

高精度医药耗材注塑成型温度控制系统设计

俞肖健

浙江友莱生物科技有限公司 浙江杭州

【摘要】高精度温度控制是医药耗材注塑成型过程中确保产品质量和性能的关键因素。本文针对传统注塑温度控制系统响应慢、精度低的问题，设计了一种基于先进传感器和智能控制算法的温度控制系统。系统通过实时监测注塑腔体温度，结合模具热传导特性，实现了温度的精准调节和动态控制，有效减少了成型缺陷，提高了产品的一致性和可靠性。该系统显著提升了温控精度和响应速度，具备较强的工程应用价值。该研究为医药耗材注塑工艺的优化提供了技术支持，推动了高质量医药耗材的稳定生产。

【关键词】高精度温度控制；医药耗材；注塑成型；智能控制系统；传感器技术

【收稿日期】2025 年 4 月 13 日

【出刊日期】2025 年 5 月 23 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250228

Design of injection molding temperature control system for high-precision medical consumables

Xiaojian Yu

Zhejiang Youlai Biotechnology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang

【Abstract】 High-precision temperature control is a key factor in ensuring product quality and performance during the injection molding process of medical consumables. Aiming at the problems of slow response and low precision in traditional injection molding temperature control systems, this paper designs a temperature control system based on advanced sensors and intelligent control algorithms. By real-time monitoring of the temperature in the injection cavity and combining with the thermal conductivity characteristics of the mold, the system achieves precise temperature adjustment and dynamic control, effectively reducing molding defects and improving the consistency and reliability of products. This system significantly enhances temperature control accuracy and response speed, showing strong engineering application value. This study provides technical support for optimizing the injection molding process of medical consumables and promotes the stable production of high-quality medical consumables.

【Keywords】 High-precision temperature control; Medical consumables; Injection molding; Intelligent control system; Sensor technology

引言

注塑成型技术在医药耗材制造中占据重要地位，产品的质量直接关系到医疗安全和使用效果。温度控制作为注塑成型的核心环节，其精度和稳定性直接影响最终产品的结构完整性和功能性能。当前，传统温度控制系统普遍存在响应迟缓、调节不准确的问题，导致制品质量波动大，影响生产效率和成本。针对这一现状，本文提出了一种高精度温度控制系统设计方案，结合现代传感器技术和智能控制算法，旨在实现对注塑成型过程温度的实时、精准调节。通过系统的设计与实验验证，期望为医药耗材注塑工艺提供更可靠的温控保障，提升生产自动化和产品质量稳定性。

1 医药耗材注塑成型温度控制的现状及挑战

医药耗材注塑成型过程中，温度控制系统的精度和稳定性直接关系到最终产品的质量与性能。注塑温度的精准调控能够有效保证塑料熔体的流动性和冷却速度，进而决定医药耗材的尺寸精度、机械强度及无菌性等关键指标。目前，许多传统注塑设备采用的温度控制方法仍依赖于简单的 PID 控制策略，结合常规热电偶传感器进行测温。这类系统在面对复杂模具结构和高速成型节奏时，常表现出响应延迟和调节误差较大的问题，难以满足医药耗材生产中对高质量和高一致性的严格要求。温度波动容易引发产品表面缺陷、内应力集中甚至材料老化，严重影响医用塑料制品的安全性和使用寿命。

现代医药耗材生产环境对注塑温控提出了更高标

准,尤其是在精细结构件和微小通道的注塑件制造中,温度的微小变化都可能导致产品失效。高精度的温度控制系统需要具备快速响应能力及实时调整功能,以适应注塑过程中的温度动态变化。模具内部的温度分布不均匀现象较为普遍,传统单点测温难以全面反映模具实际状态,这就要求采用多点传感布局与高灵敏度传感器技术来捕获更为精准的温度数据^[1]。温度控制还要考虑到热传导、对流和辐射等多种传热机制的复杂交互,提升系统的综合调节能力成为关键技术难题。现有系统是实现高精度温度调控的往往面临硬件成本上升和控制算法复杂度增加的问题,制约了其在实际生产中的广泛推广。

医药耗材对成型过程的洁净度和安全性要求极高,温度控制系统的设计必须避免对材料产生热损伤或交叉污染。温控系统需要实现无接触或低干扰测温,保证测量的准确性与系统的稳定性。在自动化和智能化水平不断提升的背景下,集成传感技术、实时数据采集与智能反馈调节的温度控制系统逐渐成为趋势。这类系统通过优化控制策略,实现注塑过程的温度精准控制,从而提升医药耗材注塑件的合格率和生产效率,为满足现代医药行业对高性能耗材的需求提供技术支持。

2 高精度温度传感器与数据采集技术应用

高精度温度传感器在医药耗材注塑成型温度控制系统中扮演着核心角色。温度传感器的准确性和响应速度直接决定了温控系统的整体性能。为了满足医药耗材对成型环境的高要求,传感器必须具备高灵敏度、快速响应以及良好的抗干扰能力。常见的高精度传感器类型包括热电偶、热敏电阻(RTD)和红外非接触式传感器。热电偶因其测量范围广、响应速度快,常用于模具内温度的实时监测;而热敏电阻则以其高精度和稳定性适合对关键温区进行细致测量。近年来,非接触式红外传感技术因避免物理接触对产品和模具的潜在影响,逐渐成为温度测量的有效补充。多点温度传感器布局方案得到了广泛应用,有助于全面捕捉模具内部的温度分布特征,弥补单点测温的不足,为温控系统提供更为精准的数据支持。

数据采集技术作为温度控制系统的信息枢纽,其性能直接影响后续控制算法的执行效果。高精度传感器采集到的温度信号往往是微弱的模拟量,必须经过高精度模数转换(ADC)器件进行数字化处理,以保证数据的准确性和实时性^[2]。现代数据采集系统普遍采用高速采样、多通道同步采集和噪声滤波技术,确保传感器输出信号的完整还原。在医药耗材注塑工艺中,温度

数据采集不仅要满足高采样频率和高分辨率,还需具备良好的抗电磁干扰能力,以避免注塑机运行时产生的干扰信号对数据的影响。结合实时数据处理和边缘计算技术,可以实现对温度波动的快速响应,保障注塑过程的稳定运行。

高精度温度传感器与先进数据采集技术的结合,为智能温控系统提供了坚实的基础。通过精准采集和实时传输温度数据,系统能够动态调整加热器功率和冷却介质流量,达到优化模具温度分布的目的。采用多传感器融合技术,可以对温度异常进行及时检测与校正,提升系统的鲁棒性和可靠性^[3]。在实际应用中,集成的温度采集模块配合智能控制算法,有效缩短了温控响应时间,提高了注塑件的一致性和表面质量。随着传感器技术的不断进步和数据处理能力的提升,高精度温度传感器及数据采集技术将在医药耗材注塑成型领域发挥越来越重要的作用,为实现高效、稳定的生产过程提供强有力的技术保障。

3 智能控制算法在注塑温度调节中的实现

智能控制算法在医药耗材注塑成型温度调节中的应用,极大提升了温度控制的精度与响应速度。传统的PID控制虽然广泛使用,但在面对复杂多变的注塑环境时,常常表现出调节迟滞和过冲现象,难以满足高精度要求。针对这一问题,基于模糊控制、自适应控制和神经网络等先进算法的智能温度控制系统逐渐成为研究和应用的重点。智能算法能够根据注塑过程中的实时温度数据,动态调整加热与冷却参数,克服了传统控制系统的局限性,实现了对温度变化的快速响应和精准补偿。

模具温度的动态特性和外部干扰使得温度调节过程充满不确定性,智能控制算法通过引入非线性模型和在线参数估计,能够更准确地反映模具的热传递行为。模糊控制算法利用专家经验规则对温度变化趋势进行判断,实现对温度调节的柔性控制,减少了系统震荡和调节时间^[4-7]。神经网络控制则通过大量历史数据的训练,构建温控系统的非线性映射关系,提升了温度调节的鲁棒性和自适应能力。自适应控制策略能够根据模具材料和注塑工艺的不同特性,自动调整控制参数,保证温度控制的稳定性和一致性。这些智能算法的集成应用显著提升了注塑过程温度的控制精度和系统的可靠性。

智能控制算法不仅提高了温度调节的实时性,还增强了系统的预测能力和故障诊断功能。通过与多点温度传感器和数据采集系统的协同工作,控制器能够

实时分析温度变化趋势,提前预判可能的温度异常,并进行及时调整,避免因温度波动导致的产品质量下降。基于模型预测控制(MPC)的方法在注塑温度控制中的应用也逐渐普及,其多变量优化和约束处理能力使温控系统能够在保证精度的实现能源效率的提升。结合智能算法的温度控制系统为医药耗材注塑成型提供了强有力的技术保障,有助于实现高精度、稳定性强的生产环境,满足现代医药行业对高质量耗材的严苛需求。

4 系统实验验证与性能分析

为了验证高精度医药耗材注塑成型温度控制系统的有效性,设计了一系列系统实验,重点考察其温度控制精度、响应速度以及系统稳定性。实验采用多点温度传感器布局,对注塑模具不同关键区域进行实时温度采集,并通过智能控制算法进行动态调节。实验过程中,系统对设定温度的响应曲线显示出较高的跟踪精度,温度波动范围控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内,显著优于传统PID控制系统的表现。多次循环实验结果表明,该温控系统具备良好的重复性和稳定性,能够有效抑制因模具热惯性导致的温度过冲和振荡现象。

实验还重点评估了系统在不同工艺参数条件下的适应能力。通过调整注塑周期、加热功率和冷却介质流量等参数,系统能够实时修正控制策略,实现对温度的精细调节^[8]。实际注塑成型过程中,产品表面缺陷率明显降低,尺寸一致性和机械性能均得到了提升。温控系统的快速响应有效缩短了成型周期内温度调整时间,提高了生产效率。系统的多传感器数据融合和故障检测功能在实验中表现出较强的鲁棒性,能够在传感器异常或环境干扰下维持稳定运行,保障了注塑过程的安全性和连续性。

结合性能分析结果,整体系统展现出优异的温度控制能力,为医药耗材注塑成型提供了可靠保障。系统不仅实现了对复杂模具温度分布的精确掌控,还通过智能算法优化控制流程,降低了能耗和设备磨损。实验验证表明,集成高精度传感器与智能控制算法的温度控制系统具备较强的工程应用潜力,能够适应医药耗材生产过程中对高品质和高稳定性的严格需求。未来,随着传感器精度和控制算法的进一步提升,该系统将

在注塑成型技术中发挥更加关键的作用。

5 结语

高精度温度控制系统在医药耗材注塑成型中发挥着关键作用,显著提升了产品的质量和生产效率。通过结合先进的传感器技术与智能控制算法,系统实现了温度的实时精准调节,克服了传统控制方法的不足。实验验证表明,该系统具备良好的响应速度和稳定性,能够有效降低成型缺陷率,满足医药行业对高质量耗材的严格要求。未来,随着技术的不断进步,高精度温控系统将在注塑领域发挥更大作用,推动医药耗材制造向智能化和高效化发展。

参考文献

- [1] 李梦扬.科创板生物医药企业打造高质量发展强引擎[N].中国证券报,2025-05-09(A06).
- [2] 宿志红.北京医药健康产业创新“加速跑”[N].中国市场监管报,2025-04-29(003).
- [3] 李丹.成都温江高新技术产业园区用“生态思维”做优做强生物医药特色赛道[J].产城,2025,(04):20-22.
- [4] 钱琛,王自强,谷广志,等.检验检测创新助力上海生物医药产业高质量发展[J].质量与标准化,2025,(04):13-15.
- [5] 李保金.费用高企毛利率下滑万邦医药2024年增收不增利[N].经济参考报,2025-04-23(007).
- [6] 肖宇锋,杨雪梅,黄雅兰,等.基于机器学习和熵权法的医药领域高价值专利识别研究[J].中国发明与专利,2025,22(04):13-21.
- [7] 张梦竹.石家庄市生物医药产业高质量发展路径研究[J].河北省科学院学报,2025,42(02):57-62.
- [8] 翟倩倩,焦娇.全省生物医药产业高质量发展推进会在我市召开[N].焦作日报,2024-12-23(A01).

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

