人工智能技术在自动化控制系统中的应用

宋宝杰
国华（宁夏）新能源有限公司　宁夏银川　750002

摘　要：人工智能技术以其卓越的数据处理和智能决策能力，为提升自动化控制系统性能提供了新路径。文章分析了人工智能在自动化控制领域应用的重要价值，剖析了算法适配性不足、实时性与可靠性保障机制不完善等现实挑战，提出了融合人工智能与控制理论、构建面向工业场景的智能算法模型、构筑人工智能安全防护体系等实施策略，以期为推动人工智能在工业控制中的深度应用提供参考。

关键词：人工智能；自动化控制；算法模型；融合应用

引言

现代工业的支撑离不开自动化控制技术这一核心技术，伴随工业过程不断复杂化、对系统性能要求持续升高，传统控制方式无法适应智能制造发展要求，凭借自身强大的数据分析、知识推理、智能决策能力，人工智能技术为自动化控制系统添加新动力，助推工业生产迈入智能纪元。怎样在系统具备可靠性、实时性的基础上发挥人工智能长处，促成传统控制与智能技术的深度聚合，是新时期自动化控制领域急需化解的难题，为达成目标，本文分析人工智能应用价值，解读技术实施里的现实挑战，查找人工智能赋能自动化控制的策略，试图为推动我国工业过程控制技术革新给出思路。

一、人工智能技术应用于自动化控制系统的重要性

（一）提升系统智能决策与自适应能力的关键途径

自动化控制系统需要面对生产过程的复杂多变性，及时做出最优控制决策。传统PID控制难以适应工况波动性能受限，人工智能可从海量工业数据中学习提炼经验知识，构建自适应、自优化的智能控制策略，显著提升系统的响应速度和鲁棒性。如基于强化学习的智能PID调参，可根据被控对象动态变化实时调整控制参数，实现参数自校正保证控制性能在复杂环境下的稳定性，基于深度学习的模型预测控制可对未来状态进行多步预判，通过动态优化实现预测性维护和控制参数的前馈优化，大幅提高系统的预见性和主动性[1]。同时人工智能擅长处理非线性、强耦合问题，通过建立精准的非线性逆向模型，可实现对复杂系统的解耦与线性化，使控制系统适应不同工况具备多场景切换能力。人工智能使控制器从被动补偿转向主动预测、智能优化，大幅提高控制系统的自适应水平使之能够应对日益复杂的生产需求，将人工智能技术引入自动化控制系统，是突破传统控制瓶颈、实现系统智能化的关键途径。

（二）降低控制系统运行成本与资源消耗的有效手段

节能降耗、绿色高效是工业生产的重要目标。传统控制系统往往采用保守的控制策略，牺牲能耗换取控制精度，造成了较大的资源浪费。人工智能可建立能耗预测模型，在满足性能要求基础上寻求能耗最优解，协同节能与控制品质。如在流程工业中，机器学习算法可对生产全流程进行建模分析，通过工况聚类、相似性分析等，寻求不同生产阶段、不同批次的工艺参数最佳匹配，在保证产品质量的前提下最小化能源投入，实现能效的动态优化；在暖通空调控制中深度学习可分析建筑物热工特性、环境因素和使用需求等海量影响因素，通过多目标寻优实现冷热源的优化调度，在满足舒适度要求的同时降低能源消耗，推动系统向需求响应型、精准控制型升级[2]。同时人工智能可挖掘设备运行数据，建立设备健康模型，及时发现和预警设备性能退化，优化检修策略，减少事故停机损失，以更低成本实现长周期稳定运行。此外人工智能可对生产要素进行整体优化配置，基于供需预测合理安排产能，在满足市场需求的同时减少库存积压，降低资源占用。人工智能以高超的计算分析能力，在海量工况中求取节能最优解，在复杂因素中寻求

作者简介：宋宝杰（1986.02—），男，汉族，山东省乳山市，本科，助理，国华（宁夏）新能源有限公司，研究方向：信息化，科技创新相关。

效益最大化，推动控制系统向节能化、高效化、集约化升级。由此可见应用人工智能技术是控制系统降本增效、提质增效的有力抓手，是实现工业绿色发展的必由之路。

（三）促进工业生产向智能化转型升级的战略支撑

智能制造是“中国制造2025”的核心，对产业转型升级至关重要。自动化控制系统是智能工厂的“大脑”和“神经中枢”，是实现生产全流程智能优化的基础。人工智能通过对工业大数据的深度挖掘，使控制系统具备自感知、自学习、自适应、自决策的智能属性，推动生产模式从“规模化”走向“智能化”。如在智能工厂中人工智能可感知海量设备状态，实现全局资源动态优化配置；对产品质量大数据进行实时分析动态优化工艺参数；融合市场需求变化及时调整生产计划，实现产供销的智能协同。人工智能技术为自动化控制系统赋予前所未有的智慧，成为我国工业生产向智能化跃升的新引擎。可见加快人工智能在工业控制领域的创新应用，是顺应智能制造发展大势、抢占产业制高点的战略选择。

二、人工智能技术在自动化控制系统应用中的现实挑战

（一）算法模型与工业场景适配性不足

人工智能技术的研究和应用多集中于互联网等领域，而工业控制对象、应用场景差异显著。工业过程的物理机理复杂多变知识获取难度大，当前主流的数据驱动型人工智能方法对高质量工业样本的依赖性强，泛化能力不足容易出现过拟合、欠拟合等问题导致控制性能不佳。工业环境恶劣，数据采集与传输易受干扰，数据质量参差不齐。噪声数据、离群点等非结构化数据给智能算法的收敛性、泛化性带来不利影响，此外工业装备型号、工艺标准的差异性导致样本分布不均衡，影响模型推广应用，如何提高人工智能算法对工业场景的适应性、鲁棒性，建立行之有效的智能模型，是工业人工智能发展面临的突出挑战。

（二）实时性与可靠性保障机制尚不完善

自动化控制对实时性和可靠性要求极高，控制指令的时效性和正确性直接影响生产安全。目前的人工智能算法多是基于离线大数据训练形成的，在线部署时计算复杂度高、时延大，不能支撑高速控制场景。且神经网络等智能算法的内部逻辑不透明，缺乏可解释性，决策可靠性无法保障，一旦出现误判极易引发安全事故[3]。同时智能系统对黑盒攻击等网络安全威胁的抵御能力不足，存在被恶意操纵的风险隐患。工业互联网时代，海量智能设备互联互通，控制系统所面临的安全挑战更加严峻，如何保障人工智能技术高效、可信、安全地执行控制任务，构建实时性与可靠性保障机制，成为智能控制系统设计与实施的核心议题。

（三）人工智能与传统控制理论融合度不深

经典控制理论是自动化控制的理论基石，蕴含着行之有效的控制策略。而当前的人工智能方法多是与控制对象“隔离”的。神经网络虽可逼近任意非线性函数，但缺乏对被控对象的物理洞察，未能有效利用先验知识，易陷入数据主义。且数据驱动智能方法的理论基础尚不完善，缺乏可靠的稳定性、收敛性证明，难以达到工业级应用标准。如何在坚实的理论基础上，将经典控制理论的精髓与人工智能的优势有机融合，补足彼此短板，是智能控制走向工程应用的关键。当前两大技术派别尚处于“各自为战”状态，人工智能与传统控制在知识表征、策略构建上的协同机制亟待深化，“传统+智能”的融合大业仍任重道远。

三、人工智能赋能自动化控制系统的实施策略

（一）融理论于实践，优控制精准度

将人工智能技术嵌入控制系统，要在经典控制理论指导下，用智能赋能传统、用传统护航智能。要发挥人工智能强大的建模、寻优能力，针对系统不确定性、非线性等难题，构建自适应、自校正的智能控制策略，在线修正PID参数、校准Smith预估器优化控制器设计。通过与专家控制规则、动力学模型的深度融合，克服机理模型偏差，大幅提升控制精准度和鲁棒性[4]。同时利用人工智能并行计算、实时处理的优势，实现对复杂工业过程的快速响应与精确调节确保生产平稳有序。要在经典控制理论指导下完善智能算法的稳定性证明和收敛性分析，实现从经验型向理论型的跨越，通过借鉴现代控制、鲁棒控制、智能控制等理论的精髓，完善人工智能的系统架构，强化算法的可解释性、可追溯性，解决黑箱模型难以验证、优化的难题，为工程应用奠定坚实基础。同时要通过控制理论与人工智能的协同创新，促进二者在基础理论、关键技术、应用实践等方面的深度融合，实现理论突破和工程应用的良性循环。总之人工智能要立足传统，在融合发展中增强控制系统的智能属性，以理论创新引领智能化变革，用“传统的经典、智能的创新”开创智能控制的崭新局面。

（二）构模型应场景，强适应柔性化

塑造面向工业场景的人工智能模型，要立足工业过

程机理，因地制宜设计端到端智能系统。要充分挖掘工业知识用物理机理指导数据驱动，研发融合机理的智能算法，通过工业大数据与机理模型的协同，改善数据质量不足、样本分布不平衡等问题，增强模型泛化能力。同时要利用机理模型解释数据驱动模型，揭示隐藏在数据背后的内在规律，实现从经验型向物理型智能的飞跃，要紧扣工业对实时性、功耗的苛刻要求，开发轻量化、低时延的端侧智能模型，实现数据就地分析、智能实时响应。如采用知识蒸馏、模型剪枝、参数量化等方法压缩模型，在精度损失可控的前提下，大幅降低计算开销满足工业现场资源受限环境的应用需求。同时要针对端侧算力不足的问题，探索云边端协同的分布式智能架构，通过模型分割、任务卸载等方式，实现云端训练和边缘执行的无缝衔接。针对工业环境复杂多变的特点，构建具备连续学习能力的智能系统，通过增量学习、在线学习等模式，使模型随生产变化持续进化不断强化环境适应能力。同时要构建人机协同的在线学习范式，充分发挥人的领域知识优势，引导模型向预期方向优化，提升学习效率，智能模型应紧贴工业场景，在轻量化、低时延、自适应中释放性能，在云边端协同中打通数据壁垒，推动工业人工智能“入炉”“上岗”。

（三）筑安全防护墙，保系统稳可靠

确保控制系统的实时性与可靠性，要筑牢人工智能安全防护体系，强化功能安全和网络安全。要从系统架构层面入手，通过冗余设计、行为约束、主备切换等方式，对智能系统进行安全加固，将风险扼杀在摇篮[5]。同时建立严格的人工智能测试与验证机制，通过形式化验证、对抗性验证等技术，全面评估算法的鲁棒性、可解释性，及早发现并消除安全隐患。要重点关注训练数据的代表性和完整性，防范数据中毒、模型劫持等新型攻击，强化工业互联网环境下控制系统的安全防护，运用区块链、同态加密等先进技术，对设备间通信数据进行加密认证，构建可信工业互联网。同时构建纵深防御体系，采用防火墙、入侵检测等技术，对网络边界、系统接口等实施严密防护，全面提升系统抗风险能力，还要加快构建人工智能安全标准规范，明确针对不同行业、不同场景的安全等级划分和测试流程，强化安全事前预防、事中管控、事后追溯，为人工智能系统的规模化应用保驾护航。加强安全意识教育，提高从业人员的风险防范能力，形成人机协同的纵深防御格局，在发挥人工智能优势的同时，须将安全可控理念贯穿始终，坚持开放与安全并重，在“筑基固本”中护航智能化变革。

结语

人工智能技术与自动化控制系统的融合，为我国工业生产向智能化、绿色化转型按下“快进键”。机遇与挑战并存亟须在夯实基础研究的同时加快工程化应用步伐，这就要求我们坚持问题导向、应用牵引，深化人工智能与控制理论交叉融合，发展面向复杂工业环境的智能模型与算法，构建安全可靠的智能化控制系统。如此方能在传统产业智能化改造的浪潮中抢得先机，用智能激发创新活力用创新塑造发展新优势，助推我国工业迈向智能时代，在新一轮科技革命和产业变革中抢占制高点。

参考文献

[1]李静，郑午.人工智能技术在自动化控制系统中的应用[J].电子技术（上海），2023，52（10）：372-373.

[2]秦永和，王鹏，曹江娜，等.人工智能技术在工程作业智能支持系统中的应用[J].钻采工艺，2025，48（01）：70-77.

[3]虞叶鸣.浅析人工智能技术在电气自动化控制系统中的应用[J].农业工程与装备，2023，50（01）：34-35+39.

[4]乔燕.人工智能技术在电子工程自动化控制系统中的应用[J].集成电路应用，2024，41（01）：212-213.

[5]吴楠.人工智能技术在自动化控制系统中的应用[J].集成电路应用，2023，40（08）：216-217.