

中压真空断路器的智能化和可靠性研究

■ 顾丕骥

1977年,由北京电管局和北京电力试验研究所主持,在秦皇岛市铁庄变电站对额定电压为12kV、开断容量分别为8.7kA和17.3kA两个型号的真空断路器进行了投切电力电容器组试验,首次探索将真空断路器用作无功补偿电容器组控制元件的可能性。试验历时三天,取得了令人满意的结果,产品随即投入试运行,这也是真空断路器在国内电力部门的变电站首次投入运行,于今正好三十年了。三十年后的今天,真空断路器在中压领域已经取得了无与伦比的地位,这不仅仅是由于其使用数量的巨大,还因为①处于第二位的SF₆不但综合技术经济指标稍逊,还有可能会受到京都议定书的制约而受到影响;②电力电子器件在中压大电流领域尚无竞争能力;③迄今为止新的有价值的灭弧、绝缘介质仍未出现。唯其如此,业界一如既往地将其巨大的热情投向对真空断路器的设计和工艺改进,以扩充功能,提高可靠性。其中的两个最重要的技术课题便是密封极柱与新型操动机构在真空断路器的应用。

当然,与其它产品一样,真空断路器在这一方面的发展成功与否,最终将取决于市场需求与技术经济上的可行。上述密封极柱与新型操动机构这两项新技术时下正在接受技术和市场两个方面的检验。实际上我们已经看到由于密封极柱的应用,真空断路器的结构变得更为合理,生产更加集约化,从而提高了产品的可靠性;而新型操动机构的应用,则更是为真空断路器可靠性的进一步提高和实现智能化开辟了一条通途,并因此而产生了我们称之为“智能断路器”的新一代中压产品。本文将对这种智能断路器进行初步的讨论。所谓“初步”是因为我们现在所看到、想到和做到的,相对于智能断路器的发展前景

来说,仅仅是蝌蚪之于蛙群,春笋之于竹林。越来越多的人相信,随着信息技术和新型电子元器件的迅猛发展,智能断路器必定会在明天让我们亲身体验今天还难以准确描述的强大功能。

一、智能断路器(ICB)

ICB(Intelligent Circuit Breaker)意指具有一定人工智能的断路器,故我们称其为“智能断路器”。从本质上说ICB是一种机电一体化设备,是一个同时包含有弱电(信息流)和强电(能量流)的复杂开关设备。是目前中压真空断路器(VCB)技术发展的重要方向。

因为可以纳入中压真空断路器的“人工智能”内容实在太多,作为当前这一阶段,我们不妨通过对使用部门未曾实现的夙愿的研究,来探索哪些功能更适合于今天的ICB。大致来说我们可从以下四个方面入手:①从提高断路器的运行可靠性出发,深入研究其劣化规律,在设计和工艺上努力减缓其劣化过程的同时,还要准确探知并预测其劣化程度,以便及时采取措施,避免故障的发生;②适当扩充断路器的控制保护功能和记录功能,以能在故障发生前预先发出警报,万一故障发生,也因为已经做好了必要的纪录,便于进行事故分析;③实现真空断路器的相控操作;④对于一些特殊的使用场合,可在接到指令的1至数毫秒内,实现真空断路器的快速分闸。

本文所称的ICB特指配有永磁机构、具有一定人工智能的中压真空断路器。“永磁机构”系指以利用永磁体的吸合力使断路器保持在合闸状态为特征的断路器操动机构。由于ICB可接受数字化指令,取消了传统的机械锁扣,且在其操作时,动触头的运动速度可以通过由微机控制电磁线圈电流的方式进

行调整,这就可使断路器的操作,包括其机械特性曲线更加理想化,其总体结构也变得更为简洁、明快,同时还因为永磁机构本身的特点,易于为每个真空灭弧室配置独立的操动机构。

根据对断路器功能要求的多寡不同,ICB 可有两种不同的总体设计方案:

1. 三极联动操作型(以下简称 VBG 型):

利用机械或电子装置,使断路器 3 极的 3 个真空灭弧室同时进行合闸和分闸操作的 ICB。此类断路器可以使用 1 个操动机构,通过传动轴驱动 3 个真空灭弧室;也可使用 3 个操动机构,由电子装置,或电子装置结合机械装置,一起来控制 3 个真空灭弧室使之同时合分。

2. 三极分立操作型(以下简称 IBG 型):

在实际应用中,由于负载的特征阻抗不同,为取得最佳的合闸或分闸操作效果,人们往往希望断路器各极能在其各自所在相的特定的电压或电流相位角关合或打开,在这种情况下,断路器 3 极的 3 个真空灭弧室必须由 3 个操动机构分别按一定时序驱动,以在控制器的控制下,对各极进行精确操作,这便是我们所称的相控操作。具有这一功能的断路器称相控断路器或同步断路器,相应的,这种操作称相控操作或同步操作。

二、ICB 的主要功能

作为具有一定人工智能的断路器,ICB 应该具有①感知能力,以获取必要的信息;②思维和决策能力,正确处理获得的信息;③执行能力,进行准确操作;④学习和提高能力,在运行中自行优化各项功能。

就目前 ICB 所发展的水平而言,VBG 系列的 ICB 大致可以具有以下 6 项功能(具体内容有待进一步斟酌和补充):

1. 运行时的监测、诊断和记录,如:

a. 运行状态显示和记录:工作电压、合分闸指示、操作次数、时钟等。

b. 特性指示和自我诊断:合闸时间、分闸时间、机械特性曲线、操作电流曲线、动作时的电压曲线等的显示、记录和比对。

c. 异常时的报警和录波。

2. 系统参数的测量和记录,如:

a. 系统电压:U_a、U_b、U_c 数值和波形等。

b. 负荷电流:I_a、I_b、I_c 数值和波形等。

c. 谐波。

d. 功率因数(cosφ)、有功功率(P)、无功功率(Q)。

e. 频率。

3. 信号数字化,通讯网络化:

参量和指令全部数字化,断路器自身带有 RS232 / 485 标准通讯接口或光纤通讯接口,可与多种通讯网络连结,向上一级监控或调度系统传送信息和接收指令。

4. 控制保护,如:

a. 自动重合闸设置。

b. 速断保护;反时限或定时限保护。

c. 过压、失压保护等。

5. 长寿命、高可靠,延长断路器的检修周期:

近年来,由于永磁机构、真空灭弧室、绝缘件及辅助开关等各项元器件制造技术的飞速发展,ICB 的机械寿命与电寿命(包括灭弧室的寿命在内)可在 3 万、6 万、10 万次任意选择。而且只要有需要,更长的寿命,比如 20 万次也可以做到。

6. 可以进行 3 极联动的在设定的某一相的电压或电流相位角同时关合或同时打开:

可要求断路器的 3 对电极在设定的某一相相位角同时关合或同时打开,并保证一定的精度,这一操作与前述 IBG 的三极分时序的相控操作有所不同。

IBG 系列的 ICB 具有更加完备的功能,除了上述 VBG 具有的的功能外,还可将其第 6 项“3 极联动的操作”改进为 3 极各自进行独立的相控操作,这样就可根据负载性质的不同,实现负载的理想关合和开断,这些功能是:

7. 容性负载的相控关合。

a. 控制无功补偿电容器组:无涌流关合电容器组,可提高电容器寿命,降低合闸涌流对系统的冲击。

b. 关合空载长线:可消除合闸涌流和过电压。

c. 关合电缆:可消除合闸涌流和过电压,使城网入地后不必担心长距离电缆的关合。

8. 感性负载的相控关合。

关合无载变压器;实现无涌流关合。

关合电动机;每次均可实现最小涌流的关合。

9. 降低电弧能量、增大开断能力、延长断路器电寿命的相控开断。

合理控制燃弧时间,可降低触头电磨损,并增大灭弧室的开断能力。

10. 降低开断感性负载时截流值的相控开断。

特殊设计的相控开断还可以避免三相系统中在开断感性负载时,后开两相的双断口串联开断,以有效地降低截流值,从而降低了截流过电压。

11. 在进行相控操作时,以设定值为基准,对 ICB 关合时的电压相位角和触头分离时的电流相位角实施自动跟踪,以修正因时空变化所可能产生的操作相位角漂移。

三、对 ICB 机械特性的要求

进行相控操作是 ICB 的一个重要特点,由于永磁机构采用了微电子控制技术,使断路器获得了较为理想的机械特性,从而使相控操作有了保证。具体地说,为满足相控操作的要求,ICB 应具备以下特性:

1. 完美的合分闸特性曲线。

GB1984 已经将断路器的合分闸特性曲线作为一项考核指标,应用微电子控制技术的永磁机构,可以使断路器获得近乎完美的特性曲线。

2. 精确的合分闸时间。

ICB 的相控操作精度取决于:系统电压或电流的相位角测量误差、运算误差、断路器预击穿时间分散性、断路器的合分闸时间精度等诸因素。一般认为在进行相控关合和相控开断时,如操作精度达不到 $\pm 1\text{ms}$ 时其意义便不大了。因此 ICB 的合分闸时间精度不宜超过 $\pm 0.5\text{ms}$ 。

特殊设计的应用斥力盘的 ICB,其分闸时间甚至可以达到 1ms ,相应地,分闸时间精度可以保持在 0.5ms 以内。

3. 实现合闸无弹跳。

引起合闸弹跳的原因是多方面的,无弹跳的合闸可确保关合精度。

4. 寿命期内保持触头开距与触头接触行程的稳定性。

一台性能优异的 ICB,在寿命期内触头开距与触

头接触行程数值应控制在规定的范围之内,且两者之和为常数。这就不仅要求灭弧室触头电磨损量小,同时还要求所有传动零件磨损轻微,以使各传动节点的间隙基本保持不变。

四、实例

业界对永磁机构在断路器上的应用已经关注多年了,通过型式试验并投入运行的产品也为数不少,这期间高校和研究所的理论研究与引领作用居功至伟,南京会议和舟山会议起到了巨大的推动作用,这些都为制造业提供了很大的帮助,时至今日已有许多型号的这类产品取得了不俗的运行业绩。多年来,我们与同道多方合作,致力于在真空断路器上应用永磁机构,并将其发展为 ICB,取得了一些成绩,虽然产品大多还在开发之中,也已有 2 个产品已经通过型式试验并投入运行,现对这两个产品简述如下:

1. VBG 12/1250-31.5 型断路器

KYN28 柜量大面广,深受用户欢迎。采用单个永磁机构三极共轴的 VBG 12/1250-31.5 型真空断路器,其安装尺寸完全等同于 ZN63,可以直接用于 KYN28 柜而无需将其改动。刚刚在西高所检测中心完成的型式试验表明,这款产品达到了产品标准规定的各项要求。作为 VBG 系列的产品,在前述的 6 项功能中选定了若干项功能。2 年前投入试运行的产品主要以其 10 万次的机械寿命和电寿命,且不必更换灭弧室,受到行家的注目。其运行参数的纪录功能,也给用户带来了很大的便利。

2. IBG 27.5 型相控断路器

用于电气化铁道机车电源转换的相控断路器是一个较为特殊的产品。电力机车的额定电压为 27.5kV ,由 $126\text{kV}/27.5\text{kV}$ 牵引变压器供电,2 台牵引变压器之间的最大距离一般不超过 50km ,行驶中的电力机车必然要在 2 台牵引变压器之间或同一台变压器的 2 相之间进行电源切换。这种切换可以由机车上的司机完成,但此时司机劳动强度高,容易出错,造成行车事故。即使不出错,司机人工切换也必然会降低行车速度,在陡坡、列车重载或高速行驶的情况下,影响更为严重。如果应用开关进行自动切换,则所选用的开关至少需满足下述 2 项要求:

①由于每过一趟列车开关至少动作一次(若列车首

尾均配置了牵引机车则为2次,如秦岭段上坡时),所以开关必需具有超长的机械寿命、电寿命和很高的可靠性,铁路方面希望开关的寿命能达到甚至超过10万次,且在寿命期内可以免维修、少维护;②开关在合闸操作时,关合时的系统电压相位角须与机车受电系统的特征阻抗相位角相接近,以避免过大的关合涌流,如果做不到这一点,而又需频繁进行电源切换,则126kV/27.5kV变压器的保护难以设定,往往不是保护不足,便是虽属正常关合,但保护开关已因涌流而误跳。

IBG 27.5型铁道专用相控断路器很好地满足了这2项要求,并自2004年12月正式在宝鸡南的杨家湾站投运,每天动作约150次,至今历时2年半,运行良好,深受铁道部门的好评。并继杨家湾站之后,又先后开通了咸阳西、桥南、南梁、观音山等站,更多的项目正在陆续安排实施。除长寿命、相控关合这2项功能外,其余各项功能,有的已经实现,有的正在研究、开发之中。

结语

真空断路器的固封极柱和永磁机构两项新技

术,犹如一对同日降生的孪生兄弟,为真空断路器的进一步深入发展提供了条件,尤其是永磁机构,更是真空断路器实现智能化不可或缺的一块基石。然而时至今日,相比之下固封极柱在设计、工艺与应用方面要比永磁机构成熟得多,并已成为业界普遍看好,甚至行业标准也呼之欲出;而永磁机构由于在功能设定、设计、工艺与应用研究方面还存在着大量的欠缺,不但业界对其褒贬不一,连其称谓也并不是被普遍接受。这一状况表明,对于配有永磁机构的ICB我们要做的工作还有很多。我们热切地关注着:这一功能近乎可以无限扩展,而又非常宜于个性化、专项化设计的智能断路器,何时才能被认为已经克服了其幼年时代所呈现的技术上的缺点、弱点?何时才能充分开发出其自身的与生俱来的优势并充分发挥其作用?换言之,它何时才会成为一个引领一代的新秀,并为时尚所青睐呢?或许只有到那时,这种具有一定人工智能的断路器才会被我们比较准确的认知其价值。

(作者——施耐德(陕西)宝光电器有限公司)