

[电气系统]

一种能抑制投切暂态的智能开关设备应用研究

文/南方电网公司深圳供电局有限公司 王伟 杨振洪 汪鹏 廖伟兴

随着我国电网智能化建设的推进，智能型开关设备的大量采用是大势所趋。目前电网使用常规开关设备在投切并联电容器组、并联电抗器组和变压器等非线性负载过程时会产生较大的涌流和过电压，给电网及设备安全稳定运行带来严重危害。提出了一种新型智能化开关设备，通过实现负荷投切过程精确控制和执行，达到抑制投切暂态的目的。结合目前国内行业的发展动态，就该智能开关设备的功能特点及现场应用效果进行分析，验证了该项技术的可实施性及有效性，为中国电网智能化建设做出积极有意义的探索。

在电力领域，智能开关发展迅速，开关智能化主要是开关电器实现人工智能的过程，包括检测、控制与执行3个方面的工作。前两个方面工作相关的理论和实践都比较丰富，也取得了一些显著的成效。而目前的“瓶颈”问题是“行之有效的执行功能”。

目前电网非线性负荷随机控制执行分合闸操作产生的合闸涌流和过电压给系统其他设备的可靠性和安全运行造成威胁，而且影响开关自身的寿命和可靠性，特别是故障电流的随机分断。电网不同的工作状态(短路故障和正常操作)和不同负荷(电容器、并联电抗器、空载变压器和空载线路等)下要求的开关操作特性是不同的，开关的智能控制、执行需要深入到开关本体的操作性能上，根据电网信息或控制室信息判断是否动作、开关动作时刻和目标相位，从而避免因现有开关的单一的随机分合闸特性所带来的一些弊端。

中压开关设备智能化的现状

目前进行一次设备智能化研究工作的设备厂家主要是国际厂商，如ABB、西门子、三菱、东

芝和阿尔法等，上述厂商同时具备一次设备的生产能力和二次设备的开发能力。其开关设备即在设计之初，就已经考虑把智能传感器、控制设备融入开关，结构更加紧凑，设计更加合理，绝缘更加可靠。国内高压领域也引进了相关技术，实现了核心技术的国产化，并在应用上取得了良好效果。

近年来，随着电网智能化建设的深入推进，配电网在整个电网建设中的地位日益突出，成为智能电网建设投资的重点。开关设备作为配电网的基础设备，其智能化发展是变电站综合自动化、配电网络自动化的基础，在智能电网建设中处于核心地位。新一代智能配电网的建设对开关新技术和新产品提供了更大的需求，环保、免维护、高可靠性和智能化成为新一代配电开关的发展方向。

开关设备智能化的关键技术

以下几个方面可作为我国开关设备智能化的关键技术。

(1) 能自动适应负荷特性进行智能控制和操作

智能开关设备应根据分合闸命令时电网信息和所控制负荷支路类型，控制开关触头在最佳相位关合或分离，以减少开关合闸操作的涌流和过电压，消除分闸重燃过电压，提高开关的开断能力和系统可靠性。

(2) 开关本体具备三相独立操动并精确动作的能力

要实现灵活的开关关合和分断，首先要求开关的操作机构必须是三相可独立操作的；其次在进行选相操作时，为了实现每相精确的相位控制，要充分考虑开关断口的绝缘特性、分合闸动作特性以及控制系统的精度等关键因素。目前常规中压开关设备都是三相联动控制，且因为操作机构的缺陷及分合闸离散性难以控制，无法实现灵活的合、断。

(3) 一、二次设备高度融合

将传统的二次设备保护、测控功能与一次设备原有的功能融合，在开关设备即在设计之初，就考虑把智能传感器、控制设备融于开关。一、二次设备高度融合的好处：一方面使一、二次设备布局更加紧凑，节省安装空间；一方面功能设计更加合理，可拓展出更加高级智能的应用。在最大意义上发挥一、二次设备的功用的同时，可最大程度减少因不同设备不同厂家差异化设计的弊端。

(4) 在线监测及自诊断技术

开关控制器对开关操动机构、环境温度、操作电压和操作回路的实时在线监测：不仅完成对

开关的闭环控制，实现对执行机构产生的离散性误差的自适应补偿，保证开关设备的执行精度；同时可将开关的运行状态和动作过程数据实时上传，在用户端实现更加高级的系统诊断应用。

在线监测为实时监测开关设备的运行状态，对可能发生的故障进行预警，可提前采取措施防止故障的发生，提高高压开关设备运行的可靠性；在线监测可为状态检修提供支持，取代传统的定时检修，减少运维工作量。

(5) 支持IEC61850规约，满足智能变电站系统接入条件

IEC61850标准是基于“同一个世界，同一个标准”的理念提出的，它为变电站内不同生产厂家的设备间功能交互提供了统一的规范。作为智能开关设备，除了自身的功能强大以外，还需按照标准的方式完成自身功能及接口的自描述，规范设计设备本身的通信、采样和输出方式，方便与不同厂家设备间进行功能交互，共同完成系统设计的功能，满足智能变电站系统的接入条件。

应用方案及功能特点

介绍一种能抑制投切暂态的智能开关设备——GLS-200智能相控断路器，该开关设备是断路器选相控制技术向中压系统进行延伸的智能化开关设备，用于35 kV及以下中压系统电力电容器、电抗器等特殊负荷支路的投切控制。基于中压系统的现场应用特点，设备采用了一套一、二次设备集成解决方案，如图1所示。

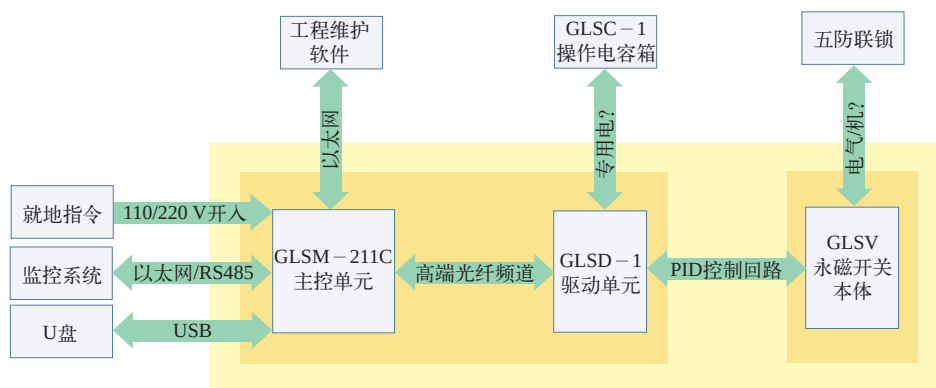


图1 GLS-200智能相控断路器解决方案示意图

方案由主控单元、驱动单元、磁开关本体和工程维护软件4大部分组成。其中，智能主控单元的核心技术——选相控制技术，已经在国内高压领域得到验证并应用。智能主控单元集成了中压继电

保护和测控功能；GLSC-1操作电容箱为断路器提供操作能量，GLSD-1开关驱动单元实现永磁真空断路器的分合闸驱动控制，并通过软件动态补偿（PID闭环控制）确保断路器分合闸动作精度控

制在±0.5 ms以内。主控单元和驱动单元采用高速光纤互连，通信链路采用纯硬件控制，分合闸传输命令延时固定在0.025±0.015 ms范围内，很好地解决了实时性和可靠性的矛盾。驱动单元将断路器的状态数据回采给主控单元，主控单元将其存储在本地。用户及工程维护人员通过上位机软件提取录波文件，录波数据可以分析出断路器分合闸过程中的机械特性以及一次回路电压电流变化情况，方便了解开关设备的运行状态和控制效果。系统还设计了自检功能，实时在线对主控单元与驱动单元连接的光纤通道，以及驱动单元与开关本体的驱动回路进行监控，回路断线等异常工况可以自动上传至监控系统，极大地减少了现场运行维护工作和缩短了开关本体故障的反映时间，大幅提高现场设备故障的处理速度。

在现场应用试验中，该智能开关设备按照

IEC61850规约建立模型完成了设备自描述，并与后台及远动装置通信，实现开关设备的遥信和测量的实时上传，并通过MMS控制服务实现了调度或后台的遥控开关设备的操作。

现场应用及效果分析

为验证智能相控断路器的应用效果，设计了一套智能相控断路器与常规断路器投切电容器组的效果对比实验方案，在深圳供电局某110 kV变电站实施。本试验对象为主变压器10 kV侧2C2电容器组，其额定容量为8 016 kvar，接线方式为Y-Y，接有电抗率为6%串联空芯电抗器。断路器采用常规真空断路器与相控断路器串联的方式，被试断路器编号为2C2和2C2XK。

投切对比试验方案示意图如图2所示。

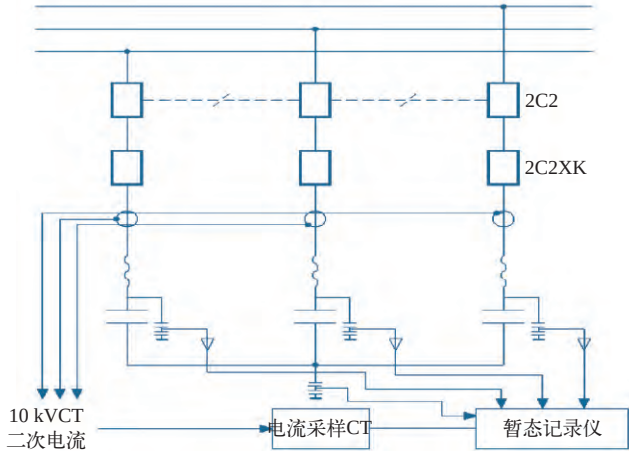


图2 投切对比试验方案示意图

试验开关是由2C2开关和相控开关2C2XK串联组成，在试验过程中先让相控开关2C2XK始终处于合位，用2C2开关投切电容器5次，再让2C2开关始终处于合位，用相控开关2C2XK投切电容器

5次，通过暂态录波仪记录每一次分合闸回路电流及电容器端电压实时采样数据。对比录波数据，分析试验结果。2C2电容器投切试验对比结果如下表所示。

表 2C2电容器组投切实验数据最大值对比（暂态峰值/稳态峰值）

开关编号	合闸涌流				操作过电压		
	A/ (A/ p.u.)	B/ (A/ p.u.)	C/ (A/ p.u.)		A/ (V/ p.u.)	B/ (V/ p.u.)	C/ (V/ p.u.)
2C2	2.662 A/4.55	2.628 A/4.50	2.610 A/4.46	合闸	120.4 V/1.43	118.0 V/1.40	104.1 V/1.24
				分闸	113.0 V/1.35	110.4 V/1.31	84.0 V/1.0
相控 (2C2XK)	1.030 A/1.76	1.055 A/1.80	0.755 A/1.29	合闸	101.7 V/1.21	91.6 V/1.10	85.5 V/1.07
				分闸	113.0 V/ 1.35	111.3 V/1.32	84.0 V/1.00

从上试实验结果表明：采用2C2关合电容器时产生涌流最大可达到额定电流的4.55倍，合闸操作过电压最大可达1.43倍；而采用2C2XK关合电容器

时的涌流抑制在1.8倍以内，合闸操作电压控制在1.21倍以内，合闸涌流和合闸操作过电压抑制效果明显，分别降低了近70%和30%。2C2XK开断电容

（下转第72页）

锁定状态的自动闭锁机构如图4所示。

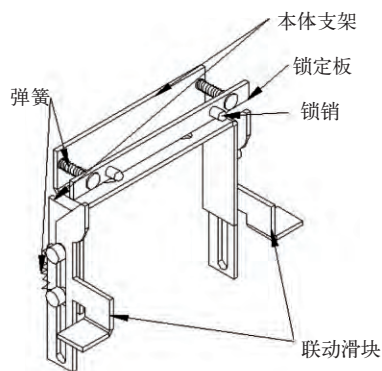


图4 锁定状态

解锁状态的自动闭锁机构如图5所示。

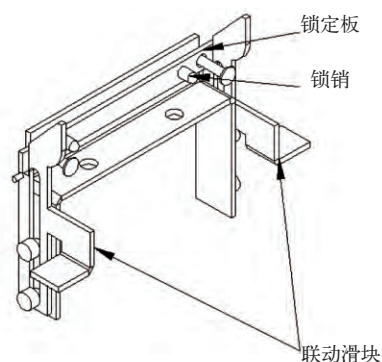


图5 解锁状态

活门自动闭锁装置的安装

活门自动闭锁装置是由活门机构和加装的一套自动闭锁机构结合而成的，所以活门闭锁装置的安装方式有如下两种。

1) 全新安装。在工厂制造柜子时候将全套的活门机构及自动闭锁机构整体安装到柜子上，调试完成后实现活门的自动闭锁。

2) 原柜整改。将活门自动闭锁装置的一部分—活门闭锁机构安装到原有柜子上的活门机构当中，与原有柜的活门机构组合成一套自动闭锁机构。不需要对原有柜子作大改动，只需要在原有活门机构上打2个孔，就可以用螺栓直接将自动闭锁机构与活门机构结合在一起。经过调试就可以实现自动闭锁的功能。不用整体换装整套机构，改造方便、快捷且经济。

结束语

所述活门自动闭锁装置结构简单可靠，安装方便快捷，在开关柜检修时对带电部位进行有效可靠的自动闭锁隔离，有效解决开关柜检修时活门可自由打开的问题。EA

(收稿日期: 2015.12.07)

(编辑: 刘群点)

(上接第65页)

器时产生的分闸操作过电压与2C2产生的分闸操作过电压数值都在安全范围以内，试验过程时两种断路器均未发生重击穿现象。2C2XK断路器采用选相控制的方式投切电容器，对投切过程中的涌流和过电压起到了较好的抑制作用。

应用的意义及前景展望

提到了智能开关设备解决方案，其实现及应用的意義主要如下。

1) 保留和发展了已实现的开关智能化的检测、保护、控制、状态监控和通信的功能，并以此为基础向全面智能化发展。

2) 实现了选相分闸控制，控制开关的实际燃弧时间，使开关触头在最有利于熄弧的相位分离，不受系统燃弧时差要求的限制，可避免分闸重燃并大大提高开关的实际开断能力和寿命。

3) 实现了选相合闸控制，减小了合闸涌流和暂态谐波，降低合闸操作过电压，可提高系统可靠性和用户电能质量。

4) 实现了一、二次设备功能的融合，使二次设备的控制和保护功能设计得更加完善，完备的系统自诊断功能也使得一、二次设备的运维和检修工作量大大降低。

随着智能开关设备相关技术的不断成熟，国内相关行业标准及应用规范不断完善，这些智能化开关设备产品的应用将使供电可靠性提高，监测能力增强，故障后恢复供电速度加快，降低系统设备绝缘要求和设备投资，运行维护更加经济方便，也将为中国智能电网的建设打下坚实的基础。EA

(收稿日期: 2015.12.18)

(编辑: 刘群点)