

焊接方法与实作

HANJIE FANGFA
YU SHIZUO

主 编 张 发



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

焊接方法与实作

主 编 张 发

副主编 郭玉利 郝保强

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容提要

本书内容包括焊接电弧基础知识、热切割方法、焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、钨极惰性气体保护焊等六个项目,每个项目又分为若干个任务,每个任务按照项目(或任务)描述、相关知识、技能训练、项目(或任务)小结的形式编排。另外,有的项目还包含知识拓展和综合训练,其中知识拓展部分介绍了较前沿的理论知识及焊接方法,综合训练部分对本项目应知应会的知识点进行了回顾。

本书既可作为高等院校焊接专业课程的教材,同时也可作为广大自学者的自学用书及工程技术人员参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

焊接方法与实作/张发主编. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 7
ISBN 978 - 7 - 5640 - 8919 - 1

I. ①焊… II. ①张… III. ①焊接工艺 IV. ①TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 038326 号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www. bitpress. com. cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中华美凯印刷有限公司

开 本/710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张/16.75

字 数/288 千字

版 次/2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

定 价/49.00 元

责任编辑/张慧峰

文案编辑/谢彩霞

责任校对/孟祥敬

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

PREFACE

本书共分六个项目，分别对工业生产中常用的焊接和切割的相关知识及操作技术作了详尽的叙述。每个项目又分为若干个任务，每个任务按“项目（或任务）描述”“相关知识”“技能训练”“项目（或任务）小结”的形式进行编写。在“项目（或任务）描述”中，主要介绍了相应焊接方法的实质、特点与应掌握的知识要点和操作技能；在“相关知识”中，主要介绍了技能操作所必需的理论知识；在“技能训练”中，主要介绍了相关焊接与切割方法的安全常识、技能操作要点和操作方法；在“项目（或任务）小结”中，主要总结了所学项目或任务的知识要点。另外，有的项目还包含有“知识拓展”，在“知识拓展”中主要介绍了较前沿的或较特殊的焊接技术。

本书从高等教育的实际出发，注重实践性、启发性，做到概念清晰，重点突出，对基础理论部分，以够用为原则，深入浅出，以强化应用为重点，注重实践技能训练，充分体现了职业教育的特点。

本书充分考虑学生的学习态度和认知习惯，从企业生产实际出发，注重理论与实践相结合，用理论指导实践，通过实践技能的提高，来强化对理论知识的理解和记忆，并充分体现了“基于工作过程”的现代教育教学理念。本教材按总课时 180~240 学时编写，在实际教学中，教师可适当增减。“焊接方法与实作”实践性比较强，要求授课教师根据不同教学内容和特点进行现场教学，教学环境可设在专业实训室、理实一体化教室、企业生产车间等，尽量采用“教、学、做”一体的教学模式。

本书由张发担任主编，绪论、项目一、项目三和项目四由张发编写并负责全书的统稿和定稿，项目二由郭玉利编写，项目五、项目六由郝保强编写。本书在编写过程中，得到了山东奥太电气有限公司张光先及技术研发人员的

焊接方法与实作

大力支持，还参考了许多文献资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，编写中难免有欠妥之处，恳请使用本书的广大师生与读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

绪 论	1
任务描述	1
相关知识	1
综合练习	5
项目一 焊接电弧基础知识	7
项目描述	7
相关知识	7
项目小结	43
综合训练	44
项目二 热切割方法	46
任务一 气割	46
任务描述	46
相关知识	47
技能训练	64
任务小结	67
知识拓展	67
任务二 碳弧气刨	68

焊接方法与实务

任务描述	68
相关知识	68
技能训练	73
任务小结	75
知识拓展	75
任务三 等离子弧切割	76
任务描述	76
相关知识	77
技能训练	86
任务小结	86
知识拓展	87
综合训练	92
项目三 焊条电弧焊	94
项目描述	94
相关知识	95
技能训练	103
项目小结	108
知识拓展	109
综合训练	110
项目四 埋弧焊	112
项目描述	112
相关知识	113
技能训练	145
项目小结	154
知识拓展	154
综合训练	161
项目五 熔化极气体保护焊	164
任务一 CO₂ 气体保护焊	164

任务描述	164
相关知识	165
技能训练	190
任务小结	193
任务二 熔化极惰性气体保护焊	194
任务描述	194
相关知识	194
技能训练	204
任务小结	206
任务三 熔化极活性混合气体保护焊	206
任务描述	206
相关知识	207
技能训练	211
任务小结	211
知识拓展	211
综合训练	220
 项目六 钨极惰性气体保护焊	 224
项目描述	224
相关知识	224
技能训练	246
项目小结	253
知识拓展	254
综合训练	255
 参考文献	 258



绪 论

任务描述

本任务通过对焊接的定义、本质、特点的分析及对焊接方法种类的学习,使学生了解焊接技术在各行各业的应用状况及其重要性,从而树立学习焊接技术的荣誉感和自豪感。同时,本任务还对本课程的内容和学习方法给予了说明。

相关知识

1. 焊接的本质、特点及在现代工业中的应用

(1) 焊接及其本质

焊接是指通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使部件结合的一种方法。被结合的部件可以是同类或不同类的金属、非金属(石墨、陶瓷、塑料等),也可以是金属与非金属。工业中应用最广泛的还是金属之间的结合,因此本书主要介绍金属的焊接。

固体之所以能保持固定的形状是因为其内部原子的间距(晶格距离)十分小,原子之间形成了牢固的结合力。要把两个分离的金属工件连接在一起,从本质上就要使这两个工件表面上的原子接近到金属晶格距离(即 $0.3 \sim 0.5 \text{ nm}$)。然而,材料表面总是凹凸不平的,即使经过精密磨削加工,其表面的平面度仍比晶格距离大得多(约几十微米);另外,金属表面总是存在着氧化膜和其他污物,阻碍着两分离工件表面原子的接近。因此,焊接过程的本质就是通过适当的物理化学过程克服以上两个困难,使两个分离工件表面接近到原子晶格距离,从而形成结合力。这些物理化学过程,归结起来不外乎是用各种方法进行加热和加压。

(2) 焊接的特点

在工业生产中,部件连接的方法主要有螺钉连接、铆接、粘接和焊接,前三种都是机械连接,是可拆卸的;而焊接则是不可拆卸的连接,具有节省材料、减轻结构重量、密封性好、工艺过程简单、产品质量高等优点。同时由于焊接过程易实现机械化和自动化,所以发展非常迅速,已成为大型金属结构制造中必不可少的加工手段。与其他连接方法相比,焊接主要

具有下列优点：

① 与铆接相比，焊接可以节省金属材料，减轻结构的重量；与粘接相比，焊接具有较高的强度，焊接接头的承载能力可以达到与母材相当的水平。

② 焊接工艺过程比较简单，生产率高。焊接既不像铸造那样需要进行制作木型、造砂型、熔炼、浇铸等一系列工序，也不像铆接那样要开孔、制造铆钉、加热等，因而缩短了生产周期。

③ 焊接质量高。焊接接头不仅强度高，而且其他性能（物理性能、耐热性能、耐蚀性能及密封性）也都能够与工件材料相匹配。

④ 焊接生产的劳动条件比铆接好，劳动强度小，噪声低。

（3）焊接在现代工业中的应用

焊接技术由于以上的优点，故在机械制造、石油化工、交通能源、冶金、电子、航空航天等行业中都得到了广泛的应用。如锅炉、船舶、桥梁、建筑、管道、车辆、起重机、海洋结构、冶金设备制造；重型机械和冶金设备中的机架、底座、箱体、轴、齿轮等机器零件（或毛坯）制造；铸、锻件的缺陷和局部损坏的修补等。

在锅炉压力容器、船体和桥式起重机制造中，焊接已全部取代了铆接。在工业发达国家，焊接结构所用钢材约占钢材总产量的 50% 以上，特别是焊接技术发展到今天，几乎所有部门（如机械制造、石油化工、交通能源、冶金、电子、航空航天等）都离不开焊接技术。因此可以这样说，焊接技术的发展水平是衡量一个国家科学技术进步程度的重要标志之一，没有现代焊接技术的发展，就不会有现代工业和科学技术的今天。

工业生产的发展对焊接技术提出了多种多样的要求，如在焊接产品的使用方面，提出了动载、强韧、高压、高温、低温和耐蚀等多项要求；从焊接产品结构形式上，提出了焊接厚壁零件到精密零件的要求；从焊接材料的选择上，提出了焊接各种钢铁材料和非铁金属（除钢铁之外的其他金属称为非铁金属）的要求。具体地说，在造船和海洋开发中，要求解决大面积拼板、大型立体框架结构的自动焊以及各种低合金高强度钢的焊接问题；在石油化学工业的发展中，要求解决耐高温、低温以及耐各种腐蚀性介质的压力容器制造问题；在航空工业及空间开发中，要求解决大量铝、钛等轻合金结构的制造问题；在重型机械工业中，要求解决大截面构件的焊接问题；在电子及精密仪表工业中，则要求解决微型精密零件的焊接问题。总之，一方面工业生产的发展对焊接技术提出了更高要求；另一方面科学技术的发展又为焊接技术的进步开拓了新的途径。为适应我国现代化建设的需要，焊接技术必将得到更迅速的发展，并在工业生产中发挥更重要的作用。

2. 焊接方法的分类

(1) 焊接方法的分类

目前,在工业生产中应用的焊接方法已达百余种。根据焊接过程特点可将焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三大类,每大类又可按不同的方法细分为若干小类,如图0-1所示。

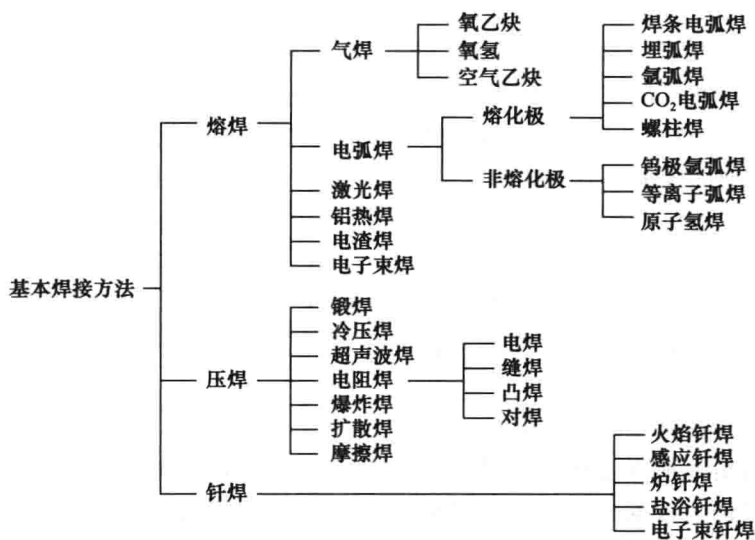


图0-1 焊接方法的分类

① 熔焊。将待焊处的母材金属熔化以形成焊缝的焊接方法称为熔焊。实现熔焊的关键是要有一个能量集中、温度足够高的局部热源。若温度不够高,则无法使材料熔化;而能量集中程度不够,则会加大热作用区的范围,徒然增加能量损耗。按所使用热源的不同,熔焊可分为电弧焊(以气体导电时产生的电弧热为热源,以电极是否熔化为特征分为熔化极电弧焊和非熔化极电弧焊两大类)、气焊(以乙炔或其他可燃气体在氧中燃烧的火焰为热源)、铝热焊(以铝热剂的放热反应产生的热为热源)、电渣焊(以熔渣导电时产生的电阻热为热源)、电子束焊(以高速运动的电子流撞击工件表面所产生的热为热源)、激光焊(以激光束照射到工件表面而产生的热为热源)等若干种。

在熔焊时,为了避免焊接区的高温金属与空气相互作用而使接头性能恶化,在焊接区要实施保护。保护的方法通常有造渣、通保护气和抽真空三种。因此,保护形式常常是区分熔焊方法的另一个特征。

② 压焊。在焊接过程中,必须对待焊金属施加压力(加热或不加热)才

能完成焊接的方法,称为压焊。为了降低加压时材料的变形抗力、增加材料的塑性,压焊时在加压的同时常伴随加热措施。

按所施加焊接能量的不同,压焊的基本方法可分为:电阻焊(包括点焊、缝焊、凸焊、对焊)、摩擦焊、超声波焊、扩散焊、冷压焊、爆炸焊和锻焊等。

③ 钎焊。采用比母材熔点低的金属材料作钎料,将焊件和钎料加热到高于钎料熔点低于母材熔点的温度,利用液态钎料润湿母材,填充接头间隙,并与母材互相扩散实现连接焊件的方法,称为钎焊。钎焊时,通常要仔细清除工件表面污物,增加钎料的润湿性,这就需要采用钎剂。

钎焊时必须加热熔化钎料(但工件不熔化)。按热源的不同,钎焊可分为火焰钎焊、感应钎焊(以高频感应电流流过工件产生的电阻热为热源)、炉钎焊(以电阻炉辐射热为热源)、盐浴钎焊(以高温盐熔液为热源)和电子束钎焊等,也可按钎料的熔点不同分为硬钎焊(熔点 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上)和软钎焊(熔点 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下)两类。钎焊时通常要进行保护,如抽真空、通保护气和使用钎剂等。

(2) 焊接方法的发展概况

焊接是一种古老而又年轻的加工方法,远在我国古代就有使用锻焊和钎焊的实例。根据文献记载,春秋战国时期,人们就已经懂得以黄泥做助熔剂,用加热锻打的方法把两块金属连接在一起。到公元7世纪唐代时,已应用锡焊和银焊来焊接了,这比欧洲国家要早10个世纪。然而,目前工业生产中广泛应用的焊接方法却是19世纪末20世纪初现代科学技术发展的产物。

随着冶金学、金属学以及电工学的发展,逐步奠定了焊接工艺及设备的理论基础;而冶金工业、电力工业和电子工业的进步,则为焊接技术的长远发展提供了有利的物质和技术条件。1885年,人们发现了气体放电的电弧,1930年发明了涂药焊条电弧焊方法,并在此基础上发明了埋弧焊、钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊以及 CO_2 气体保护焊等自动或半自动焊接方法。电阻焊则是在1886年发明的,此后逐渐完善为电阻点焊、缝焊和对焊,它几乎与电弧焊同时推向工业应用,逐步取代铆接,成为工业中广泛应用的两种主要焊接方法。到目前为止,又相继发明了电子束焊、激光焊等20余种基本方法和成百种派生方法,并且仍处于发展之中。

3. 本课程的内容和学习方法

(1) 本课程的内容

在图0-1列出的焊接方法中,应用最为广泛的是熔化焊,因此本课程主要

以各类常用熔化焊（电弧焊）焊接与热切割方法的相关知识和操作技能为中心内容。

主要讲述：

- ① 各类焊接方法的焊接工艺过程、特点及其适用范围。
- ② 常用焊接方法工艺参数的选择、工艺措施、操作方法和要领。
- ③ 常用焊接设备的结构、原理及安装、使用与维护方法。

(2) 本课程的学习要求

① 掌握各种焊接方法，尤其是常见电弧焊的焊接工艺过程、实质、特点和应用范围，熟悉影响焊接质量的因素及质量保证措施。

② 了解常用典型电弧焊设备的结构组成、性能特点和应用范围，能根据实际工作要求正确选择、安装调试、操作使用和维护保养焊接设备；能熟练掌握常见焊接方法如焊条电弧焊、 CO_2 气体保护焊、埋弧焊、气焊等的实际操作方法和操作要点。

③ 能根据实际的生产条件和具体的焊接结构及其技术要求，正确选择焊接方法及其工艺参数与工艺措施。

④ 能分析焊接过程中常见工艺缺陷的产生原因，并提出解决问题的方法。

概括地说，就是通过对本课程的学习，掌握主要焊接方法的原理、焊接质量的控制、常用设备的使用维护及基本操作技能这几个方面的有关知识，以达到正确应用的目的。

(3) 对本课程学习方法的建议

“焊接方法与实作”课程是以电工与电子基础、机械设计基础、金属材料与热处理等课程为基础，故在学习本课程之前，应先修完上述课程，并完成专业认知实习。

本课程专业实践性非常强，因此学习本课程时应采用“教、学、做”一体化教学的方法，将教学场所设在专业实训室、理实一体化教室、企业生产车间进行，特别要注重理论指导实际技能训练，在实际技能训练中强化理论学习，培养学生分析及解决问题的能力。学会分析工艺现象、研究工艺问题，掌握设备的使用维护知识，要特别重视实训和操作环节，以得到更好的学习效果。

综合练习

一、填空题

1. 与铆接相比，焊接可以_____；与粘接相比，焊接具有_____的强度。
2. 根据焊接方法的_____可将其分为_____、_____和_____



三大类。

二、简答题

1. 什么是焊接？实现焊接的适当的物理化学过程是什么？
2. 与其他连接方法相比焊接的优越性是什么？
3. 焊接方法怎样分类？熔焊、压焊、钎焊各有什么特点？
4. 熔焊时，为什么要实施保护？常用的保护方法有哪些？

项目一

焊接电弧基础知识

项目描述

本书所涉及的几种最常用的焊接方法和热切割方法主要是以焊接电弧做热源的，因此必须深入了解焊接电弧的物理本质和各种特性，了解在电弧热作用下焊丝的熔化与熔滴过渡的特点，了解在电弧热作用下母材熔化与焊缝成形之间的关系。只有充分了解了焊接电弧的物理基础、导电特性、工艺特性及焊丝的加热和熔化特性、熔滴上的作用力、熔滴过渡的主要形式和特点，才能更好地分析焊缝形状与焊缝质量的关系、焊接工艺参数对焊缝成形的影响及焊接过程中常见工艺缺陷的产生原因，并提出解决问题的方法。

电弧能够有效而简便地通过弧焊电源把电能转换成热能和机械能来实现工件的焊接和切割，因此，学好焊接电弧基础知识是学好各种电弧焊与热切割技术的基础和保证。

相关知识

一、焊接电弧

1. 焊接电弧的物理基础

电弧是带电粒子通过两电极气体空间的一种导电现象，是一种气体放电现象，如图 1-1 所示。这种气体放电形式可将电能转换为热能、机械能和光能，焊接时主要是利用热能和机械能。

(1) 电弧放电的条件

正常状态下的气体是由中性分子或原子组成的，不含带电粒子，所以不导电。两电极间气体导电必须具备两个条件：一是产生带电粒子；二是两电极间有电场。电弧放电的特点是电流密度大、阴极压降低、温度高、发光度强等。

(2) 电弧中带电粒子的产生

电弧中的带电粒子主要由两电极间的气体电离和阴极发射电子两个物理过程所产生，同时伴随着解离、激励、扩散、复合及负离子的产生等过程。

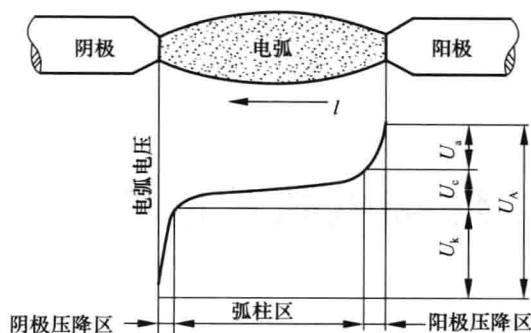


图 1-1 电弧及各区域的电场强度分布示意图

1) 气体的电离

① 电离与激励。在外加能量作用下，中性气体分子或原子分离成正离子和电子的过程称为电离。气体电离的实质是中性的分子或原子在获得足够的外部能量后使电子脱离原子核的束缚而成为自由电子和正离子的过程。中性气体粒子失去第一个电子所需要的最低外加能量称为第一电离能，通常以电子伏（eV）为单位，若以伏表示则称为电离电压。这一电离过程称为一次电离。中性气体粒子失去第二个电子所需外加最小能量称为第二电离能（这一过程称为二次电离）。依此类推。

一电子伏（eV）就是一个电子通过 1 V 电位差空间所取得的能量，其数值为 1.6×10^{-19} J。常用以电子伏为单位的电离能转换为电离电压（单位为伏）来表示气体电离的难易，普通焊接电弧中气体的电离主要是一次电离。电弧中常见气体的电离电压见表 1-1。

表 1-1 常见气体粒子的电离电压

V

气体粒子	电离电压	气体粒子	电离电压
H	13.5	Ca	6.1 (12, 51, 67)
He	24.5 (54.2)	Ni	6 (18)
Li	5.4 (75.3, 122)	Cr	7.7 (20, 30)
C	11.3 (24.4, 48, 65.4)	Mo	7.4
N	14.5 (29.5, 47, 73, 97)	Cs	3.9 (33, 357, 51, 58)
O	13.5 (35, 55, 77)	Fe	7.9 (16, 30)
F	17.4 (35, 63, 87, 114)	W	8.0
Na	5.1 (47, 50, 72)	H ₂	15.4
Cl	13 (22.5, 40, 47, 68)	C ₂	12
Ar	15.7 (28, 41)	N ₂	15.5
K	4.3 (32, 47)	O ₂	12.2

续表

气体粒子	电离电压	气体粒子	电离电压
Cl ₂	13	NO ₂	11
CO	14.1	Al	5.96
NO	9.5	Mg	7.61
OH	13.8	Ti	6.81
H ₂ O	12.6	Cu	7.68
CO ₂	13.7		

气体电离电压表示电子脱离原子或分子所需要外加能量的大小,也表示气体产生带电粒子的难易程度。在相同外加能量条件下,电离电压低的气体产生带电粒子较容易,有利于电弧稳定。但电离电压的高低只是影响电弧稳定的因素之一,而不是唯一因素,气体的其他性能(如解离性能、热物理性能等)也会影响电弧空间的能量状态及带电粒子的产生和移动过程等。

在外加能量作用下,电弧空间同时存在几种不同电离电压的气体时,电离电压低的气体粒子将先电离,如气体供应充分,电弧空间的带电粒子将主要由此气体的电离来提供,所需外加能量也主要取决于这种气体的电离电压,使电弧导电所需要的外加能量也较低。因此,为提高焊接电弧稳定性,常在焊条药皮中加入低电离电压的物质作为稳弧剂。

外加能量还不足以使电子完全脱离气体原子或分子,只是使电子从较低的能级跃迁到较高的能级,使粒子内部的稳定状态被破坏,这种现象称为激励。中性粒子产生激励所需的最低外加能量称为最低激励电压(以伏表示)。激励电压低于该元素的电离电压。

激励状态的粒子由于电子尚未脱离,故对外界仍呈中性,但激励状态的粒子处于一种非稳定状态,存在时间非常短暂。若继续接受外来能量即产生电离;或将能量以辐射能的形式释放出去,而使粒子恢复到原来的稳定状态。因此,气体粒子的激励虽然不能直接产生带电粒子,但与电离过程和电弧特性有着密切关系。

② 电离种类。电弧中气体粒子的电离因外加能量种类的不同可分为三类:

a. 热电离。气体粒子受热的作用相互碰撞而产生的电离称为热电离。气体温度越高,气体粒子的平均运动速度也越快,动能越大。当温度一定时,气体粒子质量越小其运动速度也越快。由于粒子的热运动是无规则的,故它们将发生频繁的碰撞,若粒子的运动速度足够高,粒子之间将发生非弹性碰撞,引起中性气体粒子的激励或电离。因此,热电离的实质是由于温度升高使气体粒子热运动加剧,通过碰撞而产生带电粒子的一种电离过程。

电弧中不仅有常态的中性气体粒子,也有电子、正离子和处于激励状