

AI 智能注塑成型的分析研究

张友根

(上海第一塑料机械厂, 上海 201201)

摘要: 本文提出了 AI 注塑成型的理念, 分析了融入 AI 注塑成型的 AI 的模块及性能; 研究了 AI 注塑成型技术提升注塑成型性能; 论述了 AI 注塑成型应用现状; 提出了 AI 注塑成型技术研究领域拓展和深化的几个方面; 阐述了 AI 注塑机高动态性能运行机构的开发。指出 AI 注塑成型预示着未来注塑成型将朝着自主学习、数据驱动和智能化服务的方向发展, 推动行业向更高水平的智能化迈进。

关键词: AI(人工智能); 智能注塑成型; 分析研究

中图分类号: TQ320.66

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)12-0006-09

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.12.002

0 引言

AI 注塑成型集成是 AI 和智能注塑设备(包括智能周边设备)集成融合, 模仿人类智能思维和行为的注塑成型。

AI 引入注塑成型, 革新传统的注塑成型过程, 实现了从简单的预设参数到自动调整和学习的过程, 提升生产效率和灵活性、减少误差、优化资源配置, 并实现生产的个性化和定制化, 推动塑料行业向智能制造方向发展。

本文分析了融入 AI 注塑成型的注塑成型 AI 的智能模块及性能; 研究了 AI 注塑成型技术提升注塑成型功能和性能; 结合实例, 论述了 AI 注塑成型应用现状; 提出了 AI 注塑成型技术研究领域拓展和深化的几个方面, 阐述了注塑机高动态性能运行机构的开发, 指出 AI 注塑成型预示着未来注塑成型将朝着自主学习、数据驱动和智能化服务的方向发展, 推动行业向更高水平的智能化迈进。

本文分析研究旨在深入探讨 AI 注塑成型可持续性发展的潜力, 供有关人士参考。

1 融入 AI 注塑成型的注塑成型 AI 的分析研究

注塑成型 AI 适应注塑机及成型工艺的要求具有自己的性能特征, 根据注塑成型设备及成型工艺的特征, 既有通用 AI 的共性, 也有其个性。而且根据注塑

成型质量的不同要求, 注塑成型 AI 可分为多类技术档次, 满足注塑成型的目标。

1.1 智能注塑成型 AI 的基本功能

在注塑成型领域, AI 主要涵盖了机器学习、模式识别等分支。这些技术通过智能决策, 成型设备能够自主执行任务并持续改进成型性能。

智能注塑成型 AI 的基本功能: 基于 AI 的工艺参数自适应调整; 参数识别与预设; 利用机器学习识别关键工艺参数; 根据历史数据建立参数优化模型; 实时监测与反馈控制; 在线分析工艺过程中的变化; AI 算法实时调整注塑参数; 适应性学习与动态优化; 自适应控制器的开发; 根据产品质量反馈进行自我调整。

AI 能够协调注塑机的各个部件的动作, 确保整个系统的动态稳定性, 降低共振风险; 实时调整阻尼系统, 减小振动, 提高设备运行平稳性。

AI 与智能系统无缝连接, 实现生产线的协同智能注塑成型。

通过在线学习算法, 使 AI 能够根据实际运行情况不断调整参数, 提高工艺精度和稳定性。

1.2 AI 注塑成型子领域 AI 的分析研究

智能注塑成型整体 AI 由子领域 AI 集成而成, 智

作者简介: 张友根(1947-), 男, 教授级高级工程师, 终身享受国务院政府特殊津贴, 主要从事塑料材料和工艺的相关研究, 已在国家期刊上发表论文多篇。

收稿日期: 2024-07-15

能注塑成型整体 AI 所含子领域 AI 的类型、种类、功能不同，达到的注塑成型的目标也不同。理解子领域 AI 的技术和分类对于深入探讨其在注塑成型领域的实际应用至关重要。

AI 注塑成型子领域 AI 主要包括以下几个方面：

1.2.1 过程控制 AI

AI 用于优化注塑过程中的温度、压力、速度等参数，通过实时监控和数据分析，实现动态调整，以提高产品质量和生产效率。

1.2.2 预测性维护 AI

AI 通过机器学习算法分析设备运行数据，预测设备可能出现的问题，提前进行维护，避免生产中断。

1.2.3 自动化操作 AI

AI 驱动机器人进行精准的取、放件，比如精准定位、快速抓取和放置模具，提高生产效率并降低人工错误。

1.2.4 质量检测 AI

AI 视觉检测系统，自动识别注塑件的表面缺陷、尺寸偏差等，提高质量控制的效率和准确性。

1.2.5 工艺优化 AI

AI 通过深度学习等方法，对大量历史数据进行分析，发现和优化注塑工艺，例如寻找最佳的注塑速度、压力曲线等。

1.2.6 节能和环保 AI

帮助优化能量使用，减少废料产生，比如通过智能控制冷却系统，实现更高效的能源利用。

1.2.7 生产计划与调度 AI

预测需求，优化生产计划，减少库存，提高生产灵活性。

1.2.8 物料管理 AI

跟踪原材料的使用情况，预测需求，减少浪费，实现精益生产和可持续发展。

1.2.9 知识库与智能决策支持 AI

构建一个知识库，为操作员提供即时的工艺指导和问题解决方案，提高生产效率。

1.3 注塑成型 AI 智能模块集成及性能的分析研究

注塑成型 AI 智能各模块协同工作，达到整体 AI 注塑成型能够自主学习、自我优化，提高生产效率，减少废品率，同时降低对人工操作的依赖。

1.3.1 自适应控制模块

AI 自适应控制模块是 AI 在注塑成型过程中的一

个重要部分，可以显著提升生产效率，减少废品，提高产品质量，同时降低了对人工操作的依赖，提高了生产过程的自动化水平。自适应控制包括模型参考自适应控制 (MRAC) 和神经网络自适应控制 (NNAC) 等。自适应控制应对复杂产品形状、材料特性变化以及生产过程中的不确定性。

AI 自适应控制模块主要包括：参数自调节；环境适应性；自诊断与故障处理；学习与优化；实时响应；预测性控制。

1.3.2 传感器与边缘计算模块

AI 传感器与边缘计算模块是 AI 注塑成型系统中的关键部分，使得 AI 在注塑成型中的应用更加灵活和高效，提升了整个生产流程的智能化水平。安装在注塑机的关键部位的传感器收集如温度、压力、速度、位置等生产数据，共同构建一个全面而动态的数据采集网络，为 AI 提供实时的运行状况信息，支持智能决策和优化

传感器与边缘计算模块主要包括：传感器网络；边缘计算；实时决策；数据压缩与缓存。

1.3.3 机器深度学习算法模块

AI 机器深度学习算法模块在注塑成型中主要用于数据分析和决策支持，在注塑成型中的应用可以显著提升生产效率，减少浪费，同时保证产品质量的稳定性。机器深度学习算法扮演着关键角色。通过神经网络架构，如卷积神经网络 (CNN) 和循环神经网络 (RNN)，特别是长短期记忆 (LSTM) 模型，这些算法能够从历史数据中学习和提取复杂的工艺模式。深度学习的自我学习能力使得机器能够随着时间的推移不断优化其决策，比如动态调整注塑速度、压力和冷却周期以适应不同材料特性、产品形状和生产需求变化。

AI 机器深度学习算法模块主要包括：数据预处理；特征提取；模型训练；过程优化；实时决策支持。

1.3.4 预防性的维护策略管理模块

AI 预防性维护策略管理模块是利用 AI 技术来预测和防止设备故障的一种管理策略。

AI 预防性维护策略管理模块主要包括：预测性维护；健康状况监控；故障模式识别；维护计划制定；资源优化；预防性保养建议。

1.3.5 模具管理模块

AI 模具管理模块是 AI 在注塑成型中用于优化模具管理和维护的一个子系统。

AI 模具管理模块主要包括：模具识别与自动化更

换；模具状态监测与故障预警；参数优化与自适应调整；模具寿命预测与维护决策支持；数据驱动的模具库管理与维护记录。

1.3.6 视觉检测成型产品质量模块

视觉检测成型产品质量模块是 AI 在注塑成型过程中的一项重要应用，它利用计算机视觉技术对注塑件进行实时或离线的质量检测。AI 视觉系统检查成型产品外观，确保符合规格，甚至在生产过程中实时发现并纠正缺陷。

视觉检测成型产品质量模块主要包括：图像采集和处理；注塑件的特征识别；注塑件的质量判断；注塑工艺参数数据分析。

1.3.7 通信接口模块

通信接口模块在 AI 驱动的注塑成型系统中扮演着至关重要的角色。它负责连接各个组件，使得 AI 系统能够与其他设备和系统进行有效的信息交流和数据传输。

AI 通信接口模块主要包括：标准通信协议；物联网连接；数据转换；实时数据交换；数据安全性；多协议支持；故障诊断和自我修复。

1.3.8 动力驱动执行系统模块

AI 动力驱动执行模块指利用人工智能技术来控制和优化机械设备的运动执行部分，通过学习和适应，自动调整注塑过程中的参数，如注射压力、速度、温度等，以达到最佳的注塑效果。

AI 动力驱动执行系统模块主要包括：自适应运动规划；能源管理；动态负载控制；负载预测与能效匹配；预测性算法优化电力消耗；实时能效监控与分析。

1.3.9 误差补偿模块

AI 误差补偿模块是 AI 在注塑成型过程中用来识别并纠正生产过程中的误差的一种技术。

AI 误差补偿模块主要包括：误差识别与预测；实时数据采集与处理技术；误差补偿模型构建；在线学习与自我优化能力；通过深度学习提高精度。

1.3.10 故障预警安全防护模块

AI 故障预警安全防护模块是 AI 在注塑成型过程中，通过实时监测和预测设备故障，提前识别潜在故障，降低停机时间及意外发生，确保生产过程中人员和设备安全的重要组成部分。

AI 故障预警安全防护模块主要包括：持续监控注塑设备的各项运行参数；异常检测；故障预警；风险评估；预防性维护；安全防护。

2 AI 注塑成型技术提升注塑成型性能的分析研究

智能注塑机集成于 AI 注塑成型，实现了从简单的预设参数到自动调整和学习的过程，提高了生产效率和灵活性，创新开辟了提高注塑成型性能的可持续发展道路。

AI 的融入不仅提升了注塑成型设备的技术含量，还带来了更高的生产效率、产品质量和经济效益。

2.1 AI 提升智能全电动注塑机伺服电机驱动性能的分析研究

全电动注塑机动力驱动为伺服电机驱动，驱动源本身具备高速动态反映性能，具备融入 AI 注塑成型集成的先决条件。

智能全电动注塑机融入 AI，显著提高了全电动注塑机的成型性能，使之在精度、速度、质量和能耗等方面达到更高的标准。

智能全电动注塑机的各个动力驱动环节为伺服电机驱动，依赖预设的控制参数，通过接受来自控制器的预设值的脉冲信号，控制电机转速和方向，实现达到预设值的线性或旋转运动的精确控制。

传统的电动伺服动力驱动引入 AI 后，AI 模糊逻辑和神经网络可以用于实时优化控制策略，根据环境变化和负载条件自动调整参数，提高了系统的动态性能和鲁棒性，以适应不断变化的工作条件，实现对注射、冷却和取出等动作的精确控制，确保产品的尺寸和表面质量。

AI 优化能量使用，通过智能算法减少不必要的能量消耗，提高全电动注塑机的能源效率。

AI 实现对伺服电机工作状态的全方位监测，够实时识别潜在问题并提供预警，确保系统的稳定运行。

2.2 AI 提升智能精密注塑成型性能的分析研究

智能精密注塑成型融入 AI，显著提升了精密注塑成型的性能，使得精密零件的生产更加高效、稳定且质量可控，精密注塑成型带来了前所未有的变革。

AI 算法精确控制注塑过程，确保塑料在模具内的流动路径、填充速度和压力分布的均匀性，精确控制注塑过程中的压力、速度和温度，确保制品的尺寸、形状和表面质量达到精密要求，提高制品的精度和一致性。

AI 技术提升注塑机的精度控制能力，实现微米级

的运行精准控制，能够在复杂形状零件的制造中实现高精度一致性。

AI视觉系统实时监控注塑过程，检测微小的缺陷，如气泡、毛刺等，提高精密成型品的质量。

AI能够识别出设备的早期磨损或异常，进行预警，避免因故障导致精密制品成型的精度损失。

AI可以处理复杂的个性化订单，快速调整模具和工艺，满足精密零件的定制化需求。

AI通过机器学习技术，模拟塑料在模具中的流动，优化填充路径和压力分布，减少缩孔、溢料等问题。

AI系统会不断学习和适应，持续提升注塑成型的精度和稳定性。

2.3 AI提升智能碳纤维复合塑料注塑成型性能的分析研究

碳纤维复合塑料注塑件（CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastics）因其轻质、高强度、高模量、耐腐蚀和抗疲劳等特性，近年来在多个应用领域得到了快速发展。

AI在碳纤维塑料注塑成型中扮演着关键角色，显著提升了复合材料的性能和生产效率。

AI精确控制注塑过程中的温度、压力和注塑速度，确保碳纤维在树脂中的分散均匀，增强复合材料的整体性能。

AI算法模拟和优化纤维的定向，确保在注塑过程中纤维的排列和交织达到最佳，提高材料的强度和刚度。

AI技术模拟碳纤维增强塑料的模腔流动能力，帮助设计者调整模具结构设计，减少材料浪费和提高产品质量。

AI实时监控和调整冷却系统，控制树脂的固化过程，防止过热或冷却不均导致的性能损失。

AI视觉系统检测注塑过程中可能产生的纤维断裂、空洞或不良粘结等问题，确保最终产品的质量。

AI可以通过分析材料的微观结构和性能，推荐最适合的工程塑料配方，AI帮助调整树脂和碳纤维的配比，找到最合适的组合，以满足特定的机械强度、耐热性、耐化学性等要求。以满足特定的力学性能和耐久性的要求。

AI能够快速适应不同设计要求，定制化生产具有特定性能特性的碳纤维塑料制品。

2.4 AI提升智能机器人的分析研究

AI+机器人集成，提高了注塑成型件取件效率和

质量。智能机器人是AI注塑成型集成之一。取件中，识别和提取产品表面质量数据，AI实现对工艺参数自适应调整。

2.4.1 机器人AI路径规划

AI注塑成型集成中，AI机器人路径规划是一项关键技术。它通过集成高级算法如模糊逻辑、遗传算法或机器学习，使机器人能够根据预设目标和实时环境变化，动态调整注塑动作路径。这包括但不限于工作区域内的精确定位，以保证物料在注射、保压和冷却阶段的准确到位，同时减少废品率。

路径规划还需考虑到机器人的运动速度、加速度限制以及与周围设备的安全距离，以实现高效且安全的操作流程。通过AI算法，实现机器人在注塑过程中的精确运动轨迹规划，确保注塑元件的精确定位和放置，提高生产效率。

2.4.2 人机协作安全机制

AI技术可以实时监控机器人的动作状态，预防潜在风险。借助机器视觉传感器和觉传感器，构建安全的人机交互模式，防止机器人与操作员碰撞，保障工作环境的安全。

2.4.3 智能抓取与释放

通过AI机器学习优化抓取工具的设计，实现对不同形状和材质塑料件的精准抓取和释放，减少废品率。

2.4.4 自动化生产线集成

将机器人智能融入注塑生产线，实现物料搬运、装配等环节的自动化，降低人工干预，提升整体生产流程的智能化水平。

随着自主性增强，未来的机器人路径规划可能更加依赖于实时环境感知和自我决策能力，以适应不断变化的生产需求。

3 AI注塑成型应用现状的分析研究

AI技术与注塑工艺的结合，不仅为企业带来了生产效率的提升和质量的保障，还为企业提供了智能化的决策支持和未来发展的战略优势。AI注塑成型，不仅提升了智能注塑机的性能，也推动了整个行业的数字化转型和智能制造水平的提升，得到注塑成型领域的应用和推广。

3.1 AI提升智能注塑成型性能的分析研究

AI的应用使得注塑成型过程更加智能化、高效化和环保化，有助于企业提高竞争力，降低成本，提升

产品质量。

AI 集成在传感器网络中，通过实时收集和分析温度、压力、速度等关键参数，确保整个注塑过程处于最优状态。AI 通过分析大量生产数据，学习并优化注塑参数，如注射速度、压力和温度控制，以实现更精确和高效的生产过程。

AI 能够识别出设备运行中的异常模式，预测潜在的故障，从而提前进行维护，降低停机时间和维修成本。

AI 视觉系统和机器学习技术能够实时监控产品质量，自动检测和分类产品缺陷，质量反馈与持续改进机制，在线质量评估与优化策略，确保产品质量一致性。

AI 误差识别与预测，实现精度优化与误差补偿，减少注塑过程中的变形和不良品率上的应用。

AI 可以根据订单需求、原材料可用性和设备状态动态调整生产计划，提高生产灵活性。

AI 能够优化能量消耗，通过智能控制减少不必要的能源浪费，实现绿色生产。

AI 通过数值模拟，预测模腔注塑过程中的热传递，实现更高效及节能的冷却系统，防止塑料件变形或热损伤。

AI 可以快速响应定制化需求，调整模具和生产流程，满足客户多样化的产品要求。AI 可以辅助设计更精确的模具，提高零件的表面质量和精度

AI 通过物联网技术，可以远程监控和诊断，降低现场维护人员的工作强度。

AI 系统能够持续学习，随着时间的推移和更多的数据输入，不断提升自身的性能和优化效果。

AI 增强注塑机的安全性，比如通过实时监控防止操作失误，或者检测潜在的安全风险。

AI 技术为注塑企业带来了更精确的预测和规划能力。通过对历史数据和市场趋势的分析，AI 算法可以帮助企业预测市场需求的变化趋势，优化生产计划和库存管理。这使得企业能够更好地应对市场波动，减少库存积压和缺货风险，提供更及时、可靠的交付。

AI 在注塑成型领域的应用尽管取得了显著的进步，仍面临数据安全、标准化制定以及与传统注塑工艺的无缝整合等挑战。

3.2 工业发达国家 AI 注塑成型现状分析研究

工业发达国家的 AI 注塑成型技术和应用处于技术领先阶段，是推动全球塑料工业向智能化和绿色化

转型的关键力量。国际上发达国家如美国、欧洲和日本在 AI 控制技术方面有一定积累，注塑机制造商已经开发并应用了先进的自动化和智能化解决方案，一些领先企业已经成功地将 AI 技术引入注塑机控制技术，展示了 AI 技术如何通过实时数据分析、故障预测和过程优化，同时也为整个塑料成型行业树立了智能化转型的典范。

美国、德国、日本和韩国，拥有先进的 AI 技术，他们通过技术转让、专利授权、技术咨询等形式，将这些技术输出到其他国家。利用 AI 技术改进其注塑机制造过程的公司。在现实中，许多现代注塑机制造商都在探索和应用 AI 技术，包括机器学习、深度学习和大数据分析，以提升生产效率、降低能耗、优化模具设计、以及实现故障预测和预防性维护。

XYZ 塑料工业集团采用了 AI 控制技术注塑成型，先进的机器学习算法，实现实时调整工艺参数以优化产品质量和降低废品率。XYZ 使用 AI 技术来自动化注塑过程，如自动调整工艺参数，减少人工干预，提高生产效率；帮助公司预测注塑机的故障，通过数据分析提前进行预防性维护，减少停机时间和维修成本；视觉系统用于实时监控产品质量，识别并纠正任何缺陷，确保产品质量的一致性；分析大量的生产数据，找出最优化的生产路径和参数，从而提高成型效率和产品质量；支持生产计划的智能化，基于实时需求和设备可用性，调整生产调度，提高生产灵活性。XYZ 集团的这种转型反映了塑料工业向数字化和智能化方向的转变，以适应日益增长的工业 4.0 和智能制造的需求。

专注于优化生产流程“AutoOptiMize”AI，利用人工智能和机器学习技术，实现自动化和智能化注塑成型。通过分析设备性能数据，预测设备故障，提前进行维护，减少停机时间；通过减少能源消耗、废料和维修成本，提高整体生产成的本效益；项目包含财务分析，包括投资回收期、生产成本削减和潜在的销售收入增长；确保项目符合相关的数据保护和工业安全法规；收集用户反馈，不断优化算法和系统，以适应不断变化的生产环境。

特斯拉(Tesla)采用了 AI 技术来优化其注塑生产。例如，他们使用 AI 来监控注塑机的性能，确保电池包和其他关键部件的一致性和质量，同时减少生产过程中的浪费。

ABC 公司的 AI 注塑机，AI 利用传感器收集注塑

过程中的各种数据,如压力、温度、速度、时间等,进行实时监测;AI算法自动调整工艺参数,如注射量、注射速度、冷却时间等,以优化成型过程;通过机器学习,预测可能出现的设备故障,实现预防性维护,减少停机时间;AI视觉检测系统检测产品表面质量和尺寸一致性,确保产品质量;系统与云端平台连接,实现远程监控和数据分析,提高数据安全性;通过持续的数据反馈和模型迭代,不断提升AI控制系统的性能。

AI智能检测制品外观质量。日本VISCO TECH与FANUC合作开发的检测注塑成型AI外观检测。AI智能检测仿佛拥有一颗“智能大脑”会学习、会识别。

AI优化注塑周期。德国Linde公司使用AI控制液态二氧化碳冷却系统,迅速冷却塑料部件,从而减少了冷却时间,进而缩短了整个注塑周期。这种创新方法有助于提高生产效率,降低能耗,最终降低成本。

IKV(德国亚琛工业大学塑料加工研究所)和一个工业联盟协作开发了基于AI的算法,利用机器数据和质量数据在工艺设置过程中为机器操作员提供设置工艺参数的帮助,与传统的设置工艺参数相比能够缩短准备生产所需的时间。方案基于AI的算法,人工神经网络训练的启动通过主计算机进行。AI在训练过程中,神经网络将“学习”工艺参数和质量数据之间的未知关系,从而确定未知的最佳工艺点,通过主机系统将计算出的工艺参数提供给设备操作员或通过双向OPC UA接口直接传送给注塑机和周边设备,利用完全互联的成型设备确定成型工艺参数的最佳点。机器操作员可以指定设置参数或为选定的工艺参数生成测试计划来进行必要的测试。充分利用了工业4.0完全互连的注塑生产的优势,对信息物理生产系统中的机器数据和质量数据进行直接评估。除了来自注塑机的数据外,它还集成了生产单元附带的生产系统(周边设备,例如:温控单元和烘干机)的数据用于后续工艺评估。

3.3 国内AI注塑成型现状分析研究

国家“中国制造2025”等战略支持智能制造,推动AI技术在注塑成型行业的研发和应用,这为AI在注塑行业的应用提供了政策支持。国内企业在AI注塑成型技术的应用上,既注重技术创新,也关注技术的本地化和成本效益,以适应中国制造业的实际情况。

大学和企业之间开展联合项目,共同研究AI在注塑模具设计、生产流程优化等方面的应用,加快成

果转化。

AI注塑成型包涵多支智能化注塑成型技术,国内有关企业积极引进和研发分支AI注塑成型,努力缩小与国际先进水平的差距,推动国内注塑成型行业的升级和国际竞争力的提升。

3.3.1 边缘人工智能注塑成型技术的研究和应用

边缘人工智能是指将人工智能技术和边缘计算技术相结合,将计算和数据处理移动到网络的边缘,在边缘设备或终端上进行人工智能处理的一种技术,以提高注塑机的响应速度和能效比,以实现更高效、更智能的解决方案。边缘AI可以通过图像识别技术对注塑件进行瑕疵检测,如尺寸偏差、表面缺陷等,实现在线质量控制,提高合格率。边缘人工智能成为国内开发AI注塑成型应用技术的首先。

佛企研发的超大型8500t智能精密注塑机配备AI,实时监控和调整工艺参数,通过学习和优化来提高生产效率和产品质量。实现了高精度、高速度,开合模定位精度达到0.3mm。通过智能控制和信息化技术大幅提升了生产效率和能源利用效率,符合当前工业4.0和绿色制造的趋势。

3.3.2 注塑成型AI的研究和应用

国内企业与科研机构积极投入研发,推动AI技术与注塑成型工艺的深度融合,例如开发专用的AI算法和硬件设备。随着技术成熟度的提升,AI注塑成型技术正逐渐被市场接受,一些创新型企业开始将其作为核心竞争力进行市场推广。

佛山汇工网络科技有限公司智能注塑工业物联网项目为行业提供更高效、智能和可持续的生产模式,入选全球AI大赛BPAA大赛的TOP50品牌。智能注塑工业物联网解决方案基于先进的人工智能技术和物联网,实现了生产线的智能化管理和优化,不仅提升了生产效率和产品质量,还有效降低了能源消耗和废品率,为企业带来了巨大的经济和环境效益。

3.3.3 智能注塑设备的研究和应用

智能注塑设备是AI注塑成型主要装备,研发无缝融入AI注塑装备和智能控制系统。

一些国内大型注塑企业已经研发和实施了AI注塑系统,通过实际生产应用验证技术效果,并积累经验教训。

拓斯达是一家早期专注于注塑机辅助设备的公司,后来将AI技术引入其产品线,旨在提升国产注塑

机的性能,降低成本,并且可能通过自主研发或合作开发为工业机器人配备了 AI 大脑,以增强自动化和智能化水平。

某企业开发了一套名为“SmartMold”的系统,它结合了 AI 和大数据,可以自动调整注塑机的参数,根据实时生产条件和历史数据提供最优化的解决方案。

美的集团智能制造研究院聚焦智能注塑工厂关键技术研究与应用,从数字化、自动化、先进工艺等多个方面进行突破,为注塑工厂提供智能制造完整解决方案,助力中国 AI 注塑成型的发展。

宇电 AI 仪表,如 AI-7048D5 型控制器和 AI-2057 无纸记录仪,在注塑机的温度控制系统中被用于精确控制和优化过程,说明 AI 技术正在帮助设备制造商实现更精确和高效的生产。

4 AI 注塑成型技术研究领域拓展和深化

AI 注塑成型技术的发展是行业升级的重要驱动力,它推动着生产模式的变革,提升了整个行业的技术水平和经济效益

AI 注塑成型技术面临诸多技术挑战:①数据难题:注塑成型过程中的大量实时数据处理与清洗的复杂性。②精度与可靠性:确保 AI 模型在实际生产环境中的稳定性和精度。③安全与隐私:如何在使用 AI 的同时保护工艺数据和个人信息。

未来 AI 注塑成型技术研究领域拓展和深化的方向主要体现在以下几个方面:

4.1 深度学习和神经网络

深度学习和神经网络都是 AI 领域中的核心组成部分。更深、更大规模的神经网络结构设计的研究;新的深度学习算法的研究;针对特定任务的专用硬件设计的研究;数据增强和预处理技术的研究;可解释的深度学习模型的研究;提高模型泛化能力的研究。

4.2 软件平台构建

研究适合各类注塑成型需求的 AI 软件平台,包括实时监控、数据分析、算法集成等模块的构建,主要包括:开发工具与编程语言;选择支持深度学习和机器学习的开发环境;用户界面与交互设计;系统集成与测试;功能测试与性能验证。

4.3 数据质量和可靠性

AI 依赖大量高质量的实时数据进行学习,如何保证数据的准确性、一致性以及处理过程中的异常检测是首要挑战。在注塑机中,这可能涉及到温度、压力、

速度等传感器数据的准确性、完整性以及清洗和标准化问题。

数据驱动的决策支持系统的研发,主要包括以下几方面:数据采集与预处理;数据分析方法;决策支持算法的应用;通过数据反馈优化生产流程和参数设置;量化决策效果评估与持续改进机制。

注塑过程涉及多个变量和物理效应,如何建立准确的数学模型来模拟和优化这个过程是个挑战。深度学习中的神经网络模型,如深度神经网络(DNN)、卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)等,其实质都是复杂的数学模型。

4.4 优化算法

优化算法的目标是为了提高算法的性能,如更快的收敛速度、更低的计算复杂度、更高的准确度或更好的泛化能力。研究内容包括:选择合适的优化算法(如梯度下降、遗传算法、粒子群优化等)、调整超参数、使用更高效的模型架构(如深度学习中的残差网络、注意力机制)。

研究如何在保证模型性能的同时,优化模型性能,开发出能够适应复杂工况、环境变化的高效算法,以确保模型在不同条件下都能稳定运行,提高预测精度和控制效果。更深度提升数据处理速度和灵活性。

4.5 优化鲁棒性算法

优化鲁棒性算法旨在处理数据集中的异常值或噪声,这些数据点可能会对传统算法造成显著影响。

研究如何使模型在遇到处理数据集中的异常值或噪声的复杂环境下的仍能保持稳健性和可靠性,即使输入数据分布发生变化,也能保证输出结果的稳定性和一致性,不会因为个别异常点而产生过大的误差。

4.6 可解释性

AI 可解释性不仅有助于提升模型的可信度,而且还能推动 AI 技术应用深化和广泛。随着 AI 技术的发展,研究者需要不断更新和改进解释方法,以适应新的模型和应用场景。

AI 的可解释性是指理解 AI 模型决策过程的能力,这对于提高信任度、确保公平性和促进业务决策至关重要。AI 决策的透明度和追溯性,对于保证产品质量和遵守法规至关重要。

研究如何使 AI 模型的决策过程更加直观和易于理解,如可视化模型结构、决策路径或重要特征。研究通过设计和开发模型,使其产生的结果能被人类理解和解释,例如决策树、逻辑回归等模型相对容易

解释。开发新的解释方法和技术，如局部解释（如 Grad-CAM、Attention Maps）、全局解释（如 LIME、SHAP）和模型的可逆性。

4.7 AI 和硬件无缝集成

AI 与注塑机的硬件设备（如高性能处理器、嵌入式系统）无缝集成、确保系统数据传输的实时性和准确性的稳定性和安全性的研究。开发更先进的传感器和执行器、为 AI 提供更丰富的输入和反馈的研究。

集成高精度传感器（如温度、压力、位移传感器）来实时收集注塑过程中的关键数据。设计和开发能够处理和解析 AI 算法输出的智能控制器，这些控制器可以自动调整注塑机的参数，如注射速率、压力和冷却时间。研究高度集成的机械臂系统，能根据 AI 指令精确抓取和放置物料，确保精确的注塑位置和速度。

4.8 环保与可持续性

AI 在注塑成型领域的应用有助于推动行业向更绿色、更可持续的方向发展，实现经济增长与环境保护的双重目标。

研发节能和环保的 AI 解决方案，智能动力驱动系统与节能算法相结合，降低了注塑过程中的能源消耗及减少碳排放，实现环境友好型生产。

研究 AI 优化生产排程、减少等待时间和库存，降低整体运营成本。

研究使用 AI 进行环境影响评估、帮助企业识别和改进生产过程中的环境足迹。

5 注塑机高动态性能运行机构的开发研究

智能注塑机融入 AI 集成，其执行机构的动态性能是融入 AI 注塑成型集成的关键性能。动态性能匹配 AI，才能充分发挥 AI 的性能优势，取得效果良好的 AI 注塑成型。

AI 不但支持注塑机在高速运动状态下保持精确的控制，减少速度变化时的冲击和振动，而且为注塑机设计者提供开发高速动态执行机构的技术指标，帮助设计者设计更轻且强度足够的结构，以适应高速运动的动态需求，实现提升注塑机的动态性能设计，使智能注塑机在高精度、高效率 and 可靠性方面达到新的水平。

AI 通过收集和處理注塑机在实际工作中的数据，进行运动学分析，预测其在不同负载和速度下的动态响应，以便优化结构设计。

AI 构建注塑机的动力学模型，考虑重力、摩擦、惯性等因素，预测运动性能，提前发现可能的振动、冲击等问题，提供设计者。

AI 能够根据力学性能和成本等因素，智能选择高强度、轻质的材料，以提高注塑机的动态稳定性。

AI 通过优化算法，如遗传算法或粒子群优化，优化注塑机的关键部件（如滑块、螺杆等）的结构，降低动态应力和磨损。

AI 分析注塑机的固有频率和模态，确保在高速运动或大负载下保持良好的动态平衡，减少共振带来的影响。AI 指导设计合适的减振器或阻尼材料，降低振动噪声，提高设备舒适性和可靠性。

AI 通过监测设备的振动、温度等数据，预测潜在的结构问题，提前进行维护，防止结构损坏。AI 根据机器的使用数据和结构性能，预测注塑机的长期动态性能，指导维护周期和更换部件的时间。

AI 进行机械结构的疲劳寿命分析，确保注塑机运行的可靠性。

通过这些 AI 技术的应用，智能注塑机的动态性能得到了显著提升，能够在高速动态环境下保持高效、稳定的工作性能，确保产品质量的同时，提高生产效率。

提升机械加工精度，特别是位置精度，达到降低机构的移动阻力，提高移动机构的动态运行性能。

6 结论与展望

在 AI 技术日益成熟的背景下，AI 注塑成型更加智能化，这些发展也伴随着对 AI 伦理、法规适应以及人才培养的新挑战，需要行业共同应对与解决。

AI 不仅提升了传统注塑成型的性能，还推动了整个制造业向智能化、自动化和可持续发展的方向迈进。

AI 注塑成型技术的应用中，绿色制造与可持续发展扮演了关键角色。随着对环境影响的认识加深，智能化注塑机通过精准控制、能耗优化和废料回收利用，显著降低了生产过程中的碳排放。

AI 注塑机在精确控制、质量监控、生产效率提升等方面展现出显著优势，预示着未来注塑机将朝着自主学习、数据驱动和智能化服务的方向发展。

AI 在注塑成型中的应用不仅限于单一环节，而是贯穿于整个生产链，从设计、生产到质量控制，都在寻求通过智能化提升整体效能。随着技术的成熟，更多的企业将把 AI 视为提升竞争力的关键工具。

中国的 AI 注塑成型技术研究已经深入到实际生产过程中，并且在提高生产效率、产品质量和创新设计方面发挥着重要作用。随着技术的不断进步和市场需求的增长，预计未来会有更多的创新和突破。随着

AI 注塑成型技术的不断发展，未来的注塑成型将更符合绿色制造理念，助力制造业实现更加可持续的生产模式。

Analysis and research on AI intelligent injection molding

Zhang Yougen

(Shanghai First Plastic Machinery Factory, Shanghai 201201, China)

Abstract: This article proposes the concept of AI injection molding and analyzes the modules and performance of AI integrated into AI injection molding; Studied AI injection molding technology to improve injection molding performance; Discussed the current application status of AI injection molding; Several aspects of expanding and deepening the research field of AI injection molding technology have been proposed; Elaborated on the development of a high dynamic performance operating mechanism for AI injection molding machines. AI injection molding indicates that in the future, injection molding will develop towards self-learning, data-driven, and intelligent services, and will drive the industry towards higher levels of intelligence.

Key words: AI (Artificial Intelligence); intelligent injection molding; analysis and research

(R-03)



产能 385 万 t 前三季度炭黑行业利润大幅增长

The profits of the carbon black industry increased sharply in the first 3 quarters with 3.85 million tons production capacity

11 月 13 日，在福建泉州惠安召开的 2024 年中国炭黑展望会上获悉，今年前三季度，炭黑行业完成了炭黑总产量 385 万 t，同比增长了 6%，实现利润有了一个比较大幅度增长。

中国橡胶工业协会炭黑分会理事长、江西黑猫炭黑股份有限公司总经理李毅在会上介绍说，十四五期间，我国炭黑工业的生产规模不断扩大，产品质量也得到了显著提升。相关数据显示，2019 年中国炭黑行业市场规模 568.26 亿元，2023 年中国炭黑行业市场规模 706.96 亿元，年均增幅约 5.6%。2023 年全国炭黑产能 886 万 t，产量 626 万 t，炭黑装置开工率约为 70%。

中国橡胶工业协会炭黑分会秘书长丁丽萍致辞指出，炭黑行业是非常重要的行业，同时也是传统行业，多年来炭黑行业营业利润微薄，企业在最大限度的向管理要效益，经营成本逐渐降低，炭黑产品单位能耗水平排世界前列，《轮胎和炭黑单位产品综合能源消耗》标准已正式发布，并于 2025 年 5 月 1 日起实施，这标志着行业从不合理的能源消耗大户回归正轨。

丁丽萍介绍说，今年前三季度，炭黑行业完成了炭黑总产量 385 万 t，同比增长了 6%，实现利润有了一个比较大幅度的增长。在新版炭黑能源消耗标准的支撑下，积极寻求国家对炭黑出口退税的政策支持，可以有效缓解炭黑产业发展困境，提高企业再发展后劲，促进国内、国外两大市场同时增长，摆脱在整个橡胶行业中，炭黑行业利润率处于所有产业链中最底端的尴尬境地。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)