

「断路器」

大容量短路电流开断装置用高同步并联两柱SF₆断路器的研制

文/西安西电高压开关有限责任公司 张延超 南振乐 古王荣 贺峰辉 张黎阳 冯亮亮
西安高压电器研究院有限责任公司 武胜斌

介绍了大容量短路电流开断装置用高同步并联两柱SF₆断路器的研制背景、工作原理、主要结构、特点及研制情况。本产品的研制成功可以为大容量短路电流开断装置的研制提供有力的基础支持，为电网超出现有断路器开断能力的大容量短路电流有效开断提供一种新的解决方案。

随着我国电力工业的高速发展，城市供配电网网络的容量日益增大，在电力系统中的短路电流值超出现有断路器开断能力的现象已经出现，如，广州某个500 kV变电站220 kV部分理论计算短路故障电流可达80 kA。但目前普遍使用的单体常规高压交流断路器已难以安全可靠地开断系统中出现的这些大数值的短路电流。大容量短路电流开断装置正是为了满足电网发展对开断超大容量短路电流的迫切需求，是借助具备自动均流功能的高耦合分裂电抗器（High Coupled Split Reactor, HCSR）与高压SF₆灭弧室并联开断技术相结合的技术手段，来实现220 kV、80 kA短路电流的有效开断。从而解决当前单体常规高压交流断路器开断超大容量短路电流能力不足的问题，为电网的安全稳定运行提供保障。

大容量短路电流开关装置主要由高耦合分裂电抗器（HCSR）与高同步并联两柱高压SF₆断路器串联组成，重点从产品工作原理、结构、主要技术参数和试验验证方面介绍高同步并联两柱高压SF₆断路器的设计与研制。

产品结构

1. 大容量短路电流开断装置的工作原理

针对现有大容量短路电流的出现，华中科技

大学提出的一种基于高耦合分裂电抗器的断路器并联开断技术，工作原理图如图1所示。图中圆圈中的设备为高耦合分裂电抗器（HCSR），方框中的设备为高同步并联两柱高压SF₆断路器（CB）。正常工况时，流过两个支路的电流相等，则会在两个支路中产生大小相等、方向相反的磁通，所以，耦合电抗器整体只表现出阻抗值很小的漏阻抗；若流过两个支路的电流不相等，则两个支路中的电感线圈中感应交变的电动势可强制两个并联支路均流。当电网系统中发生短路故障时，HCSR也会将短路故障电流平均分配到两个并联的支路中，随后，并联两柱高压SF₆断路器的两个灭弧室就可以分别可靠地开断所在支路中的短路电流。

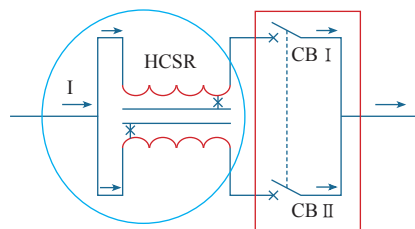


图1 大容量短路电流开断装置原理图

I—短路电流 HCSR—高耦合分裂电抗器 CB I—灭弧室 I
CB II—灭弧室 II

2. 高同步并联两柱高压SF₆断路器的设计

高同步并联两柱高压SF₆断路器是基于高耦合分裂电抗器自动均流技术的大容量短路电流开断装置中的短路电流开断设备，为并联了两柱瓷柱式灭弧室的断路器结构。因为基于HCSR的自动均流限流并联开断技术对并联两臂的一致性和同步性有较高要求，所以，高同步并联两柱高压SF₆断路器设计的重点工作有下面几点。

首先，所设计的高压断路器并联的两柱断路器灭弧室选用了结构完全相同的灭弧室，以保证产品并联两柱的电气性能一致性。

其次，并联的两柱灭弧室的机械操作方式有电气联动和机械联动两种方式可以选择。电气联动操作方式为每极断路器中的两柱灭弧室分别配用一台操动机构进行分、合闸操作，两台操动机构间的同步方式采用电气联动。机械联动操作方式为配用一台操动机构驱动并联的两柱灭弧室进行分、合闸操作，两柱灭弧室间的同步方式为机械联动。由于所论述的并联均流开断技术对产品并联两柱灭弧室间机械特性的一致性和高同步性要求，电气联动操作方式采用的机构数及电气元件数量较多，因此操作的分散性较大，且可靠性不够高。而机械联动操作方式则能够很好地满足上述设计要求，所以本产品两柱灭弧室间的同步方式采用机械联动方式。最终确定的产品设计方案为：并联布置的两柱灭弧室装配在一个共同的底架上，共用一台液压弹簧机构通过传动系统的连接实现两柱高同步机械联动操作。主要结构如图2所示。

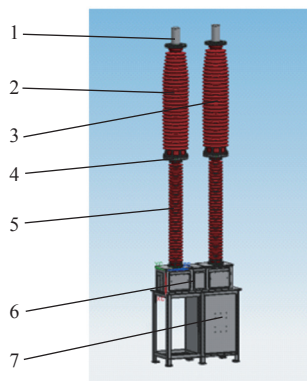


图2 高同步并联两柱高压SF₆断路器单极结构示意图

1—上接线端子 2—灭弧室Ⅰ 3—灭弧室Ⅱ
4—下接线端子 5—支柱绝缘子 6—传动系统
7—液压弹簧操动机构

(1) 断路器灭弧室结构设计

高同步并联两柱高压SF₆断路器的灭弧室部分

采用常规产品“LW15C-252/Y5000-63高压交流瓷柱式SF₆断路器”的灭弧室结构；该灭弧室采用自适应灭弧原理，灭弧原理如图3所示，压气缸中的SF₆气体一方面通过压气缸的分闸运动得以压缩，另一方面利用电弧能量提高压气缸内SF₆气体压力，在断路器分闸期间，高压SF₆气体通过喷嘴被集中吹到动静弧触头之间产生的电弧上，使电弧能够有效地冷却并熄灭。

该灭弧室结构简单成熟，开断短路电流性能优良，单个灭弧室具备可靠开断63 kA短路电流的能力，已有多年的实际运行经验。

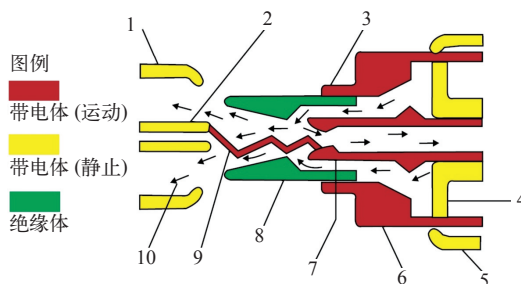


图3 灭弧原理图

1—静主触头 2—静弧触头 3—动主触头
4—活塞 5—静触指 6—气缸 7—动弧触头 8—喷嘴
9—电弧 10—SF₆气体

(2) 断路器传动系统设计

大容量短路电流开断装置采用的是两柱灭弧室并联开断技术，这就对并联的两柱灭弧室机械操作特性的一致性和同步性提出了更高的要求。所以断路器的两柱灭弧室操作采用机械联动设计。

断路器的传动系统采用双摇杆四连杆机构，该传动系统结构简单、可靠，效率较高，工作原理如图4所示。操动机构驱动传动拐臂的转动，从而实现灭弧室的驱动，两柱间采用水平拉杆连接，实现了并联两柱灭弧室间的机械联动，保证两柱灭弧室间机械特性的一致性和机械操作的高同步性。其传动过程为：操动机构输出连板驱动主拐臂转动，主拐臂驱动同轴的灭弧室Ⅱ驱动拐臂和两柱间传动拐臂同时转动，一方面，灭弧室Ⅱ驱动拐臂通过连板驱动灭弧室Ⅱ做直线分、合闸运动；另一方面，两柱间传动拐臂通过两柱间传动连杆、两柱间传动连杆的传动驱动两柱间传动拐臂与其做同步转动，两柱间传动拐臂驱动同轴的灭弧室Ⅰ驱动拐臂转动，灭弧室Ⅰ驱动拐臂通过连板驱动灭弧室Ⅰ灭弧室Ⅰ做直线分、合闸运动，从而实现了灭弧室Ⅰ与灭弧室Ⅱ两柱灭弧

室的高同步分、合闸操作。

其中，两柱间传动连杆和两柱间传动连杆双连杆结构的使用，可以实现断路器无论在分闸还是在合闸过程中，都有一根拉杆处于拉伸状态下，可以有效提高传动系统的稳定性，保证了断路器两柱灭弧室间机械特性的一致性。可大大减小断路器两柱灭弧室间分、合闸操作的不同期性，满足大容量短路电流开断装置技术规范要求的分闸操作不同期性不大于1 ms，合闸操作不同期性不大于2 ms的要求。

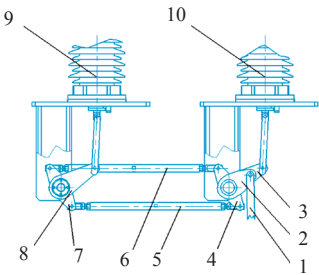


图4 传动系统

1—操动机构输出连板 2—主拐臂 3—灭弧室Ⅱ驱动拐臂
4、7—两柱间传动拐臂 5、6—两柱间传动连杆
8—灭弧室Ⅰ驱动拐臂 9—灭弧室Ⅰ 10—灭弧室Ⅱ

(3) 断路器操动机构设计

断路器的操动机构选用液压弹簧机构，液压弹簧操动机构是以碟簧作为储能介质、用液压油作为传动介质，容易获得高压。该机构具有动作快、反应灵敏、输出功大、免运行维护、操作噪声小及可靠性高等特点，出力特性和断路器负载特性匹配较好，可为断路器灭弧室的稳定性提供有力支持。其动作原理图如图5所示。

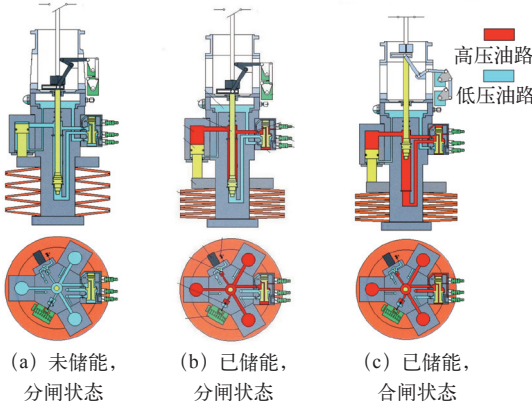


图5 液压弹簧操动机构动作原理图

主要技术参数

产品主要技术参数如表1所示。

表1 产品主要技术参数

序号	名 称	数 值
1	额定电压/kV	252
2	额定频率/Hz	50
3	额定电流/A	5 000
4	额定绝缘水平/kV	干试 对地 460
		干试 断口 460 + 146
		湿试 对地 460
		湿试 断口 460 + 146
		对地 1050
		断口 1 050 + 206
	并联两柱灭弧室间额定短时工频耐受电压	120
5	单柱额定短时耐受电流、时间/ (kA、s)	63、3
6	单柱额定峰值耐受电流/kA	160
7	单柱额定短路开断电流 I_{sc} /kA	63
8	单柱额定短路关合电流/kA	160
9	额定操作顺序	O—0.3 s—CO—180 s—CO
10	分闸时间/ms	14~30
11	分闸同期性/ms	每极两柱间 ≤ 1
		极间 ≤ 3
12	合闸时间/ms	55~90
13	合闸同期性/ms	每极两柱间 ≤ 2
		极间 ≤ 5
14	机械寿命/次	6 000

试验情况

大容量短路电流开断装置为成套装置而并非单个断路器，目前尚没有标准对其进行定义，因此我们依然按GB1984《高压交流断路器》的试验要求进行型式试验，包括短路电流、恢复电压、操作顺序和操作时间等。根据项目的总体目标和任务研究，分为两部分在国家高压电器质量监督检验中心进行了性能试验。

一部分为高同步并联两柱高压六氟化硫断路器单独试验，包括并联两柱灭弧室间的绝缘试验、单柱灭弧室的T100s试验、机械操作及机械寿命试验和动、热稳定试验。部分试验现场如图6所示。上述试验均顺利通过，其中单极断路器两柱灭弧室间的分闸和合闸的不同期性均小于1 ms，可满足设计要求。



图6 单柱T100s试验

另一部分为断路器串联高耦合分裂电抗器的大容量短路电流开断装置的试验，包括动、热稳定试验和大容量短路电流的并联两柱均流开断试验。试验现场如图7、图8所示。上述试验均顺利通过，其中部分并联两柱均流开断试验结果如表3所示，可以看出，该开断装置成功开断了40 kA、63 kA、80 kA和88 kA的短路电流，而且两柱并联灭弧室间的均流效果良好，满足设计要求。

结束语

综上所述，高同步并联两柱SF₆断路器的研制



图7 动、热稳定试验



图8 并联两柱均流开断试验

表3 部分并联两柱均流开断试验结果

序号	短路电流/kA			试验结果
	主回路/kA	灭弧室 I /kA	灭弧室 II /kA	
1	40	20.06	19.94	开断成功
2	63	32.15	30.85	开断成功
3	80	41.42	38.58	开断成功
4	88	44.09	43.91	开断成功

成功，可与高耦合度分裂电抗器串联组成大容量短路电流开断装置，可有效解决现有大容量短路电流开断技术存在的问题，为电力系统中的超大容量短路电流有效开断提供一种新型可靠的解决方案。EA

(收稿日期：2017.07.17)

(编辑：刘群焱)