

GIS 隔离开关机械性能在线监测系统的开发与应用

■ 文 / 沈佳华 蔡欧俊 廖志敏 王国明 杭州国洲电力科技有限公司

本文介绍了基于振动、驱动电机电流、分合闸位置等参数开发的 GIS 隔离开关机械性能在线监测系统，该系统主要由加速度传感器、电流传感器、可视化监控装置、数据采集系统、分析软件构成。现场应用结果表明，本系统可准确、全面地评价隔离开关运行状态，确保隔离开关、GIS、电网的安全稳定运行。

隔离开关是气体绝缘金属封闭开关设备 (Gas-Insulated Switchgear, GIS) 的重要组成部分，主要用于隔离电源、承载和切断电流电路，与接地开关共同实现对高压输电线路和电气设备的控制、保护和检修。在合闸位置时，隔离开关可承载线路额定电流及在规定时间内异常电流；在分闸位置时，隔离开关的触头间有符合要求的绝缘距离和明显的断开标志，确保检修时人员和设备的安全。GIS 隔离开关在电网中的应用十分广泛，利用 SF6 气体良好的绝缘特性，实现电气隔离，具有小型化、安全性、可靠性、整体性设计的特点。然而，由于在材料、工艺、设计、安装等方面存在的问题，以及频繁动作时产生的电气老化、机械磨损等缺陷，GIS 隔离开关故障率不断升高，严重影响气体绝缘金属封闭开关设备和整个电力系统的安全稳定运行。因此，在线监测 GIS 隔离开关、实现故障前预警，对提高设备和电网的可靠性具有重要意义。

传统的 GIS 隔离开关在线监测主要是基于传感器、红外热像等技术的温度检测，该方法不能准确、全面地反映隔离开关的运行状态，现场实际应用时具有一定的局限性。本文提出了基于机械性能的隔离开关在线监测与诊断技术，通过实时监控隔离开关振动、驱

动电机电流、分合闸位置等参数，结合智能分析软件，实现隔离开关运行状态的全方位评价，确保隔离开关、GIS、电网的安全稳定运行。

系统开发

系统原理

GIS 隔离开关在分合切换动作过程中伴随机械加速度，在线监测技术主要利用机械加速度分析法、驱动电机电流分析法、开关分合闸位置，对 GIS 隔离开关的运行状态进行实时监测。根据加速度波谱的异常分析，结合驱动电机电流分析技术，能够检测隔离开关的运动轨迹、时间序列、控制继电器、驱动电机、润滑等项目。本检测方法主要针对 GIS 隔离开关的机械性能检测，适用于停电或带电运行状态下的检测，弥补了传统 GIS 隔离开关检测的不足，从而更加有效、完备地反应 GIS 隔离开关运行状况。同时，采集到的有效数据可传输至数据管理中心，数据管理、存储、分析后，更直观的展现了 GIS 隔离开关的机械运动特征，使得更容易判别 GIS 隔离开关的故障类型。

系统构架

结合国家电网泛在电力物联网建设要求，GIS 隔

离开关机械性能在线监测系统共划分为 5 层，从底层到顶层依次为传感层、采集层、传输层、数据处理层、应用层。系统构架如图 1 所示，各部分功能如下：

传感层：传感层为系统最底层，将需要捕获的信号统一处理成电信号以便采集层采集。

采集层：将传感层转换后的模拟电信号，经由信号调理电路、AD 转换器处理后，变成离散的数字信号，方便传输、运算、存储。

传输层：传输层承担着将采集层的数据送到数据

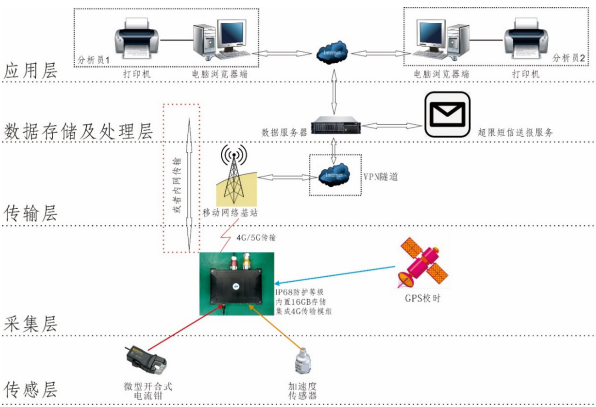


图 1 系统构架

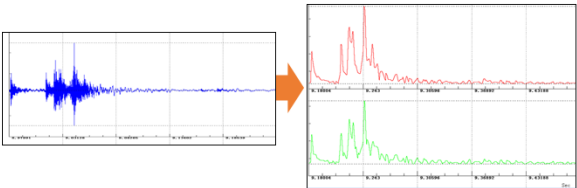


图 2 机械振动原始波形到包络图的转换

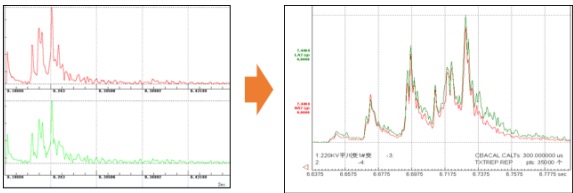


图 3 同档位两次包络图重合图分析

服务器的作用，它可以经由蜂窝网络传输，也可以由专网传输。

数据处理层：实现大数据以及人工智能的核心板块，由大型数据库（包含关系型和神经网络型）、智能算法组成，承担着用户访问、数据接收、数据分析、数据处理、数据查看等重要任务。

应用层：为用户提供了友好的操作界面，采用 B/S 架构模式，用户可查看 GIS 隔离开关的监测数据、历史数据统计等内容。

系统构成

系统硬件部分主要包括压电式加速度传感器、电流传感器、可视化监控装置、数据采集系统。压电式加速度传感器集成电荷放大器的，将振动加速度信号转换成正比的电压信号，其检测频段为 1Hz ~ 20kHz。采用电流传感器将驱动电机电流信号转换成电压信号，使用微型卡扣式结构域，其检测频段为 10Hz ~ 200kHz。可视化监控装置用于实时监控隔离开关分合闸位置。数据采集系统主要由数据采集模块、信号处理模块、电源模块、USB 信号传输模组成。

系统软件部分包括远端后台管理部分、变电站系统信息管理、故障在线监测趋势曲线分析、信息告警、系统诊断功能（机械振动、电流包络图，重合度、ATF 诊断图等）、报表生成等功能。图 2 为机械振动原始波形到包络图的转换，图 3 为同档位两次包络图重合图分析。

现场应用

GIS 隔离开关机械性能在线监测系统开发、调试后，在国家电网、南方电网多个示范项目中投运使用。可在线实时监控隔离开关声学振动高幅值关键特征、声学振动脉动关键特征、分合动作时间、电机峰值电流、电机电流燃弧时间、电流抖动等参数，结合智能分析软件，准确、全面地监测 GIS 隔离开关运行状态。图 4 为于国家电网山东省电力公司某 220kV 变电站的现场传感器安装、设备调试及软件界面图片。

隔离开关动作时，振动信号和电流信号典型波形如图 5 所示。测试结论如下：

电机启动电流一般是其运行电流的 4~7 倍，且在停止时交流接触器存在拉弧，以上均属于正常现象。需定期检查或更换交流接触器，以防因交流接触器接触不良导致电机拒动作。

连杆转动机构的隔离开关，在分合、合到分动作过程中，电流的变化趋势不同。分合过程中，电流变大；合到分过程中，电流变小。从电流变化过程的持续时间，能判断出触头接触深度。多组 GIS 隔离开关电流大小、持续时间基本一致，过度均匀，说明隔离开关的电动及连动机构无异常，齿轮不缺齿。振动信号幅值均匀，机械机构无大阻力卡涩等问题。

弹簧型驱动型机构的隔离开关，在分合过程中，

电流持续变大，通过电流持续变大的时间和电流大小可以判断弹簧压缩长度和弹簧力度性能。此类隔离开关在机构动作尾部有振动信号阶跃现象，发生时间同储能电机储能完毕时间相对应，说明机构动作灵敏、无延迟，机构良好。

结论与展望

为确保 GIS 隔离开关安全稳定运行、克服传统检测方法的局限性，本文介绍了基于振动声学、驱动电机电流、分合闸位置等参数的机械性能在线监测系统，适用于停电或带电运行状态下 GIS 隔离开关性能分析与评估。系统由传感层、采集层、传输层、数据处理层、应用层构成，符合国家电网泛在电力物联网建设要求，具有推广价值，为电力系统安全稳定运行保驾护航。■

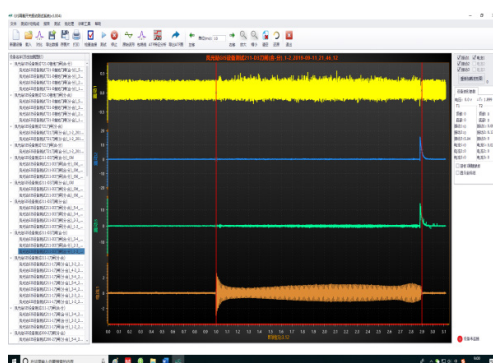
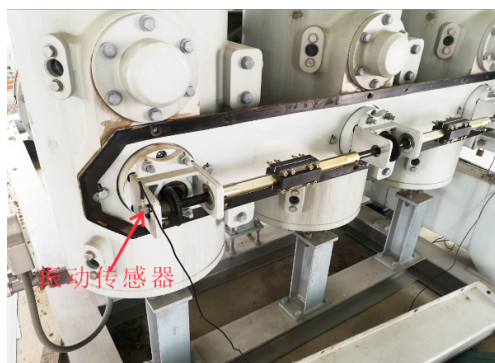
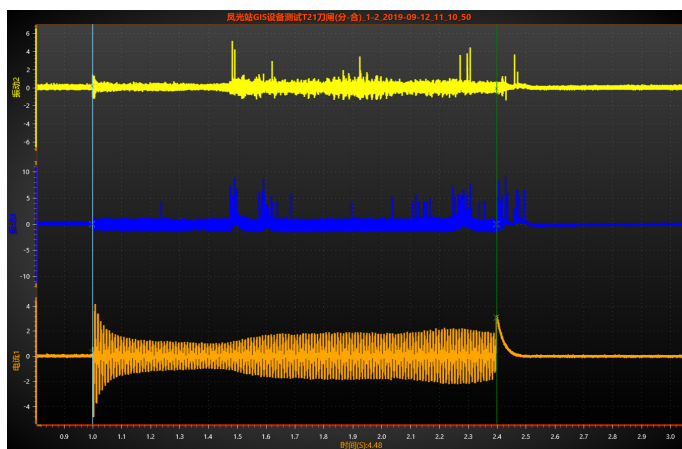


图 4 传感器安装、设备调试及软件界面



(a) 电动连杆机构的隔离开关分合动作



(b) 电动弹簧机构的隔离开关分合动作

图5 隔离开关动作时振动信号(上2)和电流信号(下1)

参考文献:

- [1] 王昌长, 李福祺, 高胜友, 电力设备的在线监测与故障诊断 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [2] 黄新波, 变电设备在线监测故障诊断 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] 陈天翔, 王寅仲, 温定筠, 海世杰, 电气试验 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [4] 立中祥, 宋建成, 高压隔离开关触头温度在线监测系统的研制 [J]. 高压电器, 2009, 45(2):11-13.
- [5] 王园园, 张希捷, 雷蓓, 等, 高压隔离开关位置在线监测 [J]. 解决方案, 2014, 11:82-85.
- [6] 杨武, 王小华, 荣命哲, 贾申利, 基于红外测温技术的高压电力设备温度在线检测传感器的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(9):113-117.