

AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用

周 如

中国能源建设集团新疆电力设计院有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 在新型电力系统加速构建的背景下, 电气工程继电保护正面临高比例电力电子设备接入、电网结构复杂化与故障特征模糊化等多重挑战。本文聚焦AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用。首先概述AI技术与电气工程继电保护自动化控制的基本概念; 接着详细阐述AI技术在故障诊断、自适应保护、数据分析与预测、优化算法应用及智能决策支持系统等方面的具体应用; 然后分析其面临的如数据质量与实时性、模型复杂性与可靠性等挑战; 最后提出数据清洗与边缘计算协同优化、模型轻量化与可解释性增强等促进AI技术应用的策略, 为该领域发展提供参考。

关键词: AI技术; 电气工程; 继电保护; 自动化控制

引言: 随着科技的飞速发展, AI技术已成为推动各行业变革的关键力量。电气工程领域中, 继电保护自动化控制至关重要, 它关乎电力系统的安全稳定运行。传统继电保护方式在应对复杂多变的电力系统状况时, 逐渐暴露出局限性。而AI技术凭借其强大的数据处理、模式识别和智能决策能力, 为电气工程继电保护自动化控制带来了新的机遇与可能。深入研究AI技术在该领域的应用, 有助于提升继电保护的精准性和可靠性, 推动电气工程行业迈向新的发展阶段。

1 AI技术与电气工程继电保护自动化控制概述

AI技术, 即人工智能技术, 是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门技术科学, 涵盖机器学习、深度学习、自然语言处理等多个领域, 具备强大的数据分析、模式识别与智能决策能力。电气工程继电保护自动化控制是保障电力系统安全稳定运行的核心环节。当电力系统发生故障或异常运行时, 继电保护装置需迅速、准确地识别故障类型与位置, 并自动采取切断故障部分等措施, 防止故障扩大, 减少损失。传统继电保护主要依赖预设的固定阈值和简单逻辑判断, 在应对复杂多变的电力系统运行工况时, 存在适应性不足、精准度有限等问题。AI技术的融入为电气工程继电保护自动化控制带来了革新契机。借助机器学习算法, 可对海量电力系统运行数据进行深度挖掘, 精准识别故障特征, 实现故障的快速、准确诊断; 深度学习技术能自适应电力系统运行状态的变化, 动态调整保护策略, 提升保护的灵活性与可靠性^[1]。

2 AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的具体应用

2.1 故障诊断

在电气工程继电保护自动化控制中, AI技术为故

障诊断带来了高效与精准的变革。传统故障诊断方法依赖人工经验和预设阈值, 面对复杂多变的电力系统故障时, 准确性和及时性受限。AI技术中的机器学习算法可对海量历史故障数据和实时运行数据进行深度挖掘。通过训练模型, 它能自动识别不同故障类型的特征模式, 如短路故障中的电流突变特征、设备老化故障的特定参数变化规律等。深度学习中的卷积神经网络(CNN)能处理高维的电气信号数据, 自动提取故障特征, 无需人工手动设计特征提取规则。同时, AI故障诊断系统可实时监测电力系统的各项参数, 一旦检测到异常, 能迅速对比模型中的故障模式, 准确判断故障类型、位置和严重程度, 并及时发出警报, 为维修人员提供详细准确的故障信息, 大大缩短故障排查和修复时间, 提高电力系统的可靠性和稳定性。

2.2 自适应保护

AI技术使电气工程继电保护具备自适应能力, 能根据电力系统的实时运行状态自动调整保护参数和策略。传统继电保护装置的保护定值是固定的, 难以适应电力系统运行方式的动态变化。而基于AI的自适应保护系统, 通过实时采集电力系统的电压、电流、频率等参数, 利用智能算法分析系统的运行状态。例如, 当电力系统发生负荷变化、线路投切等情况时, AI系统能快速识别这些变化, 并自动调整过流保护、距离保护等保护装置的动作电流、动作时间等定值, 确保在不同运行工况下都能准确、可靠地动作。此外, AI自适应保护还能考虑天气、环境等因素对电力系统的影响, 进一步提高保护的适应性和灵活性, 有效避免误动和拒动, 保障电力系统的安全稳定运行。

2.3 数据分析与预测

AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的数据分

析与预测方面发挥着关键作用。电力系统运行过程中会产生大量的数据,包括电气参数、设备状态信息等。AI技术中的大数据分析方法可对这些海量数据进行高效处理和分析。通过数据挖掘算法,能发现数据中隐藏的规律和趋势,如设备故障的早期征兆、负荷变化的周期性等。基于这些分析结果,AI预测模型可对电力系统的未来运行状态进行预测。预测电力系统的负荷需求,合理安排发电计划,提高能源利用效率。同时,AI预测模型还能对电力系统的稳定性进行评估,提前发现潜在的安全隐患,为继电保护策略的制定提供科学依据。

2.4 优化算法应用

AI优化算法为电气工程继电保护自动化控制提供了高效的解决方案。在继电保护装置的参数整定方面,传统的参数整定方法往往基于经验公式和试凑法,难以达到最优效果。而AI优化算法,如遗传算法、粒子群算法等,可通过模拟自然进化或群体行为,在全局范围内搜索最优的参数组合。这些算法能考虑多个约束条件,如保护的灵敏性、选择性、快速性等,找到满足系统要求的最优保护参数。在电力系统网络重构方面,AI优化算法可根据实时负荷情况和电网拓扑结构,优化电网的运行方式,降低线路损耗,提高供电可靠性。此外

2.5 智能决策支持系统

AI技术构建的智能决策支持系统为电气工程继电保护自动化控制提供了强大的决策辅助。该系统整合了电力系统运行数据、故障诊断结果、自适应保护策略等多方面信息,利用专家系统、模糊逻辑等AI技术进行综合分析和判断。当电力系统发生故障或异常情况时,智能决策支持系统能快速评估故障的影响范围和严重程度,结合预设的决策规则和历史经验,为运行人员提供多种可行的决策方案,并分析各方案的优缺点和风险。同时,系统还能根据实时数据动态调整决策方案,确保决策的科学性和合理性。此外,智能决策支持系统还具备学习和自我完善能力,通过不断积累实际运行经验和数据,优化决策规则和模型,提高决策的准确性和可靠性,帮助运行人员在复杂情况下做出正确的决策,保障电力系统的安全稳定运行。

3 AI技术应用对电气工程继电保护自动化控制的挑战

3.1 数据质量与实时性挑战

在电气工程继电保护自动化控制中应用AI技术,数据质量与实时性面临严峻挑战。一方面,电力系统运行数据来源广泛、格式多样,数据中可能存在噪声、缺失值和异常值等问题,严重影响AI模型训练的准确性和效果。另一方面,继电保护对实时性要求极高,故障发生

时需在极短时间内做出反应。但AI算法处理大量数据、进行复杂计算需要一定时间,难以满足瞬时决策的需求,可能导致保护动作延迟,无法及时切断故障,威胁电力系统安全稳定运行^[2]。

3.2 模型复杂性与可靠性矛盾

AI技术在继电保护自动化控制中应用的模型复杂性与其可靠性存在明显矛盾。为提高对复杂电力系统故障的识别和判断能力,AI模型往往设计得更为复杂,包含大量参数和层次结构。然而,复杂的模型意味着更多的计算量和更高的资源需求,不仅增加了硬件成本,还可能导致模型训练时间过长。同时,复杂模型容易出现过拟合现象,在面对实际运行中未出现过的工况时,可靠性降低,无法准确执行继电保护任务,影响电力系统的安全保障。

3.3 对抗攻击与安全威胁

随着AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的广泛应用,对抗攻击与安全威胁日益凸显。攻击者可能通过精心设计的输入数据,即对抗样本,干扰AI模型的正常运行,使其做出错误的判断和决策。例如,在故障诊断环节,对抗样本可能导致模型误判故障类型或位置,使继电保护装置无法正确动作。此外,AI系统还可能遭受网络攻击,如数据篡改、系统入侵等,破坏系统的完整性和可用性,给电力系统的安全稳定运行带来巨大隐患。

3.4 跨领域知识融合与人才缺口

AI技术应用在电气工程继电保护自动化控制中,涉及电气工程、计算机科学、数学等多个领域知识的融合。但目前具备跨领域知识和技能的综合型人才十分匮乏。电气工程人员往往对AI技术的原理和应用了解有限,难以将AI方法有效应用于继电保护系统;而计算机领域人员又可能缺乏电气工程的专业知识,无法准确把握电力系统的实际需求和运行特点。这种人才缺口导致AI技术在继电保护自动化控制中的推广和应用受到阻碍,难以充分发挥其优势。

4 促进AI技术在电气工程继电保护自动化控制中应用的策略

4.1 数据清洗与边缘计算协同优化

电力工程中数据来源广、噪声多,数据清洗是提升AI应用效果的关键。通过去除重复、错误数据,填补缺失值,能提高数据质量,为AI模型提供可靠输入。而边缘计算可在数据产生的源头就近处理,减少数据传输延迟与带宽压力。将数据清洗与边缘计算协同,在边缘设备上先进行初步数据筛选与简单清洗,去除明显异常数据,再传输至中心进行处理。这样既能保证数据的及

时性，又能降低中心处理的数据量，提高整体效率。例如在变电站中，边缘设备对实时采集的电气数据快速处理，剔除干扰信号，再将有效数据传至控制中心，使AI模型能更及时准确地分析系统状态，实现更高效的继电保护自动化控制。

4.2 模型轻量化与可解释性增强

复杂AI模型虽性能好，但计算量大、资源需求高，不利于在电气工程继电保护设备中部署。模型轻量化可解决此问题，通过知识蒸馏、模型剪枝等技术，减少模型参数和计算量，使其能在资源有限的设备上运行。同时，增强模型可解释性也至关重要。在继电保护中，若模型决策过程不透明，难以让工程师信任和采用。可采用特征可视化、决策规则提取等方法，使模型的推理过程和决策依据清晰可见。例如，通过可视化展示模型识别故障时关注的关键特征，让工程师理解模型的工作原理，提高AI技术在继电保护自动化控制中的实用性和可靠性。

4.3 对抗样本防御与鲁棒性提升

AI技术在电气工程继电保护自动化控制中易受对抗样本攻击，导致误判。为防御对抗样本，可采用对抗训练方法，在模型训练过程中加入对抗样本，使模型学习到对抗干扰的特征，增强对对抗样本的识别能力。同时，引入输入验证机制，对输入数据进行检测，判断是否为对抗样本。提升模型鲁棒性还可通过集成学习，结合多个模型的预测结果，降低单个模型受攻击的影响。此外，定期对模型进行评估和更新，根据新的攻击方式和数据特点调整模型参数，使其始终保持较强的鲁棒性，确保在复杂环境下继电保护系统能准确可靠地运行。

4.4 跨学科人才培养与知识共享

AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用需要既懂电气工程又掌握AI技术的跨学科人才。高校和培训机构应调整课程设置，增加跨学科课程，如电气工程与计算机科学的融合课程，培养学生的综合知识和技能。企业也可开展内部培训，让电气工程师学习AI知识，计算机人员了解电气工程原理。同时，建立知识共享平台，促进不同领域专家之间的交流与合作。通过举

办学术研讨会、技术交流会等活动，分享最新的研究成果和实践经验。例如，电气工程师与AI专家共同探讨如何将AI算法更好地应用于继电保护，加速AI技术在电气工程领域的落地，推动继电保护自动化控制的发展。

4.5 模块化设计与持续迭代机制

模块化设计可将AI技术在电气工程继电保护自动化控制中的应用分解为多个独立模块，如数据采集模块、模型训练模块、决策执行模块等。每个模块具有明确的功能和接口，便于开发、维护和升级。当某个模块出现问题或需要改进时，可单独进行操作，不影响其他模块的正常运行。持续迭代机制则能保证AI技术始终适应电气工程的发展变化。通过收集实际运行数据和用户反馈，对模型和算法进行持续优化和改进。例如，根据新的故障类型和系统运行工况，不断调整模型的参数和结构，提高继电保护的准确性和可靠性。模块化设计与持续迭代机制相结合，能使AI技术在电气工程继电保护自动化控制中保持先进性和实用性^[3]。

结束语

AI技术为电气工程继电保护自动化控制带来了前所未有的变革与机遇。从精准高效的故障诊断，到灵活自适应的保护策略调整；从深入的数据分析与精准预测，到优化算法助力系统性能提升，再到智能决策支持系统提供科学指引，AI全方位融入并推动着该领域的发展。尽管在应用过程中面临数据、模型、安全等诸多挑战，但随着技术的不断进步与完善，AI必将在电气工程继电保护自动化控制中发挥更大作用，显著提升电力系统的稳定性与可靠性，为保障电力供应安全、推动电气工程行业迈向智能化新时代奠定坚实基础。

参考文献

- [1]继电保护主站信息融合决策系统的设计与应用[J].石恒初;游昊;李本瑜;廖晓春;曾令森.电力信息与通信技术,2021(01).132-134
- [2]智能变电站继电保护及自动化系统探讨[J].李青璇;解天柱;杨曦;侯斌.电气技术与经济,2023(02).165-167
- [3]智能变电站继电保护装置自动化控制研究[J].赵董;韦帅余.光源与照明,2023(09).245-246