

[GIS]

基于磁性编码器的GIS触头行程测量

文/戴本圣¹ 刘 分¹ 郭朝纶¹ 马志强¹ 李文华²

1. 河南平芝高压开关有限公司; 2. 河南城建学院

以研究GIS触头行程测量技术为切入点, 列举了目前GIS触头行程测量传感器的使用现状, 最终选取各项性能优越、应用场景多样的增量型磁性编码器作为研究基础, 介绍了旋转型和直线型磁性编码器的工作原理, 总结了两类编码器各自的优势特点及使用场景, 为增量型磁性编码器在GIS触头行程的出厂或运行监测方面的应用提供参考。

随着数字化、智能化电网的大力建设, 电力系统设备的定期检修工作逐渐无法满足电力生产的实际需要, 因此将在线监测技术引入电力系统生产领域是未来电网发展的大势所趋。气体绝缘金属封闭开关装置(GIS)是电力系统中仅次于发电机和变压器的大型电力设备, 在电网运行中主要起到控制与保护作用, 既能够开断、关合及承载运行线路的正常电流, 也能在规定时间内开断、关合及承载运行线路的短路电流。GIS中断路器、隔离接地开关等重要执行元件是集故障、检修、参数测量频次最多的设备, 其中机械性故障占主要原因。断路器、隔离接地开关触头的行程曲线特性是表征断路器、隔离接地开关机械特性的重要参数, 为计算分合闸速度提供依据, 分合闸速度对开断性能、机械寿命有至关重要的影响, 因此GIS触头行程监测既是GIS产品制造时质量检查的必要手段, 也是GIS投运后在线监测的重要内容。

为了获得GIS触头行程曲线, 需要在GIS本体或机构上安装行程传感器, 行程传感器的安装在不影响GIS绝缘性能的前提下, 应尽量避免破坏GIS原始的机械结构。触头行程测量传感器主要分为输出

模拟信号和数字信号两大类, 其中输出模拟信号的行程传感器主要以滑动变阻式为主, 通过滑动电阻的变化引起输出电流或电压的变化, 从而计算出触头行程。滑动变阻式行程传感器既可以是旋转式测量旋转角度, 也可以是直线式测量直线距离, 但均存在较大的局限性。当被测对象运动速度较高、往复次数较多时容易损坏, 且不宜长期通流进行在线监测。

激光式行程传感器可以输出模拟信号, 其运用快速、准确的三角法测量位移。激光式行程传感器发射一束可见激光, 从而在目标表面创建一个光斑, 表面的反射光从一个角度被传感器内的CMOS线性扫描相机感知, 传感器中的微处理器通过图像的像素数据能够计算出目标的距离, 最终通过模拟量信号输出。激光行程传感器属于非接触式测距, 其运行寿命不受GIS设备影响, 但也存在无法长时间通电运行的缺点。另外其安装空间大, 成本价格高, 不宜用于现场在线监测。

输出数字信号的行程传感器以编码器为主, 编码器按工作原理主要分为光电编码器与磁性编码器。光电编码器利用光电效应原理, 由光栅盘和

基金项目: 800 kV隔离断口绝缘性能提升研究及产品开发项目(PGKJ2022-274)

光电检测装置组成。光栅盘是在一定直径的圆板上等分地开通若干个长方形孔。光栅盘连同断路器机构转动轴旋转，经发光二极管等电子元器件组成的光电检测装置检测输出若干脉冲信号，通过计算每秒光电编码器输出脉冲的个数反映当前转动轴的转速。

相比传统的光电编码器，磁性编码器不需要有复杂的码盘和光源，元器件数量更少，结构简单紧凑，成本低廉，不易受尘埃和凝露的影响。在GIS触头行程测量的高速度、高精度、小型化、长寿命和抗干扰要求下，磁性编码器以其突出特点而独具优势，成为GIS触头行程测量的首选。

本文主要基于增量型磁性编码器研究触头行程测量技术，介绍了磁性编码器测量原理，设计了安装方式，分析了GIS触头行程测量方法，试验验证了机械寿命，为增量型磁性编码器在GIS触头行程的出厂或运行监测方面提供参考。

测量原理简介

在GIS触头行程测量应用中，增量型磁性编码器根据实际工况测量触头相连零部件的旋转角度或直线位移。当测量旋转角度时采用的磁性旋转编码器如图1所示。



图1 磁性旋转编码器

旋转编码器由两个MR/霍尔电桥构成，原理图如图2所示。当磁场旋转时，电桥输出的四组正弦波信号A、B、C、D如图3所示，每个正弦波相差90°相位差，将C、D信号反向，叠加在A、B两相上，可增强稳定信号。另每转输出一个Z相脉冲以代表零位参考位，由于A、B两相相差90°，通过比较A相在前还是B相在前，以判别编码器的正转和反转。信号经过芯片处理后，转换为计算机可识别的数字脉冲信号，实现旋转编码器的编码功能，通过计算编码器输出脉冲的个数反映当前转动轴的旋转角度。

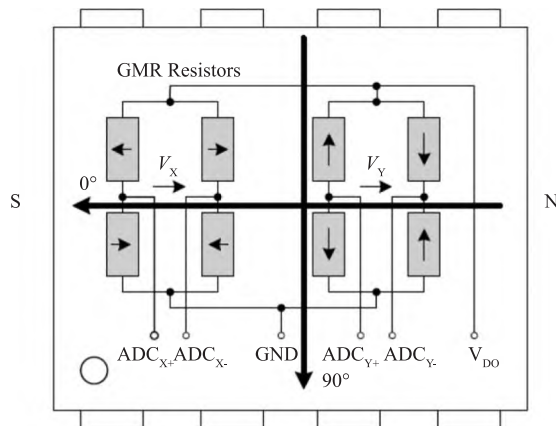


图2 MR/霍尔电桥原理图

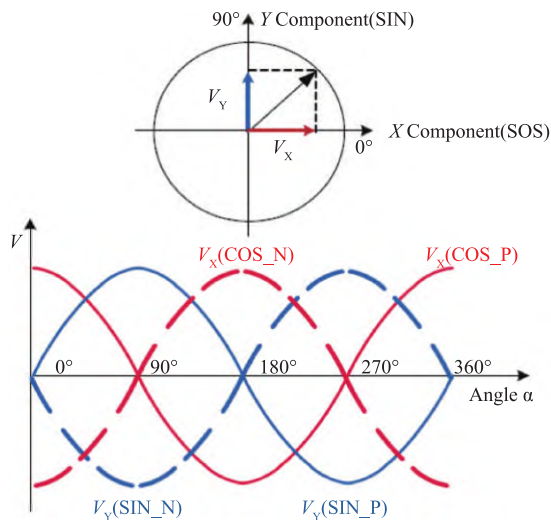


图3 电桥输出四组正弦波信号

当测量直线位移时，采用磁性直线编码器，磁性直线编码器中的磁栅尺最为常见，如图4所示。磁栅尺由磁尺和磁头两个关键部件构成，磁尺由非导磁不锈钢钢带、吸磁原材料以及防护层构成。录磁机在磁尺上录上等间隔且N极和S极相间变化的磁栅数据信号，相邻间隔距离称为磁栅的波长，波长就是磁尺的长度计量单位，任一被测长度都可用与其对应的若干磁栅波长之和来表示，磁尺表面的磁感应强度呈规律性转变。磁头主要由励磁调节器绕阻和数据信号输出绕阻构成，磁头根据励磁调节器绕阻提供的励磁工作电压，将检验到的磁数据信号变换为差分信号，用以动态或是静态数据的精确测量。磁头在沿磁尺运动过程中感应到电磁场的转变，并将这一转变通过检测电路转换为数字脉冲信号输出，完成位移测量。



图4 磁栅尺

测量方案设计

断路器或隔离接地开关操作机构一般通过一系

列传动机构带动其触头运动，根据传动机构的传动类型与结构特点选择合适的编码器类型和安装位置，下面以断路器为例进行编码器安装设计。

如图5所示，断路器触头随触头推杆在操作机构的推力下做直线运动，同时触头推杆利用连杆机构将其直线运动转化为定轴旋转运动传递至辅助开关转轴。如果选用旋转编码器测量触头行程，则可以先测量辅助开关转轴旋转角度，然后根据连杆传动关系确定旋转编码器旋转角度与触头直线位移的对应关系，从而完成触头行程测量。

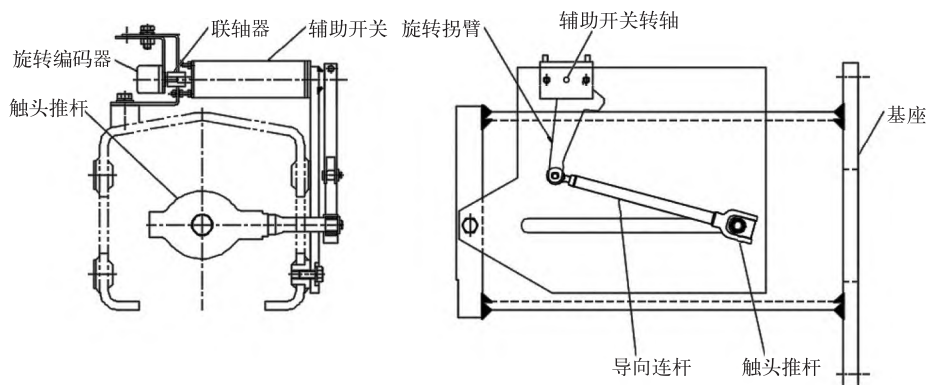


图5 旋转编码器安装示意图

利用旋转编码器测量辅助开关转轴旋转角度，需要使用联轴器将旋转编码器转轴与辅助开关转轴固定连接，使两转轴同速，同时利用固定工装将旋转编码器固定到位。此处使用联轴器应为弹性联轴器，既可以对轴向、径向、角向安装误差进行补偿调节，也能为辅助开关完成转轴旋转提供能量释放通道，有效制动传感器，避免了联轴器松动与编码器损坏。弹性联轴器安装时，在不拉伸、不压缩的状态下缓冲效果最好，使用寿命最长，可允许使用寿命影响较小的少量压缩，尽量避免弹性联轴器因处于拉伸状态和过压缩状态而造成联轴器变形和损坏。

磁栅尺主要测量直线运动的行程，与断路器触头运动姿态保持一致，安装方式如图6所示，磁头利用过渡工装与触头推杆固定连接，粗虚线为断路器合闸位置时的磁头位置，粗实线为断路器分闸位置时的磁头位置。磁尺安装在磁头正下方，磁头在运动过程中应始终保持与磁尺不发生磕碰且间距不超过3 mm，同时磁头不能偏出磁尺两侧范围，磁尺长度应大于触头行程。磁头随断路器触头推杆一起

在沿磁尺运动过程中将行程转化为数字脉冲信号输出，完成断路器触头行程测量。

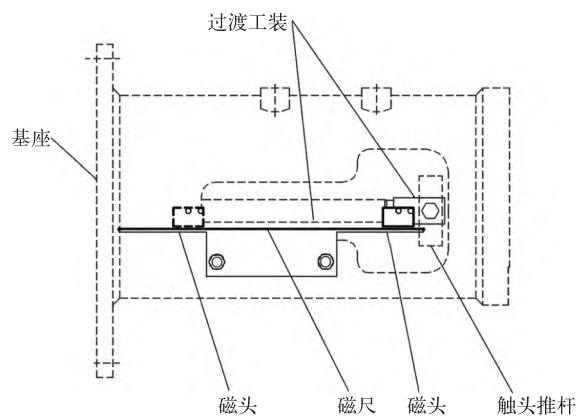


图6 磁栅尺安装示意图

机械寿命试验

GIS设备在进行分合闸操作时常伴随着巨大的振动与冲击，特别是断路器操作时，触头在几十毫秒内完成从静止到移动再到静止的动作过程，期间最高平均速度达到20 m/s，在此工况下，磁性编码

器的机械寿命试验显得尤为重要。标准规范Q/GDW 1796—2013中7.3.8项要求传感器应保持通电状态随断路器同时进行机械寿命试验，试验次数为1 000次，其中重合闸操作125次，分合闸操作750次，试验期间及试验后的传感器不应损坏。

为验证数字编码器的机械振动冲击耐受程度，选取了5个国内外厂家的旋转编码器与磁栅尺进行寿命试验，试验照片如图7、图8所示，每个厂家分别选取型号相同的两台旋转编码器和两台磁栅尺，每进行100次断路器操作试验，用参与试验的传感器进行触头行程测量，检测传感器是否正常。第一次机械寿命试验中断路器触头达到最大分合闸速度，其中分闸运动平均速度达到20 m/s，合闸运动平均速度达到5 m/s，试验结果详见表1。

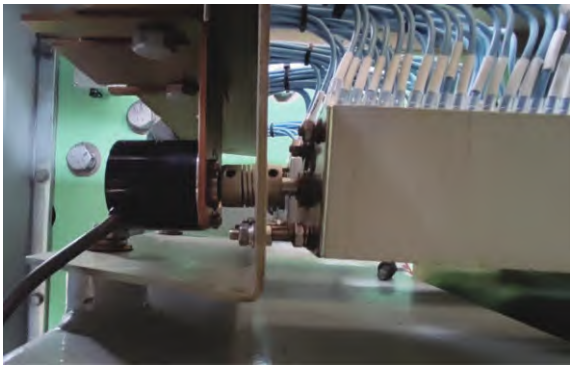


图7 旋转编码器机械寿命试验

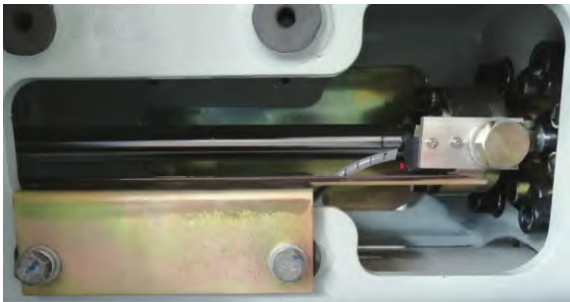


图8 磁栅尺机械寿命试验

表1 断路器触头最大运动速度时机械寿命试验结果

厂家类别	旋转编码器试验平均次数	磁栅尺试验平均次数
厂家1	1 000	700
厂家2	1 000	400
厂家3	1000	600
厂家4	1 000	800
厂家5	1 000	600

由表1可以看出，各厂家旋转编码器均能满足1 000次的机械寿命要求，但磁栅尺均不能满足在断路器触头达到最大分合闸速度时的1 000次机械寿命试验要求。根据两种传感器的运行工况可以看出，旋转编码器由于监测的是辅助开关转轴的转速，编码器在弹性联轴器的缓冲下仅受到较小的柔性旋转冲击。磁栅尺的磁头随触头推杆进行直线运动，磁头整体承受较大的刚性运动冲击，因此磁栅尺的运行工况更加苛刻。

为了研究磁栅尺能够承受断路器触头运动冲击的上限，对断路器阶梯降速后进行寿命试验，断路器合闸运动平均速度仍保持5 m/s，每个厂家在不同分闸速度下均选取两台相同型号的磁栅尺，每进行100次断路器操作试验，用参与试验的传感器进行触头行程测量，检测传感器是否正常，试验结果详见表2。

表2 断路器不同触头分闸速度时磁栅尺机械寿命试验结果

厂家类别	触头分闸运动速度16 m/s时试验平均次数	触头分闸运动速度12 m/s时试验平均次数	触头分闸运动速度8 m/s时试验平均次数
厂家1	700	1 000	1 000
厂家2	500	800	1 000
厂家3	700	800	1 000
厂家4	800	1 000	1 000
厂家5	800	900	1 000

根据表2结果看出，触头分闸速度在8 m/s以下时，各厂家的磁栅尺均能满足1 000次机械寿命试验要求。随着断路器触头分闸速度的加大，各厂家的磁栅尺机械寿命呈现下降趋势，触头分闸速度大于12 m/s时，部分厂家的磁栅尺已不能满足1 000次机械寿命试验要求。考虑到各生产厂家磁栅尺的差异性及产品寿命裕度，磁栅尺在触头运动速度小于8 m/s时使用较为合适。

结束语

本文对比了不同类型触头行程测量传感器的优缺点，主要研究了磁性旋转编码器和直线编码器在GIS触头行程测量方面技术应用，对编码器的工作原理、安装特点、测量方式以及机械寿命进行了详细介绍。

1) 磁性编码器结构简单，成本低廉，抗干扰性强，测量精度高，能够满足GIS触头行程测量的

需要。

2) 旋转编码器是以间接测量触头相连部件旋转角度的方式推算出触头直线行程, 适合安装空间狭小的场景, 机械寿命不受触头运动速度的影响。

3) 磁栅尺可以直接测量触头运动行程, 但需要较大的安装空间。如果磁栅尺工作时, 磁头运动磁尺静止, 则磁栅尺测量的触头运动速度尽量不应大于8 m/s。当安装空间较为宽敞时, 可考虑磁尺运动磁头静止的测量方式, 以提高磁栅尺的使用寿命。EA

(收稿日期: 2023-07-12)

参考文献

- [1] 黄新波, 陶晨, 刘斌. 智能断路器机械特性在线监测技术和状态评估[J]. 高压电器, 2015, 51(3): 129-134, 139.
- [2] 王成友, 闫红华, 刘灿东, 等. 液压式高压断路器机械特性在线监测故障几率研究[J]. 高压电器, 2015, 51(8): 86-91.
- [3] 张龙, 黄新波, 蒋波涛, 等. 基于触头行程测量的断路器机械特性在线监测[J]. 西安工程大学学报, 2018, 32(3): 302-310.
- [4] 邵斌, 郭利强, 贺杰, 等. 矿用脉冲激光测

距系统研究[J]. 自动化仪表, 2023, 44(2): 17-20.

- [5] 张艳清, 刘峥. 激光测距传感器技术在机器人中的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2021(2): 227-230.
- [6] 董静, 万秋华, 赵长海, 等. 光电编码器故障诊断技术研究现状与展望[J]. 中国光学, 2015, 8(5): 755-767.
- [7] 徐张旗. 基于卡尔曼滤波的增量式光电编码器测速方法的研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2018.
- [8] 生迪迪. 磁编码器设计及误差补偿研究[D]. 吉林: 东北电力大学, 2022.
- [9] 梁芳萍, 曹广忠, 赵磊, 等. 磁编码器技术现状及发展研究[J]. 自动化仪表, 2021, 42(8): 1-6, 12.
- [10] 李斐然. 基于霍尔原理的绝对式磁编码器的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [11] 臧金杰. 基于磁栅的高精度位移传感器设计[D]. 苏州: 苏州大学, 2017.
- [12] 陈昊洋, 杜紫岩. 涡轴发动机动力涡轮转速传感器容错控制方法研究[J]. 电气应用, 2021, 40(6): 99-105.

