

[电容器组]

一起10 kV电容器组故障跳闸分析

文/王正 张华 范立海 刘莹 陈金钰 权文静
国网冀北电力有限公司廊坊供电公司

以一起电容器组断路器跳闸事故为例，针对可能引起跳闸的原因进行了分析，对电容器组进行了全面的检查与试验，并最终确认故障原因为电抗器的热效应累积下，造成局部线圈匝间绝缘降低，叠加涌流及高次谐波，在多次合闸涌流的冲击下，造成线圈绝缘薄弱点匝间短路所致，同时针对引起此类故障的原因提出了有关防范措施和建议，供变电站运行维护人员参考。

无功功率补偿是提升电力系统运行效率的关键措施，最直接且经济的方式为安装并联电容器组。我国电力发电装机总容量已逾13亿kW，容性无功装机容量亦超过6亿kVar，其中绝大部分为并联电容器装置。运用并联电容器组不仅能有效降低线路损耗，提高供电质量，还能最终提升电力系统的运行效率^[1]。

在电力系统应用中，并联电容器组的主要配套设备为串联电抗器，其发挥两大作用：限制合闸涌流与限制谐波。首先，串联电抗器能降低电容器组在合闸过程中涌流倍数及涌流频率对电容器组的影响，从而保护电容器免受损害。其次，能限制操作过电压，滤除指定高次谐波，同时抑制其他次谐波的放大，减轻电网电压波形畸变。

电容器组与串联电抗器的组合在电力系统中是一种高效无功补偿方式。这种方式既能提高电力系统运行效率，又能确保电能稳定供应，降低线路损耗，提高供电质量，对我国电力行业发展具有重要意义，也是实现电力系统可持续发展战略的关键环节。

综上，无功功率补偿是电力系统中不可或缺的组成部分，并联电容器组与串联电抗器的应用简洁、经济。未来发展中，应持续推广这种补偿方式，提升电力系统运行效率，保障电力供应稳定，为我国电力行业持续发展作出贡献。

故障情况

1. 故障概况

2022年9月，某110 kV变电站204断路器保护动作跳闸。保护装置报文显示过流I段动作，保护启动为BC相，报文如图1所示。

2023年4月，该110 kV变电站206断路器保护动作跳闸。保护装置报文显示过电流I段动作，保护启动为ABC相，报文如图2所示。



图1 204断路器保护动作报文

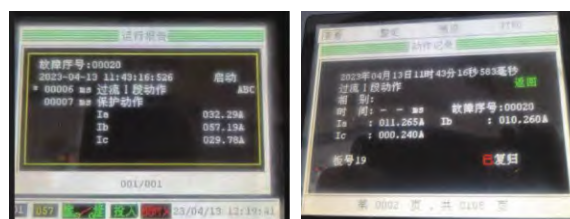


图2 206断路器保护动作报文

2. 运行方式

该110 kV变电站204 1号电容器组：1#主变压

器带4号母线，4号母线带204 1号电容器组，图3左侧红圈为204断路器及电容器。

该110 kV变电站206 3号电容器组：2#主变压器带5号甲、乙母线，5号甲母线带206 3号电容器组，图3右侧红圈为206断路器及电容器。

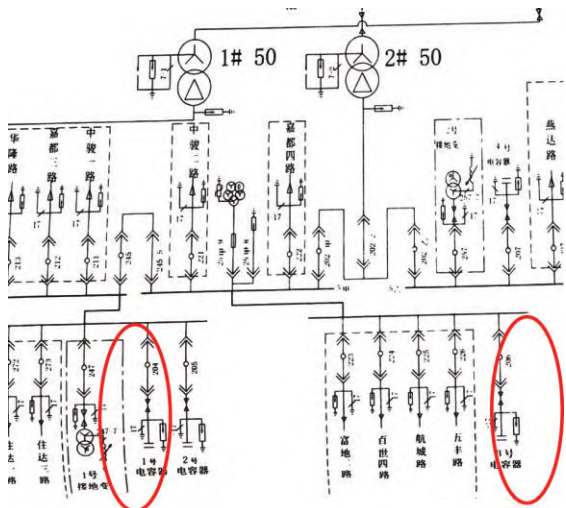


图3 某110 kV变电站主接线图

现场检查情况

该110 kV变电站204、206电容器组由电容器、铁心电抗器、放电线圈、避雷器及其电缆组成。故障发生后，试验人员第一时间赴现场对故障设备进行检查试验，试验数据见表1。

表1 204、206电容器组检查试验数据

设备	试验项目	204电容器组	206电容器组
电容器	电容量	单只电容量均合格，各相总电容量： A相：639.6 μF ， B相：638.6 μF ， C相：641.2 μF	单只电容量均合格，各相总电容量： A相631.2 μF ， B相631.1 μF ， C相631.2 μF
	绝缘电阻	各相均5 000 $\text{M}\Omega$ +	各相均8 000 $\text{M}\Omega$ +
电抗器	绝缘电阻	A相：10 000 $\text{M}\Omega$ +， B相：10 000 $\text{M}\Omega$ +， C相：200 $\text{M}\Omega$ +	A相：8 000 $\text{M}\Omega$ +， B相：8 000 $\text{M}\Omega$ +， C相：8 000 $\text{M}\Omega$ +
	直流电阻	A相：5.94 $\text{m}\Omega$ ， B相：5.86 $\text{m}\Omega$ ， C相：2.24 $\text{m}\Omega$	A相：5.80 $\text{m}\Omega$ ， B相：5.84 $\text{m}\Omega$ ， C相：5.81 $\text{m}\Omega$
	电感值	A相：2.789 mH ， B相：2.732 mH ， C相：1.011 mH	A相：2.781 mH ， B相：2.802 mH ， C相：2.850 mH
放电	一次直阻	合格	合格
线圈	绝缘电阻	各相均8 000 $\text{M}\Omega$ +	各相均8 000 $\text{M}\Omega$ +
避雷器	绝缘电阻	各相均8 000 $\text{M}\Omega$ +	各相均8 000 $\text{M}\Omega$ +
电缆	绝缘电阻	各相均8 000 $\text{M}\Omega$ +	各相均8 000 $\text{M}\Omega$ +

根据实地考察和数据记录，204与206电容器组中的电容器、放电线圈、避雷器及电缆均显示正常，未发现异常情况^[2-6]。然而，在204电抗器的C相中，直流电阻与电感值出现异常降低。

为深入分析此问题，对电抗器进行了外观审查。审查结果显示，204电容器组B相电抗器的上部外侧存在明显的烧蚀痕迹，同时，用于固定的穿心螺杆也遭受了损坏。此外，A、B、C三相母排的表面也出现了烧蚀的痕迹，如图4所示。



图4 204 B相电抗器外观检查情况

至于206电容器组，C相电抗器的上部外侧受损严重，甚至出现了灰化现象。电抗器的表面出现了开裂，而B相电抗器则有熏黑的痕迹。值得关注的是，A相电抗器的表面状况正常，但A相支柱绝缘子上存在明显的脏污，如图5所示。



(a) 206 C相 (b) 206 A相

图5 206电抗器外观检查情况

综上所述，204和206电容器组的设备运行状况存在一定问题，需要尽快进行维修和替换。特别是对于204电抗器的C相，应立即查明故障原因，以确保设备的正常运行。同时，对于其他存在烧蚀痕迹

的设备，也应进行全面的检修，以防止事故扩大。

故障原因分析

在实际的电力系统运行中，纯电容回路的投切操作环节至关重要。然而，这一过程可能引发一种严重问题——涌流。由于电容电压无法突变，在切换过程中，大涌流的发生概率极高。这种涌流不仅能损坏电容，还可能对回路中的其他关键设备，如断路器等造成损害。为解决此问题，我国在10 kV电容器组中引入串联电抗器。这种设备的主要作用包括限制系统短路电流、涌流，以及抑制谐波等。电抗器与电容器串联后，可实现电流无突变，从而有效吸收电网谐波，优化系统电压波形，提升功率因数，并抑制合闸涌流及操作过电压，起到保护电容器的作用。

在实际应用中，干式铁心电抗器因其维护工作量小、散热佳、过载能力强和使用寿命长等优势，在电容器组中得到广泛应用。该110 kV变电站204、206电抗器均为干式铁心串联电抗器，型号均为CKSC-10-300.6/0.32-5%，额定容量300.6 kVar，电抗率5%，每相阻抗值为1.01 Ω，出厂日期分别为2017年10月、2017年4月。

该110 kV变电站分别于2022年7月与2018年6月对204电容器组、206电容器组进行了例行试验测试，未发现电容器组有异常情况。而本次检查试验结果体现：

1) 204 C相电抗器直阻值、电感值明显变小。可能是因为电抗器绕组烧毁，线圈产生断线或匝间短路。

2) 204 C相电抗器灼烧痕迹以及表面开裂。结合电抗器电感值变小，造成这种原因可能是因为：故障处的线圈本身绝缘降低，在电容器合闸瞬间，绕组线圈中存在较大的涌流以及高次谐波，造成线圈绝缘降低甚至匝间短路，热量累积导致电抗器开裂并起火烧毁。

3) 206电抗器虽然目前试验数据无明显异常，但外观存在多处明显烧熏痕迹。

综合以上分析，以及近期其他110 kV变电站出现了同一厂家、同一型号且与某110 kV变电站204同一出厂日期的电抗器烧毁事故。初步怀疑导致该变电站204、206电容器断路器跳闸动作的原因可能

由于该厂家该型号批次电抗器的工艺质量管理存在问题，在长期的热效应累积下，造成局部线圈匝间绝缘降低。而电容器合闸瞬间，绕组线圈中存在较大的涌流及高次谐波，在多次合闸涌流的冲击下，造成线圈绝缘较低的薄弱点匝间短路，使得电抗器绕组电流进一步增大，热量累积，引起局部过热鼓包，导致电抗器开裂并起火烧毁。

改进措施

为了确保电力系统的稳定运行，需要采取以下改进措施：

1) 更换204电容器组的C相电抗器。鉴于故障原因可能是线圈绝缘降低、匝间短路等，新电抗器应选择具有优良绝缘性能和抗涌流能力的设备。同时，在安装过程中，要确保电抗器与电容器的串联连接正确无误，以避免投切操作时的涌流过大。

2) 对206电容器组的电抗器进行详细检查，对其表面烧蚀痕迹进行处理，确保绝缘性能良好。同时，对A相支柱绝缘子进行清洗，以消除脏污对绝缘性能的影响。

3) 加强设备的日常巡视和维护工作，对发现的问题及时处理，防止小问题发展成重大故障。特别是要关注电抗器的运行状况，定期检查其外观、绝缘电阻和直流电阻等参数，确保设备在良好状态下运行。

4) 对电力系统中的其他同类设备进行普查，了解设备的实际运行情况，及时发现并处理潜在问题。在普查过程中，要重点关注设备的绝缘性能、线圈状况和表面状况等，确保设备安全可靠。

5) 强化电力系统运行管理，提高运行人员对设备的熟悉程度，加强操作培训，确保电力系统在投切操作过程中能有效避免涌流问题的发生。

6) 深入分析本次故障原因，总结经验教训，加强电力系统设备的采购、验收、运行和维护等各环节的管理，提高设备的质量水平。

7) 开展电力系统设备的定期试验检测，确保设备在运行过程中的安全性能。对于试验检测中发现的问题，要深入分析原因，并及时采取措施进行处理。

通过以上改进措施，可以有效地提高电力系统的运行安全性，降低故障发生的概率，确保电力

系统的稳定运行。同时，也要加强对电力系统运行人员的培训，提高业务水平，以便在故障发生时能迅速、准确地判断故障原因，并采取相应的处理措施。

结束语

在电力系统的运行过程中，设备的稳定运行至关重要。本次110 kV变电站204、206电容器断路器跳闸事故，深刻认识到电力系统设备维护和管理的重要性。通过详细的检查和分析，找到故障原因，并制定相应的改进措施。在今后的工作中，将继续加强对电力系统设备的监管，确保电力系统的安全稳定运行。同时，认真总结本次事故的经验教训，提高电力系统运行人员的业务水平，为电力系统的

持续发展保驾护航。

电力系统设备的运行安全关系到整个电力系统的稳定运行，因此，要始终将设备的安全放在首位，加强设备的日常维护和管理。此外，还要不断提高电力系统运行人员的业务素质，提高对设备的熟悉程度，以便在故障发生时能迅速、准确地判断故障原因，并采取相应的处理措施。

通过本次事故的分析和改进措施的制定，期望能进一步提高我国电力系统的运行安全性，降低故障发生的概率。同时，也希望广大电力系统运行人员能从中汲取教训，提高对电力系统设备的重视，切实加强设备的日常巡视和维护工作，确保电力系统的安全稳定运行。EA

(收稿日期：2024-01-06)

