

智能控制系统在电厂热工自动化中的应用

赵智慧 周艺萌 杨世奇 车晓英
达拉特发电厂 内蒙古鄂尔多斯 014300

摘要: 在电力行业快速发展的当下, 电厂热工自动化水平对于保障电力供应的稳定性、提高生产效率以及降低运营成本至关重要。文章首先阐述了智能控制的概念, 介绍了模糊控制、专家控制、神经控制和遗传控制等主要方法。接着以内蒙古达拉特发电厂为案例, 深入探讨了智能控制在汽包锅炉燃烧控制、汽轮机电液控制、电厂一次调频技术、主蒸汽温度控制以及锅炉给水全程控制等方面的实际应用。研究表明, 智能控制系统的应用有效提升了电厂热工自动化水平, 提高了发电效率, 增强了运行稳定性和安全性。最后对智能控制在电厂热工自动化中的应用进行了总结和展望, 希望为未来电厂的智能化发展提供参考。

关键词: 智能控制系统; 电厂热工自动化; 内蒙古达拉特发电厂

引言

内蒙古达拉特发电厂坐落于内蒙古鄂尔多斯市达拉特旗树林召镇, 处于呼市、包头、鄂尔多斯市“金三角”地带。其东靠包西公路(210国道), 西靠包神铁路及包茂高速公路, 交通十分便利。南邻煤源供应基地东胜煤田, 距万利川矿区仅50公里, 煤炭供应充足且运输成本较低。北距黄河水源地18公里, 为电厂提供了可靠的水源保障。同时, 电厂与内蒙古西部工业重镇包头市隔河相望, 紧靠负荷中心, 具有建设大型火力发电厂得天独厚的资源和地域优势。在这样的背景下, 探讨智能控制系统在该厂热工自动化中的应用具有重要的现实意义。

一、智能控制的概念

智能控制作为自动控制发展到高级阶段的产物, 它推动智能机器独立地实现其目标, 不需要人类直接介入即可独立地推动智能机器实现其目标, 它的理论根基建立在人工智能、控制论、运筹学以及信息论等多个学科的融合之上。其概念与原则是根据被控对象与其所处环境, 控制目标或者任务之间存在着复杂性与不确定性, 被控对象复杂性表现在模型不确定性上, 在高度非线性的环境中, 其复杂性主要表现为不断变化的不确定性和识别的困难性。

智能控制系统通常都有用知识来表达的非数学广义

模型以及用数学模型来表达的混合控制过程等, 这些控制过程适合包含复杂性、不完全性和模糊性、不确定、无已知算法、开闭环控制、定性及定量控制等多模态控制方式应用于生产过程, 智能控制器有分层信息处理及决策机构等。

智能控制系统有许多特点, 能够随着环境与任务的改变而自动调节控制策略以达到最优控制的目的, 鲁棒性强, 能够对不确定性与外界干扰有一定的适应性, 也可以通过学习来不断地优化控制策略、改善控制性能, 并可以说明控制结果、为用户提供决策支持, 同时也可以工作于实时环境中, 达到实时性的要求等。

二、智能控制技术主要方法

(一) 模糊控制

模糊控制以模糊集合理论为基础, 以模糊逻辑推理为手段, 以智能控制为目的。它无需建立准确的数学模型而采用模糊规则对系统输入输出关系进行描述。电厂热工自动化领域, 模糊控制可用于汽包水位控制和燃烧控制。以汽包水位调控为例, 因汽包水位受蒸汽流量、给水流量和锅炉负荷等诸多因素影响, 动态特性比较复杂, 很难建立准确数学模型。模糊控制能够依据水位偏差及偏差变化率信息在模糊规则库中推理并输出适当的控制信号来达到汽包水位高效控制的目的。比如在水位偏差比较大、偏差变化率比较大的情况下, 模糊控制器就能输出比较大的控制信号来迅速地调节给水流量以将水位回复至设定值。

(二) 专家控制

专家控制就是把专家们的知识与经验集成在一个控

作者简介: 赵智慧(1985.01——), 女, 汉族, 内蒙古包头市人, 本科, 电子信息工程专业, 工程师, 现就职于达拉特发电厂, 研究方向为热动专业。

制系统之中，并由专家系统进行控制决策。专家系统包括知识库、推理机、人机接口。电厂热工自动化领域，专家控制可应用于故障诊断和设备维护。如电厂设备发生故障后，专家系统能根据故障现象及历史数据在知识库内进行匹配推理，迅速地诊断故障原因并提出处理意见。同时专家系统也能依据设备运行状态及维护记录制定出合理维护计划以提高其可靠性及使用寿命。

（三）神经控制

神经控制就是建立在人工神经网络基础上的智能控制方法之一。人工神经网络拥有出色的非线性映射和自我学习功能，能够通过学习大量的数据来确立输入与输出之间的对应关系。电厂热工自动化领域，神经控制可用于主蒸汽温度控制和汽轮机调速控制。以锅炉主蒸汽温度控制为例，锅炉主蒸汽温度受锅炉燃烧、蒸汽流量和给水温度等诸多因素影响，动态特性比较复杂。神经网络通过学习历史数据，能够在主蒸汽温度和各个影响因素间建立非线性映射关系以达到准确控制主蒸汽温度。如锅炉负荷变化时，神经网络能根据当前运行情况迅速调节控制参数以维持主蒸汽温度不低于设定值。

（四）遗传控制

遗传控制就是以遗传算法为基础的智能控制。遗传算法模拟了生物的进化过程，它通过各种如选择、交叉和变异的手段，持续地寻找最佳的解决方案。电厂热工自动化领域，遗传控制可应用于发电计划优化和设备参数优化。以发电计划优化为例，遗传算法能够依据电网需求、燃料成本和设备性能来优化发电设备启停时间和发电功率，以使发电成本最小、发电效率最高。同时遗传算法也能优化装置参数，改善装置运行性能及可靠性。

三、智能控制在电厂热工自动化中的实际应用

（一）汽包锅炉燃烧控制

汽包锅炉燃烧控制的目的是在保证锅炉安全、经济运行的前提下，使燃料所供给的热量与锅炉蒸汽负荷的需要相适应。它涉及燃料量、送风量及引风量的调整。燃料量调节应使进入锅炉内燃料燃烧所产生蒸汽量达到外部负荷所需要的信号，高负荷和低负荷下比例带可以由PID调节器进行自动变化来达到调节目的，如高负荷设比例带为 p_1 ，低负荷设为 p_2 ，其他参数不变。利用热量信号进行燃料调节子系统，以热量信号代替燃料量信号作为负反馈可以迅速反映燃料侧内部扰动并消除扰动，以保持机前压力平稳，又利用汽机调速系统中二次油压作为前馈信号来提高锅炉响应负荷速度。送风量调节系统采用串级方式，主回路调节氧量，副回路调节总风

压，并将燃料量的信号反馈给副调节器的进口以克服燃料侧的内扰问题。引风量的调节由引风量调节器来接收炉膛的压力信号及给定值，送风量调节器的输出经过微分环节后产生前馈补偿，其目的在于稳定炉膛压力、降低动态偏差、协调送风与引风之间的关系等。另外，在送风量的扰动作用下，烟气中的氧含量表现出滞后、惯性和自平衡的特性，而炉膛内的压力对于锅炉的稳定运行至关重要，这主要是通过调整引风量来实现的。

（二）汽轮机电液控制

汽轮机电液控制对保证汽轮机的安全、稳定运行和满足电网需求起到了至关重要的作用。通过电液调节系统可以准确地调节汽轮机的进汽量，以控制机组的转速使之工作在规定的范围内，并在起动、停机和负载变化等情况下，避免机组超速运行或低转速运行，保证安全。在并网操作过程中，该系统具有调节进汽量和排汽量的能力，确保机组的输出功率与电网的需求相匹配，从而保持电网的稳定并提升电能的供应品质。

数字电液控制系统通过控制汽轮机主汽门及调门的开度来实现转速、负荷、压力等参数的准确调节，它的液动执行机构反应迅速、输出推力较大，适合各型号汽轮机挂闸后至带满整个运行过程的控制，也可配合DCS系统完成机炉协调和电网调频调峰工作。

汽轮机电液调节系统通过接收转速或者负荷设定值并对反馈信号进行精密运算来下达命令，对蒸汽阀门执行机构进行控制，电子控制器内装有数字计算机及其他硬件、人机接口，便于操作人员获得数据并下达命令。AST系统通过4个AST电磁阀卸安全油来关闭汽门，OPC系统则通过2个OPC电磁阀的运行来达到超速保护的。另外，系统控制液为磷酸酯抗燃油，油泵系统为进口高压变量柱塞泵，双泵并联以增加可靠性等。

（三）电厂一次调频技术

电厂一次调频技术是维持电力系统频率稳定的关键手段，其诞生源于发电功率与用电负荷需实时平衡这一基本物理定律，任何失衡都会使系统频率偏离额定值，偏差超过安全阈值可能引发连锁故障甚至大面积停电。当电网频率偏离额定值（ $\pm 0.033\text{Hz}$ 死区）时，汽轮机调速系统会自动调节调门开度，改变机组出力以平抑频率波动，基于汽轮机转速与频率的线性关系（转速不等率3%~6%），通过DEH系统快速修正功率输出。

一次调频技术有着明确的技术要求，一次调频死区 Δn_1 的设定要兼顾电厂运行安全稳定与电网优化需求，通常设为 $2r/min$ ，既能避免干扰电网稳定运行，又能有效

触发调频机制；一次调频速度不等率 δ 也需合理设置。

在操作层面，电力调度中心经南瑞系统发出一次调频试验信号，经RTU转成4-20mA的扰动信号，通过扰动装置施加在DEH系统试验位，机组响应经PMU传回电力调度中心，且每月不定时扰动1次以上。当前一次调频存在信号同源和精度问题，其信号来自DEH转速卡，可利用PMU装置检测频率数据，经频率数据抓取发送装置抓取并发送到发电机组的DCS或DEH，以此为调频标准，使调频更精确。

(四) 主蒸汽温度控制

主蒸汽温度控制作为火电厂锅炉运行过程中至关重要的一环，对于机组安全经济运行具有重要意义。主蒸汽温度由三级温度系统构成，第三级控制主蒸汽温度输出，第二级和第一级减温系统虽非独立，但减温后蒸汽温度给定值与第三级减温相关。

受工艺特性的影响，每级过热器的管道较长，主汽温对于控制输入和喷水减温器减温水量的变化响应缓慢，加之外界扰动，如主蒸汽流量和压力的波动等，由于汽水分离器的水位波动、给水的温度和流量的变化，以及蒸汽吹灰的频繁和较大的扰动，主汽的温度变得难以保持稳定。过高的汽温会加快锅炉受热面和蒸汽管道金属材料的蠕变，从而影响其使用寿命；汽温太低会使机组的循环热效率下降、煤耗升高。

主蒸汽温度的控制任务就是通过调整减温水流量来控制温度在额定值 -10°C 到 $+5^{\circ}\text{C}$ 之间，以防止金属管壁温度过高，保证机组热效率的提高，同时也是考察锅炉运行好坏的一个重要标志。过热器的三级降温控制系统由主蒸汽温度的设定和温度的调整两大电路组成，其中的控制回路采用了带有导前信号的串级汽温控制方式。在主蒸汽温度控制中，基于状态反馈的多种控制策略，例如分级控制方法、状态反馈与串级PID控制的融合策略以及多回路串级控制方法，都起到了至关重要的作用。

(五) 锅炉给水全程控制

锅炉给水的全程控制是确保锅炉安全稳定运行的关键环节，其核心任务是使锅炉的给水量与蒸发量相匹配，并保持汽包水位在规定的范围内。

由于高、低负荷时机组表现出不同的对象特性，因此对系统的适应性提出了更高的要求，系统应随着负荷的变化而在单冲量与三冲量之间转换，这就引出了系统切换的问题，需要两套控制线路对系统进行互相无扰的切换。当水泵流量较大时，为了使水泵处于安全区运行，应当适当增大上水通道的阻力以确保水泵出口的压力，同时也可以通过布置给水调节阀来改变上水通道的流量，

调节给水量使整个给水自动控制系统更加复杂。

在设备配置上，给水母管设计有三路通道的给水操作台，包括30%给水旁路、100%给水旁路和100%给水主路，每路均设调节阀及前、后隔离电动门，汽包设水位、压力变送器。当负荷增加时，如果主路调节阀的开度超过70%，那么给水旁路调节阀的指令会以2%/秒的速度关闭至0%，从而完成给水管道的切换工作。

调节阀差压控制子系统采用PI4对高、低负荷时给水调节阀的进、出口差压进行定值调节，以确保给水泵运行于安全转速范围。在控制过程中，系统需要根据燃料量、汽轮机负荷等因素的变化，精确调整给水量，以保持水位的稳定，避免水位异常对锅炉和汽轮机的运行安全造成严重的影响。

结论

综上所述，智能控制系统在内蒙古达拉特发电厂热工自动化中的应用取得了显著的成效。模糊控制、专家控制、神经控制和遗传控制等智能控制技术在汽包锅炉燃烧控制、汽轮机电液控制、电厂一次调频技术、主蒸汽温度控制以及锅炉给水全程控制等方面发挥了重要作用，有效提高了电厂的发电效率、运行稳定性和安全性。然而，智能控制系统在电厂热工自动化中的应用仍面临一些挑战。例如，智能控制算法的复杂性导致系统的计算量较大，对硬件设备的要求较高；智能控制系统的可靠性和稳定性还需要进一步提高，以应对各种复杂的工况和突发情况。未来，需要进一步加强智能控制技术的研究和开发，不断优化控制算法，提高系统的性能和可靠性。同时，还需要加强智能控制系统与电厂现有系统的集成，实现信息的共享和协同控制，推动电厂向智能化、自动化方向发展。

参考文献

- [1] 叶晓燕, 沈翔. 智能控制在电厂热工自动化中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.
- [2] 王华. 电厂热工自动化中智能控制的应用研究[J]. 电脑采购, 2024(13).
- [3] 王超. 智能控制在火电厂热工自动化中的应用研究[J]. 2024.
- [4] 张晓贺, 冯珂, 蔡一凡, 等. 试析智能控制及其在火电厂热工自动化的应用[C]// 第五届电力工程与技术学术交流会议. 华能武汉发电有限责任公司, 2024.
- [5] 王贞卫. 自动控制在火电厂热工自动化中的应用探讨[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.