

[GIS]

基于机器视觉的GIS触头状态智能感知系统研究

文/上海西门子高压开关有限公司 王亚鸽 沈 威 郭瑞彬

针对因GIS完全封闭而导致其内部触头实际状态不便观测的难题，选取某典型GIS隔离开关单元为研究对象，在分析开关模块传动原理的基础上，基于机器视觉理论建立了实现开关触头状态智能感知所需的解决方案。本研究契合了泛在电力物联网建设对状态感知型GIS的迫切需求，顺应了GIS智能化发展潮流，可为新一代智能GIS研制及运维提供有价值的参考。

近年来，随着智能电网的迭代发展和电网规模的急速增长，对电力设备尤其是高压开关设备的可靠性提出越来越苛刻的要求。作为电网核心组成部分的气体绝缘金属封闭开关设备（GIS），其内部各开关触头是否处于精准的分合闸位置，对整个电力系统的可靠运行有重大影响。由于GIS完全封闭的特点，通常由外设传动链上的机械分合闸指示器来间接反映内部开关触头状态。但从全生命周期管理角度审视该确认方法存在安全隐患：因GIS结构的复杂性，长期运维中难免发生不可预知的机械故障，导致开关触头分合闸不到位或触头实际分合闸状态与外部指示不符，进而造成断口间绝缘击穿或主回路接触不良等故障，严重时将导致全站失电的大范围停电事故。文献[4]所述各种解决方案主要是通过设置尺寸较大的观察窗用眼睛观测内部触头状态，该做法有较大的局限性：受制于GIS设备的小型化趋势，大尺寸的观察窗将逐步淘汰；同时252 kV及以上电压等级GIS因空间布置和高度限制，导致多数观察窗不便靠近，且GIS内部闪络产生的强光会对眼睛造成不可治愈的损害。基于上述现状，采用机器视觉技术代替人眼来进行测量和判断，将被

基金项目：上海西门子高压开关有限公司科技项目（SHVS203279）。

摄取目标转换成图像信号，传送给图像处理系统，得到被摄目标的形态信息。将机器视觉技术和GIS运维检修相结合，有助于实现GIS设备状态的智能感知和运行控制的智能决策，可为电网安全提供有力支撑。

典型GIS开关设备介绍

自20世纪60年代GIS问世以来，经全世界众多科技工作者共同努力，GIS朝着小型化、紧凑化和智能化方向迭代发展。但作为GIS重要组成单元的断路器、隔离开关、检修接地开关及快速接地开关等，均仍采用动静触头分合的传统结构且延续至今，由外设的操动机构经传动链驱动开关内部的可动导体实现直动或转动，经与静侧触头的接触或分开实现开关的电气功能。显而易见，只要采用这种传统开关结构，就存在着开关内部触头分合状态需要被有效监测的需求，传统做法是通过在传动链上装设分合闸指示装置（划线指示）的手段进行确认；随着技术进步，又陆续出现了在GIS本体上设置大尺寸观察窗并用肉眼直接观察触头实际位置的做法，但随着GIS小型化、紧凑化的发展，采用肉

眼直接观察已不能适应目前GIS的发展潮流，亟需借助智能感知技术对目前的观察窗进行升级。在介绍触头状态智能感知系统之前，首先对GIS内部结构、外部传动及传动原理进行简要介绍。

图1为某252 kV GIS典型标准双母线电缆出线间隔布置图，该GIS凭借其精巧设计和卓越品质，可谓小型化、紧凑型的典范。如图2所示，其隔离开关、检修接地开关及快速接地开关等均采用三相机械联动，由电动操动机构驱动三相拐臂连杆实现三相接地开关同步动作，同时在最远相设置分合闸指示装置以间接反映内部触头状态。同时在各相隔离开关、接地开关断口的对应壳体均设置有观察窗，因其整体结构紧凑（相间距仅400 mm），中相及距离检修平台较高的观察窗将难以靠近，迫切需要智能感知解决方案应对上述痛点。

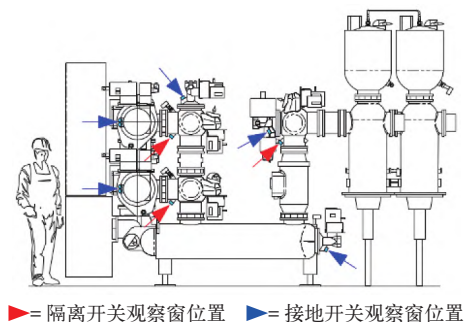


图1 252 kV GIS标准双母线电缆出线间隔布置



图2 带分合闸指示装置的三相机械联动结构

以隔离开关为例，隔离开关的作用是在分位置时，触头间有符合要求的绝缘距离和明显的断开标志，在检修时可隔离有电回路和无电回路，保护人员及设备安全；而在合位置时，能承载正常回路电流及在规定时间内异常条件下的电流。如果隔离开关的动触头分合不到位，则可能由于绝缘失效或接触不良而引发事故，对人员或设备造成严重伤害。

图3为触头的三种关键状态，即分闸状态、动静弧触头刚接触状态以及完全合闸状态，其中尤其是完全分闸和合闸状态对开关功能的可靠运行至关重要，是监测的重点环节。



图3 隔离开关触头的三种关键状态

隔离开关的各部分组成及传动原理如下。

1) 外部传动：由电动机构驱动拐臂带动连杆摆动，进而驱动三相拐臂和带分合闸指针拐臂实现机械联动，驱动三相驱动轴同步转动。壳体上预留观察窗安装孔，正对隔离断口，便于监测触头状态。

2) 内部构造：驱动轴旋转驱动内部拐臂，通过绝缘拉杆带动动触杆实现直线运动，通过电动机构的精准动作实现三种关键触头状态。

3) 观察窗结构：观察窗主要由玻璃和摄像头适配器组成，观察窗作为开关的一部分随产品配置，并严格通过气密、耐压和环境等苛刻型式试验；摄像头适配器作为观察窗和智能感知系统的过渡附件，具备结构牢靠、拆装便捷等特点。

基于机器视觉技术的智能感知系统

特殊工况如抽水蓄能电厂的GIS，因其频繁操作，为确保运行安全，对开关触头状态的监控提出更严苛的要求。如文献[4-9]所述常规的GIS隔离开关状态确认方法是：在开关操作完成后，先确认电动机构的分合指示是否到位，再观察传动链上的机械分合闸指示装置是否到位，若GIS外壳设置了大直径观察窗，还可以通过人工逐个目视或者通过简易式光纤窥镜来检查。但在现实作业时，目视确认的方法具有劳动量大、效率低、安全性差、视野狭窄及光场暗淡等缺点，可能由此产生误判造成带负荷拉隔离开关等重大安全隐患。由于在分合闸过程中，高压开关极亮的电弧和高压脉冲电磁场极易对人眼及人体造成危害，使得无法对分合过程中动静触头的分合动作进行实时监控和判断。基于上述痛点，结合目前迅猛发展的人工智能技术，在一些不适于人工作业的危險工作环境或者人工视觉难以满足要求的场合，尝试采用机器视觉来替代人工视觉对GIS触头状态进行智能感知。

1. 机器视觉技术

作为人工智能快速发展的一个分支，机器视觉

就是用机器代替人眼来进行测量和判断。其基本原理是通过图像摄取装置将被摄取目标转换成图像信号,传送给专用的图像处理系统,得到被摄目标的形态信息。机器视觉技术包括图像处理、控制、电光源照明、光学成像、传感器、模拟与数字视频技术及计算机软硬件技术等。一个典型的机器视觉系统应包括照明系统、镜头、摄像系统和图像处理系统。

2. GIS触头状态智能感知系统

依据机器视觉技术的工作原理及基本构成,并借鉴相关文献的研究思路,对GIS触头状态的监测也应至少包括照明系统、镜头、摄像系统和图像处理系统等几部分。图4为专门针对GIS触头状态监测而研制的一套智能感知系统。选用笔记本电脑作为图像处理系统平台,其他照明、镜头及摄像系统等详细结构如图5所示。

为发挥本智能感知系统最佳性能,对计算机的硬件及软件配置要求如下:

1) 硬件配置。计算机,英特尔酷睿双核2 GHz/内存不低于2 GB/USB2.0高速接口。

2) 软件配置。Windows XP 32以上操作系统。

在机器视觉系统中,获得一张高质量的可处理的图像至关重要。机器视觉系统之所以成功,首先要保证图像质量好,特征明显。要保证好的图像,必须要选择一个合适的光源。图5中,将两层共计6颗发光二极管作为照明光源,根据实际工况选择不同的亮度来确保拍摄图像清晰可调节。

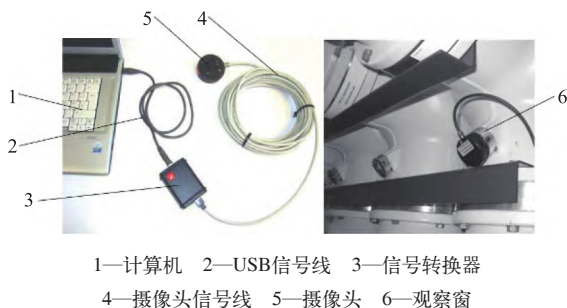


图4 GIS触头状态智能感知系统

本智能感知系统通过图5的集成式微型专用摄像头(发光二极管作为调节光源),与观察窗接口进行适配组成窥视系统,如图6所示。对触头分合状态进行在线实时拍摄,完成对触头状态的图像或

视频采集;再通过信号传输系统,实现对微型摄像头及发光二极管光源的供电、视频信号传输;通过所拍摄的GIS触头状态图像来判断其分合闸是否到位。视频信号处理系统与可变焦距的微型摄像头相连,视频信号处理系统将摄像头的光信号转换为电信号,并通过电磁双层复合屏蔽的远程线缆将多路信号同时传输至计算机。监控主机系统可并行处理多路远程视频监控信号,并能实现记录各开关状态的视频或图像信息,以此辅助确认开关触头是否执行分合操作及触头是否精准分合闸到位。



图5 照明、镜头及摄像系统构成

与目前传统的靠近GIS设备用眼睛逐个观测开关触头方法相比,本智能感知系统能够高效、可靠和安全地对多组GIS触头状态进行全天候不间断的在线监测,可大幅减少工作误差和劳动强度,显著提高GIS运行可靠性。

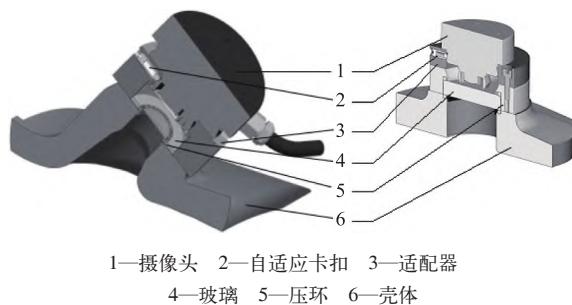


图6 窥视系统

智能感知系统调试

智能感知系统作为一个可灵活布置且软件支持的数字系统,将主要用于GIS内部触头状态的监测,尤其是对隔离开关、检修接地开关和快速接地开关的触头分合闸状态进行实时观测。并且必须满足上述对计算机的硬件及软件配置要求的前提下才能正常使用。其中窥视系统主要由带10 m线缆的摄像头、USB信号线和信号转换器等组成。

1. 驱动程序及组成单元的安装

将软驱CD插入计算机，单击自动运行，根据提示逐步完成。应确保信号转换器两侧的信息线及USB信息线与计算机之间插接牢靠。

2. 启动软件

通过单击启动软件。

3. 照明系统测试

为获取高质量触头实时图像，有两组数量及位置不同的发光二极管作为照明光源可供选择，用以控制曝光时间。首先进行发光二极管的开启/关闭测试，亦即启动和停止闪烁测试。如图7所示，外围的一组四枚标记为组A，靠近镜头的一组两枚标记为组B。具体模块依据各自特点选择组别获取最佳图像质量。



图7 照明系统

4. 高动态范围成像及实时成像功能

智能感知系统具备允许图像优化和高对比度曝光场景，通过在不同曝光时间自动拍摄三张照片，将高动态范围成像的一组图片经计算机预处理后以最优的显示效果呈现，如图8所示。

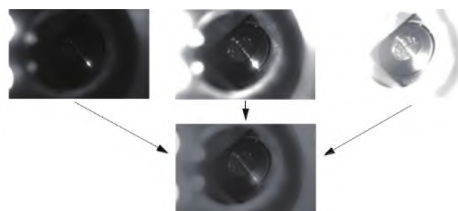
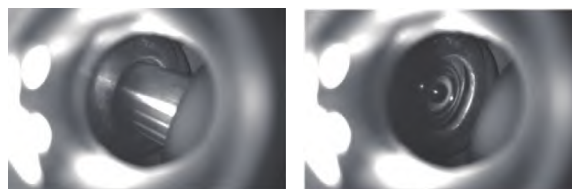


图8 高动态范围成像

通过本智能感知系统可对隔离开关和接地开关的触头状态进行实时监测。通过选择不同组别的LED照明系统确保最佳照明记录区域。

图9为使用智能感知系统摄取的隔离开关触头合闸及分闸状态，可以看出图像分辨率满足对其状态的判定要求，具有100%的可信性，结合外传动链上的机械分合闸指示结果，实现对触头状态的双确认。



触头合闸状态

触头分闸状态

图9 触头状态观测示例

结束语

GIS本体观察窗采用3S (Smart/Simple/Small, 即智能化/简约化/小型化) 设计理念, 融合了视觉安全防护等新一代智能感知技术, 革新了变电站运维人员与GIS设备的交互方式, 提升了人机协作交互的安全性。深度融合机器视觉, 保障GIS设备、运维人员和运行环境三者间交互适应。

智能感知系统能够全天候不间断监测GIS触头状态, 具有100%的可信性, 并可实时、准确地反馈至计算机, 给运维工作提供第一手的GIS触头状态信息, 可大大减少运维人员劳动强度, 降低电磁干扰等对运维人员的身心健康不利影响。

与智能感知系统配套的观察窗及适配器结构小巧, 摄像头安装便捷, 设备兼容性强。良好的通用性及柔性特征使得在严苛的电磁环境下也能真正实现即插即用, 快速部署, 针对电力业主运维遇到的GIS触头状态盲点均能有效应对。EA

参考文献

- [1] 金明辉. 基于状态评估的智能配电网态势感知方法研究[J]. 电网与清洁能源, 2020, 36(5): 69-74.
- [2] 徐楠, 颜楠楠, 周录波, 等. GIS母线筒紫外观察窗结构设计及仿真[J]. 电力系统装备, 2018(4): 247-248.
- [3] 张永强, 郭诚, 张豪俊, 等. 基于图像识别技术的气体绝缘金属封闭开关设备中开关触头位置监测系统[J]. 电气技术, 2019, 20(5): 51-54, 68.
- [4] 杨旭, 张长虹, 王奇, 等. 一种非轴对称结构的GIS双隔离开关气室电场优化设计及试验验证[J]. 电气应用, 2020, 39(6): 68-75.

(收稿日期: 2022-01-28)