

电力工程中高压设备故障诊断方法研究

刘志超 臧克新 王 东 张国帅

山东国华时代投资发展有限公司 山东 济南 250000

摘 要：高压设备作为电力系统安全运转的核心载体，运行工况复杂且故障诱因多元，精准开展故障诊断是保障电网稳定运行的关键举措。本文结合高压设备的结构特性与运行机理，系统梳理设备故障的形成机制、分类形式与运行特征，逐层拆解故障诊断完整技术体系，对比各类主流诊断方法的技术特质与适用场景。针对传统诊断技术的固有短板，梳理科学的优化思路，搭建多技术融合的诊断模式，完善高压设备故障诊断技术体系，有效提升电力工程高压设备故障识别的全面性与精准性，助力电力设备运维工作规范化开展。

关键词：高压设备；故障机理；故障特征；诊断技术

引言：新型电力系统建设进程持续推进，电网高压设备覆盖范围不断扩大，设备运行工况更趋复杂多变。长期高压运行、环境侵蚀与负荷波动等多重因素，会持续诱发设备各类故障，直接影响电力输送的稳定性与安全性。传统故障排查方式较为单一，难以适配复杂设备的隐性故障、复合型故障研判需求，设备运维工作存在明显短板。依托故障基础理论搭建系统化诊断技术体系，优化传统诊断方式、创新融合诊断模式，能够切实提升高压设备运维质量，为电力系统安全平稳运行提供坚实技术支撑。

1 高压设备故障基础理论与故障类型分析

1.1 高压设备基本结构与运行原理

电力工程高压设备是电网输电、变电、配电环节的关键载体，整体结构由绝缘部件、导电部件、控制部件与防护部件共同组成。各类结构分工明确，相互配合支撑电力系统高压工况的稳定运转。绝缘部件承担隔离高压电位、阻断异常漏电的作用，是设备安全运行的基础保障^[1]。导电部件负责电能的持续传输与分配，承载系统常规负荷与短时波动负荷。控制部件完成设备启停、工况调节、状态切换等基础操作，约束设备运行区间。防护部件抵御外部环境侵蚀与内部电气扰动，维持整体结构的完整性。高压设备运行依托电磁转换与电能传输的基础规律开展工作，依托固定绝缘标准与电气参数维持稳态运行，适配电网不同工况下的电能输送需求，保障电力网络整体运行的连续性。

1.2 高压设备常见故障成因机理

高压设备长期处在高电压、强电场的复杂工况中，运行环境的特殊性会逐步诱发各类故障问题。设备内部绝缘

材料会随着运行时长出现老化蜕变，绝缘性能逐步衰减，无法持续维持标准隔离效果，进而引发漏电、击穿等问题。外部环境中的温湿度变化、粉尘堆积、酸碱侵蚀等因素，会持续损耗设备表层结构与内部组件，破坏原有运行状态。设备长期承载交变负荷会让内部构件产生疲劳损耗，机械结构出现松动、形变等问题，影响整体运行精度。电气回路长期运行会积累电磁损耗，出现参数偏移、性能衰减等现象。多重因素的持续作用，会逐步打破设备稳态运行条件，催生各类故障问题的发生。

1.3 高压设备故障典型分类方式

高压设备故障可依据不同维度形成系统化分类体系。按照故障发生位置划分，可分为绝缘类故障、导电类故障、机械结构故障与控制回路故障，对应设备不同结构板块的异常问题。按照故障发展节奏划分，可分为渐进性故障与突发性故障，渐进性故障由长期损耗积累形成，发展过程较为缓慢，突发性故障多由瞬时工况异常引发，发作速度较快。按照故障影响范围划分，可分为局部故障与系统性故障，局部故障仅影响单台设备单一功能，系统性故障会干扰整套设备乃至片区电网的运行状态。规范的分类方式可以梳理故障发生规律，为诊断工作提供清晰的研判依据。

1.4 高压设备故障运行影响特性

高压设备出现异常工况后，会呈现出差异化的运行变化特征，这些特征可以作为故障识别的重要依据。多数故障会引发设备电气参数的异常波动，电压、电流、阻抗等指标偏离常规运行区间。结构类故障会改变设备机械运行状态，造成动作卡顿、结构偏移等现象。绝缘类故障会产生微弱放电、温度升高等隐性变化，前期

外在表现并不明显。各类故障会逐步削弱设备运行稳定性,降低电能传输质量,持续发展后会扰乱片区电网的运行秩序,影响电力系统整体运行的安全性与稳定性。掌握故障运行特性,能够提升故障识别的精准度,为后续诊断工作提供基础支撑。

2 高压设备故障诊断基础技术体系

2.1 高压设备状态信息采集技术

高压设备故障诊断工作依托详实的设备状态数据开展,信息采集是整套诊断工作的前置环节。状态信息采集技术针对高压设备运行过程中的电气参数、物理状态、环境参数开展全方位收录,覆盖设备日常运行的各类基础状态数据^[2]。技术应用依托各类传感装置与采集终端完成数据收录,捕捉设备运行过程中的电压波动、电流变化、温度浮动等基础电气信息,收录设备机械动作、结构形变等物理状态信息。科学的采集方式可以保障原始数据的完整度与真实性,规避数据缺失、收录偏差等问题,为后续的数据处理与故障研判提供扎实的原始数据支撑,筑牢故障诊断工作的前期基础。

2.2 设备运行信号预处理技术

现场采集的原始运行信号包含大量冗余内容与干扰信息,无法直接用于故障分析研判。信号预处理技术针对原始数据开展精细化处理,剔除采集过程中混入的无效干扰数据,规整杂乱无序的原始信号。该技术能够修正采集偏差带来的异常数据,筛除环境干扰造成的虚假信号,规整不同维度、不同频次的零散数据。经过预处理的运行信号可以保持稳定的数据形态,统一数据标准与格式,弱化外界因素对数据真实性的干扰。规整后的信号数据能够适配后续特征提取与分析工作的开展要求,提升整套故障诊断流程的有序性。

2.3 故障特征信息提取机制

规整后的设备运行数据包含海量常规运行信息,故障相关的有效特征信息需要通过专项机制挖掘梳理。故障特征提取机制依托数据规律分析方式,从繁杂的运行数据中筛选能够体现设备异常状态的关键信息。该机制可以深度梳理数据变化规律,捕捉常规运行状态下不易察觉的细微数据偏移,区分正常运行波动与故障异常变化。通过对电气信号、状态参数的深度拆解,提炼出对应不同设备异常状态的专属特征,完成故障特征的精准归类与整理。有效提取的故障特征,是区分故障类型、判断异常程度的核心依据。

2.4 故障诊断技术适用逻辑分析

不同类型的故障诊断技术拥有各自的应用特点与适

用场景,明确技术适用逻辑可以提升诊断工作的科学性。各类诊断技术依托不同的分析原理与数据维度开展工作,适配的设备类型、故障场景存在明显区别。技术适用逻辑围绕设备运行工况、故障表现形式、数据采集条件展开梳理,匹配对应场景下适配的诊断技术模式。结合高压设备的运行特性与故障发展规律,区分不同诊断技术的应用优势与适用范围,规避技术错配带来的研判偏差。清晰的适用逻辑能够规范诊断工作流程,让诊断技术的应用更具针对性,保障故障研判工作的稳定推进。

3 高压设备主流故障诊断方法梳理

3.1 基于信号分析的故障诊断方法

信号分析是高压设备故障诊断领域较为基础的技术手段,核心依托设备运行过程中产生的各类动态信号完成异常判别。高压设备工况变动、部件异常都会引发声学、电学、温度等信号的细微波动,这类信号变化可以直观反映设备的运行状态^[3]。这类诊断方法通过对采集的原始信号做深度拆解与分层解析,挖掘信号内部潜藏的异常变化规律,区分设备正常工况波动与故障引发的信号偏移。技术实施依托基础信号处理逻辑开展工作,无需复杂的运算模型,整体操作流程简洁,对设备运行数据的适配性较强,多用于高压设备常规性异常筛查与基础故障判别工作。

3.2 基于特征参数的故障诊断方法

特征参数诊断方法以高压设备稳态运行参数为判别核心,依托标准化参数体系完成故障筛查与类型区分。高压设备在健康运行状态下,各类电气与物理参数会稳定固定在标准区间内,参数数值的偏移能够直观体现设备运行隐患。该方法通过比对设备实时运行参数与标准参数阈值,梳理参数偏离幅度与变化趋势,以此判定设备是否存在异常状态。工作人员可以结合不同参数的变化特点,对应定位设备内部结构、绝缘状态、电气回路的异常问题。整体诊断逻辑清晰直观,判别依据明确,适合用于高压设备典型、显性故障的筛查工作。

3.3 基于智能算法的故障诊断方法

智能算法诊断方法依托现代化数据运算逻辑,适配复杂高压工况下的故障研判需求。传统诊断方式难以捕捉设备运行中的隐性、非线性故障问题,智能算法可以依托自主运算、规律学习的能力,处理维度繁杂、变化无序的设备运行数据。该类方法能够自主梳理海量运行数据的内在规律,挖掘常规分析手段难以识别的细微故障特征,对复杂工况下的隐蔽性故障、复合型故障完成精准判别。算法可以依托不断更新的运行数据完善判别

逻辑,逐步提升故障识别的精准程度,适配现代高压电网复杂化、精细化的故障诊断需求。

3.4 各类诊断方法适用场景与技术特质

不同故障诊断方法依托差异化的技术原理,形成独有的技术特质与应用范围。信号分析类方法操作门槛低,数据依赖性较弱,适合应用于设备日常巡检、简易异常排查等常规场景。特征参数类方法判别标准清晰,结果稳定性强,多用于设备常规故障定型、运行状态核验等工作场景。智能算法类方法数据处理能力更强,适配复杂工况与隐蔽性故障研判,适合高精度、高难度的故障分析场景。对各类诊断方法的技术特质与适用场景进行梳理,能够为不同高压设备、不同工况环境匹配合理的诊断方式,提升整体故障诊断工作的精准度与专业性。

4 高压设备故障诊断方法优化与发展趋势

4.1 传统故障诊断方法存在的技术局限

传统故障诊断技术长期应用于高压设备运维场景,技术体系相对成熟,适配基础的设备状态排查工作^[4]。电力系统高压设备运行工况逐步趋于复杂,传统诊断模式的短板逐步显现。常规信号分析手段只能识别幅度较为明显的信号异常,对设备初期潜伏性故障的识别力度不足。特征参数诊断方式依赖固定参数阈值判定状态,难以应对工况动态波动带来的参数浮动,对复杂复合型故障的分辨能力较弱。整体技术模式对人工研判的依赖程度较高,数据分析深度有限,很难适配现代高压设备精细化、常态化的故障筛查需求。

4.2 高压设备故障诊断方法优化思路

针对传统诊断技术的各类短板,行业可结合高压设备运行特性与故障规律制定针对性优化思路。技术升级可以从数据处理环节入手,深化原始运行信号的精细处理能力,挖掘浅层数据中隐藏的故障信息。优化工作可以升级故障特征提取模式,丰富特征维度,打破单一参数、单一信号的研判局限。结合不同诊断技术的优势特点,补齐单一技术独立应用的短板,提升故障识别的全面性。弱化人工经验对诊断结果的干预程度,依托标准化、精细化的分析逻辑,提升故障研判的科学性与稳定度。

4.3 多技术融合的故障诊断模式构建

单一诊断技术存在各自的应用短板,多技术融合模式能够整合各类技术的应用优势,完善故障诊断体系。新模式可以将信号分析、参数研判、智能运算的技术逻辑

相互结合,搭建多层级、全方位的故障研判框架。依托信号分析完成基础数据筛查与异常捕捉,借助参数分析完成故障初步定型,利用智能算法完成深度特征挖掘与精准判别。多层级的技术配合可以覆盖显性故障与隐性故障的识别需求,拓宽诊断技术的适用范围。全新的融合模式能够弥补单一技术的识别盲区,提升复杂工况下高压设备故障诊断的综合能力。

4.4 高压设备故障诊断技术未来发展方向

电力网络架构持续升级,高压设备运行场景愈发复杂,故障诊断技术会朝着精细化、智能化、集成化的方向推进。技术发展会持续强化数据挖掘与深度分析能力,提升对潜伏性、微小故障的识别水平。诊断体系会逐步摆脱人工干预,依托自动化数据处理与智能研判逻辑,完成设备状态的自主监测与故障识别。行业发展会持续推进诊断技术与运维体系的深度绑定,搭建常态化、全周期的设备故障管控模式^[5]。整体技术迭代会不断提升高压设备运行保障能力,适配新型电力系统安全稳定运行的发展需求。

结束语

高压设备故障诊断是电力运维工作的重要组成部分,也是保障电网可靠运行的关键环节。文章梳理高压设备故障基础理论与故障特性,归纳各类诊断技术的应用逻辑与技术特质,总结传统诊断方式存在的应用短板。多技术融合的诊断模式能够弥补单一技术的识别盲区,提升复杂工况下的故障研判精度。持续完善诊断技术体系、优化数据处理与特征提取能力,可以持续强化高压设备运维保障水平,推动电力系统运维工作向精细化、规范化、智能化方向稳步升级。

参考文献

- [1] 张华. 基于光纤传感的输电线路故障检测方法 [J]. 电力工程技术,2022,40(3):78-85.
- [2] 王伟. 大数据在电力系统故障诊断中的应用 [J]. 电力与能源,2023,39(1):102-110.
- [3] 陈刚. 先进检测技术在高压输电线路故障诊断中的应用 [J]. 电力科学与工程,2022,38(2):89-96.
- [4] 赵跃. 无人机技术在高压输电线路故障诊断及维修中的应用 [J]. 家电维修,2025,(09):107-109.
- [5] 王刚. 电力输电线路工程中的智能监测与故障诊断技术研究 [J]. 科技资讯,2025,23(02):106-108.