

高压变电站接地网腐蚀状态的多参数联合诊断方法

靳学明

河南安平安全技术服务有限公司 河南郑州

【摘要】高压变电站接地网在长期运行中易受到土壤环境、电化学反应及运行工况等多重因素影响而发生腐蚀，直接威胁系统安全与可靠性。单一参数难以全面反映腐蚀特征，因而提出一种基于多参数联合的诊断方法。该方法通过电气特性、化学指标与结构状态的综合分析，建立多维度信息融合模型，实现对接地网腐蚀状态的定量评估与趋势识别。结果表明，多参数联合诊断能有效提升腐蚀识别的准确性与稳定性，为接地网运维决策提供科学依据。

【关键词】高压变电站；接地网；腐蚀诊断；多参数联合；信息融合

【收稿日期】2025 年 8 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 18 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250225

A multi-parameter joint diagnosis method for corrosion state of grounding network in high voltage substation

Xueming Jin

Henan Anping Safety Technology Service Co., Ltd., Zhengzhou, Henan

【Abstract】 Over time, grounding grids in high-voltage substations are susceptible to corrosion caused by multiple factors including soil conditions, electrochemical reactions, and operational stresses, which directly threaten system safety and reliability. Since single-parameter analysis cannot comprehensively reflect corrosion characteristics, this study proposes a multi-parameter integrated diagnostic method. By conducting comprehensive evaluations of electrical properties, chemical indicators, and structural status, the proposed approach establishes a multidimensional information fusion model to enable quantitative assessment and trend identification of grounding grid corrosion. Results demonstrate that this integrated diagnostic method significantly enhances the accuracy and stability of corrosion detection, providing scientific support for operational decision-making in grounding grid maintenance.

【Keywords】 High-voltage substation; Grounding grid; Corrosion diagnosis; Multi-parameter integration; Information fusion

引言

高压变电站的接地网是保障设备与人身安全的重要环节，其完整性直接影响系统运行的稳定性。随着运行年限增加，接地体常因电化学作用、环境因素以及负荷波动引发腐蚀，导致导电性能下降和结构隐患。传统检测手段多依赖单一指标，难以揭示腐蚀的复杂机理与演化规律。为突破这一局限，研究趋向于整合多源信息，利用不同参数间的关联特征开展综合诊断。该思路不仅能够提高腐蚀状态评估的精度，还能在隐患早期提供预警依据，为运行维护策略提供更具前瞻性的支撑。

1 高压变电站接地网腐蚀问题的复杂性分析

高压变电站接地网作为保障系统运行安全与电气设备可靠性的重要基础设施，其腐蚀问题具有高度复杂性。接地体长期埋设于土壤环境中，受湿度、温度、酸碱度及土壤电阻率等多种环境因素影响，极易发生电化学腐蚀反应^[1]。电流长期流经接地体时，会在金属与土壤界面形成电极电位差，加速局部腐蚀点的产生。土壤中氯离子、硫酸根等腐蚀性离子的迁移与聚集，使腐蚀表现出区域性与非均匀性，进而导致接地网导电性能下降和接触电阻增加。这种隐性劣化过程往往难以通过常规单一参数监测

准确识别,增加了运行风险。

腐蚀的复杂性不仅来源于外部环境,还与电气运行条件密切相关。大电流冲击、短路故障以及雷电流入地都会改变接地网的电位分布,局部电流密度的突增可能诱发严重的电化学反应,加速腐蚀速率。长期负荷波动会造成金属材料的疲劳效应,与腐蚀耦合作用叠加,使接地体的力学强度逐渐衰减。在这种多重耦合作用下,接地网呈现出电气、物理和化学多因素共同作用的退化特征,腐蚀的演化规律具有非线性和不确定性。这种状态下的诊断若缺乏多维度信息支撑,往往会出现误判或漏判,难以满足安全运行的需求。

在实际运行管理中,接地网腐蚀表现出难以直接观测和检测的特点。埋地结构的隐蔽性使得传统依赖外观检查或局部开挖的方式不仅费时费力,还难以形成全面准确的评估。加之接地网通常覆盖面积大、结构复杂,腐蚀的分布具有不均匀性和随机性,单点检测往往难以代表整体状态^[2]。这种复杂性要求研究者必须从多角度出发,结合电气参数测试、土壤环境监测以及材料劣化分析等手段,才能逐步揭示腐蚀机理和发展趋势。只有在多参数信息融合的基础上,才能对接地网腐蚀状态形成系统性认知,为后续提出更加科学的联合诊断方法奠定坚实的理论与实践基础。

2 接地网腐蚀特征参数的多维度构建

接地网腐蚀状态的精准识别依赖于参数体系的科学构建,而单一指标往往难以全面反映腐蚀演化过程的复杂性。为了实现对接地网健康状态的立体化刻画,需要从电气、化学和物理等多个维度提取特征参数。电气特性方面,工频接地电阻、冲击接地电阻以及接触电位差是最直观的参数,这些指标能够反映接地网整体导电能力和局部电位分布情况^[3]。当腐蚀导致接地体截面积减小或接触不良时,电阻值往往出现异常升高。交流干扰下的电位波动和阻抗频谱特性也能够揭示腐蚀点的存在与发展。通过对电气响应进行多频段分析,可以获取腐蚀状态在不同频域的特征信息,为诊断提供量化依据。

化学维度的参数构建则侧重于外部环境的长期影响。土壤含水率、酸碱度、氧化还原电位以及氯离子和硫酸根离子的浓度对腐蚀行为有直接驱动作用。监测这些环境因子的动态变化,可以预判腐蚀的可能性和速率。土壤电阻率的空间分布与接地电流路径密切相关,区域差异会形成不同的腐蚀敏感区。在金属表面,可以通过极化电阻、腐蚀电位以及电

化学噪声信号等指标评价材料与土壤的界面反应过程。这类参数不仅揭示腐蚀发生的电化学反应机理,还能反映阴极保护等防护措施的有效性。当电化学特性与环境监测数据进行融合时,腐蚀的发展趋势将得到更为全面的解释。

物理层面的参数则强调接地体本身的材料性能与结构状态。由于腐蚀会引发金属截面积减薄和晶格缺陷扩展,力学性能如拉伸强度和屈服极限会逐步下降。在埋地结构中,这种劣化常表现为导体断裂风险增加和连接点接触可靠性下降。通过超声检测、磁记忆测试以及金属损耗率测算,可以间接获取腐蚀对结构完整性的破坏程度。此外,地质雷达等无损探测技术能够反映接地体的埋深变化和缺陷分布情况,为物理状态评估提供依据^[4]。当电气、化学和物理多维度参数共同构建起特征体系后,腐蚀状态便能以定量化和可视化的方式呈现,为后续多参数融合诊断奠定坚实的数据基础。这种体系化的参数构建方式,有助于突破单一指标的局限,提升接地网腐蚀识别的准确性与稳定性。

3 基于多参数融合的接地网腐蚀诊断方法

接地网腐蚀状态的判定若仅依赖单一检测手段,往往难以准确反映埋地结构的真实劣化情况。多参数融合诊断方法的提出正是为了解决这一难题,通过将电气、化学与物理多维信息进行有机结合,形成完整的腐蚀识别体系。电气测试能够揭示导电能力与电位分布的变化,化学参数能够反映土壤环境与电化学反应的驱动力,物理监测则展现材料性能与结构完整性的演化特征^[5]。当这些不同来源的数据被统一纳入诊断框架时,腐蚀状态不再是单一指标的孤立表现,而是多因素共同作用下的动态画像。融合后的结果不仅弥补了单项指标的局限性,还能通过交叉验证提升判断的稳定性。

在具体实现过程中,多参数融合诊断通常依赖数学建模与信息处理技术。通过多元统计分析可以识别不同参数间的相关性与权重分布,进而建立综合评价模型。模糊逻辑、贝叶斯推理以及灰色关联分析等方法被广泛应用于腐蚀诊断中,用于处理不确定性与非线性特征。当电气阻抗谱的变化与土壤氯离子浓度、金属极化电阻等信息共同输入模型时,算法能够输出更加接近真实状态的腐蚀等级。近年来,机器学习与数据融合技术的引入也为诊断方法提供了新路径。通过对大量历史监测数据进行训练,

智能模型能够识别出腐蚀发展的潜在模式,实现对接地网劣化趋势的预测与预警。这种方式使诊断不仅停留在现状判断层面,还能具备一定的前瞻性。

多参数融合诊断方法的优势在于其结果具备更高的科学性和可操作性。在运维实践中,通过融合诊断能够快速锁定潜在腐蚀热点区域,减少大范围开挖检测的成本。模型化的评估结果可以量化腐蚀程度,为检修和加固提供依据。与传统依赖经验或单点数据的方式相比,融合方法在准确性、稳定性和适应性方面均表现突出。特别是在复杂土壤环境和多变电气运行条件下,该方法能够综合考虑各类因素的耦合作用,形成系统化诊断结论^[6]。这种基于多参数信息整合的手段,为高压变电站接地网的安全运行提供了更为坚实的技术保障,也为后续建立长周期监测体系提供了可靠的理论基础和方法支撑。

4 多参数联合诊断在腐蚀评估中的应用价值

多参数联合诊断在接地网腐蚀评估中展现出重要的应用价值。接地体埋设于复杂多变的土壤环境,其腐蚀过程受电化学反应、运行电流及环境因素多重作用,表现出非线性和不确定性^[7]。单一参数往往难以揭示这种复杂机理,而多参数联合诊断能够将电气、化学和物理层面的信息有机结合,形成对腐蚀状态的全面认知。通过对电气阻抗、接触电位差、极化电阻、土壤腐蚀离子浓度以及材料力学强度等数据的综合分析,能够在多维度上刻画腐蚀特征。这种方法不仅使腐蚀的空间分布得到更清晰的呈现,也让劣化趋势在时间维度上得到更准确的捕捉。

在应用层面,多参数联合诊断能够有效提升腐蚀评估的精度与可靠性。对比传统依赖单点测量的方法,该诊断方式能够弥补单一数据来源的不足,通过多源信息融合实现交叉验证,避免误判或漏判。对于覆盖面积大、埋深不一、受环境差异影响显著的高压变电站接地网,联合诊断能够精准识别潜在腐蚀热点区域,显著提高维护资源的利用效率。在长期监测中,多参数数据的积累还可为趋势预测提供支撑,帮助运维人员掌握腐蚀发展速率,科学制定检修与加固计划,降低突发性故障的概率。这种应用价值直接体现在运行安全性的提升与经济成本的控制上。

随着监测技术和数据处理方法的不断发展,多参数联合诊断的价值进一步扩展到运维决策与标准化管理层面。基于大数据与智能算法的融合模型能够

将现场采集的数据转化为直观的腐蚀等级评估结果,为资产管理提供量化依据。运维部门可以依托这些诊断结果建立分级管理制度,对不同腐蚀程度的接地体采取差异化策略,既保证运行可靠性,又避免资源浪费^[8]。多参数联合诊断方法也为防护措施的效果评估提供了客观标准,例如阴极保护与涂层加固的有效性能够通过多维参数的动态变化来量化验证。该方法不仅在腐蚀状态判定中发挥关键作用,更在系统化管理和技术优化中展现出广阔的应用价值。

5 结语

高压变电站接地网的腐蚀诊断是一项涉及电气、化学与物理多维因素的系统性工作,多参数联合方法能够突破单一指标的局限,形成更加全面和精准的评估结果。多源信息的融合不仅揭示了腐蚀的发展规律,还为运维决策和防护措施的科学制定提供了坚实依据。多参数联合诊断方法的应用价值已在安全性、可靠性及经济性层面得到体现,对接地网长期健康运行具有重要意义。

参考文献

- [1] 常红阳,王昕,唐浩哲,等. 基于模态路径层析法的接地网故障区域成像系统研究[J/OL].电瓷避雷器,1-11.
- [2] 张开,王磊. 基于混合多元宇宙优化算法的接地网故障诊断方法[J/OL].电瓷避雷器,1-17.
- [3] 曹原,刘扬淼. 低导电率地质区接地网计算及设计研究[J].机电信息,2025,(16):21-24.
- [4] 寇晓适,商正,马云瑞,等. 新型石墨基柔性防雷接地网金属引下线的腐蚀模拟[J].腐蚀与防护,2025,46(08):53-60.
- [5] 张威,孙善龙. 高压变电站故障限流器可靠性分析[J].电气开关,2025,63(03):113-116.
- [6] 刘鹏,董前程,张军,等. 超高海拔特高压变电站导线间隔棒防晕结构优化设计[J/OL].高电压技术,1-11.
- [7] 何驰,付龙海,何涛. 特高压变电站巡检机器人路径规划方法研究[J/OL].机械设计与制造,1-7.
- [8] 石伟光,王晓玲,刘参参. 高压变电站继电保护抗干扰技术分析[J].电力设备管理,2025,(07):41-43.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS