

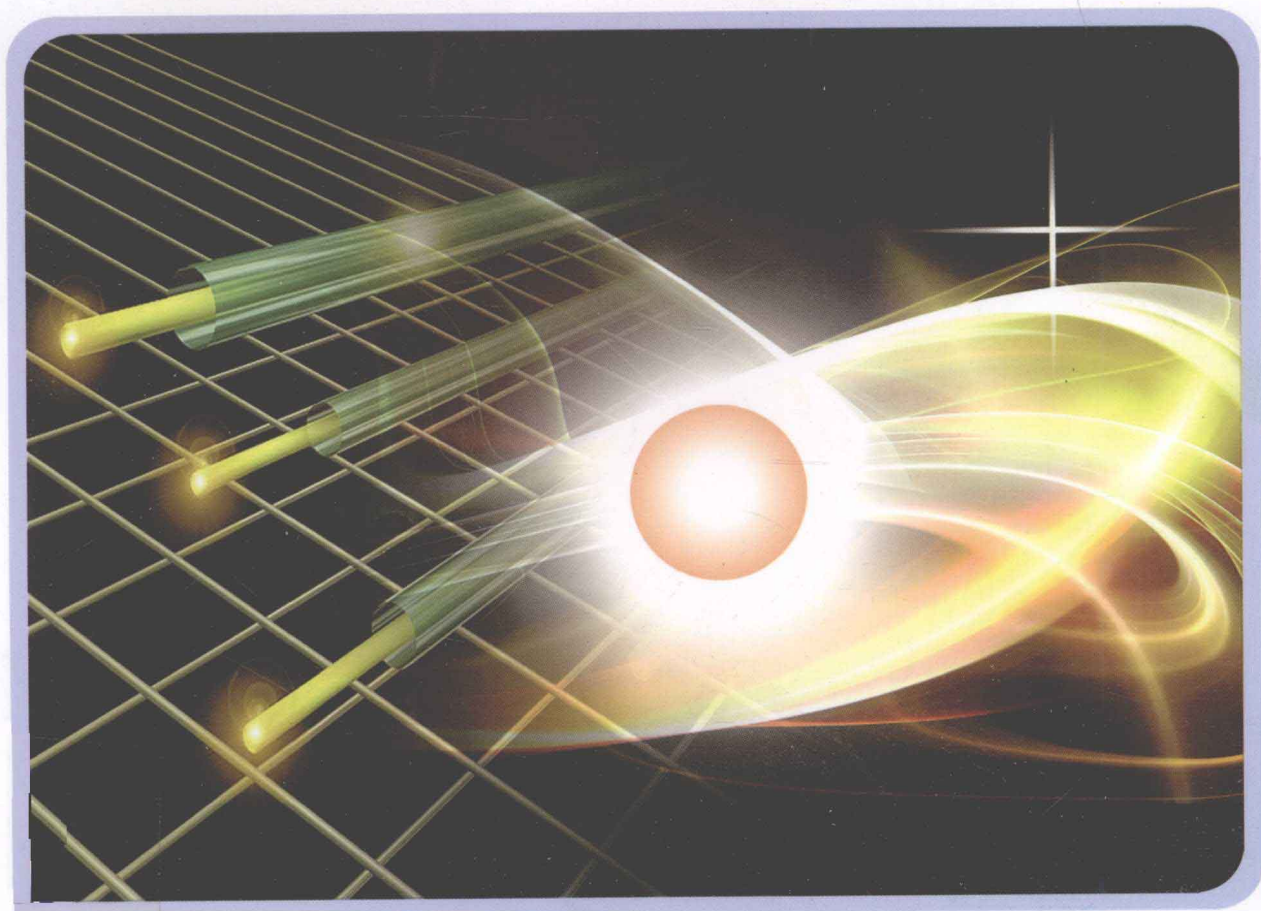


职业教育特色精品课程规划教材
职业教育课程改革项目研究成果

熔焊方法与工艺

ronghan fangfa yu gongyi

◆ 主编 郝建军 马跃进



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容提要

本书根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,并结合教学实践、职业技能鉴定的需求和焊接技术的发展状况编写而成,是职业教育焊接专业课程改革项目研究成果《21 世纪职业教育特色精品课程规划教材》之一。全书共 8 章,主要包括:焊接基础知识、焊条电弧焊、气焊气割与碳弧气刨、埋弧焊、熔化极气体保护电弧焊、钨极惰性气体保护焊、等离子弧焊接与切割及电渣焊、螺柱焊、高能束焊接等焊接方法与工艺。

本书可供职业技术学校、职业培训学校、高职高专院校及成人高校的焊接技术、机械制造、材料加工等专业及热加工工种的师生使用,也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员的参考资料。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

熔焊方法与工艺 / 郝建军, 马跃进主编. — 北京: 北京理工大学出版社, 2010. 8
ISBN 978 - 7 - 5640 - 3795 - 6

I. ①熔… II. ①郝… ②马… III. ①熔焊 - 焊接工艺 IV. ①TG442

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 176227 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 20.25

字 数 / 430 千字

版 次 / 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 35.00 元

责任校对 / 张沁萍

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

二十一世纪中等职业教育焊接专业精品课程规划教材

职业教育课程改革项目研究成果

编 委 会

主 任：郝建军

委 员：（按姓氏笔画排序）

弋景刚 马跃进 王泽河 孙维连

李建昌 赵建国 彭海滨 霍利民

本书主编：郝建军 马跃进

本书副主编：郝建国 孙有亮

本书参编：（按姓氏笔画排序）

马璐萍 申玉增 刘小平 刘洪杰

李帅伦 杨淑华 和 力 赵建国

本书主审：弋景刚 彭海滨

出版说明

CHU BAN SHUO MING

职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育。目前,职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于发展职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社根据职业教育课程改革项目研究成果,组织编写了《21世纪职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入。

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有职业教育教材内容上的“重理论轻实践”“重原理轻案例”、教学方法上的“重传授轻参与”“重课堂轻现场”、考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”“重终结性的考试轻形成性的考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式，注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学，吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时，为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际，注重对新知识、新工艺、新方法、新标准的引入，在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上，力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想，在本系列教材的内容编写上，我们坚持以下一些原则。

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上，根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性，以相关行业和区域经济状况为依托，特别强调面向岗位群体的指向性，淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势，保证学生的岗位适应能力得到训练，使其有较强的择业能力，从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时，注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容，但随着社会发展和科技进步，及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”，“人有我精”或“众有我新”，科学预测人才需求远景和人才培养的周期性，以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向，参考发达地区的发展历程，力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快，科技迅猛发展引起技术手段不断更新，用人机制的改革使人才转岗频繁，因此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽，当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一

些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基础理论、基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一线教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;各类职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展做出贡献。

北京理工大学出版社

编写说明

BIAN XIE SHUO MING

本套教材根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲，以中（高）等职业教育焊接专业培养目标为基础，结合职业技能鉴定需求和焊接专业特点编写而成。全套教材包括《熔焊方法与工艺》《焊接电工电子技术》《焊接工程制图与 CAD》《焊接结构与制造》《焊接检测技术》《熔焊基础与金属材料焊接》《工程材料与热加工基础》《机械工程基础（焊接专业）》《焊接安全与卫生》《金工实习（焊接专业）》《材料连接与切割技术》《电弧焊工艺与实训》《钳工与冷作工艺与实训》《钣金连接技术》等。

在教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则。

（1）坚持中高级技能人才的培养方向，从职业（岗位）需求分析入手，强调实用性，使学生掌握一定理论知识，培养学生分析问题、解决问题的能力。并引导学生理论联系实际，提高学生操作技能水平。

（2）紧密结合职业教育的教学实际情况，化繁为简，化难为易，全书以国家职业资格标准为依据，力求使教材内容在覆盖职业技能鉴定的各项要求的基础上拓展外延，以满足不同层次的各级各类学校和工矿企业的需求。

（3）突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法、新材料等方面的内容，较全面地反映焊接技术发展趋势。

（4）打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，强调培养学生自主学习能力。

本套教材是基于编者多年的教学实践积淀而成。编写时，取材力求少而精，突出实用性，内容紧密结合工程实践。本套教程可供职业技术学校、职业培训学校、高职高专院校及成人高校的焊接技术、机械制造、材料加工等专业及热加工工种的师生使用，也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员的参考资料。

本套教程在编写过程中得到了保定市焊接学会（培训中心）、河北农业大学机电工程学院及河北省焊接学会、河北省职工焊割技术协会的大力支持，在此表示感谢。同时，对本书编写中所参阅的书籍和资料作者（编者）表示感谢。

衷心希望本套教材能使业内读者受益，成为各级各类学校焊接专业师生和广大焊接工作者的良师益友。由于编写时间仓促，加之编者水平有限，书中难免有不足和错误，恳请广大读者不吝赐教，予以斧正。

本书共分八章，由河北农业大学郝建军、马跃进任主编，保定市焊接学会郝建国、河北建筑工程学院孙有亮任副主编，河北农业大学马璐萍、申玉增、刘洪杰、赵建国，中国地质大学长城学院杨淑华，保定技师学院刘小平，河北省科技工程学校李帅伦、和力参编，全书由河北农业大学弋景刚、彭海滨审稿。

二十一世纪职业教育焊接专业精品课程规划教材 编委会

绪 论

在工业生产中采用的连接方法，主要分为可拆连接和不可拆连接两大类。可拆连接（如螺钉、键、销钉等连接方式）通常用于零件的装配和定位，而不用于制造金属结构。不可拆连接（如铆接、焊接和粘接等）通常用于金属结构或零件的制造中。其中铆接应用较早，但它工序复杂、结构笨重、材料消耗也较大，因此，现代工业中已逐步被焊接所取代。粘接虽然工艺简单，但受胶黏剂的影响，其接头强度一般较低且耐高温性能较差，因而其应用范围受到限制。焊接不但易于保证焊接结构的强度要求，而且相对来说工艺简单，加工成本低廉，所以在锅炉与压力容器、船舶、工程机械、航空航天、电力、石油化工、建筑、电子、海洋开发等工业部门中的金属结构件连接中得到广泛的应用。

1. 焊接的定义

焊接是通过加热或加压或两者兼用，使用或不使用填充材料，使两个分离的物体产生原子间结合，使之连接成一体的连接方法。在焊接工艺上通常采取以下两种措施。

（1）对被焊金属施加压力，破坏接触面的氧化膜，使连接处产生局部塑性变形，增加有效接触面积，从而使之紧密接触。

（2）对被焊金属加热，使连接处达到塑性或熔化状态，使接触面的氧化膜迅速破坏，降低金属变形的阻力，增加原子的振动能，促进扩散、再结晶的化学反应和结晶过程的发展。

2. 焊接的特点

焊接作为一种永久性的连接方法，具有铸造、锻压、铆接等工艺方法不可比拟的优点。

（1）连接性能好。焊接可以方便地将板材、型材或铸锻件根据需要进行组合连接，还可以将不同形状及尺寸甚至不同材质的材料（异种材料）连接起来，因而对于制造大型、特大型结构有重要意义。同时，还能降低结构重量、节约材料、优化资源等。据统计，焊接结构比铆接结构重量可减轻 15% ~ 20%，比铸件轻 30% ~ 40%，比锻件轻 30%。

(2) 焊缝质量好。通过选择合理的焊接方法和焊接材料,焊缝质量可以达到甚至超过母材。同时,焊接结构刚度大、整体性好,具有良好的致密性,特别适合制造高强度、大刚度的中空结构,如压力容器、管道、锅炉等。

(3) 利用焊接进行加工时,可将结构复杂的大型构件分解为许多小型零部件分别加工,然后再将这些零部件焊接起来,从而简化了金属结构的加工与装配工序,缩短了加工周期、提高了生产效率。另外,用拼焊的方法可以大大突破铸锻能力的限制,可以生产特大型锻-焊、铸-焊结构,提供特大、特重型设备、毛坯。

(4) 焊接方法多样,选择灵活。随着焊接技术的飞速发展,焊接的工艺方法已达50余种,对于不同的钢结构产品,不同的母材材质、厚度,不同的接头形式,不同的工艺要求,都可以采用相对应的成熟的焊接工艺方法,以取得较高的焊接质量。

(5) 容易实现自动化。由于焊接参数的电信号容易控制,所以比较容易实现焊接自动化。如计算机、微电子、数字控制、信息处理、工业机器人、激光技术等,已经被广泛地应用于焊接领域。

当然,焊接也存在一些不足之处。例如,焊接时易产生焊接应力,而削弱焊接结构的承载能力;易产生焊接变形,影响焊接结构的尺寸和精度;因工艺或操作不当,会产生多种焊接缺陷,降低焊接结构的安全性能;焊接过程中产生高温、强光及一些有毒气体,对人体有一定的损害。但是,在生产中通过优化焊接接头设计、合理选材和施工以及严格管理等,可以克服上述不足之处。

3. 焊接方法分类

焊接方法很多,按其过程特点不同,可分为熔焊、压焊和钎焊三大类,如图0-1所示。

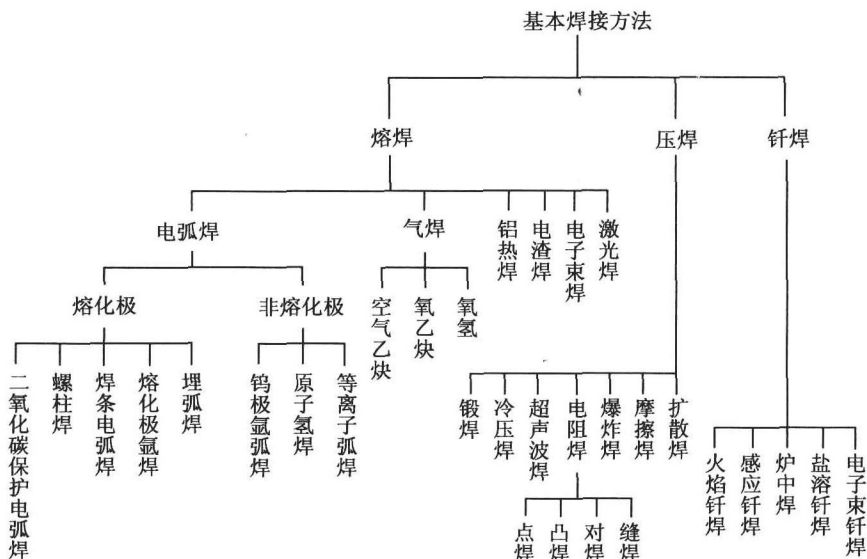


图0-1 主要焊接方法分类（族系法）

4. 常用熔焊方法

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，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焊件表面所产生的热为热源）、激光焊（以激光束照射到焊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导致焊接接头性能恶化，通常在焊接区采用造渣、通以保护气或抽真空等方式实施保护。

(1) 焊条电弧焊。焊条电弧焊是各种电弧焊方法中发展最早、目前仍然应用最广的一种焊接方法。它是以焊条作电极和填充金属，电弧是在焊条的端部和被焊工件表面燃烧。焊条药皮在电弧热作用下一方面可以产生气体以保护电弧，另一方面可以产生熔渣覆盖在熔池表面，防止熔化金属与周围气体的相互作用。熔渣更重要的作用是与熔化金属产生物理化学反应或添加合金元素，改善焊缝金属性能。

焊条电弧焊设备简单、轻便，操作灵活。可以应用于维修及装配中短缝的焊接，特别是可以用于难以达到的部位的焊接。焊条电弧焊配用相应的焊条可适用于大多数工业用碳钢、不锈钢、铸铁、铜、铝、镍及其合金的焊接。

(2) 气焊。气焊是用气体火焰为热源的一种焊接方法。应用最多的是以乙炔气作燃料的氧乙炔火焰。具有设备简单，操作方便的特点，但气焊加热温度，速度及生产率较低，热影响区较大，且容易引起较大的变形。气焊可用于很多黑色金属、有色金属及合金的焊接。一般适用于维修及单件薄板焊接。

(3) 埋弧焊。埋弧焊是以连续送进的焊丝作为电极和填充金属。焊接时，在焊接区的上面覆盖一层颗粒状焊剂，电弧在焊剂层下燃烧，将焊丝端部和局部母材熔化，形成焊缝。

在电弧热的作用下，一部分焊剂熔化成熔渣并与液态金属发生冶金反应。熔渣浮在金属熔池的表面，一方面可以保护焊缝金属，防止空气的污染，并与熔化金属产生物理化学反应，改善焊缝金属的成分及性能；另一方面还可以使焊缝金属缓慢冷却。

埋弧焊可以采用较大的焊接电流。与焊条电弧焊相比，其最大的优点是焊缝质量好、焊接速度高。因此，它特别适合于焊接大型工件的直缝和环缝，而且多数采用机械化焊接。

(4) 气体保护电弧焊。

①不熔化极气体保护电弧焊。生产中最常用的不熔化极气体保护电弧焊是钨极气体保护电弧焊，它是利用钨极和工件之间的电弧使金属熔化而形成焊缝的，一般通称

为 TIG 焊。焊接过程中钨极不熔化，只起电极的作用。同时由焊炬的喷嘴送进氩气、氮气等作保护。焊接时，可根据需要另外添加填充金属。

钨极气体保护电弧焊由于能很好地控制热输入，所以它是连接薄板金属和打底焊的一种极好的方法。焊接电流采用脉冲形式可以更好地控制熔深、改善熔池凝固特点，因此常常用来进行管道底层的焊接以达到单面焊双面成型的目的。

钨极气体保护电弧焊几乎可以用于所有金属的连接，尤其适用于焊接铝、镁这些能形成难熔氧化物的金属以及钛、锆等活泼金属。这种焊接方法的焊缝质量高，但与其他电弧焊相比，其焊接速度较慢。

②熔化极气体保护电弧焊。熔化极气体保护电弧焊是利用连续送进的焊丝与工件之间燃烧的电弧作热源，由焊炬喷嘴喷出的气体来保护电弧进行焊接的。通常用的保护气体有氩气、氮气、二氧化碳、氧气或这些气体的混合气。以氩气或氮气作为保护气时称为熔化极惰性气体保护电弧焊（简称为 MIG 焊）；以惰性气体与氧化性气体（ CO_2 、 O_2 ）的混合气体作为保护气时，或以 CO_2 气体或 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 的混合气为保护气时，统称为熔化极活性气体保护电弧焊（简称为 MAG 焊）。

熔化极气体保护电弧焊的主要优点是可以方便地进行各种位置的焊接，同时也具有焊接速度较快、熔敷效率高等优点。熔化极活性气体保护电弧焊可适用于大部分主要金属的焊接，包括碳钢、合金钢。熔化极惰性气体保护焊适用于不锈钢、铝、镁、铜、钛、锆及镍合金。利用这种方法还可以进行电弧点焊。

（5）等离子弧焊。等离子弧焊也是一种不熔化极气体保护电弧焊。它是利用电极和工件之间的压缩电弧实行焊接的。所用的电极通常是钨极。产生等离子弧的等离子气可用氩气、氮气、氦气或其中二者的混合气。同时还通过喷嘴用惰性气体保护。焊接时可以外加填充金属，也可以不加填充金属。

等离子弧焊焊接时，由于其电弧挺直、能量密度大，因而电弧穿透能力强。等离子弧焊焊接时可产生小孔效应，因此对于一定厚度范围内的大多数金属可以进行不开坡口对接，并能保证熔透和焊缝均匀一致。因此，等离子弧焊的生产率高、焊缝质量好。但等离子弧焊设备（包括喷嘴）比较复杂，对焊接工艺参数的控制要求较高。

（6）高能束焊。

①电子束焊。电子束焊是利用高速电子聚焦后所形成的电子束轰击工件表面时所产生的热能进行焊接的方法。常用的电子束焊有高真空电子束焊、低真空电子束焊和非真空电子束焊。前两种方法都是在真空室内进行的，焊接准备时间（主要是抽真空时间）较长，工件尺寸受真空室大小限制。

电子束焊的主要特点是焊缝熔深大、熔宽小、焊缝金属纯度高。它既可以用在很薄材料的精密焊接，又可以用在很厚的（最厚达 300 mm）构件焊接。电子束焊接主要用于要求高质量的产品的焊接或解决异种金属、易氧化金属及难熔金属的焊接。

②激光焊。激光焊是利用大功率相干单色光子流聚焦而成的激光束为热源进行的焊接。这种焊接方法通常有连续功率激光焊和脉冲功率激光焊。激光焊接已成为最有

前途的焊接方法之一，成为一种先进的制造方法，已广泛地应用于工业生产中。

③激光电弧复合焊接法。激光电弧复合焊接法是最近几年发展起来的新工艺方法，它将激光焊和电弧焊的优点综合在一起，大大提高了焊接的速度，成型和质量好，焊接变形小。国外已成功地应用于重要工业生产流水线上，如造船厂等。

复习思考题

1. 什么是焊接？焊接具有哪些特点？
2. 在焊接工艺上通常采取的措施有哪些？
3. 焊接方法是如何分类的？
4. 生产中常用的熔焊方法有哪些？
5. 熔焊时为什么要实施保护？常用的保护方法有哪些？

目 录

Contents

绪论	1
第一章 焊接基础知识	1
1.1 焊接电弧	1
1.2 焊接热过程	18
1.3 填充金属材料的熔化及熔滴过渡	24
1.4 母材熔化与焊缝成型	31
1.5 焊接接头、焊接位置和焊件坡口	40
第二章 焊条电弧焊	50
2.1 焊条电弧焊概述	50
2.2 焊条电弧焊设备及材料	52
2.3 焊条电弧焊工艺	88
2.4 焊条电弧焊的特殊方法	108
第三章 气焊气割与碳弧气刨	111
3.1 气割概述	111
3.2 气焊工艺	121
3.3 气割工艺	133
3.4 碳弧气刨	145
第四章 埋弧焊	156
4.1 埋弧焊概述	156
4.2 埋弧焊设备及材料	159
4.3 埋弧焊工艺	174
4.4 埋弧焊的其他方法	190

第五章 熔化极气体保护电弧焊	195
5.1 熔化极气体保护焊概述	195
5.2 熔化极气体保护焊设备与材料	197
5.3 MIG 焊和 MAG 焊	203
5.4 二氧化碳气体保护电弧焊	213
5.5 熔化极药芯焊丝电弧焊	230
 第六章 钨极惰性气体保护焊	 235
6.1 TIG 概述	235
6.2 TIG 焊设备与材料	243
6.3 TIG 焊工艺	247
6.4 TIG 焊的其他方法	254
 第七章 等离子弧焊接与切割	 258
7.1 等离子弧的产生及特性	258
7.2 等离子弧焊接	262
7.3 等离子弧切割	275
 第八章 其他熔焊方法	 284
8.1 电渣焊	284
8.2 螺柱焊	292
8.3 高能束焊接	298
 参考文献	 305

第1章

焊接基础知识

1.1 焊接电弧

电弧是所有电弧焊方法的能源。电弧是一种气体放电现象，它是带电粒子通过两电极之间气体空间的一种导电过程。焊接电弧是在加有一定电压的电极和工件之间产生的一种长时间而有力的气体放电现象，即在局部气体介质中有大量电子流通过的导电现象（见图1-1）。电弧焊就是利用这种焊接电弧产生的热能和机械能来熔化金属，形成焊接接头，最终达到连接金属的目的。

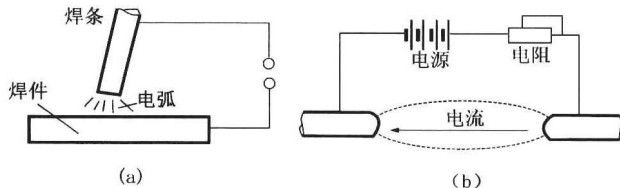


图1-1 焊接电弧示意图

1.1.1 焊接电弧的物理基础

1. 电弧的产生及其电场强度分布

通常情况下，气体的分子和原子呈中性，气体中没有带电粒子，即使在电场作用下，也不会产生气体导电现象。要使两电极之间的气体导电，必须具备以下两个条件。

- ①两电极之间有带电粒子；
- ②两电极之间有电场。

因此，如能采用一定的方法，改变两电极间气体粒子的电中性状态，使之产生带电粒子，这些带电粒子在电场的作用下运动，即形成电流，使两电极之间的气体空间

成为导体，从而产生了气体放电。

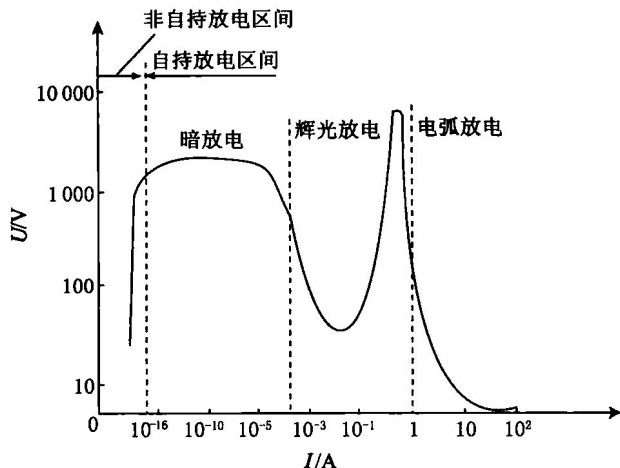


图 1-2 气体放电时的伏安特性曲线

加条件，放电过程仍能持续。根据放电电流的大小，气体放电分为暗放电、辉光放电和电弧放电三种形式。其中，电弧放电是气体放电现象中电压最低、电流最大、温度最高、发光最强的一种放电现象。借助这种特殊的放电过程，电能被转换成热能、机械能和光能。

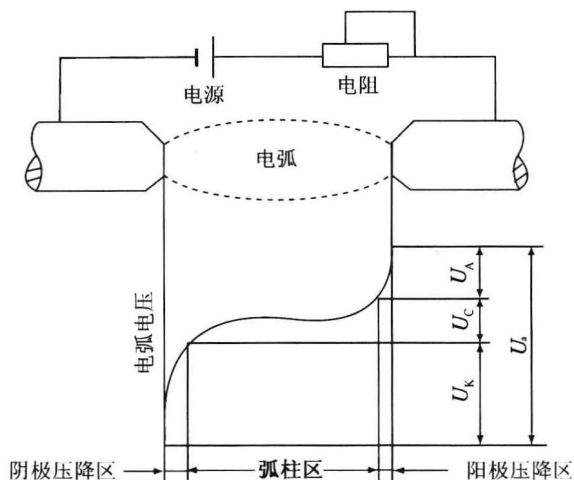


图 1-3 电弧及电场强度分布示意图

在两个电极之间产生电弧放电时，沿电弧长度方向的电场强度（电压降）分布如图 1-3 所示。由图可见，沿电弧长度方向的电场强度分布并不均匀。按电场强度分布的特点可将电弧分为三个区域：阴极区（阴极附近的区域，其电压 U_k 称为阴极电压降）、弧柱区（中间部分，其电压 U_c 称为弧柱电压降）、阳极区（阳极附近的区域，其电压 U_A 称为阳极电压降）。阳极区和阴极区占整个电弧长度的尺寸很小，约为 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ cm，故可近似认为弧柱长度即为电弧长度。电弧的这种不均匀的电场强度分布，说明电弧各区域的电阻是不同的，即电弧电阻是非线性的。

电弧作为导体不同于金属导体，金属导电是通过金属内部自由电子的定向移动形成电流，而电弧导电时，电弧气氛中的电子、正离子、负离子都参与导电，其过程要复杂得多。

气体导电时，其电流与电压之间的关系不符合欧姆定律（见图 1-2）。根据气体放电电流大小的变化，气体放电现象可分为非自持放电和自持放电。非自持放电现象发生在很小的电流区间里，气体中的带电粒子不能通过导电过程本身产生，需外加条件或直接输入带电粒子，外加条件的存在与否决定着非自持放电现象的存在与否。自持放电现象是通过一定的外加条件，制造出带电粒子，一旦放电开始，取消外加条件，放电过程仍能持续。根据放电电流的大小，气体放电分为暗放电、辉光放电和电弧放电三种形式。其中，电弧放电是气体放电现象中电压最低、电流最大、温度最高、发光最强的一种放电现象。借助这种特殊的放电过程，电能被转换成热能、机械能和光能。

在两个电极之间产生电弧放电时，沿电弧长度方向的电场强度（电压降）分布如图 1-3 所示。由图可见，沿电弧长度方向的电场强度分布并不均匀。按电场强度分布的特点可将电弧分为三个区域：阴极区（阴极附近的区域，其电压 U_k 称为阴极电压降）、弧柱区（中间部分，其电压 U_c 称为弧柱电压降）、阳极区（阳极附近的区域，其电压 U_A 称为阳极电压降）。阳极区和阴极区占整个电弧长度的尺寸很小，约为 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ cm，故可近似认为弧柱长度即为电弧长度。电弧的这种不均匀的电场强度分布，说明电弧各区域的电阻是不同的，即电弧电阻是非线性的。