

焊接机器人配套电源关键技术研究综述

李小伟

山东交通学院, 山东 济南 250357

DOI: 10.61369/TACS.2025010043

摘要： 焊接机器人作为自动化焊接技术的核心设备，在制造业中的应用日益广泛。配套电源作为焊接机器人的重要组成部分，其性能直接影响到焊接质量和效率。本文综述了焊接机器人配套电源的关键技术，包括高效能电源技术、智能化控制技术、节能环保技术以及焊接过程监测与诊断技术。通过深入分析这些技术的发展现状和应用案例，发现高效能电源在提升焊接速度和焊缝质量方面表现出众，智能化控制技术则实现了焊接参数的自动优化和精准控制，节能环保技术有效降低了焊接过程中的能源消耗和环境污染。未来，随着技术的不断进步和制造业的转型升级，焊接机器人配套电源技术将朝着高效化、智能化、环保化的方向发展，为制造业的智能化转型和可持续发展提供有力支撑。

关键词： 焊接机器人；配套电源；高效能电源技术

Overview of Key Technologies for Welding Robot Supporting Power Supply

Li Xiaowei

Shandong Jiaotong University, Jinan, Shandong 250357

Abstract： As the core equipment of automated welding technology, welding robots are increasingly widely used in the manufacturing industry. As an important component of welding robots, the performance of the supporting power supply directly affects the welding quality and efficiency. This article summarizes the key technologies of power supply for welding robots, including high-efficiency power supply technology, intelligent control technology, energy-saving and environmental protection technology, and welding process monitoring and diagnostic technology. Through in-depth analysis of the development status and application cases of these technologies, it was found that high-efficiency power sources have outstanding performance in improving welding speed and weld quality. Intelligent control technology has achieved automatic optimization and precise control of welding parameters, and energy-saving and environmental protection technology has effectively reduced energy consumption and environmental pollution during the welding process. In the future, with the continuous advancement of technology and the transformation and upgrading of the manufacturing industry, the power supply technology for welding robots will develop towards high efficiency, intelligence, and environmental protection, providing strong support for the intelligent transformation and sustainable development of the manufacturing industry.

Keywords： welding robot; supporting power supply; high efficiency power supply technology

引言

（一）焊接机器人的发展背景

焊接机器人作为自动化焊接设备的关键组成部分，在制造业领域内已经展现出了越来越广泛的应用潜力和发展前景。自20世纪60年代这一技术诞生起，随着科技的不断革新与进步，焊接机器人已从初期执行简单重复劳动的工具，逐步演变为能够胜任复杂焊接任务的高精度自动化设备^[1]。这一演变过程不仅彰显了科技的力量，更体现了制造业对高效率、高质量生产模式的持续追求。

在汽车制造、航空航天、船舶制造及工程机械等多个行业中，焊接机器人的应用日益广泛。它们的加入，不仅显著提升了生产效率，更在降低人力成本、改善工人工作环境方面发挥了积极作用^[2]。

焊接机器人在制造业中的应用已呈现出不可逆转的趋势。随着技术的不断进步和市场的持续扩大，我们有理由相信，焊接机器人将在未来制造业的发展中扮演更加重要的角色，为推动工业行业的高速发展、实现更高的经济效益和社会效益贡献更多力量^[3]。

（二）电源技术在焊接中的重要性

电源技术是焊接过程中的核心环节，对焊接质量和效率具有直接的影响。在焊接作业中，电源的功能不仅限于供给稳定的电流与电压，其核心作用在于维持电弧的稳定燃烧状态，并实现对焊接熔池形态的精确调控。这种控制对于保证焊缝质量、提高焊接速度以及实现自动化控制至关重要^[4]。

随着技术的发展，逆变焊接电源已成为现代焊接技术的重要组成部分。逆变焊接电源通过高频逆变技术，能够实现对焊接电流和电压的精确控制，从而提高焊接的稳定性和质量。此外，逆变焊接电源还具有体积小、重量轻、节能高效等优点，非常适合现代化、自动化的焊接生产需求^[5]。

在焊接电源的控制技术方面，多焊接电源控制技术的发展为焊接过程的自动化和智能化提供了有力支持。这种技术可以实现对多个焊接电源的统一控制，进一步提高焊接效率和稳定性^[7]。同时，随着计算机和网络技术在焊接电源设计中的应用，组织焊接电源数据库、实现电源 CAD 及仿真设计系统，以及构建基于 Web 的焊接电源开发与应用平台，已成为可能，这些技术的发展和應用无疑为焊接电源的设计、开发和应用带来了巨大的便利和价值^[6]。

焊接电源的稳定性和精确性并不仅仅取决于电源本身的技术水平，还与焊接操作的环境、条件以及焊接工人的技能水平等因素密切相关。因此，监管人员在对焊接工作例行检查时，必须对焊缝进行严格的检查，以确保焊接质量^[8]。

随着焊接技术的进步，对焊接电源的要求也在不断提高。例如，高速逆变器的最新进展使得电源能够以数据处理速度控制高电流输出，从而实现了对接电弧的前所未有的控制。这种控制技术的创新不仅推动了焊接技术的进步，也为焊接行业的数字化和智能化发展奠定了基础^[9]。

（三）研究现状与研究意义

焊接机器人配套电源技术的研究正受到国内外学者和企业的高度关注。这一领域的研究不仅关乎焊接机器人性能的提升，更对制造业的整体转型升级具有深远影响。高效能、智能化、节能环保已成为焊接电源技术的重要发展趋势，体现了现代工业对焊接技术的高标准和严要求^[10]。

智能化和节能环保也是当前焊接电源技术研究的热点方向。通过引入先进的控制算法和智能化技术，焊接电源能够实现更为精准的能量控制和更高的能效比，从而降低能源消耗并减少环境污染。这不仅符合绿色制造的发展趋势，也为企业节约了大量成本并提高了市场竞争力。

一、关键技术研究进展

（一）高效能电源技术

得益于半导体技术的飞速发展，高效能焊接电源得以实现。这些电源采用了先进的功率器件和控制电路，不仅具有高精度和高效率，还在稳定性和可靠性方面表现出色。例如，某些高效能电源能够在宽范围内精确调节焊接电流和电压，确保焊接过程的稳定性和可控性。此外，这些电源还具备快速响应的特性，能够迅速适应焊接过程中的各种变化，进一步提升了焊接质量。

在大型结构件的焊接作业中，高效能电源技术的优越性显得尤为显著。鉴于这类焊接任务通常涉及厚重的材料以及复杂的焊缝形态，传统的焊接电源往往难以达到高效、高质量的标准。而高效能电源则能够通过精确控制焊接参数，实现更快的焊接速度和更低的热输入，从而有效减少焊接变形和裂纹等缺陷的产生。这不仅提高了焊缝的质量和性能，还为后续的处理工序带来了便利。

总的来说，高效能电源技术作为焊接机器人领域的关键技术之一，正以其卓越的性能和广泛的应用前景引领着焊接行业的发展。未来，随着技术的不断进步和创新，我们有理由相信，高效能电源技术将在推动焊接自动化、智能化和绿色化方面发挥更加重要的作用。

（二）智能化控制技术

智能化控制在焊接电源领域的应用正日益成为研究的热点。这一技术的核心在于通过集成先进的传感器、精密的算法以及高效的控制系统，赋予焊接电源以智能决策和自适应调整的能力。

在智能化控制技术的引领下，焊接电源已超越了传统电流电压输出设备的范畴，转变为能够实时监测焊接状态并自动优化焊接参数的高级智能系统。例如，借助电弧传感器，焊接电源可以精确地捕捉电弧的动态行为，包括电弧长度、稳定性等关键指标。这些数据经由高速处理器的精密分析处理后，能够迅速转化为对焊接参数的细致调整，进而确保焊接过程的稳定性和焊缝质量的高度一致性。

智能化控制技术还具备远程监控与故障诊断的能力。借助网络连接与云计算技术，焊接电源的运行状态能够被实时上传至远程监控中心，进而实现对设备状态的即时监测与故障预警。这不仅大大提高了设备的可靠性和可维护性，还为生产企业提供了便捷的设备管理手段。

（三）节能环保技术

为了实现开发高效节能、低排放焊接电源技术的目标，研究者们积极探索并采纳了多种前沿的技术手段。其中，功率因数校正技术是一种重要的节能措施。通过优化电源的功率因数，可以

减少无效功率的损耗，提高能源利用效率。这种技术的应用使得焊接电源在工作时能够更加高效地利用电能，从而减少不必要的能源消耗。

软开关技术也是近年来焊接电源节能环保领域的一项重要突破。传统的硬开关在通断过程中会产生较大的开关损耗和电磁干扰，而软开关技术则能够在开关过程中实现零电压或零电流切换，从而显著降低开关损耗和噪声。这不仅提高了焊接电源的效率，也减少了电磁污染，对于实现绿色环保的焊接过程具有重要意义。

（四）焊接过程监测与诊断技术

焊接过程的复杂性决定了对其进行有效监测与诊断的重要性。随着传感器技术和数据分析方法的进步，焊接过程监测与诊断技术已逐渐成为确保焊接质量、提升生产效率的关键环节。

在焊接过程中，通过精确监测各项参数，如电流、电压的波动，焊接温度的变化，以及电弧的稳定性等，可以获得关于焊接状态的实时反馈。这些信息对于操作人员而言，不仅有助于他们及时调整焊接参数，以有效应对焊缝不直、熔深不足或过度熔化等潜在问题，而且能够为后续的焊接工艺优化提供极具价值的支撑。

焊接过程监测与诊断技术还涉及到大量的数据处理和分析工作。通过对传感器采集到的原始数据进行滤波、特征提取和模式识别等处理，可以提取出反映焊接过程状态的关键信息，如焊接速度、熔池形态、热输入量等。这些信息对于评估焊接质量、预测焊缝性能以及优化焊接工艺具有极高的价值。

总体而言，焊接过程监测与诊断技术的深入研究和广泛应用，对于提升焊接过程的自动化与智能化水平、减少对操作人员技能水平的依赖、显著提高焊接质量和生产效率以及推动焊接行业的持续发展与进步具有重要意义。

二、存在的问题与挑战

（一）技术瓶颈与难题

在高效能电源的研发领域，尽管当前的焊接电源已展现出较高的能效和稳定性，然而，随着制造业对焊接效率和质量要求的日益提升，探索如何实现更高的能效和更卓越的性能稳定性已成为该领域研究的重中之重。特别是在高功率、高电流密度条件下，电源的散热、效率及可靠性问题变得尤为突出。此外，高效能电源还需要具备更强的抗干扰能力和更宽广的调节范围，以适应不同焊接材料和工艺的需求。

智能化控制技术方面，传感器的精度和可靠性、算法的优化以及控制系统的实时性等是亟待解决的问题。在焊接过程中，电弧的稳定性、焊缝的跟踪精度以及焊接质量的实时监测都高度依赖于传感器的精确反馈。然而，当前部分传感器在高温、强磁场等极端环境下的性能表现仍有待进一步提升。同时，优化算法的性能对于实现焊接参数的自动调整和焊接质量的自适应控制至关重要。这需要研究者们不断探索新的算法模型，提高控制系统的智能化水平。

节能环保技术方面，随着全球能源危机和环境污染问题的加剧，焊接电源的能效和环保性能受到了越来越多的关注。尽管当前已经采纳了诸如功率因数校正技术、软开关技术以及能量回收技术等节能环保措施，然而在实际应用过程中，这些技术仍面临诸多制约因素。例如，部分节能环保技术的成本较高，难以在中小企业中推广应用；另外，一些技术在降低能耗和排放的同时，可能牺牲了电源的某些性能指标。因此，如何在保证电源性能的前提下，进一步降低能耗和排放、提高设备的环保性能成为了当前研究的热点和难点。

（二）市场需求与竞争态势分析

在制造业持续进步与革新的大背景下，焊接机器人及其配套电源技术的市场需求呈现出多元化、高精尖化的趋势。特别是近年来，全球范围内对于高效能、智能化、节能环保型焊接电源的渴求愈发强烈，这不仅体现了现代工业生产对于焊接效率与质量的极致追求，更彰显了企业在激烈的市场竞争中谋求技术领先与品牌差异化的战略意图。

具体到高效能电源方面，市场期待的是能够在保证焊接质量的前提下，实现更快速的焊接过程、更低的能源消耗以及更高的设备稳定性。这种迫切需求促使研发人员深入探索材料科学、电力电子技术等领域，力求通过技术创新与突破来回应市场的期望。

在智能化控制技术领域，市场的需求则更为迫切。随着工业自动化水平的持续提高，传统的手动或半自动焊接方式已难以契合现代制造业对生产效率及产品一致性的高标准要求。因此，市场急需能够自主感知、实时决策、精准执行的智能化焊接电源，以实现焊接过程的全面自动化与智能化。这种需求不仅推动了传感器技术、数据处理技术、机器学习算法等多个领域的交叉融合，也为智能化焊接电源的研发与应用提供了广阔的市场空间。

节能环保技术的需求也日益凸显。在全球能源危机与环境保护意识不断提升的双重压力下，制造业对于焊接电源的能耗与排放要求越来越严格。市场急需的是既能够满足高效焊接需求，又能够实现低能耗、低排放的环保型焊接电源。这种需求不仅推动了焊接电源在能效提升与环保技术方面的创新与发展，也为绿色制造与可持续发展理念的深入实施提供了有力支撑。

三、结论与展望

（一）研究总结

在高效化方面，未来的焊接电源将更加注重能源利用效率的提升。通过采用先进的电力电子技术，焊接电源的能量转换效率将得到显著提高，从而减少能源浪费。此外，随着新型材料的持续研发与应用，焊接电源的体积和重量将得到进一步优化，进而使焊接机器人更加轻便且灵活，显著提升焊接作业的效率。

智能化是未来焊接机器人配套电源技术发展的另一重要方向。借助人工智能、机器学习等先进技术，焊接电源将具备更强的自适应能力和智能决策能力。它们能够根据不同的焊接任务和环境条件，自动调整焊接参数，确保焊接质量的稳定性和一致

性。同时，智能化的焊接电源还能够实现远程监控和故障诊断，及时发现并解决问题，提高设备的可维护性和使用寿命。

环保化是未来焊接机器人配套电源技术发展不可忽视的一个重要趋势。随着全球对环境保护的日益重视，焊接电源的环保性能将成为评价其优劣的重要指标。未来的焊接电源将更加注重绿色设计和制造，采用低污染、低能耗的材料和工艺，降低对环境

的影响。同时，废弃焊接电源的回收利用流程将得到进一步优化和完善，以确保资源的可持续利用和高效回收。

未来焊接机器人配套电源技术的发展将是一个多元化、综合化的过程，涉及高效化、智能化、环保化等多个方面。这将为焊接机器人的应用开辟更为广阔的前景，并预示着一个更加光明的未来。

参考文献

- [1] 刘群芳, 周胜男, 范和平, 等. 大规模 H 型钢结构自动化焊接生产线工艺流程设计 [J]. 造船技术, 2022, 50(05): 69-71+88.
- [2] 徐佳. 基于激光视觉传感的焊接机器人焊缝识别方法研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2024.
- [3] 刘登华. 焊接机器人的发展及相关技术分析 [J]. 今日自动化, 2022(9): 131-133. DOI: 10.3969/j.issn.2095-6487.2022.9.jrzd202209044.
- [4] 李俊南. 船舶中小组立弧焊机器人焊接电源研究 [D]. 江苏: 江苏科技大学, 2022.
- [5] 刘松. 一种新型变极性等离子弧焊接电源的研制 [D]. 北京: 北京工业大学, 2014.
- [6] 殷树言, 陈树君, 刘嘉, 等. 逆变焊接电源及现代焊接技术现状与思考 [J]. 电焊机, 2003, 33(8): 12-17.
- [7] 张嘉波, 张宪. 多焊接电源控制技术 [J]. 轻工机械, 2011, 29(4): 63-67.
- [8] 王锦, 陈宏燕. 电厂焊接缺陷产生的原因机理与处理措施分析 [J]. 电源技术应用, 2013(6): 323.
- [9] Jim Rappi; J Rappi A Power Play: to truly understand welding technology advances, you have to check your (power) sources Canadian Metalworking 2006.
- [10] 魏娜然, 刘明亮, 唐文庆. 我国焊接技术的发展现状及趋势 [J]. 科技创新导报, 2009(3): 2-2.