

基于改进 PID 算法的火电厂汽包水位变送器控制策略研究

朱勇

国家电力投资集团贵州金元股份有限公司纳雍发电总厂, 贵州 纳雍 553303

DOI:10.61369/EPTSM.2026020017

摘 要 : 汽包水位为火电厂锅炉安全稳固运转的核心参量, 其控制精准程度直接决断机组运行的安全状况与经济成效。针对传统 PID 算法于汽包水位控制当中难以契合非线性、时变性以及“虚假水位”干扰的状况, 本文提出一种交融模糊逻辑和动态参数整定的改进 PID 控制算法, 并结合汽包水位变送器的测量特性搭建控制策略。首先剖析汽包水位的动态特性和传统控制方案的欠缺之处; 其次详尽设计改进 PID 算法的核心架构, 包含模糊参数调节模块与抗干扰补偿环节; 最后阐释基于该算法的控制策略实现流程, 涵盖信号预先处理、算法布置及闭环调节机制。研究显示, 改进 PID 算法能够有效提升汽包水位控制的响应速率与稳定程度, 降低干扰因素对控制精准度的影响, 为火电厂汽包水位控制提供更为可靠的技术解决办法。

关 键 词 : 改进 PID 算法; 火电厂; 汽包水位; 变送器; 控制策略

Research on Control Strategy of Steam Drum Water Level Transmitter in Thermal Power Plant Based on Improved PID Algorithm

Zhu Yong

Guizhou Jinyuan Co., Ltd. Nayong Power Plant, Nayong, Guizhou 553303

Abstract : The drum water level serves as a critical parameter for ensuring the safe and stable operation of thermal power plant boilers, with its control precision directly determining the operational safety and economic efficiency of power units. To address the limitations of traditional PID algorithms in handling nonlinear, time-varying, and "false water level" disturbances in drum water level control, this paper proposes an improved PID control algorithm integrating fuzzy logic and dynamic parameter tuning. The control strategy is developed based on the measurement characteristics of drum water level transmitters. The study first analyzes the dynamic characteristics of drum water levels and the shortcomings of conventional control methods. It then details the core architecture of the improved PID algorithm, including a fuzzy parameter adjustment module and anti-interference compensation components. Finally, the implementation process of the control strategy is explained, covering signal preprocessing, algorithm configuration, and closed-loop regulation mechanisms. Research demonstrates that the improved PID algorithm significantly enhances response speed and stability in drum water level control, reduces the impact of disturbances on control accuracy, and provides a more reliable technical solution for drum water level management in thermal power plants.

Keywords : improvement of PID algorithm; thermal power plant; drum water level; transmitter; control strategy

引言

在火电厂生产流程之内, 锅炉汽包作为汽水分离和热量交换的关键装置, 其水位稳定状态直接关联到机组运行安全。水位过高容易造成蒸汽携带水分, 引发过热器结垢和汽轮机水冲击; 水位过低则可能诱发水冷壁干烧甚至锅炉爆炸情形, 同时还会对蒸汽品质和发电效率产生影响。汽包水位变送器作为水位信号收集的核心部件, 其测量精准度和控制策略的匹配程度直接决定控制效果。传统 PID 控制由于结构简洁、易于实施, 在汽包水位控制中应用普遍, 但汽包水位控制过程存在显著的非线性、时滞性, 并且受负荷波动、给水压力变化等干扰影响较大, 尤其在负荷突发变化时容易出现“虚假水位”现象, 传统 PID 固定参数难以适应繁杂工况改变, 致使控制精准度降低、调节滞后等问题产生。所以, 结合汽包水位变送器的测量特性, 研究改进 PID 算法及相应控制策略, 提升复杂工况之下的水位控制稳定程度, 对于保障火电厂安全高效运行具备重要的工程实际应用价值^[1]。

作者简介: 朱勇 (1994.05-), 男, 汉族, 贵州省赫章县人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 热控自动装置。

一、火电厂汽包水位控制特性及传统 PID 局限

（一）汽包水位控制的核心特性

火电厂汽包水位的动态改变受多重因素相互耦合影响，呈现出繁杂的控制特性。从工况改变层面而言，机组负荷调整会直接改变蒸汽蒸发数量，致使汽包内部压力波动，进而引发“虚假水位”现象——当负荷突然增多时，蒸汽流量急剧增加导致汽包内部压力下降，水的饱和温度降低，汽包内部水的汽化数量突然增多，形成大量气泡占据空间，使水位短暂上升，随后随着水量消耗又会迅速下降，这种虚假信号容易导致控制错误动作。从系统自身具备的特性层面观察，汽包水位的控制事宜呈现出显著的时滞属性，给水流量产生的变动情况，需经历一段时长之后，才能够在水位方面获得体现，并且给水压力出现的波动现象、燃料所具备的品质产生的变化状况等外部形成的干扰因素，会对水位的波动情形起到进一步的加剧作用。除此之外，汽包水位变送器实施的测量信号，容易受到现场环境温度、压力产生的变化情况以及电磁形成的干扰影响，最终造成测量结果出现偏差问题，当控制策略没有对信号所具备的特性加以考量时，则会对控制的精度产生进一步的降低作用^[2]。

（二）传统 PID 控制在实际应用过程中的局限性表现

传统 PID 控制借助比例、积分、微分三个环节产生的协同运作效果，来达成控制的目标，该控制方式的核心内容，依赖于固定不变的参数设置情况。在汽包水位控制工作的开展进程中，传统 PID 控制存在的局限性，主要在三个层面得以体现：其一为参数所具备的适应能力较差，传统 PID 参数大多借助离线整定的方式来加以确定，无法依照负荷产生的变化情况、干扰形成的影响程度等工况出现的波动状况，进行实时性的调整操作，当“虚假水位”现象或者外部干扰因素出现时，固定不变的参数难以实现快速的响应动作，容易造成超调量过大、调节所需时间过长等问题的产生；其二为抗干扰能力存在不足，针对给水压力出现的波动现象、测量信号存在的噪声问题等干扰因素，传统 PID 控制缺乏行之有效的补偿机制，容易受到干扰信号的影响而产生错误的调节动作；其三为对时滞性的适应程度不足，汽包水位控制工作具备的时滞特性，会造成 PID 调节出现滞后情况，进而对水位的波动现象起到进一步的加剧效果。上述这些局限性，使得传统 PID 控制难以满足复杂工况条件下，汽包水位高精度控制工作的实际需求^[3]。

二、改进 PID 算法设计

（一）算法核心部分的设计思路阐述

改进 PID 算法以传统 PID 控制作为基础条件，针对汽包水位控制工作存在的非线性特征、时滞性特点以及干扰特性，引入模糊逻辑参数调节机制与干扰补偿机制，其核心设计思路具体表现为：其一，通过模糊逻辑推理的方式，实现 PID 参数的在线动态整定操作，依据水位产生的偏差情况以及偏差变化率，对比例系数、积分系数和微分系数进行实时性的调整，以此提升算法针对

工况变化情况的适应能力；其二，增加干扰补偿环节，结合汽包水位变送器具备的测量特性，对测量信号实施预处理操作，同时针对“虚假水位”等典型性干扰因素，设计预判补偿策略，从而降低干扰因素对控制效果产生的影响；其三，对微分环节进行优化处理，通过引入微分显型结构的方式，减少测量噪声对微分环节产生的影响，进而提升算法的稳定性能^[4]。

（二）模糊 PID 参数调节模块构造

模糊 PID 参数调节模块拿汽包水位偏差 e 以及偏差变化率 ec 当作输入变量，凭借模糊推理规则实时给出 PID 参数的修正量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d ，达成参数动态整定。首先明确输入输出变量的模糊集和论域，依照火电厂汽包水位控制的现实工况，把偏差 e 和偏差变化率 ec 的模糊集都划分成“负大（NB）、负中（NM）、负小（NS）、零（ZO）、正小（PS）、正中（PM）、正大（PB）”七个层级，论域都设定成 $[-6,6]$ ；输出变量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 的模糊集同样划分成七个层级，论域依据参数调整范围设定。其次搭建模糊推理规则，结合现场运行经验，当水位偏差较大之际，应提高比例系数来加快响应速度，降低积分系数以避免超调；当偏差变化率较大之时，应增大微分系数来抑制波动，比如规则为“若 e 为 NB、 ec 为 NB，那么 ΔK_p 为 PB、 ΔK_i 为 NB、 ΔK_d 为 PS”。最后通过清晰化处理将模糊输出量转变为精确的参数修正量，运用重心法完成清晰化计算，保证参数调节的平滑性和连续性^[5]。

（三）抗干扰与信号预处理谋划

面对汽包水位变送器测量信号的干扰难题，在改进 PID 算法里增添信号预处理环节。首先运用一阶低通滤波对变送器采集的水位信号实施滤波操作，过滤现场电磁干扰产生的高频噪声，同时留存水位变化的有效信号，滤波系数根据现场干扰强度动态调控，保障信号平滑性和响应速度的均衡。其次针对“虚假水位”干扰，设计基于负荷变化率的预判补偿机制：通过采集蒸汽流量信号计算负荷变化率，当负荷变化率超出设定阈值，判定可能出现“虚假水位”，此时通过模糊推理给出补偿量，对 PID 调节输出进行修正，防止因虚假信号造成的误调节。另外，针对给水压力波动干扰，引入给水压力信号作为前馈补偿量，依照给水压力与给水流量的对应关联，提前调整控制输出，减少压力波动对水位的作用。

三、基于改进 PID 的汽包水位控制策略实现

（一）控制策略整体框架

基于改进 PID 算法的汽包水位控制策略以“信号采集—预处理—算法调节—执行输出—反馈校正”为核心流程，整体框架包含信号采集模块、预处理模块、改进 PID 调节模块、执行机构及反馈模块。其中信号采集模块借助汽包水位变送器开展实时水位信号采集事项，同时实施蒸汽流量、给水流量、给水压力等辅助信号收集作业；预处理模块针对所采集的信号施行滤波操作、干扰判别以及补偿处理；改进 PID 调节模块依据预处理之后的信号完成参数整定和控制量计算任务；执行机构按照控制量对给水调节阀开度进行调整，达成给水流量调节目标；反馈模块把调整

之后的水位信号再次传送至采集模块，构建闭环控制形态。该架构全面融合改进 PID 算法的动态调节优势以及多信号协同补偿特征，提升控制策略的适应能力和可靠程度。

（二）关键实现环节

在信号预处理环节，首先对水位变送器所采集的信号开展零点校正和温度补偿工作，依照汽包现场温度变化情况对测量信号实施修正处理，降低温度给变送器测量精度带来的影响。接着借助一阶低通滤波方式处理噪声信号，再依据蒸汽流量变化速率判断是否存在“虚假水位”状况，若存在该状况则启动干扰补偿机制。在改进 PID 调节环节，将预处理之后的水位偏差以及偏差变化速率传送至模糊参数调节模块，通过模糊推理获取 PID 参数修正量，实时更新 K_p 、 K_i 、 K_d 参数，再结合给水压力前馈补偿量计算最终控制量。在执行输出环节，控制量通过 DCS 系统转化为电流信号，驱动给水调节阀产生动作，调节给水流量；同时实时采集给水流量信号，对控制量进行二次校正操作，确保给水流量与控制需求相契合。另外，设置工况判断机制，当机组处于启停阶段、负荷大幅调整等特殊工况时，自动切换 PID 参数调节范围，提升特殊工况下的控制稳定性能。

（三）与变送器的匹配优化

控制策略的实施需要充分考量汽包水位变送器的测量特性，实现算法和变送器的匹配优化目标。一方面，依据变送器的测量量程和精度等级，设定水位偏差的阈值范围，确保模糊推理规则与变送器的测量精度相契合，避免因测量误差引发调节误动作现象；另一方面，针对变送器的响应速度，调整算法的采样周期，使采样周期与变送器的响应时间相协调，既保障信号采集的实时特性，又避免因采样频率过高造成算法运算负荷过大问题。同时，在控制策略中增设变送器故障诊断环节，通过监测测量信号的波动范围和变化趋势，判断变送器是否存在故障情况，若出现故障则及时发出报警信号，并切换至备用控制模式，保障控制系统的连续特性。

四、改进 PID 控制策略的工程应用优势

和传统 PID 控制策略相对比，借助改进 PID 算法所形成的汽包水位控制策略，于工程应用场景当中展现出突出优势。其一，

在对复杂工况的适应能力层面更具强度，凭借模糊动态参数的整定操作，能够以较快速度去契合机组负荷出现波动、给水压力产生变化等复杂工况情形，对“虚假水位”所引发的不利作用进行有效抑制，将水位稳定状态维持于设定范围之内；其二，控制精度水准更高，通过信号的预处理流程以及干扰补偿机制，让变送器测量方面的误差问题和外部干扰因素对控制成效造成的影响得以降低，使水位控制的精准程度获得提升，让水位波动的幅度实现减少；其三，运行状态的稳定性更佳，改进 PID 算法运用微分先行手段与参数平滑调节方式，使系统超调量数值和调节所需时间得到降低，对控制进程中的振荡现象加以避免；其四，工程实现的难度系数较低，改进 PID 算法是在传统 PID 框架基础上开展优化工作，不需要对现有的控制硬件设施实施大规模改造举措，能够在既有的 DCS 系统当中直接进行部署操作，使工程改造所需成本与实施周期长度得以降低。

五、结论

本文围绕火电厂汽包水位控制工作中传统 PID 算法所存在的适应性欠佳、抗干扰能力不够等问题，结合汽包水位变送器的测量特性状况，提出一种将模糊逻辑参数调节功能与干扰补偿功能相融合的改进 PID 算法，并搭建起对应的控制策略体系。通过对汽包水位控制特性展开分析，明确传统 PID 在应用过程中的局限性所在；对改进 PID 算法的模糊参数调节模块以及抗干扰环节进行详细设计；对控制策略的整体架构情况和关键实现环节加以阐述。研究结果显示，改进 PID 算法通过动态的参数整定工作与干扰补偿措施，切实提升了复杂工况条件下汽包水位控制的稳定性水平与精度等级，具备较强的工程实用价值属性。在未来展望范畴内，可进一步将大数据技术与人工智能技术相结合，通过对历史运行数据进行分析来优化模糊推理规则内容，提升算法的自学习能力程度；同时对改进 PID 算法与模型预测控制的融合方案展开探索，进一步增强控制策略对复杂非线性特性的适应能力水平；除此之外，可加强与智能变送器之间的协同设计工作，实现测量环节与控制环节的深度融合态势，提升整个控制系统的智能化水平高度。

参考文献

- [1] 柏海峰. 火力发电厂锅炉汽包水位测量偏差原因分析 [J]. 电力设备管理, 2025, (16): 103-105.
- [2] 潘珏. 炉膛吹灰对 300 MW 供热机组参数的影响 [J]. 上海电力大学学报, 2021, 37(S1): 7-8.
- [3] 王进, 程竟. 火电机组高加泄漏原因分析 [J]. 安徽电气工程职业技术学院学报, 2021, 26(01): 77-80.
- [4] 潘曰志, 潘广旭. 燃煤电厂汽包锅炉给水控制优化方案 [J]. 电力设备管理, 2020, (03): 87-89.
- [5] 梁恩宝, 朱军辉, 张寅. 某燃气电厂汽包角焊缝开裂的根本原因分析及处理 [J]. 焊接技术, 2019, 48(09): 126-128.