

[断路器]

1 100 kV四断口断路器断口均压电容研究

文/殷福煜¹ 龙 腾² 孟珍政¹ 王 坤¹ 唐华超¹ 孟维东¹ 魏俊梅¹

1.特变电工云集高压开关有限公司; 2. 特变电工衡阳变压器有限公司

1 100 kV特高压断路器是保证1 000 kV特高压电网安全运行的重要设备。介绍了1 100 kV四断口SF₆断路器的技术特点; 对1 100 kV断路器断口均压电容进行了优化设计, 对1 100 kV断路器单个灭弧单元在雷电冲击联合加压试验方式下的绝缘性能进行了仿真分析, 计算结果表明其绝缘性能满足要求。

建设坚强的1 000 kV特高压电网是中国优化电力发展的必然要求。1 100 kV特高压断路器是保证1 000 kV电网安全运行的重要设备。1 100 kV特高压断路器由于电压等级较高, 因而采用四断口串联。高压断路器的绝缘性能是其重要的性能。对于每极多断口串联的断路器, 为充分有效利用单个灭弧单元的绝缘能力, 应设置合适的断口并联电容, 使其各个断口承受的电压尽可能均等。

本文对1 100 kV四断口断路器的主要特点进行了介绍, 对1 100 kV特高压断路器断口均压电容进行了优化设计, 对不同电压施加方式下的断口不均匀系数进行了仿真分析, 计算结果表明1 100 kV特高压断路器两个边断口2 600 pF和两个中间断口2 400 pF的并联电容设置, 可以确保1 100 kV断路器每个断口的电压不均匀系数小于1.1。基于电场不均匀系数1.1, 对1 100 kV断路器单个灭弧单元在雷电冲击联合加压试验方式下的绝缘性能进行了仿真分析, 计算结果表明其绝缘性能满足要求。

1 100 kV特高压断路器主要特点

1 100 kV特高压四断口SF₆断路器如图1所示, 其主体灭弧装置由四个完全一样的灭弧单元串联而成, 合闸电阻开关与合闸电阻串联后再与主体灭弧装置并联。

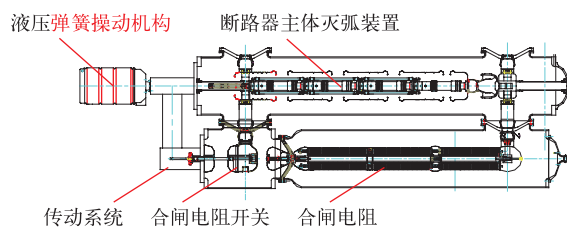


图1 1 100 kV特高压断路器

1 100 kV特高压SF₆断路器具有以下特点:

- 1) 绝缘水平高, 对地绝缘雷电冲击耐受电压可以达到 $2\,400\text{ kV} \times 1.2 = 2\,880\text{ kV}$ 。
- 2) 开断能力强, T100 a开断基于时间常数 $\tau = 120\text{ ms}$ 。
- 3) 合闸电阻开关具有合后即分功能, 不参与断路器分闸操作, 不需要承受额定电流或短路电流。

国家高技术研究发展计划: 1 000 kV交流输变电工程GIS核心技术的研究 (2006BAA02A12)

1 100 kV SF₆断路器断口并联电容优化设计

1 100 kV特高压四断口SF₆断路器等效电路如图2所示。

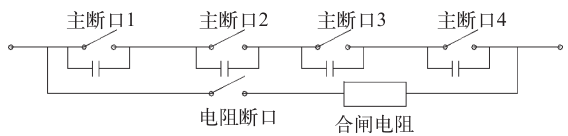


图2 1 100 kV特高压断路器等效电路

对于多断口串联的断路器，在挂网运行时，各断口间承受的电压不均等，其不均等程度受断口等效杂散电容、断口并联电容、对地杂散电容以及电压施加方式等众多因素影响，且其不均匀程度和断口数量有很大关系，这就使得四断口断路器断口并联电容的设计更为重要。

本文采用电磁暂态仿真程序ATP对1 100 kV 特高压四断口SF₆断路器断口不均匀系数进行仿真，仿真模型如图3所示，其中C₁₁~C₄₁为四个灭弧单元断口等效电容，C₁₂~C₄₂为灭弧单元并联电容，C₃₁~C₃₃为屏蔽罩对地等效电容。其中C₁₁~C₄₁、C₃₁~C₃₃等效电容受断路器绝缘结构限制，调整范围很小，只能通过适当优化灭弧单元并联电容C₁₂~C₄₂，达到较低的电压不均匀系数。

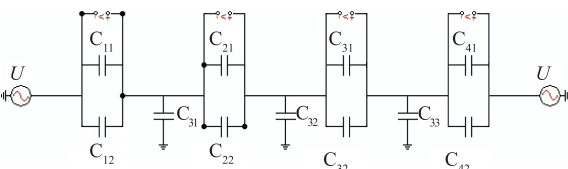


图3 1 100 kV断路器电容等效电路

表1给出了不同均压电容和不同电压施加方式下每个断口的电压不均匀系数。

由表1可知，1 100 kV 特高压断路器四个断口并联电容若选取相同数值，每个断口至少需要4 000 pF的电容（方案2），其断口电压不均匀系数才能小于10%；若两个内侧断口选择相同的电容值，两个外侧断口选择相同的电容值，则2 400 pF和2 600 pF（方案4）及以上的电容配合即可实现断口电压不均匀系数小于10%。

对于相同的电容设置，一侧加压方式的电压不均匀系数较其他方式略高。

方案4在（4 pu，0）电压作用下各个断口的电压分布如图4所示。

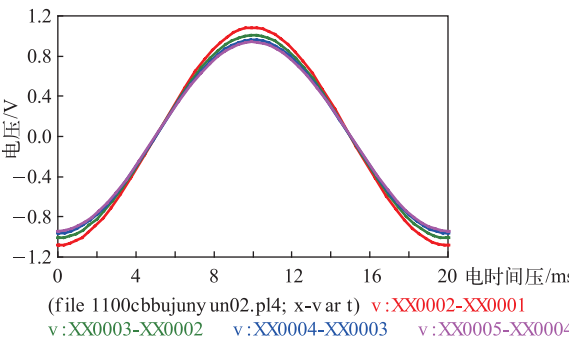


图4 1 100 kV断路器四个串联断口电压分布（方案4）

红色-第一个断口；绿色-第二个断口
蓝色-第三个断口；粉色-第四个断口

考虑到较大电容的制造难度及较大电容对应的较大体积给断路器结构设计带来的难度，1 100 kV 特高压四断口SF₆断路器断口并联电容选择方案4。

表1 1 100 kV 特高压SF₆断路器断口不均匀系数

方案	断口并联电容/pF				电压不均匀系数											
					4 pu，0				2 pu，-2 pu				2 400 kV，-900 kV			
	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	断口1	断口2	断口3	断口4	断口1	断口2	断口3	断口4	断口1	断口2	断口3	断口4
1	3 000	3 000	3 000	3 000	1.11	1.01	0.95	0.92	1.02	0.98	0.98	1.02	1.06	1.00	0.97	0.97
2	4 000	4 000	4 000	4 000	1.08	1.01	0.96	0.94	1.01	0.99	0.99	1.01	1.05	1.00	0.98	0.98
3	2 400	2 200	2 200	2 400	1.10	1.06	0.98	0.86	0.98	1.02	1.02	0.98	1.03	1.04	1.00	0.93
4	2 600	2 400	2 400	2 600	1.09	1.06	0.98	0.87	0.98	1.02	1.02	0.98	1.03	1.04	1.00	0.93
5	2 700	2 500	2 500	2 700	1.08	1.06	0.98	0.88	0.98	1.02	1.02	0.98	1.03	1.04	1.00	0.93
6	2 800	2 600	2 600	2 800	1.08	1.05	0.98	0.88	0.98	1.02	1.02	0.98	1.03	1.03	1.00	0.94
7	2 900	2 700	2 700	2 900	1.08	1.05	0.98	0.88	0.98	1.02	1.02	0.98	1.03	1.03	1.00	0.94

1 100 kV断路器单个断口电场仿真

1 100 kV 特高压断路器在雷电工频联合加压试验方式（一侧施加雷电冲击耐受电压2 400 kV，另

一侧施加工频反相峰值-900 kV）下，考虑断口电压不均匀系数1.1倍，其单个灭弧单元的电位等效云

（下转第83页）

KYN28型中置开关柜电动化改造效益评价

1) 人工成本。注水电动机起停约占变电所年操作总量的45%，将高压电动机小车开关升级为电动化小车开关后，通过集控中心远程操作注水电动机的起停，减少员工现场工作量，全年可减少现场操作1 200余次，进而降低员工操作风险。

2) 车辆及燃油成本。改造后省去了操作班前往变电所进行就地操作的环节，操作班出车次数明显降低，极大地降低了能源损耗及行车风险，全年可减少车辆损耗和油料20.4万元。

3) 提高工作效率。改造后集控中心能够远程操作注水电动机的起停，省去了操作班驱车前往现场及操作人员准备的时间，极大地缩短了注水电动机起停倒闸操作时间，从而提高了工作效率。在同时面对大型操作任务及紧急事件时，操作班能合理安排人员配置，全力保证电网平稳运行。

结束语

中置式高压开关柜目前在油田电网建设中发挥

着越来越重要的作用，随着光伏发电、风力发电等新能源接入，中置开关柜的稳定性变得尤为重要。因此，采用上述方法对KYN28中置开关柜改进后，开关柜的整体功能将更加合理，对变电站内安全起到保障作用，同时对于电网巡检、故障诊断也非常方便，整体效果更有利于油田电网的安全平稳运行。EA

(收稿日期：2023-03-11)

参考文献

- [1] 石嘉川, 刘玉田. 中低压配电网电压优化调整[J]. 中国电力, 2005, 38(1): 26-31.
- [2] 3.6-40.5 kV交流金属封闭开关设备和控制设备 GB 3906—2006: [s].
- [3] 孙成宝. 配电技术手册(低压部分)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 426.
- [4] 吴昊, 韩浩江, 柴俊, 等. 基于变电站开关柜的三相交流电相位核序方法[J]. 电气应用, 2021, 40(7): 88-92, 102.

(上接第73页)

图分布如图5所示, 电场强度最大值为25.4 kV/mm。1 100 kV断路器最低功能SF₆充气压力为0.5 MPa(表压), 根据《SF₆高压电器设计》一书, 该气压下SF₆气体的许用场强为29 kV/mm。因此其绝缘性能安全可靠, 且具有一定的安全裕度。

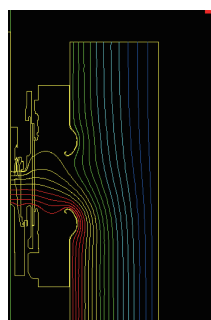


图5 1 100 kV断路器灭弧单元电场分布

结束语

1) 对于每极多断口串联的断路器, 为充分有效利用单个灭弧单元的绝缘能力, 应设置合适的断口并联电容。

2) 对1 100 kV四断口断路器断口均压电容进

行了优化设计, 优化结果表明两个边断口2 600 pF和两个中间断口2 400 pF的并联电容设置可以确保1 100 kV断路器每个断口的电压不均匀系数小于1.1。

3) 基于电场不均匀系数1.1, 对1 100 kV断路器单个灭弧单元在雷电冲击联合加压试验方式下的绝缘性能进行了电场数值仿真, 其电场强度最大值为25.4 kV/mm, 满足绝缘性能要求。EA

(收稿日期：2023-03-15)

参考文献

- [1] 周小谦. 我国的能源结构与电力规划[J]. 高压开关, 2003(2): 25-28.
- [2] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
- [3] 徐国政, 张节容, 钱家骊, 等. 高压断路器原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [4] 林莘. 现代高压电器技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 黎斌. SF₆高压电器设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.