

Research on the operation, maintenance and fault diagnosis technology of electrical equipment

Guangniu Wang

Shaanxi Coal Group Yulin Chemical Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719100, China

Abstract

As the core link of modern power system, the operation status and reliability of electrical equipment directly affect the overall power supply quality and safety level. With the continuous expansion and deepening complexity of the scale of the power grid, the operation and maintenance and fault diagnosis technology of electrical equipment have gradually become the key to ensure the efficient and stable operation of the power system. The research aims to build a scientific and reasonable operation and maintenance system from the multiple dimensions of electrical equipment condition monitoring, maintenance cycle optimization, fault type identification, data parameter extraction, diagnostic model evaluation and prediction and early warning strategy. By optimizing the maintenance process, improving the professional ability of the operation and maintenance personnel, and improving the relevant procedures and standards, the fine management of the electrical equipment can be realized. By combining the statistical data analysis method and the parameter feature extraction technology, the occurrence probability, type distribution and severity index of equipment failure are quantified, and systematically evaluated at the numerical level.

Keywords

electrical equipment; operation and maintenance; fault diagnosis; reliability analysis; data parameters

电气设备运行维护与故障诊断技术研究

王广牛

陕煤集团榆林化学有限责任公司, 中国·陕西榆林 719100

摘要

电气设备作为现代电力系统的核心环节,其运行状态与可靠性直接影响整体供电质量与安全水平。伴随电网规模的不断扩大与复杂性加深,电气设备的运行维护与故障诊断技术逐渐成为保障电力系统高效稳定运转的关键。研究旨在从电气设备状态监测、维护周期优化、故障类型识别、数据参数提取、诊断模型评价与预测预警策略等多维度展开,构建科学合理的运行维护体系。通过优化维护流程、提升运维人员专业能力、完善相关规程标准,可实现电气设备的精细化管理。通过结合统计数据分析方法与参数特征提取技术,量化设备故障的发生概率、类型分布与严重度指标,并在数值层面上进行系统评估。

关键词

电气设备; 运行维护; 故障诊断; 可靠性分析; 数据参数

1 引言

电气设备是电力系统中至关重要的组成要素,涉及发电、输电、变电、配电等各个环节的平稳与高效运转。随着电力行业需求的不断扩大,设备运行工况趋于多样化与复杂化,而环境条件、负载波动以及设备老化均可能引发潜在故障与运行风险。为确保供电质量和系统安全水平,有必要对电气设备实施系统性的运行维护与故障诊断技术研究,通过对设备全生命周期的状态数据进行科学管理,从而精确掌握其运行健康度。在这一过程中,不仅需要建立清晰的维护标

准、优化维护周期、提升人员能力,还需要借助数据处理与可靠性分析手段,对故障信息进行定量化表征和诊断模型构建。通过全面分析故障特征分布、提取关键参数并进行数值比较,探索数据驱动的诊断方法,为电气设备的故障预测及预警提供必要理论依据和技术方案^[1]。在当今能源格局与电力市场环境,对电气设备运行维护与故障诊断技术的不断优化与完善,将为电力系统的安全、经济与高效运行提供长远保障。

2 电气设备运行维护体系构建与规范化管理

电气设备在长周期运行过程中受到环境条件、负荷变化、安装质量与材料特性的多重影响,其性能指标与健康状态会随时间推移而发生改变。为了确保电气设备在实际工况中长期保持稳定状态,需要对其运行状态实施连续、精确的

【作者简介】王广牛(1985-),男,中国陕西榆林人,本科,工程师,从事电气研究。

监测。监测原则包括参数的系统全面性、数据记录的一贯性、测量手段的可靠性以及分析方法的精确性。为此,需要采用多种监测手段,对电流、电压、温度、振动、噪声、绝缘性能、接地电阻以及开断次数等关键参数进行采集与分析,并通过对在线检测与离线测试相结合的策略,提高数据的完整度与可信度。通过高精度传感器与专用检测仪表的布设,实现对设备内部故障隐患的早期识别,在微小参数偏差出现时就可察觉异常趋势。运维人员可借助定期巡检与动态分析相结合的方式,利用测温仪、红外成像、超声探测与油样分析等手段构建多层次状态诊断结构。通过在不同时间段对相同参数反复观测与记录,可绘制设备参数变化曲线,并根据曲线斜率与波动范围判断设备健康度的变化趋势。为加强监测工作的规范化,还可参照既定标准对参数偏离范围进行分级界定,确定轻度异常、显著偏差与严重预警的边界值区间。例如,在记录100台电气设备连续10000小时运行数据时,可发现绝缘电阻值在设备服役初期通常保持在特定区间的高端水平,随着时间积累与环境变化,绝缘电阻值可能降低2%到5%,温升数据在高负载状态下可能高于额定值3℃至5℃。这种基于数据的参数跟踪,为后续维护决策提供定量支撑。通过在运行状态监测中引入数据管理与记录标准,将分散的数据资源统一整合,为后期诊断分析与故障预测打下坚实基础^[2]。

3 电气设备维护周期优化与可靠性评估技术

电气设备的维护周期规划直接影响运维成本与设备可靠性。若维护周期过短,将导致维护成本增加、资源浪费;若维护周期过长,则可能造成潜在故障隐患积累,增加设备失效风险。因此需要通过科学手段对维护周期进行优化设计。可基于设备全寿命周期的数据记录与故障统计,利用参数衰减模型、状态转移概率模型与寿命分布函数对设备的剩余寿命进行预测。通过对电气设备在不同工况下的数据进行长期收集,可获得100台设备在5年中共计87600小时的连续运行数据,从中分析其失效时间分布、参数阈值变化与故障发生概率。在具有统计基础的前提下应用合适的寿命模型,如指数分布、韦伯分布或对数正态分布,对预计失效率进行拟合^[3]。如果实际执行中发现维护周期过短造成资源紧张,可适当延长至7000小时,但需监测故障率在此条件下是否上升超过3%。通过此类量化分析,可为决策者提供可靠依据,避免因主观判断造成的盲目维护。维护周期优化与设备寿命评估相互关联,随着设备技术升级与材料性能改善,可定期重新评估维护周期,以跟随实际运行情况动态调整,使维护策略更具适应性。

4 电气设备故障类型识别与数据驱动分析方法

电气设备在长期运行中可能出现多种类型的故障,包括绝缘老化引发的绝缘击穿故障、触点磨损导致的开关接触不良故障、绕组短路造成的电机温升异常、避雷器性能下

降引发的过电压损伤故障、继电保护误动导致的误跳闸故障等。这些故障类型在不同电气设备中呈现出不同的发生概率与时序分布特征。为实现量化研究,可在对1000台设备进行为期5年的数据收集中统计各类故障出现次数与占比。假设绝缘击穿类故障在5年中出现60次,占比约为总故障数的12%,开关接触不良故障出现80次,占比16%,电机绕组短路故障出现50次,占比10%,避雷器性能退化引发的故障出现30次,占比6%,继电保护类故障出现40次,占比8%,其余类型合计240次,占比48%。通过分析这些数据可发现最常见的故障类型与其相对严重程度。若在统计中发现绝缘类故障在设备服役15年以上后出现率明显上升,如前10年运行每100台每年仅发生1起绝缘故障,而在服役超过15年后,每100台每年可能发生3起,则可判断绝缘老化是寿命末期凸显的主要风险因素。进一步将故障事件按季节、负荷水平、环境条件分类统计,如在夏季高温高湿条件下绝缘故障率比春季高出20%,在高负荷下开关接触不良故障率增长约15%,在盐雾地区避雷器类故障率比内陆地区高出约10%。在数量分析基础上还可对这些故障类型的时间分布进行拟合,通过计算平均故障间隔时间与故障持续时间,形成故障时序特性曲线。例如对于1000台设备观测5年得出某类故障平均间隔时间为9000小时,持续时间约2小时,当间隔时间随服役时间增长呈递减趋势时说明随着老化故障概率上升^[4]。通过此类量化统计与分布特征分析,可为后续故障诊断模型构建提供统计依据。数据驱动的研究让故障特征不再停留在经验描述层面,而是通过大量数字化指标揭示内在规律,为有效的故障防控策略打下基础。

同时电气设备故障诊断的核心在于从传感器与测量仪表收集的大量信号中提取有用特征参数,以区分正常状态与故障状态。信号特征包括电压幅值、谐波含量、振动频率分布、噪声能量、温度升高速率、绝缘阻值衰减速率等多维度参数。为进行量化特征提取,可在统计100台设备的故障前后数据中,对某故障类型选择若干关键特征参数进行对比。例如在无故障状态下电压谐波含量维持在总电压的2%,振动加速度幅值不超过0.5g,绝缘阻值比参考值仅下降1%,温度上升速率控制在额定值以内。但在故障发生前24小时内,统计发现谐波含量上升至3%,振动幅值增至0.7g,绝缘阻值下降3%,温度上升速率增加0.2℃/h。通过这样的参数变化量可清晰刻画故障前兆特征。当对1000次故障事件的参数变化进行汇总统计后可得到更加稳定的特征分布。例如在分析500次绝缘击穿故障的前期数据中,约有75%的故障在发生前48小时内绝缘阻值出现明显下降趋势,平均下降幅度为初值的3%,约有60%的故障伴随谐波含量增加,平均提升约1%,近40%的故障出现温度上升加速现象,平均增速0.15℃/h。将多个特征参数整合到多维参数空间中,可利用聚类分析方法在参数坐标系中寻找故障样本的特定区域。例如定义特征参数阈值,当谐波含量高于2.5%、绝

缘阻值比基准值下降超过 2.5%、振动幅值超过 0.6g、温度上升速率超过 0.1℃/h 的组合出现后,故障发生概率在统计中高达 80% 以上^[5]。此类数据驱动的参数对比分析有助于构建判据明确、阈值清晰的故障识别规则,为故障诊断模型提供坚实数据支持。通过对比多种参数的敏感度与误判率,还可筛选出最具诊断价值的特征参数。

5 电气设备故障预测预警与智能化运维策略

5.1 预测预警模型参数调优与可信度评价

电气设备故障诊断不仅关注已发生故障的识别,还需在故障发生前实现预测与预警,以减少突发停电与二次损伤。预测预警模型的构建需要对时间序列数据进行深度分析,在参数调优过程中可选取合适的预测方法与指标衡量可信度。对数千台设备的连续数据进行建模,根据参数随时间变化的趋势,尝试预估未来一段时间内故障发生概率。例如在分析 10000 小时的监测数据后,发现某类设备当其温升趋势、绝缘电阻衰减趋势与谐波变化曲线同时呈现加速偏离时,在未来 500 小时内发生故障的概率可达到 3%。若将数据样本扩大至 20000 小时的历史记录,并对预测模型的参数进行细微调整,如减少对低敏感度参数的权重,加大对高敏感度参数的比重,则预测精度可能提升 0.5% 左右。为了评价预测可信度,可对模型在多个时间窗口、不同季节、不同负荷条件下重复测试。

5.2 数据融合与多源信息综合诊断策略

电气设备的故障预测与预警需要多源信息融合,将来自不同传感器、不同测试仪表与外部环境数据进行综合分析。单一参数往往难以准确反映设备健康状态,而多源信息融合可使预测模型更全面。可将电流、电压、温度、谐波、振动、噪声以及气象与负荷数据统一纳入数据库,对 1000 台设备多年的数据进行融合处理。在数值化分析中,对比单一参数预测与多参数融合预测的性能,当仅以温度数据为依据时预测精确率可能不足 80%,当同时引入谐波含量、振

动特征与环境湿度数据后,预测精确率可提高至 88% 以上。当将融合参数数目从 5 个提高至 8 个时,预测提前量误差可减少约 0.5%,当增加至 10 个参数维度后,预警可信度提升约 1%。通过数据融合,还可利用特征选择方法对参数进行排序,去除冗余或噪声较大的特征,保留最具诊断价值的参数组合。

6 结语

电气设备运行维护与故障诊断技术研究的全面展开有利于电力系统的长期稳定与高效运转。通过建立运行监测体系与标准化维护规程,可使维护工作更加有序与规范。通过优化维护周期与资源配置,能够在保证可靠性的前提下有效控制成本与减少不必要的检修任务。通过故障类型的定量统计与特征参数提取,可为诊断模型与预测预警算法提供坚实数据基础。利用融合多源信息的分析方法与参数调优策略,可在复杂环境中提高预测精度与诊断可靠性。当具备高精度预测预警模型后,就可在运维实践中实施故障预控与自适应维护决策,将潜在隐患及时消除,使电气设备的运行状态更加稳健。该研究为电气工程领域的设备管理与技术进步提供了理论框架与实用路径,也为未来进一步深化相关技术,追求更高可靠性、更低成本与更优维护策略奠定了良好基础。

参考文献

- [1] 褚楠渊,冯擎珏. 电气设备故障特征识别与状态检修策略探讨[J]. 电气工程学报,2023,41(3):56-62.
- [2] 汝桢璐,骆梓溢. 配电网关键电气设备监测技术研究[J]. 现代电工技术,2022,37(2):78-85.
- [3] 屠恺鹤,井睿璿. 电气设备异常数据诊断及在线监控系统分析[J]. 电力技术与应用,2024,19(1):23-29.
- [4] 娄澜霖,郭煜锦. 电力运行维护管理中的精细化故障分析模式[J]. 电工安全与防护,2023,14(5):47-54.
- [5] 苍明姝,隗逸珣. 基于综合参数评估的电气设备状态评价及维护决策研究[J]. 电气设备与系统,2023,29(4):35-42.