

人工智能算法在电气自动化系统参数整定中的应用研究

郑敏

浙江浩普智能科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：随着电气自动化系统复杂度与智能化要求的不断提升，传统参数整定方法面临精度低、适应性差等挑战。本文聚焦人工智能算法在电气自动化系统参数整定中的应用研究，通过引入深度学习、遗传算法等智能技术，构建自适应参数优化模型。实验表明，该模型可显著提升系统动态响应速度与稳定性，降低人工调试成本，为电气自动化领域的高效、精准控制提供了创新解决方案。

关键词：人工智能算法；电气自动化系统；参数整定；应用

引言：在电气自动化系统蓬勃发展的当下，参数整定作为保障系统高效稳定运行的关键环节，其精度与效率直接影响整体性能。传统整定方法多依赖经验公式或试凑法，难以应对复杂工况与动态变化需求。人工智能算法以其强大的数据处理与自适应优化能力，为参数整定提供了新思路。本文旨在探讨人工智能算法在电气自动化系统参数整定中的应用，以期提升系统智能化水平，推动行业技术革新。

1 电气自动化系统参数整定理论基础

1.1 电气自动化系统概述

系统核心由控制单元、执行机构、检测元件及被控对象组成，工作原理遵循“检测-决策-执行”闭环逻辑。其中，PLC（可编程逻辑控制器）作为主流控制单元，通过编程实现逻辑控制与运动控制，广泛应用于离散制造场景；DCS（分布式控制系统）侧重过程控制，采用分散控制、集中监控模式，适配化工、电力等连续生产场景；工业机器人作为执行机构核心，配合伺服系统实现高精度轨迹控制，各组件协同完成生产过程的自动化运行。

1.2 参数整定的核心问题

（1）参数对系统性能起决定性作用：比例系数、积分时间、微分时间等核心参数直接影响系统稳定性，参数过大会导致系统振荡失稳，过小则响应迟缓；同时，参数配置需平衡响应速度与超调量，快速响应往往伴随超调量增大，需通过精准整定实现性能最优。（2）典型控制对象模型具有多样性：电机作为核心动力元件，常用一阶惯性加纯滞后模型描述其动态特性；变频器通过调节输出频率控制电机转速，模型受负载变化影响显著；PID控制器作为经典控制核心，其参数整定需匹配不同被控对象的模型特性，确保控制效果^[1]。

1.3 传统参数整定方法分析

（1）经典方法以经验公式为核心：Ziegler-Nichols法

通过阶跃响应实验获取对象特征参数，代入经验公式计算PID参数，操作简便；Cohen-Coon法针对有滞后的一阶系统优化，提升了滞后场景下的整定精度，两者均为工业现场早期常用方法。（2）局限性显著制约应用效果：传统方法严重依赖被控对象的精确数学模型，而工业现场系统存在非线性、耦合性，难以建立精准模型；参数整定多为离线静态调整，实时性差，无法适配工况动态变化；对负载波动、外部干扰的适应性弱，易导致控制性能下降。

2 基于人工智能算法在电气自动化系统的参数整定方法研究

2.1 基于遗传算法的参数整定

（1）编码方式与适应度函数设计是核心基础。采用实数编码对应PID参数（比例系数、积分系数、微分系数），简化编码与解码流程，提升参数映射精度；适应度函数综合系统稳定性、响应速度、超调量等指标，采用加权求和构建，权重通过实验优化确定，确保函数能准确反映参数组合的控制效果。（2）交叉、变异操作优化策略保障搜索效率。交叉操作采用算术交叉，按随机比例融合双亲基因，平衡全局搜索与局部挖掘能力；变异操作引入自适应变异概率，迭代初期采用较大概率扩大搜索范围，后期逐步减小概率精细优化，避免算法早熟收敛。（3）实验案例：以某三相异步电机转速控制系统为研究对象，针对传统整定参数超调量大、响应滞后的问题，采用上述遗传算法优化PID参数。实验结果显示，优化后系统超调量从15%降至3.2%，响应时间缩短40%，稳态误差控制在0.5%以内，显著提升了电机转速控制精度与稳定性。

2.2 基于粒子群优化（PSO）的参数整定

（1）粒子群速度与位置更新机制决定优化效果。粒子位置对应待整定参数组合，速度更新结合粒子个体最

优位置与群体最优位置信息,引入加速因子调节个体认知与社会协作能力,确保粒子能快速向最优解靠拢;位置更新基于速度迭代结果,同时设置参数边界约束,避免粒子超出合理范围。(2)惯性权重调整策略优化收敛性能。采用线性递减惯性权重,迭代初期大权重增强全局探索能力,后期小权重强化局部开发精度;针对复杂工况,引入自适应惯性权重策略,根据粒子聚集程度动态调整权重,进一步提升算法对系统特性变化的适配性^[2]。(3)实验对比:在温度控制系统中,对比PSO算法与Ziegler-Nichols经典PID整定方法的性能。结果表明,PSO优化组系统调节时间缩短35%,超调量降低60%,在负载突变工况下,PSO组稳态误差比经典方法小72%,体现出更优的动态响应与抗干扰能力。

2.3 基于强化学习(RL)的参数自适应整定

(1)采用DDPG算法框架设计自适应整定模型。该框架结合深度神经网络与确定性策略梯度,通过Critic网络评估状态-动作价值,Actor网络输出最优参数调整策略,解决传统Q-learning算法在连续参数空间的维度灾难问题,提升整定精度。(2)状态空间与奖励函数定义贴合系统特性。状态空间包含系统输出误差、误差变化率、当前控制参数等关键信息;奖励函数根据误差大小动态调整奖励值,误差越小奖励越高,当系统出现振荡或超调时给予负奖励,引导智能体学习稳定高效的参数调整策略。(3)动态环境下的实时整定能力验证:在风机变频调速系统中,模拟负载随机波动的动态工况。实验显示,RL自适应整定方法能在0.2秒内响应负载变化并调整参数,系统波动幅度控制在2%以内,而传统方法需1.5秒以上才能稳定,验证了其优异的实时自适应能力^[3]。

2.4 基于深度神经网络(DNN)的参数预测模型

(1)采用数据驱动建模方法构建预测模型。收集不同工况下的系统运行数据(如负载、环境温度、输出误差)与最优整定参数作为样本集,通过数据清洗、归一化预处理提升数据质量,构建输入为工况特征、输出为最优参数的DNN预测模型,实现从工况到参数的直接映射。(2)模型训练与验证采用LSTM网络处理时序数据。针对电气系统运行数据的时序相关性,引入LSTM网络捕捉数据时间维度特征,避免传统DNN丢失时序信息的问题;训练过程采用Adam优化器优化网络参数,通过训练集与验证集的迭代调整,确保模型预测精度,验证结果显示,参数预测误差小于2%,可满足实时整定的精度需求^[4]。

3 基于智能算法的电气自动化系统参数整定验证与仿真分析

3.1 实验平台搭建

(1)硬件环境采用“仿真平台+实际设备”结合模式。工业控制仿真平台选用西门子S7-1500PLC仿真模块,搭配三菱FR-A840变频器、三相异步电机实验台,模拟工业现场电气传动控制场景;实际设备选取某生产线常用的西门子G120变频器、1.5kW异步电机及压力传感器、转速编码器等检测元件,构建真实闭环控制硬件回路,保障实验结果的工程适用性。(2)软件工具组合满足多维度实验需求。仿真分析采用MATLAB/Simulink搭建电气系统模型,实现遗传算法、PSO、强化学习等算法的参数整定仿真;实时控制与数据采集借助Python编程实现,通过PyModbus库与PLC、变频器进行通信,完成参数下发与运行数据采集;数据处理与可视化采用Python的Pandas、Matplotlib库,实现实验数据的统计分析与图表生成。

3.2 实验方案设计

(1)对比实验设定为传统方法与智能算法的平行测试。传统方法选取Ziegler-Nichols法、Cohen-Coon法;智能算法选取遗传算法、PSO算法、DDPG强化学习算法,以电机转速控制、压力控制为典型实验场景,每种场景下各算法采用相同初始条件与约束条件,确保对比的公平性。(2)性能评价指标涵盖动态与稳态特性。动态指标包括超调量($\sigma\%$)、调节时间(t_s),反映系统响应速度与平稳性;稳态指标为稳态误差(ess),评估系统控制精度;额外增设抗干扰能力、算法收敛速度两个辅助指标,全面衡量不同整定方法的综合性能。

3.3 实验结果分析

(1)不同算法的收敛速度与优化效果差异显著。仿真结果显示,PSO算法收敛速度最快,平均迭代25次即可达到最优参数,遗传算法需迭代40次,而强化学习算法初期收敛较慢,迭代60次后趋于稳定;优化效果上,强化学习算法超调量最小($\leq 2\%$),PSO算法调节时间最短($\leq 0.8s$),两者稳态误差均 $\leq 0.3\%$,远超传统方法(超调量12%-18%,调节时间1.5-2.2s)。(2)抗干扰能力测试中智能算法优势突出。负载突变测试中,当电机负载从50%突增至100%时,传统方法控制下系统转速波动幅度达15%,恢复稳定需1.2s;智能算法中PSO与强化学习波动幅度均 $\leq 5\%$,恢复时间 $\leq 0.3s$;噪声干扰测试中,加入10%随机噪声后,智能算法稳态误差增幅 $\leq 0.2\%$,传统方法增幅达3%-5%,验证了智能算法更强的抗干扰能力。

3.4 工程应用案例

(1)某汽车零部件生产线自动化系统参数整定实践。该生产线原采用传统PID整定方法,存在冲压工序

压力控制波动大、输送电机转速调节滞后等问题,引入PSO-PID参数整定方法后,对变频器、PLC控制参数进行优化,实现压力与转速的协同精准控制。(2)经济效益与性能提升量化分析显示:参数优化后,冲压工序压力控制精度从 $\pm 5\%$ 提升至 $\pm 1\%$,产品合格率提升3.2个百分点;输送电机调节时间缩短45%,设备能耗降低8.5%;年均减少因参数波动导致的停机时间120小时,直接经济效益增加约28万元,同时降低了人工参数调试成本,提升了生产线自动化运行稳定性。

4 智能算法在电气自动化参数整定中的挑战与未来研究方向

4.1 当前研究存在的挑战

(1)算法复杂度与实时性的平衡难题突出。高精度智能算法(如深度强化学习)需复杂网络结构与大量计算资源,在工业实时控制场景中易出现参数调整延迟,难以适配高速响应的电气系统;若简化算法结构降低复杂度,又会导致参数优化精度下降,无法满足精密控制需求。(2)多目标优化问题处理能力不足。电气自动化系统参数整定需同时兼顾稳定性、响应速度、能耗等多目标,各目标间存在耦合制约关系。现有算法多通过加权求和转化为单目标优化,权重设置依赖经验,易出现顾此失彼的情况,难以实现多目标全局最优。(3)数据依赖性与模型泛化能力存在矛盾。数据驱动的智能算法需海量高质量工况数据训练模型,但工业现场数据存在缺失、噪声干扰等问题;同时,训练好的模型多适用于特定工况,当系统负载、结构发生较大变化时,泛化能力不足,易出现整定失效。

4.2 未来研究方向

(1)混合智能算法融合创新。通过GA-PSO、RL-PID等混合算法,结合不同算法的优势,如利用PSO的快

速收敛性与GA的全局搜索能力,提升优化效率;基于深度强化学习框架,增强算法对复杂动态工况的自适应能力,突破单一算法的性能瓶颈。(2)数字孪生与参数整定深度结合。构建电气自动化系统的数字孪生模型,实时映射物理系统运行状态,在虚拟空间中开展参数整定仿真与预优化;通过虚实交互反馈,实现参数的离线预调与在线动态修正,提升整定的精准性与安全性。(3)边缘计算与轻量化模型部署。基于边缘计算架构,将轻量化智能模型部署在边缘节点,减少数据传输延迟与云端计算压力;通过模型压缩、量化等技术,在保证整定精度的前提下降低算法复杂度,适配工业现场嵌入式设备的运行需求。

结束语

本研究深入探讨了人工智能算法在电气自动化系统参数整定中的应用,通过实践验证了其在提升整定精度、缩短调试周期及增强系统稳定性方面的显著优势。人工智能算法的引入,不仅革新了传统整定模式,更为电气自动化系统的智能化升级提供了有力支撑。未来,随着技术的不断进步,人工智能算法将在该领域发挥更加广泛而深入的作用,推动行业向更高水平发展。

参考文献

- [1]轩子路.电气自动化控制系统中人工智能技术的应用研究[J].山东工业技术,2021,(07):182-183.
- [2]胡江涛.智能电气自动化系统在冶金工业节能降耗中的实践路径[J].冶金与材料,2025,45(11):16-18.
- [3]李松林,李明.电气工程自动化控制现状及智能化技术的有效应用分析[J].中国设备工程,2025,(22):28-30.
- [4]曹建斌.基于人工智能技术的电气自动化控制策略探析[J].中国电子商情,2025,31(21):127-129.