

人工智能技术在焊接装备及工艺控制中的应用

康宝宁

摘要：本文旨在探讨人工智能技术在焊接装备及工艺控制中的应用。首先阐述了人工智能技术的基本概念和发展现状，接着分析了其在焊接装备及工艺控制中的应用优势，包括提高焊接效率、提升产品质量等方面。然后详细介绍了人工智能技术在焊接装备及工艺控制中的具体应用，如专家系统、神经网络技术、模糊控制技术以及在焊接质量控制中的应用。最后得出结论，人工智能技术的应用为焊接行业带来了显著的变革和提升，具有广阔的发展前景。
关键词：人工智能技术；焊接装备；工艺控制；应用

引言

自20世纪80年代起，人工智能开始应用于焊接领域。焊接技术作为机械制造和工程建设领域的关键加工技术之一，其发展水平关系到新型材料的开发应用、关键零部件的精度寿命和重大工程的质量成本等内容。传统焊接工艺高度依赖人工经验，存在焊接质量不稳定、生产效率低、劳动强度大、安全隐患突出等问题，难以满足智能制造对高精度、高效率、智能化的生产要求。在此背景下，将人工智能技术与焊接工艺深度融合，发展AI焊接技术，成为推动焊接行业智能化升级的必然选择。

一、人工智能技术概述

人工智能这一学科致力于研究如何让计算机系统能够模仿人类的智能行为，它包括了众多的技术和领域，例如机器学习、深度学习、自然语言处理以及计算机视觉技术等。在焊接行业中，人工智能技术主要是通过融合机器视觉、深度学习和自适应控制等先进的智能技术，来达到对焊接过程进行实时监控、参数动态调整的目的，实现缺陷的智能识别和质量预测。

机器学习作为人工智能的重要分支之一，可以使计算机系统在不需确定编程指令的情况下，通过数据来研究模式与规则。在焊接工艺方面，利用机器学习可对工艺参数进行优化并预测焊接质量。比如，在海量焊接数据上进行分析，机器学习算法能够寻找到最优焊接参

数组组合，从而提高焊接质量与效率。

深度学习作为机器学习的子集，采用多层神经网络对数据进行处理与分析。在焊接领域中，深度学习可应用于焊接缺陷自动识别与分类。通过学习大量的焊接缺陷图像，深度学习模型能够准确地识别出各种类型的焊接缺陷，例如气孔、裂纹等，并能够及时发出警报，以便采取适当的措施。

计算机视觉是一种借助计算机模拟人类视觉系统功能的技术，它能够用于焊接过程的实时监测和焊缝的追踪。基于机器视觉的焊缝跟踪系统能够对焊缝位置、形状进行实时检测，对焊接设备的位置、姿态进行自动调节，从而保证焊接过程准确、稳定。

二、人工智能技术在焊接装备及工艺控制中的应用优势

（一）提高焊接效率

在传统的焊接模式下，焊工的技能水平、疲劳度和情绪波动会造成焊接效率不高。而人工智能技术的运用能够显著提升焊接效率。一方面，AI算法能够对焊接路径和工艺参数进行优化，缩短焊接辅助时间。例如，智能焊接设备会通过整合智能算法来优化焊接工艺，降低焊接缺陷与变形，以提升生产节拍。根据相关的科学研究，利用AI算法对焊接路径和工艺参数进行优化，能够将焊接的辅助时间缩短20%—40%。

另一方面，自动化焊接设备以人工智能技术为支撑，能够实现持续高效地焊接作业，并避免人工焊接时的停顿与休息。在主要依赖手工焊接工艺的机械产品制造过程中，如果能采用自动化焊接技术来替代传统的手工焊接方式，那么焊接所需的总工时最多可以减少超过80%，通过将制造成本降低至原先的1/8，产品的制造效率得到

作者简介：康宝宁（1990.05——），男，汉族，大专学历，助理工程师，主要从事风电塔筒焊接技术及质量管控方面的研究工作。

了显著的提升。

（二）提升产品质量

焊接质量作为焊接工艺中的一项关键指标，在传统人工焊接过程中不可避免地会发生判断或操作上的错误，从而造成焊接质量问题。而将人工智能技术运用到焊接质量控制当中，能够有效地提高产品的质量。

基于机器视觉与深度学习相结合的焊接质量检测系统，能够对焊接过程中焊缝质量进行实时监控与评价。这套系统融合了尖端的计算机视觉技术和深度学习方法，可以精确地检测焊接中的缺陷，例如气孔、裂纹、未熔合等，并能够迅速发出警告，从而实施必要的修复措施。与此同时，智能化焊接工艺优化可通过一体化智能算法来优化焊接工艺，降低焊接缺陷与变形，提高焊接精度与速度等。

另外，AI焊接技术生成的生产数据具有可追溯性和可分析性，为工艺优化和质量管控提供数据支持，帮助企业建立数字化和智能化焊接生产体系。例如，AI焊接技术引入了机器视觉、深度学习和自适应控制等智能工具，能够对焊接过程进行实时监控和参数动态调整，实现缺陷智能识别和质量预测，有效地解决了传统焊接的痛点，适应了智能制造中焊接环节高质量、高效率 and 低成本的要求。

三、人工智能技术在焊接装备及工艺控制中的具体应用

（一）专家系统应用于焊接工艺控制

专家系统在焊接工艺控制中的应用是焊接领域向智能化方向发展的一个重要标志，具有显著的优点和关键作用。它以计算机和互联网技术为依托，能够把焊接工艺参数建立在专家数据库中，使焊接设备制造模块化，工艺参数专家化，过程控制数字化，生产过程智能化，技术管理网络化等。

在异型辊的焊接中，专家系统显示了强大的作用。一类是焊前将辊子外形尺寸等参数输入，焊接时机头在其控制下沿输入参数运动，但对输入参数的准确性和操作人员素质要求较高；另一类采用闭环控制的方式，通过“位置感应器”实现机头随着辊子直径的改变而上下移动，而在机头定位起始点的过程中完成辊子直径参数的输入，计算所需的转速并进行调节，以最大限度地保证焊接的稳定性及质量。专家系统也可以提供实时监控、数据分析等功能，帮助企业洞悉生产中存在的问题和需求，并有针对性地加以改进和优化。

（二）神经网络技术在焊接装备及工艺控制中的应用

神经网络技术已在焊接装备和工艺控制等领域显示出了较强的应用价值。这是一种模拟人类思维、适用于多场复合焊接过程工程建模的数学模型，对焊接领域中许多技术分支都起到了举足轻重的作用。在焊接工艺参数辅助设计中，神经网络依靠其较强的学习能力及泛化能力，可以通过学习海量焊接数据来建立焊接工艺参数到焊接质量的映射关系，在输入焊接材料、接头形式信息的情况下输出最优的参数组合。在焊缝成形控制中，能够对焊缝的形状及大小进行实时监控，并依据监控结果对焊接参数进行动态调节，以确保焊缝的良好成形。在电弧跟踪控制方面，通过对电弧信号进行分析与处理，从而达到准确控制电弧位置与姿态的目的。在焊接质量评价与预测方面，根据焊接过程实时数据对焊接质量做出精确的评价与预测，预先发现可能存在的质量问题。以交流电阻点焊为例，应用人工神经网络技术将多种动态电参数融合处理后构建的低碳钢点焊质量监控系统，该设备具备实时在线检测和预测熔核尺寸的能力，其熔核直径的平均预测误差低于5%，熔核高度的平均预测误差也低于8%，完全能够满足工程的实际需求。

（三）模糊控制技术在焊接装备及工艺控制中的应用

模糊控制技术在焊接装备和工艺控制等诸多方面显示出了突出的价值。在焊接质量控制中，由于焊接过程中存在复杂的物理化学冶金反应，并伴随着激烈的传热传质过程，很难实现实时检测，模糊控制可以在没有精确数学模型的情况下，仿照专家及熟练工人的经验来实现实时控制。华南理工大学的宋永伦等人设计的自组织模糊控制器，在焊缝跟踪方面，与CCD视觉传感和图像信息处理技术相结合，用于TIG焊接，在平板对接的环境中，能够实现更出色的在线追踪性能，并对焊缝路径的变动表现出良好的自适应性。

弧焊电源控制向智能化方向发展，而电子控制弧焊逆变器的出现给模糊控制带来了可能性。河海大学的姚河清等人进行了CO₂气保护焊焊枪高度控制系统的研究，该系统使用燃弧占空比电弧传感器来测量焊枪的高度，并采用模糊控制器进行控制，以燃弧占空比偏差及偏差变化率为输入变量、焊枪高度调整步进电机的输出步数为输出值进行实验，实验证明控制效果较好。

对于埋弧自动焊弧长的控制，传统的方法在粗丝大电流运行过程中动态响应较慢，过程稳定性较差，而模糊控制不需要数学模型，控制规则易于建立，系统鲁棒

性较高,适合非线性、时变和滞后系统的埋弧自动焊弧长控制。相关实验表明,利用模糊控制系统可以使焊接过程平稳,焊缝成形良好。

(四) 焊接质量控制中的AI应用

AI技术是焊接质量控制领域中发挥关键作用的技术,它全面涵盖了缺陷检测、质量评估及过程监控的核心环节。在缺陷检测环节,将机器视觉、高速相机以及深度学习算法进行深度融合,以实现焊缝表面缺陷的实时准确识别。大族机器人开发的E03-Pro协作机器人依靠所装备的焊缝视觉跟踪系统,实现了0.1mm量级微小缺陷的自动抓取,重复定位精度达到 $\pm 0.02\text{mm}$,为表面质量把控工作提供了可靠保证。针对焊缝内部缺陷,采用AI技术辅助X射线或超声波成像,并与CNN模型相结合的方法进行分析。基于ResNet技术的X射线焊缝缺陷分类系统展现出了卓越的性能,它不仅可以准确地识别如裂纹、未熔合等内部缺陷,而且其检测准确率高达99.2%,并且检测速度比传统方法提高了五倍,显著地提

高了检测效率。在过程监控中,SCADA系统是数据采集的重要手段,对焊接参数和设备状态数据进行实时采集。柏楚电子自主研发的智能焊接软件依靠大数据分析技术对质量波动规律进行深度挖掘,能够对300多个焊接参数进行同步监测,利用AI算法对质量风险进行预测,预先调整和优化工艺,保证了焊接过程的稳定性和可靠性,提高了焊接质量的各个方面。

结论

人工智能技术借助专家系统、神经网络、模糊控制等技术,使焊接装备与工艺控制实现智能化、自动化、精准化。它在提高焊接效率、改善产品质量和降低生产成本方面展现出显著优势,成为焊接行业转型升级发展的核心动力。今后,在5G、物联网以及数字孪生技术结合运用下,AI技术会进一步扩展到焊接工艺仿真、远程监控以及智能决策等方面,为焊接行业高质量发展带来更大动力。

参考文献

- [1]高正忠,王俊.人工智能在核化工工程中的应用与进展[J].百科知识,2025,(18):4-6.
- [2]单勇,张月来.激光焊接在轨道车辆制造中的应用需求与展望[J].激光技术,2025,49(04):609-616.
- [3]韦汉玲.人工智能技术在焊接装备及工艺控制中的应用[J].造纸装备及材料,2024,53(09):96-98.
- [4]卢润坤,陈金忠,张玉媛,等.“人工智能+”赋能特种设备全生命周期高质量发展[J].中国市场监管研究,2024,(06):38-43.
- [5]唐睿炎.机电一体化技术在智能制造中的应用分析[J].时代汽车,2023,(10):131-133.



图1 E03-Pro协作机器人