

[智能开关]

基于小波算法的配电网开关状态智能感知

文/刘小荷 杜瑞

国网江苏省电力有限公司句容市供电分公司

在现代配电网管理中，准确监测和维护开关状态是保障电网稳定运行的关键。传统的维护方法存在效率低下和准确度不足的问题。为此提出了一种利用小波算法对开关动作信号进行有效提取的方法，并结合改进型EMD算法对信号进行深入分解，旨在提升配电网的运行效率和可靠性。

配电网的稳定性和可靠性是电力系统运行的核心要素。准确的开关状态信息是确保配电网稳定运行的关键。不准确的开关状态信息不仅可能导致故障定位和修复工作的延误，增加停电时长，还可能引起错误的故障分析和不适当的维修决策，增加电网运行的风险。

尽管配电网的自动化和智能化水平不断提升，开关状态的维护方式并未实现同步进步。管理和维护开关置位信息的过程仍然高度依赖人工操作。配电网的广泛覆盖和庞大数量的开关设备，加之频繁的日常维护和检修活动，构成了对开关状态准确维护的挑战。这种依赖人工的维护模式导致了数据更新的滞后与错误，在故障诊断和停电范围分析等关键应用方面产生了不利影响，特别是在配电网规模日益扩大和复杂化的背景下。

为提高配电网运行的效率和可靠性，亟需采用更先进的技术手段实现开关状态的实时监控和自动化更新。本文应用小波算法进行开关动作信号提取，使用改进型EMD算法进行开关动作信号分解，基于现有国网OMS系统，提出一种全新的智能化开关状态核对与置位系统。保证检修开关状态与系统开关状态一致，促进开关置位数据质量提升，极大提升数据的准确性和及时性，有效提高故障处理效

率和电网的整体运行可靠性，对于提升电网的稳定性和安全性具有重要意义。

配电网开关状态智能感知方法

1. 开关动作振动信息采集

在智能变电站配电网的开关状态监测中，使用加速度、速度和位移三种振动传感器来采集隔离开关的机械状态振动信号。这些传感器的应用旨在准确捕获开关操作引发的微小振动，为状态分析和故障预测提供关键数据。为确保采集到的振动信号质量和完整性，依据香农采样定理，合理设定采样频率。该定理指出，有效采样频率应至少为信号最高频率的两倍，以避免欠采样引起的信号失真。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{f_s}{\sqrt{f_{\max}}} \geq 1 \\ \frac{1}{\sqrt{f_{\max}}} \geq |f_{\max} - f_s| \end{array} \right. \quad (1)$$

式中， f_s 是原先信号的振动频率； $f_{\max}$ 是原先信号的振动频率上限。

此外，最大采样间隔应与信号的最高频率成反比，以保证持续、准确地记录开关机械状态的所有关键特征。适当的采样频率和间隔保证后续信号处理和状态诊断的准确性。通过分析振动信号，可以

及时识别开关性能的退化或异常，从而采取维护和修复措施，减少故障风险。

2. 基于小波算法的开关动作信号提取

完成机械状态振动信号采集后，为更精确地获取其机械状态表征信号，对振动信号进行预处理。考虑到机械状态振动信号通常分为稳态和非稳态两种类别，稳态振动信号具有较高的规律性和重复性，视为理想化的标准信号。实际运行中，稳态信号几乎不存，大多数信号为非稳态信号。非稳态信号因其变化无常和不规则性，更多地包含了关于开关机械状态的关键信息，但同时也伴随着较多的噪声。为了有效地提取出有用的机械状态信息，利用小波阈值法进行降噪处理。小波阈值法通过对信号进行小波变换，在变换的系数上应用阈值处理，有效抑制或滤除非稳态信号中的噪声成分。这种方法在保留信号重要特征的同时，减少了数据的冗余和干扰，提高了信号的质量和分析的准确性。

$$x(t) = \frac{s(t)f_s + n(t)}{f_{\max}} \quad (2)$$

式中， $x(t)$ 是原先含有噪声的振动信号； $s(t)$ 是振动信号中的非稳态信号； $n(t)$ 为机械振动中非稳态信号中的噪声。

在去噪过程中，选取适当的门限阈值能够有效平衡信号细节的保留与噪声的抑制。通过小波变换对局部小波系数进行精确重置，在强化信号主要特征时，同时削弱背景噪声。此外，对各层次高频系数的量化处理进一步提高了信号的信噪比，原始信号的基本结构和关键特性得以保留。这些步骤共同作用，确保了机械状态振动信号的高效去噪，为后续的状态分析与故障诊断提供了准确、可靠的数据基础。

$$S_i = \sum_{i=1}^N T \sqrt{\frac{x(t)a}{h_i}} \quad (3)$$

式中， S_i 为去噪后的信号强度，当无限趋近于或等于0时，达成降噪目标； T 为门限阈值； a 为机械振动信号的小波系数； N 为 $x(t)$ 振动信号的层数； h_i 是信号幅值。

3. 基于改进型EMD算法的开关动作信号分解

在对智能变电站隔离开关的降噪机械状态振动信号进行分析时，进行信号分解以提取关键特征。由于降噪后的信号中存在间歇性振荡成分，直接应

用传统的经验模态分解（EMD）方法可能导致波形混叠或生成不真实的信号分量，阻碍了机械状态振动信号完整特征的有效提取。

为解决这一问题，建议在经验模态分解的基础上融入对振动信号瞬时频率的物理意义分析。这种改进的方法能够更准确地反映信号的时频特性，增强信号特征的表征度。通过这种方式，可以有效地提取隔离开关机械状态振动信号的完整特征，确保信号分析的准确性和可靠性。这一策略不仅提升了信号处理的效率，而且为随后的故障诊断和状态评估工作提供了坚实的数据基础。

基于OMS系统开关状态智能运维

在使用基于小波算法与改进型EMD算法实现配电网开关状态智能感知后，通过实施与OMS操作票模块集成。在操作令执行完成后，调度员可基于OMS页面手工或系统自动执行开关置位操作，OMS通过接口方式向开关置位系统发送置位通知，由开关置位系统实现检修开关的置位操作，保证检修开关状态与系统开关状态一致，促进开关置位数据质量提升。

1. 开关置位

在开关置位方面，该智能运维系统可包括开关置位监控、开关置位履历与操作票查询等功能。其中开关置位监控是OMS系统的核心功能之一。该功能通过实时监控配电网中的开关状态，确保系统运行的可靠性和安全性。监控系统能够实时捕捉开关的动作状态，如闭合、断开等，并将这些信息反馈给运维人员。此外，系统还具备异常状态预警功能，能够在开关发生异常操作或状态不符合预设条件时，及时发出警报，以便运维人员迅速响应，确保电网的稳定运行。

开关置位履历是指记录开关在一段时间内的所有操作和状态变化历史。OMS系统通过收集和存储开关的操作数据，包括操作时间、操作人员、操作类型（如手动或自动）和开关状态变化等，形成详细的操作履历。这些履历对于事后分析开关操作的正确性，及时发现操作中的问题，以及进行故障诊断和预防性维护具有重要意义。

操作票查询功能使得运维人员能够快速检索特定开关的操作记录。在OMS系统中，每次开关操

作都会生成一张操作票，记录了操作的详细信息，如操作时间、操作人、操作步骤和安全措施等。通过操作票查询功能，运维人员可以轻松地回溯和审核历史操作，确保每一步操作都符合规范和安全要求。

2. 开关核查

在开关核查方面，该智能运维系统包括操作票开关状态校核统计、操作票开关状态校核明细、DMS与PMS开关状态校核、用采感知开关校核、开关综合状态判定、开关异常状态治理和核查统计日志七个功能。其中操作票开关状态校核统计功能主要用于分析和总结操作票中记录的开关状态。该功能通过对操作票中的开关操作数据进行统计分析，提供关于开关操作频率、操作类型分布以及操作错误率等关键指标的综合报告。操作票开关状态校核明细功能提供了对单个操作票中所有开关操作的详细审查。允许运维人员查看每一次开关操作的具体细节，包括操作时间、操作人员和操作前后的状态变化等，确保每一步操作都符合预定的安全和操作标准。

DMS与PMS开关状态校核，此功能涉及配电管理系统（DMS）和设备资产精益管理系统（PMS）之间的开关状态校核。OMS系统通过比对DMS和PMS中记录的开关状态数据，确保两系统间的数据一致性和准确性。用采感知开关校核功能侧重于利用智能采集设备收集的数据来校验开关状态。这种方法通过分析实时数据，如电流、电压等，来验证开关的实际状态，从而提高状态监测的准确性和可靠性。

开关综合状态判定功能综合考虑多种因素，如历史操作数据、实时监测数据和环境条件等，判定开关的总体状态。这种综合分析有助于及时发现潜在的问题，预防故障发生。开关异常状态治理功能在开关出现异常状态时，OMS系统提供的开关异常状态治理功能迅速响应。该功能包括异常状态的自动检测、故障诊断以及修复建议，帮助运维人员快速定位问题，并采取相应措施。核查统计日志功能记录了所有开关状态核查的历史记录和统计数据。这些日志包括核查的时间、对象和结果等信息，还包括核查结果的分析，为未来的运维决策提供参考。

3. 系统智能化运维

在系统智能化运维方面，该智能运维系统包括置位日志、系统日志和定时参数设置等多个功能。置位日志功能在OMS系统中扮演着关键角色，记录了所有开关操作的详细历史。每当开关状态发生变化时，系统自动记录相关信息，包括操作时间、操作人员、操作类型（手动或自动）以及开关的前后状态。这些日志追踪和分析开关操作，有助于故障诊断和预防性维护，还能用于合规性审核和操作优化。

系统日志功能在OMS系统中提供了一个全面的视角，用于监控和记录系统的整体运行状态。包括系统事件、错误报告、用户活动和系统警告等。通过分析这些日志，运维团队可以及时发现系统潜在的问题，进行故障排除，优化系统性能，并确保系统的稳定和安全运行。定时参数设置功能允许运维人员在OMS系统中预设特定的操作参数。这些参数可能包括开关的自动操作时间、维护周期和预警阈值等^[7]。通过这种方式，系统自动执行一些例行任务，如定期检查、状态更新或预警触发，提高运维效率和系统的响应能力。

4. 开关智能化感知

通过引入先进的传感技术、物联网（IoT）和大数据分析，实现对电网开关状态的实时监控和智能分析，提高电网的可靠性和运维效率。主要包括传感技术的使用、物联网融合、大数据分析 with 智能决策三个部分。传感器不仅能够监测基本的电气参数如电流、电压和温度，还能够检测更为复杂的物理量，例如振动、声音和电磁场等。传感器的高准确度和高灵敏度使得它们能够在开关设备出现微小的异常时即刻捕捉到信号。温度传感器可以监测开关设备的过热情况，预防因温度过高引起的故障。现代传感技术还包括了自诊断功能，能够实时监测传感器自身的状态和性能，确保数据的准确性和可靠性。

物联网技术的整合主要包括物联网技术在开关智能化感知中的应用，不局限于传感器数据的收集和传输。构建了一个多层次、多功能的网络体系，使得各种设备和系统能够实现高效的信息交换和协同工作。在这个体系中，不同类型的传感器与高级数据处理单元相连，实现数据的即时传输和初

步分析。通过物联网技术，可以实现对开关设备的远程控制，如远程分断、合闸操作等，大大提高了应急响应的速度和效率。物联网平台还能够与其他系统如地理信息系统（GIS）、资产管理系统等进行整合，为电网运维提供更全面的数据支持和决策依据。

大数据分析 with 智能决策通过对海量数据进行深入分析，揭示开关设备运行的各种模式和潜在的故障征兆。利用机器学习和人工智能算法，如神经网络、决策树和支持向量机等，对开关设备的运行状态进行更为精准的预测和分类。这些算法能够从复杂的数据中学习和提取关键特征，实现故障的早期诊断和预测。通过对历史数据的分析，对开关设备的维护周期进行优化，实现基于条件的维护

（CBM），而不是传统的周期性维护，减少不必要的维护成本，提高运维效率。

结束语

本文介绍了一种基于小波算法的配电网开关状态智能感知技术。分析了传统开关状态监测方法的局限性，提出了使用小波算法和改进型EMD算法对开关动作信号进行提取和分解的新方法。进一步研究展示了基于OMS系统的开关状态智能运维解决方案，包括自动开关置位、准确核查开关状态和系统智能化运维。这些技术的应用能够显著提升配电网运行的效率和可靠性。EA

（收稿日期：2024-2-24）

