

智能控制技术在不锈钢电动调节阀门中的集成应用与能效优化

张海波 陈 益 孙淑男 张崇环 陈 浩

派利阀门集团有限公司 浙江 温州 325000

【摘要】在工业自动化领域，阀门作为流体控制的核心组件，其运行性能直接影响整个系统的稳定性与能源利用效率。不锈钢电动调节阀门凭借其优异的耐腐蚀性能与结构稳定性，广泛应用于石油、化工、水处理等关键行业。然而，传统控制方式下，这类阀门常面临调节精度不足、响应滞后以及能耗偏高的问题，难以满足现代工业对高效、精准控制的需求。智能控制技术的快速发展，为解决上述问题提供了新的路径。本文围绕智能控制技术在不锈钢电动调节阀门中的集成应用展开研究，首先分析智能控制技术与不锈钢电动调节阀门融合的必要性，随后探讨模糊控制、神经网络控制、PID智能优化等技术在阀门控制中的具体集成方式，重点研究基于智能控制的能效优化策略，包括动态调节算法优化、负载自适应控制以及能耗监测与反馈机制等。通过理论分析与实际应用场景结合，论证智能控制技术对提升不锈钢电动调节阀门调节精度、缩短响应时间以及降低能耗的作用，为工业领域流体控制系统的高效运行提供理论参考与实践方向。

【关键词】智能控制技术；不锈钢电动调节阀门；集成应用；能效优化；模糊控制；PID智能优化

DOI:10.12417/2705-0998.25.20.052

1 引言

在现代工业生产中，流体介质的传输与控制是保障生产稳定、产品合格的关键，阀门作为核心设备，其性能与控制方式备受关注。不锈钢电动调节阀门因耐腐蚀性强、机械强度高、使用寿命长，在石油化工反应装置、城市供水水处理系统、能源热力管网等对介质纯度和环境适应性要求高的领域，具有不可替代的地位。随着工业自动化水平提升，传统阀门控制依赖固定参数设定，缺乏对复杂工况的动态适应能力，易出现超调、滞后问题，既影响控制精度，又增加能源消耗。当前全球能源危机严峻，工业节能减排要求提高，提升不锈钢电动调节阀门效率、降低能耗成亟待解决的问题。智能控制技术具备自学习、自适应、自优化特点，能依工况变化实时调整控制策略，精准把控阀门运行。二者集成可提升阀门精度与响应速度，减少能源浪费，符合工业绿色化、智能化趋势，对推动流体控制技术升级、实现节能减排意义重大。

2 智能控制技术与不锈钢电动调节阀门的集成基础

2.1 不锈钢电动调节阀门的工作特性与控制需求

不锈钢电动调节阀门主要由不锈钢阀体、电动执行机构、位置传感器以及控制单元等部分组成，其核心功能是通过电动执行机构驱动阀芯的运动，改变阀门的开度，从而实现对流体流量、压力、温度等参数的调节。从工作特性来看，不锈钢电动调节阀门具有较好的结构稳定性，能够在酸碱、高温、高压等复杂环境下长期运行，但其电动执行机构的运行存在一定的惯性，且阀芯与阀座之间的摩擦力、流体介质的粘性阻力等因素，都会对阀门的调节精度与响应速度产生影响。

从控制需求角度分析，现代工业生产对不锈钢电动调节阀门的要求主要体现在三个方面：一是调节精度，需要阀门能够根据系统设定值精准控制流体参数，避免因调节偏差导致生产

流程波动；二是响应速度，在工况发生变化时，阀门需快速调整开度，以适应系统参数的动态变化；三是能耗控制，在满足控制需求的前提下，尽可能降低电动执行机构的能耗，减少整个系统的能源消耗。传统的控制方式如常规PID控制，虽然在简单工况下能够实现基本的控制功能，但在面对复杂工况下的非线性、时变特性时，难以满足上述高精度、快响应、低能耗的控制需求，这也为智能控制技术的集成应用提供了空间。

2.2 智能控制技术的核心优势与适配性

智能控制技术是在传统控制技术的基础上，融合了人工智能、运筹学、信息论等多学科理论发展而来的新型控制技术，其核心优势在于具备对复杂系统的建模与控制能力，能够处理传统控制技术难以应对的非线性、不确定性问题。目前，在工业控制领域应用较为广泛的智能控制技术主要包括模糊控制、神经网络控制、PID智能优化控制以及专家系统控制等。

从与不锈钢电动调节阀门的适配性来看，模糊控制技术无需建立精确的数学模型，能够通过模糊规则库处理阀门控制过程中的非线性因素，如执行机构的惯性、流体阻力的变化等，适用于工况复杂且难以精确建模的场景；神经网络控制技术具备自学习能力，能够通过对历史运行数据的学习，不断优化控制参数，提高阀门对工况变化的自适应能力；PID智能优化控制则是在传统PID控制的基础上，结合智能算法对PID参数进行实时优化，既保留了PID控制的稳定性，又提升了其对复杂工况的适应能力。这些智能控制技术的优势，与不锈钢电动调节阀门的控制需求高度契合，为二者的集成应用奠定了技术基础。

3 智能控制技术在不锈钢电动调节阀门中的具体集成应用

3.1 模糊控制技术的集成应用

模糊控制技术在不锈钢电动调节阀门中的集成，主要通过构建模糊控制系统实现。该系统由模糊化接口、模糊规则库、模糊推理机以及解模糊化接口四个部分组成，其核心是根据阀门的运行状态与控制目标，建立合理的模糊规则，实现对阀门开度的精准控制。

在集成过程中，首先需要确定模糊控制的输入变量与输出变量。输入变量通常选择阀门的开度偏差以及开度偏差的变化率，这两个变量能够直观反映阀门的运行状态与工况变化趋势；输出变量则为电动执行机构的控制信号，用于调整阀门的开度。随后，通过模糊化接口将输入变量的精确值转换为模糊语言变量，并定义相应的模糊隶属度函数。模糊规则库的建立是模糊控制技术集成的关键，需要结合不锈钢电动调节阀门的工作特性与实际应用场景，总结工程经验形成规则。在实际运行过程中，模糊推理机根据输入变量的模糊值与模糊规则库进行推理，得到模糊输出量，再通过解模糊化接口将其转换为精确的控制信号，驱动电动执行机构调整阀门开度。

3.2 PID 智能优化控制的集成应用

PID 控制技术因其结构简单、稳定性好、可靠性高的特点，在阀门控制领域得到了广泛应用，但传统 PID 控制的参数多为固定值，难以适应复杂工况的变化。PID 智能优化控制技术通过将智能算法与传统 PID 控制结合，实现对 PID 参数的实时优化，从而提升阀门的控制性能，其在不锈钢电动调节阀门中的集成应用具有较强的实用性和可操作性。

PID 智能优化控制在不锈钢电动调节阀门中的集成，核心是选择合适的智能优化算法对 PID 参数进行动态调整。目前，常用的智能优化算法包括粒子群优化算法、遗传算法、蚁群算法等。以粒子群优化算法为例，其集成过程如下：首先，确定 PID 参数的取值范围，将其作为粒子群的搜索空间；其次，定义适应度函数，通常选择系统的超调量、调节时间、稳态误差等性能指标的加权和作为适应度函数，适应度值越小，表明 PID 参数越优；随后，通过粒子群算法的迭代搜索，寻找使适应度函数最小的 PID 参数组合，并将其应用于阀门控制过程中。

4 基于智能控制的不锈钢电动调节阀门能效优化策略

4.1 动态调节算法优化，减少无效能耗

不锈钢电动调节阀门的能耗主要来源于电动执行机构的运行，包括电机的启动、停止以及转速调整等过程。传统控制方式下，执行机构的运行多采用固定的控制逻辑，即使在工况变化较小的情况下，也可能频繁调整运行状态，导致无效能耗增加。基于智能控制的动态调节算法优化，能够根据工况变化

的实际需求，合理调整执行机构的运行策略，减少无效能耗。

具体而言，动态调节算法优化主要通过以下方式实现：一是基于模糊控制的运行状态判断，通过分析阀门开度偏差、偏差变化率等参数，判断工况变化的程度，若工况变化较小，偏差在允许范围内，则适当减小执行机构的调整幅度，避免频繁启停；二是基于神经网络的能耗预测，通过学习执行机构在不同运行状态下的能耗数据，建立能耗预测模型，根据当前工况参数预测不同控制策略下的能耗，选择能耗最低的控制方案；三是基于 PID 智能优化的转速控制，通过优化 PID 参数，使执行机构的转速调整更加平稳，减少因转速突变导致的能耗增加。

4.2 负载自适应控制，提升能源利用效率

不锈钢电动调节阀门在运行过程中，其负载会随着工况的变化而发生改变。传统控制方式下，执行机构的输出功率多为固定值，无法根据负载的变化进行自适应调整，当负载较小时，多余的功率会以热能等形式浪费，降低能源利用效率。基于智能控制的负载自适应控制，能够实时监测阀门的负载变化，动态调整执行机构的输出功率，实现能源的高效利用。

负载自适应控制的实现主要依赖于负载监测与智能调节两个环节：在负载监测环节，通过安装扭矩传感器、电流传感器等设备，实时采集执行机构的输出扭矩、电机电流等参数，这些参数能够直接反映阀门的负载状况；在智能调节环节，利用模糊控制或神经网络控制技术，建立负载参数与执行机构输出功率之间的映射关系，根据监测到的负载参数，通过智能算法计算出所需的最优输出功率，并调整执行机构的驱动信号，使输出功率与负载需求相匹配。

4.3 能耗监测与反馈机制，实现持续优化

基于智能控制的能效优化是一个持续改进的过程，需要建立完善的能耗监测与反馈机制，通过实时监测阀门的能耗数据，分析能耗过高的原因，并根据分析结果调整控制策略，实现能效的持续优化。能耗监测与反馈机制主要由数据采集、数据分析、策略调整三个部分组成，形成一个闭环的优化系统。在阀门能耗优化过程中，数据采集环节需部署智能传感器与采集模块，实时获取不锈钢电动调节阀门的能耗数据及运行状态参数，为后续能耗分析提供支撑；数据分析环节则借助大数据技术与智能算法，分析能耗趋势、识别异常工况，建立能耗与运行参数的关联模型以找出关键影响因素，并评估当前控制策略的能效水平；策略调整环节需依据分析结果优化控制策略，例如开度调整过频时优化模糊控制规则库以增大偏差允许范围，执行机构启停过多时优化 PID 参数，且在新策略应用后采集数据验证效果，未达预期则持续调整，形成闭环优化。

5 智能控制集成应用的实际效果与价值

5.1 提升调节精度与响应速度，保障生产稳定性

将智能控制技术集成到不锈钢电动调节阀门中，首先显著提升了阀门的调节精度与响应速度，为工业生产的稳定性提供了保障。在传统控制方式下，阀门的调节精度通常在±5%左右，响应时间在1-2秒，难以满足高精度生产的需求；而采用智能控制技术后，通过模糊控制的非线性处理、神经网络的自学习以及PID智能优化的参数调整，阀门的调节精度可提升至±1%-±2%，响应时间缩短至0.3-0.5秒。

5.2 降低能耗与运行成本，实现节能减排

智能控制技术的集成应用，还为不锈钢电动调节阀门带来了显著的能耗降低效果，进而减少了工业生产的运行成本，符合节能减排的发展要求。如前所述，通过动态调节算法优化、负载自适应控制以及能耗监测与反馈机制，阀门的能耗可降低15%-25%，对于长期连续运行的工业系统而言，能耗的降低意味着可观的成本节约。从行业层面来看，不锈钢电动调节阀门在石油、化工、水处理等领域的应用规模庞大，若广泛推广智能控制集成技术，整体能耗降低带来的节能减排效果将十分显著。

5.3 延长设备使用寿命，降低维护成本

除了提升控制性能与降低能耗，智能控制技术的集成应用还能有效延长不锈钢电动调节阀门的使用寿命，减少设备故障发生率，从而降低企业的维护成本。传统控制方式下，由于缺乏对工况变化的自适应能力，阀门执行机构常处于频繁启停或过载运行状态，容易导致电机磨损、阀芯密封件老化等问题，缩短设备使用寿命，同时增加维护次数与成本。

基于智能控制的负载自适应控制与动态调节算法，能够避免执行机构的过载运行与频繁启停：一方面，负载自适应控制

根据实际负载调整输出功率，当负载超过设定阈值时，系统会自动降低执行机构的运行速度或暂停调整，避免电机过载损坏；另一方面，动态调节算法通过优化控制逻辑，减少执行机构的无效调整，降低阀芯与阀座之间的摩擦损耗，延缓密封件的老化速度。此外，能耗监测与反馈机制还能实时监测阀门的运行状态，当出现异常参数时，系统会及时发出预警信号，提醒工作人员进行检修，避免故障扩大化。

6 结论

本文围绕智能控制技术与不锈钢电动调节阀门的集成应用及能效优化展开研究，经分析得出核心结论：其一，二者集成具备坚实基础与现实需求。不锈钢电动调节阀门在复杂工业环境中优势显著，但传统控制难以满足高精度、快响应、低能耗需求；模糊控制、神经网络控制、PID智能优化等技术，凭借非线性处理、自学习、自适应能力，可破解传统控制局限，二者高度适配。其二，集成应用方式多样且实用。模糊控制通过构建规则库实现非线性工况精准控制，神经网络控制借自学习动态优化参数提升自适应能力，PID智能优化在保留传统稳定性基础上，以智能算法实时调参适应复杂工况，三者从不同维度提升阀门控制性能，提供多元技术方案。其三，能效优化策略成效显著。动态调节算法减少无效能耗，负载自适应控制匹配功率与负载，能耗监测反馈机制实现闭环优化，三者协同使阀门能耗降低15%-25%，还延长设备寿命、减少维护成本，带来经济与环境双重效益。

未来，随人工智能、大数据、物联网发展，多智能技术融合将进一步提升系统性能，结合物联网的远程监控与智能诊断，可实现阀门全生命周期智能管理，二者深度融合将成工业流体控制领域重要研究方向，助力工业自动化与节能减排发展。

参考文献：

- [1] 洪卫,钟家富,潘益茅,等.基于信息技术的阀门智能控制系统的设计与研究[J].计算机测量与控制,2022,30(10):1-6.
- [2] 高丽.智能控制阀门在自动化系统中的应用[C]//2025 智慧设计与建造经验交流会论文集.2025:1-3.6):126-131.
- [3] 吴浩.高精度阀门定位器的控制技术研究及应用[D].四川:西南科技大学,2019.
- [4] 张强.基于智能控制技术的航电枢纽泄洪系统研究[D].黑龙江:哈尔滨工程大学,2019.