

[高压交流旁路开关]

青海750 kV串补装置用高压交流旁路开关设计与工程应用

文/张黎阳 寇龙刚 权磊 陈丰辉 宋志刚
西安西电高压开关有限责任公司

高压交流旁路开关作为输变电系统中重要的开关设备，随着串联电容器补偿技术在电网中的应用，研制出适应高海拔地区用串补装置用交流旁路开关，目前该产品已进入工程化应用。首先介绍了交流旁路开关的作用和工作原理；其次介绍了青海750 kV串补装置用交流旁路开关的主要技术参数，产品外形和结构特点；最后介绍了其工程化应用等内容。

青海海西至主网输电通道能力提升工程为提高联网通道输电能力，为海西地区新能源的进一步开发创造条件，有利于新疆与西北联网一二通道潮流分布均匀，为系统薄弱点的暂态电压恢复提供支撑，有利于发生故障后青藏直流功率恢复，积极采用先进成熟的电网技术，实现青海电网的技术升级。

串联电容器补偿技术是在输电线路中串入电容器组，利用电容器容抗抵消部分输电线路感抗，从而减小线路的等值电抗，在高压远距离输电线路中，其相当于缩短线路的电气距离，提高线路输送容量，降低线路输送损耗，更加合理地分配输送功率，从而提高电力系统的经济性和稳定运行水平^[1]。

工作原理

1. 基本原理

交流旁路开关的工作原理如图1所示。当旁路开关S断开时，电容C串联在线路中投入运行，当旁路开关S关合时，电容C退出回路。通过操作旁路开关S可以控制电容器C的投入和退出^[2]。

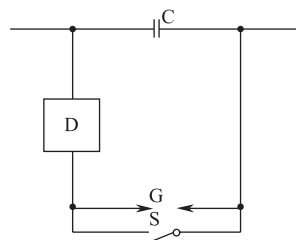


图1 交流旁路开关工作原理图

C—串联电容器 D—阻尼装置 G—火花间隙 S—旁路开关

2. 交流旁路开关的作用

交流旁路开关与串联电容器及过电压保护器并联，用来在正常运行或发生事故时投入或退出串补装置。当系统或串补设备出现故障等紧急情况时，要求快速退出电容器组，所以通常要求旁路开关具有较短且稳定的合闸时间。

总体结构

青海750 kV串补装置用交流旁路开关如图2所示。每台开关由三个单相组成，三相电气联动，每相为单柱双断口结构，包括灭弧室装配、支柱装配、液压弹簧操动机构和检修平台，外形呈“T形

布置。灭弧室上下法兰处均安装有均压环。每极配备一台液压弹簧操动机构，可单极操作，也可三极

电气联动操作。产品高度为13.1 m，带检修平台后总高度为16 m。

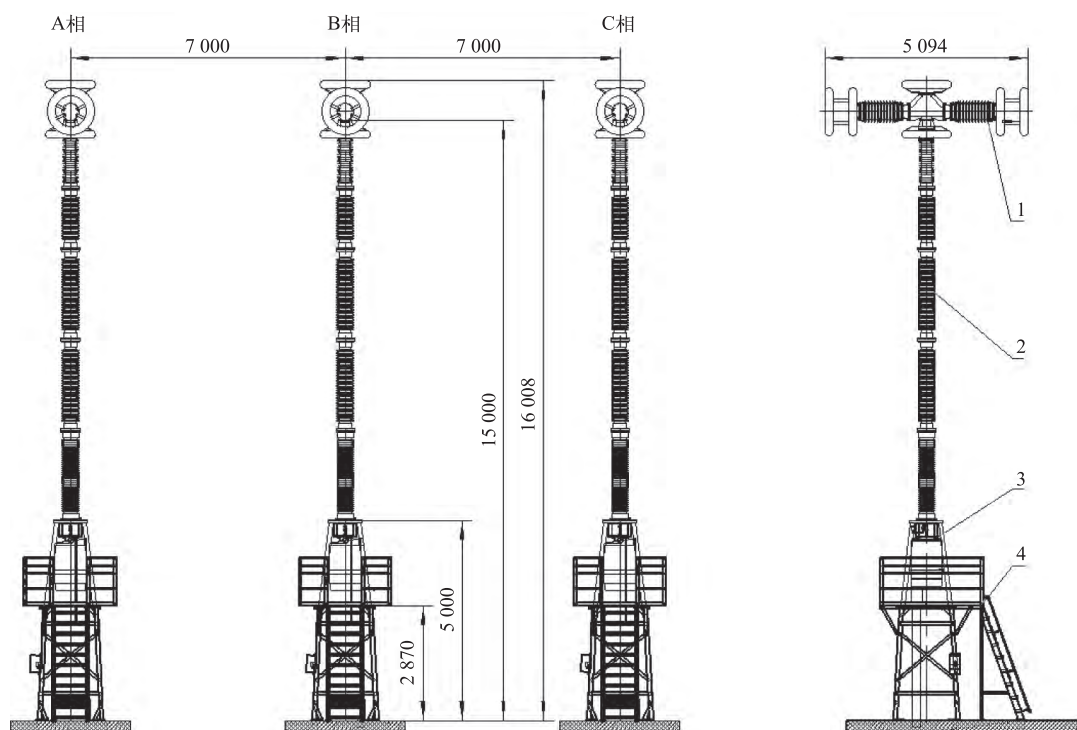


图2 青海750 kV串补装置用旁路开关外形图

1—灭弧室装配 2—支柱装配 3—液压弹簧操动机构 4—检修平台

产品设计

1. 灭弧室设计

青海750 kV串补装置用交流旁路开关，采用 SF_6 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 SF_6 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 SF_6 气体压力。在断路器分闸期间，高压 SF_6 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。该灭弧室通流能力达6 300 A，动热稳定能力强，结构简单成熟，合闸稳定性高，已有多年的实际运行经验。

由于海拔高达3 000 m，外绝缘参数要求甚至超过了1 100 kV旁路开关的外绝缘要求。通过优化套管绝缘，优化均压环结构如图4所示。增加绝缘裕度，通过仿真软件对中间躯壳的电场和进出线端子处电场分别进行分析，如图5所示，可以看出电场的分布均匀合理。在此基础上对均压环管径、直径和位置进行调整，对此处的均压环和绝缘拉杆电场

进行分析，如图6所示。电场分布得到很大优化，并通过绝缘试验进行验证，产品满足海拔3 000 m要求。

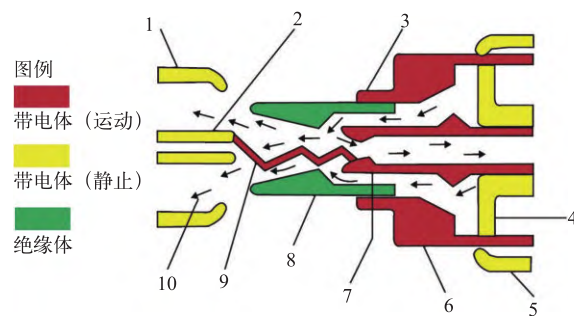


图3 灭弧动作原理图

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— SF_6 气体

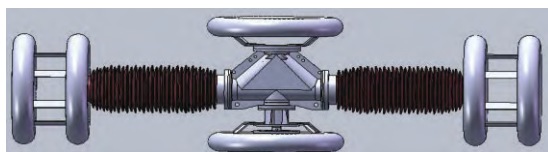


图4 青海750 kV串补装置用旁路开关灭弧室

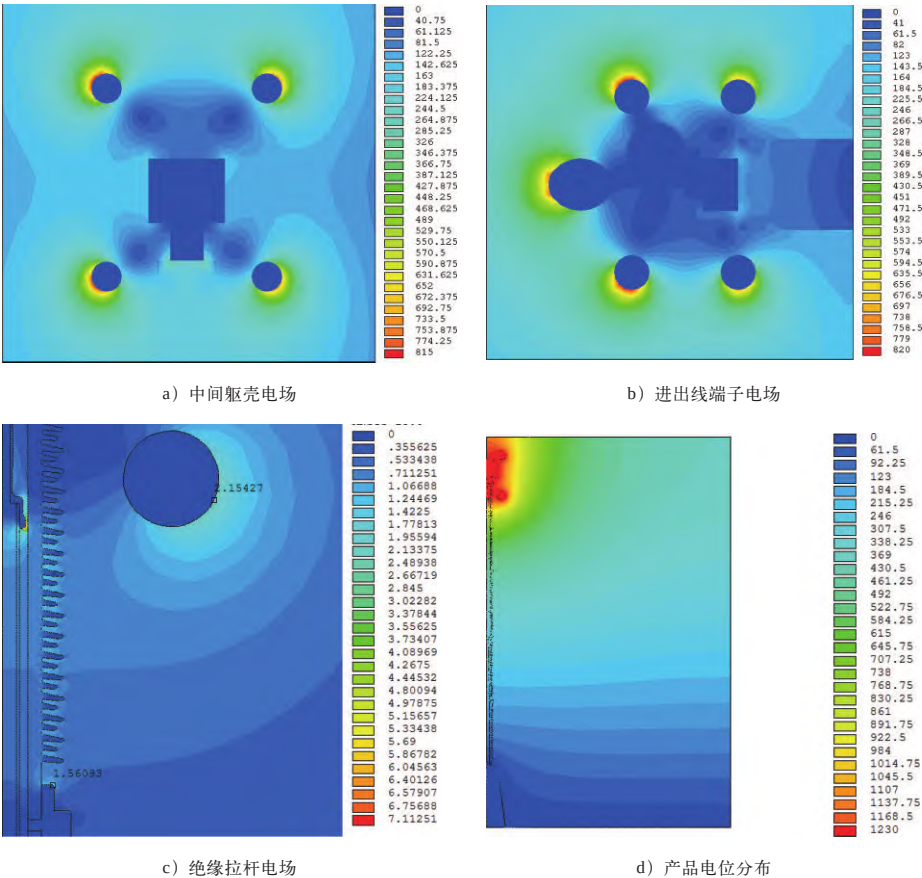


图5 仿真软件电场分析

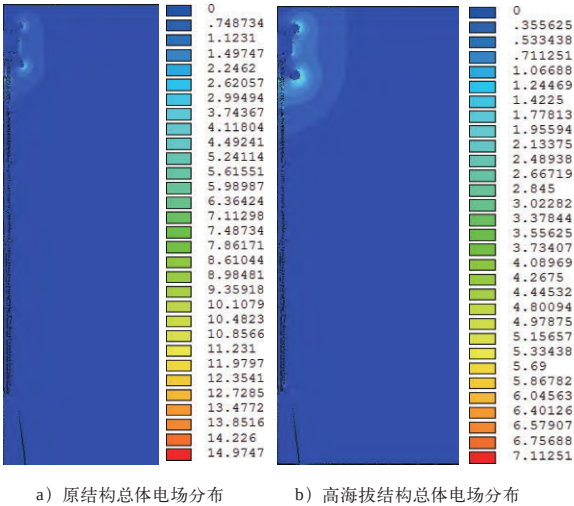


图6 总体电均分布

2. 传动结构设计

为了满足旁路开关合闸时间比较短的特性，对传动结构进行了特殊设计。常规断路器产品分闸时间较短，操动机构的输出功中分闸操做功大，合闸操做功小，常规断路器的传动结构，驱动杆向下拉

（机构的分闸）带动灭弧室的分闸，驱动杆向上推（机构的合闸）带动灭弧室的合闸，如图7所示。而交流旁路开关一般要求合闸时间较短，要求机构输出功合闸操做功大，分闸操做功小。因此交流旁路开关的传动结构在常规断路器的传动结构上进行变换，即改变传动拐臂的装配方向，从而使驱动杆向上推（机构的合闸）带动灭弧室的分闸，驱动杆向下拉（机构的分闸）带动灭弧室的合闸，从而提高合闸速度，使合闸时间小于30 ms^[3]，如图8所示。断路器和旁路开关的主要性能特点对比见表1。

表1 主要性能对比

内容	常规断路器	旁路开关
合闸时间	长	短
操作顺序	分—合分	合—分合
机构线圈	单合闸线圈，双分闸线圈	双合闸线圈，双分闸线圈
开断短路电流	有	无
依据标准	GB/T 1984—2014	GB/T 28565—2012

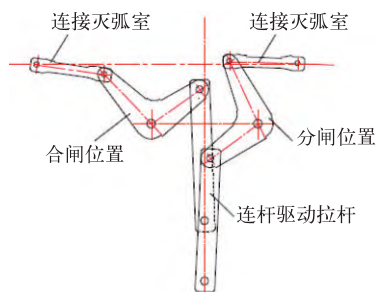


图7 常规断路器传动结构

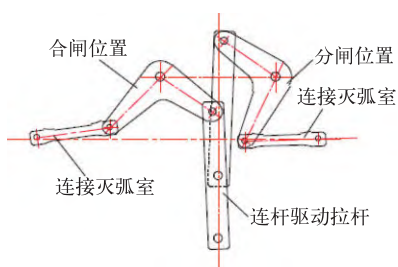


图8 青海750 kV串补装置用旁路开关的传动结构

3. 支柱结构设计

青海750 kV串补装置用旁路开关，产品支柱部分近10 m，采用五节支柱瓷套装配以满足对地绝缘要求。绝缘拉杆是机构和灭弧室力的中间传递部件，为了提高产品在分合闸过程中的稳定性，除了在近机构侧和近灭弧室侧设置设计导向结构，在产品支柱内部也设有专门的导向装置，如图9所示。

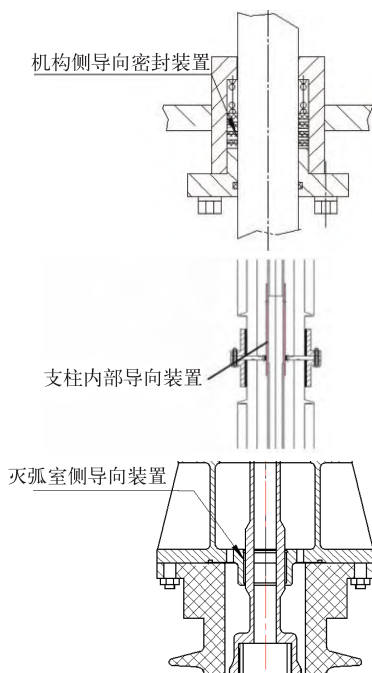


图9 导向装置

4. 操动机构研究与设计

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。因此在常规液压弹簧机构基础上，开发适合旁路开关的操动机构，是相对可靠的设计思路。青海750 kV串补装置用旁路开关采用CYA8G液压弹簧操动机构，对分闸和合闸缓冲进行优化，通过传动结构变换，采用机构分闸功使旁路开关合闸，机构合闸功使旁路开关分闸，使旁路开关合闸时间小于30 ms^[4]。其动作原理图如图10所示，工作模块图如图11所示。

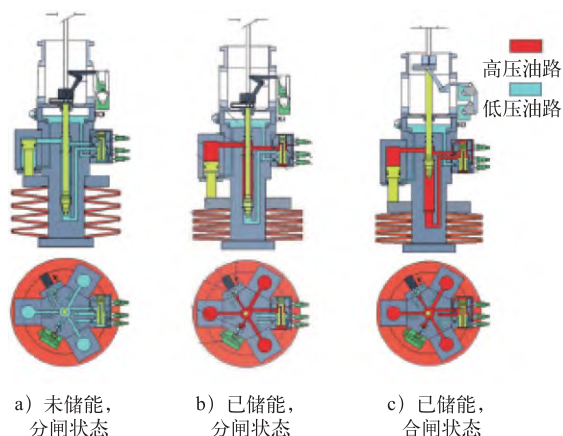


图10 液压机构工作原理

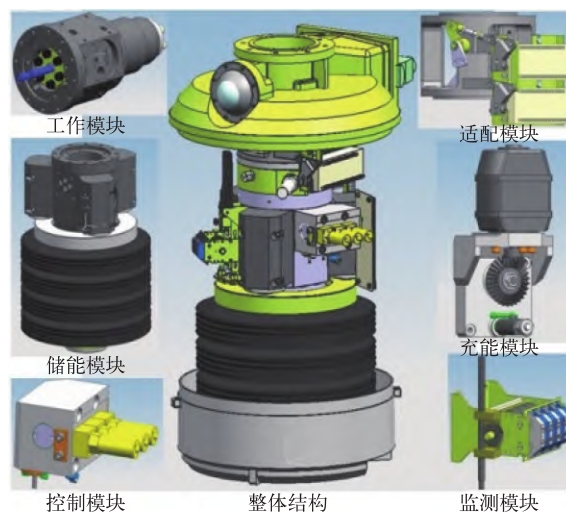


图11 液压机构工作模块

5. 主要技术参数

产品主要技术参数见表2。

表2 产品主要技术参数

序号	参数		青海750 kV
1	额定电压/kV	对地	1 100
		断口间	252
2	额定电流/A		6 300
3	额定频率/Hz		50
4	额定工频耐受电压/kV	对地	1 230
		断口间	460
5	额定雷电冲击耐受电压/kV	对地	2 685
		断口间	1 050
	操作冲击耐受电压/kV	对地	1 880
6	额定旁路关合电流/kA		160
7	额定旁路投入电流/kA		10
8	额定重投入电压/kV		390
9	额定短时耐受电流/kA		63
10	额定峰值耐受电流/kA		170
11	额定短路持续时间/s		2
12	额定合闸时间/ms		≤30
13	额定分闸时间/ms		≤40

试验情况

对于青海750 kV串补装置用旁路开关，因为本工程海拔要求特别高，对海拔进行修正，按照GB/T 28565《高压交流串联电容器用旁路开关》的试验要求进行型式试验，包括旁路关合电与投入电流试验、短时和峰值耐受电流试验、绝缘试验和无线电干扰试验等，如图12～图14所示。根据项目的总体目标和工程应用，在国家高压电器质量监督检验中心进行了试验。上述试验均顺利通过，满足设计要求及工程化应用。



图12 绝缘拉杆试验



图13 旁路关合电流、旁路投入电流和动稳定试验



图14 绝缘试验、无线电干扰试验

工程应用

青海海西至主网输电通道能力提升工程包括日月山750 kV变电站扩建串补工程，海西750 kV开关站扩建串补工程和柴达木750 kV变电站扩建串补工程3个子工程。青海750 kV串补装置用旁路开关在青海海西至主网输电通道能力提升工程中供货8台，其中日月山串补站供货2台，海西串补站供货4台，柴达木串补站供货2台，目前产品已带电运行^[5]。

结束语

青海750 kV串补装置用旁路开关的研制成功和工程化应用，推动了我国高原地区高压交流输电线路的串补系统的发展，为提高高压交流输电系统的稳定性及输送功率做出了巨大贡献，也为我国开关行业赶超国际先进水平，产品走向国际市场打下了良好的基础。EA

(收稿日期：2024-03-04)

参考文献

[1] 田秋松，张健毅，刘涛，等．大型串联电容器组在特高压固定串补中的应用[J]．电力电容器与无功补偿，2012．
[2] 高压交流串联电容器用旁路开关：GB/T 28565—2012[S]．2012．
[3] 古王荣，吉利，彭捷．交流旁路开关的传动设计方案[J]．高压电器，2018．
[4] 齐炳利．旁路开关用CYA8G大功率液压弹簧操动机构试制．高压电器，2012．
[5] 吉利．252～1 100 kV系列高压交流旁路开关产品设计和工程化应用．电气开关，2018．