

并联电容器组成套装置常见缺陷及诊断分析

龚卓睿

(国网北京市电力公司检修分公司, 北京 海淀 100097)

摘要: 并联电容器组成套装置作为无功补偿装置在电力网络中大量存在, 起到改善电压质量、降低线损的作用, 然而由于夏季负荷较大, 频发故障, 多数是由三相电压不平衡导致的保护跳闸。文章将例举几种常见的故障原因并进行案例分析, 提出检修策略, 为运行中的电容器组成套装置的运维与检修提供一定参考。

关键词: 电容器组成套装置; 漏油; 电容击穿; 放电线圈; 绝缘支瓶

中图分类号: TM727

Common Defects and Diagnosis Analysis of Complete Equipment of Shunt Capacitor

GONG Zhuorui

(State Grid Beijing Electric Power Company Maintenance Branch, Beijing Haidian 100097, China)

Abstract: As a reactive power compensation device, shunt capacitor is widely used in the power network to improve the voltage quality and reduce the line losses. However, due to the large loads in summer results in frequent faults of shunt capacitors, most of them are protection trips caused by three-phase voltage imbalance. This article will provide cases analysis to illustrate several common fault causes, propose maintenance strategies, and make some suggests for the operation, maintenance, and repair of shunt capacitors in operation.

Keywords: capacitor bank; oil leakage; capacitive breakdown; discharge coil; discharge coil

0 引言

国网北京检修分公司检修维护变电站共安装并联电容器 1 809 组, 总容量 13 096.674 Mvar。北京地区常见的电容器处缺工作现在多以膜纸绝缘为主, 作为并联电容器起到补偿感性负荷的无功功率, 提高功率因数, 改善电压质量, 降低线损的作用。多为外熔式, 易识别故障单元, 在任何熔断单元故障时, 都将检测到不平衡。在一年的处缺工作中, 由三相不平衡导致的保护跳闸事故占比 61.8%, 通过分析整理, 发现缺陷类型主要发生在渗漏油, 电容击穿、放电线圈直阻不合格, 绝缘支瓶绝缘水平降低、不耐压等。本文将针对并联电容器常见的几种事故缺陷进行案例分析, 提出检修策略, 为运行中的电容器组成套装置的运维与检修提供一定参考。

1 并联电容器常见问题及处缺原因

电容器常用的电解质分为固、液、气 3 种, 过去的电容器主要采用油(矿物油)纸绝缘, 逐渐被合成油浸的膜纸复合介质及全膜介质代替。

收稿日期: 2023-08-15

并联电容器在运行中出现的故障原因较多, 设备自身的原因表现在漏油、温度、噪声、外壳等方面, 而由外界因素造成的则可能导致保护动作掉闸、电压击穿等。

常见的故障主要表现为以下 5 种。

漏油: 紧固螺栓松动、密封胶老化、外套破裂。

温度异常: 内部受潮、短路、介损增大、缺油、引线接触不良。

运行中有噪声: 内部有噪声说明内部已经有严重的放电, 应立即退出运行; 外部有噪声可能是导线连接部位松动、虚接引起的震动造成的。

外壳鼓胀: 内部击穿、内部存在开焊或严重放电、存在谐波谐振过电流。

保护跳闸: 除了三相电容量不平衡引起的, 但断路器三相不同期、放电线圈绕组直流电阻三相不平衡、电抗器三相电抗值不平衡、绝缘老化都会引起三相电压不平衡, 使电容器组跳闸^[1]。

而在运行过程中产生隐患的原因通常有以下 4 种。

投运时的涌流: 造成 TA 击穿, 开关触头磨损。

退出时的过电压: 造成电容器及相关设备过电压击穿。

绝缘损坏：电容回路中的一次设备的绝缘子套管及引线绝缘损坏将造成相间短路，产生很大的短路电流。

高次谐波产生谐振：运行电流增大，温度升高，造成内部故障，引起过电压。

2 案例分析

2.1 放电线圈直阻不合格

接指挥中心报警，YCB 222（7#）电容器组成套装置由于三相电压不平衡跳闸（压差保护）。现场对该路电容器进行了包括避雷器、串联电抗器、放电线圈、电缆、电容器、绝缘支瓶等设备在内的诊断性试验。

试验规程对电容器电路包含的设备绝缘电阻值要求如下：串抗 > 1 000 MΩ，放电线圈一次 > 1 000 MΩ，避雷器 > 2 500 MΩ，零序 TA 一次 > 1 000 MΩ，电容器极对壳 > 2 000 MΩ，集合式电容器相间 > 2 000 MΩ。

导致绝缘电阻下降的原因由很多，如设备受潮、开裂、破损老化、外部污染、导电材质变质等，该项试验数据均大于 10 000 MΩ，符合规程。

试验中电容量实测值符合规程要求，且三相平衡率为 0.22%，排除以上原因。

处缺过程中，发现放电线圈一次侧线圈直流电阻的三相平衡率明显高于历史测量结果，主要原因是 A、B 相直阻明显大于 C 相，绕组的接头松动或腐蚀会导致直阻增大，线圈内部匝间短路会导致直阻降低。对于压差保护的放电线圈，电阻大的承受电压高，反之亦然，因此推断 C 相线圈出现短路引

起放电线圈变比不一致，从而导致电压不平衡保护动作。建议更换与电容器相匹配的放电线圈，试验数据见表 1。

表1 7# 电容器处缺前试验数据

相位及平均值	电容量/ μF	放电线圈 直阻/Ω	2009年放电线圈 直阻/Ω
A	180.9	2 786	2 545
B	181.3	2 766	2 526
C	181.1	2 518	2 563
平均值	181.1	2 690	2 545

更换三相放电线圈后，对放电线圈按交接试验进行测量，试验数据见表 2、表 3。

处理后，电容器组成套装置的绝缘电阻、耐压试验等全部合格，放电线圈的直阻平衡率由 9.96% 下降到 0.7%，且三相变比相同，为减极性，电容器组成功投运，证实保护动作是由 C 相放电线圈发生短路，性能差异大，导致二次侧产生虚假的不平衡电压引起的。

2.2 电容器漏油

现场发现 WSY 265 电容器组成套装置 C 相第 5 支电容器渗油，更换新品后按交接试验要求做，试验数据无问题，见表 4，三相电容器已调平衡。拆除部位为 265 电容器一次保险管。更换后该支电容器绝缘电阻为 20 000 MΩ，交流耐压 31.6 kV/60 s 通过。

交接试验要求对更换的电容器进行电容量的测量，以及绝缘、耐压试验，并测量每支电容器电容，

表2 新品放电线圈交接试验数据

相位	绝缘电阻一次对二次及地/MΩ	绝缘电阻二次对地/MΩ	放电线圈一次直阻A—X/Ω	放电线圈二次直阻/Ω		交流耐压试验 1 min—一次对二次及地35.7 kV	交流耐压试验 1 min—二次对地2 kV
				a1x1	a2x2		
A	20 000	10 000	2 240	0.487 8	0.421 3	通过	通过
B	20 000	10 000	2 256	0.493 2	0.422 4	通过	通过
C	20 000	10 000	2 256	0.490 9	0.422 1	通过	通过

表3 新品放电线圈变比、极性试验数据

绕组号	铭牌变比	实测变比			极性
		A	B	C	
AX/a1x1a2x2	12/√3 kV/100 V+100 V	12/√3 kV/100 V+100 V	12/√3 kV/100 V+100 V	12/√3 kV/100 V+100 V	减

表4 265 电容器更换 C5 后三相电容值 μF

序号	A相		B相		C相	
	铭牌电容	实测	铭牌电容	实测	铭牌电容	实测
1	22.9	23.0	22.8	23.0	22.9	23.1
2	22.8	23.0	22.7	22.9	22.8	23.0
3	22.8	22.9	22.7	22.9	22.8	22.9
4	22.8	22.9	22.9	23.0	22.39	22.2
5	22.7	23.0	22.8	23.1	22.24	22.3
6	22.7	22.8	22.7	22.9	22.7	22.9
7	23.0	23.2	22.7	22.8	22.8	23.0
8	22.9	23.1	23.1	23.2	23.0	23.1

对三相电容调平衡，使之符合规程。

电容量不平衡可导致不平衡电压产生，引起保护动作。因为在 110 kV 及以上的变电站中，“多采用开口三角电压保护，由于三相电路和电源不完全对称，导致电容器组中性点电位发生偏移，在接成开口三角的放电线圈二次侧产生零序电压，其大小反映出不平衡程度^[2]。”当电容值不平衡时，运行中会产生电压分布不均，电容小的某一相承受的电压高，因此在处缺过程中需测量每支电容器电容，并对三相进行更换调整。

如平衡率不满足规程要求，可将相差较大的两相中的电容器进行对调。如 A、C 相差值为 1.4，可将 C4 与 A7 互换，更换后 A、B、C 三相电容量分别为 182.9 μF 、183.8 μF 、183.5 μF ，平衡率为 0.49%。若 B、C 相依旧差值较大，可继续调换，如将 B8 与 A6 互换，以此类推。

2.3 电容击穿

接指挥中心通知，LJT 231 电容器组成套装置掉闸，到现场对设备进行逐个排查，发现 A 相 23# 电容值较低，与铭牌相差较大，超出标准规程，推断电容器被击穿，放电线圈直阻三相不平衡率 > 10%，不符规程，其他各项测量值均在规程要求范围内。

更换设备后，试验结果合格。如果电容器组成套装置长期处于超负荷、过压状态，会使电容器温度迅速升高，压强增大，引发电容器外壳变形、鼓肚，可能引发着火、爆炸。若发生内部电击穿，则会影响无功补偿。

2.4 绝缘支瓶耐压不合格

处缺原因：DBJ 276C 电容器组成套装置改造后，未成功发电，且压差保护动作。到达现场后对设备逐项测量，测量结果见表 5。避雷器、串抗、放电线圈、电缆、电容器绝缘电阻均 > 10 000 M Ω 。

表5 电容器组成套装置诊断试验数据

指标	A相	B相	C相
U_{1mA}/kV	26.5	25.8	26.2
75% U_{1mA} 下泄漏电流/ μA	5	6	5
电容器电容值/ μF	216.4	216.6	216.4
串抗直阻/ Ω	0.016 18	0.016 27	0.016 16
放电线圈一次直阻/ Ω	2 083	2 092	2 091
放电线圈变比/%	63.579	63.552	63.564
极性	减	减	减

以上数据均符合规程要求，排除以上设备导致线路故障。对整体加压时，发生问题于是逐一绝缘支瓶打耐压，发现 A、B、C 三相各有一支绝缘支瓶绝缘不合格，导致耐压击穿，从而确定故障原因。对其更换后，依据出厂值，加压至 42 kV/60 s，耐压通过。

造成绝缘支瓶耐压不合格的原因可能是表面脏污使绝缘降低，容易发生闪络，造成跳闸，同时也损坏瓷裙表面。脏污吸收水分后还会使导电性提高，泄露电流增加。经检查，发现故障支瓶表面存在裂纹，是造成耐压不合格，引起跳闸的直接原因。

3 检修策略

本文列举了 4 种常见的电容器组成套装置故障：漏油和电容击穿导致的电容量不平衡，放电线圈直阻不合格，绝缘支瓶耐压不合格。针对绝缘类故障，首先要对套管等设备在投运前进行严格检验，避免人为因素引起故障；其次定期进行清扫，杜绝表面脏污引起的绝缘降低、闪络等；然后在运输过程中以免窜动损伤。对于电容量变化造成的电压不平衡故障，要做好密封，防止渗漏油，注意投运时的涌流、退出时的过电压、以及长时间处于过负荷状态导致的内部击穿。直阻类故障，在拆接过程中，要注意引线连接良好；定期检测，及时发现内部故障，如绕组短路、断路等。

(下转第 68 页)

6.5 整体组装测试

小组将 MCU 模块、水位监测模块、短信告警模块和自动排水控制模块等按设计方案进行组装，成品装置如图 3 所示，并在变电站电缆层进行实地试验。



图3 组装模块成品图

最后小组选取了 5 个变电站分别进行排水测试，如图 4、表 3 所示，24 h 内排水系统的排水量平均值 525.4 L/min，大于 500 L/min，目标完成。

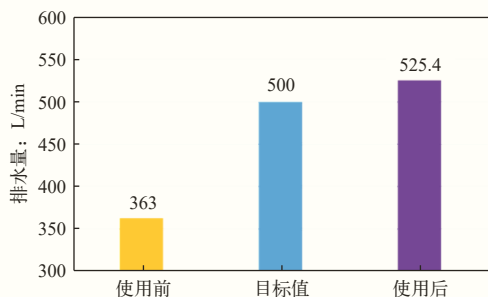


图4 智能排水系统排水量对比图

(上接第 51 页)

4 小结

夏季负荷高峰期是电容器组故障的多发期，通过数据分析，在电容器组不平衡电压保护动作故障中，多以以上故障类型居多。因此，在实际故障诊断中，从常规入手，从易到难，逐步排查，如掉闸故障不能单纯对放电线圈进行排查，要充分考虑到每一个设备的状况；在试验仪器准备过程中，充分准备，保证能够对所有相关设备进行诊断性试验；对试验数据不仅要横向对比，关注不平衡率，也要纵向对比，与历史数据相比较，确定其变化程度；处缺完毕后，要及时向指挥中心汇报，形成闭环处

表3 智能排水装置排水量试验表

次数	站1	站2	站3	站4	站5	平均
1	535	521	531	515	523	525.4
2	545	524	528	521	520	
3	532	520	525	518	519	
4	526	534	521	523	526	
5	531	525	523	525	524	

7 结束语

本次 QC 活动，小组研制了电缆层汛情监测及智能排水系统，实现了 24 h 内排水系统的排水量大于 500 L/min 的需求与目标。该系统能有效监测变电站电缆层的积水情况，自动发出警报并启动水泵，避免了电缆长时间浸泡的安全隐患。系统各模块出现异常时也能及时通知运行人员，也能通过摄像头观察现场实际情况，大大减少运行值班人员的巡检工作量，为电力安全生产提供有力的保障。

参考文献

- [1] 郭建峰，杨燕华，周刚. 变电站电缆层远程智能排水控制系统[J]. 农村电气化，2021(3): 45-47.
- [2] 付焱鑫，张荣凯. 莞合高速公路路堤水毁段排水系统优化设计[J]. 科学技术创新，2023(26): 168-172.
- [3] 李海军，王军敏，王艳辉. 基于 STM32 单片机的自助旅游车控制系统设计[J]. 电子制作，2023, 31(21): 37-40.

作者简介

胡杨 (1989—)，女，工程师，硕士研究生，工程师，研究方向电力系统自动化，E-mail: 1196377931@qq.com。

(责任编辑: 张峰亮)

理；对于长时间运行的电容器组，要增加巡视，必要时予以更换，保证其安全稳定运行。

参考文献

- [1] 任金鹏，陶志良. 10 kV 补偿电容器电压不平衡导致保护跳闸的原因分析[J]. 冶金动力，2023, (1): 12-13, 39.
- [2] 张凯. 电容器组不平衡保护动作原因分析[J]. 科技与企业，2013 (8): 238, 240.

作者简介

龚卓睿 (1994—)，女，学士，工程师，主要从事变电一次设备电气试验工作，研究方向为电力系统及其自动化，E-mail: 837708977@qq.com。

(责任编辑: 张峰亮)