

DOI: 10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2024.02.005

10 kV 并联电容器组不平衡保护动作诊断及分析

杨红权, 高竣, 邱炜, 刘彦琴, 刘鑫, 刘君, 蔡川,
郭超, 陈佳, 胡林

(国网四川电力成都供电公司, 成都 610000)

摘要:针对一起 10 kV 并联电容器组不平衡保护动作的故障案例,通过现场对并联电容器、电抗器、放电线圈、避雷器等进行诊断性试验,利用 PSCAD 对不平衡电压仿真计算,以及根据规程重新核算保护定值,最终确认了引起保护动作原因为该电容器内部存在故障以及不平衡保护定值设置不当。

关键词:并联电容器组;不平衡保护;保护定值;诊断试验

Diagnosis and Analysis of Unbalanced Protection of 10 kV Parallel Capacitor Bank

YANG Hongquan, GAO Jun, QIU Wei, LIU Yanqin, LIU Xin, LIU Jun, CAI Chuan,
GUO Chao, CHEN Jia, HU Lin

(State Grid Sichuan Electric Power Chengdu Power Supply Company, Chengdu 610000, China)

Abstract: In view of a fault case of unbalanced protection of 10 kV shunt capacitor bank, it is finally confirmed through on-site diagnostic tests on shunt capacitors, reactors, discharge coils and arresters simulation calculation of unbalanced voltage by the use of PSCAD that the cause of the protection is due to the fault inside the capacitor and the improper setting of the unbalanced protection setting.

Keywords: parallel capacitor bank; unbalanced protection; protection setting; diagnostic test

0 引言

随着电力系统负荷的日益增加,电网对无功功率的需求也不断增加,无功补偿装置大量投运^[1-5]。由于投资小、功率损耗以及运维费用低等特点,以及在补偿无功功率、提高功率因数,改善电压质量方面具有重要作用,并联电容器组一直是电网中最广泛使用的无功补偿装置^[6-10]。但是,随着应用规模的不断扩大,并联电容器组在运行中的故障次数也不断攀升,尤其是电压不平衡保护导致开关跳闸的问题频繁发生^[11-19]。据统计,电容器组不平衡保护动作占总故障次数比例可高达 84%^[20-23],因此有必要对每起故障原因进行深入探索和分析,寻找解决方案,避免类似的故障重复发生,也为运检人员提供更多的经验参考。

本文针对一起某 110 kV 变电站 10 kV 并联电容器组不平衡保护的工作故障为例,通过现场对各设备进行电气试验诊断分析、仿真软件对不平衡电

压仿真计算、以及保护定值重新核算等深入研究,确定了引起保护动作的原因,为检修人员处理电容器故障提供了思路和建议。

1 设备故障情况经过

2021 年 06 月 17 日,某 110 kV 变电站 10 kV 4 号电容器组的 2 号电容器组开关跳闸,现场检查为三相不平衡保护动作,保护记录三为相不平衡电压值为 2.99 V,动作整定值为 3.0 V。该 110 kV 变电站 10 kV 4 号电容器组由 1 号、2 号两组电容器组并联构成,一次接线图见图 1。1 号、2 号电容器组均采用单星形接线,每相由 1 台 BAMH12 $\sqrt{3}$ -3000-3W 型集合式电容器组成。每台集合式电容器内部 1 串 3 并的电容单元组成,每相电容器内共有 3 个单元电容器,接线原理见图 2。单元电容器内部由 3 串 9 并,共计 27 个元件组成,每个元件有内熔丝作为电容器内部故障保护,电容器组保护采用开口三角电压保护,保护原理接线见图 3。

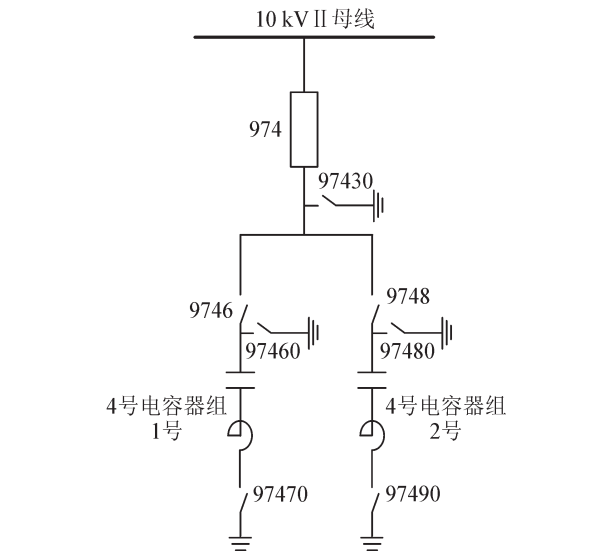


图1 10 kV 4号电容器组一次接线图
Fig. 1 Primary wiring diagram of 10 kV 4[#] capacitor bank

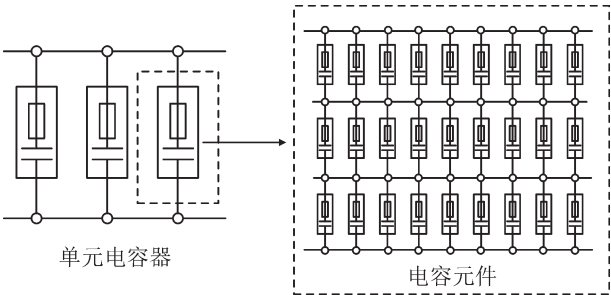


图2 集合式电容器内部电气接线原理图
Fig. 2 Schematic diagram of internal electrical wiring of the collective capacitor

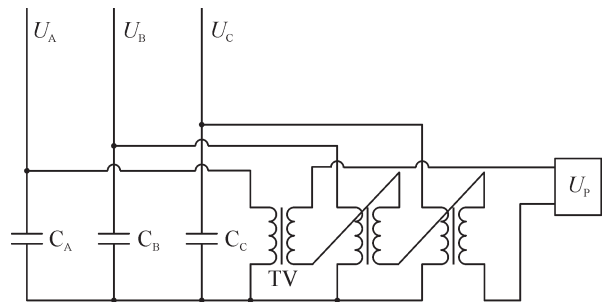


图3 开口三角电压保护原理接线示意图
Fig. 3 Wiring schematic diagram of open delta voltage protection principle

2 现场检查与诊断试验

根据 10 kV 4 号电容器组一次接线图以及保护动作原理进行分析,判断有可能为集合式电容器、放电线圈、电抗器、避雷器发生故障,导致放电线圈二次侧检测到的开口三角电压超过整定值,引起保护动作。保护动作跳闸后,修试人员立即到现场检查,发现一次设备外观均无异常,同时对集合式电容器、放电线圈、电抗器、避雷器进行电气诊断试

验,其中试验结果见表 1。

表1 电容器组电气诊断试验数据
Table 1 Electrical diagnostic test data of capacitor bank

电容器电容值/ μF				
电容器组	A 相	B 相	C 相	最大/最小
1 号	67.8	67.6	66.8	1.01
2 号	70.6	70.2	68.4	1.03
电抗器一次直阻/ $\text{m}\Omega$				
电容器组	A 相	B 相	C 相	不平衡/%
1 号	30.81	30.97	30.70	0.87
2 号	30.72	30.5	31.00	0.91
电抗器电抗值/ Ω				
电容器组	A 相	B 相	C 相	不平衡/%
1 号	4.713	4.727	4.707	0.40
2 号	4.807	4.833	4.817	0.54
放电线圈一次直阻/ Ω				
电容器组	A 相	B 相	C 相	
1 号	1951	1914	1938	
2 号	1913	1914	1860	
放电线圈变比				
电容器组	额定变比	A 相	B 相	C 相
1 号	69.28	68.639	68.635	68.637
2 号	69.28	68.582	68.550	68.560
避雷器试验				
电容器组	相别	$U_{1\text{mA}}/\text{kV}$	$I_{0.75U_{1\text{mA}}}/\mu\text{A}$	
1 号	A 相	24.2	8	
	B 相	24.9	9	
	C 相	24.9	7	
2 号	A 相	24.2	8	
	B 相	24.3	8	
	C 相	24.5	7	

根据表 1 中的诊断数据可知,1 号、2 号电容器组中的避雷器、电抗器、放电线圈的诊断数据符合 GB 50150-2016《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》中要求^[24],但是 2 号电容器组中的各相电容量的最大值和最小值之比达到了 1.03,超过了标准规定的不应大于 1.02 的要求,因此,可以初步怀疑为 2 号电容器组的电容器内部发生了故障,导致三相电压不平衡。此外,通过和铭牌值(70.0 μF)对比,发现 2 号电容器组的 C 相电容值减少了 1.6 μF ,判断可能为 C 相电容器内部发生了故障,导致部分并联的电容元件的熔丝断裂,从而使得整体电容量减小。

3 三相不平衡保护动作原因分析

3.1 电容器三相不平衡电压仿真计算

为了进一步分析 2 号电容器的相间电容值不平衡是否会导致三相电压不平衡保护动作,通过

PSCAD 进行建模,见图4,并将现场实测电容值、电抗值等各参数代入模型进行仿真。通过仿真,发现中性点电压偏移 84.72 V,三相电容的一次侧不平衡电压为 193 V,再根据实测变比换算到二次为 2.82 V,与保护整定值 3.0 V 十分接近,如果再考虑运行电压波动、电源不对称、保护装置采样误差等情况,在 3.0 V 的保护整定值下是很容易引起保护动作的。

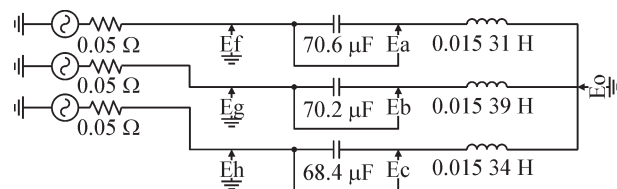


图4 三相电压不平衡PSCAD仿真模型
Fig. 4 PSCAD simulation model of three-phase voltage unbalance protection

3.2 电容器保护整定计算分析

为了进一步分析2号电容器组三相电压不平衡保护跳闸原因,对该组电容器不平衡保护动作输出电压值进行校核,其中电容器的三相不平衡保护动作电压计算参考DL/T 1415—2015《高压并联电容器装置保护导则》给出的公式进行计算^[25],如式(1)、(2)所示。

$$\Delta U_c = \frac{3kU_n}{3MNmn - k(3MNn - 3MN + 3N - 2)} \quad (1)$$

$$k = \frac{3MNmn(K_v - 1)}{K_v(3MNn - 3MN + 3N - 2)} \quad (2)$$

式中: ΔU_c 为不平衡保护动作电压; ΔK_v 表示完好元件允许过电压倍数,根据厂家提供的数据取值1.30; k 表示同一串段中切除元件数,取值3; M 表示一相单台电容器并联台数, N 表示一相中单台电容器串联段数; m 表示一单台电容器中并联元件数; n 表示单台电容器中元件串段数; U_n 为电容器组的额定相电压。

2号电容器组的电容器额定电压值为6.93 kV,每一相内部结构为1串3并共计3台单元电容器,单元电容器内部3串9并共计27个电容元件组成。利用上述数据进行计算,按照1.1倍的灵敏系数,如果不考虑电容器的初始不平衡电压值,可以计算的二次不平衡保护动作电压整定值为4.73 V。可以看出,该计算值大于目前2号电容器组的三相不平衡保护动作电压整定值,也说明该电容器组的整定值也存在问题。考虑到2号电容器组的C相电容值存在内部故障,因此,检修人员随即更换了该电容器,同时保护人员调整了保护装置不平衡电压定值,此后一直运行至今该电容器组均未出现因

不平衡保护跳闸故障。

在发现该问题后,该供电公司对其他站的定值进行了逐一排查和核对,发现其他部分老旧变电站也存在类似情况,三相不平衡保护动作电压定值未采取差异化整定,一般都按照3.0 V的经验值进行整定。为了避免类似问题再次发生,保护人员也对这些站的不平衡电压定值进行了重新核算和调整。

4 结语

1) 本文通过对某110 kV变电站10 kV并联电容器组三相不平衡保护动作原因进行现场诊断和仿真计算分析,确定为保护动作电压整定值不当,且部分电容器存在内部故障,导致三相不平衡电压超过了保护定值,导致保护动作跳闸。

2) 在整定电容器组不平衡电压定值时,建议参考DL/T 1415—2015《高压并联电容器装置保护导则》或者厂家提供的定值进行整定,避免根据经验整定容易造成保护误动。

3) 在确认电容器组不平衡电压定值存在问题后,建议及时对其他所辖的变电站的定值进行逐一排查和核算,提前对定值不当的电容器保护进行整改。

参考文献

- [1] 张建军,李雪,李岩. 高压并联电容器装置运行可靠性的运维改进措施[J]. 电力电容器与无功补偿,2018,39(2): 1-5.
ZHANG Jianjun, LI Xue, LI Yan. Operation & maintenance improvement measures for operation reliability of high voltage shunt capacitor complete sets[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018, 39(2): 1-5.
- [2] 王淑慧,陈秀文,高俊福. 并联电容器不平衡电压保护及保护定值的分析[J]. 电力电容器与无功补偿,2009,30(4): 1-4.
WANG Shuhui, CHEN Xiuwen, GAO Junfu. Analysis of unbalanced voltage protection and protection setting value of the shunt capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2009, 30(4): 1-4.
- [3] 张波,陈水耀,邹晖,等. 35 kV集合式电容器保护动作原因分析及整改措施[J]. 电力电容器与无功补偿,2020,41(2): 38-41.
ZHANG Bo, CHEN Shuiyao, ZOU Hui, et al. Analysis of protective action cause and improvement measures for 35 kV assembled capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(2): 38-41.
- [4] 郑隆,申涛. 一起集合式电容器差压保护动作后解体分析[J]. 电工电气,2018(3): 47-49.
ZHENG Long, SHEN Tao. Causes analysis of an assem-

- bling capacitor differential pressure protection action[J]. Electrotechnics Electric (Jiangsu Electrical Apparatus), 2018(3):47-49.
- [5] 周则望. 不平衡保护技术在集合式电力电容器中的应用[J]. 科学技术创新, 2022(6):184-187.
- ZHOU Zewang. Application of unbalance protection technology in collective power capacitor[J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(6):184-187.
- [6] 冯汝明, 赵建利, 杨波, 等. 一起35 kV并联电容器内绝缘故障分析与研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(5):14-20.
- FENG Ruming, ZHAO Jianli, YANG Bo, et al. Analysis and study on internal insulation fault of 35 kV shunt capacitor[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(5):14-20.
- [7] 何建龙, 张少江, 郑歆, 等. 放电线圈引起电容器组不平衡电流保护动作分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(2):8-12.
- HE Jianlong, ZHANG Shaojiang, ZHENG Xin, et al. Analysis of capacitor unbalanced current protection action caused by discharge coil[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(2):8-12.
- [8] 韩笑, 刘建婷, 张益伟, 等. 柔性直流配网继电保护关键技术评述[J]. 电测与仪表, 2022, 59(3):1-9.
- HAN Xiao, LIU Jianting, ZHANG Yiwei, et al. Summary of key technology of relay protection in flexible DC distribution network[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2022, 59(3):1-9.
- [9] 张健, 黄少锋, 李轶凡. 统一潮流控制器接入对距离保护的影响及对策[J]. 电测与仪表, 2022, 59(5):187-192.
- ZHANG Jian, HUANG Shaofeng, Li Yifan. Analysis of the influence of UPFC on distance protection and the corresponding improved scheme[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2022, 59(5):187-192.
- [10] 潘武略, 钱政旭, 孙志攀, 等. 基于采样值差动原理的低频输电线路差动保护研究[J]. 浙江电力, 2023, 42(2):35-42.
- PAN Wulue, QIAN Zhengxu, SUN Zhipan, et al. Research on differential protection of low frequency transmission lines based on differential principle of sampling values[J]. Zhejiang Electric Power, 2023, 42(2):35-42.
- [11] 董万光, 董亚, 侯宪法, 等. 一起35 kV并联电容器组群爆事故原因分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2013, 34(5):71-74.
- DONG Wanguang, DONG Ya, HOU Xianfa, et al. Analysis of a colony fusing failure in 35 kV shunt capacitor bank[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2013, 34(5):71-74.
- [12] 潘臻, 安立. 一起35 kV并联电容器组事故爆炸原因分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2015, 36(3):17-20.
- PAN Zhen, AN Li. Analysis of 35 kV shunt capacitor banks explosion accident[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2015, 36(3):17-20.
- [13] 康真, 张梅. 一起集合式并联电容器爆裂故障原因分析[J]. 宁夏电力, 2015(5):45-50.
- KANG Zhen, ZHANG Mei. Cause analysis on the burst failure of the assembling shunt capacitor[J]. Ningxia Electric Power, 2015(5):45-50.
- [14] 和敬涵, 韦智腾, 李猛, 等. 基于数字孪生的柔性直流线路保护中不良数据的自纠错方法[J]. 电力工程技术, 2023, 42(6):141-152.
- HE Jinghan, WEI Zhiteng, LI Meng, et al. A self-correcting method for bad data in flexible DC line protection based on digital twinning[J]. Electric Power Engineering Technology, 2023, 42(6):141-152.
- [15] 李彬彬, 张拓, 刘博, 等. 110 kV电容器组地震模拟振动台试验及有限元分析[J]. 高压电器, 2022, 58(8):150-159.
- LI Binbin, ZHANG Tuo, LIU Bo, et al. Shaking table test for seismic simulation and finite element analysis on 110 kV capacitor bank[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(8):150-159.
- [16] 胡海安. 运行中发生电容器组熔断器全爆的故障分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2009, 30(4):55-58.
- HU Haian. Fault analysis of external fuse group blowing in capacitor banks[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2009, 30(4):55-58.
- [17] 汪洋, 任振宇, 朱旭东, 等. LCC-FHMMC换流阀出口交流单相接地故障特性分析及保护方案设计[J]. 高压电器, 2022, 58(7):18-27.
- WANG Yang, REN Zhenyu, ZHU Xudong, et al. Characteristic analysis and protection scheme design of AC single phase grounding fault for LCC-FHMMC converter valve exit[J]. High Voltage Apparatus, 2022, 58(7):18-27.
- [18] 曹树慧. 电容器组不平衡电压保护动作原因分析[J]. 电工技术, 2020(14):41-42.
- CAO Shuhui. Analysis of protective action of unbalanced voltage of capacitor bank[J]. Electric Engineering, 2020(14):41-42.
- [19] 岳倩倩, 余云光, 黎慧明, 等. 一起并联电容器组不平衡电压保护动作原因分析及思考[J]. 电力设备管理, 2021(5):51-52.
- YUE Qianqian, YU Yunguang, LI Huiming, et al. Analysis and thinking on the cause of unbalanced voltage protection action of a parallel capacitor bank[J]. Electric Power Equipment Management, 2021(5):51-52.
- [20] 郭苏锋, 陆飞, 周刚, 等. 电力电容器组不平衡电压保护动作原因分析及故障诊断[J]. 电气开关, 2018, 56(2):83-86.

GUO Sufeng, LU Fei, ZHOU Gang, et al. Analysis and fault diagnosis of unbalanced voltage protection action of power capacitor set[J]. Electric Switcher, 2018, 56(2): 83-86.

[21]李乐,安源,郝治国,等. 适应于光伏电站主变压器的差动保护工作模式[J]. 电网与清洁能源, 2022, 38(3): 97-104.

LI Le, AN Yuan, HAO Zhiguo, et al. Differential protection working mode applicable to main transformers of photovoltaic power plants[J]. Power System and Clean Energy, 2022, 38(3): 97-104.

[22]霍竞冲,孟润泉,李胜文,等. 低压直流配电系统极间短路故障分析与保护[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(5): 1-10.

HUO Jingchong, MENG Runquan, LI Shengwen, et al. Analysis and protection for pole-to-pole short-circuit faults of the LVDC distribution system[J]. Power System and Clean Energy, 2023, 39(5): 1-10.

[24]电气装置安装工程电气设备交接试验标准:GB 50150—2016[S]. 2016.

Electric equipment installation engineering standard for hand-over test of electric equipment: GB 50150—2016[S]. 2016.

[25]高压并联电容器装置保护导则:DL/T 1415—2015[S]. 2015.

Guidelines for protection of high voltage shunt capacitor installations: DL/T 1415—2015[S]. 2015.

作者简介:

杨红权(1975—),男,高级工程师,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。

高竣(1989—),男,高级工程师,通信作者,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。E-mail:1003346229@qq.com。

邱炜(1984—),男,高级工程师,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。

刘彦琴(1982—),女,高级工程师,主要从事电测、热工技术工作。

刘鑫(1983—),男,高级工程师,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。

刘君(1984—),男,高级工程师,主要从事变压器绝缘老化机制及其状态评估工作。

蔡川(1983—),男,高级工程师,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。

郭超(1988—),男,高级工程师,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。

陈佳(1980—),男,工程师,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。

胡林(1991—),男,工程师,主要从事电气设备状态监测与故障诊断工作。

《电力电容器与无功补偿》2024 年 2 期广告单位

1 上海思源电力电容器有限公司	封面	9 西安金叶电力科技有限公司	前插 5
2 合容电气股份有限公司	封二	10 杭州精诚电力设备有限公司	前插 6
3 赛晶科技集团有限公司	封三	11 山东海源泰和电气有限公司	前插 7
4 山东哈大电气有限公司	封底	12 新程(辽宁)电力电容器科技有限公司	前插 8
5 桂林明富金属股份有限公司	前插 1	13 安徽广正电气科技有限公司	前插 9
6 陕西泰普瑞电工技术有限公司	前插 2	14 辽宁芯峻电气有限公司	前插 10
7 陕西凯瑞宏星电器有限公司	前插 3	15 温州市凯泰特种电器有限公司	前插 11
8 深圳市三和电力科技有限公司	前插 4	16 西安唯实输配电技术有限公司	前插 12