本身已从单一的加工工艺发展成为新兴的综合性的工程和技术学科，它涉及到材料、结构设计、工艺方法、电源设备及工艺装备、下料、成形、焊前和焊后处理、生产过程自动化和机械化，质量检验与控制、失效分析、卫生与安全及环境保护等众多领域。焊接结构设计，金属材料焊接以及焊接方法与设备则是焊接工程的基础，它们之间有着密切的联系，把它们作为一个系统来研究，反映了焊接技术综合化发展趋势，必将推动焊接工程技术进一步向前发展。

随着焊接技术的不断进步，国民经济的迅速发展，焊接结构在国民经济各个

部门中的应用日益广泛。20 世纪 90 年代初我国焊接结构产量已经达到钢产量的 30%，90 年代末我国焊接结构的产量超过钢产量的 40%，21 世纪中国乃至全世界焊接结构的产量将达到钢产量的 50%。这不仅为焊接结构本身的研究、设计开拓了更为广阔的前景，而且为新材料、新方法、新设备的开发和应用，为焊接工程的整体发展，提供了前所未有的挑战和机遇。

焊接方法是指实现焊接过程的方式或手段，焊接设备则是供给能量、实施控制、完成某种操作的电路、机械、气路、水路等的总称。有一种焊接方法则必有一套与之相适应的焊接设备。目前国内外学者关于焊接方法的分类方法甚多，例如常见的族系法、一元坐标法、二元坐标法等。图 0-1 为常用焊接方法的基本分类。

三、课程内容及教学方法

本课程是材料成形及控制工程专业的一门方向性很强的专业课。它的任务是使学生掌握焊接工程实际中所涉及的方法与设备，材料焊接以及焊接结构的基础理论、基本原理和必要的实验技能；可从事简单结构的设计与计算，制定合理的焊接结构生产工艺，选择焊接方法及设备，分析各种条件下金属的焊接性能和制定合理的工艺方案，并初步具备分析和解决焊接生产实际问题的能力。

本课程主要内容有：

- 1) 电弧焊基本理论以及电弧焊自动控制基础；
- 2) 主要电弧焊和电阻焊方法的过程本质、特点和应用；
- 3) 金属焊接性基础以及常用工程材料的焊接；
- 4) 焊接结构的基本力学性能以及断裂、疲劳等基本理论。

本课程综合性和基础性较强，力求突出重点，注重基础，同时又尽可能引入新的研究成果，做到理论和实际相结合。根据焊接工程技术的现状与发展，焊接方法和设备仍以电弧焊为重点，电阻焊也作了适当的介绍。金属焊接的冶金基本原理在先前课程《材料成形原理》中已经介绍，本课程在简要论述金属焊接性的基础上，重点讨论常用工程材料如合金结构钢、不锈钢及耐热钢和有色金属的焊接。焊接结构则重点介绍焊接应力、变形和断裂等基本的理论以及焊接接头的强度计算。

本课程强调基本理论、基本原则和方法，以阐明基本知识为主旨，因此教材中未列入过多的工艺参数图表等具体数据资料，读者需用时可查阅相关的手册；对于教材中涉及的一些较新技术的发展，由于篇幅所限未能展开介绍分析，读者可参看书末列出的相关文献资料。在校学生应自觉培养阅读科技文献和查阅相关手册、资料的良好习惯，以逐步积累专业知识和不断扩大知识面。

本课程涉及焊接工程的主要基础领域，实践性很强，应与其他课程和教学环节如生产实习、课程设计等相配合，以增强学生的实践知识和动手能力。本课程