人工智能接地系统杂散电流治理智能化应用优化方案研究

汤佳辉，严晓杰

（国网丹阳市供电公司，江苏 丹阳 212300）

摘 要 为解决传统接地系统杂散电流治理中监测精度低、响应滞后、治理效率不足、能耗偏高的问题，本文开展杂散电流治理智能化应用优化研究，结合人工智能技术构建高效、精准、节能的治理体系。通过分析接地系统杂散电流的产生机理与分布特征，梳理当前智能化治理技术的应用现状及存在的短板，利用大数据分析、机器学习、智能控制等人工智能技术，从监测感知、数据分析、治理执行、运维管理四个维度提出优化方案，引入量化监测指标与智能调控算法，实现杂散电流的精准识别、动态预测与高效治理，以期为接地系统杂散电流治理的智能化升级提供技术参考。

关键词 人工智能；接地系统；杂散电流；智能化治理

中图分类号：TP18；TM76 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.27.011

0 引言

当前，人工智能技术在杂散电流治理领域的应用仍处于初步探索阶段，受数据采集精度不足、模型适配性不强、现场落地条件有限等问题制约，智能化治理的高效精准优势未能充分发挥。基于此，开展人工智能接地系统杂散电流治理智能化应用优化研究，构建科学合理的优化方案，破解现有技术瓶颈，进一步提升杂散电流治理的智能化、精细化水平，对保障轨道交通及相关工程安全稳定运行具有重要现实意义。

1 人工智能接地系统杂散电流治理智能化应用现状及存在问题

1.1 智能化应用现状

监测感知方面，采用智能传感、无线传输技术构建监测网络，主流设备包括智能阴极保护测试桩、杂散电流数据记录仪等，可持续性采集交直流杂散电流参数，采样频率常规场景 1 次 /（10 s ～ 60 s），地铁高峰加密至 1 次 /s，数据通过 4G/5G、LoRa 上传至平台。部分场景引入北斗授时，时间误差控制在 1 ms 以内，增强数据关联性。数据分析方面，引入大数据与机器学习技术，数据预处理后误差控制在 ±5% 以内；利用支持向量机、神经网络等算法识别杂散电流源头、路径，预测变化趋势，部分模型可提前 14 天预警，准确率超 95%，并且结合关联数据构建分布模型，实现风险分级评估 [1]。治理执行方面，采用智能排流器、固态去耦合器等设备，可按照监测数据调整参数，部分系统实现设备联动，形成区域性治理网络。

1.2 存在的问题

1.2.1 监测感知系统存在短板

各厂家、各类型的监测设备缺少统一通信协议，形成“数据孤岛”，约 40% 监测数据得不到整合；监测点位布置不够科学，高风险区域点位不足，盲区率 15% ～ 20%，低风险区域点位冗余；设备抗干扰能力低下，复杂电磁环境下数据误差 8% ～ 12%；采样参数设置不当，峰值电流捕捉不及时 [2]。

1.2.2 数据分析模型泛化能力不足

机器学习模型通常基于特定场景历史数据训练，泛化能力弱，场景切换或运行状态变化时准确率从 95% 以上降至 70% 以下；输入参数单一，没有整合土壤、环境和设备等关联数据，溯源准确率仅 65% ～ 75%；数据处理效率低，日均 10 GB 以上监测数据处理延迟达 10 min ～ 15 min，影响响应及时性。

1.2.3 治理执行与监测数据脱节

治理设备与监测系统联动不足，参数调整仅基于预设阈值，约 30% 场景存在“过度治理”或“治理不足”；不同治理设备缺乏协同，跨区域、多源头杂散电流治理效率低；治理设备运行状态缺乏实时监测，故障响应时间长达 2 h ～ 3 h，影响治理连续性。

作者简介：汤佳辉（1999-），男，硕士研究生，研究方向：输电运检。

2 人工智能接地系统杂散电流治理智能化应用优化方案

2.1 监测感知系统优化

2.1.1 统一通信协议，打破数据孤岛

制定统一的监测设备通信协议，规范各个厂家、各种类型监测设备的数据接口、传输格式，以达到监测数据的互联互通。采用物联网技术构建统一监测数据传输网络，整合智能传感设备、数据记录仪以及参比电极等监测设备，对直流杂散电流、交流杂散电流以及环境温湿度等多维度数据展开采集与传输。此外，搭建数据汇聚平台以对监测数据进行统一存储、分类管理，去除数据冗余，数据整合率提升至95%以上；采用加密传输协议，提高数据传输中的机密性，避免数据遭到丢失或篡改[3]。

2.1.2 优化监测点位布置，消除监测盲区

围绕杂散电流分布特征、高风险区域分布，采用人工智能算法（K-means聚类算法）对监测点位进行优化。首先，借助大数据分析梳理杂散电流高风险区域（电流密度≥0.5 A/m^2、交流干扰电压≥4 V的区域）、中风险区域（电流密度0.1 A/m^2～0.5 A/m^2、交流干扰电压4 V～15 V的区域）以及低风险区域（电流密度＜0.1 A/m^2、交流干扰电压＜4 V的区域）；其次，在高风险区域加密监测点位，监测间距控制在50 m～100 m，确保所有的高风险区域监测点位覆盖率达到100%；在中风险区域科学布置监测点位，监测间距控制在100 m～200 m；在低风险区域减少监测点位，监测间距控制在200 m～500 m，防止资源浪费。

2.1.3 增强监测设备抗干扰水平，提高数据精度

优化监测设备的硬件结构，采用抗电磁干扰能力强的传感器、数据采集模块，如选用屏蔽型高精度电流传感器、抗干扰型参比电极，降低电磁环境对监测数据造成的影响。在监测设备安装期间采取屏蔽、接地等抗干扰方法，如对信号线进行屏蔽处理，将监测设备接地电阻控制在4 Ω以下，降低电磁干扰导致的数据漂移。优化监测设备的采样参数，常规场景采样频率设置为1次/30s，地铁早晚高峰、设备故障等特殊场景加密至1次/1s，确保捕捉峰值电流；监测时长至少连续72小时，整改验收阶段延长至7天～30天，增强数据完整性[4]。

2.2 数据分析模型优化

2.2.1 构建多参数融合的数据分析模型

扩大数据分析模型的输入参数范围，整合杂散电流监测数据、土壤介质参数（电阻率、湿度、酸碱度）、环境参数（温湿度、降雨量）、设备运行参数（牵引负荷、电解电流、变压器负荷）、接地系统参数（接地电阻、接地体布置）等多维度关联数据，提升数据分析的全面性。采用深度学习算法（卷积神经网络、循环神经网络）构建多参数融合的数据分析模型，依托海量数据训练提升模型的泛化能力，使其适应各运行状态、场景下的杂散电流分析需求，模型识别精度提升至95%以上，溯源准确率提升至90%以上。

2.2.2 优化数据处理流程，提升处理效率

构建高效的数据预处理流程，采用异常值检测算法（孤立森林算法）、噪声过滤算法去除监测数据中的异常值、噪声，数据预处理时间减少至1 min以内。引入边缘计算技术，在监测节点本地对数据进行初步处理，筛选出重要数据后再上传到数据平台，减少数据传输量，减轻数据平台的处理压力，数据传输量减少40%～50%。优化数据分析模型的算法结构，采用并行计算技术增加模型处理率，将监测数据的处理延迟控制在1 min，实现杂散电流的分析与预测，误差控制在±4%以内。

2.2.3 构建杂散电流风险分级与溯源模型

结合杂散电流强度、分布范围以及腐蚀风险等指标构建杂散电流风险分级模型，将杂散电流风险分为一级（高风险，电流密度≥2.5 A/m^2、交流干扰电压≥15 V）、二级（中高风险，电流密度1.0 A/m^2～2.5 A/m^2、交流干扰电压10 V～15 V）、三级（中风险，电流密度0.5 A/m^2～1.0 A/m^2、交流干扰电压4 V～10 V）、四级（低风险，电流密度＜0.5 A/m^2、交流干扰电压＜4 V）四个等级，为针对性治理带来依据。构建杂散电流溯源模型，分析杂散电流的分布规律、相位特征，结合多维度关联数据来识别杂散电流的产生源头、传播路径，溯源响应时间缩短至30 s以内，为源头治理带来技术支撑[5]。

2.3 治理执行系统优化

2.3.1 构建监测—治理联动机制

建立监测数据与治理执行的实时联动机制，将数据分析结果、杂散电流风险等级与治理设备的运行参数精准关联，实现治理措施的动态调控。例如：当监测到杂散电流达到一级风险时，智能排流器自动切换为强制排流模式，增大排流功率，将杂散电流快速泄放；当杂散电流降至四级风险时，自动切换为节能模式，降低排流功率，减少能耗。对于交流杂散电流，固态去耦合器根据交流干扰电压实时调整导通阈值，确保

交流杂散电流超阈值时瞬间导通，全额泄放交流电流，同时避免直流电流泄漏，直流漏电流控制在极小范围。联动机制建立后，治理响应时间缩短至 500 ms 以下，治理针对性提升 40% 以上。

2.3.2 实现治理设备协同联动

构建区域性杂散电流综合治理网络，实现不同区域、类型治理设备的协同配合。采用智能控制算法，按照杂散电流的分布范围、产生源头来统筹调度智能排流器、固态去耦合器等治理设备，建立起协同治理体系。例如：对于跨区域的杂散电流，协调不同区域的治理设备同步启动，从源头、传播路径和受影响区域多环节进行治理，增加治理效率；对于多源头的杂散电流，根据各源头的杂散电流强度分配治理资源，主要治理强度大、危害严重的源头。此外，优化治理设备的运行参数，结合杂散电流的变化趋势调整治理手段，实现“预判式治理”，杂散电流抑制效率提升至 95% 以上。

2.3.3 优化治理设备运行监测与故障预警

在治理设备上安装状态监测传感器以持续性采集设备的运行参数，监测设备的运行状态，第一时间发现设备故障（排流器失效、去耦合器损坏）。结合机器学习算法构建治理设备故障预测模型，分析设备运行数据，预测设备故障风险并发出预警信号，故障预测准确率提升至 90% 以上，故障响应时间缩短至 30 min 以内。除此之外，优化设备的自我诊断功能，当设备存在轻微故障时展开自我修复，无法修复时马上通知运维人员处理，增强治理设备的运行稳定性。

2.4 运维管理系统优化

2.4.1 完善智能化运维平台功能

升级智能化运维平台，设置运维数据分析、运维策略优化以及智能调度等高级功能。对运维数据（设备运行状态、故障记录、维修记录）给予深度挖掘，分析运维期间出现的问题并改进运维方法，以最大限度提升运维效率。例如：按照设备故障规律安排巡检时间、维修方案，减少冗杂的巡检与维修工作，整体运维成本节省 25% 以上。除此之外，搭建可视化运维界面，将杂散电流监测数据、治理设备运行状态以及运维记录等信息直观展示出来，方便运维人员了解系统运行情况，加强运维操作的便捷性。

2.4.2 加强运维人员智能化培训

采取系统化的培训方案，对运维人员展开智能化技术培训工作，主要培训人工智能设备操作、数据分析模型应用以及运维平台操作等内容，增强每个人的智能化操作水平。按时进行技能考核，保证运维人员可以掌握智能化设备、平台的操作方法，最大限度凸显出智能化功能的效果。除此之外，建立运维人员交流体系，分享运维经验、处理运维难题，以增强运维团队水平，运维人员操作熟练度提升至 90% 以上。

2.4.3 构建健全的运维数据库与安全防护体系

一方面，建立运维数据库并整合设备运行数据、故障记录以及监测数据、治理数据等相关的运维数据，为运维策略优化、设备故障预测带来良好的数据支撑。采用大数据分析技术对运维数据进行挖掘分析，总结运维规律，增强运维管理的科学性；另一方面，加大运维平台安全防护力度，采用数据加密、访问控制等安全技术，避免数据泄露、恶意攻击，进一步增强系统的安全性。建立安全应急响应机制，当存在安全隐患时快速启动应急处理流程，减少安全风险，确保系统安全隐患发生率降到 3% 以下 [6]。

3 结束语

随着人工智能、数字孪生等技术的迭代升级，接地系统杂散电流治理的智能化水平将进一步提升。未来可引入强化学习、联邦学习等算法以优化数据分析与治理控制模型；融合数字孪生技术，构建接地系统杂散电流虚拟仿真模型，推动杂散电流治理模式从“被动应对”向“主动预防、精准治理”全面转型，为基础设施接地系统安全稳定运行提供更全面、更可靠的保障。

参考文献：

[1] 朱传涛，邢鑫，杨涛，等 . 天然气长输管道交流杂散电流干扰对阴保运行影响研究 [J]. 化工管理 ,2026(03):102-105.

[2] 高志贵 . 城市地铁对地下管线杂散电流干扰问题研究 [J]. 城市道桥与防洪 ,2026(01):52-55.

[3] 赵承，范列朋 . 地铁杂散电流对埋地钢质燃气管道影响分析 [J]. 煤气与热力 ,2025,45(11):67-70.

[4] KhanTM. 基于 NRC-TPS 的地铁杂散电流治理研究 [D]. 北京 : 北京交通大学 ,2025.

[5] 刘凯，常峰，何文涛 . 浅析杂散电流对城市燃气管网的危害及治理办法 [C]// 中国城市燃气协会安全管理工作委员会 .2025 年燃气安全交流研讨会论文集 . 渭南市天然气有限公司 ,2025.

[6] 包文红，李广印，吴少炯 . 天然气管道受交流杂散电流干扰评估及排流防护治理 [J]. 特种设备安全技术 ,2024(03):12-15.