

糖香料厨房自动配料控制系统及远程故障诊断技术研究

朱德峰¹, 王红星², 董涛²

1. 无锡智瀚智能机器技术有限公司, 江苏 无锡 214000

2. 贵州中烟工业有限责任公司 贵阳卷烟厂, 贵州 贵阳 550000

DOI:10.61369/ETQM.2025100018

摘要：本研究聚焦于糖香料厨房自动配料控制系统及远程故障诊断技术的开发与应用。系统设计采用移动罐灌装模式替代传统管道输送方式，优化了成品料向制丝现场的供应流程。核心工艺流程涵盖原料处理、自动熬制、移动罐灌装、AGV输送及余料回收清洗等环节。控制系统构建了设备控制层、集中监控层和生产管理层三层架构，基于ProfiNet工业以太网实现高效数据通信。系统实现了精准配料调制、灌装动态补偿、移动罐自动对接、多模式控制及全流程防差错功能。远程故障诊断系统通过特征提取与建模，结合分布式网络架构，实现故障的快速识别与定位。安全设计融合了多重联锁机制与权限管理，保障系统可靠运行。

关键词：糖香料厨房；自动配料；移动罐；AGV；远程故障诊断；ProfiNet；防差错

Research on Automatic Blending Control System and Remote Fault Diagnosis Technology for Sugar and Flavor Kitchen

Zhu Defeng¹, Wang Hongxing², Dong Tao²

1. Wuxi Zhihan Intelligent Machinery Technology Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214000

2. Guizhou Tobacco Industry Co., Ltd., Guiyang Cigarette Factory, Guiyang, Guizhou 550000

Abstract : This research focuses on the development and application of an automatic blending control system and remote fault diagnosis technology for sugar and flavor kitchens. The system design adopts a mobile tank filling mode to replace the traditional pipeline transportation method, optimizing the supply process of finished materials to the cigarette-making site. The core process flow includes raw material processing, automatic boiling, mobile tank filling, AGV transportation, and residual material recovery and cleaning. The control system is constructed with a three-layer architecture of equipment control layer, centralized monitoring layer, and production management layer, achieving efficient data communication based on ProfiNet industrial Ethernet. The system realizes precise blending modulation, dynamic compensation during filling, automatic docking of mobile tanks, multi-mode control, and full-process error prevention functions. The remote fault diagnosis system, through feature extraction and modeling, combined with a distributed network architecture, enables rapid identification and location of faults. Safety design integrates multiple interlock mechanisms and permission management to ensure reliable system operation.

Keywords : sugar and flavor kitchen; automatic blending; mobile tank; AGV; remote fault diagnosis; ProfiNet; error prevention

引言

在烟草加工领域，糖香料厨房系统是卷烟生产的重要组成部分。该系统由机械设备、控制系统和管理系统三大部分组成，其基本功能是实现糖香料调制、储存和输送。其中机械设备一般有熬制罐、原料罐、调制罐和储存罐，熬制罐将固体原料制成液体原料储存到原料罐中，原料罐储存单体原料并按照配方出料重量和误差的要求输送到调制罐中，调制罐制成配方料输送到储存罐中，储存罐存储配方成品料。该系统取代了原有的人工配料方式，采用自动化配料工艺，在现场的运行过程中，取得了显著的效果，实现了配料的自动化，但配料精度还有待进一步提高。本研究设计开发了一套基于移动罐灌装模式的糖香料厨房自动配料控制系统。系统引入RFID识别、AGV自动物流、动态灌装控制及自动对接技术，并集成了远程故障诊断功能。

作者简介：朱德峰（1987—），男，汉族，江苏宝应人，本科，工程师，研究方向：卷烟设备自动化与控制。

一、糖香料厨房自动配料控制系统工艺流程设计

(一) 核心工艺流程框架

糖香料厨房自动配料流程起始于原料扫码入库环节。扫码枪自动审定料液代码与系统配方是否契合，校验无误的原料借助气动泵被抽进指定原料罐，配料进程依据生产任务单开展，由 PLC 控制系统自动计算各原料的出料数量，气动调节阀把控原料按比例进入计量罐加以混合^[1]。混合料液借助管道泵进入调制罐后，蒸汽加热系统依据预设温度曲线落实熬制工艺，自动配料流程如图1所示。成品料液灌装时采用移动罐模式开展工作：操作人员在触摸屏上选定目标储存罐及所需灌装量，输送泵跟气动球阀协同合作实现快慢双速的灌装流程，RFID 读写器把诸如牌号、重量的信息写入移动罐芯片，满载移动罐被 AGV 小车运送至制丝车间里。自动对接站台依靠气缸驱动快换接头实现定位与管路的连通，完成料液精准施加，成品料液施加流程如图2所示。

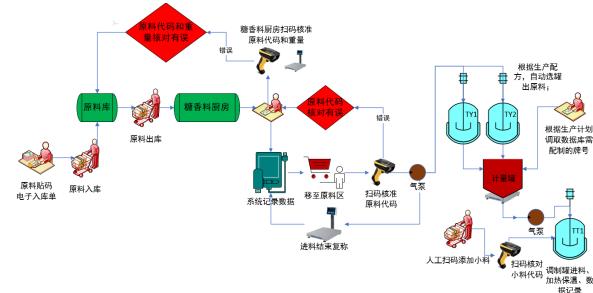


图1 自动配料流程图

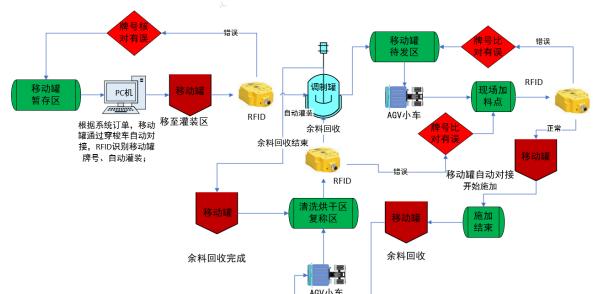


图2 成品料液施加流程图

(二) 关键工艺环节技术要求

1. 煮制过程温度 - 时间协同控制标准

糖香料熬制工艺对温度控制精度要求达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，蒸汽加热罐配备的 PT100 温度传感器，可实时采集料液温度，PLC 借助 PID 算法对蒸汽调节阀开度实施动态调控^[2]。温度控制曲线可划分出三个阶段：初始阶段把升温速率调为 $5^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ ，升温至 75°C ，防止蛋白质出现变性现象；恒温阶段把温度稳定到 $75^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ，持续 20 分钟时间，加快糖香料充分溶合；降温阶段把循环水冷却系统开启，用 $3^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ 的速度降至 40°C 以下，杜绝焦化现象。温度传感器每 10 秒把检测到的数据反馈给 PLC，一旦检测值与设定值出现 0.5°C 的偏差，且持续超 10 秒，系统触发报警接着自动对蒸汽流量补偿，历史数据记录模块归档各批次的温度曲线，作为质量追溯的凭据。

2. 成品灌装精度动态补偿机制

要将移动罐灌装精度控制在设定值正负偏差 0.2% 的范围里，灌装起始阶段气动球阀完全开启，输送泵按照 50Hz 频率运转实现高速灌装状态^[3]。若料液重量达到既定值的 95%，PLC 切换到精度补偿阶段：气动调节阀按线性算法逐步让阀门开启度降低，输送泵频率相伴同步降到 25Hz，灌装流速从 800 升每分钟下探至 80 升每分钟。称重传感器把重量数据实时反馈，PLC 依据所得差值对阀门开度实施动态调整。等阀门关闭结束，实际重量跟目标值的偏差小于 0.5kg，灌装完成的短暂瞬间，压缩空气系统把管路内残留料液回吹进储存罐，防范出现交叉污染情形，RFID 系统把实际灌装量记录好，然后绑定移动罐电子标签。

二、自动配料控制系统架构设计

(一) 分层控制体系构建

设备控制层以西门子 S7-1516PLC 作为核心部分，依靠 ProfiNet 总线实现分布式 I/O 站与智能仪表的相连。此层直接掌管现场设备的执行机构，就如调节阀，其开度调节的精准程度为 0.1%，变频泵频率的响应时长不足 100ms。I/O 箱采用的是 ET200SP 类型防爆模块，就近安置于设备周边不超过 3m 的范围，借助 4~20mA 模拟量输入模块采集液位传感器信号，把气动阀反馈信号引至数字量输入通道，集中监控层安置四台采用冗余设计的监控计算机，采用 INTOUCH 组态软件运行，即时显示各调制罐温度变化曲线、阀门情形及灌装进度情况。

(二) 网络通信协议设计

控制系统采用环形的光纤以太网结构体系，借助 1000Mbps 光纤链路，糖香料厨房主交换机连接制丝车间核心交换机，达成跟加香加料工段的数据互通^[4]。设备层 ProfiNet 网络采用 PLC 作为控制器，38 个 I/O 站借由交换机实现级联，把总线周期配置成 4ms 值，实现阀门联锁响应的预期目标。监控层以 OPCUA 协议为途径传输实时数据，每秒钟实现 2000 个工艺参数点的更新，管理层以 TCP/IP 为媒介与厂级 MES 通信，每日对诸如配方表、生产计划的静态数据进行同步。

三、核心控制功能模块实现

(一) 设备控制层功能开发

依靠 PLC 编程实现设备控制层功能，实现糖香料厨房自动化流程全面覆盖。原料桶扫码验证成为原料处理功能的起点，固定式或手持的 RFID 读写工具 / 扫码用具对原料桶标签信息进行读取，PLC 把它和目标原料罐预设好的信息作一番比对，唯有匹配成功，抽料泵及相应阀门方可启动。自动计量配料功能凭借监控层下发的配方跟批量，PLC 精确核算各原料的需求数量，控制程序自主断定需求量是否低于原料罐计量下限，当需求量低于下限马上发出人工干预信号，配料的时候，PLC 依顺序调节相应原料罐出口气动调节阀的开启度与输送泵。

(二) 监控管理层功能优化

监控管理层凭借 INTOUCH 组态软件开展深度化开发，打造直观、高效又安全的操作空间。人机交互界面 (HMI) 采用分层分级的布局规划，总貌画面全方位呈现系统运行状况、关键警报及生产批次详情，分工艺段（包含原料、熬制、灌装、回收等工艺部分）的流程图画面，动态呈现出设备符号（用颜色区分其状态如何）、实时参数（有温度、重量、液位、流量等数值）、阀门位置以及电机的启停状态信息。如调制罐这类关键设备给出详细子画面，展现更多参量、操作按键及历史态势。

四、远程故障诊断系统构建

(一) 故障特征提取与建模

远程故障诊断系统效能依靠对设备运行状态特征信息的有效提取及建模。系统经由设备控制层 (PLC) 实时收集，随后上传丰富原始数据流，囊括了诸如传感器读数、执行器状态如何、设备反馈信号怎样以及关键控制变量 (PID 输出、设定值跟实际值的偏差) 等方面。特征提取进程起始便对原始数据进行预处理操作，含有滤波去噪（如运用移动平均或数字滤波器消除信号的干扰问题）、基于范围校验的无效值去除和数据标准化处理，就各类故障搭建特征向量，鉴于泵机械故障情况，特征向量或包含运行电流的有效值及对应的谐波分量、轴承振动频谱所呈现的特征、进出口压力差波动的特性特点。

(二) 远程诊断架构设计

远程故障诊断系统通过分布式架构实现现场数据采集、边缘预处理然后与云端深度分析协同操作。现场层由糖香料厨房控制系统所组成，PLC 不只是执行控制工作，同时担当关键数据采集节点，PLC 所内置的诊断缓冲区，记录着设备错误代码、通信方面的故障以及程序异常等情况。集中监控层处监控计算机对轻量级边缘计算模块进行运行，这模块实时接收 PLC 上传过来的原始数据以及预处理后的特征数据，开展初步状态的阈值报警、简单规则甄别诊断与数据的精简工作。

五、系统防差错与安全设计

(一) 全流程防差错体系

系统打造贯穿原料入库到余料回收全流程的防差错系统，最

参考文献

- [1] 张万全, 梁嘉, 孙成顺, 等. 基于 RFID 与条形码技术的烟草制丝香料厨房信息流转系统设计 [J]. 自动化应用, 2024, 65(22): 20-23.
- [2] 李强, 王爽果, 吴晓东, 等. 香糖料管理系统设计与实现 [J]. 设备管理与维修, 2024, (19): 12-15.
- [3] 延龙, 石宪红, 张凯丽, 等. 基于 PLC 的小车自动配料控制系统设计 [J]. 机电信息, 2023, (06): 17-20.
- [4] 任嫩青. 隔膜板原料自动配料控制系统 V1.0. 河南省, 河南润资环保新材料科技有限公司, 2022-05-20.
- [5] 肖楠. 基于 PLC 的生产线自动配料控制系统设计 [J]. 电子制作, 2022, 30(05): 62-64.
- [6] 陈加坤, 刘银初, 彭斌, 等. 香料厨房桶装物料保温加热系统的设计与应用 [J]. 机械工程师, 2022, (10): 122-126.
- [7] 李冷槿. 烟草香料厨房管理控制系统的应用与实现 [D]. 西南科技大学, 2021.
- [8] 丘柳明. 香料厨房尾料配料系统的设计与应用 [J]. 电工技术, 2019, (04): 84-86+90.
- [9] 姜澧, 李晓芬, 朱江. 烟草企业香料厨房配料校验系统研究与应用 [J]. 信息技术与信息化, 2018, (09): 141-143.
- [10] 罗庆华, 张福新. 糖香料厨房送配料系统设计改进 [J]. 中国设备工程, 2017, (06): 62-63.

大限度削减人为操作的失误隐患^[5]。在原料入库与进罐阶段设置关键防错要点，操作员采用无线扫码枪扫描原料桶的 RFID 标签也或条形码，系统自动获取料液代码详情，PLC 实时对比该代码跟目标原料罐预先设置好的允许接收代码，唯有代码彻底匹配之际，系统得以解锁，进而允许启动自动抽料泵及相关阀门。完成抽料相关工作后，系统自动读取原料桶抽料前后展现的重量差，得出实际进罐量然后和预期值做一番比对，保存资料为追溯所用，成品实施灌装的环节，待空移动罐放置于灌装位，RFID 读写器自动开展芯片信息读取^[6]。

(二) 安全联锁保护机制

系统联结多阶段硬件与软件安全互锁保障措施，维持人员、设备和产品质量的安全水平。基础防护借助硬件安全回路得以构成，主控制站、灌装区、对接站台、高温设备旁等关键区域需安装紧急停止按钮，按下急停按钮之际，依靠硬接线直接掐断相关区域设备动力电源，像电机主回路、加热器的电源，做到让设备即刻停止运行这件事。急停状态信号一同输送至 PLC，导致 HMI 强报警且精准锁定急停源头。例如：调制罐加热功能开启需满足搅拌电机运转、液位超过最低安全液位且温度传感器正常这些条件；输送泵启动的先决条件是出口管路无堵塞（无堵塞报警信号）、相关阀门开位恰当且无过载故障；移动罐对接气缸动作前，需确认 AGV 已精准定位释放，且区域无人员干涉信号^[7-9]。

六、总结

本研究成功设计并实现了一套集成自动配料与远程故障诊断功能的糖香料厨房控制系统。系统采用移动罐灌装与 AGV 输送模式，优化了制丝现场供料流程。通过三层控制架构（设备层 -PLC、监控层 -HMI、管理层 - 数据库）和 ProfiNet/TCP/IP 融合网络，确保了控制的实时性与信息互通。核心工艺实现了精准温度 - 时间协同熬制、灌装动态补偿及移动罐高精度对接。开发的远程诊断系统基于特征提取与建模，支持故障的快速识别与定位。全流程防差错设计 (RFID 牌号比对) 与多重安全联锁机制显著提升了系统的可靠性与安全性^[10]。