

# 汽车头枕聚氨酯发泡生产线智能温控系统设计与应用分析

杨威<sup>1</sup> 黄朋科<sup>2</sup> 吴飞<sup>2</sup>

1 宁波继峰汽车零部件股份有限公司

2 中国科学院宁波材料技术与工程研究所

DOI:10.32629/etd.v6i11.17831

**[摘要]** 汽车头枕聚氨酯发泡中温度控制至关重要。本文设计智能温控系统,分析发泡工艺及温度需求后,阐述系统分层架构、传感器选型布置、控制器与执行机构设计等。研究温度精确测量、智能控制算法等关键技术,经安装调试评估,该系统能提升温度控制精度与稳定性,提高生产效率与产品质量,虽存在成本高等局限,但为生产提供有效方案。

**[关键词]** 汽车头枕; 聚氨酯发泡; 智能温控系统; 温度控制; 生产应用

中图分类号: TQ328.3 文献标识码: A

## Design and Application Analysis of an Intelligent Temperature Control System for Automotive Headrest Polyurethane Foaming Production Line

Wei Yang<sup>1</sup> Pengke Huang<sup>2</sup> Fei Wu<sup>2</sup>

1 Ningbo Jifeng Automotive Parts Co., Ltd.

2 Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering, Chinese Academy of Sciences

**[Abstract]** Temperature control is crucial in automotive headrest polyurethane foaming. This paper designs an intelligent temperature control system. After analyzing the foaming process and temperature requirements, it details the system's layered architecture, sensor selection and placement, and the design of controllers and actuators. The study focuses on key technologies such as precise temperature measurement and intelligent control algorithms. Installation, debugging, and evaluation show that the system enhances temperature control accuracy and stability, improves production efficiency and product quality. While limitations like higher costs exist, it provides an effective solution for production.

**[Key words]** Automotive headrest; Polyurethane foaming; Intelligent temperature control system; Temperature control; Production application

### 引言

汽车头枕聚氨酯发泡工艺复杂,温度是影响发泡质量的关键因素。适宜温度能保证反应正常进行,温度波动会引发产品性能差异与外观缺陷。不同生产阶段对温度要求不同,高精度、稳定性的温度控制对保证产品质量意义重大。传统温控系统难以满足需求,设计智能温控系统成为提升汽车头枕聚氨酯发泡生产水平的重要途径。

#### 1 汽车头枕聚氨酯发泡工艺及温度控制需求分析

##### 1.1 聚氨酯发泡工艺原理

汽车头枕聚氨酯发泡工艺基于一系列复杂的化学反应。主要原料为多元醇与异氰酸酯,二者在特定条件下发生聚合反应。反应初始阶段,多元醇与异氰酸酯分子相互接触,异氰酸酯中的异氰酸根与多元醇中的羟基发生加成反应,生成氨基甲酸酯基团<sup>[1]</sup>。随着反应进行,体系内产生二氧化碳气体,这是通过添加

发泡剂实现的,发泡剂在反应热作用下分解产生气体,使物料体积膨胀形成泡沫结构。于此同时,分子链不断增长与交联,最终形成具有三维网状结构的聚氨酯泡沫。温度在这一反应过程中起着关键作用。适宜的温度能加速反应物分子运动,提高分子碰撞频率,加快反应速率。若温度过低,分子运动缓慢,反应速度减慢,可能导致发泡不完全,产品性能下降。而温度过高,反应过于剧烈,气体产生速度过快,易造成泡沫结构不均匀,出现塌泡、开裂等缺陷。

##### 1.2 温度对发泡质量的影响

温度与聚氨酯发泡材料的密度、硬度等关键性能指标紧密相关。在发泡过程中,温度升高会加速气体生成与扩散,使气泡数量增多、尺寸增大,进而降低发泡材料的密度。同时较高的温度会使聚氨酯分子链运动加剧,分子间作用力减弱,导致材料硬度下降。相反,较低的温度会抑制气体生成与扩散,使气泡数量

减少、尺寸减小,提高发泡材料密度,增加材料硬度。温度波动对产品一致性有着显著影响。在生产过程中,若温度出现较大波动,不同时间段生产的发泡材料在密度、硬度等性能上会出现差异。这种差异会导致汽车头枕在舒适性、支撑性等方面表现不一致,影响用户体验。温度波动还可能引发发泡材料表面缺陷,如表面粗糙、气泡不均匀等问题,降低产品外观质量。

### 1.3 生产线温度控制需求

汽车头枕聚氨酯发泡生产线不同生产阶段对温度有着不同要求。在原料预热阶段,需将多元醇与异氰酸酯等原料加热至适宜温度,以保证具有良好的流动性,便于后续混合与反应。在混合反应阶段,需严格控制温度,确保反应在适宜条件下进行,避免因温度过高或过低影响反应进程与产物性能。在固化成型阶段,需维持稳定温度,使发泡材料充分固化,形成稳定结构。为保证产品质量,生产线对温度控制的精度与稳定性有着较高需求。高精度温度控制能够确保不同批次产品在性能上保持一致,提高产品合格率。稳定性则可避免温度波动对发泡过程产生干扰,减少产品缺陷,提升生产效率与经济效益。

## 2 智能温控系统设计

### 2.1 系统总体架构设计

智能温控系统采用分层式架构,涵盖硬件与软件两大核心部分。硬件架构由传感器、控制器与执行机构构成。传感器负责实时采集温度数据,将物理信号转化为电信号,为系统提供精准的温度信息。控制器作为系统核心,接收传感器传来的数据,依据预设算法进行分析处理,生成控制指令。执行机构则根据控制指令,对生产环境温度进行调节,确保温度稳定在设定范围。软件架构包含数据采集、处理与控制算法等模块。数据采集模块负责从传感器获取温度数据,并进行初步筛选与整理。数据处理模块对采集到的数据进行深入分析,去除噪声干扰,提取有效信息。控制算法模块依据处理后的数据,结合预设控制策略,计算出最优控制参数,为控制器提供决策依据。

### 2.2 温度传感器选型与布置

温度传感器选型需综合考虑测量范围、精度、响应时间等因素。在汽车头枕聚氨酯发泡生产线中,因反应过程温度变化范围较大,且对精度要求较高,故选用高精度铂电阻温度传感器。此类传感器测量范围广,能在较宽温度区间内保持高精度测量,且响应速度快,可及时捕捉温度变化。传感器布置位置与数量需依据生产设备结构与温度分布特点确定。在发泡模具关键部位,如模具内表面、中心区域等位置布置传感器,以准确监测模具温度。在原料预热装置、混合反应釜等部位也需布置传感器,全面掌握生产过程温度变化。具体数量根据设备尺寸与工艺要求确定,确保能全面覆盖关键温度监测点。

### 2.3 控制器设计

控制策略选择上,鉴于聚氨酯发泡过程具有大滞后、非线性等特点,传统PID控制难以满足高精度控制需求,故采用模糊PID控制策略。该策略结合模糊控制与PID控制优点,通过模糊规则对PID参数进行实时调整,提高系统适应性与鲁棒性。控制器硬

件采用高性能工业级PLC,具备强大运算能力与可靠稳定性,能满足复杂控制算法运行需求<sup>[2]</sup>。软件实现上,基于PLC编程软件编写控制程序,将模糊PID控制算法转化为可执行代码,实现温度精准控制。

### 2.4 执行机构设计

加热设备选用电阻丝加热器,其加热功率范围为1-10kW,具有加热速度快、温度控制精度高、结构简单等优点。冷却设备采用循环水冷却系统,通过调节水流速度与温度,实现快速降温。执行机构控制方式采用脉冲宽度调制技术,通过调节脉冲信号占空比,控制加热器功率与冷却水泵转速,实现温度精细调节。

### 2.5 人机交互界面设计

界面功能需求涵盖温度设定、实时温度显示、历史数据查询、报警提示等。温度设定功能允许操作人员根据工艺要求设置目标温度。实时温度显示功能以直观方式呈现各监测点温度。历史数据查询功能便于分析生产过程温度变化规律。报警提示功能在温度超出设定范围时及时发出警报。界面布局遵循简洁明了原则,将关键功能模块置于显眼位置。操作方式设计注重便捷性,采用触摸屏操作,操作人员可通过简单触摸完成各项操作。

## 3 智能温控系统关键技术

### 3.1 温度精确测量技术

在汽车头枕聚氨酯发泡生产线智能温控系统中,温度精确测量是保障系统稳定精准控制的基础。为提升传感器精度与稳定性,一方面,选用高精度、高可靠性的传感器,这类传感器经严格筛选校准,具备出色线性度和重复性,能在复杂环境稳定工作。另一方面,对传感器定期维护校准,每3个月校准一次,及时修正误差,确保测量数据准确。多传感器数据融合技术也是重要手段,单一传感器存在测量局限,采用多个传感器同时测量不同位置温度,再运用数据融合算法综合处理。该算法考虑各传感器特性与误差分布,通过加权平均等方法消除噪声,提高温度测量精度,为系统提供准确数据。

### 3.2 智能控制算法

智能控制算法是智能温控系统的核心,决定着系统对温度的控制效果。自适应控制算法能根据系统运行过程中温度的变化情况,自动调整控制参数,使系统始终保持在最佳控制状态,有效应对外界干扰和内部参数变化。神经网络控制算法则凭借强大的非线性映射能力和自学习能力,能够建立复杂的温度控制模型,对温度进行精准预测和动态调整。在实际应用中,需根据聚氨酯发泡生产线的具体特点,对这些先进控制算法进行优化。通过大量的实验数据和实际运行反馈,调整算法参数,使其更好地适应生产线的温度控制需求,提高系统的响应速度和控制精度。

### 3.3 系统通信技术

系统通信技术是智能温控系统各部分之间信息传递的桥梁。内部通信协议的选择至关重要,需综合考虑通信速率、可

靠性、抗干扰能力等因素。常见的工业通信协议如Modbus、Profibus等,具有成熟的技术标准和广泛的应用基础,能满足生产线内部设备之间的稳定通信需求。与上层管理系统的通信接口设计要实现数据的无缝传输与共享。通过设计标准化的接口,将智能温控系统采集到的温度数据、设备状态信息等实时上传至上层管理系统,同时接收管理系统的控制指令,实现生产过程的集中监控与远程管理。

### 3.4 故障诊断与处理技术

在智能温控系统运行过程中,常见故障类型包括传感器故障、控制器故障、执行机构故障等。针对这些故障,需采用有效的诊断方法。通过分析传感器采集数据的异常变化、控制器输出信号的异常情况以及执行机构的动作反馈等,快速定位故障位置。例如,当传感器输出数据在5s内无变化且超出正常范围时,可判断为传感器故障。对于不同类型的故障,制定相应的处理策略。对于可恢复性故障,如传感器短暂失灵,可通过软件复位或重新校准等方式恢复正常工作;对于严重故障,如控制器硬件损坏,需及时更换设备,并记录故障信息,每次故障记录包含故障发生时间、故障类型、处理方式等信息,以便后续分析和改进,确保智能温控系统的稳定可靠运行。

## 4 智能温控系统应用分析

### 4.1 系统安装与调试

智能温控系统的安装需遵循严谨流程并关注细节。安装前,要全面检查设备清单,确保组件完整,仔细阅读安装手册,熟悉部件功能与要求<sup>[3]</sup>。依据现场布局,精确定位传感器、控制器及执行机构位置。传感器应装在能精准反映温度变化的关键区域,如汽车头枕聚氨酯发泡模具内,保证接触良好,避免干扰。控制器安置在通风、便于操作且远离强电磁干扰处。执行机构安装要遵循电气规范,确保线路牢固。调试涵盖多环节。硬件调试时,先查供电是否正常,再检测传感器输出信号和执行机构运转情况。供电电压波动控制在 $\pm 5\%$ 内,传感器输出偏差在 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 内,执行机构运转误差在 $\pm 5\%$ 内。软件调试时,初始化控制器程序,输入工艺参数与策略。接着模拟运行调试,不接入实际生产,模拟温度变化场景,设定 $20\sim 60^\circ\text{C}$ 范围,每 $10^\circ\text{C}$ 一个区间检验响应。最后实际生产调试,逐步调整参数,记录数据。

### 4.2 系统运行效果评估

对温度控制精度与稳定性的评估至关重要。通过长时间连续监测系统运行过程中的温度数据,分析与设定温度的偏差情况。若偏差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内波动,说明控制精度高;若偏差超过 $\pm 1$

$^\circ\text{C}$ 或波动频繁,则需进一步优化控制算法与参数。稳定性评估则关注系统在受到外界干扰时,能否快速恢复稳定温度状态。系统对生产效率与产品质量的影响评估也必不可少。在生产效率方面,观察系统运行后单位时间内产品产量是否提升,生产周期是否缩短。系统运行后,单位时间内产品产量可从50个提升至70个,生产周期可从5min缩短至3min。在产品质量上,检查产品尺寸精度、外观质量、物理性能等指标是否改善。例如,在汽车头枕聚氨酯发泡生产中,稳定的温度控制可使发泡材料密度均匀、硬度适中,提高头枕舒适度与支撑性,产品尺寸精度误差可从 $\pm 2\text{mm}$ 降低至 $\pm 1\text{mm}$ ,外观缺陷率可从5%降低至2%。

### 4.3 系统优势与局限性

与传统温控系统相比,智能温控系统优势明显。具备高精度温度控制能力,能根据生产需求实时调整温度参数,减少温度波动对产品质量的影响。智能化程度高,可自动诊断故障、调整控制策略,降低人工干预需求,提高生产自动化水平。还具有良好的扩展性,能方便地与其他生产设备与管理系统集成。然而,智能温控系统也存在一定局限性。系统成本较高,硬件设备与软件开发投入较大,对中小企业来说资金压力较大。技术复杂度高,需要专业技术人员进行安装、调试与维护,对人员技术水平要求较高。未来改进方向包括降低成本,通过优化设计与选型,选用性价比更高的硬件设备;加强技术培训,提高操作人员技术水平,降低系统运维难度。

## 5 结束语

汽车头枕聚氨酯发泡生产线智能温控系统,凭借高精度控制、智能化操作等优势,有效提升了产品生产质量与效率,降低了人工干预需求。虽存在成本较高、技术复杂等局限,但通过优化设计选型、加强技术培训等措施,能进一步发挥其效能,为汽车零部件生产行业带来更优质的生产解决方案。

### [重点项目]

宁波市重点研发计划: 2023Z048。

### [参考文献]

- [1]胡勇.蜂窝型聚氨酯发泡材料应用于汽车天窗遮阳板的初步研究[J].汽车实用技术,2021,46(04):122-125.
- [2]陈菲,陈睿卿,刘阳萍,等.基于Web的聚氨酯发泡设备在线个性化定制系统设计[J].价值工程,2021,40(15):235-236.
- [3]陈森,王志昂,陈肖宇,等.客车用环氧改性聚氨酯密封胶的制备及应用[J].聚氨酯工业,2023,(4):47-50.