

焊接机器人技术在机车底架制造中的应用与研究

王宇卓, 赵 宾

(中车大连机车车辆有限公司, 辽宁 大连 116000)

摘要: 在机车底架制造技术飞速发展的当下, 焊接机器人在生产设备大环境中扮演着极其重要的角色, 因其能够实现未来高工艺装备、高技术产业的发展, 在机车技术领域、经济制造领域中也同样占据着十分重要的位置。随着经济的腾飞, 生活质量及国民生产力的提高, 国内对焊接生产量的需求也逐年增加。近年来, 为了减少高端产品中焊接的人力成本, 工业生产中的电阻点焊和弧焊大量采用自动焊接设备(尤其是汽车工业), 焊接机器人便应运而生, 被迅速普及到制造生产中。基于此, 本文通过对焊接机器人技术在机车底架制造中的应用研究, 与传统焊接人工技术进行比较, 并通过机车底架制造实例提取关键技术, 分析焊接机器人技术的先进工艺, 阐述了对未来焊接机器人在机车底架制造企业的应用策略。

关键词: 机车底架; 机器人焊接技术; 应用策略

中图分类号: TG409

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.29.022

焊接机器人能够大大提高各类焊接作业的效率, 且秉承自动化设备可控、单一、智能化的特点, 在制造业领域独占一隅。然而, 焊接机器人技术具体运用在机车工程制造时仍面临很多挑战, 有诸多亟待完善的问题。针对于此, 推动机器人焊接技术, 加强技术变革发展尤为重要。本文旨在对焊接机器人技术在机车底架制造中的工艺应用进行研究与探讨。

1 机车底架结构工艺简介

底架是机车的主要承载部件, 其结构的复杂程度在机车制造中首屈一指。它承载着机车整体载荷, 并与底部转向架相关联, 维系着机车整体运用中的结构安全。同时, 机车底架传递牵引力、制动力以及复杂的动应力, 在机车的应用中保障底架的结构安全是第一位的。因底架的结构包含众多全熔透坡口焊缝, 亦对底架整体刚度及挠度提出了关键性的要求, 故在制造工艺上对配套设备使用、组装手段、焊接方法及焊接顺序等需进行严格的把控。

其中, 贯穿前后端部的两侧边梁作为底架中主要承载结构, 它的制造过程尤为关键, 严禁出现超出规定范围的旁弯、扭曲等质量问题。为保证后续整体底架的上挠符合 6~15mm 的范围(相对设备安装后出现下挠现象的反变形), 在边梁制造中就需要在焊接后完成 7~12mm 的起拱区间。

2 焊接机器人技术工艺现状

随着工业自动化的不断发展, 焊接机器人在全球工业市场的占有率也逐年递增, 在车辆生产领域早已成为制造阵营里的主力军, 但在机车制造领域仍有很大的发展和利用空间。随着

机车铆焊部分的工作环境越来越恶劣, 对工作效率及质量要求的越来越高, 在这个大环境下, 焊接机器人应运而生。因其在极端条件下完成更复杂的工作任务, 具有极高的工作稳定性、超高的效率, 同时能够大幅度地提高焊接质量、易于质量把控、节约人力成本, 从而推动各领域对机器人展开深入研究, 并将这项设备技术大量应用在机车制造生产中, 对未来实现机车产品高效率、高质量来说尤为关键。

焊接机器人是现代工业机器人发展最重要的方向之一, 美国、日本、德国等发达国家早已把焊接机器人技术的创新和展作为工业智能制造的核心战略^[1]。由于技术的不断迭代发展, 对焊件进行一些质量评定或在工作上提高焊接工人的技能等传统提高焊接质量的方法早已不再适用; 通过利用焊接机器人敏感度高的先进传感器等工具, 实现辅助焊接机器人追踪焊缝, 实时获取焊缝信息, 完成高难度的焊接动作, 实现高精度的焊接。因此, 未来将会有越来越多的焊接机器人被应用到机车底架制造中, 通过对这项技术的不断研究来实现焊接质量和精度的飞跃式提升。

3 焊接机器人技术基础及应用

在机车行业底架整体及零部件的焊接制造中, 因存在一线焊工技能素质、车间环境因素、零部件板材坡口加工及板厚外形尺寸等因素影响, 焊接效率与质量无法得到实时监控与提高。为了能够对底架焊接质量及效率进行更好的控制, 需要将机器人焊接技术引入其中, 利用它与人类的视觉、触觉十分相近的感知功能, 完全胜任人类的原始工作。机器人系统可用于电弧传感设备、激光跟踪、接触设备等, 完成焊接起始点定位和焊

缝跟踪等任务^[2]。

3.1 焊接机器人技术的基础与应用

在与机器人焊接质量相关的技术基础方面，需要着重对其视觉自动识别焊接位置的能力进行深入研究，以及深入探讨其跟踪焊缝技术。由于焊接机器人工艺技术的局限性，导致在焊接前示教器校对的过程中，由于样件组对和加工上的误差，以及每个样件装卡压紧的微小差别，均会导致焊接机器人在实际焊接过程中的误差累计。因强弧光产生的辐射、焊渣及弧光飞溅等，容易导致焊缝造成肉眼可见的偏离和缺陷，加上焊接过程中的温度分布不均、装卡工艺难度大等问题，从而易造成产品焊接质量的降低。自动识别焊缝轨迹与跟踪焊缝技术在实质上，可以理解为随着焊接条件的变化相应的由机器人来进行焊缝的识别与匹配，并对可跟踪的焊缝位置给予足够精确的定位。为了更好地在焊接过程中进行对电压、电流控制的目的，才诞生了通过传感器来实现通过机器人焊枪代替人力焊接的技术措施，在工作的同时计算电弧长度变化，利用示教器提前编辑好行动轨迹，同步软件相关信息，完成对焊缝偏移情况的纠正并实时反馈，实现对焊缝的实时跟踪。

3.2 示教器编程技术的基础与应用

不同厂家型号的焊接机器人具备各自不同的示教器软件编程功能。通过示教器，可以在6个机械臂轴移动焊枪，能够定义空间中焊枪姿态、焊枪摆动方式、焊枪实时位置等参数，同时综合周边收集、控制的设备移动轨迹，来进行下一步的判断与记录。焊接过程跟传统人工焊接类似，有着起弧、收弧、焊枪摆动与停顿、移动速率等设定，编程流程点位如图1所示，在示教结束后进行示教路线的校核，在校核后可开始焊接生产过程。在对结构复杂、焊缝集中、尖锐应力存在普遍的特殊零部件，特别是大批量焊接装配件生产，人工示教势必会因为加工、组对及装卡的误差而产生焊接机器人预设焊道的偏离问题，此时，利用先进的自动追踪传感技术可解决这类问题，使机车车架制造更加科学、高效。

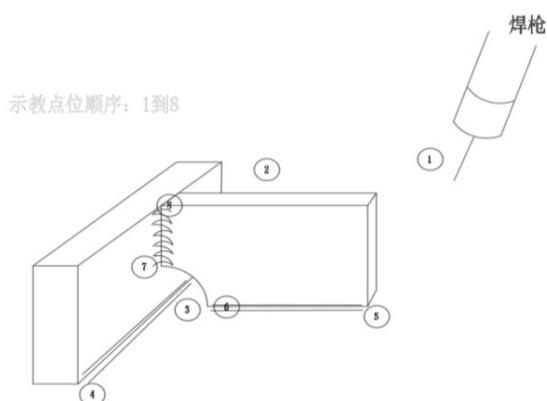


图1 编程流程点位示意图

3.3 机车焊接实例应用

某电力机车底架边梁现批量生产中采用的制造工艺，是将组对后的边梁安装于翻转工装上，再由2名工人由边梁中心线开始，分别向两端头同时进行焊接；焊接完成后，等待空气缓冷（室温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ ），待冷却至室温后将边梁置于平台上，进行直线度、挠度、扭曲的检测；根据具体检测情况，再由专人进行烧调（通过火焰集中加热，使相应母材局部出现重熔重结晶，导致冷却后局部收缩的手法）以保证尺寸。烧调处如图2所示。



图2 HXD3C 边梁火焰烧调位置

这种工艺方式存在一定的缺陷：焊工焊接的不稳定性会导致每次焊接后的边梁出现各种难以预测的扭曲、旁弯等情况；出现的位置复杂多样、尺寸每次都不同，所以焊后需要花费大量的人工时间进行烧调，非常考验烧调和检测的技术水平，容易出现质量缺陷。

此次边梁生产决定采用中梁 IGM 焊接机器人来进行焊接工作，通过设计一套中心带有60mm 挠度的工装，装卡边梁时确保工件的焊接位置的不变性，对预焊接边梁进行焊前反变形处理，以确保抵消焊后焊接收缩所带来的焊接正向变形扭曲的影响。焊接机器人可保证焊接参数的不变性、速度不变性、焊枪角度的不变性等。以上工装工艺与设备的组合，可共同保证焊接变形的稳定性、质量的可控性，使边梁生产程序化成为可能。

焊接过程中，此机车边梁压紧采用5处压紧，压紧及定位接口单侧预留33处，完全满足各种车型的需要；挠度预制点设置33处，每处高度均可调节，机车边梁中央挠度随工装预制60mm。边梁焊接工艺如图3所示，采用45° 船型焊，2台焊接机械手臂分别从边梁中间向边梁两侧焊接。因机车边梁要求满足整车承载足够的动静荷载与疲劳强度，此时需对顶面坡口焊缝进行S10焊接并焊后磨平处理，底面坡口焊缝进行S10打底焊接后a8角焊处理。为满足焊接要求，考虑到焊接收缩与焊接摆臂过程的条件，现先采用双机臂联动焊接底面S10打底焊缝；待焊完后，再进行顶面S10焊缝一遍成型；最后进行底面a8盖面焊缝的焊接。其中在每一个压紧装置处进行停顿

空步摆臂，待焊枪旋转 180° 后，方可从下一段位置起点处开始工作。



图3 边梁焊接

通过焊接机器人对边梁进行焊接，底架边梁直线度可控制在 4mm 以内；通过预制挠度，可保证边梁挠度控制在 4mm 以内，全场上挠控制在 7mm 以内。成品见图 4、图 5。



图4 焊缝成型



图5 边梁冷却完毕

结论分析：现通过 8 组最终成型挠度对比数据得出结论，图 6 最终成型挠度对比图显示，机器人一次成型上挠挠度在本批次生产中趋向平稳、可控，保持在 8~10mm 区间内波动；而手工火焰烧调挠度结果上下波动范围较大，在 6~15mm 区间内

波动，且操作繁琐。

图 7 为焊接总时长对比，其中因机器人焊接后一次成型基本无需火焰调休，手动焊接总时长包括后续调直时间。通过图中所用时长的对比，明显可见机器人焊接在机车底架边梁制造中有着显著的节约工时的优势。

成品经质量检测后已满足工艺制造要求，为后续总底架组对起拱上挠提供了极为合适的尺寸参考。如偶然出现特殊情况，例如由于原材料旁弯问题，焊接机器人传感器灵敏度问题等出现的焊接机器人路径偏离，焊接熄火等导致的焊接时间加长，进而导致焊接变形出现偏差，可通过少量的烧调进行解决。焊接时间可控制在 2.5 小时以内，同时可节省 3 名焊工的人力投入，提高了焊缝质量可控性，完美地体现了焊接机器人在机车底架制造上的优势。

4 焊接机器人在机车底架制造中的应用策略及展望

机车底架制造领域充分利用焊接机器人技术，可完成焊接效率的显著提升，并提高产品的质量，进而通过发挥机器人的制造优势，极大地提升焊接操作的畅通度，还可以在机器人应用技术中实现相互配合、相互发展。机车底架制造企业需要引进先进的焊接自动化设备，配套更为精确、高效率的装配人员与技术水平，按时优化焊接机器人设施，使其能够不断在相关自动化焊接领域中保持先进的技术水平，在机车底架制造领域中更好地发挥优势，提高制造效率及焊接质量。

在对焊接过程监控上及焊接安全操作过程，必须有足够的规定与措施。例如，在端部整体焊接时若发现焊接失误，应按时开启自动化焊接调节功能，处理机器人焊接故障；在焊接机器人操作人员上岗前，需对其进行定期的安全普及教育及安全考核。另一方面，企业需要充分发挥设计及工艺优势，提升金属焊缝的稳定性。

传统的人工焊接方法，常常导致产生焊光，同时存在诸多安全隐患，严重影响焊接人员的工作效率。鉴于此，一方面，企业应积极借助机器人焊接技术，弥补人工焊接技术不足，防止焊光与烟雾大等问题产生，完善机器人加工的焊接环境。另一方面，企业要避免焊接操作工作者的劳动力流失。机车制造企业必须留住高端技术型人才，保证自动化焊接技术的顺利运行，为机器人加工提供良好的焊接环境^[3]。

机车制造企业要着重培养自动焊接技术人员对新技术、新工艺、新设备的理解，为了进一步加快制造企业自动焊技能人才队伍建设，创新自动焊技能人才培养模式，以企业新型学徒制培训为引领，打造一支专业技术素质高、操作能力强、爱岗敬业的复合型自动焊工人才队伍；在开展工作的同时，制造企

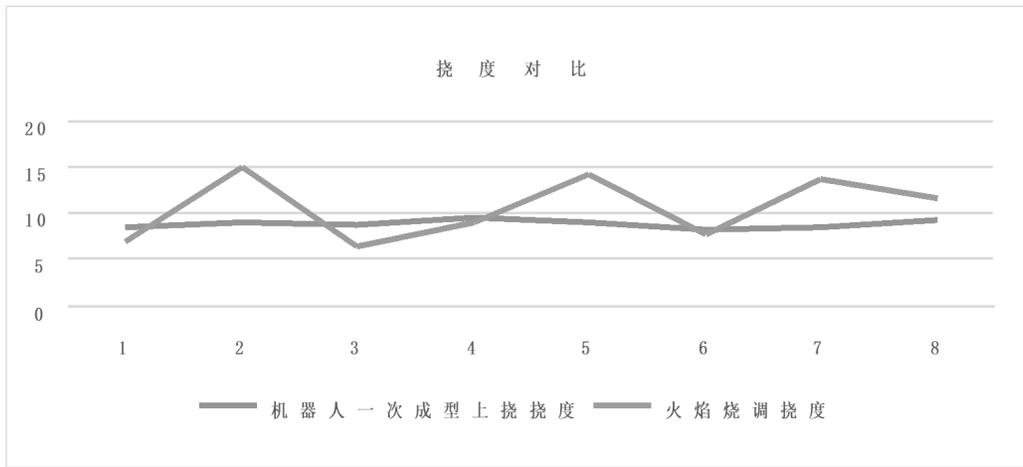


图6 8组最终成型挠度对比

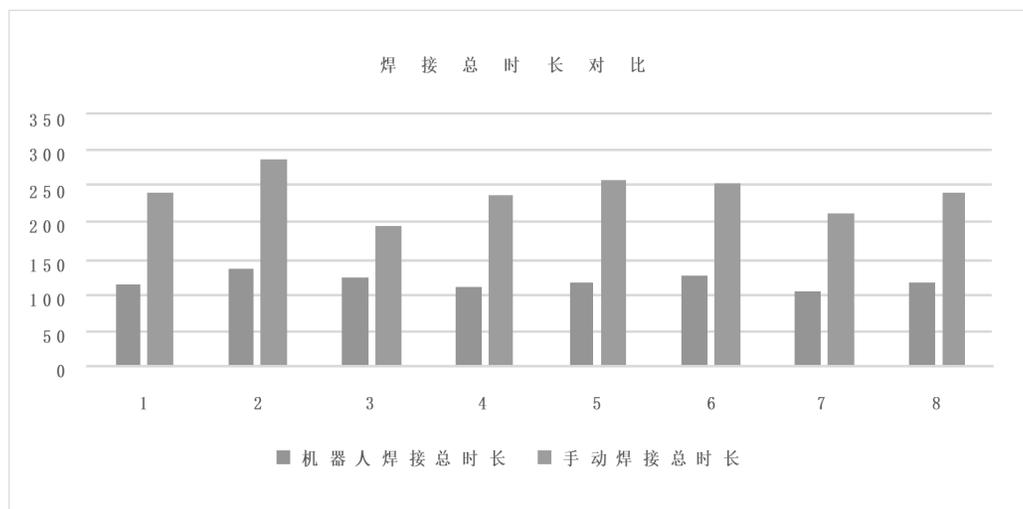


图7 8组焊接总时长对比

业通过道场培训、实地演练、大师讲座等模式，在专家们的展示下，表现给新入职职工焊接机器人中的操作要点及技巧，用对行业高新技术的追求牢牢抓住焊接从业者的兴趣念头。只有人才不断地涌现、不断置身于技术研发与工艺创新中，才能从根本上解决一系列机车底架制造行业落后的顽疾，大幅提高机车制造企业的生产质量与效率。

5 结语

综上所述，焊接机器人技术在机车底架制造工艺中的应用，大大提高了新产品的焊接质量稳定性及生产效率。焊接机器人的应用是一个复杂的、综合的过程，对焊件的设计结构、焊接工艺、零部件质量、焊件的装配质量等各方面提出了新的、更严格的要求。同时，相关工作人员的稳定性也影响着焊接机器人技术应用的好坏，应当在长期的应用中不断积累经验，以最

大程度地发挥机器人技术的应用效益。

参考文献：

- [1] 钱程. 焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术研究[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 057(09): 113-114.
- [2] 麻鹏. 焊接机器人在焊接技术应用中的关键技术研究[J]. 中国科技投资, 2019, (11): 214.
- [3] 李雪飞, 郑娟. 焊接机器人在建筑钢结构制造中的应用探究[J]. 科学技术创新, 2021, (03): 127-128.
- [4] 刘炎昭. 自动焊接技术在机器人技术加工中的应用现状[J]. 内燃机与配件, 2021, (05): 194-195.

作者简介：王宇卓（1991-），男，吉林长春人，工程师，大学本科，主要从事车辆结构工程研究。