

基于智能体的配电设备状态在线诊断技术应用

王 燕, 王鑫洋*, 王海锋, 崔小磊, 刘佳铭

(国网北京市电力公司亦庄供电公司, 北京 大兴 100176)

摘要: 提出一种以双超声暂态地电压局放监测传感器为核心的配电网设备智慧管理模式, 该模式下, 通过智能体聚合电量与非电量等数据, 实现配电网设备行状态 7×24 h 采集、筛选、计算、研判, 在配电物联网云主站对采样数据进行智能筛选和诊断, 给出辅助处置建议。此模式已在北京经济技术开发区内 12 座配电站室成功应用, 有效提升配电设备状态异常预警能力和日常运维效率, 为配电网精益化管理提供有力支撑。

关键词: 智能体; 配电网; 精益化管理

中图分类号: TM763

DOI: 10.13882/j.cnki.ncdqh.2505A023

CSTR: 32400.14.ncdqh.2505A023

Application of Online Diagnosis Technology of Distribution Equipment Status Based on Intelligent Agent

WANG Yan, WANG Xinyang*, WANG Haifeng, CUI Xiaolei, LIU Jiaming

(State Grid Beijing Electric Power Company, Yizhuang Power Supply Company, Beijing Daxing 100176, China)

Abstract: This paper proposes an intelligent management model for distribution network equipment centered on dual ultrasonic transient ground voltage partial discharge monitoring sensors. By aggregating both electrical and non-electrical data through intelligent agents, the system enables continuous 24/7 data acquisition, filtering, computation, and condition assessment of distribution equipment. Sampled data are transmitted to a cloud-based distribution Internet of Things platform, where intelligent filtering and diagnostics are performed to provide auxiliary decision-making suggestions. The proposed model has been successfully implemented in 12 distribution substations within the Beijing Economic-Technological Development Area, significantly enhancing the early warning capability for equipment anomalies and improving the efficiency of routine operation and maintenance.

Keywords: intelligent agent; distribution network; lean management

随着新型电力系统建设持续深入, 配电网已步入一场前所未有的革新, 通过以配电智能物联体系建设作为着力点, 开展以智能体为核心的配电站室状态监测与智慧管理创新, 促进配电网运维业务转型升级^[1-2]。

本文提出一种基于智能体的配电设备状态在线诊断方法, 该方法以双超声暂态地电压局放监测传感器为核心, 打通配电物联网云平台与边缘传感器传输链路, 实现配电开关柜运行状态 7×24 h 在线监测, 构建智能体人工智能边缘计算算法, 通过对采样数据进行智能筛选和诊断, 给出辅助处置建议, 提升配电设备缺陷诊断与处置效率。

1 基于智能体的配电设备状态在线诊断体系构建

国网北京亦庄供电公司共选取 12 个重点配电站室开展基于智能体的配电设备状态在线诊断技术应用。

收稿日期: 2025-05-17

用, 共部署 103 台双超声暂态地电压局放监测传感器及温湿度传感器、12 台配套节点设备, 对站室内部的配电环网柜局放信号及站室环境温湿度开展在线监测, 见表 1。监测数据基于 Lora 物联网无线通信协议将采样数据送达节点设备, 节点设备将汇聚后的采样数据通过有线方式或无线通信方式上送至配电物联网云平台。

自设备安装以来, 12 座试点站室局放超声波及暂态地电压在线监测传感器在示范应用期间持续保持稳定运行, 全部站室开关柜设备及智能体系统软硬件均运行状态完好, 各站室监测情况明细见表 2。

通过在配电物联网云平台开发智能体应用模块, 实时获取站端上报的采样数据, 并开展智能诊断、预警及辅助决策, 在界面上展示采样数据详情、智能诊断结果, 执行人工审核等, 支持对局放监测数据的手动趋势分析及横向对比分析^[3-4]。

根据配电物联网云平台的智能体模块功能, 设

表1 智能体应用配电站点明细

站室名称	站室投运日期	传感器数量	本地通信方式	现场实施日期
瑞海园二里5#小区配电室	2012-10-08	7	Lora	2024-05-15
瑞海园二里开闭站	2012-09-28	24	Lora	2024-05-21
瑞海园六里3#小区配电室	2012-10-25	6	Lora	2024-08-30
鹿海园五里2#小区配电室	2012-06-20	6	Lora	2024-08-30
观海苑1#小区配电室	2014-12-10	8	Lora	2024-09-03
和裕广场1#小区配电室	2013-09-13	8	Lora	2024-09-03
东晶国际小区配电室	2019-12-30	6	Lora	2024-09-03
国融大厦小区配电室	2008-02-22	10	Lora	2024-09-05
开泰东里7号小区配电室	2010-12-20	6	Lora	2024-09-05
文澜苑2#小区配电室	2022-11-04	8	Lora	2024-09-05
小康家园2#小区配电室	2016-09-12	8	Lora	2024-09-10
八代线宿舍4号配电室	2013-09-25	6	Lora	2024-09-10

备管理人员可通过该模块便捷查看示范站室地理分布、站室及开关柜两级局放监测统计信息及历史趋势、站室温湿度分布、厂家型号及投运时长统计以及传感器在线情况，掌握运行全貌。

通过对站室开关柜的诊断结果进行详情查看，可查询到诊断数据范围、综合诊断结论、预警等级、建议处置措施等内容，并详细查看 AI 相位波形图谱分类识别结果、机理特征诊断结果、局放—湿度相关性诊断结果、暂态地电压分析结果、局放—投运时长相关性分析结果，局放—家族缺陷分析结果，全方位多角度对局放智能诊断结果进行分析^[5-7]。

点击某个采样数据图谱图片或机理诊断结果页面，弹窗可显示本次诊断的某个采样的详细数据及分析结果。

此外，智能体模型具备学习演进功能，通过人工与智能体的互动，人工可对智能体诊断结论或辅助处置建议存在的问题进行评价，帮助智能体模型更加精准。见图 1。

根据工作需要，设备管理人员通过全局—站室—开关柜三级页面逐层深入开展监测数据分析。下面具体阐述三级页面的功能设计，从首页点击某个站室，设备管理人员可进入站室页面查看平面图，

表2 应用智能体的配电站点概览

站室名称	运行开始日期	运行天数 (至2024年12月2日)	局放传感器数量	监测周期/h	有无局放
瑞海园二里5#小区配电室	2024-05-15	201	7	2	无
瑞海园二里开闭站	2024-05-21	196	24	2	无
瑞海园六里3#小区配电室	2024-08-30	95	5	2	无
鹿海园五里2#小区配电室	2024-08-30	95	5	2	无
观海苑1#小区配电室	2024-09-03	92	7	2	无
和裕广场1#小区配电室	2024-09-03	92	7	2	无
东晶国际小区配电室	2024-09-03	92	5	2	无
国融大厦小区配电室	2024-09-05	90	9	2	无
开泰东里7号小区配电室	2024-09-05	90	5	2	无
文澜苑2#小区配电室	2024-09-05	90	7	2	无
小康家园2#小区配电室	2024-09-10	85	7	2	无
八代线宿舍4号配电室	2024-09-10	85	5	2	无

直观了解开关柜分布及监测诊断状态。

设备管理人员可点击某个开关柜，进入开关柜分析页面查看监测数据，支持单开关柜信号纵向趋势分析，及多开关柜信号横向对比分析。

设备管理人员可点击趋势图或图谱图片，弹窗详细查看某一次采样的数据，显示内外向超声波 PRPD 图谱、内向图谱 AI 诊断结果、PRPS 图谱、飞行图谱、采样数值、单采样机理诊断结果^[8-9]。

2 基于智能体的配电设备状态在线诊断数据分析

自智能体设备投运以来，12 个配电站室局放监测均未发现实际局放隐患，超声波及暂态地电压信号采样均为正常范围。针对 12 个站室下各个开关柜历史监测数据综合统计分析，有以下结论：

12 个示范站室超声波柜内信号峰值普遍低于 8 dB，采样数据总体处于正常范围；仅小康家园 2# 小区配电室 211 开关柜最大曾达到 9.9 dB，且经分



图1 设备管理人员与智能体交互

析后判定为外部干扰导致。

12 个示范站室暂态地电压峰值均小于 20 dB，数值范围正常；与背景噪声差异均小于 10 dB，差异不大。

由于站室环境的复杂性，12 个站室中共有 8 个站室存在干扰。

具体统计数据见表 3。

下面对典型数据进行分析，国网北京亦庄供电公司 12 个示范站室绝大部分采样为无局放无干扰采样，判定的主要依据为：

1) 柜内（内向）超声波信号峰值普遍为 -10.0 dB，局放脉冲次数为 0；2) 柜外（外向）超声波信号峰值普遍为 -10.0 dB，局放脉冲次数为 0；3) PRPD 波形图谱及 PRPS 图谱均显示为空，AI 图谱诊断结论为无局放；4) 局放机理特征诊断结论为无局放。

对此类情况，继续采取例行监测处理。

国网北京亦庄供电公司有 8 个站室内有少量无局放有外部干扰采样，其主要特征为：1) 柜内（内向）超声波信号峰值信号与干扰信号强度有关，局放脉冲次数>0；2) 柜外（外向）超声波信号峰值信号>-10 dB，局放脉冲次数>0；3) PRPD 波形图谱及 PRPS 图谱均有实际内容，AI 图谱诊断结论为无局放；4) 柜内柜外 PRPD/PRPS 图谱存在较大相

似性；5) 局放机理特征诊断结论为无局放。

此类情况由智能体自动诊断排除，可继续采取例行监测处理。如图 2 所示，小康家园 2#小区配电室的 211 开关柜存在偶发外部干扰，导致内向超声

表3 基于智能体的配电设备状态监测明细

站室名称	超声波监测 最大值/dB		暂态地电 压最大值 /dB		是否 出现 干扰
	柜内 信号 峰值	柜外 信号 峰值	信号 峰值	背景 值	
瑞海园二里5#小区配电室	4.7	5.0	13.8	4.7	无是
瑞海园二里开闭站	-2.9	-3.2	13.6	5.9	无是
瑞海园六里3#小区配电室	-10.0	3.6	4.5	2.1	无是
鹿海园五里2#小区配电室	-10.0	-10.0	12.1	6.8	无否
观海苑1#小区配电室	-10.0	-10.0	9.9	8.5	无否
和裕广场1#小区配电室	-4.9	-6.9	10.0	8.2	无是
东晶国际小区配电室	-10.0	-10.0	13.3	6.9	无否
国融大厦小区配电室	-10.0	-7.8	13.1	8.1	无是
开泰东里7号小区配电室	4.9	-10.0	3.6	3.2	无否
文澜苑2#小区配电室	-2.1	-2.5	7.6	1.1	无是
小康家园2#小区配电室	9.9	12.6	8.8	8.1	无是
八代线宿舍4号配电室	-3.8	2.0	13.9	6.3	无是

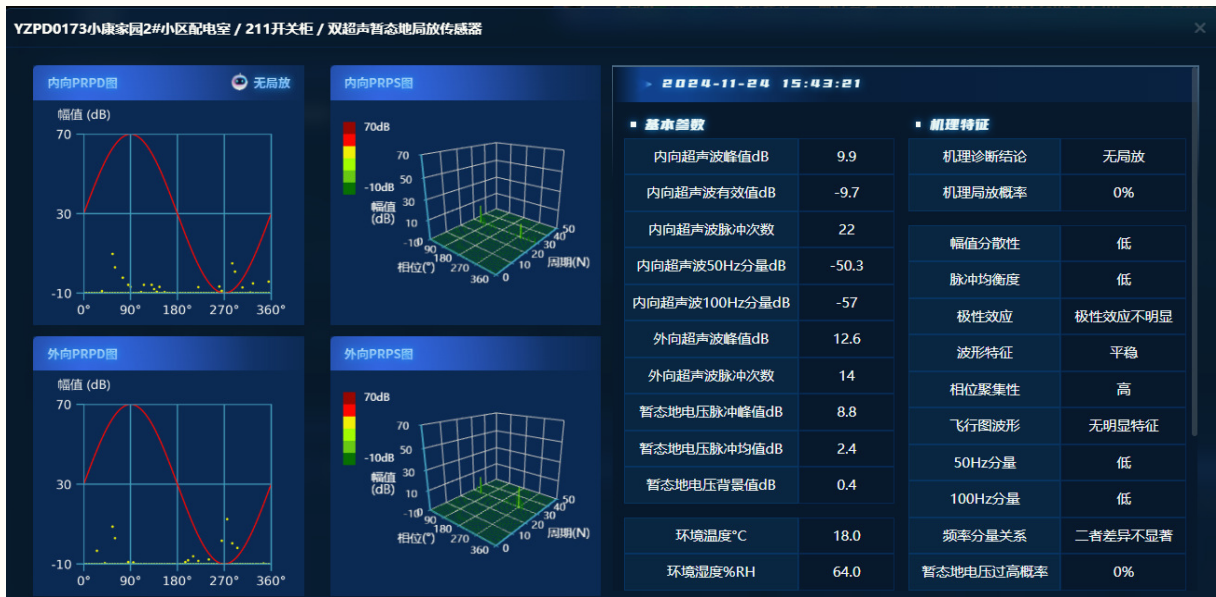


图2 小康家园2#小区配电室的211开关柜监测情况

波峰值达到 9.9 dB，超过 8 dB 正常范围；外向超声波峰值 12.6 dB，且二者 PRPD 波形相似度极高，可判定为外部干扰。另外，AI 图谱分类识别和机理特征分析均判断为无局放。

如图 3 所示，瑞海园二里开闭站 226 开关柜存在外部干扰（经现场复核为风机开启导致），但信号强度很低，内向峰值为 0.2 dB；外向超声波峰值 -0.8 dB，且二者 PRPD 波形相似度极高，可判定为外部干扰。另外，AI 图谱分类识别和机理特征分析

均判断为无局放。

国网北京亦庄供电公司有极少量站室采样为无局放有内部干扰采样，通常为柜内信号随机波动或外部干扰信号通过柜面缝隙进入柜内，再经柜内反射采集得到，其主要特征为：1) 柜内（内向）超声波信号峰值普遍在 -10.0 ~ 0 dB 之间，局放脉冲次数 < 100；2) 柜外（外向）超声波信号峰值普遍为 -10.0 dB，局放脉冲次数为 0；3) PRPD 波形图谱及 PRPS 图谱有少量采样点，AI 图谱诊断结论为无



图3 瑞海园二里开闭站 226 开关柜监测情况

局放；4) 局放机理特征诊断结论为无局放。

对此类情况，继续采取例行监测处理。如八代线宿舍 4 号配电室的 202 开关柜内向超声波峰值为-6.8 dB，脉冲次数 11 次；外向超声波峰值为-10.0 dB，脉冲次数为 0 次，因此不是外部干扰，怀疑为柜内轻微信号波动。AI 图谱分类识别和机理特征分析均判断为无局放。

3 应用效果分析

在智能体应用之前，国网北京亦庄供电公司对 12 个站室执行周期性带电检测，由一次检修班组携带 EA 仪表到站室现场开展超声波及暂态地电压信号检测，并记录检测结果，如发现存在疑似局放，则组织多次现场复测，根据多次复测结果判断是否为局放隐患，如果是则开展隐患处置。

由于设备管理人员有限，且承担开闭站、配电室、电缆线路、架空线路的一次检修工作，难以做到对每个配电站室的高频次现场局放检测工作，因此对 12 个站室中的瑞海园二里开闭站开展每月周期性带电检测工作，对其他 11 个配电室开展每季度周期性带电检测工作。该工作方式一定程度上满足了对站室设备局放状态检测的需要，但也存在两方面局限：1) 受单次检测的偶发性因素（如外部干扰）和检测人员操作方式、知识经验影响，检测信号及人工诊断结论准确性不足，导致局放漏报、误报的风险大；2) 受周期性带电检测的时间滞后性影响，无法及时发现设备隐患，设备隐患的最长发现时延可达到 3 个月，对配电网安全运行带来不利影响。

开展配电站室智能体示范应用后，12 个示范站室可通过双超声暂态地局放监测传感器每日实时监测局放信号，并自动排除外部干扰，通过多采样数据的智能诊断，给出精准可靠的分析结论，并结合预警等级给出辅助处置建议。一次检修班组可随时远程查看站室最新监测状态和诊断结果，站室局放监测与早期预警能力得到显著提升。

示范前后局放监测与诊断方式变化详情见表 4。

在国网北京亦庄供电公司 2024 年迎峰度夏、迎峰度冬工作中，示范站室依托局放在线监测与智能诊断预警手段，安全高效保障了站室设备的安全稳定运行。运维团队可及时准确掌握 12 个站室的设备

表4 示范前后局放监测与诊断方式变化详情

对比维度	示范前	示范后
局放监测方式	周期性带电检测	实时在线监测
局放监测信号	无法区分干扰信号	自动排除外部干扰
局放诊断方式	人工诊断	智能诊断
局放诊断采样条数	单次人工采样和诊断，存在偶发性误差	1次诊断基于14次自动采样数据综合判决，减少偶发性误差
局放诊断数据范围	仅依靠现场仪表采样数据，包括超声波、暂态地电压数据	结合监测采样、环境温湿度、投运时长、家族缺陷等数据，同时包括实时和历史数据
局放诊断方法	现场检测班组人工经验判断，受个人能力经验局限难以保证判断准确	结合超声波相位图谱神经网络识别、超声波局放机理特征模型分析、局放-湿度相关性影响模型分析、局放-投运时长模型分析、局放-家族缺陷模型分析、暂态地电压局放机理特征分析等6种分析模型进行综合诊断预警；模型可通过检测团队二次标注进行学习演进，发挥大数据作用和团队力量

局放状态，相比传统周期性检测方式显著提升了站室运行安全的可控性。

12 个站室在采用局放在线监测及智能诊断技术后，可实时跟踪各站室设备状态信号，周期性带电检测作业不再成为必须任务；考虑到传感器信号存在小概率的失真风险，还是需要定期做现场带电检测并对传感器信号可靠性做人工校核，但周期可适度延长^[10]。

国网北京亦庄供电公司对 12 个示范站室进行了现场带电检测作业周期的调整，实际调整情况如表 5（统计时间自示范站室部署完成至 2024 年 12 月底），将开闭站现场带电检测周期从 1 个月调整为 2 个月，配电室现场带电检测周期从 3 个月调整为 6 个月。自 2024 年 5 月、9 月两批次部署后至 2024 年 12 月，已累计减少现场带电检测 15 次，工作量减少 48.4%。

综上所述，智能体在配电设备运维工作中发挥了良好效果。一是有效提升环网柜局放早期预警能力。自智能体部署以来，通过在线监测诊断出 1 个

表5 应用智能体前后工作量对比

站室名称	部署时间	传统现场带电检测周/月	新调整检测周/月	原计划现场带电检测次数	实际现场带电检测次数	减少现场带电检测次数
瑞海园二里5#小区配电室	2024-05	3	6	3	2	1
瑞海园二里开闭站	2024-05	1	2	8	4	4
瑞海园六里3#小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
鹿海园五里2#小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
观海苑1#小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
和裕广场1#小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
东晶国际小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
国融大厦小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
开泰东里7号小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
文澜苑2#小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
小康家园2#小区配电室	2024-09	3	6	2	1	1
八代线宿舍4号配电室	2024-09	3	6	2	1	1

配电站室存在疑似局放现象，现已纳入重点关注。二是显著降低运检人员工作压力。12个部署智能体的配电站室人工带电检测工作量可降低40%以上。三是助力人才队伍培养。通过局放数据积累及诊断分析结果共享，对专业人员学习成长形成有效促进。

参考文献

[1] 莫娟,严璋,李华,等.基于多种智能方法的变压器故障综合诊断模型[J].电力系统自动化,2005,29(18):5.
[2] 冯晓群,张鹏程.基于移动互联应用的配电网工程智能化管控体系实践[J].农村电气化,2020(12):000.
[3] 曹旻.基于组件的分布式软件动态配置模型的研究[M].上海大学,2005.
[4] 侯文静.基于边缘计算的高效资源管理研究[D].电子科技大学,2023.
[5] 袁靖,梁浩,李亚超.配电室智能化和数据化监测监管系统的开发应用[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2024

(3):000.

[6] 惠俊鹏,汪韧,郭继峰.基于强化学习的禁飞区绕飞智能制导技术[J].航空学报,2023,44(11):327416-327416.
[7] 毕聪博,唐聿劼,罗永红,等.电力系统优化控制中强化学习方法应用及挑战[J].中国电机工程学报,2024,44(1):1-21.
[8] 王靖,张人元.基于智慧物联体系建设的配电网数据智能管理与应用[J].工程与建设,2022,36(6):1863-1865.
[9] 王琳.智能电网的配电运维一体化体系研究[J].电气技术与经济,2024(8):254-256.
[10] 罗平东.基于物联网与智慧电网融合的配电物联网体系架构研究与应用[J].电力系统装备,2023(7):17-19.

作者简介

王燕(1975—),女,研究生,高级工程师,从事系统规划与政策研究、工程管理、生产管理、党建管理等工作,E-mail:swallow7542@163.com.

王鑫洋(1996—)男,研究生,助理工程师,从事配电设备运检工作,E-mail:inyang6991@163.com.

(责任编辑:袁航)

资讯

国内首次基于“5G + 量子”虚拟电厂调度车网互动在合肥规模化实测

2025年5月30日,国内首次基于“5G + 量子”虚拟电厂精准调度的车网互动规模化实测在合肥举行。

此次实测活动以合肥市政务中心国家级车网互动规模化应用试点项目为中心,覆盖社会运营场站、公交场站、公共机构场站、企业专用场站4大场景,5个重点示范站点。其中合肥市政务中心这座集“光储充换 + 车网互动”功能为一体的充电站于2025年3月正式投运,这也是合肥市新型电力系统建设重点示范项目之一。目前,该站点配备了V2G双向充放电桩27台,V2G充电枪32只,支持最大放电功率2360kW。此外,在合肥公交张洼停保场,2台公交车也加入了反向放电测试活动中,单车最大放电量超200kW·h,进一步验证了公共交通领域车网互动的可行性。

值得注意的是,此次车网互动实测活动的成功开展离不开国内首个“5G + 量子”虚拟电厂这个“智慧大脑”的精准调度。该系统通过构建分布式资源电网数字化调度平台,整合了包括汽车充换电站、储能电站、分布式光伏等各种分散的能源资源,形成可灵活调度的“云端电厂”。

信息来源:北极星输配电网