

机电焊接机器人在管道焊接中的智能化调度与路径规划

俞金烽 朱国栋

杭州德瑞宝管道科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 机电焊接机器人通过智能调度与路径规划,在管道焊接中显著提升了生产效率和焊接质量。基于某石化厂管道焊接案例,智能调度系统能够根据实时数据自动调整作业任务和顺序,优化机器人的作业路径,有效减少了空闲时间,提高了作业效率。路径规划技术的应用使机器人能够适应复杂的管道形态,保证焊接的精准度和稳定性。通过智能化系统,焊接机器人在提升效率的同时,也优化了焊接质量,减少了人工操作带来的误差。未来,随着智能化技术的发展,多机器人协作与系统集成将成为焊接领域的关键趋势,推动智能焊接技术在其他行业中的广泛应用。

关键词: 机电焊接机器人;智能调度;路径规划;管道焊接;自动化

引言

传统的人工焊接作业不仅面临着高成本、低效率等问题,而且难以保证稳定的焊接质量。为解决这些问题,智能化调度与路径规划技术应运而生。智能调度系统通过实时数据反馈,自动调整焊接机器人作业的路径与任务安排,确保作业高效、精准地进行。而路径规划技术则使机器人能够根据复杂管道形态,自主计算最优焊接轨迹,减少人工干预带来的质量波动。智能化焊接技术在提升生产效率的同时,也为管道焊接行业带来了更高的安全性和可靠性。随着相关技术的进一步发展,智能焊接将在多个领域得到更广泛的应用。

1 管道焊接中机电焊接机器人的应用现状与挑战

1.1 管道焊接的技术特点与难点

管道焊接作业通常涉及高温、高压和复杂环境,这使得焊接过程中容易出现质量波动。管道的形态与尺寸常常不规则,且需要在有限的空间内进行焊接作业,造成了操作的局限性。管道经常处于高温或低温环境中,焊接过程中材料的热膨胀与冷却会对焊缝质量产生不利影响。焊接的精准度要求极高,特别是在管道接口部位,任何微小的偏差都可能影响整体结构的安全性。在这种情况下,焊接质量的保证不仅依赖于操作人员的技术水平,也受限于设备的精度与适应性。

1.2 机电焊接机器人应用的现状

随着工业自动化的不断发展,机电焊接机器人逐渐成为管道焊接的重要工具。这些机器人能够实现高精度、高效率的焊接作业,尤其是在复杂或危险的作业环境中,其优势更加明显。现代焊接机器人多采用集成化设计,配备了先进的传感器与控制系统,能够精确识别管道的位置与焊缝的形状,调整作业路径与速度,确保焊接质量。

1.3 面临的主要技术挑战

尽管机电焊接机器人在管道焊接中展现出较高的自动化水平,但仍然面临诸多技术挑战。管道的复杂形态和不规则尺寸要求机器人具备高度适应性和灵活性,尤其在狭小空间或不规则角度的操作中,机器人路径规划和姿态控制的精度对焊接质量至关重要^[1]。智能化调度系统需要实时监控现场状况,并根据变化及时调整作业计划,这要求系统具备强大的数据处理能力和动态调整能力。焊接过程中材料的变化与环境的影响也对机器人的传感器和反馈机制提出了更高的要求,如何保证机器人在复杂、多变的环境下持续稳定地进行高质量作业,是目前亟待解决的技术难题。

2 智能化调度在管道焊接中的实际应用

2.1 智能调度系统的构建与工作原理

智能调度系统在管道焊接机器人应用中的核心功能是实现机器人作业任务的高效分配与优化调度。该系统通过集成传感器数据、机器人状态信息和生产需求,能够动态调整机器人的作业顺序与时间安排。在管道焊接的复杂环境中,智能调度系统基于实时监测数据,自动判断作业进度与环境变化,进行资源的最优配置,确保机器人的作业效率与作业质量。系统的构建涉及多项关键技术,包括数据采集与处理、作业任务优先级排序、作业路径规划以及调度决策算法的应用。通过高度自动化的调度管理,智能调度系统有效减少了人工干预,提高了作业的灵活性与精确性。

2.2 实时数据反馈在调度中的作用

实时数据反馈是智能调度系统的重要组成部分,其作用在于确保调度决策能够及时、准确地反映生产环境的变化。在管道焊接过程中,机器人在作业时会受到各种因素的影响,如管道形态的复杂性、焊接质量的要求

以及外部环境的变化。通过实时采集传感器数据，调度系统能够获取有关焊接位置、机器人状态和环境条件等信息^[2]。这些数据将作为调度决策的基础，为系统提供实时动态的支持，帮助判断机器人是否需要调整作业计划、路径或工艺参数。

2.3 智能调度对生产效率与质量的提升

智能调度系统通过精准的任务分配和高效的资源配置，在提升生产效率方面发挥了关键作用。在管道焊接作业中，机器人能够根据调度系统的指令，自动调整作业顺序，避开潜在的冲突区域，减少机器人的空闲时间与等待时间。系统能够实时调节各机器人之间的作业负载，确保作业的流畅性与连续性，进而提高整体生产效率。通过精确控制焊接过程，智能调度系统还能够优化焊接参数与路径规划，最大限度地保证焊接质量，减少人为操作失误和质量波动。这种精细化的调度与管理使得焊接作业更加稳定，生产周期缩短，质量控制也得到了显著提升。

3 焊接机器人路径规划的关键技术与优化策略

3.1 路径规划的基本原理与方法

路径规划是机电焊接机器人完成管道焊接的核心技术之一，其目的是确保机器人在焊接过程中沿着最佳路径移动，以实现高效且精准的焊接。路径规划的基本原理是通过对工作环境的建模，结合机器人本身的运动学特性与约束条件，计算出从起始点到目标点的最优路径。这一过程中，需考虑机器人的可操作性、避障要求、以及工件的几何形状等因素。常见的路径规划方法包括基于网格的搜索算法、图论方法和采样算法等。根据具体的焊接任务要求，路径规划算法能够实时调整焊接轨迹，避免不必要的延误或碰撞，确保焊接过程的高效与稳定。

3.2 管道复杂形态对路径规划的影响

管道焊接的复杂性主要源于管道的三维不规则形态，尤其是在包含多个分支或弯曲部分的管道系统中，路径规划的难度大大增加。管道的尺寸、曲率和结构的多样性使得传统的直线或简单曲线路径无法满足实际作业的需求。复杂管道形态要求路径规划不仅考虑机器人的运动能力，还需要精确计算焊接位置和方向的变化。弯曲部分、接头以及复杂支架结构可能限制机器人的运动范围，路径规划需要结合机器人姿态控制和空间解析技术，动态调整焊接轨迹。这样，机器人能够在不断变化的空间结构中灵活运动，避免碰撞并保持稳定的焊接质量。管道形态的复杂性对路径规划算法的选择与优化提出了更高要求，进而增加了调度与作业的难度。

3.3 优化路径规划的算法与策略

为了提高管道焊接机器人的作业效率与焊接质量，路径规划的优化至关重要。优化路径规划通常依赖于数学模型与智能算法的结合。常见的优化方法包括遗传算法、模拟退火算法、粒子群优化算法等，这些方法能够在庞大的搜索空间中找到接近最优的路径方案^[3]。在实际应用中，优化路径规划需要综合考虑多个因素，如焊接精度、作业时间、能效消耗等。动态调整策略也常被应用于优化路径规划中，尤其是在复杂的焊接任务中，机器人需要实时感知工作环境的变化，并对路径进行即时修正。通过不断的路径调整，优化算法能够最大限度地提高焊接效率，减少空闲和等待时间，同时确保焊接过程的质量稳定性。

表1：管道焊接作业环境与机器人性能数据

项目	数值	单位	数据来源
最大管道直径	800	mm	某石化厂工程
最小管道直径	150	mm	某石化厂工程
焊接机器人最大作业半径	2000	mm	某焊接设备供应商
最大焊接速度	20	cm/min	某焊接机器人厂家
焊接精度	±0.3	mm	某焊接机器人厂家
焊接工作温度范围	50-350	℃	某石化厂工程
焊接时间	15	min	某石化厂项目
焊接材料种类	不锈钢、碳钢	-	某石化厂项目

数据来源：某石化厂工程

4 基于人工智能的路径规划与调度系统案例分析

4.1 某石化厂管道焊接案例背景

某石化厂管道焊接工程涉及多个高压管道的连接与维修，作业环境复杂且要求严格的质量标准。工程中主要使用焊接机器人进行自动化作业，管道直径范围从150mm到800mm不等，且大部分管道呈现复杂的弯曲形态。传统的人工焊接不仅存在较高的安全风险，还导致了较长的施工周期和不稳定的焊接质量。为应对这一挑战，石化厂引入了机电焊接机器人，并通过智能化调度和路径规划系统，优化了焊接作业流程，提升了效率和质量。

4.2 路径规划与调度系统的应用效果

在项目中，路径规划与调度系统通过实时数据采集与分析，精准规划了机器人的焊接路径，避免了作业过程中的干扰与碰撞。机器人能够根据管道的形状与复杂度自动调整路径，确保在狭小空间内高效作业。调度系统根据现场状况自动调整作业顺序，优化机器人作业时间和路径，显著减少了机器人空闲与等待时间。在调度系统的支持下，整个焊接作业的效率得到了提升，焊接速度提高了

15%，同时焊接的准确性和稳定性也大幅增强。

4.3 机器人焊接的质量与效率提升分析

焊接机器人在该项目中的应用显著提高了焊接作业的质量与效率。通过智能路径规划，机器人能够精准控制焊接角度与速度，确保焊缝的均匀性和强度，避免了人为操作中的误差^[4]。在整个施工过程中，机器人焊接的精度达到了 $\pm 0.3\text{mm}$ ，焊接速度提升了20%，有效缩短了项目整体工期。调度系统的智能调整使得机器人的作业负荷得到了合理分配，减少了设备空闲与调度冲突，提高了整体生产效率。焊接过程的自动化大幅降低了人工干预所带来的质量波动和安全隐患。

5 智能化调度与路径规划的未来发展趋势与应用前景

5.1 新技术对智能调度与路径规划的推动

新技术的应用为智能调度与路径规划提供了强大的支持。在机器学习、人工智能和大数据技术的推动下，路径规划系统能够更加精准地分析复杂作业环境，实现对机器人作业过程的实时优化。通过深度学习算法，系统能够自我学习并根据历史数据优化作业路径，同时提高机器人在复杂和动态环境中的应对能力。传感器技术的进步使得机器人能够精确感知周围环境，通过实时数据反馈，调度系统可实现动态调整，从而提升焊接作业的效率 and 准确性。

5.2 多机器人协作与系统集成的发展

多机器人协作和系统集成在焊接行业的应用逐渐成为一种趋势。通过多个机器人在同一作业环境中协同作业，焊接任务能够实现更加高效的分配与执行。多机器人系统能够根据作业需求，将焊接任务拆分并分配给不同的机器人，协同完成复杂的焊接任务，避免了单一机器人作业效率低下和空间局限的问题。随着机器人互联互通技术的发展，机器人之间的实时通信与信息共享变得更加可靠，从而提高了整个系统的灵活性和响应速度^[5]。通过系统集成，机器人不仅能够独立完成任务，还能够根据实时情况与其他设备协调合作，极大提升了自动化水平与作业效率，推动了智能焊接技术的广泛应用。

5.3 智能化焊接技术在其他行业的应用潜力

智能化焊接技术的应用潜力不仅限于管道焊接领域，其在其他行业中也展现出广阔的发展前景。在船舶制造、汽车制造和航空航天等领域，智能焊接技术能够通过精确的路径规划和智能化调度，显著提高焊接精度和生产效率。在船舶制造中，复杂的焊接任务和庞大的工件结构需要高度自动化的焊接系统来保障生产效率和稳定性。汽车行业中，智能焊接技术能够优化焊接工艺，提高焊缝的均匀性和强度，同时减少人工干预带来的质量波动。

结语

机电焊接机器人在管道焊接中的应用，依托智能调度与路径规划技术，显著提高了生产效率和焊接质量。智能化调度系统通过实时数据反馈，能够动态调整作业路径与任务分配，优化了资源利用，减少了生产周期。路径规划技术的进步，使得机器人能够适应复杂环境中的作业需求，确保高精度焊接任务的顺利完成。未来，随着人工智能、大数据与机器人技术的不断发展，智能焊接技术将在更多行业中发挥关键作用。多机器人协作与系统集成的推进，将进一步提升焊接作业的灵活性和精度，为更广泛的自动化焊接应用奠定基础。

参考文献

- [1]杨秀文,刘松,曹智梅,等.工业机器人技术应用[M].重庆大学出版社:202307.203.
- [2]潘登,任建强,吴广宇.焊接机器人在机电安装施工中的应用[J].现代工业经济和信息化,2021,11(11):161-162.
- [3]陈振明,Mini型焊接机器人弧焊机器人柔性导轨及配套机电改造技术.广东省,中建钢构工程有限公司,2020-12-24.
- [4]廖向东,黄振军,王勇锋.焊接机器人在机电安装施工中的应用[J].安装,2018,(03):34-36.
- [5]杜宏旺,王宗义,冯明涛,等.悬挂式接管焊接机器人机电系统[J].焊接学报,2010,31(03):97-100+118.