

[断路器]

一种采用伺服电动机操作机构的长寿命真空断路器

文/厦门ABB开关有限公司 刘昱雯 胡兴海 艾 睿

介绍一种使用基于伺服电动机系统的新型操作机构的真空断路器。该断路器可按真空灭弧室理想特性要求，预设合、分闸机械特性曲线，由伺服电动机驱动，通过配备的智能控制单元实时监测机构状况并精确调控，且结构简单可靠，操作寿命长，维护工作量极少。

中压系统中，真空断路器常见的操作机构大致可以分为电磁操作机构、弹簧操作机构和永磁操作机构等几大类型。

电磁操作机构，以直流螺管电磁力作为合闸能源，合闸所需的机械功由直流螺管瞬时提供，故瞬时合闸电流大，可达上百安培，并且合闸功容易受控制电源电压、合闸回路电阻等外界因素影响。电磁操作机构优点是元件少，结构简单。

弹簧操作机构，利用手动或电动方式给合闸弹簧储能，合闸过程中合、分闸脱扣装置只提供触发合、分闸储能弹簧变位的能量，触发机构释放已储能的弹簧能量，驱动断路器合闸。因此合分闸控制回路电流都不大，合闸操作功受控制电源电压及控制回路接触电阻等外界因素影响较小。弹簧操作机构优点是交直流控制电源都可操作，无须大功率合闸直流操作电源，即便没有控制电源的情况下，也可手动实现安全的分闸操作。

永磁操作机构，分为单稳态永磁机构和双稳态永磁机构，机构内配置永磁体元件，通过控制合闸励磁线圈提供磁场能量，产生较大的操作功驱动动铁心运动到合闸位置，并使之保持。单稳态永磁操作机构为弹簧分闸，分闸状态由弹簧保持。双稳态永磁机构的分闸与合闸类似，为分闸

励磁线圈提供磁场能量，驱动动铁心运动到分闸位置，并使之保持。永磁操作机构的优点是元件少，结构简单。

现今真空断路器的主流操作机构为弹簧操作机构，其技术成熟，在配电系统中得以广泛应用。配电系统中断路器主要起承载负荷和故障保护的作用，其生命周期内操作次数有限，现有的断路器机械寿命一般都能满足M2级（10 000次）的要求，完全满足配电系统的要求。但在一些断路器需频繁且可靠操作的特殊场合，如中压电容补偿系统及钢厂电弧炉供电系统等，还需要针对性的解决方案。

频繁操作需求下，现有真空断路器操作机构的局限性

为了满足关合、开断额定短路电流的需求，需确保真空灭弧室动触头达到一定的合、分闸速度，就要求操作机构输出较大的操作功。现有断路器的解决方案，在触发了合、分闸操作后，其机构输出功基本保持恒定，这就导致了在动触头到位的瞬间仍具有较大的合、分闸速度和冲量。这样的冲击，造成了合闸过程中的合闸弹跳及分闸过程中的分闸过冲，对断路器的不利影响主要涉及两方面：一是断路器的短路电流关合和开断

能力；二是机械结构的可靠性及寿命。

常规的解决方案是在机构到位时进行快速制动，如通过缓冲器吸能，或由特殊结构吸收机构的冲击。尽管如此，在操作过程中，仍然会产生较大的机械冲击和振动，无法完全解决上述问题。

图1、图2为典型断路器合、分闸特性曲线，可以明显看出在合、分闸到位后，动触头行程有明显振荡变化。

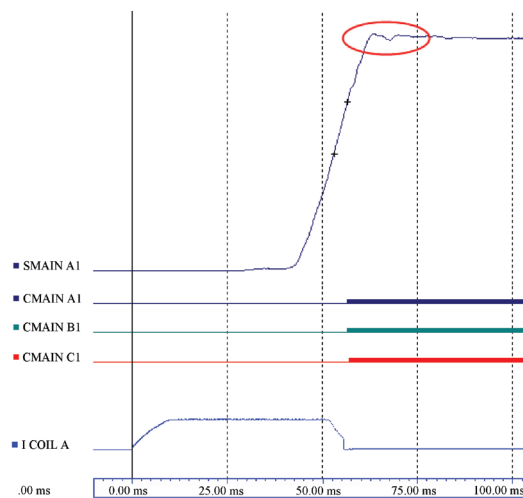


图1 典型断路器合闸特性曲线

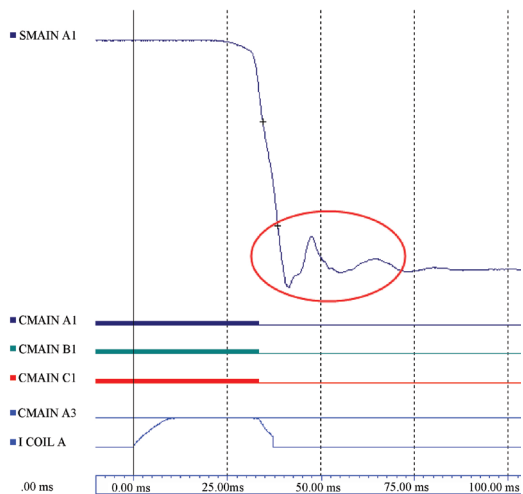


图2 典型断路器分闸特性曲线

1. 使用寿命有限

断路器的使用寿命可分为机械寿命和电寿命。机械寿命主要由断路器机构和真空灭弧室的空载机械操作次数制约，电气寿命主要取决于真空灭弧室触头的可带电操作次数。

主要几种断路器机构的类型中，电磁操作机构的免维护机械寿命一般在10 000次以内，而弹簧操作机构的免维护机械寿命一般在10 000~30 000次，一些特殊型号经过精心维护及更换主要零部件，可能达50 000~120 000次；永磁操作机构的免维护机械寿命一般可达10 000~50 000次，特殊型号经维护、检修及更换主要零部件后可能达到120 000次。

真空灭弧室的机械寿命主要取决于波纹管的机械寿命。波纹管是一种起密闭作用的弹性元件，由非导磁不锈钢制造，具有不易氧化和耐腐蚀性强、弹性好等优点。波纹管在其允许的弹性变形范围内伸缩时有足够的机械寿命，一般可达10万次以上，但在实际应用过程中，由于配合常规断路器机构时，受断路器分闸过冲、反弹及合闸弹跳导致的机械应力影响，实际可耐受的合、分闸次数相应减少，使得真空断路器在不更换真空灭弧室的情况下，实际机械寿命一般仅达10 000~30 000次。

真空断路器的电气寿命取决于真空灭弧室的电寿命，而影响电寿命的主要因素是触头磨损。触头磨损现象非常复杂，有机械的、电的和化学的三方面原因，电的原因通常是主要的。触头材料对触头工作的可靠性和寿命起重要作用，触头材料的选用非常重要。同时，在实际运行过程中，具体主要考虑开断短路电流和关合正常负荷电流：开断短路电流的电磨损，取决于短路电流幅值和燃弧时间；关合正常负荷电流的电磨损，主要取决于预击穿燃弧时间。除此之外，触头闭合过程中常产生机械振动，使触头磨损增大和发生熔焊，因此为了减少振动，机械设计上还需采用一些方式，如，采用一定的触头预压力，选用一定刚度的触头弹簧，减小动触头闭合速度和减轻动触头质量等。综上所述，为了提高断路器的使用寿命，往往需要在设计上需同时考虑灭弧介质、触头材料与形状，以及其与机构的机械特性的配合等。

对于频繁操作的场合的断路器，除需较大的输出功以保证其短路开断能力外，还需同时满足长寿命的负荷操作的要求。对于频繁操作的负载，往往选用真空作为灭弧介质。若想提高真空灭弧室的机械和电气寿命，则需要降低合、分闸过程中的机械冲击及振动。由于常规机构合、分闸过程中输出功基本恒定，而机械缓冲能力有

限,往往需要从设计上尽可能减少操作功,从而降低了动触头合、分闸速度。一旦合闸速度降低,预击穿时间相应延长,加剧触头电磨损,从而降低真空灭弧室的电气寿命。严重时,预击穿电弧甚至可能导致动静触头出现熔焊点,影响下次分闸操作的安全,使得断路器开断性能无法保证。而分闸速度降低,同样会严重影响开断性能。由此可见,配合常规断路器机构的真空灭弧室由于操作机构本身设计的局限性,其机械操作寿命和电气性能要求的影响因素会相互作用,难以同时大幅度优化。因此,市场上绝大多数真空断路器在有限的保养下,操作寿命仅达30 000次左右。

2. 可靠性与运行连续性的矛盾

真空断路器的运行寿命普遍能达到20年以上。对于在断路器的设计使用寿命内,在一些典型的频繁操作的应用场合,如电容补偿系统及钢厂电弧炉供电系统等,断路器操作次数可能达到数万次甚至数十万次,远远超出普通断路器机械寿命的需求。使用常规操作机构的断路器,在此工况下,除考虑一般的潮气、粉尘等环境因素外,机构部分运动零部件磨损大。因此,在一定操作次数后需对断路器进行精心的维护保养作业,甚至更换主要零部件,才有可能让断路器达到较长的操作寿命。尽管如此,在断路器操作寿命的后期,设备的故障概率仍会明显升高,不利于设备安全、可靠运行。

维护保护作业包括对操作机构的润滑、机械特性参数的检测及调整、真空灭弧室及机构易损部件的更换等。由于是深度作业,需要较长的系统停运时间,不仅影响生产效益,还需额外花费大量的人工及材料成本。因此,对于频繁操作的应用场合,延长维护保养间隔周期,减少维护保养工作量,对于使用者来说,有着重要意义。而现今市场上应用的长寿命断路器,要确保其达到额定操作寿命,要求的维护保养工作量仍较大,并且其维护保养间隔周期必须严格按产品要求进行,尚无法满足客户期望。

同时,对于工业生产的场合,对于重要负荷而言,如钢厂电弧炉,其供电系统的可靠性直接影响生产效益。因此,考虑到其设备运行环境也较为苛刻,往往仍需安排较频繁的停运检修,以避免非预期事故停电,这就造成了不必要的产能损失。

因此,使用常规操作机构的断路器,尽管使

用各种改进方式,实际状况与用户需求仍存在较大的差距。

创新的伺服电动机操作机构

伺服电动机受输入信号控制,进行精确运动,并能将电动机转子的运行量转换为电信号送回给控制系统。故伺服电动机可实现速度、位置和力矩的闭环控制,具有响应快、控制准确度高、惯量小、转动平滑和力矩稳定等特点。伺服电动机系统已广泛应用于数控机床、机器人、印刷设备、包装设备、纺织设备和激光加工设备自动化生产线等设备。

由伺服电动机及数字信号控制系统组成的断路器操作机构,实现了分相控制,将各相的高准确度伺服电动机与真空灭弧室绝缘拉杆连接。通过数字信号控制系统,伺服电动机带动真空灭弧室动触头动作,完成断路器的合、分闸操作。伺服电动机控制系统可按照预设的理想机械特性平滑曲线,精确控制断路器动触头合、分闸行程,使断路器实际机械特性与理想特性保持一致。预设优化了的合、分闸机械特性,可同时满足断路器所需的较高的分、合闸速度,以快速建立绝缘及减少预击穿电弧时间和其导致的电磨损,以及通过伺服电动机优异的快速制动性能,将合、分闸操作过程中的机械冲击降低到最小。故配置伺服电动机操作机构的真空灭弧室可同时达到极长的机械和电气使用寿命。并且,真空断路器的合闸弹跳、合分闸不同期性、分闸反弹幅值等特性参数也得到优化,极大地提升了断路器运行的可靠性和系统的安全性。

图3和图4为伺服电动机机构断路器合、分闸特性曲线,在合、分闸到位后,动触头行程保持平滑,无过冲及明显振荡现象。

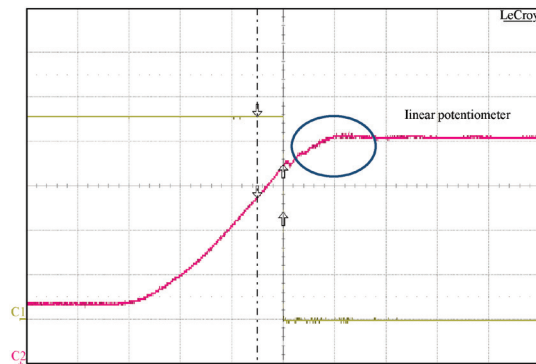


图3 伺服电动机机构断路器合闸特性曲线

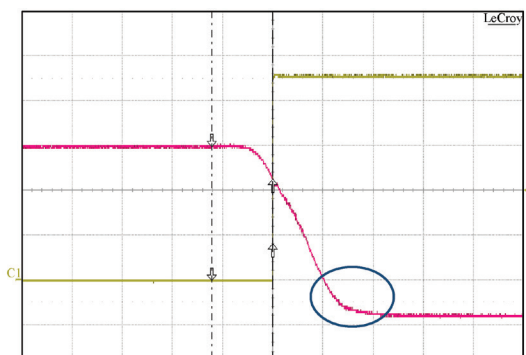


图4 伺服电动机机构断路器分闸特性曲线

伺服电动机的使用寿命，主要取决于其轴承。一线品牌的伺服电动机在额定工况下，其轴承寿命可达20 000 h以上，转换为断路器机构的操作次数，可远超过百万次，故伺服电动机机构用于真空断路器，具有极高的机械寿命。

伺服电动机本身固有的特性，可方便集成机械特性在线监测的功能。断路器每次操作，伺服电动机的反馈系统可将实际运行参数进行记录，并与预设的参数进行比较和自动校正。断路器的实际运行参数均有记录，可通过专用软件从伺服电动机系统控制单元下载，供技术人员分析。

ABB在2018年7月正式发布了一款适用于35 kV电弧炉供电系统频繁操作的伺服电动机操作机构断路器（VD4-AF），其伺服电动机系统采用工业电机的领导者、ABB葆德生产的伺服电动机系统，断路器的操作寿命可长达150 000次以上，是常规断路器的5~10倍。事实上，第一台VD4-AF自2017年在美国的钢厂试运行至今，以每周1 000次左右的操作频次运行，已超过60 000次操作。

VD4-AF断路器在其操作寿命内，仅需要极少的维护，避免了传统机构需要的定期更换核心承力零件及真空灭弧室带来的停电效率损失。

同时，此伺服电动机机构断路器内置先进的自诊断功能，可帮助用户实现基于设备状态的检修模式，提高设备可用性，从而提高了电弧炉的生产效率。

以往对开关柜和断路器检查主要是在设备交接及停电期间结合检修定期进行预防性试验。随着电气设备检修技术的发展，断路器的检测技术已从离线周期性检测逐步往在线监测发展。智能监测系统能对断路器的操作机械特性进行诊断，有异常时能及时报警，不仅可以极大地提升系统的安全可靠性，同时机构的维护保养工作可以根据监测系统诊断结果来安排进行，维护保养策略可以从定期维护保养提升为按设备状态进行维护保养，极大地提升用户的运行效率。

结束语

常规机构真空断路器对于长寿命频繁操作需求下的技术局限性，如合、分闸机械冲击力大，真空灭弧室寿命受限，维护保养工作量大、维护保养间隔周期短等，在伺服电动机操作机构中都可以得到圆满的解决。

伺服电动机操作机构还可做到分相控制，在与系统一次电压同步的情况下，在电容补偿、谐波过滤系统、大容量变压器投切时，可明显降低投切过程中暂态涌流及较高的操作过电压的影响，提升系统的安全性。

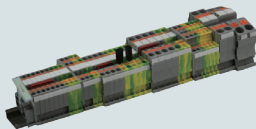
伺服电动机操作机构还可提供操作机构的智能化方案，可支持基于设备状态的检修方案。

伺服电动机机构真空断路器在这些特定应用中，与常规真空断路器相比具有独特的优势。EA

（收稿日期：2019.07.29）

（编辑：朱金凤）

上海友邦电气（集团）股份有限公司 UJ6系列快插式接线端子



该产品是上海友邦电气集团成功自主研发连接系统的新一代接线端子，采用特殊弹簧，接线只需轻松插入，弹簧自动将导线与导体锁紧，两者紧密接触，拆线时，按动释放按钮到位，即可轻松拔出导线，接线快捷、安全可靠、抗振动且免维护。

UJ6系列接线规格从1.5~35平方，产品类型及规格齐全，有接地型、双层型、单进双出线、双进双出型和熔断型等，适合各行各业的接线场合，尤其适用于振动场合。

UJ6系列产品抗冲击和耐腐蚀性能符合当前船级注册标准，通过了过程控制领域增安级认证，并且具备自锁功能，拉拔力大于标准的2~3倍以上。UJ6系列快插式接线端子具备快捷连接、高效稳定、安全可靠、省工省时和功能多样等优势。