[汽包炉]

基于模糊PID的汽包炉压力调节阀自适应控制方法

文/林鑫
国能浙江北仑第一发电有限公司

常规的汽包炉压力调节阀控制机制多以局域控制为主，控制的重叠率较高，进而导致定位控制静态误差不断增加。对此，提出基于模糊PID的汽包炉压力调节阀自适应控制方法设计研究。根据当前控制需求，先进行基础阀位标定，采用多层级的形式，把控控制重叠率，制定多层级PID控制机制。然后以此为基础，建立汽包炉压力调节阀自适应模糊PID控制模型，采用动态化修正的方式来实现控制处理。测试结果说明：在0%、40%、80%、100%四个阶段的阀门开度标准下，对比于滑模扰动观测阀门控制方法、LoRa阀位开度控制方法，此次设计的模糊PID汽包炉压力调节阀自适应控制方法最终得出的定位控制静态误差相对较平稳，均被控制在±1%以内。这表明在模糊PID的辅助下，构建的汽包炉压力调节阀自适应控制方法稳定性与针对性高，自适应控制的准确度提升，控制结果更为可靠、真实。

汽包炉的压力控制是确保锅炉安全、高效运行的保证。为确保汽包炉的稳定运行，设计应对性较强的自适应控制方法，当前常见的控制形式多为目标控制，如滑模扰动观测阀门控制方法利用滑模控制对系统参数变化和外部扰动的强鲁棒性，结合扰动观测器实时估计并补偿系统扰动。LoRa阀位开度控制方法则是依托LoRa无线通信技术，分析液压阀门工作特性，设计自动化控制流程，实现阀门开度的远程精准控制。上述方法虽然可以实现预期的控制目标，但是在应对复杂多变的工况环境时，往往存在超调量大、调节时间长和抗干扰能力弱等问题，难以满足高准确度、高稳定性的控制需求。在该背景下，提出基于模糊PID的汽包炉压力调节阀自适应控制方法的设计与分析。模糊控制与PID控制相结合，通过引入模糊控制理论，对PID控制器的参数进行在线自整定，使控制系统能够根据实际工况的变化，实时调整控制策略，从而达到提高控制准确度、缩短调节时间和增强抗干扰能力的目的。

构建汽包炉压力调节阀自适应模糊PID控制方法

1. 基础阀位标定及多层级PID控制机制

基础阀位的设定对于汽包炉压力的调节十分关键。一般情况下，调节的点位涉及对应的控制点位，两者之间形成较为平衡的处理关系。所以，在当前的控制环境之中，结合PID技术增加控制层级，实现多协同处理。通过测量先确定调节阀在初始状态下的最佳开度位置，结合当前系统运行时的静态特性与实时参数。计算出初始的压力差，计算公式为

$$K=\frac{\delta^2}{W} \tag{1}$$

式中，K为压力差；W为初始设定压力；δ为特性

函数。

将其设定为阀位的控制约束标准，在该压力范围之内进行测试控制。基于此，引入内外环控制器，形成层次化的控制结构，如图1所示。

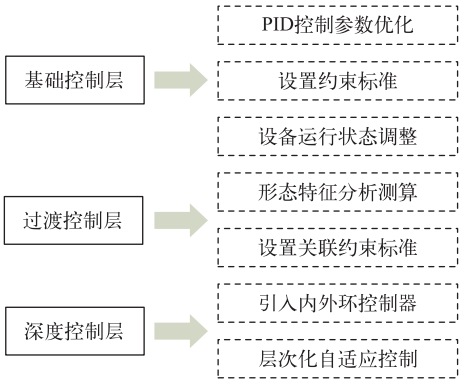

图1　多层级PID控制机制结构图示

图1主要是对多层级PID控制机制结构的设计与实践分析。此时，利用外环PID控制器调节系统的整体压力偏差，快速响应并消除局部压力波动。通过模糊逻辑优化此时的PID参数，模糊控制器能够处理系统的不确定性和非线性特性。遵循当前的模糊推理规则，将连续的PID参数映射到模糊集合上，利用计算得出的压力差对系统的运行进行限制，完成基础自适应控制环境的设定。

2. 建立自适应模糊PID控制模型

依据上述的初始控制处理，当前结合模糊PID技术，建立汽包炉压力调节阀自适应控制模型。确定模糊PID控制器当前的输入变量，并明确模型自适应控制的条件标准，见表1。

表1　自适应控制模型输入变量数值设定

自适应控制模型输入变量	基础标准参数
可控压力误差	1.02
误差变化率（%）	10.28
自适应控制单元耗时/s	0.16～0.35
阀位调整响应时间/s	1.13～1.25

结合表1对自适应控制模型输入变量数值进行设定。完成自适应控制环境的部署之后，设计模糊规则库。根据压力误差和误差变化率的调整，设计模型的执行结构，如图2所示。

图2主要是对汽包炉压力调节阀模糊PID控制模型结构的设计。此时，针对汽包炉压力的变化情况，采用Mamdani型推理方法作为辅助，进行PID

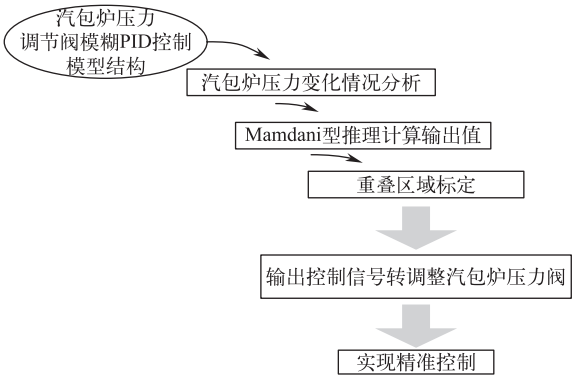

图2　汽包炉压力调节阀模糊PID控制模型结构

参数的模糊输出，也就是自适应控制的输出效果值，计算公式为

$$L=\sum_{U=1}\alpha U-\sqrt{(M-N)} \tag{2}$$

式中，L为输出效果值；α为模糊处理均值；U为模糊输出值转换比；M和N分别为模糊化的重叠控制区域。

针对得出的数据，转换为输出控制信号调整汽包炉压力阀，实现对压力的精确控制，提高系统的稳定性和控制性能。

3. 动态化修正实现控制处理

动态化修正的核心在于模糊控制器的实时决策与PID参数的在线整定。将模糊控制压力误差和误差变化率作为输入，映射此时其在汽包炉压力变化过程中发生的关系。一般呈现出正向的变动趋势，基于输出PID控制器调整量的平衡设定，基于导入模型的数据和输出的结果，计算出动态化修正限值，计算公式为

$$P=\vartheta^2-\frac{G}{V} \tag{3}$$

式中，P为动态化修正限值；ϑ为覆盖自适应控制区域；G为控制特征值；V为系统运行频率。

通过这种方式，在不同工况下都能保持良好的控制性能，提高系统的稳定性和调节准确度。

方法测试

结合模糊PID技术，对汽包炉压力调节阀自适应控制效果进行实时测定与控制计算。考虑到最终测试结果的真实与可靠，以K厂区的汽包炉作为测试的目标对象，选定对比的形式展开分析。测试方法设定滑模扰动观测阀门控制方法、LoRa阀位开度

控制方法以及此次设计的模糊PID汽包炉压力调节阀自适应控制方法。汇总整合往期的数据和信息，存储在当前的测试系统之中，结合实际的控制要求，明确对基础测试环境进行部署与细化处理，为后续的方法测试奠定初始执行条件。

1. 测试准备

针对模糊PID技术，对汽包炉压力调节阀自适应控制方法测试环境进行设定及细化部署。首先，明确调节阀的位置，并在重要位置设置监测节点，节点之间互相搭接，构建覆盖式的监测环境。基于模糊PID技术，根据测定计算的误差和误差变化率，明确当前的模糊输入变量，经过推理之后得出模糊控制量，作为后续自适应控制的限制条件。汽包炉压力调节阀测试控制参数设置见表2。

表2　汽包炉压力调节阀测试控制参数设置

汽包炉压力调节阀控制指标	参数标准值
可控稳态误差	1.12
调节时间/s	0.22～0.31
阀位预设点/个	4

表2是对汽包炉压力调节阀测试控制参数的设置。在此基础之上，根据调节阀门的不同摩擦特性，采用五接点开关辅助测试，实现对测试环境的设定。

2. 测试过程与结果分析

基于上述设定的测试环境，在模糊PID技术的辅助下，对汽包炉压力调节阀自适应控制方法实践核验。使用8位微控制器C8051F021作为控制主设备。为确保测试结果的真实可靠，以五接点开关进行定位控制测试。将阀门开度预设为0、40%、80%和100%四部分，而对应的阀门设定值为0 mm、2.68 mm、8.04 mm和13.4 mm。当前针对实际的自适应控制要求，将得出的模糊控制量转换为精确的控制信号，输入给传统PID控制器。此时计算出单目标控制耗时，计算公式为

$$A=\chi\left(m+\frac{\phi}{c}\right)+f \tag{4}$$

式中，A为单目标控制耗时；χ为阀位距离；m为模糊控制区域；ϕ为阀门开度；c为设定值；f为初始时间。

根据得出的单目标控制耗时，判断分析阀门的自适应控制阶段效果。根据模糊PID控制周期的延长，计算定位控制静态误差，计算公式为

$$U=b-\frac{R}{A}\times c \tag{5}$$

式中，U为定位控制静态误差；b为预估静态误差；R为阀位与阀杆实际覆盖区面积；A为单目标控制耗时，c为设定值。

针对得出的数据进行对比分析，测试结果见表3。

表3　测试结果对比分析

阀门开度（%）	滑模扰动观测阀门控制方法定位控制静态误差（%）	LoRa阀位开度控制方法定位控制静态误差（%）	模糊PID汽包炉压力调节阀自适应控制方法定位控制静态误差（%）
0	-2	+4	-1
40	-2	-2	+1
80	+5	-3	+1
100	-2	+1	+1

分析表3可知，在0、40%、80%和100%四个阶段的阀门开度标准下，相比于滑模扰动观测阀门控制方法、LoRa阀位开度控制方法，此次设计的模糊PID汽包炉压力调节阀自适应控制方法最终得出的定位控制静态误差较平稳，均控制在± 1%以内。在模糊PID的辅助下，构建的汽包炉压力调节阀自适应控制方法稳定性与针对性高，自适应控制的准确度提升，控制结果更为可靠、真实。

结束语

本文对基于模糊PID的汽包炉压力调节阀自适应控制方法进行设计与实践性核验分析。该方法融合模糊控制与PID控制的优点，对汽包炉压力的调节高效、稳定。对存在的实时控制缺陷，一定程度上进行了修正处理，不仅提高控制系统的自适应性和鲁棒性，还更为有效地解决传统PID控制工况问题，显著缩短调节时间，减少超调量，增强系统对外部扰动的抵抗能力，为汽包炉的安全、稳定运行提供有力保障。EA

（收稿日期：2024-05-26）