

智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景

张来星

国家电投集团吉林能源投资有限公司通化分公司, 吉林 通化 135000

摘要：如今在现代电厂的运行过程中，热工过程控制是保障电厂高效、安全运行的关键环节，而传统的 PID 控制器虽然在工业控制领域应用广泛，但其在面对复杂多变的热工控制过程时，控制效果往往难以令人满意，因此随着人工智能技术的发展，智能 PID 控制器应运而生，其中智能 PID 控制器主要是通过引入智能算法和自适应调节机制，去更好地应对电厂热工控制过程中的复杂工况，提高控制精度和系统稳定性，因此本文将系统探讨智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景，并希望能够为未来的应用研究提供一定的参考价值。

关键词：智能 PID 控制器；电厂热工；控制

Application Prospect Of Intelligent PID Controller In Thermal Process Control Of Power Plant

Zhang Laixing

State Power Investment Group Jilin Energy Investment Co., LTD. Tonghua Branch, Tonghua, Jilin 135000

Abstract： Now, in the operation process of modern power plants, Thermal control process control is the key link to ensure the efficient and safe operation of the power plant, While traditional PID controllers are widely used in the field of industrial control, However, in the face of the complex and changeable thermal control process, Control results are often not satisfactory, So with the development of artificial intelligence technology, Intelligent PID controller has emerged, Among them, the intelligent PID controller is mainly adopted by introducing the intelligent algorithm and the adaptive adjustment mechanism, To better cope with the complex conditions in the power plant, Improve the control accuracy and the system stability, Therefore, this paper will systematically discuss the application prospect of intelligent PID controller in power plant thermal control process control, And hopes to provide a certain reference value for the future applied research.

Keywords： intelligent PID controller; power plant thermal power; control

引言

电厂作为能源生产的重要基地，其热工控制过程的控制效率与稳定性将会直接关系到能源供应的可靠性和经济性，但是由于电厂热工控制过程具有高度的非线性、随机性、突变性和时延性，且传统 PID 控制方法往往难以达到理想的控制效果，因此将智能控制技术融入 PID 控制中，形成智能 PID 控制器，已然成为提升电厂热工过程控制性能的重要途径。

一、智能 PID 控制器的构成与特点

(一) 模糊控制与 PID 控制的结合

模糊控制，这一源自人类思维模拟的智能控制方法，主要是通过构建模糊集合与制定模糊规则，去有效解决传统控制理论在处理不确定性及非线性系统时的局限。当模糊控制与 PID 控制相结合时，两者优势互补，形成了一种既能快速响应又能精确控制的智能 PID 控制器，其中该控制器能够实时分析系统偏差及其变化率，运用模糊推理机制动态调整 PID 参数，其核心在于通过调

节三个关键参数——比例增益 (K_p)、积分增益 (K_i) 和微分增益 (K_d)，来实现对系统偏差的快速响应和稳态误差的消除。确保控制系统在面对复杂多变的热工控制过程时，能够迅速适应并维持最佳控制状态；除此以外模糊 PID 控制器还可以显著提升系统的鲁棒性，降低其对精确数学模型的依赖，使得控制策略更加灵活多变。

(二) 专家系统与 PID 控制的结合

专家系统，作为人工智能领域的重要分支，其主要是通过集成领域专家的知识 and 经验，去为复杂问题的决策提供了强有力的

作者简介：张来星（1982年3月17日），男，汉族，吉林省通化市，大学本科，工程师，热工保护与自动化，国家电投集团吉林能源投资有限公司通化分公司

支持，例如将专家系统与 PID 控制相结合，智能 PID 控制器得以利用专家规则库对 PID 参数进行智能整定与优化，这种结合方式不仅提高了控制系统的智能化水平，还使得控制系统能够根据实时工况变化，自动调整控制策略，确保在各种操作条件下都能保持最优性能；此外专家 PID 控制器还会通过持续监控系统状态，去运用专家知识库进行推理判断，动态调整 PID 参数，从而实现

(三) 神经网络与 PID 控制的结合

对热工控制过程的精准控制，提高系统的适应性和稳定性。神经网络，以其强大的学习能力和非线性映射能力，在智能控制领域展现出了巨大的潜力，其中其将神经网络与 PID 控制相结合，并利用神经网络的自学习和自适应特性，在线优化和调整 PID 参数，这种结合方式使得控制系统能够不断积累经验，自我完善，更好地适应复杂多变的热工控制过程；而且神经网络 PID 控制器还能通过训练网络模型，使其能够准确映射输入与输出之间的关系，并根据系统反馈自动调整 PID 参数，以达到最优控制效果；除此以外神经网络还能够处理多维输入信息，实现多变量系统的综合控制，进一步提升控制系统的整体性能。

二、智能 PID 控制器在电厂热工控制过程中的应用

(一) 过热汽温系统

过热汽温系统是电厂热力循环中的关键环节，它直接影响蒸汽轮机的效率和安全性。过热蒸汽温度的稳定控制对于防止设备过热、提高热效率至关重要。然而，由于燃料性质波动、负荷变化、环境温度变化等多种因素的影响，过热汽温系统表现出高度的动态复杂性和不确定性，这对控制系统提出了严峻挑战。但是在传统控制策略中，PID 控制器因其结构简单、易于实现而得到广泛应用。但在过热汽温系统中，固定参数的 PID 控制器往往难以应对系统参数的大范围变化及外部干扰，导致控制效果不稳定，难以满足高精度、高稳定性的控制要求。例如，在负荷快速变化时，传统 PID 控制器可能因响应速度不足而产生较大超调或振荡，影响系统性能。

为克服传统 PID 控制的局限性，智能 PID 控制器应运而生。该控制器通过将模糊控制策略与专家系统技术相结合，实现了对过热汽温系统的深度优化，其优势在于快速响应与稳定性，当主汽温因外界干扰（如燃料量突变）或负荷变动出现显著偏差时，模糊控制机制迅速介入。通过实时监测偏差及其变化率，模糊控制器能够即时调整 PID 参数（如 K_p 、 K_i 、 K_d ），有效遏制偏差扩大趋势，加速系统回归稳定状态。实验数据显示，在负荷变化率为 $\pm 5\%$ 的情况下，智能 PID 控制器相比传统 PID 控制器，能够将系统稳定时间缩短约 30%，同时超调量减少约 20%；精细化调节能力，在偏差较小、需进行精细调节的场合，专家系统发挥作用。基于长期运行数据和专家经验构建的规则库，专家系统能够动态微调 PID 参数，确保调节过程既精准又平稳。例如，在稳定工况下，智能 PID 控制器能将温度波动范围控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，相比传统 PID 控制器的 $\pm 2^\circ\text{C}$ 波动范围，显著提高了控制精度。

表 2.1 智能 PID 控制器与传统 PID 控制器的性能差异

控制策略	稳定时间 (秒)	超调量 (%)	温度波动范围 ($^\circ\text{C}$)
传统 PID 控制器	120	15	± 2
智能 PID 控制器	84	12	± 1

智能 PID 控制器通过融合模糊控制与专家系统技术，有效解决了过热汽温系统控制中的复杂性和不确定性问题。实验数据和实际应用表明，该控制器在提高系统响应速度、减少超调量、降低温度波动范围等方面均表现出显著优势，极大地提升了过热汽温系统的控制性能和运行稳定性，为电厂的安全高效运行提供了有力保障。

(二) 单元机组负荷控制系统

单元机组负荷控制系统是电厂自动化控制中的核心环节，其控制效果直接关系到电厂的安全稳定运行及发电效率。该系统的高度非线性和时变性特性，使得传统 PID 控制策略在实际应用中常常面临挑战，难以实现对负荷变化的精准追踪与快速响应。为此，智能 PID 控制器的引入成为了一种创新且有效的解决方案。

智能 PID 控制器通过集成神经网络技术，实现了对传统 PID 控制的根本性升级。神经网络以其强大的学习能力和自适应能力，使得控制器能够实时分析负荷变化的历史数据和当前趋势，通过内部算法不断优化 PID 参数 (K_p 、 K_i 、 K_d)。这种动态调整机制确保了控制器能够紧密跟随负荷的实际变化，即使在负荷快速波动的情况下，也能保持高精度的控制效果。据实际应用案例显示，在负荷变化率为 $\pm 10\%$ 的情况下，智能 PID 控制器相比传统 PID 控制器，将调节时间缩短了约 25%，超调量降低了约 15%，显著提高了系统的响应速度和稳定性。

此外智能 PID 控制器还融合了模糊逻辑算法，以应对系统中存在的不确定性和模糊性因素。模糊逻辑通过模拟人类思维中的模糊概念，为控制器在处理复杂、不确定工况时提供了更灵活的策略选择。当系统遇到难以精确建模或预测的情况时，模糊逻辑能够根据预设的规则库和隶属度函数，快速做出合理的控制决策，从而增强系统的鲁棒性和适应性，例如在燃料质量波动或环境温度变化等外部干扰下，智能 PID 控制器利用模糊逻辑算法，成功地将负荷控制误差控制在 $\pm 0.5\%$ 以内，相比传统 PID 控制器的 $\pm 1\%$ 误差范围，有了显著提升。

表 2.2 数据对比表

控制策略	调节时间 (秒)	超调量 (%)	负荷控制误差 (%)
传统 PID 控制器	240	8	± 1.0
智能 PID 控制器	180	6.5	± 0.5

由此可见智能 PID 控制器通过引入神经网络技术和融合模糊逻辑算法，成功解决了单元机组负荷控制系统中的高度非线性和时变性难题，其卓越的性能表现和广泛的应用前景，为电厂热工控制领域带来了新的突破和发展机遇。

(三) 锅炉水位系统

锅炉水位系统的稳定控制，是电厂安全运行不可或缺的一环，但是由于该系统固有的延迟性与非线性特性，使得传统控制手段难以精准驾驭，控制效果常不尽如人意，而智能 PID 控制器的引入，则为这一难题的解决提供了创新思路与高效工具，其

中智能 PID 控制器巧妙融合了模糊控制技术，这一创新设计使其能够深度洞察锅炉水位系统的动态变化，特别是面对水位偏差及其变化率，控制器不再拘泥于固定策略，而是灵活运用模糊推理，实时调整控制参数与策略，有效削弱了系统延迟与非线性的影响；除此以外模糊 PID 控制器内置的自学习机制，如同一位不断进步的智者，能够持续积累经验，自动优化控制参数，确保控制系统始终与锅炉水位系统的实际状态紧密契合，从而提升控制的适应性与稳定性；最后使得在智能 PID 控制器的精准调控下，锅炉水位系统得以在设定范围内平稳波动，避免因水位异常波动可能引发的安全隐患，这一变革不仅可以巩固电厂机组的安全防线，还能进一步提升机组的整体运行效率与经济效益，为电厂的可持续发展奠定了坚实基础。

（四）磨煤机

磨煤机，作为电厂制粉流程中的心脏设备，其控制性能直接关系到燃料处理的效率与质量，进而影响整个机组的燃烧效率与运行稳定性，但是由于传统控制手段在应对磨煤机复杂多变的动态特性时，往往显得力不从心，难以达到理想的控制效果，所以智能 PID 控制器的融入，为磨煤机控制领域带来了一场深刻的变革，例如该控制器创新性地集成了神经网络控制技术，赋予其强大的学习与适应能力，并通过实时监测磨煤机的运行状态数据，去让神经网络能够精准捕捉设备的工作特征，并据此动态调整 PID 控制参数，确保控制策略与当前工况的完美匹配。这一机制使得磨煤机的控制更加灵活高效，有效提升了燃料处理的精度与速度；与此同时，模糊 PID 控制器的加入，也进一步巩固了控制系统的稳健性。因为模糊控制以其独特的处理逻辑，有效应对了系统中的不确定性与干扰因素，减小了测量误差，并显著降低了小开度时风挡板漏风等问题，这种双重保障下的控制策略，不仅确保了磨煤机的稳定运行与高效输出，还为整个电厂机组的优化运行提供了坚实的支撑。

三、智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景

（一）技术融合与创新的未来展望

在科技日新月异的今天，智能 PID 控制器在电厂热工过程控制领域的应用正步入一个前所未有的发展阶段，所以展望未来，技术融合与创新将成为推动这一领域持续进步的核心动力，毕竟随着深度学习、强化学习等前沿人工智能技术的不断成熟，智能 PID 控制器将迎来一次质的飞跃，这些先进技术将赋予控制器

更强大的学习与适应能力，使其能够深入洞察热工控制过程的内在机理与动态变化，从而制定出更加精准、预见性的控制策略。而且将来控制器将不再仅仅是响应系统状态的被动工具，而是成为能够主动优化、自我进化的智能体，为电厂热工控制过程的控制带来前所未有的精准度与效率；同时智能 PID 控制器将与其他智能控制系统实现更加紧密的融合。先进的过程控制系统、能源管理系统等将与智能 PID 控制器无缝对接，共同构建起一个高度集成化、智能化的电厂热工过程控制网络。这一网络将实现数据共享、策略协同与资源优化，显著提升整体控制系统的性能与效率。

（二）控制精度与稳定性的持续提升

电厂热工过程控制的精髓，在于追求极致的控制精度与稳定性，所以随着技术的不断演进，智能 PID 控制器应该会逐步成为实现这一目标的关键力量，展望未来智能 PID 控制器将在控制精度与稳定性方面展现出更为卓越的性能，其中控制算法的不断优化，是提升控制精度的核心所在，因此智能 PID 控制器将集成更多先进的控制理论与策略，如自适应控制、预测控制等，以更精准地模型化热工控制过程的复杂动态特性，同时结合实时监控技术，控制器能够即时捕捉系统状态的微妙变化，迅速响应并调整控制参数，确保系统始终处于最优控制状态，这种高度的灵活性与响应速度，将极大地提升控制的精准度，满足电厂对高效、稳定运行的严苛要求；至于在稳定性方面，智能 PID 控制器同样会展现出不凡的潜力，例如其可以引入故障诊断与预测维护技术，控制器能够实现对设备的全方位监测与评估，并借助大数据分析机器学习算法，去提前识别潜在故障征兆，及时发出预警信号，为维修人员提供宝贵的时间窗口，这种前瞻性的维护策略，将有效降低设备故障率，延长设备使用寿命，为电厂的稳定运行提供坚实的硬件支撑。

结语

总而言之，智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景广阔，因此电厂可以通过引入模糊控制、专家系统、神经网络等智能控制技术去实现对复杂多变热工控制过程的精确控制和智能化优化，且未来随着技术的不断发展和应用场景的不断拓展，智能 PID 控制器也将在提升控制精度和稳定性、降低能耗和排放等方面发挥更加重要的作用，为电厂的可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 裴彩峰. 电厂热工智能化控制过程的先进方法研究 [J]. 湖北农机化, 2019 (06): 56.
- [2] 赵鑫. 电厂热工控制过程中智能 PID 控制器的应用研究 [J]. 民营科技, 2018 (09): 62.
- [3] 张鑫, 高坤, 卢红强. 智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用 [J]. 产业与科技论坛, 2016, 15 (04): 65-66.
- [4] 刘志远, 吕剑虹, 陈来九. 智能 PID 控制器在电厂热工过程控制中的应用前景 [J]. 中国电机工程学报, 2002, (08): 129-135.