

基于 PLC 的化工生产全自动安全投料系统开发

朱金利¹ 冯莉宏²

1. 山东新安达工程咨询有限公司; 2. 山东知原安全技术咨询有限公司

摘要: 本文设计并实现了基于 PLC 的化工生产全自动安全投料系统, 通过 PLC 控制、温度与重量传感器的实时数据采集与反馈, 精确控制进料阀的开度, 实现物料的精准投放。系统集成了自动化控制与安全防护机制, 具备温度、重量超限保护、紧急停机等功能, 有效防止设备故障。性能测试表明, 系统在响应时间、投料精度和安全保护等方面均达到设计要求, 具有高效性、精确性和安全性, 适用于化工生产过程中的自动控制与风险防范。

关键词: PLC 控制系统; 安全防护机制; 实时监控

传统手动投料系统效率低, 且存在较高的安全风险。本文提出了一种基于 PLC 的全自动安全投料系统, 旨在提高物料投放精度和生产安全性。该系统通过 PLC 与温度、重力传感器协同工作, 实现物料精确投放、实时监控与自动应急停机功能。本文将详细介绍系统的设计思路、关键技术以及性能验证结果, 为化工生产中的自动化升级提供参考。

1 系统设计与需求分析

1.1 系统整体架构与工作原理

系统以 PLC 为核心, 结合温度与重量传感器、进料阀、电磁阀等模块, 形成自动化控制平台。PLC 主控模块接收传感器数据, 并通过扩展模块调整进料阀开度和电磁阀操作, 确保物料的精准投放。触摸屏交互设备允许操作人员设定参数并实时监控系统状态^[1]。

系统工作时, PLC 协调各模块运行, 如图 1 所示, 实时采集环境数据, 控制进料阀与电磁阀的动作。在超温或超重时, 系统会自动停机, 关闭进料阀,

保障生产过程中的安全和精确控制。

1.2 系统功能需求与目标

系统需实现精准投料、实时监控与紧急停机。根据传感器数据自动调节进料阀开度, 确保物料按设定精度投放。超温、超重等异常情况下, 系统会自动触发报警并停止进料, 防止设备损坏或泄漏。

系统还要求具备安全防护功能, 实时监控温度与重量, 异常时自动执行紧急停机。系统还需具备故障检测和自动关闭功能, 确保在发生故障时能够有效应对并减少影响。

1.3 关键技术难点与创新点

在 PLC 控制系统设计中, 最关键的难点是如何实现高精度的物料投放控制, PLC 和传感器数据的精确处理是

核心。通过西门子 S7-200 SMART PLC 与 AM06 扩展模块, 系统能够精确控制进料阀开度^[2]。

创新点在于将自动化控制与安全防护机制结合。使用保险常闭式电磁阀和中间继电器实现断电闭锁, 确保在紧急情况下能自动停机和切断物料流, 提升了系统的安全性和智能化水平。

2 PLC 控制系统设计与实现

2.1 控制模块的选择与设计

本系统选用西门子 S7-200 SMART PLC 作为主控模块, 并配备 AM06 扩展模块。S7-200 SMART PLC 具备高处理能力, 适用于精确的自动化控制任务, 能够通过数字和模拟信号接口实时监控系统状态。AM06 扩展模块提供额外的模拟输入和输出通道, 使得进料阀的开度控制更为精确, 实现更高的控制精度。硬件架构基于模块化设计, 各组件通过背板总线高效连接, 确保了信号的实时传输与稳定性。

在信号流程方面, PLC 通过主控模块与温度、重量传感器以及执行机构

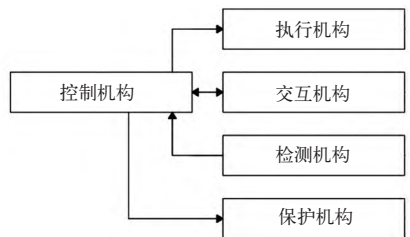


图 1 各模块运行图

(如进料阀和电磁阀)实时交互。数据从传感器采集,经过 PLC 处理后,通过扩展模块输出控制信号,调节阀门的开度。系统通过这种闭环控制,能够确保物料投放的精确度与生产过程的稳定性。

2.2 PLC 程序设计与控制策略

PLC 程序使用梯形图和功能块设计,确保自动化控制的精度与可靠性。通过梯形图设计,系统能够实时调整进料阀 M1 和 M2 的开度,实现精确的物料投放。程序根据传感器输入的数据,如温度和质量,动态调整阀门开度,确保进料量与温度控制在设定范围内。通过功能块,系统能够高效处理不同传感器的输入,并根据预设的控制策略自动调整控制参数^[3]。

在控制策略方面,PLC 根据温度和重量的变化,实时反馈并调整进料阀的开度。当物料重量达到设定值时,系统会自动停止进料,确保生产工艺符合要求。系统还会根据设定的目标自动调节温度和流量,实现精准投料,提升生产效率并减少人工干预。

2.3 自动化与安全控制机制

自动化与安全机制的结合是本系统的一大亮点,确保了生产过程的安全性及稳定性。系统通过温度传感器与重量传感器,实时监测生产环境与物料状态。当检测到温度或重力超过设定阈值时,系统自动关闭进料阀并触发报警,提醒操作人员采取措施。超温和超重保护机制有效防止设备损坏或生产事故发生,重力传感器读取压力值的程序注释如图 2 所示。

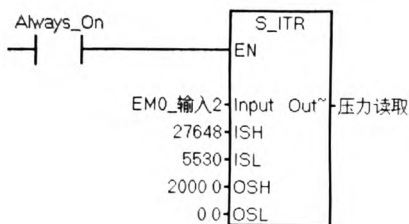


图 2 重力传感器读取压力值的程序注释

系统设计了紧急停机逻辑,一旦发生超温或超重情况,进料阀会自动关闭,进料过程被中断,确保安全停机。报警系统实时发出警示信号,并通过触摸屏界面显示故障信息,操作人员可根据提示进行系统复位。此安全控制机制最大限度地减少了安全隐患,提升了系统的自动化和可靠性。

3 安全防护与应急处理机制设计

3.1 安全防护机制

本系统设计了保险常闭式电磁阀,采用断电闭锁型结构,确保在电力故障时,电磁阀立即关闭,切断物料流动。这种设计能够在断电情况下迅速切断物料供应,从而防止因电力恢复时物料未及时切断而造成的泄漏或过量投料等安全隐患^[4]。电磁阀的闭锁设计也确保了系统在停电时不会发生物料溢出、泄漏或其他不可控风险,有效提升了系统的安全性和可靠性。

在此基础上,系统还集成了中间继电器,当断电发生时,中间继电器会触发电磁阀的闭锁,进一步避免了系统电源恢复时物料流持续的问题。继电器作为系统的“保险装置”,能够在非常规电力情况中自动起到保护作用,从而增强了系统对异常电力状况的应急响应能力,确保生产过程中的安全性。

3.2 温度与重量的实时监控

温度传感器(如 PT100)的应用对系统的实时监控至关重要。PT100 传感器能够精确地检测生产环境的温度变化,其高精度特性确保了系统能够及时发现温度超标的风险。当温度超过设定的安全阈值时,系统会立即响应,自动关闭进料阀并启动报警机制,以避免过热引发的设备故障或生产事故。温度超限时,PLC 程序会触发紧急停机,确保设备安全停机,并为操作人员提供即时反馈。

重力传感器在系统中的作用同样不可忽视。通过实时检测物料的重力,

系统能够确保每次投料的精度。当检测到重量超限时,控制系统会立刻进行调整,减少进料量,避免超重带来的生产问题。重量超限控制逻辑通过 PLC 程序的实时调节,及时反馈重量变化并自动调节进料阀,确保每批次的投料量保持在设计范围内,有效提升了物料配比的准确性和生产过程的稳定性^[5]。

3.3 故障检测与应急处理

为了确保系统的稳定运行,本设计集成了实时故障监控和报警机制。系统能够不断监测各个关键参数(如温度、重量、压力等),一旦发生异常,故障检测模块将触发警报并实时显示在触摸屏上,通知操作人员进行处理。通过这种机制,能够在早期发现潜在问题,并采取措施防止事故发生。系统的实时监控还可以跟踪设备状态,确保操作人员及时做出反应,有效降低故障发生的概率。

在出现超温、超压等紧急情况时,系统会立即采取应急措施,自动停机并触发报警。超温或超压时,进料阀将自动关闭,确保物料流被切断,防止进一步的风险。系统还设计了自动复位机制,在处理完故障并排除安全隐患后,操作人员可通过触摸屏进行复位,恢复系统正常运行。

4 系统实现与调试

4.1 硬件实现

在硬件实现阶段,系统的关键硬件选型包括西门子 S7-200 SMART PLC 作为主控模块、AM06 扩展模块用于模拟量输入/输出、温度传感器(PT100)用于温度监控、重量传感器用于物料称重,以及进料阀 M1、M2 和保险常闭式电磁阀作为执行机构。硬件选型的核心目标是确保系统的高效、精确与安全。PLC 控制器与扩展模块通过背板总线进行通信,确保数据的高速传输和精准控制。传感器与 PLC 模块连接时,信号经由模拟量输入模块处理,经过程序

控制后驱动执行机构。

电路设计如图 3 所示，我们特别注重信号的稳定性与系统的冗余设计，避免在复杂环境中信号的丢失或干扰。硬件集成后，通过多轮测试与调整，确保每个模块正常工作并无冲突。

4.2 软件实现与调试

在软件开发与调试过程中，PLC 程序的编写主要使用梯形图和功能块的设计，涵盖进料控制、数据采集与报警处理等功能。第一，系统需要通过编程精确地控制进料阀的开度，实现精确的物料投放。温度与重力传感器的实时数据输入通过 PLC 程序进行采集，并依此控制执行机构，如进料阀和电磁阀的开关状态。在调试过程中，初步编写程序后，进行了多次循环测试，模拟不同生产环境下的温度波动和重量变化，确保系统能够稳定运行。

控制进料阀 M1 开度的程序注释如图 4 所示，通过调试发现，某些传感器数据波动较大，导致进料控制不精确，因此增加了软件中的滤波算法，减少了异常数据的影响。

针对报警功能的调试，系统通过模拟超温（超过 250℃）和超重（超过 1.8t）

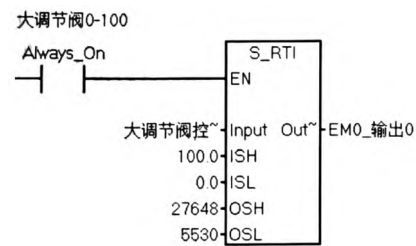


图 4 控制进料阀 M1 开度的程序注释

情况，能够在异常情况发生时迅速响应，自动关闭进料阀并触发报警，确保安全保护机制的有效性。

经过多轮调试，优化了阀门控制算法，解决了控制响应滞后问题，并通过引入滤波器减少了传感器数据波动，避免了误操作的发生，进一步提高了系统的稳定性和可靠性。

4.3 性能测试与结果

在性能测试中，第一对系统的响应时间进行了验证。通过输入模拟的温度变化（如温度设定为 250℃）和重量变化（如目标重量设定为 1.5 t），系统能够在接收到信号后迅速调整进料阀开度。试验结果表明，响应时间约为 12m/s，满足设计要求的实时响应能力，保证了系统在生产过程中能够及时反应，避免延迟影响投料精度。

第二，进行了投料精度测试，模拟实际生产中进料过程。通过重力传感器检测投料量，试验设定了目标投料量为 1t。测试结果表明，实际投料量与目标量的误差不超过 1%，显示出系统的高精度调节能力。这验证了 PLC 控制系统能够精确调节进料阀，确保准确的物料投放。

第三，对系统的安全保护功能进行了测试。试验模拟了超温（250℃）和超重（1.8 t）情况，系统在两种异常情况下都能立即响应，关闭进料阀并触发报警。所有试验数据表明，系统在异常工况下能够有效保护设备，自动停机并进入安全状态。测试结果证明，安全保护机制的设计可靠，能够有效防止事故发生。

4.4 应用案例分析

在某化工厂的实际应用中，基于 PLC 的全自动安全投料系统成功应用于生产线的催化剂投料控制。该系统通过温度传感器实时监测反应器的温度变化，并根据设定的温度阈值自动调整进料阀的开度，实现精确的物料投放。在一次生产过程中，系统成功地在温度超标的情况下自动关闭了进料阀，并发出

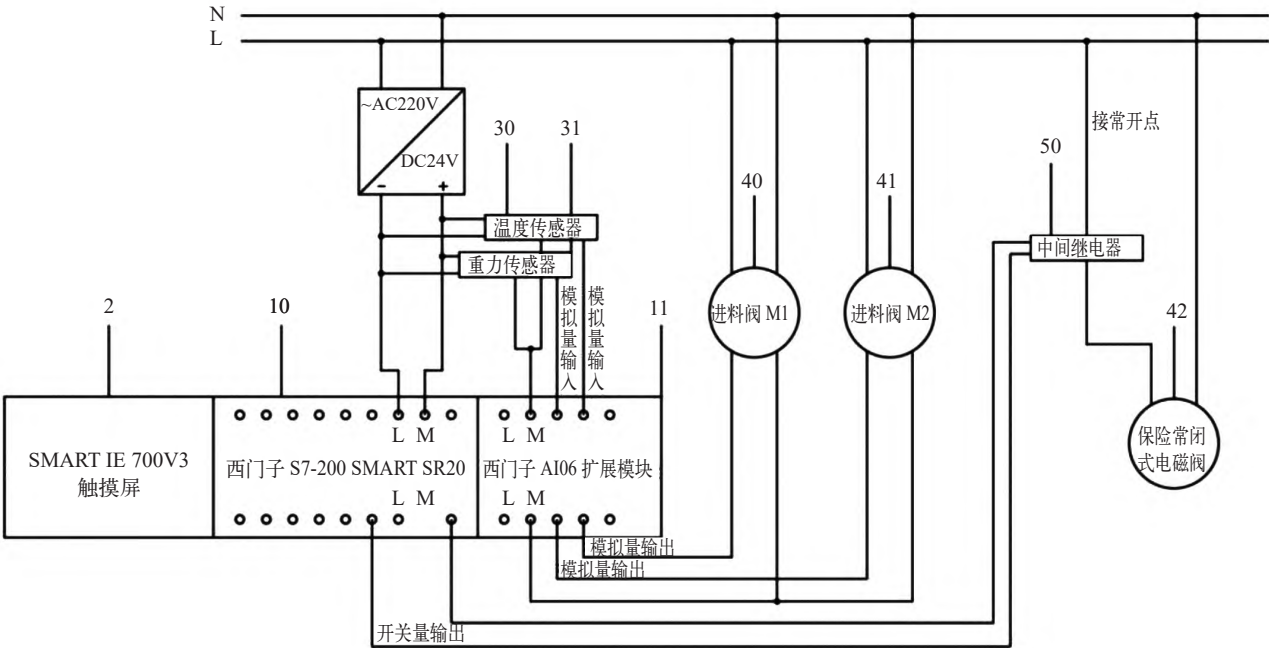


图 3 电路设计

报警信号,避免了设备过热和物料损坏,确保了生产的连续性与安全性。测试结果显示,系统在面对不同生产工况时,能够精准响应并有效保护设备,大大提高了生产效率与安全性。

5 结论

本文介绍了基于 PLC 的化工生产全自动安全投料系统的设计与实现,系统通过 PLC、传感器和执行机构的精确配合,实现了物料的精准投放和生产过程的安全监控。通过系统的实时数据

采集与控制,能够有效防止超温、超重等异常情况,保障设备安全。

测试结果表明,系统在响应时间、投料精度和安全防护方面均达到预期,具备较高的自动化水平和安全性,显著提升了生产效率和安全性,为化工生产提供了可靠的自动化控制方案。

参考文献:

[1] 王凯. 石油化工电气自动化控制中的 PLC 技术应用 [J]. 中国设备工程, 2023(19):226-228.

[2] 范建宏, 吴豪. 基于 PLC 的化工过程液位自动化控制系统设计 [J]. 信息记录材料, 2023, 24 (09):124-126.

[3] 贾莉娜, 王道谊. 基于 PLC 的 LF 炉投料控制系统设计 [J]. 仪器仪表用户, 2023, 30 (09):1-4+85.

[4] 臧少锋, 杜建伟. 化工机械自动化控制中 PLC 技术的应用探析 [J]. 中国机械, 2023, (13):71-74.

[5] 苏冠领. 自动化分装投料系统设计与实现 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58 (04): 194-196.

(上接第 81 页)

5 结论与展望

5.1 研究结论

人工智能技术正推动仪表设计由“经验驱动”迈向“数据驱动”:知识图谱与深度学习融合,实现选型环节秒级推荐;规则引擎与向量化校验结合,构建校审环节全维度质量控制。天辰公司私有化大模型与多年工程数据耦合的实践表明,通过大模型私有化部署与工程数据的深度融合,可显著提升仪表设计的效率与标准化水平,为企业创造可观的经济价值。

研究同时证实,技术落地仍受三要素制约:极端工况样本稀缺、算法可解释性不足、规范更新滞后;其本质并非模型固有缺陷,而需通过持续迭代、标准完善与复合型人才培养逐步消解。

5.2 未来展望

1) 技术方向:下一代系统将引入

因果推理与可解释 AI,使“参数—决策—证据链”全程可追溯,满足监管与工程双重审计需求。

2) 应用延伸:依托 5G 与边缘计算, AI 能力将从设计端延伸至运维端;嵌入式边缘 AI 模块可完成测量数据实时诊断与故障预警,形成“设计—安装—运维”全生命周期智能闭环。

3) 标准建设:亟须由行业协会牵头,联合设备制造商、工程企业与科研机构,制定涵盖数据质量、算法验证、责任界定的 AI 仪表应用行业标准,推动技术规模化、规范化落地。

参考文献:

[1] 王江平. 加强数据治理推动“人工智能+制造”行动落实 [J]. 数字化转型, 2025, 2(03):5-9.

[2] 陈致蓬, 韩杰, 阳春华, 等. 工业垂

域具身智控大模型构建新范式探索 [J/OL]. 自动化学报, 1-18[2025-10-29].<https://doi.org/10.16383/j.aas.c250247CSTR32138.14.j.aas.c250247>.

[3] Xiong,L, et al., "DeepSeek: Paradigm Shifts and Technical Evolution in Large AI Models," in IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol. 12, no. 5, pp. 841-858, May 2025, doi: 10.1109/JAS.2025.125495.

[4] 窦凯. 精细化工自动化仪表选型研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(03):205-207.DOI:10.16107/j.cnki.mmt.2024.0155.

[5] 马东宁. INtools 软件在仪表专业工程设计中的应用 [J]. 石油化工自动化, 2005(06):9-12+68.