全国技工院校“十二五”系列规划教材

中国机械工业教育协会推荐教材

焊接方法与设备

（任务驱动模式）

◎ 卢大勇　主编

Hanjie Fangfa Yu Shebei

配电子课件

免费下载

www.cmpedu.com

机械工业出版社

CHINA MACHINE PRESS

全国技工院校“十二五”系列规划教材

中国机械工业教育协会推荐教材

焊接方法与设备

（任务驱动模式）

主编　卢大勇

参编　王　旭　金海阔　冯菁菁

徐双钱　高照国　王　鑫

陈　英　魏爱玲　罗　楠

阜阳师范学院图书馆 藏书

机械工业出版社

本教材按照任务驱动模式，将理论知识和操作技能紧密结合，详细地介绍了焊接基础知识、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、等离子弧焊接与切割、气焊与气割、电阻焊以及其他焊接方法与技术等内容。

本教材主要供技工学校、职业技术院校的焊接专业师生使用，也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

焊接方法与设备：任务驱动模式/卢大勇主编．—北京：机械工业出版社，2013.7

全国技工院校“十二五”系列规划教材

中国机械工业教育协会推荐教材

ISBN 978-7-111-43127-5

Ⅰ.①焊… Ⅱ.①卢… Ⅲ.①焊接工艺—技工学校—教材②焊接设备—技工学校—教材 Ⅳ.①TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 146142 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：侯宪国 责任编辑：侯宪国

版式设计：霍永明 责任校对：陈 越

封面设计：张 静 责任印制：李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 22 印张 · 546 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-43127-5

定价：43.00 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

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

全国技工院校“十二五”系列规划教材
编审委员会

顾　问： 郝广发

主　任： 陈晓明　李　奇　季连海

副主任：（按姓氏笔画排序）

丁建庆　王　臣　冯跃虹　刘启中　刘亚琴　刘治伟
李长江　李京平　李俊玲　李晓庆　李晓毅　佟　伟
沈炳生　陈建文　黄　志　章振周　董　宁　景平利
曾　剑　魏　葳

委　员：（按姓氏笔画排序）

于新秋　王　军　王　珂　王小波　王占林　王良优
王志珍　王栋玉　王洪章　王惠民　方　斌　孔令刚
白　鹏　乔本新　朱　泉　许红平　汤建江　刘　军
刘大力　刘永祥　刘志怀　毕晓峰　李　华　李成飞
李成延　李志刚　李国诚　吴　岭　何丽辉　汪哲能
宋燕琴　陈光华　陈志军　张　迎　张卫军　张廷彩
张敬柱　林仕发　孟广斌　孟利华　荆宏智　姜方辉
贾维亮　袁　红　阎新波　展同军　黄　樱　黄锋章
董旭梅　谢蔚明　雷自南　鲍　伟　潘有崇　薛　军

总策划： 李俊玲　张敬柱　荆宏智

序

“十二五”期间，加速转变生产方式、调整产业结构将是我国国民经济和社会发展的重中之重。而要完成这种转变和调整，就必须有一大批高素质的技能型人才作为后盾。根据《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》的要求，至2020年，我国高技能人才占技能劳动者的比例将由2008年的24.4%上升到28%（目前一些经济发达国家的这个比例已达到40%）。可以预见，作为高技能人才培养重要组成部分的高级技工教育，在未来的10年必将会迎来一个高速发展的黄金期。近几年来，各职业院校都在积极开展高级工培养的试点工作，并取得了较好的效果。但由于起步较晚，课程体系、教学模式都还有待完善与提高，教材建设也相对滞后，至今还没有一套适合高级技工教育快速发展需要的成体系、高质量的教材。即使一些专业（工种）有高级工教材也不是很完善，或是内容陈旧、实用性不强，或是形式单一、无法突出高技能人才培养的特色，更没有形成合理的体系。因此，开发一套体系完整、特色鲜明、适合理论实践一体化教学、反映企业最新技术与工艺的高级工教材，就成为高级技工教育亟待解决的课题。

鉴于高级技工教材短缺的现状，机械工业出版社与中国机械工业教育协会从2010年10月开始，组织相关人员，采用走访、问卷调查、座谈等方式，对全国有代表性的机电行业企业、部分省市的职业院校进行了历时6个月的深入调研。对目前企业对高级工的知识、技能要求，各学校高级工教育教学现状、教学和课程改革情况以及对教材的需求等有了比较清晰的认识。在此基础上，他们紧紧依托行业优势，以为企业输送满足其岗位需求的合格人才为最终目标，组织了行业和技能教育方面的专家精心规划了教材书目，对编写内容、编写模式等进行了深入探讨，形成了本系列教材的基本编写框架。为保证教材的编写质量、编写队伍的专业性和权威性，2011年5月，他们面向全国技工院校公开征稿，共收到来自全国22个省（直辖市）的110多所学校的600多份申报材料。组织专家对作者及教材编写大纲进行了严格的评审后，决定首批启动编写机械加工制造类专业、电工电子类专业、汽车检测与维修专业、计算机技术相关专业教材以及部分公共基础课教材等，共计80余种。

本系列教材的编写指导思想明确，坚持以达到国家职业技能鉴定标准和就业能力为目标，以各专业的工作内容为主线，以工作任务为引领，由浅入深，循序渐进，精简理论，突出核心技能与实操能力，使理论与实践融为一体，充分体现“教、学、做合一”的教学思想，致力于构建符合当前教学改革方向的，以培养应用型、技术型、创新型人才为目标的教材体系。

本系列教材重点突出了如下三个特色：一是“新”字当头，即体系新、模式新、内容

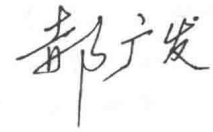
试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

新。体系新是把教材以学科体系为主转变为以专业技术体系为主；模式新是把教材传统章节模式转变为以工作过程的项目为主；内容新是教材充分反映了新材料、新工艺、新技术、新方法。二是注重科学性。教材从体系、模式到内容符合教学规律，符合国内外制造技术水平实际情况。在具体任务和实例的选取上，突出先进性、实用性和典型性，便于组织教学，以提高学生的学习效率。三是体现普适性。由于当前高级工生源既有中职毕业生，又有高中生，各自学制也不同，还要考虑到在职人群，教材内容安排上尽量照顾到了不同的求学者，适用面比较广泛。

此外，本系列教材还配备了电子教学课件，以及相应的习题集，实验、实习教程，现场操作视频等，初步实现教材的立体化。

我相信，本系列教材的出版，对深化职业技术教育改革，提高高级工培养的质量，都会起到积极的作用。在此，我谨向各位作者和所在单位及为这套教材出力的学者表示衷心的感谢。

原机械工业部教育司副司长
中国机械工业教育协会高级顾问



前言

本教材作为全国技工院校“十二五”系列规划教材之一，是根据近年来职业院校教学改革的需要，为满足理实一体化教学对教材建设的要求而编写的。本教材以《国家职业技能标准　焊工》为依据，以使学生达到国家职业技能鉴定标准和就业能力为目标，以各种焊接方法与设备为主线，贯彻“注重素质、理论够用、突出技能”的职业教育教学精神，突出核心技能与实际操作能力，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，充分体现了“教、学、做合一”的教学思想。

本教材采用任务驱动模式编写，在编写过程中按照知识目标和技能目标设计相应的任务，将理论知识和操作技能融入任务之中。每个任务均设计有任务描述、任务分析、相关知识、任务准备、任务实施、检查评议、问题防治、扩展知识和考证要点九项内容，同时根据具体情况设计穿插了“提示”“小知识卡”“师傅说现场”等小栏目。

本教材主要介绍了各种常用焊接方法的原理、特点、相应设备、工艺及操作技术的知识，并对焊接新技术、新方法作了介绍。

本教材由辽宁冶金职业技术学院卢大勇主编；本溪市化学工业学校王旭，辽宁冶金职业技术学院金海阔，渤海船舶职业学院冯菁菁、徐双钱，廊坊燕京职业技术学院罗楠、陈英、王鑫、魏爱玲，黑龙江技师学院高照国参加编写。其中，卢大勇编写了单元一、单元三和单元七，并对全书进行了统稿；王旭编写了单元二和单元八；金海阔编写了单元九；冯菁菁编写了单元五；罗楠、陈英、徐双钱编写了单元四；王鑫、魏爱玲、高照国编写了单元六。

在本教材的编写过程中，参阅了相关文献资料，充分吸收了职业院校近些年的教学改革经验。在此谨向这些参考资料的作者及所有对本教材的编写工作给予支持与帮助的同仁表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏及不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者

目 录

序

前言

单元一 焊接基础知识 …… 1

任务一 认识焊接和焊接方法 …… 1

任务二 焊条电弧焊引弧 …… 6

任务三 焊接劳动保护用品的使用和焊接工具的安全检查 …… 16

单元二 焊条电弧焊 …… 23

任务一 焊条电弧焊平敷焊操作 …… 23

任务二 弧焊电源的正确使用和故障处理 …… 38

任务三 V 形坡口平对接焊条电弧焊操作 …… 48

单元三 埋弧焊 …… 58

任务一 埋弧焊平敷焊操作 …… 58

任务二 MZ—1000 型埋弧焊机的正确使用和维护保养 …… 72

任务三 I 形坡口平对接埋弧焊操作 …… 88

单元四 熔化极气体保护焊 …… 105

任务一 认识熔化极气体保护焊 …… 105

任务二 半自动 CO_2 气体保护焊平敷焊操作 …… 110

任务三 铝合金板平对接半自动熔化极氩弧焊操作 …… 135

任务四 薄板平对接 MAG 焊操作 …… 141

任务五 观摩药芯焊丝 CO_2 气体保护焊的操作过程 …… 148

单元五　钨极惰性气体保护焊 …… 155
任务一　手工钨极氩弧焊平敷焊操作 …… 155
任务二　正确使用手工钨极氩弧焊机 …… 166
任务三　薄板平对接手工钨极氩弧焊操作 …… 181

单元六　等离子弧焊接与切割 …… 198
任务一　观摩等离子弧的形成过程 …… 198
任务二　薄板平对接微束等离子弧焊操作 …… 203
任务三　厚钢板等离子弧切割操作 …… 218

单元七　气焊与气割 …… 230
任务一　氧乙炔焰的点燃、调节和熄灭 …… 230
任务二　薄板平对接气焊操作 …… 239
任务三　厚板直线气割操作 …… 257

单元八　电阻焊 …… 270
任务一　认识电阻焊 …… 270
任务二　电阻点焊机的操作 …… 277
任务三　薄板电阻点焊操作 …… 285

单元九　其他焊接方法与技术 …… 297
任务一　认识电渣焊 …… 297
任务二　平板碳弧气刨操作 …… 306
任务三　低碳钢管火焰钎焊操作 …… 315
任务四　板材拉弧式螺柱焊操作 …… 325
任务五　了解先进焊接方法与技术 …… 334

参考文献 …… 344

单元一　焊接基础知识

1

知识目标

1. 掌握焊接的定义、焊接方法的分类和特点。
2. 了解焊接的应用和发展。
3. 掌握焊工安全生产的相关知识。

技能目标

1. 认识常用焊接方法。
2. 掌握焊条电弧焊的引弧方法。
3. 正确使用劳动保护用品，能够对使用的工具进行安全检查。

任务一　认识焊接和焊接方法

任务描述

1. 认识焊接。
2. 认识焊接方法。

任务分析

认识焊接和焊接方法，为后续各种焊接方法的学习奠定基础。

相关知识

一、焊接的本质、特点和焊接方法的分类

1. 焊接的本质和特点

在金属结构和机器制造中，经常需要将两个或两个以上的零件连接在一起。采用的连接方法分为两大类：一类是机械连接，是可拆卸的，如螺钉联接、键联接等，如图 1 - 1 所示；另一类是永久性连接，是不可拆卸的，如铆接、焊接等，如图 1 - 2 所示。

焊接就是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到结合的一种加工方法。

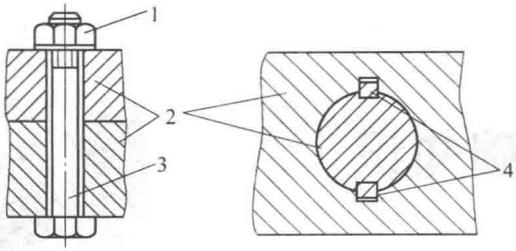


图 1-1　可拆卸连接

a）螺栓联接　b）键联接

1—螺母　2—零件　3—螺栓　4—键

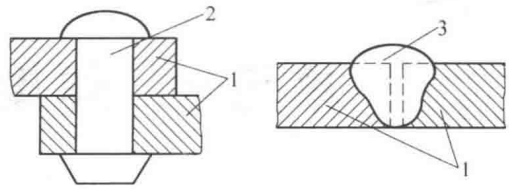


图 1-2　永久性连接

a）铆接　b）焊接

1—零件　2—铆钉　3—焊缝

焊接可以连接同类或不同类的金属、非金属（玻璃、陶瓷、塑料等），也可以连接一种金属与一种非金属。焊接与其他连接方法相比，具有下列优点：

（1）节省材料　焊接接头在连接部位没有重叠部分，也不需要附加的连接件（如铆接时需用铆钉连接），从而节省了大量的金属材料，减轻结构重量，降低生产成本。

（2）工艺过程比较简单　焊接结构生产不需钻孔，也不需要制造连接附件，从而简化了加工和装配工序，提高了劳动生产率。

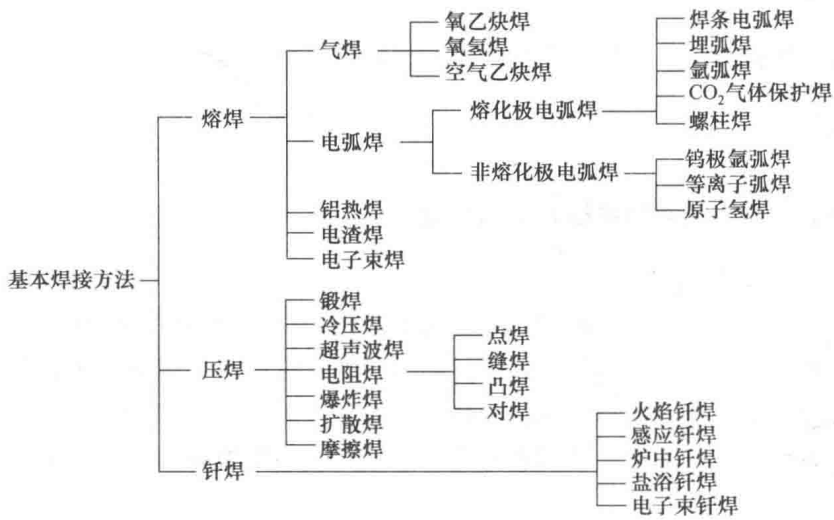
（3）接头质量好　焊接接头不仅强度高，可以获得与母材相同的力学性能，而且可以获得与母材相匹配的使用性能（如耐磨性、耐热性、耐蚀性等）。此外，焊接接头的致密性好。在压力容器和船舶制造中，焊接已成为主要的连接方法。

（4）劳动条件好　焊接时劳动强度低，噪声小。

焊接也有一些缺点，例如，焊接中会产生有害有毒物质；形成的焊缝会存在一定数量的焊接缺陷，影响焊接接头质量；产生焊接应力及焊接变形，焊接应力会降低焊接结构的承载能力和使用寿命，焊接变形会影响焊接结构的形状和尺寸精度。

2. 焊接方法的分类

由于采用的角度不同，目前国内外对焊接方法有不同的分类方式。按照各种焊接方法的基本特点，总体上焊接方法可分为熔焊、压焊和钎焊三大类，每一大类又可以分为若干小类，具体如下：



试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

（1）熔焊　在焊接过程中，将工件接头加热并熔化，不加压，然后冷却结晶，以形成焊缝的焊接方法。

按所用热源的不同，熔焊分为电弧焊（以焊接电弧为热源）、气焊（以气体火焰为热源）、铝热焊（以铝热剂的放热反应产生的热为热源）、电渣焊（以电流通过液体熔渣所产生的电阻热为热源）、电子束焊（以集中的高速电子束轰击工件表面时所产生的热为热源）等。其中，电弧焊根据电极是否熔化，又可分为熔化极电弧焊与非熔化极电弧焊。

（2）压焊　在焊接过程中，对工件在固态下加压（加热或不加热），以完成连接的焊接方法，也称为固态焊接。压焊有两种形式，一是在加压的同时伴随着加热，二是不进行加热，只对工件施加足够大的压力。

按照焊接能源的不同，压焊可分为电阻焊（包括电阻点焊、缝焊、凸焊、电阻对焊）、摩擦焊、锻焊、超声波焊、扩散焊、冷压焊和爆炸焊等。

（3）钎焊　采用熔点比母材熔点低的金属作钎料，将工件和钎料加热到高于钎料熔点并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相互扩散实现连接的焊接方法。

根据热源或加热方法的不同，钎焊可分为火焰钎焊、感应钎焊、炉中钎焊、盐浴钎焊和电子束钎焊等。按照钎料的熔点不同，钎焊又可分为硬钎焊（钎料熔点高于450℃）和软钎焊（钎料熔点低于450℃）两类。

二、焊接的发展和应用

我国是一个具有悠久焊接历史的国家，古代就有使用锻焊和钎焊的记载。然而，目前工业生产中广泛应用的焊接方法却是19世纪末和20世纪初现代科学技术发展的产物。

近代焊接技术是从1882年出现碳弧焊开始的，直到20世纪40年代初期出现优质焊条后，焊接技术才得到了一次飞跃。20世纪40年代后期，埋弧焊和电阻焊得到了成功应用。此后，电渣焊、各种气体保护焊、超声波焊、等离子弧焊、电子束焊、激光焊等焊接方法不断涌现，使焊接技术达到了一个新水平。近年来又出现了新的焊接方法，如多丝埋弧焊、窄间隙气体保护全位置焊、水下半自动 CO_2 焊、全位置脉冲等离子弧焊、搅拌摩擦焊等，尤其是焊接机器人的问世，使焊接过程自动化技术达到了一个崭新的阶段。

在工业生产中，焊接是一种重要的加工工艺。在工业发达国家，焊接结构所用钢材占钢材消耗总产量的45%左右。目前，焊接已广泛应用于机械制造、石油化工、船舶、车辆、建筑、冶炼设备、电力、电子技术、海洋开发、航空航天、核工业等部门。改革开放以来，我国焊接技术的应用与进步取得了举世瞩目的成就，焊接技术已成功地应用于许多重大工程，如大型水力、火力发电成套设备（见图1-3）、国内容积最大的高炉、跨度最大的大吨位桥式起重机、西气东输工程、北京奥运会鸟巢体育馆，以及核反应堆压力容器（见图1-4）、火箭、人造卫星（见图1-5）、太空飞船等。

随着科学技术的发展，焊接工艺在不断进步。为更好地满足工业生产的发展要求，焊接技术仍在不断发展中，发展趋势主要体现为：提高焊接生产率（如焊条电弧焊中的铁粉焊条、重力焊条和躺焊条工艺，埋弧焊中的多丝焊、热丝焊，各种窄间隙焊等）；提高焊接过程自动化、智能化水平（如智能焊接机器人）；研究与开发新的焊接热源（如采用两种热源叠加以获得更强的能量密度，常见的有在等离子束中加激光、在电弧中加激光等）；提高节

能技术水平（例如将电阻焊中的交流点焊改变为次级整流点焊）等。

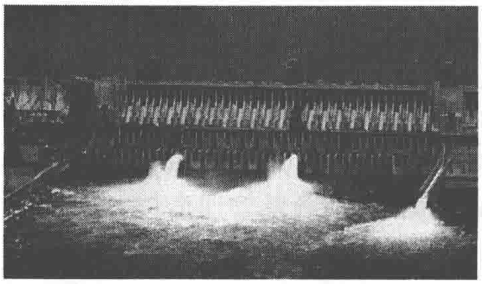


图 1-3　世界规模最大的水电站——三峡水电站

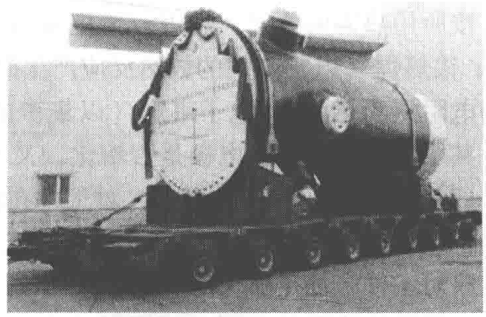


图 1-4　我国自主研制的首台百万千瓦级核电站核反应堆压力容器

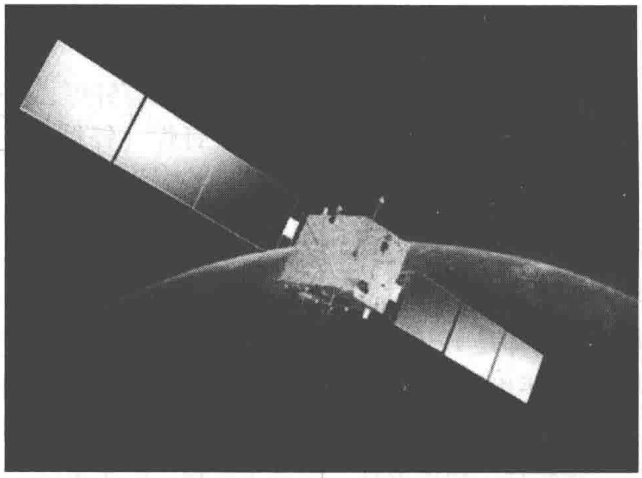


图 1-5　我国自主研制的月球探测卫星——“嫦娥二号”

任务准备

1. 常用焊接方法的焊接图片或视频。
2. 联系焊接生产厂家。

任务实施

1. 学习焊接方法的分类和特点。
2. 参观焊接生产现场，了解常见焊接方法。

检查评议

认识焊接和焊接方法评分表见表 1-1。

表 1-1　认识焊接和焊接方法评分表

项目	配分	要求标准	扣分标准	扣分记录	得分
认识焊接	20	掌握焊接的定义及分类	每错一处扣 5 分		
认识焊接方法	80	认识常见焊接方法	每种焊接方法认识错误扣 10 分		
安全文明生产		1. 严格遵守安全操作规程 2. 保持实习场地整洁，秩序井然	1. 违反安全操作规程，视情况从总分中扣 5～30 分 2. 实习场地不整洁或不遵守纪律，视情况从总分中扣 5～20 分		
开始时间			结束时间	成绩	

问题防治

1. 混淆各种焊接方法

原因：没有掌握各种焊接方法的工作原理及特点。

防止措施：对于常见的焊接方法，老师可简单介绍其工作原理及特点。

2. 焊接方法归类错误

原因：没有理解及掌握三大类焊接方法（熔焊、压焊、钎焊）的特征及区别。

防止措施：正确理解并掌握熔焊、压焊、钎焊的特征与区别。

扩展知识

世界上第一架全搅拌摩擦焊飞机——N500 型商务飞机

美国月蚀（Eclipse）公司在 21 世纪初研制出了世界上第一架全搅拌摩擦焊飞机——N500 型商务飞机，如图 1-6 所示。其机身蒙皮、翼肋、弦状支撑、飞机地板以及结构件的装配等铆接工序均由搅拌摩擦焊替代。

单架 N500 型商务飞机共用 263 条总长度为 136m 的搅拌摩擦焊焊缝代替 7378 个铆钉，制造效率比自动铆接快 6 倍，比手动铆接快 60 倍，制造成本节约 100 万美元。该型全搅拌摩擦焊飞机于 2002 年取得了 FAA 认证，2003 年 8 月开始交付用户使用，现已实现批量生产。

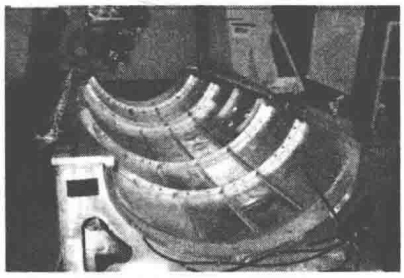


图 1-6　N500 型商务飞机的搅拌摩擦焊焊接构件之一

考证要点

一、填空题

1. 按照_____，焊接方法总体上分为_____、_____和_____三大类。

2. 与螺钉联接、键联接等可拆卸的机械连接方法相比，焊接是_____连接方法，是_____的。

3. 电弧焊根据电极是否熔化，又可分为_____与_____。

二、简答题

1. 什么是焊接？焊接与其他连接方法相比具有哪些优点？
2. 熔焊、压焊及钎焊各有什么特点？可分别分为哪些基本方法？

任务二　焊条电弧焊引弧

任务描述

1. 认识电弧焊的热源——焊接电弧。
2. 掌握焊接电弧的概念及产生条件。
3. 熟悉焊接电弧的构造及静特性。
4. 了解焊接电弧的稳定性。
5. 掌握焊条电弧焊的引弧方法。

任务分析

本任务主要是使学生认识焊接电弧，掌握焊接电弧的概念及产生条件，了解焊接电弧的构造及静特性，熟悉平焊蹲式操作姿势，掌握引弧方法，为后面几个单元的学习奠定基础。

相关知识

电弧焊是目前应用最为广泛的焊接方法。电弧焊是以电弧作为热源的。焊接电弧能把弧焊电源输送的电能转换成焊接过程所需的热能和机械能。要认识和掌握电弧焊方法，首先就要弄清电弧的实质并掌握焊接电弧的有关知识。

一、焊接电弧的概念及产生的条件

1. 焊接电弧的概念

在进行焊条电弧焊时，将焊条与工件接触后很快拉开，在焊条端部和工件之间会立即产生明亮的电弧，如图 1-7 所示。

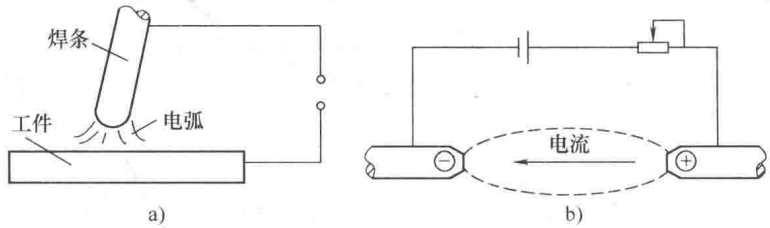


图 1-7　电弧示意图

这种由焊接电源供给的，具有一定电压的两电极间或电极与工件间，在气体介质产生的强烈而持久的放电现象，称为焊接电弧。

在日常生活中经常可以看到一些气体放电现象，例如闪电、电源拉合闸时产生的火花等。焊接电弧与这些气体放电现象相比，不但能量大，而且连续持久。

2. 焊接电弧产生的条件

一般情况下，气体的分子和原子都呈中性状态，气体中几乎没有带电粒子，因此气体不能导电，电弧也不会产生。要产生和维持焊接电弧，首先要使中性的气体电离，产生带电粒子，同时阴极金属表面能够连续地向外发射电子，即阴极电子发射。

知识卡：

焊接电弧产生和维持的必要条件：一是气体电离，二是阴极电子发射。

（1）气体电离　使中性的气体分子或原子分离成正离子和自由电子的过程称为气体电离。气体电离时需要外加能量。中性分子或原子中的电子吸收足够的能量后，能够脱离原子核的束缚而成为自由电子。气体电离所需的能量称为电离能（或电离功）。不同的气体或元素，由于原子结构不同，其电离能也不同。电离能越大，气体就越难电离。

电离能通常以电子伏（eV）为单位，若以伏（V）为单位，则为电离电压。为了便于计算，常把以 eV 为单位的能量转换为数值相等的电离电压来表示。常见元素的电离电压见表 1-2。

表 1-2　常见元素的电离电压

元素	电离电压/V	元素	电离电压/V
钾	4.34	铁	7.87
钠	5.14	硅	8.15
钡	5.21	氢	13.60
钙	6.11	氧	13.62
铬	6.77	氮	14.53
钛	6.82	氩	15.76
锰	7.43	氟	17.48
铜	7.73	氦	24.59

在焊接时，根据外加能量的不同，气体电离可以分为热电离、场致电离和光电离三种。

1）热电离。气体粒子受热的作用而产生的电离称为热电离。温度越高，热电离作用越大。

2）场致电离。在两电极间电场的作用下，气体中的带电粒子做定向高速运动，产生较大的动能，当与中性粒子碰撞时，使中性粒子获得能量而产生电离。两电极间的电压越高，电场作用越大，则电离作用越强烈。

热电离和场致电离是产生带电粒子的主要途径。

3）光电离。气体粒子在光辐射的作用下产生的电离称为光电离。光电离是电弧中产生带电粒子的次要途径。

（2）阴极电子发射　阴极金属表面受到外加能量的作用而连续地向外发射出电子的现象称为阴极电子发射。

要使电子克服金属内部正电荷的引力从阴极金属表面逸出，就必须给电子一定的能量。电子从阴极金属表面逸出所需要的最低外加能量称为逸出功，单位是 eV。逸出功的大小与阴极的成分有关。逸出功越小，阴极电子发射越容易。几种常见金属电极的逸出功见表 1-3。

表 1-3　几种常见金属电极的逸出功　　（单位：eV）

金属种类	电子逸出功	金属种类	电子逸出功
钾	2.26	锰	3.76
钠	2.33	铁	4.18
钙	2.90	碳	4.34
钛	3.92	镁	3.74
铝	4.25	钨	5.36

根据外加能量方式的不同，阴极电子发射可分为热发射、电场发射、撞击发射等。

1）热发射。在阴极表面受热达到很高的温度后，阴极表面的电子运动速度加大，动能增加。当电子的动能等于或大于逸出功时，电子从阴极表面逸出的现象称为热发射。阴极温度越高，热发射作用就会越强烈。

2）电场发射。当阴极表面附近存在一定强度的电场时，电子会受到电场力的作用。当电场力足够大时，电子可以获得足够的动能，从阴极表面逸出。这种电子发射现象称为电场发射。两电极间的电压越高，电场发射作用就会越大。

3）撞击发射。高速运动、能量较大的正离子撞击阴极表面时，将能量传递给阴极表面的电子，电子获得能量而从阴极表面逸出的现象称为撞击发射。电场强度越大，在电场的作用下正离子的运动速度就会越快，产生的撞击发射作用也就越强烈。

在实际焊接中，上述几种电子发射形式常常是同时存在的，但在不同条件下，它们所起的作用各不相同。

二、焊接电弧的构造及静特性

1. 焊接电弧的构造

焊接电弧可划分为三个区域，即阴极区、阳极区和弧柱区，如图 1-8 所示。

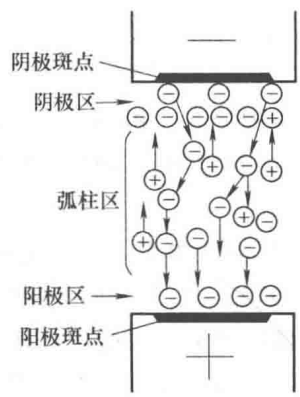


图 1-8　焊接电弧的构造

（1）阴极区　电弧紧靠负电极的区域称为阴极区。阴极区很窄，宽度约为 10^{-6}cm。在阴极表面有一个光亮的斑点，它是阴极区温度最高的部分，也是阴极表面集中发射电子的微小区域，称为阴极斑点。在焊条电弧焊时，阴极区的温度一般达 2130～3230℃，放出的热量占电弧产热的 36% 左右。阴极温度的高低主要取决于阴极的电极材料。

（2）阳极区　电弧紧靠正电极的区域称为阳极区。阳极区比阴极区宽，约为 10^{-4}cm。在阳极表面也有光亮的斑点，称为阳极斑点。阳极斑点是因电子对阳极表面撞击而形成的。在焊条电弧焊时，阳极不发射电子，消耗能量少，当阳极材料与阴极材料相同时，阳极区的温度要高于阴极区的温度，一般达 2330～3930℃，阳极区放出的热量占电弧产热的 43% 左右。

知识卡：

电弧阴极区和阳极区的温度高低因焊接方法的不同而有所差别，见表 1-4。

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com