

自动化焊接技术在钢结构制造中的应用

苏家汉

润建股份有限公司 广西 南宁 530000

摘要：本文聚焦自动化焊接技术在钢结构制造中的应用，阐述其定义、系统构成及工作原理。通过分析该技术在钢结构建筑、桥梁制造、机械制造与能源电力领域的具体实践，指出其具备提高生产效率、提升焊接质量、降低成本、增强作业安全性等显著优势。同时探讨智能化、数字化、模块化及绿色化的发展趋势，表明自动化焊接技术对推动钢结构制造行业转型升级具有重要意义。

关键词：自动化焊接技术；钢结构制造；应用

1 自动化焊接技术概述

1.1 自动化焊接技术定义

自动化焊接技术是一种基于现代电子技术、计算机技术、传感技术与机械制造技术的综合性焊接工艺，通过预先设定的程序与自动化设备，实现焊接过程的无人或半无人操作。相较于传统手工焊接依赖焊工经验与操作技巧，自动化焊接技术将焊接参数精确量化，使电弧引燃、焊枪移动、焊缝填充、焊接速度控制等环节，均能按照既定指令精准执行。该技术不仅涵盖对焊接过程的自动化控制，还包括焊接前的工件定位、装夹，以及焊接后的焊缝检测与处理，形成一套完整的自动化流程体系。其核心目标在于提升焊接生产的效率、质量稳定性，降低劳动强度与人为因素导致的焊接缺陷，是现代制造业实现高效、精密生产的关键技术之一。

1.2 自动化焊接系统的构成与工作原理

自动化焊接系统主要由焊接电源、焊枪与送丝机构、机械运动系统、控制系统以及传感器系统五大部分构成。焊接电源作为系统能量来源，能够根据焊接工艺需求，输出稳定的电流、电压，以满足不同焊接方法（如弧焊、电阻焊等）的能量供给；焊枪与送丝机构负责将焊接材料（焊丝、焊条等）精准输送至焊接部位，并在电弧作用下实现材料的熔化与连接；机械运动系统则通过伺服电机、导轨、传动装置等，驱动焊枪按照预设轨迹移动，完成焊缝的连续焊接；控制系统是自动化焊接系统的“大脑”，其包含计算机、可编程逻辑控制器（PLC）等，可根据焊接工艺要求，对焊接参数（电流、电压、焊接速度等）与机械运动轨迹进行编程与实时调控；传感器系统则如同系统的“感官”，通过电弧传感器、激光视觉传感器、温度传感器等，实时监测焊接过程中的电弧状态、焊缝位置、熔池温度等信息，并将数据反馈至控制系统，以便进行动态调整^[1]。自动化焊

接系统的工作原理是基于闭环控制理论。在焊接前，操作人员通过控制系统设定焊接参数与运动轨迹，启动系统后，焊接电源输出电能，焊枪与送丝机构开始工作，机械运动系统带动焊枪移动。在此过程中，传感器系统实时采集焊接信息，并将数据传输给控制系统，控制系统将实际参数与预设参数进行对比，若存在偏差，则立即发出指令，调整焊接电源输出、送丝速度或机械运动轨迹，从而确保焊接过程始终处于稳定、精确的状态，最终完成高质量的焊接作业。

2 钢结构制造中自动化焊接技术的应用

2.1 自动化焊接技术在钢结构建筑中的应用

在钢结构建筑领域，自动化焊接技术已成为提升建造质量与效率的核心驱动力。随着城市化进程加速，高层建筑、大跨度场馆等大型钢结构建筑不断涌现，其构件往往具有体量大、形状复杂、精度要求高的特点，传统手工焊接难以满足大规模、高质量的生产需求。自动化焊接技术凭借龙门式焊接机器人、悬臂式焊接设备等先进装备，可高效完成钢梁、钢柱等构件的对接焊、角焊等多种焊接工艺。以超高层建筑的钢结构框架焊接为例，单栋建筑往往包含数千条焊缝，采用自动化焊接设备，可依据构件尺寸与焊接要求，通过编程实现快速、精准焊接，其工作效率较手工焊接提升3-5倍。例如，在某300米高的地标性建筑施工中，自动化焊接设备每日可完成相当于10名熟练焊工的工作量，且焊缝均匀度误差控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内，显著提高了结构强度一致性。激光跟踪系统的应用解决了构件加工误差导致的焊接难题，通过实时监测焊缝位置，每秒可进行200次焊枪姿态调整，确保焊接精度，为建筑整体稳定性与安全性提供坚实保障。在预制装配环节，自动化焊接生产线实现了构件的标准化、批量生产，使建筑工期缩短约30%，施工成本降低20%，推动钢结构建筑行业向工业化、智能化方向

迈进。

2.2 自动化焊接技术在桥梁制造中的应用

桥梁作为交通基础设施的关键节点，其结构需承受车辆荷载、风荷载、地震荷载等复杂外力，焊接质量直接决定桥梁的使用寿命与通行安全。自动化焊接技术在桥梁制造中发挥着不可替代的作用，广泛应用于大型桥梁钢箱梁、桥墩钢围堰等关键部件的焊接施工^[2]。在钢箱梁焊接过程中，自动化焊接技术采用双丝埋弧焊、多枪同步焊接等工艺，可实现多道焊缝同时作业，焊接速度较传统单丝焊接提升2倍以上，且焊缝熔深增加40%，显著增强焊缝力学性能。如港珠澳大桥钢箱梁制造中，自动化焊接机器人在恶劣的海洋环境下，克服高湿度、强盐雾等不利因素，通过恒温恒湿的焊接环境控制与智能防变形技术，确保了50万条焊缝的高质量完成，焊接缺陷率低于0.3%。自动化焊接技术与BIM技术的深度融合，为桥梁制造带来了革命性变革。通过建立焊接过程的三维数字模型，可提前模拟焊接顺序与热变形情况，优化焊接工艺参数，减少现场施工误差。数据显示，应用BIM辅助自动化焊接技术后，桥梁构件制造精度提升至 $\pm 1\text{mm}$ ，整体施工效率提高25%，为我国桥梁建设从“中国制造”迈向“中国智造”奠定了坚实基础。

2.3 自动化焊接技术在机械制造与能源电力领域的应用

在机械制造与能源电力领域，自动化焊接技术凭借高精度、高效率、高可靠性的优势，成为推动行业升级的关键技术。在机械制造行业，其应用覆盖汽车制造、重型机械等多个细分领域。汽车制造中，自动化焊接生产线集成点焊机器人、弧焊机器人，通过柔性化编程实现不同车型的快速切换，可在60秒内完成一辆汽车车身框架的焊接，焊点质量一致性达99.9%，大幅提升生产效率与产品质量。在重型机械制造方面，针对挖掘机、起重机等设备的大型钢结构部件，自动化焊接设备采用厚板多层多道焊工艺，配合激光视觉引导系统，可精准完成复杂空间焊缝焊接，使结构件承载能力提升15%，有效延长设备使用寿命。能源电力领域对焊接质量要求极为严苛，自动化焊接技术成为保障设备安全运行的核心技术。在火力发电站，自动化焊接设备通过脉冲氩弧焊、窄间隙焊接等工艺，对高温高压管道、锅筒进行焊接，焊缝密封性达到氦质谱检漏标准，有效防止高温介质泄漏。在风力发电设备制造中，针对塔筒超长、超大直径的特点，自动化焊接技术采用螺旋式焊接工艺，配合旋转支撑系统，确保塔筒圆度误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，显著提升风机运行稳定性。而在核电站核岛设备焊接中，自动化

焊接机器人配备放射性防护系统，在高辐射环境下仍能保持0.1mm级的焊接精度，满足核级设备对焊接质量的严格要求，为我国清洁能源产业发展提供了技术支撑。

3 自动化焊接技术的优势

3.1 提高生产效率，缩短制造周期

自动化焊接技术显著提高了焊接生产效率，有效缩短制造周期。相较于手工焊接，自动化焊接设备能够持续稳定工作，不受人员疲劳、工作时间限制等因素影响。例如，自动化焊接机器人可实现24小时不间断作业，其焊接速度通常是手工焊接的数倍甚至数十倍^[3]。在钢结构建筑的钢梁焊接中，一台自动化焊接设备一天的焊接工作量，相当于多名熟练焊工的工作总量。自动化焊接设备可根据预设程序快速切换不同的焊接工艺与参数，无需像手工焊接那样频繁调整设备与更换焊接材料，减少了辅助时间。自动化焊接生产线能够实现多工位协同作业，各工序紧密衔接，进一步提高生产效率，使产品能够更快地投入市场，增强企业的市场竞争力。

3.2 提升焊接质量，减少缺陷率

自动化焊接技术通过精确的参数控制与稳定的焊接过程，大幅提升了焊接质量，有效减少了焊接缺陷率。自动化焊接设备能够将焊接电流、电压、焊接速度等参数精确控制在极小的误差范围内，避免了因人工操作不当导致的焊接缺陷，如焊缝不均匀、气孔、夹渣等。同时自动化焊接技术配备的传感器系统可实时监测焊接过程，一旦发现异常情况，立即反馈并进行调整。例如，激光视觉传感器能够准确识别焊缝位置与形状，自动调整焊枪姿态，确保焊缝与母材的良好融合。另外，自动化焊接技术还可通过对焊接工艺的优化与模拟，提前预测焊接变形与残余应力，采取相应的预防措施，保证焊接结构的尺寸精度与力学性能。经过自动化焊接的产品，其焊接质量稳定性与可靠性得到极大提升，降低产品的返修率与报废率，提高企业的经济效益与产品信誉。

3.3 降低人工成本，提高材料利用率

自动化焊接技术的应用有效降低了人工成本。随着劳动力成本的不断上升，企业面临着较大的用工压力，而自动化焊接设备可替代大量人工操作，减少对焊工数量的需求。虽然自动化焊接设备的初期投资较大，但从长期来看，其运行成本相对较低，且无需支付人员工资、保险等费用。同时自动化焊接技术能够精确控制焊接材料的使用量，避免手工焊接过程中因操作不当导致的材料浪费。例如，自动化送丝机构可根据焊接工艺要求，精准输送焊丝，减少焊丝的过度消耗。自动化焊接设备还可对焊接参数进行优化，提高焊接效率，从而降

低单位产品的能源消耗。通过降低人工成本与提高材料利用率,企业能够实现生产成本的有效控制,提高产品的利润空间。

3.4 增强作业安全性,减少焊接事故风险

焊接作业长期面临高温、电弧辐射、有害气体(如一氧化碳、氮氧化物、金属烟尘)等多重危险因素,据统计,传统手工焊接作业中,焊工患尘肺病、电光性眼炎等职业疾病的概率较普通工种高出3-5倍,且每年因焊接操作不当引发的火灾、爆炸事故占工业事故总数的15%以上。自动化焊接技术通过智能化、无人化操作模式,从根源上规避了人员与危险环境的直接接触。操作人员可在安全距离外,通过数字化界面完成设备编程与运行监控,使焊接电弧、高温熔池等危险区域的人工干预减少90%以上,有效避免烫伤、弧光灼伤等意外伤害。自动化焊接设备集成的多重安全防护体系进一步筑牢安全防线。在深海管道焊接中,遥控焊接机器人通过水下作业系统,在千米深海高压、低温环境下稳定作业,避免潜水员因减压病等风险造成伤亡;核电站核岛设备焊接中,配备辐射屏蔽装置的自动化机器人,可在强辐射环境下保持精准作业,使操作人员辐射暴露剂量降低99%以上。这些应用不仅保障特殊领域作业的安全推进,更为高危行业的可持续发展提供技术保障。

4 自动化焊接技术的发展趋势与前景

4.1 智能化与数字化发展趋势

智能化与数字化是自动化焊接技术未来的重要发展趋势。随着人工智能、大数据、物联网等技术的不断发展,自动化焊接技术将实现更高水平的智能化。智能焊接机器人将具备自主学习与决策能力,能够通过对大量焊接数据的分析与学习,自动优化焊接工艺参数,适应不同的焊接工况。例如,基于深度学习算法的焊接机器人,可根据焊缝的实时图像信息,自动调整焊接电流、电压与焊枪姿态,实现高质量的焊接。数字化技术将贯穿焊接生产的全过程,通过建立焊接过程的数字孪生模型,对焊接工艺进行虚拟仿真与优化,提前预测焊接质量与变形情况,提高焊接生产的准确性与可靠性。物联网技术的应用将实现焊接设备的远程监控与故障诊断,

使企业能够实时掌握设备运行状态,及时进行维护与管理,提高设备的利用率与使用寿命。

4.2 模块化与绿色化发展方向

模块化发展将使自动化焊接设备更加灵活、便捷。未来的自动化焊接设备将采用模块化设计理念,将焊接电源、焊枪、机械运动系统等部件进行标准化、模块化设计,用户可根据不同的焊接需求,快速组合与更换模块,实现设备功能的多样化与个性化定制^[4]。这种模块化设计不仅降低了设备的研发与生产成本,还便于设备的维护与升级。绿色化发展是自动化焊接技术适应可持续发展要求的必然趋势。未来的自动化焊接技术将更加注重节能减排,通过优化焊接工艺、采用高效节能的焊接电源等措施,降低焊接过程中的能源消耗与污染物排放。另外,绿色焊接材料的研发与应用也将成为重点方向,开发无毒、无害、可回收的焊接材料,减少焊接对环境与人体健康的影响,推动自动化焊接技术向绿色、环保方向发展。

结束语

自动化焊接技术凭借高效、精准、安全等特性,已成为钢结构制造行业发展的关键支撑。从建筑到桥梁,从机械制造到能源电力,其应用深度与广度不断拓展,为行业带来显著经济效益与社会效益。展望未来,随着智能化、绿色化等技术趋势的深化,自动化焊接技术将持续创新突破,在提升钢结构制造水平、推动制造业高质量发展中发挥更大作用,助力行业迈向智能化、可持续发展新征程。

参考文献

- [1]王晓光.机械制造中机械焊接质量的控制与对策研究[J].内燃机与配件,2020(10):189-190.
- [2]王精莉.探究焊接组装机在生产实践中的设计与应用[J].电子元器件与信息技术,2021,5(8):57-58.
- [3]王运涛.自动化焊接技术在机械制造中的实践路径分析[J].农业装备技术,2022,48(03):62-64.
- [4]李运强,张文广.自动化焊接新技术在机械制造中的应用[J].现代制造技术与装备,2023,59(02):185-187.