



武亚鹏：高邮市迅达工程机械集团有限公司副总经理

国内自动化焊接设备 在中厚板领域中的 发展及应用

高邮市迅达工程机械集团有限公司 (江苏 225606) 武亚鹏 侯建伟

【摘要】 自动化焊接在中厚板焊接领域的应用越来越广泛，尤其是中厚板焊接机器人系统在近几年的发展是非常之快，其成效尤为突出。焊接机器人的应用推广带来很多的优点，降低了焊接这种有害工种对操作者的伤害，提高了操作者使用先进设备的技能、生产效率、焊接质量等。本文主要对中厚板自动化焊接设备的发展及在工程机械、矿山机械行业的应用进行介绍。

一、中厚板焊接领域的介绍

中厚板在工程机械、矿山机械、造船、航空航天、桥梁、铁路车辆、煤炭机械、建筑钢结构、机床和风电等领域应用得比较多。随着国内大型项目的开展，如南水北调、西气东输、高铁和高速公路等开工，对装备制造的需求是越来越多。中厚板焊接自动化是实现我国装备制造业由大到强转变的基石，是装备制造业由粗放型、作坊式的经营模式向高技术、集约型转变的重要标志。

中厚板焊接自动化设备制造技术含量高，通常集焊接工艺、自动控制、精密机械设计制造等多种技术于一体，随着工业自动化、智能化、数字化等技术的日益发展和广泛应用，中厚板焊接自动化正在向由单机焊接自动化向焊接自动化生产线和数字化发展。

二、中厚板自动化焊接的发展

1. 中厚板焊接机器人的推广

焊接自动化的大规模应用最早是从汽车生产线

的电阻点焊和薄板弧焊开始。经过多年的发展，目前，汽车行业特别是整车厂的焊接自动化生产线代表了当今制造自动化的最高水平，但由于我国汽车生产线基本从国外进口，同时国外厂商在该领域的焊接工艺、系统集成等方面积累了十分丰富的工程经验，因此汽车制造领域应用的焊接自动化装备基本被国外厂商所垄断。我国工程机械行业历经十年的高速增长，行业销售额增长8.1倍，目前已成长为世界工程机械第一产销大国。近年来，随着行业竞争的不断加剧、劳动力成本的不断提升，以及产品向大型化、复杂化、高质量和较短交货期要求方向发展，行业内企业市场增长将面临从数量型向质量型的转变，使得工程机械行业迫切需要转变生产方式。与此同时，工程机械产品规模化、批量化、标准化的生产特点，适宜进行焊接自动化装备的大规模应用，因此我国工程机械行业继汽车行业后已逐步开始大规模应用焊接自动化装备，市场需求正持续升温。相比较汽车生产的点焊和薄板弧焊，工程机械的焊接工艺以中厚板结构件的弧焊为主，对焊接自动化装备的控制水平以及各种纠偏和

自适应功能要求更高,焊接自动化难度也更大。此外,工程机械生产的每个工位焊接时间较长,因此不是用流水线方式,而是采用成组式生产线由多台机器人完成同一道工序,从而形成和流水线一样的生产节拍。

通过焊接自动化设备,可以提高焊接加工效率和质量、降低能源和材料消耗、节约成本、减轻工人的劳动强度、改善作业环境,从而对提高企业核心竞争力,实现可持续性发展具有重要意义。

我国焊接自动化的产业升级具有必然性,具体体现在以下几个方面:

(1) 提高焊接效率 焊接加工是中国制造企业最主要的加工手段之一,以焊接工艺为主导的制造企业焊接工时占产品制造总工时的10%~30%,焊接成本占产品制造总成本的20%~30%,企业从事焊接工作的人员数量占全体员工的20%~30%。提高焊接加工的自动化水平,对企业节约成本,提高效率并实现可持续高速发展具有重要意义。以工程机械典型结构件为例,焊接机器人的工作效率为手工焊接的5倍,大幅提高生产效率的同时降低了操作者的劳动强度。

(2) 提升产品质量 在采用手工焊接工艺的制造过程中,人工控制焊接过程(起弧、收弧、焊接轨迹及参数设置等)的不准确、不稳定导致焊缝成形不好,容易在焊接部位产生气孔、裂纹、未熔合等缺陷。在采用自动化焊接工艺的制造过程中,电弧燃烧稳定,联结处成分均匀,焊缝成形好、焊缝接头少及填充金属熔敷率高。焊接参数实现了自动化的存储与输出,可以保证工艺参数的准确性,保证特殊焊接要求的实现和焊缝质量的重要性。由于焊接自动化在提升产品质量方面具有优势,自动化焊接已经开始逐步取代手工焊接成为焊接加工的主要方法。

(3) 降低营运成本 随着劳动力成本的不断上升,焊接自动化设备性能、效率的不断提高及价格的逐渐降低,自动化焊接和手工焊接相比,较长期来看具有成本优势,同时焊接自动化设备具有的高效率、高稳定性优势,使得制造厂商可以较快的收回焊接系统的投入成本并提高焊接质量。

(4) 改善操作环境 手工操作的焊接作业被公认为是一种有害的作业工种,2002年由卫生部

和劳动保障部公布的我国法定职业病目录中,正式列入了电焊工尘肺、电光性眼炎等焊接职业病,同时还列入了对焊接职业可能产生危害的锰及其化合物中毒、一氧化碳中毒、职业性放射性疾病、电光性皮炎及金属烟热等职业病。焊接自动化设备将手工操作变为自动化机械操作,操作工人远离焊接现场,能够避免上述职业病的发生,同时工人劳动强度也得到了极大降低。通过焊接自动化装备与自动传输系统、自动化检测等其他系统的配套,可组成自动生产线,能够极大改善生产车间内的整体环境状况。

2. 中厚板焊接机器人的发展趋势

焊接自动化设备的技术水平是国家科技水平的重要体现,直接决定了国家重大核心装备的技术水平。目前,我国焊接自动化设备制造企业已经可按客户的不同需求,设计、制造、集成各种类型的专用焊接自动化设备,并大量采用计算机控制技术。部分焊接自动化设备还配备了焊缝自动跟踪系统和图像监控系统,确保了焊接过程中的焊接质量。

我国焊接自动化设备制造技术呈现如下发展趋势:

(1) 精密化、高效化 焊接自动化装备正朝着高精度、高质量、高效率、高可靠性方向发展。要求系统的控制器以及软件具有较高的信息处理速度,系统各运动部件和驱动控制具有高速响应特性,要求其电气、机械装置具有精确的控制,能够长期稳定、可靠的工作。

(2) 模块化 焊接自动化设备的集成化技术包括硬件系统的结构集成、功能集成和控制技术的集成。现代焊接自动化设备的结构都采用模块化设计,根据不同客户对系统功能的不同要求,进行模块组合。而且其控制功能也采用模块化设计,可以根据用户需求,快速提供不同的控制软件模块,提供不同的控制功能组合。模块化、集成化使系统功能的扩充变得极为方便,实现个性化产品的规模化批量生产,降低成本、缩短交货期。

(3) 智能化 将激光、视觉、传感、检测、图像处理、计算机等智能控制技术应用于焊接自动化装备中,使其能在各种环境复杂、变化的焊接工况下根据焊接的实际情况,自动调整、优化焊接轨迹和工艺参数,实现高质量、高效率的焊接智能控

制。智能化的焊接自动化装备,不仅可以指令完成自动化焊接过程,而且可以根据焊接的实际情况,自动优化焊接工艺和焊接参数。例如,在焊接大厚度工件时,智能控制系统可以根据连续实测的焊接工件坡口宽度,通过分析、对比、判断自动确定每层焊缝的焊道数、每道焊缝的熔敷量及相应的焊接参数、盖面位置等工艺参数,完成从坡口底部到盖面层的所有焊接。

(4) 柔性化 现代化生产要求同一台设备能够满足同类型不同规格工件的加工,甚至不同类型工件的焊接自动化加工,同时由于大型焊接自动化成套装备或生产线一次投资相对较高,因此在设计这种焊接装备时需要尽量考虑柔性化,形成柔性制造系统,以充分发挥装备的效能,满足同类产品不同规格工件的生产需要。焊接机器人,标准化、模块化单元,实现多品种、小批量产品的柔性化生产。

(5) 网络化 智能接口、远程通信等现代网络技术的发展,促进了焊接自动化装备管控一体化技术的发展。通过网络将生产过程自动控制一体化,利用计算机技术、远程通信等技术,焊接加工过程和质量信息、生产管理等信息通过网络实现数字一体化管理,实现脱机编程,远程监控、诊断和检修。

(6) 人性化 焊接自动化装备广泛采用数字化、图形化的人机操作界面,设备拥有专家数据库、控制参数实时显示、人机交互等功能,使设备操作更加容易、更加方便。随着技术的不断完善,数字显示技术在人机交互、控制参数实时监测中将得到普遍运用。

3. 国内中厚板焊接机器人生产厂商介绍

目前国内生产中厚板焊接机器人系统比较知名的三家公司,分别是唐山开元机器人系统有限公司、厦门思尔特机器人系统有限公司、昆山华恒焊接股份有限公司。这三家的产品在国内中厚板领域应用是比较广泛的,其中这三家制造厂商生产的产品所使用的机器人本体分别为:日本神户制钢机器人、瑞典ABB机器人、德国KUKA机器人,市场占有率有比重比较大。

唐山开元机器人系统有限公司是唐山开元集团主要成员企业之一,专门从事中厚板机器人焊接系统及生产线的设计、制造、销售和服务业务。公司

产品服务于工程机械、铁路车辆、煤炭机械、建筑钢结构、桥梁、机床、风电等领域,为用户提供了数百套中厚板机器人焊接系统,一直处于行业的领先地位。

厦门思尔特机器人系统有限公司是厦门市高新技术企业,专注于汽车零部件及工程机械行业机器人系统应用的设计制造,多年来为厦工、柳工、龙工、徐工、斗山、杭叉、东南汽车、东风汽车和正兴集团等多家国内大中型企业设计制造出技术先进的机器人应用系统。思尔特公司凭借自身的研发、技术优势,现已成为国际知名的机器人企业ABB在国内的最大合作伙伴之一。高技术含量的工业机器人应用系统,如图1所示。



图1 思尔特铲斗焊接机器人

昆山华恒焊接股份有限公司是我国焊接领域综合技术实力领先的自动化、智能化焊接成套装备的供应商、系统及工艺服务商,主要产品为焊接自动化成套装备(包括自动化管焊机、焊接专机)、工业焊接机器人和数字化逆变焊接电源。是目前行业中个别具备能研发生产组成自动化焊接系统的数字化电源、焊枪、运动装置和定位装置等部件完整的研发生产能力的中国公司。

三、中厚板自动化焊接的应用

在工程机械领域,装载机的动臂、动臂横梁、前车架、后车架、铲斗、摇臂、翼箱,挖掘机的主平台、油箱、动臂、斗杆、X形架、履带梁、挖斗,推土机的后桥箱、平衡梁、台车架、翼板、松土器,泵车的臂架、料斗、回转台、支撑台,汽车起重机的回转台等都涉及到中厚板的焊接。这里就双丝焊接机器人在中厚板方面的应用做一介绍。

双丝焊接是近几年来发展起来的一种高效焊接

方法,焊接厚板大焊缝时可以提高熔敷效率,采用船形焊的焊接熔敷效率为160~220g/min,通常为常规焊接方法的两倍。除了高效外,双丝焊接还有其他的工艺特点:在熔敷效率增加时保持较低的热输入,热影响区小,焊接变形小,焊接气孔率低等。

1. 双丝焊接简介

双丝气体保护焊接工艺,其效率比使用传统的MIG/MAG方法提高两倍以上。是由两个完全独立的微电脑控制TPS增强型电源组成,焊丝分两路单独工作,并且使用同一个喷嘴,形成不同的熔池。双丝焊接机器人如图2所示。



图2 双丝机器人的双丝焊枪

(1) 焊接特性 完善精密的电弧控制系统对焊接顺序、电弧稳定性、焊后参数控制均有深刻的影响。为防止同相位的两个电弧相互干扰,常采用脉冲MIG/MAG焊接方法,并保持两个电弧轮流交替燃烧。这样一来,就要求一个协同控制器保证两个电源的输出电流波形相位相差 180° 。当焊接参数设置到最佳时,脉冲电弧能得到无短路、几乎无飞溅的过度过程,真正做到“一个脉冲过渡1个熔滴”,每个熔滴的大小几乎完全相同,其大小是由电弧功率来决定。焊接时,其中一根可首先引弧,接着另一根引燃,当然,也可以同时引弧,焊接的结果是一样的;焊接结束后,可以单独或同时停机。

(2) 多机共用 使用两台完全独立的增强型电源,通过各自微电脑控制器,每台拥有独立的送丝装置单独控制操作。通过同步器同步控制两台单机使焊接过程更加迅速和完善。

配置了同步装置,在焊接一开始便可实现双丝精确过渡,这是双丝工艺稳定的先决条件,且电弧长度很短并且稳定持续。两根丝单独输送,焊速加快,热输入更小,电弧更短,熔池缩小,依靠这种

先进的引弧技术,速度更快,飞溅极小,可避免众多干扰,随时重新引弧,进而得到更高质量的焊缝。

(3) 一体化焊炬 双丝焊枪要求导电嘴结构更加紧凑。使用双丝焊枪的经验证明:独特设计的曲线送给结构,可确保两路焊丝分别以精确角度进入一体的两只导电嘴,从而得到更安全可靠的电流。准确的电流过渡日益重要,一体化焊炬正顺应了潮流:可靠的引弧系统、稳定的电弧、良好的焊缝成型,成效显著。

(4) 操作设备 具备至少30个连续可调的参数来控制每一台独立工作的电源,电源间通过同步器协调相互的工作,以达到在焊接全过程同步工作。通过遥感器或焊接机器人控制面板输入相关数据,完成已设定好的工作,就是说,一旦选择好方案,就可以不断的重复更新所要的数据。显示屏可以不断刷新的逻辑功能菜单分布合理,容易识别,方便操作。

(5) 送丝流畅 送丝系统使用测速送丝电动机传动,平衡力使压力分布最均匀,结构最大特点在于配套送丝轮可折叠。

很多设计例如水冷盘式控制电动机、温控风扇、焊枪冷却系统等,使得操作人员能长时间“与机共舞”,经济实用。

2. 双丝焊接在装载机臂上的应用

(1) 改进前的状况 项目实施前,大部分的动臂焊缝是在地上手工单丝焊接,生产效率低,焊接过程不稳定,焊缝接头多,焊缝成形差,导致应力集中,容易在受到重载荷的情况下出现开裂。

(2) 改进后的状况 针对动臂人工单丝焊接质量差以及生产效率低的现状,引进了动臂双丝双工位的焊接机器人。

第一,焊缝质量:焊接机器人采用双丝焊接,动臂横梁与动臂板间的主焊缝形式分两层两道,成形美观、外表面光滑,人工焊接时主焊缝形式为三层八道,在焊缝与焊缝过渡间有明显的痕迹,表面不光滑。外表面光滑使焊缝受力时表面应力分布均匀,不易形成应力集中点,可适当提高焊缝寿命。

采用机器人焊接时,焊枪摆动稳定,焊丝伸长均匀,焊接过程稳定,焊缝质量几乎不受外界因素影响,降低了对工人焊接技术的要求,因此焊接质

(下转第22页)

同厚度钢板的最佳切割速度与工作气压参数曲线图,如图5所示。

根据四种不同功率的试验结果,得出的最佳切割参数如表3所示。根据这些数据我们在生产中进行了实际应用切割,效果很好,切割质量大大提高。

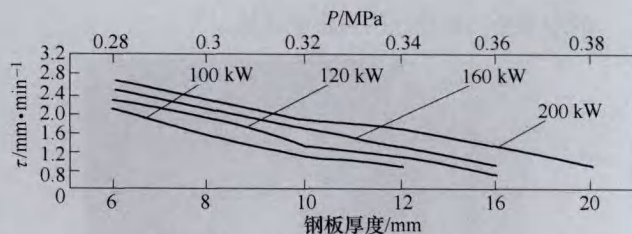


图5 不同功率切割机的最佳参数曲线

表3 中厚板最佳切割参数

切割 电流 /A	切割钢板厚度/mm											
	6		8		10		12		16		20	
	v/mm·min ⁻¹	P/MPa	v/mm·min ⁻¹	P/MPa	v/mm·min ⁻¹	P/MPa	v/mm·min ⁻¹	P/MPa	v/mm·min ⁻¹	P/MPa	v/mm·min ⁻¹	P/MPa
100	2000	0.28	1300	0.3	1000	0.32	800	0.34	—	—	—	—
120	2200	0.28	1800	0.3	1400	0.32	1200	0.34	800	0.35	—	—
160	2400	0.28	2000	0.3	1800	0.32	1400	0.34	900	0.35	—	—
200	2600	0.28	2200	0.3	2000	0.32	1800	0.34	1200	0.35	800	0.38

6. 结语

利用等离子切割中厚板材料在许多工业领域中有良好的应用前景,通过工作气体和切割速度的优化、等离子电源的选择等,可以使中厚度板成功实现了高效切割,切割速度与以前相比可以提升20%。应用结果表明,采用等离子技术切割中厚板

可实现高速、变形小、切割质量好,其热影响区优于其他数控切割的冲击韧性。

随着等离子切割的优越性逐渐得到业内的认可,等离子切割工艺必将在重大装备的中厚板切割甚至厚板切割中得到更为广泛的应用。**MW**

(20121103)

(上接第18页)

量是稳定的。而人工焊接时,焊接速度、焊丝伸长等都是变化的,很容易受到外界因素的影响。

机器人焊接时,动臂主焊缝的每道焊缝只存在一个接头(搭接口、收弧处),而且接头形式标准,能够承受较大的载荷。人工焊接时共三层八道焊缝,每一道焊缝有2~4个接头,共有16~32个接头,这些接头比焊缝其他位置更容易产生应力集中,一旦某个接头有问题,焊缝就会存在质量隐患,容易在受到重载荷的情况下出现开裂。

第二,生产效率:以ZL50C系列产品单丝、双丝焊接时间为例(见表1、表2)来说明双丝焊接生产效率优于单丝焊接。

表1 单丝焊接时间

焊缝 尺寸 /mm	焊缝 面积 /mm ²	焊缝 长度 /mm	焊缝 重量 /g	熔敷率 /g·min ⁻¹	焊接时间 /min	总焊接时间 /min
20	200	1600	2500	78	32.05	64.1

(3) 成本分析 以一台动臂焊接机器人为例进行简要的单丝与双丝焊接成本分析。双丝焊的增加费用为焊接机器人价格200万元,使用期限为

14年,年均14.29万元,维修费为2万元。降低的成本为:动臂单件焊接工时减少0.66h,按构件缴费60.00元/h计算,一台机器人平均一年产出动臂7200件,省28.51万元;年人工成本减少8万元;一台机器人平均一年可产出动臂7200件,人工焊接返修率3.5%,机器人焊接返修率0.7%,每台平均返修0.5h,年节省6.06万元,总计年成本节约26.28万元。

表2 双丝焊接时间

焊缝 尺寸 /mm	焊缝 面积 /mm ²	焊缝 长度 /mm	焊缝 重量 /g	熔敷率 /g·min ⁻¹	焊接时间 /min	总焊接时间 /min
20	200	1600	2500	2100	11.9	23.81

注:动臂焊缝焊接时间5min(机器人寻位时间、动臂翻身时间)+纯焊接时间,因此,单丝焊接时间≈60min;双丝焊接时间≈30min。

四、结语

综上所述,双丝焊接技术在装载机动臂上的应用,不但能大大提高动臂焊机生产效率,而且改善了焊缝质量,减少了焊接飞溅物。对于结构件实施焊接自动化生产,具有较大的指导作用和推广价值。**MW**
(20121106)