

基于带电检测技术的变电检修方法研究

田 园 王 思

国网宁夏电力有限公司超高压公司 宁夏 银川 750000

摘 要：变电设备长期运行中绝缘老化、接触劣化及局部放电等隐性缺陷持续累积，传统停电检修模式已难以适应电网高可靠性运行要求。本文围绕带电检测技术在变电检修中的应用展开研究，系统梳理红外测温、超声波、超高频及介质损耗等主流检测技术的工作原理与适用范围，剖析当前技术应用中存在的单技术识别盲区、数据处理粗放、检修体系脱节及人员能力不足等突出问题。提出多技术融合检测、数据精细化分析、检修一体化作业等优化思路，并从检测模式构建、数据体系搭建、作业流程完善、人员能力强化及常态化管理机制建立等方面给出具体策略，为变电检修由被动抢修向主动预防转变提供技术参考。

关键词：带电检测技术；变电检修；多技术融合；缺陷识别；状态检修

引言：变电设备在电网运行中承担着电压变换与电能分配的关键职能，设备状态直接关乎供电可靠性与系统安全。设备持续运行过程中，绝缘介质受电场与温度长期作用逐步劣化，电气连接部位因接触电阻增大而持续发热，局部放电侵蚀内部绝缘结构，机械连接件在振动与负荷波动下逐渐松动，各类隐性缺陷不断积累却不易被及时察觉。带电检测技术能够在不停电条件下捕捉设备运行异常信号，为检修决策提供实时数据支撑。深入探究带电检测技术与变电检修工作的融合路径，对于提升设备运维管理水平、保障电网安全稳定运行具有重要的实践价值。

1 变电设备带电检测与检修基础理论

1.1 变电设备常见隐性缺陷类型

变电设备长期处于持续运行状态，绝缘结构会在电场、温度及环境介质的长期作用下逐步发生老化退变，绝缘介质性能逐步下降，形成不易直接察觉的隐性缺陷，逐步弱化设备整体运行可靠性^[1]。各类电气连接部位长期承载负荷电流，接触电阻会随运行时长不断增大，接触面氧化、压紧力度衰减等问题会引发持续发热现象，逐步形成稳定性隐患。设备内部绝缘结构出现破损后，会产生局部电场集中现象，引发局部放电问题，放电现象长期存续会持续侵蚀内部绝缘体系，逐步扩大设备故障范围。设备各类机械连接结构会在设备振动、负荷波动的持续作用下出现松动，构件配合精度逐步下降，产生结构性损伤，干扰变电设备整体运行稳定性。

1.2 主流带电检测技术工作原理

红外测温检测技术依托红外辐射感应原理开展作业，依托专用设备捕捉变电设备表面辐射的红外能量，将辐射信号转化为温度数据，通过温度分布变化判断设

备发热异常区域。超声波局部放电检测技术依托声学信号捕捉机制，收集设备内部缺陷放电过程中产生的超声波信号，通过信号频率与强度变化识别内部异常放电状态。超高频局部放电检测技术针对局部放电产生的超高频电磁波信号进行捕捉分析，利用电磁波传播特性判定设备内部放电缺陷的发生位置与活跃程度。带电绝缘状态检测技术依托带电采集的电气参数变化，分析绝缘介质的损耗特性与绝缘性能变化，实现对设备绝缘健康水平的持续研判。

1.3 带电检修作业基本特征

带电检修作业全程保持电网正常供电状态，无需停运对应线路与设备，能够有效规避停电作业带来的供电波动，具备连续供电的作业属性。变电场地内部设备排布密集，各类电力设备保持持续运行状态，检修作业开展过程中需要兼顾多类设备运行状态，作业覆盖范围广、交叉干扰因素多，大幅提升现场作业难度。变电设备运行过程中会形成复杂的电磁场环境，空间电磁信号交错分布，对检测设备信号采集、作业操作流程形成多重限制，对带电检测与检修作业的精准开展提出更高标准要求。

2 带电检测与变电检修工作现存问题

2.1 带电检测技术应用局限

各类带电检测技术均对应专属的检测原理与适用范围，单独使用各类技术仅能适配固定类型的设备缺陷排查，无法适配多元化、复合型的设备异常场景。变电运行场地内部电磁信号繁杂交错，复杂电磁氛围会干扰检测设备的信号接收与数据识别，造成有效信号失真或衰减，影响检测作业的精准推进^[2]。部分深埋于设备内部的结构性缺陷具备较强隐蔽性，表层检测方式难以穿透设

备本体捕捉内部异常状态,整体识别精准度存在明显不足。设备初期萌生的微弱缺陷所产生的信号幅值较低,常规检测设备与作业模式难以完整捕捉这类细微信号,容易造成初期隐患遗漏,让微小缺陷持续发展为严重设备故障。

2.2 检测数据处理环节短板

现场检测数据采集工作多聚焦常规运行参数与表层状态数据,采集维度较为单一,无法全面覆盖设备运行的各类隐性变化特征,数据整体覆盖范围存在明显局限。数据预处理工作缺少统一的执行标准,现场采集的原始数据混杂大量环境干扰信号,无效数据与杂余数据的筛选剔除工作不够规范,容易留存干扰性数据影响后续分析质量。数据应用环节多停留在基础数值比对层面,针对数据背后隐藏的设备状态变化规律、缺陷发展趋势的深度挖掘工作较为欠缺,数据解析精细度不足以支撑精细化设备状态研判。

2.3 带电检修作业体系缺陷

带电检修作业开展过程缺少系统化的前期统筹规划,作业流程排布较为松散,各环节作业内容衔接缺乏有序安排。检测工作与检修工作分环节独立推进,两类作业的信息交互与流程衔接不够顺畅,容易出现信息断层与作业脱节现象。传统常规检修模式多依托固有经验开展作业,缺少精准的数据支撑,作业开展存在一定盲目性,无法精准匹配设备实际缺陷状态。变电设备类型繁杂、结构差异较大,部分特殊功能设备缺少针对性的专属带电检修方案,作业开展只能套用通用模式,适配性与专业性难以保障。

2.4 现场作业人员能力短板

现场作业人员多单一掌握基础检测或基础检修技能,对多类型带电检测技术的融合应用掌握不够充分,复合技术储备存在明显不足。作业人员对各类设备缺陷的前期特征、演变规律认知不够全面,细微缺陷与复合型缺陷的研判识别水平有限,难以精准界定设备异常严重程度。日常带电检修作业过程中,部分操作环节未能严格贴合标准化流程执行,不规范操作行为频繁出现,会影响检修作业质量,也容易滋生新的设备运行隐患。

3 带电检测与变电检修融合优化思路

3.1 多技术融合检测优化思路

各类带电检测技术依托不同的工作原理完成设备状态勘测,适配的设备类型与缺陷识别范围存在差异化特点,单一技术开展检测作业难以覆盖变电设备的全部缺陷种类,无法满足复杂设备状态的排查需求^[1]。开展多类型带电检测技术互补搭配应用,能够结合各类技术的探

测优势,弥补单一探测模式存在的识别盲区,全面覆盖设备表层温度异常、内部绝缘破损、局部放电活动等多种缺陷问题。变电设备运行过程中产生的缺陷具备不同的发育特征与表现形式,结合设备运行状态与缺陷发育特点匹配对应的检测手段,能够精准对应各类隐患的探测需求,提升缺陷排查工作的针对性与有效度。变电运维现场电磁环境错综复杂,设备布局密集会对检测信号形成多重干扰,需要结合现场实际工况调整检测技术应用模式,优化信号采集参数与设备布设位置,弱化复杂环境带来的探测干扰,保障缺陷排查工作可以稳定有序推进。

3.2 检测数据精细化分析思路

变电设备带电作业会产生多类不同属性的检测数据,改变传统单一化的数据采集与处理模式,对温度参数、放电信号、绝缘性能等多维检测信息开展统一整合归集。系统化的数据归集模式可以搭建内容丰富的设备运行数据库,夯实设备状态研判的数据基础,摆脱单一数据维度带来的分析片面问题。针对海量现场检测原始数据,按照设备缺陷的产生成因、分布位置以及发育程度开展精细化分类梳理,区分电气发热、绝缘劣化、结构异常等不同数据特征体系,清晰划分各类缺陷对应的信号变化规律。通过深度比对各类数据特征与设备正常运行状态的参数差异,精准分辨现场存在的隐患类别,判定缺陷的发展程度与危害等级,挖掘设备运行状态的动态变化趋势,为后续检修方案编制提供可靠的数据支撑。

3.3 检修一体化融合思路

变电传统检修工作多依托运维经验开展排布,整体作业具备较强的主观性,依托精准的带电检测数据统筹整体检修工作安排,能够替换经验主导的作业模式,明确检修重点内容与作业推进顺序,消除检修工作存在的盲目性。不同类型设备缺陷的危害等级与处置要求存在区别,结合现场排查出的缺陷具体类型与发育状态,针对性编制差异化检修处置方案,匹配适配的作业方式与处置标准,让检修工作贴合设备真实运行问题。全面打通现场检测、状态研判、故障检修各作业环节的壁垒,强化各流程之间的信息互通与流程衔接,规避作业脱节与信息断层问题。持续完善各环节工作衔接机制,构建完整的检测研判检修一体化作业链路,实现设备隐患精准识别、状态科学研判、缺陷高效处置的闭环管理模式,稳步提升变电设备带电运维检修的整体质量与专业水平。

4 基于带电检测技术的变电检修优化策略

4.1 构建多技术联合检测作业模式

结合不同变电设备的结构特性与运行工况,搭建区分设备类型、适配作业场景的检测应用体系,依据各类设备常见缺陷发育规律,搭配适配的带电检测技术组合,让检测方式贴合设备实际运行状态。梳理带电检测全流程作业内容,优化现场操作的标准化作业流程,统一设备布设、信号采集、参数调试等关键环节的作业标准,减少人为操作带来的作业偏差^[4]。针对电磁干扰强烈、设备结构繁杂的恶劣工况,调整多技术联用的作业配比与操作方式,优化信号采集路径与探测范围,有效削弱外界环境带来的探测干扰,稳步提升复杂工况下各类隐性缺陷与细微缺陷的识别精准度,保障检测工作的有效性与全面性。

4.2 搭建规范化数据处理工作体系

针对带电检测数据零散杂乱、维度不一的问题,建立统一的数据采集与归集规范,明确各类检测数据的采集范围、录入标准与存储方式,实现多源检测数据的有序汇总与集中管理。搭建完善的干扰数据筛选与校正机制,结合现场环境干扰特征,甄别作业过程中产生的杂余信号与无效数据,对有效数据开展校正处理,保障原始数据的真实有效。细化设备缺陷数据的解析研判标准,结合不同缺陷的数据变化特征,划分缺陷发展等级与危害程度,依托系统化数据解析方式挖掘设备状态变化规律,为后续检修工作开展提供科学的数据支撑。

4.3 完善带电检修标准化作业流程

结合各类变电设备的结构特点与检修需求,细化不同设备带电检修的完整工序,梳理各作业环节的操作重点与管控要求,填补特殊设备检修流程的规范空白。依据检测判定的缺陷等级推行分级靶向检修作业模式,针对轻微隐患、中度缺陷、高危故障匹配不同强度的检修处置方案,避免过度检修或处置不足的问题。在检修作业前后增设备状态复核环节,作业开展前核对设备缺陷具体位置与异常状态,作业完成后核查设备运行参数恢复情况,确保各类缺陷得到彻底处置,有效提升带电检修的作业质量。

4.4 强化作业人员专项能力建设

常态化开展多品类带电检测技术专项培训,覆盖各类主流检测技术原理、设备操作及工况适配知识,扩充

作业人员的专业技术储备。重点培育人员对设备缺陷的识别研判能力与故障处置能力,加深人员对各类缺陷发展特征的认知,提升现场问题处置的专业水准。统一现场带电作业的操作规范,常态化纠正不标准的作业行为,约束现场操作细节,推动带电检测与检修作业的标准化落地,减少人为操作失误引发的作业质量问题与设备运行隐患。

4.5 建立常态化检修运维管理机制

推行周期性的常态化带电检测作业模式,摒弃故障后置的被动运维方式,定时开展设备状态排查,及时捕捉设备早期隐性缺陷^[5]。搭建设备缺陷动态跟踪检修机制,对已发现的缺陷进行持续跟进记录,动态监测缺陷发展变化情况,根据状态演变及时调整检修处置方案。深度串联检测、检修、维护各项工作内容,打通各作业环节的衔接壁垒,构建完整的闭环管理链路,持续补齐变电设备运维管理短板,稳固设备长期运行状态。

结束语

带电检测技术与变电检修工作的深度融合,是提升设备运维管理水平的关键方向。多技术联合检测能够弥补单一手段的识别盲区,精细化数据处理为设备状态研判夯实了基础,检修一体化作业模式则消除了检测与处置之间的信息断层。常态化带电检测配合分级靶向检修,有助于将隐患消除在萌芽阶段。持续完善检测、研判、检修各环节的衔接机制,构建闭环式管理链路,方能稳固变电设备长期运行状态,提升电网整体供电可靠性。

参考文献

- [1]侯兴旺.带电检测技术在变电设备安全运行中的应用研究[J].通信电源技术,2023,40(23):16-18.
- [2]何晓春,李明.变电设备带电检修机器人技术应用分析[J].科技创新与应用,2022,12(8):173-175.
- [3]顾磊,周文磊,付饶,等.变电设备超声波带电检测技术及缺陷识别研究[J].实验室检测,2025,3(19):34-36.
- [4]刘晓波,苗宇,陈志勇,等.变压器带电检测定位及跟踪技术的应用[J].东北电力技术,2022,43(1):56-62.
- [5]魏家鸣.带电检测技术在变电运维中的应用[J].科学与信息化,2023(23):31-33.