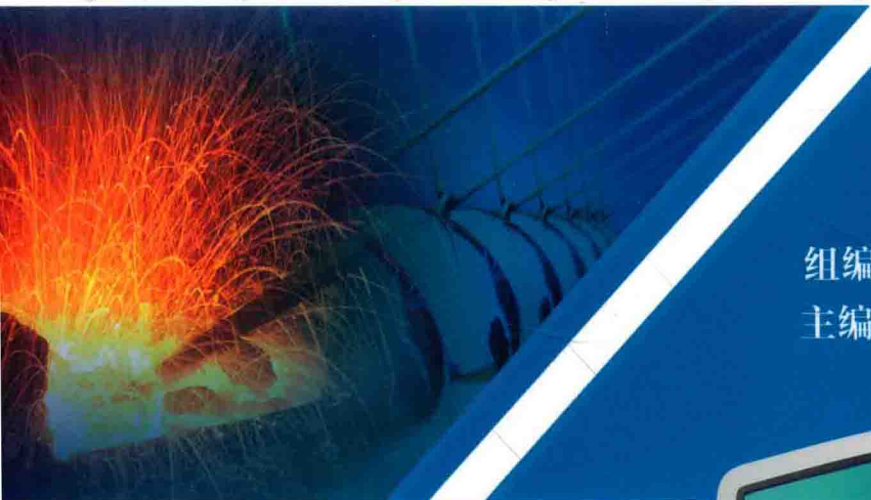




“十三五”职业教育规划教材
机器人焊接操作培训与资格认证指定用书

机器人焊接工艺



组编 中国焊接协会
主编 戴建树

中国焊接协会
机器人焊接操作培训与
资格认证指定用书

“十三五”职业教育规划教材



“十三五” 职业教育规划教材
机器人焊接操作培训与资格认证指定用书

机器人焊接工艺

组 编 中国焊接协会

主 编 戴建树

副主编 罗 震 鲍云杰 郭丽君 李 波

参 编 张婉云 郭广磊 敖三三 龙昌茂

肖 勇 刘 伟 李 飞 肖 珺

杨启杰 景 岩 龚胜峰 (企业)

主 审 陈树君



机械工业出版社

本书是中国焊接协会根据行业产业升级需要组织编写的系列教材之一,是根据现行焊接标准,同时参考相应职业资格认证标准编写的。

本书共七章,主要内容包括绪论、机器人焊接电源及辅助装置、机器人熔化极气体保护焊焊接工艺、机器人钨极氩弧焊焊接工艺、机器人电阻点焊焊接工艺与编程、典型焊件的机器人焊接工艺、机器人焊接缺陷、弧焊机器人焊接工艺的优化。为便于教学,本书配有相应教学资源,选择本书作为教材的教师可登录 www.cmpedu.com 网站,注册后免费下载。

本书可作为机器人焊接岗位培训用书,也可作为高等职业院校相关专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

机器人焊接工艺/戴建树主编;中国焊接协会组编. —北京:机械工业出版社,2018.11

“十三五”职业教育规划教材 机器人焊接操作培训与资格认证指定用书

ISBN 978-7-111-61234-6

I. ①机… II. ①戴… ②中… III. ①焊接机器人-职业教育-教材
IV. ①TP242.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第245117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:齐志刚 责任编辑:齐志刚 王海霞

责任校对:刘志文 封面设计:陈 沛

责任印制:张 博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2019年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13印张·315千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-61234-6

定价:34.00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

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

编审委员会

主任 李连胜 卢振洋

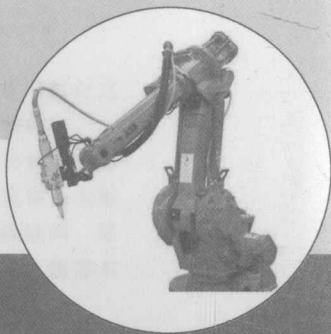
副主任 吴九澎 陈树君

委员 戴建树 李宪政 朱志明 杨春利 罗震

魏秀权 何志军 汤子康 杜志忠 刘伟

姓名	职务	单位
李连胜	主任	中国地质大学(北京)
卢振洋	主任	中国地质大学(北京)
吴九澎	副主任	中国地质大学(北京)
陈树君	副主任	中国地质大学(北京)
戴建树	委员	中国地质大学(北京)
李宪政	委员	中国地质大学(北京)
朱志明	委员	中国地质大学(北京)
杨春利	委员	中国地质大学(北京)
罗震	委员	中国地质大学(北京)
魏秀权	委员	中国地质大学(北京)
何志军	委员	中国地质大学(北京)
汤子康	委员	中国地质大学(北京)
杜志忠	委员	中国地质大学(北京)
刘伟	委员	中国地质大学(北京)

前 言



《中国制造 2025》推动了产业转型升级，使工业机器人得到了广泛应用，特别是焊接机器人的应用约占工业机器人应用的 45%。中国焊接协会为了使行业发展更好地服务院校、企业，结合机器人弧焊操作人员认证及中美联合标准技能的相关要求，组织相关院校、企业及中国焊接协会机器人焊接培训基地的专家、学者，编写了五本焊接机器人应用培训教材，《机器人焊接工艺》就是其中之一。

本书主要介绍机器人焊接工艺、焊接缺陷以及编程应用及其优化，内容包括机器人焊接电源及辅助装置介绍、机器人熔化极气体保护焊焊接工艺、机器人钨极氩弧焊焊接工艺、机器人电阻点焊焊接工艺与编程、典型焊件的机器人焊接工艺、机器人焊接缺陷、弧焊机器人焊接工艺的优化。本书重点强调培养学生熟悉机器人焊接工艺，懂得根据具体生产条件编写机器人焊接工艺文件，能根据焊接产品的技术要求，运用机器人焊接工艺知识结合编程应用，合理规划示教运动、焊缝轨迹点及姿态，合理设置焊枪角度，选取合适的焊接参数进行焊接；熟悉弧焊机器人焊接工艺及其评定方法，能从提高焊接质量、效率和降低成本等方面对机器人焊接工艺进行优化；通过对理论与具体实例的综合介绍，提升学生应用焊接机器人的能力，提高学生的机器人焊接工艺水平，使学生能运用机器人焊接工艺知识完成较复杂焊件的编程工作，并能针对弧焊机器人焊接过程中产生的缺陷提出相应解决措施。本书在编写过程中力求体现理论贴合实际的特色，注重对实际案例的分析及讲解。

本书编写模式新颖，以学生为主体，以实际案例为载体，引导学生将理论活用于实际当中。同时，书中穿插讲述了大量优质的程序编写案例，力求使相关专业人员能通过本书掌握机器人焊接工艺，适应智能化生产的需要。

本书在使用上应注意以下几点：①本课程的教学应理论与实践相结合，理论教学以技能培训为宗旨，在教学环节中应注意培养学生的动手能力以及分析问题和解决问题的能力；②教学中，任课教师应根据本学校及学生的具体情况进行针对性地进行教学，为达到本课程的教学要求，应保证足够的实训教学时间；③教学实施过程中要特别强调安全文明生产的重要性，如工具的使用及设备的操作一定要规范；④注意教学过程的完整性，分组、操作、课件制作展示、评价环节应完整。本书的建议学时为 64 学时，学时分配与教学建议见下表。

项目	学时	说明或教学建议
绪论	2	了解机器人焊接的特点与分类、应用现状与发展趋势，明确本课程的学习目的和要求
第一章	10	掌握不同的机器人焊接电源的特点及其工艺性能对焊接质量的影响，了解焊接机器人辅助装置的特性与使用要求

项目	学时	说明或教学建议
第二章	10	了解机器人熔化极气体保护焊的优缺点、影响焊缝质量的因素;学习机器人 CO ₂ 气体保护焊焊接工艺及编程方法,掌握常用接头的机器人焊接工艺及编程方法
第三章	6	了解机器人钨极氩弧焊的优缺点、影响焊缝质量的因素;学习机器人钨极氩弧焊焊接工艺及编程应用实例,掌握常用接头的机器人焊接工艺及编程方法
第四章	8	了解机器人电阻点焊焊接工艺的特点、影响焊缝质量的因素;学习并掌握机器人电阻点焊焊接工艺及编程方法
第五章	12	了解低碳钢及其他典型金属结构的弧焊机器人焊接工艺及编程方法;学习机器人焊接工艺的分析步骤,掌握常用金属的焊接工艺特点及编程方法
第六章	6	了解机器人焊接缺陷的分类,学会分析焊接缺陷产生的原因以及防止措施
第七章	10	结合具体生产案例,学习弧焊机器人焊接工艺的优化方法,熟悉焊件的焊接工艺优化方法

本书由戴建树任主编,罗震、鲍云杰、郭丽君、李波任副主编。具体编写分工如下:广西机电职业技术学院的张婉云、厦门集美职业技术学校的郭广磊编写绪论;天津大学的罗震、敖三三编写第一章;戴建树,广西机电职业技术学院龙昌茂、肖勇,珠海市福尼斯焊接技术有限公司的龚胜峰编写第二章;敖三三、龙昌茂、肖勇和南京理工大学的景岩编写第三章;戴建树、龙昌茂和厦门集美职业技术学校的刘伟编写第四章;昆明理工大学的李飞编写第五章;北京工业大学的肖珺、兰州理工大学的俞伟元、哈尔滨焊接研究所、欧地希机电上海有限公司相关人员编写第六章;戴建树、广西机电职业技术学院的杨启杰编写第七章。此外,唐山松下产业机器有限公司、北京时代集团、珠海市福尼斯焊接技术有限公司、湖南智谷焊接技术培训有限公司、上海 ABB 工程有限公司北京销售分公司和欧地希机电上海有限公司为本书的编写提供了很多案例,在此对他们的大力支持表示衷心的感谢!

本书由中国焊接协会教育与培训分会委员会审定,北京工业大学的陈树君任主审。他们在评审及审稿过程中针对本书内容及体系提出了很多中肯的宝贵建议,在此对他们表示衷心的感谢。

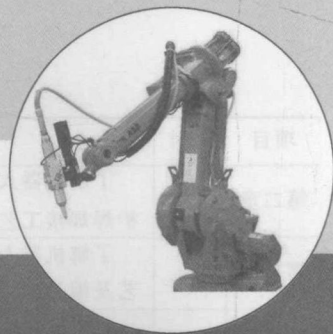
为便于教学,本书配有相应教学资源,选择本书作为教材的教师可登录 www.cmpedu.com 网站,注册后免费下载。

在本书编写过程中,参考了国内外出版的有关教材和资料,得到了中国焊接协会教育与培训分会委员会的大力支持及有益指导,在此一并表示衷心感谢。

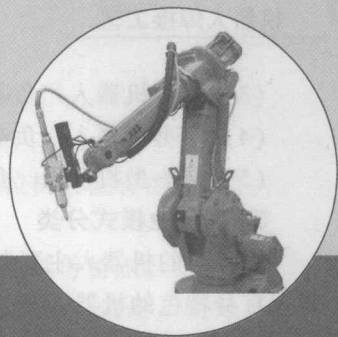
由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

目 录



前言		第四章 机器人电阻点焊焊接工艺与编程	95
绪论	1	第一节 电阻点焊基础知识	95
复习思考题	4	第二节 机器人电阻点焊焊接工艺	99
第一章 机器人焊接电源及辅助装置	5	第三节 机器人电阻点焊编程	109
第一节 机器人焊接弧焊电源的特点及要求	5	第四节 机器人电阻点焊焊接工艺应用	123
第二节 机器人焊接弧焊电源工艺性能对焊接质量的影响	6	复习思考题	129
第三节 机器人焊接用弧焊电源	11	第五章 典型焊件的机器人焊接工艺	130
第四节 电阻焊及其他电源	15	第一节 薄板焊件的机器人焊接工艺及编程	130
第五节 机器人焊接弧焊用焊枪	24	第二节 中厚板焊件的机器人焊接工艺及编程	142
第六节 机器人和焊接电源的通信方式	29	第三节 其他金属焊件的机器人焊接工艺及编程	160
复习思考题	30	第六章 机器人焊接缺陷	167
第二章 机器人熔化极气体保护焊焊接工艺	31	第一节 机器人焊接缺陷的分类	167
第一节 熔化极气体保护焊	31	第二节 机器人焊接缺陷产生的原因及其防止措施	172
第二节 机器人熔化极气体保护焊	35	复习思考题	179
第三节 机器人 CO ₂ 气体保护焊焊接工艺与编程	38	第七章 弧焊机器人焊接工艺的优化	182
第四节 机器人 MIG 焊/MAG 焊焊接工艺与编程应用	66	第一节 弧焊机器人焊接工艺优化的核心	182
复习思考题	74	第二节 弧焊机器人焊接工艺优化的基本步骤	186
第三章 机器人钨极氩弧焊焊接工艺	76	第三节 弧焊机器人焊接工艺优化案例	194
第一节 TIG 焊的焊接工艺特点及焊缝质量影响因素	76	复习思考题	199
第二节 机器人 TIG 焊的焊接工艺与编程	81		
复习思考题	93		



绪论

一、焊接机器人与机器人焊接

焊接机器人是从事焊接（包括切割与喷涂）工作的工业机器人，是在普通工业机器人的末轴法兰处装接焊钳或焊（割）枪，使其能进行焊接、切割或喷涂。

机器人焊接则是机器人代替手工作业，即利用焊接机器人系统完成焊接作业，获得合格焊件的过程。

焊接机器人系统包括机器人本体、控制柜、焊接电源、示教器、送丝机构、供气系统、焊枪、电缆等。所选用的焊接机器人配套设备一般均具有与机器人本体通信的相应接口，以便与机器人本体交换信号，顺利被机器人焊接控制系统调用。

二、焊接机器人分类

焊接机器人可按自动化技术发展程度、性能指标、产业模式及焊接工艺方法等进行分类。

1. 按自动化技术发展程度分类

根据自动化技术发展程度的不同，焊接机器人可分为示教再现型机器人、智能型机器人等种类。

(1) 示教再现型机器人 示教再现型机器人属于第一代工业机器人，由于操作者将完成某项作业所需的运动轨迹、运动速度、触发条件、作业顺序等信息通过直接或间接的方式对机器人进行“示教”，由记忆单元记录示教过程，再在一定的精度范围内，重复再现被示教的内容。目前在工业中大量应用的焊接机器人多属此类。

(2) 智能型机器人 智能型机器人具有一定的智能，能够通过传感手段（触觉、力觉、视觉等）对环境进行一定程度的感知，并根据感知到的信息对机器人作业内容进行适当的反馈控制，对焊枪对中情况、运动速度、焊接姿态、焊接是否开始或终止等进行修正。

2. 按性能指标分类

按照机器人的负载能力与作业空间等性能指标的不同，可将机器人分为超大型机器人、大型机器人、中型机器人、小型机器人和超小型机器人等类型。

(1) 超大型机器人 负载能力 $P \geq 10^7 \text{N}$ ，作业空间 $V \geq 10 \text{m}^3$ 。

(2) 大型机器人 负载能力 $P = 10^6 \sim 10^7 \text{N}$ ，作业空间 $V \geq 10 \text{m}^3$ 。

(3) 中型机器人 负载能力 $P=10^4 \sim 10^6 \text{N}$, 作业空间 $V=1 \sim 10 \text{m}^3$ 。

(4) 小型机器人 负载能力 $P=1 \sim 10^4 \text{N}$, 作业空间 $V=0.1 \sim 1 \text{m}^3$ 。

(5) 超小型机器人 负载能力 $P < 1 \text{N}$, 作业空间 $V < 0.1 \text{m}^3$ 。

3. 按产业模式分类

世界上的机器人主要制造国根据其自身工业基础特点和市场需求的不同, 分别发展出了具有自身特色的机器人产业模式, 包括日本模式、欧洲模式和美国模式等。

日本模式以产业链的分工发展、掌握核心技术为特点, 由机器人制造商以开发新型机器人和批量生产为主要目标, 并由其子公司或其他工程公司来设计制造各行业所需要的机器人成套系统。欧洲模式由机器人制造厂商完成机器人的生产, 同时也承担用户所需要的系统设计制造工作。美国模式重视集成应用, 采取采购与成套设计相结合的方式, 美国国内基本不制造普通的工业机器人, 企业通常通过工程公司进口, 再自行设计和制造配套的外国设备, 进行系统集成, 最终将完整的机器人系统提供给客户。

4. 按所采用的焊接工艺方法分类

按照机器人所用焊接工艺方法不同, 可将其分为点焊机器人、弧焊机器人、搅拌摩擦焊机器人、激光焊机器人等类型, 如图 0-1~图 0-4 所示。



图 0-1 点焊机器人

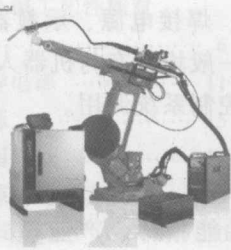


图 0-2 弧焊机器人

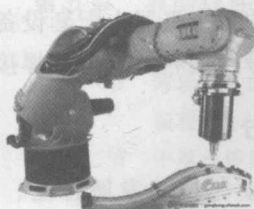


图 0-3 搅拌摩擦
焊机器人



图 0-4 激光焊机器人

本书将重点介绍如何使用焊接机器人与焊接电源配套实施熔化极气体保护焊、非熔化极气体保护焊以及电阻焊工艺与优化等。

三、机器人焊接的特点

随着电子技术、计算机技术、数控技术及机器人技术的发展, 从 20 世纪 60 年代开始用于生产以来, 自动弧焊机器人工作站技术已日益成熟, 在各行各业已得到了广泛的应用。

1. 机器人焊接的优点

- 1) 焊接稳定性好, 质量高。
- 2) 可提高劳动生产率。
- 3) 改善了劳动条件, 可在有害环境下工作。
- 4) 降低了工人的技术操作水平和劳动强度。
- 5) 降低了生产成本。
- 6) 柔性化程度高, 可实现小批量产品的焊接自动化。
- 7) 可在各种极限条件下完成焊接作业。



2. 机器人焊接的主要缺点

- 1) 工件制备质量和焊件装配精度要求高。
- 2) 设计工件的结构及焊接工艺时,要考虑焊枪的可达性、变位机的翻转次数等。
- 3) 投资额度高,回收周期长。
- 4) 电源功率须满足机器人自动化焊接所要求的高输出、高稳定性等特点。

此外,机器人焊接对操作者的要求较高,操作者需要具备较高的综合素质。同时,机器人焊接是以掌握焊接工艺知识为前提和基础的,操作者对焊接工艺的熟悉程度决定了机器人焊接的质量、效率、成本和效果。

四、机器人焊接工艺的制订

机器人焊接工艺主要包括焊接方法、焊接电源、母材、板厚(管径及壁厚)、接头、坡口形式、焊前准备加工、装配、焊接位置、焊接顺序、焊材、气体、机器人焊接轨迹点的设置、焊枪角度、焊接参数等。

机器人焊接是用焊接机器人代替手工完成焊接作业,因此,同样需要制订切实可行的焊接工艺方案。

1. 已知条件

焊件结构的技术要求、结构尺寸、母材牌号及规格(板厚、管径与壁厚)、接头形式、焊接位置、焊接方法、焊材、气体等。

2. 焊件的机器人焊接工艺性分析

对焊件材料的焊接性、下料、成形加工工艺、装配方法的选用以及机器人的焊接轨迹、姿态、焊枪角度、焊接参数等进行分析,确定焊接重点及难点,制订解决措施,控制焊接质量,提高效率,降低成本等。

3. 设备选用

根据现场生产条件及焊接技术要求,选择机器人及焊接电源类型、系统形式,考虑是否需要翻转变位以及机器人的臂伸长(动作范围)能否覆盖整个作业面,机器人最大承载重量等。

实施时,需要优化系统组合和焊接参数,确定合理的枪姿,正确把握影响焊接的几大要素;对于焊缝复杂的工件,应增加变位系统,尽量使焊接位置处于最佳状态(水平或船形焊位置)。

4. 机器人焊接工艺试验与优化

机器人焊接工艺试验是根据焊件的技术要求,通过工艺分析,拟订机器人焊接工艺方案,并将机器人焊接工艺知识应用于示教编程,充分考虑焊接顺序、关键点的处理、焊枪角度及机器人的姿态等。

编程完成后对焊接参数(焊接电流、焊接电压、焊接速度、干伸长、振幅、摆动停留时间、气体流量等)进行设置和调整,完成焊接工艺试验。最终从质量、效率、成本三方面进行工艺方案比较,选定最佳方案。

五、机器人焊接应用现状和发展趋势

据不完全统计,全世界在役的工业机器人中大约有一半被用于各种形式的焊接加工领

域,焊接机器人应用中最普遍的主要有两种方式,即点焊和电弧焊(以下简称弧焊)。在我国,汽车是焊接机器人的最大用户,也是最早的用户。早在20世纪70年代末,上海电焊机厂与上海电动工具研究所就合作研制了直角坐标机械手,并成功应用于上海牌轿车底盘的焊接。中国一汽集团有限公司是我国最早引进焊接机器人的企业,该公司自1984年起先后从KUKA公司引进了3台点焊机器人,用于当时红旗牌轿车车身的焊接和解放牌汽车车身顶棚的焊接;1986年成功地将焊接机器人应用于前围总成的焊接,并于1988年开发了机器人车身总焊线。20世纪90年代以来的技术引进和生产设备、工艺装备的引进,使我国的汽车制造水平由原来的作坊式生产提高到规模化生产,同时使国外焊接机器人大量进入中国。

近年来随着我国经济的高速发展,对能源的需求不断加大,与能源相关的制造行业也都开始寻求采用自动化焊接技术,焊接机器人迎来了新的发展机遇。铁路机车行业由于我国货运、客运、城市地铁等需求量的不断增加以及列车提速的需求,对机器人的需求一直处于稳步增长态势。与此同时,劳动力成本的提高为企业带来了不小的压力,而机器人价格指数的降低又恰巧为其进一步推广应用带来了契机。因此,工业机器人的应用在各行各业得到了飞速发展。

目前,我国应用的机器人主要分日系、欧系和国产三类。日系中主要有安川、OTC、松下、FANUC、川崎等公司的产品;欧系中主要有德国KUKA、CLOOS,瑞典ABB,意大利COMAU和奥地利IGM公司的产品;国产机器人主要是沈阳新松、安徽埃夫特、北京时代、广州数控、南京埃斯顿、上海新时达等公司的产品。

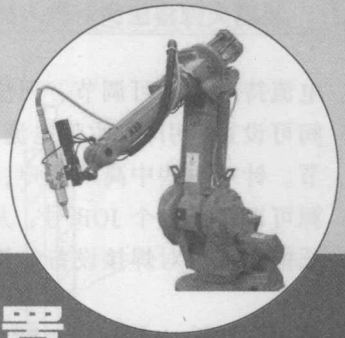
随着工业机器人技术的快速发展,机器人焊接技术的应用更是层出不穷。机器人焊接技术的应用代表着高度先进的焊接机械化、自动化。机器人焊接技术采用专业编程人员编写的程序来控制机器人本体、焊接电源、外部轴等相关设备的动作及焊接过程,可就不同的焊接结构或使用场合进行重新编程,从而顺利实现设备在生产应用过程中的快速转换。其应用目的在于提高生产率,改善劳动条件,改善焊接稳定性,提高焊接质量并降低劳动成本。

机器人焊接技术的应用领域越来越广泛,如汽车制造、船舶生产、工程机械、航空制造、金属结构制造等。在汽车制造、工程机械、电子电气等行业中,工业机器人自动化生产线已经悄然成为自动化装备的主流。机器人焊接主要适用于不同方向的短焊缝,包括直焊缝、弧形焊缝及空间焊缝的焊接。但准备采用机器人焊接技术前,通常需要研究机器人焊接技术的适用性,做好设备的成本预算,以便后期更加顺利、可靠地开展相关工作。

复习思考题

1. 焊接机器人的类型有哪些?
2. 机器人焊接有何优、缺点?
3. 机器人焊接工艺主要包括哪些内容?

第一章



机器人焊接电源及辅助装置

在机器人焊接行业中，目前使用最多的焊接设备是电阻点焊机器人和弧焊机器人。而在机器人焊接系统中，焊接电源无疑是重要的组成部分。为了满足焊接电源与机器人之间的通信要求，机器人焊接电源与普通焊接电源有较大的区别，包括更稳定的性能、更全面的功能、更专业的数据库等。此外，机器人焊接系统对送丝装置和焊枪的要求也有较大的修正。学习本章要熟悉机器人焊接弧焊电源的特点及要求，学会运用弧焊电源工艺性能控制焊接质量，了解机器人焊接常用弧焊电源的特点，能根据焊件选用弧焊电源，了解机器人焊接弧焊电源用焊枪的要求、分类及机器人焊接电源的通信方式，学会选用和使用焊枪。

第一节 机器人焊接弧焊电源的特点及要求

一、机器人焊接弧焊电源的特点

弧焊机器人对焊接电源的要求，远比普通焊接对弧焊电源的要求更高，这是由于手工焊接过程中工人可以使用很多灵活的焊接技能和手法，而这些技能和手法目前无法移植到机器人焊接中。例如，在手工焊接中若一次“打不起弧”，则可以立刻开始第二次引弧，而且可以很容易地回到初始焊接的位置，而机器人焊接则很难做到。同样，机器人也无法做到手工焊接时使用的灵活多样化的运条动作和运枪动作。但是实际生产中，对机器人焊接的焊接工程质量的要求不能降低，这就需要采用更合理的焊接设备，来保证机器人弧焊的焊接质量要求。因此，对机器人弧焊电源而言，对弧焊机器人焊接工艺的适用性就成为其设计上需要考虑的重要因素。

因此，机器人焊接弧焊电源需要具有稳定性高、动态性能佳、调节性能好的品质特点，同时需要具备可以与机器人进行通信的接口，此外焊接设备也需要具有专家数据库和全数字化系统。另外，需要配置自动化送丝机，且送丝机可以安装在机器人的肩上。在一些高端配置中，焊接电源需要有进退丝功能，送丝机上也配置点动送丝/送气按钮。

二、机器人焊接弧焊电源的要求

为了满足机器人焊接对焊接质量和生产率的一系列要求，焊接电源除了需要满足电流、电压可调等普通弧焊电源的功能要求外，还需要具备以下工艺性能：引弧电流大小可调节、引弧电流持续时间可调节、弧长修正可调节、电感大小可调节、收弧电流大小可调节、收弧

电流持续时间可调节、回烧修正可设置、电缆补偿可设置、预通气时间可设置、滞后断气时间可设置、引弧/收弧电流衰减可设置,以上这些功能和机器人通信后可以通过机器人来调节。针对一些中高端用户,焊接电源需要具有专家数据库,可以调用 JOB 号,一般焊接电源可以存储多个 JOB 号,从而可以调用不同的焊接程序。为了方便一线操作人员使用,降低操作人员对焊接设备的使用难度,可以将焊接电源设计为二元化和一元化并存的形式。

第二节 机器人焊接弧焊电源工艺性能对焊接质量的影响

弧焊电源是向焊接电弧提供电能的一种装置,是弧焊电焊机的核心。弧焊电源的电气特性对焊接质量有至关重要的影响,没有高性能的弧焊电源就不可能完成高质量的焊接。目前,按照弧焊电源输出的焊接电流的波形,可将其分为直流弧焊电源、交流弧焊电源、脉冲弧焊电源和逆变式弧焊电源四种类型。此外,按弧焊电源的控制技术分类,可分为机械式控制、电磁式控制、电子式控制和数字式控制;按电源内部的关键器件分类,可分为交流弧焊变压器、直流弧焊发电机、弧焊整流器和弧焊逆变器等;按弧焊电源的输出特性分类,可分为平(恒压)特性电源、缓降特性电源、垂直陡降(恒流)特性电源及多特性电源等。

机器人焊接弧焊电源具备普通焊接用弧焊电源的上述所有特性。同时,弧焊机器人焊接电源还具有其自身特有的其他特性。尤其是机器人弧焊电源在引弧/收弧过程中,必须能够方便灵活地改变相应的工艺参数,如引弧/收弧电流大小、引弧/收弧电压大小等基本参数,才能获得高质量的焊缝。

引弧/收弧的好坏对焊接过程稳定工作和重复稳定工作有非常直接的影响。引弧不好会在引弧点位置产生多次熄弧而造成飞溅过大或者无法引弧;而收弧不好会在焊丝末端造成结球过大而使下次引弧困难。

一、机器人焊接弧焊电源输出电流特性对焊接质量的影响

机器人焊接过程中,可以通过程序设置,由机器人向弧焊电源发出指令,控制弧焊电源的输出电流特性,包括引弧/收弧电流的大小、引弧/收弧电流的持续时间以及引弧/收弧电流衰减快慢等参数。

1. 机器人焊接引弧/收弧过程分析

要获得熔滴过渡均匀、焊缝成形美观的结果,不但要保证焊接过程的稳定,而且要确保引弧过程的顺畅,这样才能获得高质量的引弧特性,避免出现大段焊丝爆断或者引弧失败的情况。尤其是在机器人焊接过程中,弧焊电源的引弧特性至关重要。

一般情况下,脉冲 MIG 焊采用接触短路引弧方式。但是接触引弧在短路的瞬间,焊丝与工件之间的接触电阻是不可预测的,它随焊丝及工件状态的不同而变化,焊丝可能在不同的位置爆断,从而产生不同的引弧效果。图 1-1 为焊丝爆断位置示意图。一般在引弧过程中,短路电流的增加速度很快,A 点的电阻值较大且下降得很慢,B 点的电阻值较小(导电嘴接触不良、焊丝打弯会导致 B 点电阻值增加),在焊丝末端较尖(无小球)的条件下,可以保证在短时间内,A 点的温度迅速升高,焊丝被迅速加热而优先熔断,这种引弧过程的引弧特性好,不会出现大段焊丝爆断的情况,引弧阶段焊缝成形质量好。反之,则会在 B 点附近先熔断,出现大段焊丝爆断的情况,影响引弧阶段的焊缝成形质量。

焊接结束后,焊缝结束部位会存在残留的凹陷,由于凹陷会导致焊缝成形差或者引发焊缝裂纹,为了避免这些问题的出现,在收弧控制上要做收弧填弧坑处理。对于机器人焊接而言,必须提前设定好引弧/收弧参数,这样才能获得良好的焊缝。

2. 引弧/收弧参数设置对焊接质量的影响

(1) 平对接焊缝引弧/收弧参数设置对焊接质量的影响 一般平对接焊缝在刚引弧时温度相对低,此时设置的引弧电流小、停留时间短,焊缝易偏高、偏窄或产生气孔;在收弧时温度稍偏高,此时设置的收弧电流保持与正常焊接相同,停留时间短或者长,焊缝均易产生过凹或过凸、气孔、裂纹等缺陷,如图 1-2 和图 1-3 所示。因此,编程时应根据焊件厚度及技术要求,设置合适的引弧/收弧轨迹点,结合弧焊机机器人焊接电源所具有的引弧/收弧电流大小可调节、引弧/收弧电流持续时间可调节的工艺性能,选择合适的引弧/收弧参数来控制焊接质量。

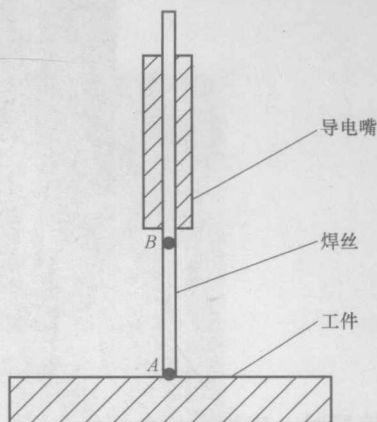


图 1-1 焊丝爆断位置示意图

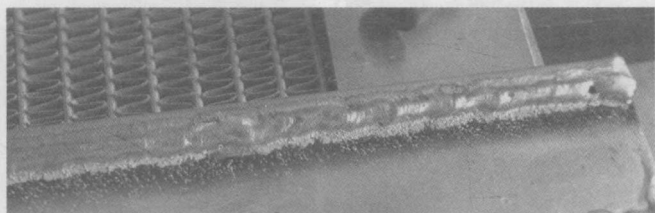


图 1-2 平对接焊缝引弧/收弧处的焊接缺陷 (一)



图 1-3 平对接焊缝引弧/收弧处的焊接缺陷 (二)

图 1-4 所示为通过设置合适的引弧/收弧点,选用合适的引弧/收弧电流大小和持续时间,得到的高质量焊缝。

(2) T形接头角焊缝引弧/收弧参数设置对焊接质量的影响 图 1-5a 所示为方形框工件的 T 形接头角焊缝偏窄、过凸而不美观、未熔合缺陷,原因是刚引弧时该处散热快,温度偏低,而编程时设置的引弧电流与正常焊接电流相同、停留时间短,从而出现了焊缝偏窄、过凸,不便于收弧的连接接头。图 1-5b 所示为焊缝产生收弧凹坑,原因是收弧时设置的电流与正常焊接电流相同、停留时间长。

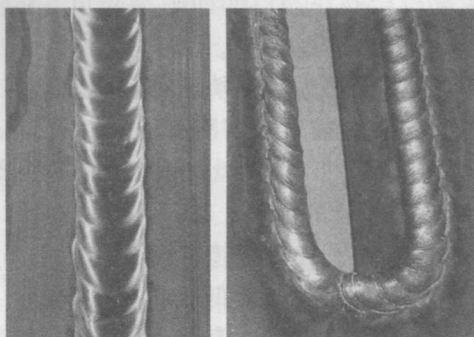


图 1-4 合理设置引弧/收弧参数得到的高质量平对接焊缝

编程时，应结合焊件技术要求，从机器人焊接工艺的角度考虑焊件厚度、坡口、接头形式等，设置合适的引弧/收弧点，根据弧焊机器人焊接电源具有的工艺性能，选择合适的引弧/收弧参数，或者通过调试确定焊接参数，控制焊接质量。

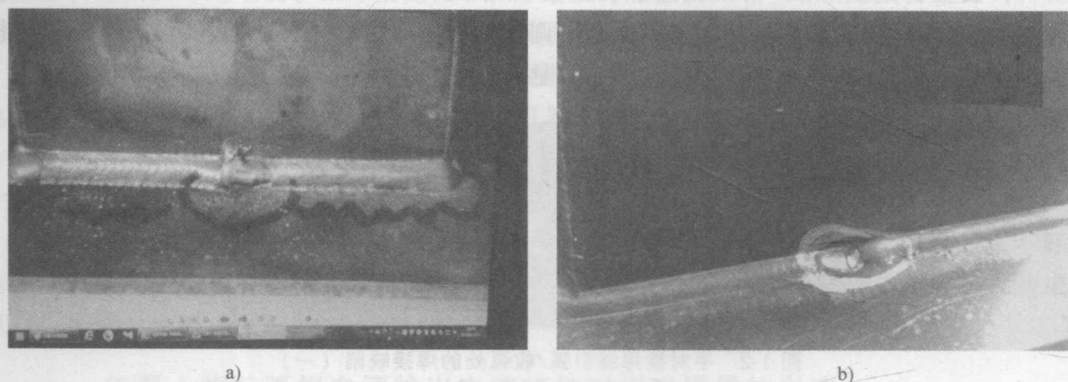


图 1-5 T形接头角焊缝引弧/收弧处的焊接缺陷

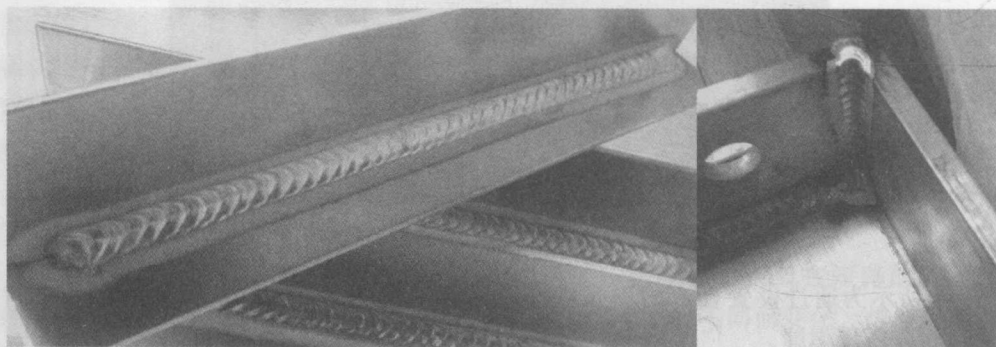


图 1-6 高质量的 T 形接头角焊缝

(3) 立内、外角顶、底部焊缝引弧/收弧参数设置对焊接质量的影响 在立角顶部位置选用正常焊接电流引弧时温度相对偏低，易产生未熔合、气孔等缺陷，编程时应考虑设置合适的起焊点及调试选择合适的引弧参数。立角底部位置接近收弧时温度相对偏高，易产生焊瘤、未熔合、气孔等缺陷。



对焊接技术要求高的情况下，编程时应考虑焊接结束前增设点为收弧做准备，同时调试选择收弧参数。容器立外角焊缝实例如图 1-7 所示。

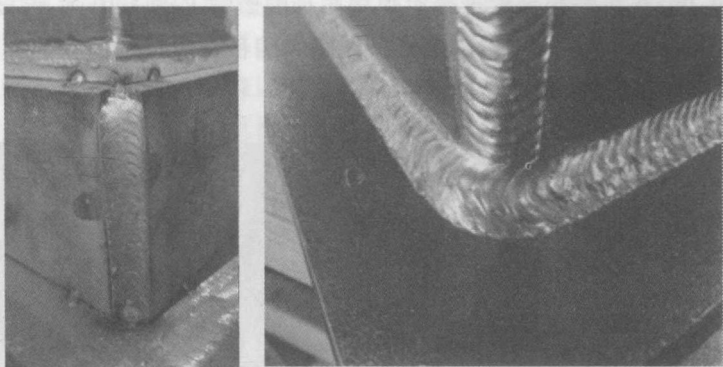


图 1-7 容器立外角焊缝实例

(4) 角接焊缝引弧/收弧参数设置对焊接质量的影响 图 1-8 所示试件为典型的角接焊缝。在试件上端方形板块的角焊缝接头处，若焊接参数设置得不合理，则很容易产生焊缝偏高、凹坑、未熔合、下塌等缺陷。因此，编程时应考虑起焊处焊缝要平滑，起焊点需要选择合适的引弧参数，结尾设点要合适，收弧时要选择合适的焊接参数。

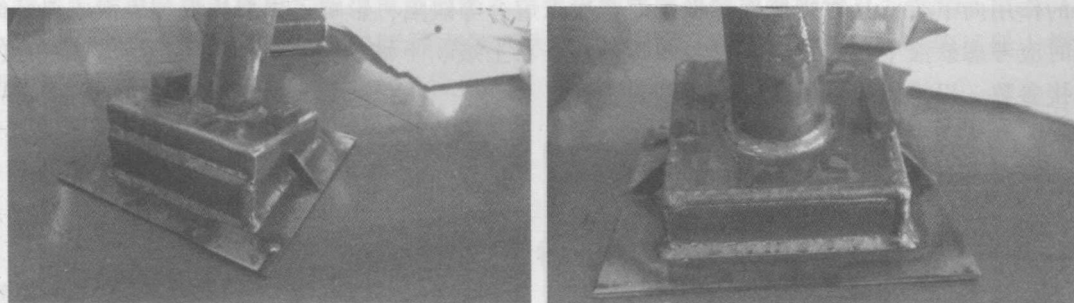


图 1-8 角接焊缝引弧/收弧参数设置

(5) 角接头 90°拐角焊接参数设置对焊接质量的影响 (图 1-9) 对于薄板，90°拐角焊缝编程时需要采用圆弧插补功能，若设点不合适或焊接速度稍慢，则会产生焊缝下塌缺陷。

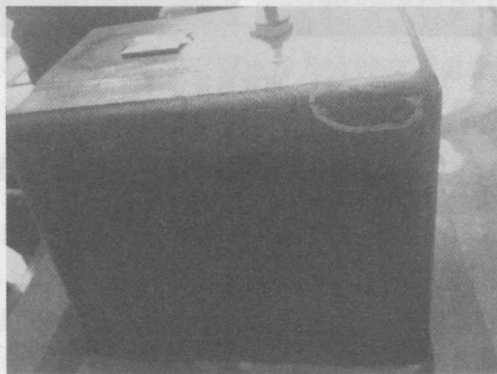


图 1-9 角接头 90°拐角焊缝



编程时应考虑在 90° 拐角前约 20mm 处增设点, 选择合适的焊接参数, 同时圆弧插补功能应合理设点并选择稍快的焊接速度及稍大的焊枪角度。

(6) T 形接头 90° 拐角焊接参数设置对焊接质量的影响 (图 1-10) 焊接 T 形接头 90° 拐角焊缝时易产生脱节、未熔合、下焊脚偏大等缺陷。编程时应考虑圆弧插补功能设置合适的位置点、焊枪角度、焊接参数、焊接速度。

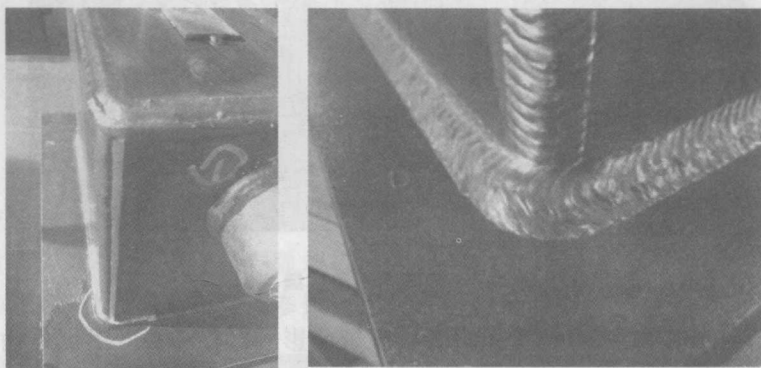


图 1-10 T 形接头 90° 拐角焊缝

(7) 相贯线接管焊接参数设置对焊接质量的影响 上坡、下坡焊缝焊接时, 铁液受重力的作用向下流, 易在焊缝底部堆积而产生未熔合等缺陷, 影响了焊缝质量和表面成形。编程时应考虑铁液下流的影响, 选取圆弧插补, 在上坡、下坡轨迹点处选取合适的焊枪角度、焊接参数, 以控制焊缝质量, 如图 1-11 所示。

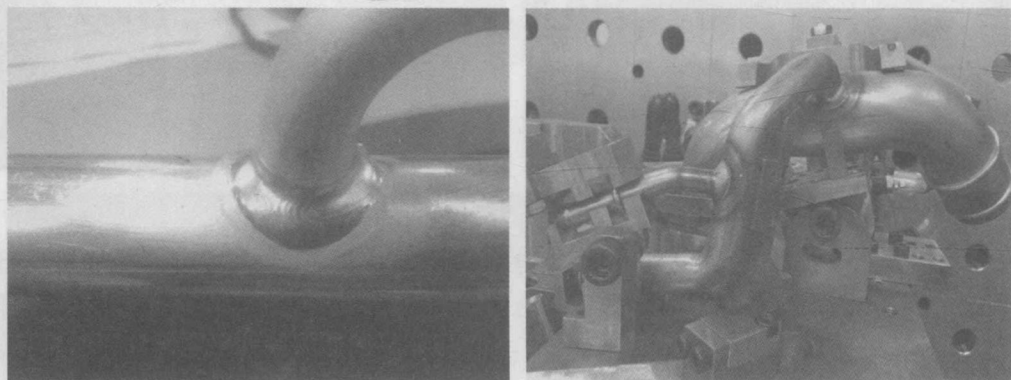


图 1-11 相贯线接管焊缝

二、机器人焊接弧焊电源输出电感特性对焊接质量的影响

为了获得良好的焊缝成形质量, 希望焊接电流、电压的静态偏差越小越好, 即要求焊接参数稳定。而电源的外特性曲线影响着焊接参数的稳定性。因此, 在选择电源外特性时, 不仅要考虑“电源-电弧”系统的稳定性, 还要结合各种弧焊的特点, 考虑焊接参数的稳定性。除此之外, 外特性还与飞溅率有关。

试验证明, 垂直陡降外特性电源的飞溅率最低, 并且均为 1mm 以下的小颗粒飞溅。飞