

35 kV 并联电容器组短路故障分析及预防

胡润阁¹, 可翀², 吕杰³, 刘星伟², 李威², 郝亚峰²

(1. 国网河南省电力公司, 郑州 450000; 2. 国网河南省电力公司超高压公司, 郑州 450000;
3. 日新电机(无锡)有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘要: 针对 500 kV 某变电站 35 kV 并联电容器组因外绝缘受损导致的起火烧毁故障情况, 依据现场检查、故障录波波形分析及典型特征电容器的解体检查, 推断 C 相电容器组右下桥臂区域电容器因绝缘子受潮经汇流铝排对金属框架电弧放电, 逐步发展至 B 相, 导致 B 相右下框架电弧灼伤, 进而造成 B 相、C 相相间短路。此时, 电容器三相参数不一致, 录波电流波形中可见明显变化。故障持续发展, 高温及畸变电场作用下电容器组三相短路, 起火烧毁。针对本次故障暴露出的问题, 提出了加强运行十年以上并联电容器组设备巡视, 关注红外热像检测, 建立设备消缺管理档案等改进预防措施。
关键词: 并联电容器组; 起火; 故障录波; 解体; 电弧放电

Analysis and Prevention of Short Circuit Fault in 35 kV Shunt Capacitor Bank

HU Runge¹, KE Chong², LYU Jie³, LIU Xingwei², LI Wei², HAO Yafeng²

(1. State Grid Henan Electrical Power Company, Zhengzhou 450000, China; 2. State Grid Henan Extra High Voltage Company, Zhengzhou 450000, China; 3. Nissin Electric (Wuxi) Co., Ltd., Jiangsu Wuxi 214000, China)

Abstract: Regarding the fire-induced burnout fault of a 35 kV shunt capacitor bank at a 500 kV substation due to the damage of its external insulation, an investigation is carried out based on on-site inspections, analysis of record oscillogram, and the disassembly inspection of a typical characteristic capacitor. It is deduced that in the lower right arm region of the phase C capacitor bank, a capacitor unit experiences arc discharge from an insulator (due to moisture absorption) via the aluminum busbar to the metal frame. This discharge gradually develops into the phase B, causing arc burns on the lower right frame of phase B, and ultimately resulting in a phase-to-phase short circuit between phase B and phase C. At this time, the three-phase parameters of the capacitor are inconsistent, and obvious changes can be observed in the recorded current oscillogram. The fault continues to develop, the three phases of the capacitor bank is short-circuited under the action of high temperature and distorted electric field, and then burn out. To address the issues revealed by this fault, such preventive measures as enhance routine inspection of shunt capacitor banks that have been in service for over ten years, prioritize infrared thermography monitoring and set up an management archive for equipment defect elimination are proposed.

Keywords: shunt capacitor bank; fire; fault oscillogram; disassembly; arc discharge

0 引言

35 kV 并联电容器组在电力系统中提供无功功率, 补偿无功损耗, 提高电网末端站的电压及功率因数, 起到改善电能质量的作用^[1-3]。近年来, 因生产制造、现场安装及运行环境等因素影响, 并联电容器出现过发热、鼓肚、渗漏油、放电线圈绝缘损

坏, 甚至是起火烧毁等严重故障^[4-14]。

本文介绍了 500 kV 某变电站 35 kV 并联电容器起火烧毁故障, 经现场检查、系统参数计算、录波波形分析及设备解体检查, 推断故障始发于 C 相右下桥臂, 逐步发展至相间短路、三相短路。分析故障原因后, 提出相应的预防措施, 为同类型设备运行维护提供借鉴。

1 故障简况

2018年8月24日17时35分14秒,500 kV 某变电站 35 kV 1 号并联电容器组经自动电压无功控制系统(automatic voltage control, AVC)系统自动投入运行,35 分 15 秒过流 I 段保护动作跳闸,同时运

行人员通过监控发现并联电容器组起火。当天,站内无操作,无设备异常信号,所在地天气晴,气温 30℃。35 kV I 母正常运行,1 号站用变在运,AVC 系统投入,电抗器、电容器间隔均处于热备用状态,其一次设备接线如图 1 所示。

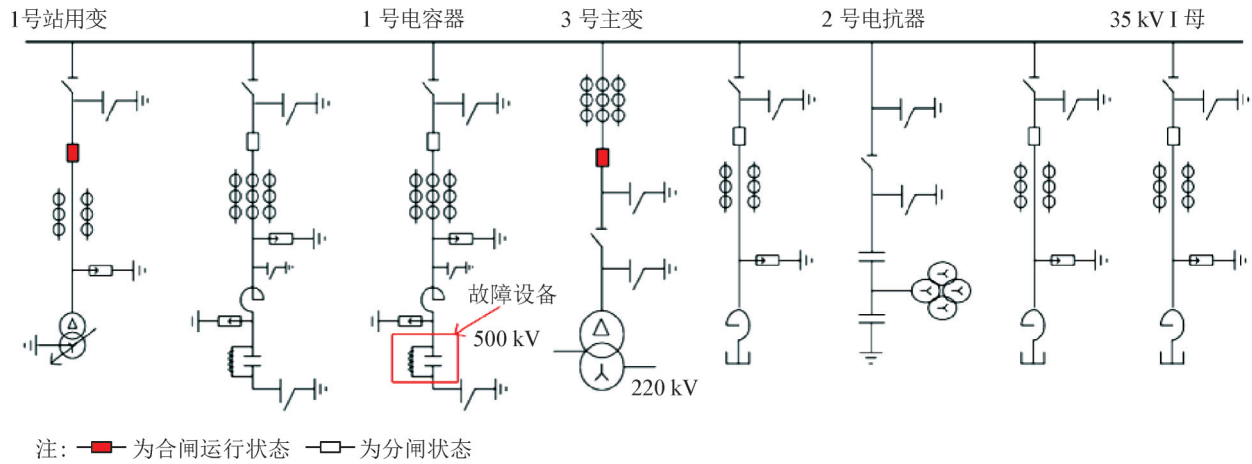


图1 35 kV I母一次设备接线图
Fig. 1 Wiring diagram of primary equipment of 35 kV I bus

2 现场检查

2.1 并联电容器组检查

现场检查 35 kV 1 号并联电容器组内电容器已全部烧毁,如图 2 所示。间隔内串联电抗器外观有灼伤痕迹,避雷器外观熏黑现象较为严重,泄漏电流监视器烧毁,间隔内其他设备未见异常。



图2 1号并联电容器组现场检查
Fig. 2 Field inspection of 1# shunt capacitor bank

2.2 故障电抗器结构参数

1 号并联电容器组型号为 TBB14-35-60120, 2007 年生产,2008 年 6 月投运,采用单星型接线,已完成绝缘化治理,如图 3 所示。设备参数如表 1 所示。2016 年 AVC 系统投入后,1 号并联电容器组仅有 10 次投退记录,上一次退出时间为 2017 年 8 月 25 日。

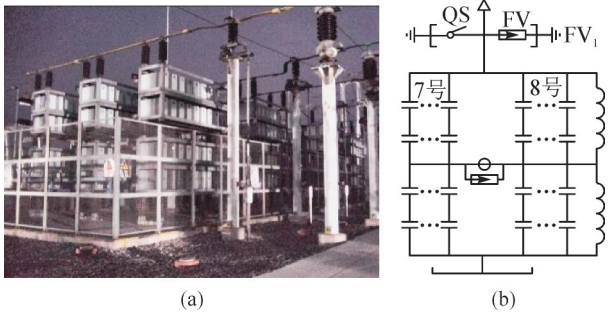


图3 1号并联电容器组结构
Fig. 3 Structure of 1# shunt capacitor bank

表1 35 kV 1号并联电容器组设备信息
Table 1 Information of 35 kV 1# shunt capacitor bank

参数	数值
额定容量/kvar	60120
绝缘水平/kV	95/200
额定电抗率/%	6
额定电容量/ μ F	131.9
额定电压/kV	35
额定电流/A	911
额定频率/Hz	50
标准代号	GB/T 11024.1-2001

3 录波波形分析

3.1 保护动作情况分析

35 kV 1 号并联电容器组配置一套 RCS-9633C 电容器保护装置,上一次定检日期为 2017 年 4 月

15 日,过流 I 段定值 16.5 A/0.2 s,变比为 2 000/5,桥差电流定值 2 A/0.2 s。

1 号并联电容器组保护装置电流、电压及开关量录波如图 4 所示。0 毫秒时,1 号并联电容器组经 AVC 自动投入运行,开关合位计 HWJ 指示动作,并联电容器组三相电流较小且存在明显畸变、电压为正常三相对称正弦波电压;约 20 ms 后,B、C 相并联电容器组出现较大桥差不平衡电流,持续时间约 30 ms 后消失,电压在出现桥差电流时存在畸变,随后恢复正常;约 600 ms 后并联电容器组出现持续稳定的三相对称正弦电流(42.15 A),三相电压降低,具备明显的三相短路特征,且电流超过电容器过流 I 段保护定值,持续 200 ms 后达到时间定值,过流保护 I 段动作出口跳闸,跳开三相开关。保护动作行为符合定值整定设置,动作正确。

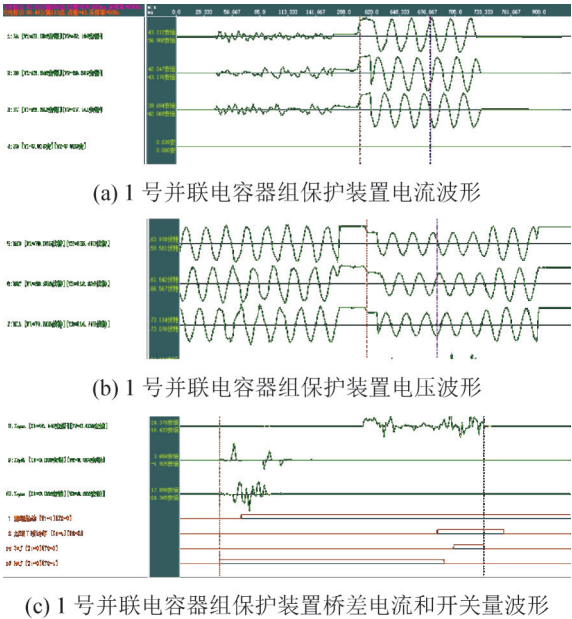


图4 1号并联电容器组保护装置电流、电压录波
Fig. 4 Current and voltage oscillograms of protection device for 1# shunt capacitor bank

由上述电流电压波形分析可推测,在 1 号并联

电容器组经 AVC 自动投入运行后,B、C 相发生了局部放电电弧产生桥差电流,但因持续时间较短未触发桥差电流保护动作;随后故障发展为稳定三相短路,达到过流 I 段保护定值,电容器保护正确动作跳开开关,隔离了故障点。

3.2 故障录波分析

1) 谐振过电压计算

系统谐振条件为式(1)–(2)所示,式(2)中: f_0 为工频 50 Hz; n 为谐波次数。

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (1)$$

$$\omega = 2\pi n f_0 \quad (2)$$

1 号并联电容器组所属 35 kV 母线短路电流为 29 kA,根据 $X_L = E/\sqrt{3}I$ 可计算出等值电抗为 0.7 Ω ,结合串联电抗器及并联电容器的参数,由式(5)可得谐振谐波次数 $n = 3.4$ 。

$$X_L = 2\pi f_0 L \quad (3)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad (4)$$

$$n = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} \quad (5)$$

2) 操作过电压分析

1 号并联电容器组的投切等效为合闸于零初始状态电容元件的 LC 单频振荡电路。1 号并联电容器组断路器合闸后至故障前操作过电压录波如图 5 所示,A 相、B 相、C 相的合闸过电压分别为 1.82 p.u.、1.26 p.u.、1.16 p.u.,小于规程^[15]允许值 4.0 p.u. (1.0 p.u. 换算有名值为 33.1 kV)。该操作过电压水平下不会影响设备的绝缘性能。

3) 合闸涌流分析

分析故障录波电流波形如图 6,合闸后 200 ms 内,主要表现为合闸涌流特征,涌流最大值为 3 172 A,小于电容器额定电流的 20 倍(18 220 A),满足无功补偿装置设计规范^[16]。

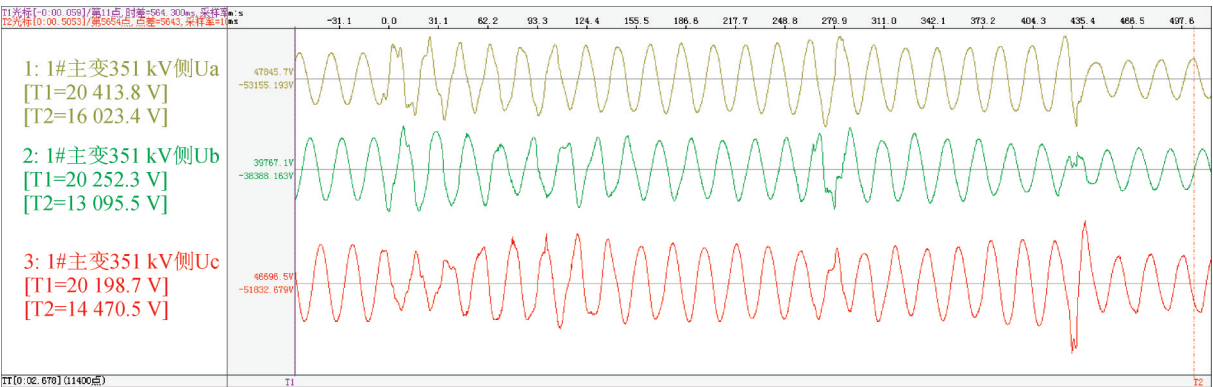


图5 合闸后至故障前操作过电压波形
Fig. 5 Switching overvoltage waveforms from closing to pre-fault period

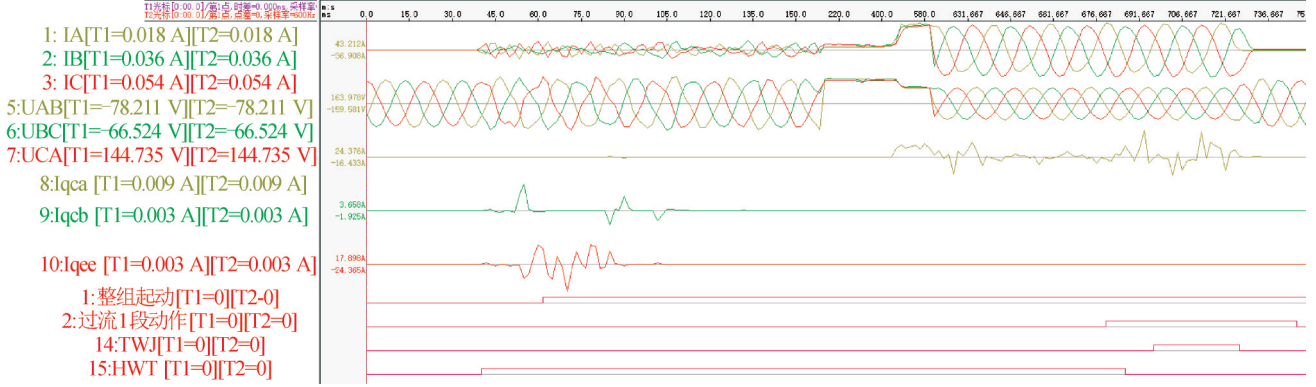
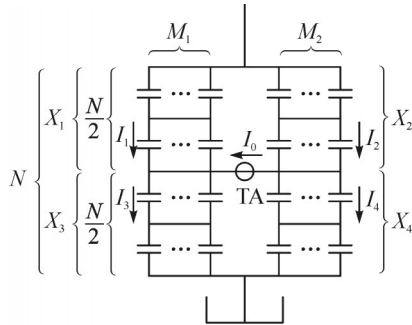


图6 合闸后合闸涌流波形

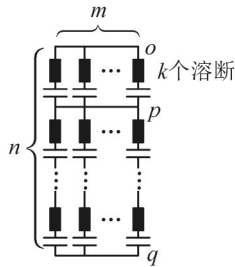
Fig. 6 Closing inrush current waveform after closing operation

4) 阻抗分析

电容器发生故障起火后,将会导致电容元件内部熔丝熔断以及元件短路。针对这两种情况,分析电容器阻抗变化。该组电容器为单星形 H 型接线方式,其单相的接线结构可等效为图 7(a)^[17]。装置中有 4 ($N=4$) 个串联段每个串联段有 7+8 ($M_1=7$, $M_2=8$) 台并联。单只电容元件内部结构可等效为图 7(b)。由 m 个串联熔丝并联形成一个串联段,每个串联熔丝电容量为 C_s ,再由 n 个串联段串联形成。



(a) 单相结构图



(b) 单台电容器结构

图7 电容器等效结构图

Fig. 7 Equivalent structure of capacitor

当电容器故障起火导致电容元件内部 k 个熔丝

$$C_{\text{总}} = \frac{C_{\text{上}} C_{\text{下}}}{C_{\text{上}} + C_{\text{下}}} = \frac{m}{Nn} \times \frac{(M_1 + M_2)[(M_1 mn - M_1 nk + M_1 k - k)(M_1 + M_2)N + 2M_2 k]}{N(M_1 + M_2)(M_1 mn - M_1 nk + M_1 k - k) + M_1 k + 2M_2 k} C_s =$$

$$\frac{m}{Nn} \left[(M_1 + M_2) - \frac{M_1(M_1 + M_2)}{N(M_1 + M_2)(M_1 \frac{mn}{k} - M_1 n + M_1 - 1) + M_1 + 2M_2} \right] \quad (15)$$

熔断(如第 1 组串联段 X_1 中),可以得到故障电容元件电容值为

$$C_{\text{eq}} = (m - k)C_s \quad (6)$$

$$C_{\text{op}} = \frac{(m - k)C_s \times (\frac{m}{n-1})C_s}{(m - k)C_s + (\frac{m}{n-1})C_s} = \frac{m(m - k)}{mn - nk + k} C_s \quad (7)$$

正常电容元件的电容值为

$$C = \frac{m}{n} C_s \quad (8)$$

故障串联段电容值为

$$C_d = C_{\text{op}} + (M_1 - 1) \frac{m}{n} C_s = \frac{M_1 mn - M_1 nk + M_1 k - k}{n(mn - nk + k)} m C_s \quad (9)$$

根据式(8)-(9)可得到各桥臂电容值为

$$C_1 = \frac{C_s \left(\frac{M_1}{\frac{N}{2} - 1} \right) \frac{m}{n} C_s}{C_s + \left(\frac{M_1}{\frac{N}{2} - 1} \right) \frac{m}{n} C_s} = \frac{2M_1 m (M_1 mn - M_1 nk + M_1 k - k)}{n(M_1 N mn - M_1 N nk + M_1 N k - N k + 2k)} C_s \quad (10)$$

$$C_2 = C_4 = \frac{M_2 m}{\frac{N}{2} n} C_s = \frac{2M_2 m}{Nn} C_s \quad (11)$$

$$C_3 = \frac{2M_1 m}{Nn} C_s \quad (12)$$

根据式(10)-(12)可以得到该相电容器的电容:

$$C_{\text{上}} = C_1 + C_2 \quad (13)$$

$$C_{\text{下}} = C_3 + C_4 \quad (14)$$

根据式(15)可知,随着熔丝熔断数 k 增加,该相电容值减小,根据式(4)可知,阻抗将增大。

当电容器故障起火导致电容元件发生短路时,以左上桥臂发生 1 串或者多串短路为例,其串联段数将变为 $N_i/2 (0 \leq N_i/2 \leq N/2)$,可以得到故障桥臂电容值为:

$$C'_1 = \frac{2M_1m}{N_1n}C_s = \frac{2M_1}{N_1}C \tag{16}$$

结合式(11)-(15),可以得到该相电容器的电容,其中 C_N 为该相电容器的额定电容量为

$$C'_N = \frac{(C'_1 + C_2)(C_3 + C_4)}{C'_1 + C_2 + C_3 + C_4} = C_N \left[2 - \frac{2N_1(M_1 + M_2)}{M_1N + M_2N_1 + N_1(M_1 + M_2)} \right] \tag{17}$$

根据式(17)可知,随着短路串数增多, N_i 减小,该相电容值增大,根据式(4)可知,阻抗将减小。

同时可以计算出当该相电容器发生两串短路故障时阻抗降至 12Ω 左右,发生三串短路故障时阻抗降至 8Ω 左右,当阻抗进一步降低(接近 2Ω),则发生整相击穿短路故障。

为了进一步分析故障过程,利用主变 35 kV 侧电压及电流波形求得电容器合闸后三相阻抗变化情况,如图 8 所示。

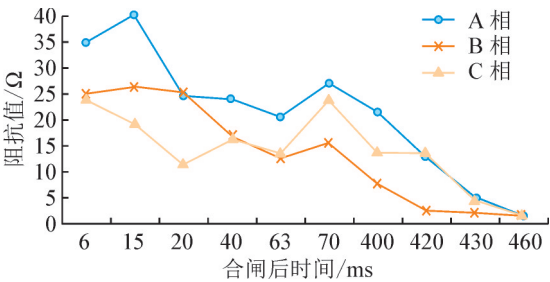


图8 电容器阻抗变化图
Fig. 8 Impedance variation diagram of capacitor

从图 8 可以看出,三相阻抗整体呈现下降趋势,但下降过程中存在阻抗升高现象,说明故障发展过程中电容元件发生短路并伴随有熔丝熔断。根据三相阻抗的变化可以作出推测,合闸后 20 ms 左右 C 相阻抗下降至 12Ω ,发生了 2 串短路。合闸后 60 ms 左右, B 相阻抗下降至 12Ω ,发生 2 串短路;400 ms 左右, B 相阻抗下降至 8Ω ,发生 3 串短路,460 ms 左右, B 相阻抗下降至 2Ω , B 相整相击穿短路,并且此后 A、C 两相阻抗快速下降,三相阻抗均维持在 2Ω 以下说明引起三相短路。

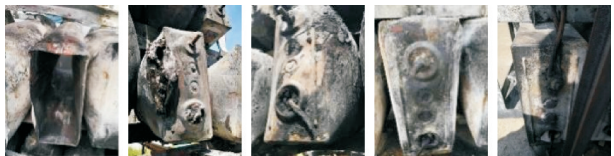
4 解体分析

保护装置正确动作,结合系统参数计算断路器

合闸操作并无谐振发生,操作过电压及合闸涌流未超出规程要求,为进一步确定故障部位及原因,对并联电容器组进行解体分析。

4.1 并联电容器组整体分析

单相并联电容器组共有 180 只电容器,电容器套管均已损毁,各类别电容器图片如图 9 所示。无法进行电容量、局放、电阻等电气试验。依据电容器损毁程度,将电容器分为 5 类,如表 2 所示。其中, B 相、C 相右下桥臂电容器鼓肚现象最为严重, B 相、C 相电容器损毁情况如图 10 所示, B 相并联电容器组损毁分类见图 11。



(a) 类别 1 (b) 类别 2 (c) 类别 3 (d) 类别 4 (e) 类别 5

图9 各类别电容器图片
Fig. 10 Pictures of various types of capacitors

表2 电容器归类
Table 2 Classification of capacitor

类别	特征	数量/个	典型特征的电容器编号
1	只剩空壳	4	A22、B10、C13
2	破裂	5	B52、C8、C51
3	鼓肚明显	130	A11、B6、C1
4	稍有鼓肚	35	A10、B1、C20
5	相对完好	6	C15、C16、C17



图10 B相、C相并联电容器组损毁情况
Fig. 10 Damage situation of phase-B and phase-C capacitor bank

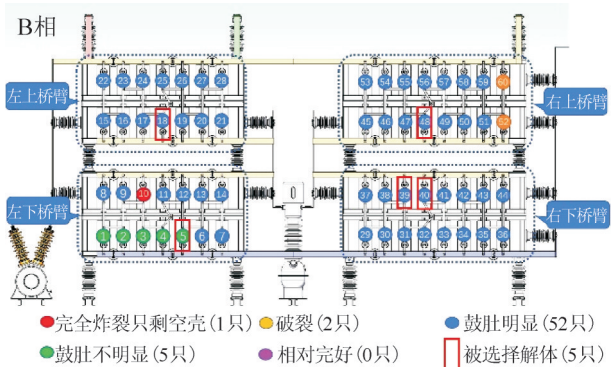


图11 B相并联电容器组损毁分类
Fig. 11 Damage classification of phase-B capacitor bank

并联电容器组外部框架 B 相右下及 C 相右下处变形、烧毁严重, B40 电容器箱底对应的 B 相右下框架发现唯一一处电弧灼伤缺口,该缺口宽约 6 cm,深约 3 cm,其附近位置均有过火痕迹,如图 12 所示。汇流铝排及其与电容器之间的连接线经高温燃烧,只有 A 相左下桥臂处汇流铝排约有 0.5 m 残余。

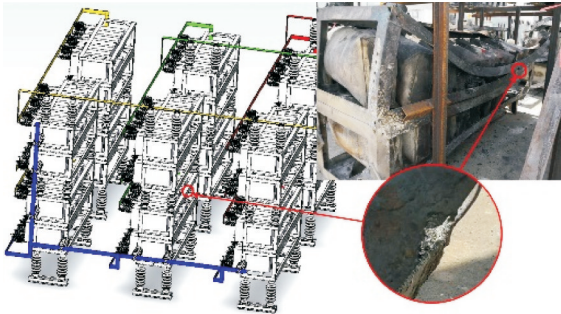


图 12 B 相并联电容器组框架电弧灼伤
Fig. 12 Arc burn on phase-B capacitor bank frame

4.2 电容器解体分析

依据表 2 中电容器归类情况,选择破裂的 C8、鼓肚明显的 B40 及稍有鼓肚的 A10 电容器进行设备解体,检查其内部结构损坏情况^[18-26],以辅助故障分析。

1) 破裂的 C8 电容器解体

C8 电容器位于 C 相左下桥臂第 2 层,无明显鼓肚现象,前、后端破裂。解体后发现,48 个电容元件的内熔丝全部熔断,如图 13 所示。



图 13 C8 电容器解体
Fig. 13 Disassembly of C8 capacitor

2) 鼓肚明显的 B40 电容器解体

B40 电容器位于 B 相右下桥臂第 2 层,鼓肚明显。解体后发现,内有电容元件烧毁,存在高温膨胀现象,未烧毁的电容元件内熔丝完好,如图 14 所示。

3) 稍有鼓肚的 A10 电容器解体

A10 电容器位于 A 相左下桥臂第 2 层,稍有鼓肚。解体后发现,48 个电容元件内熔丝均完好,部分元件烧毁,如图 15 所示。各电容元件的电容量测量如表 3 所示。



图 14 B40 电容器解体
Fig. 14 Disassembly of B40 capacitor



图 15 A10 电容器解体
Fig. 15 Disassembly of A10 capacitor

表 3 A10 电容元件电容量测量
Table 3 Capacitance measurement of A10 capacitor element

序号	电容量/ μF	序号	电容量/ μF
1	1.0	27	11.67
2	1.0	$\vdots$	$\vdots$
3	1.0	41	11.43
$\vdots$	$\vdots$	42	11.68
19	1.0	43	11.54
20	11.72	44	11.41
$\vdots$	$\vdots$	45	11.79
25	11.72	$\vdots$	$\vdots$
26	1.0	48	11.81

选取第 41-45 个完好的电容元件进行直流耐压试验,如图 16 所示。耐压倍数均超过要求耐压倍数,耐压试验合格,如表 4 所示。该电容元件经过高温后,介质绝缘性能依然良好。

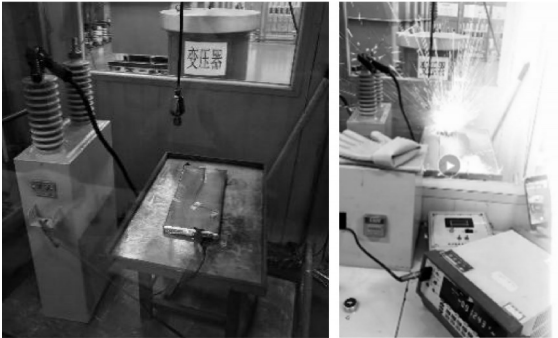


图 16 A10 电容元件耐压试验
Fig. 16 Withstand voltage test of A10 capacitor element

表4 A10部分电容元件耐压试验结果
Table 4 Withstand voltage test of partial A10 capacitor element

序号	额定电压/kV	直流击穿电压/kV	加压倍数	要求耐压击穿倍数
41	1.375	9.10	6.63	4.3
42	1.375	9.10	6.63	4.3
43	1.375	9.25	6.73	4.3
44	1.375	8.50	6.18	4.3
45	1.375	9.57	6.96	4.3

4.3 仿真分析

采用 ATP-EMTP 软件对并联电容器组故障进行仿真^[21-25]。录波情况显示并联电容器组投入后,C相、B相相继出现异常桥差不平衡电流,随后出现三相短路电流,现场检查 B、C 相右下桥臂框架烧毁情况最为严重,且 B 相右下框架存在电弧灼伤缺口。针对上述情况设置 C 相、B 相继出现右下桥臂短路故障,仿真模型如图 17 所示。

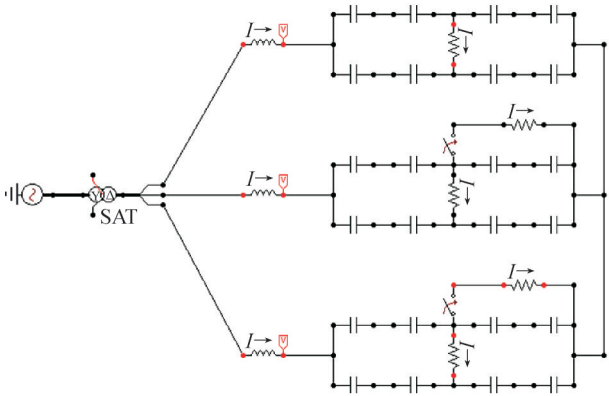


图17 并联电容器组仿真模型
Fig. 17 Simulation model of shunt capacitor bank

并联电容器组电流仿真结果如图 18-20 所示,故障发生后 C 相、B 相、A 相继产生超出额定运行范围的畸变电流,其中 B 相整体畸变电流最大。

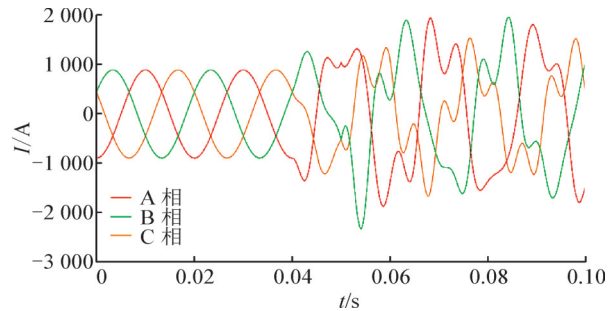


图18 并联电容器组电流仿真结果
Fig. 18 Simulation result of current of shunt capacitor bank

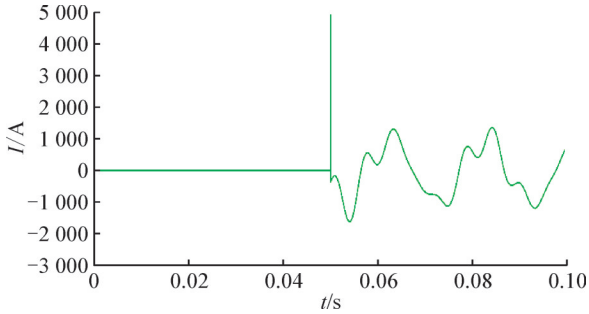


图19 B相短路点电流
Fig. 19 Short circuit point current of phase B

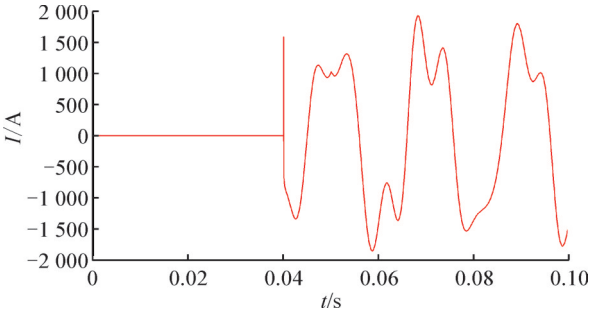


图20 C相短路点电流
Fig. 20 Short circuit point current of phase C

4.4 故障原因分析

解体试验可见相对完好的电容元件内部绝缘并无异常,大量电容器经高温膨胀鼓肚,严重者因短时高能量注入爆裂。

结合并联电容器组设备结构、现场检查、故障录波装置波形分析、解体试验及仿真结果,推断可能因电容器绝缘子受潮,C相并联电容器组右下桥臂区域电容器经汇流铝排对金属框架电弧放电,造成右下桥臂短路。电弧发展至B相,导致B相右下框架电弧灼伤,进而发展至B相、C相相间短路。故障持续发展,在高温及畸变电场作用下,电容器绝缘性能下降,最终造成并联电容器组三相短路,起火烧毁。

5 预防措施

根据设备运行状况、录波波形及解体分析,结合运行经验对文中类型电容器设备提出以下预防措施:

- 1) 电容器端子间或端子与汇流母线间的连接应采用带绝缘护套的软铜线。并联电容器组检修后应逐个对接头进行力矩检查,确保接头和连接导线有足够的接触面积且接触完好。重视红外热像发现的电容器本体、接线连接处的发热情况,做好跟踪记录。
- 2) 加强运行 10 年以上老旧并联电容器组的设备巡视,重点关注电容器有无渗漏油,套管有无裂

纹,运行有无异响,建立设备消缺管理档案,关注设备试验结果的变化趋势。

3)对于内熔丝电容器,当电容量减少超过铭牌标注电容量的3%时,应退出运行,避免因电容器带故障运行而发展成扩大性故障。

4)采用AVC等自动投切系统控制的多组电容器,投切策略应保持各组投切次数均衡,避免反复投切同一组,而其他组长时间闲置。若超过6月未投运过,应申请转检修,进行例行试验。

5)并联电容器组内汇流排、连接线,应采取绝缘化处理,防止短路事故发生。

6 结语

高压并联电容组用于维持电压稳定,广泛应用于500 kV变电站低压侧,是重要的无功补偿设备。文中基于一起500 kV变电站35 kV并联电容器组起火烧毁故障,通过现场检查、录波波形分析及设备解体检查,推断可能因电容器绝缘子受潮,C相并联电容器组右下桥臂区域电容器经汇流铝排对金属框架电弧放电,电弧发展至B相,导致B相、C相相间短路。在高温及畸变电场作用下,电容器绝缘性能下降,最终造成并联电容器组三相短路,起火烧毁。文中描述的故障分析及预防措施可为行业提供借鉴,以保障并联电容器设备安全稳定运行。

参考文献

- [1] 张全元. 变电运行一次设备现场培训教材[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 王玉荣, 李方兴, 陈昊. 基于补偿设备混合配置策略的电力系统无功规划[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2017, 47(2): 299-305.
WANG Yurong, LI Fangxing, CHEN Hao. Reactive power planning using different VAR devices[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2017, 47(2): 299-305.
- [3] 魏鑫. 高压电力电容器故障原因分析与保护研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- [4] 王书征, 赵洋, 李沛林, 等. 考虑电压-无功调节的台区互联装置规划方法[J]. 电力工程技术, 2024, 43(3): 111-120.
WANG Shuzheng, ZHAO Yang, LI Peilin, et al. Planning method of station area interconnection device considering voltage-reactive power regulation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2024, 43(3): 111-120.
- [5] 杨结春, 龙玉萍, 秦华忠, 等. HVDC用斜撑塔电力电容器组加工和安装方法研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(1): 1-6.
YANG Jiechun, LONG Yuping, QIN Huazhong, et al. Research on processing and installation method of inclined-sup-

port-tower power capacitor bank for HVDC application[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(1): 1-6.

- [6] 王珺, 朱亮, 高晶, 等. 基于多维特征参量的台区拓扑识别方法研究[J]. 浙江电力, 2024, 43(12): 114-121.
WANG Jun, ZHU Liang, GAO Jing, et al. Research on a topology identification method for distribution areas using multi-dimensional electrical characteristic parameters[J]. 浙江电力, 2024, 43(12): 114-121.
- [7] 王飞, 唐静. 基于Electron的油浸式变压器状态评价系统的设计与实现[J]. 变压器, 2024, 61(1): 24-28.
WANG Fei, TANG Jing. Design and implementation of oil-immersed transformer condition evaluation system based on electron [J]. Transformer, 2024, 61(1): 24-28.
- [8] 郭磊, 张朝峰, 胡润阁, 等. 一起换流站交流滤波器电阻器烧蚀故障分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(3): 45-50.
GUO Lei, ZHANG Chaofeng, HU Runge, et al. Ablation analysis of ac filter resistor in a converter station[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(3): 45-50.
- [9] 吴小忠, 甘星, 严亚兵, 等. 基于过热故障仿真的高压开关柜测温点优化方法[J]. 西安工程大学学报, 2025, 39(6): 128-138.
WU Xiaozhong, GAN Xing, YAN Yabing, et al. Optimization method of high-voltage switchgear temperature measurement points based on overheating fault simulation[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2025, 39(6): 128-138.
- [10] 刘天宇, 车传强, 赵磊, 等. 35 kV真空断路器开断并联电容器过电压分析[J]. 东北电力技术, 2024, 45(5): 34-36.
LIU Tianyu, CHE Chuanqiang, ZHAO Lei, et al. Analysis of overvoltage of 35 kV vacuum circuit breaker breaking parallel capacitors[J]. Northeast Electric Power Technology, 2024, 45(5): 34-36.
- [11] 刘斌, 岳永刚, 张庆如, 等. 基于串联非线性电阻组合开关的补偿电容器组投切重燃过电压研究[J]. 高压电器, 2024, 60(8): 183-192.
LIU Bin, YUE Yonggang, ZHANG Qingru, et al. Research on switching reignition over-voltage of compensation capacitor bank based on series nonlinear resistor combination switch[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(8): 183-192.
- [12] 吴诚威, 张居宁, 朱晓光, 等. 投切并联电容器时真空断路器连续重燃事故的机理分析[J]. 高压电器, 2024, 60(6): 181-187.
WU Chengwei, ZHANG Juning, ZHU Xiaoguang, et al. Mechanism analysis of sustaining reignition of vacuum circuit breaker in shunt capacitor switching[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(6): 181-187.

- [13]李冠华,徐凯,栗罡,等. 66 kV 系统消弧线圈分散式补偿策略研究[J]. 高压电器, 2024, 60(12): 103-112.
LI Guanhua, XU Kai, LI Gang, et al. Research on distributed compensation strategy of arc suppression coil of 66 kV system[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(12): 103-112.
- [14]华涛,韩翊,井巍,等. 一起 35 kV 电容器组串联电抗器起火事故分析及处理[J]. 山东电力高等专科学校学报, 2021, 24(2): 17-19.
HUA Tao, HAN Yi, JING Wei, et al. Analysis and treatment of a fire accident of 35 kV capacitor bank series reactor[J]. Journal of Shandong Electric Power College, 2021, 24(2): 17-19.
- [15]交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范:GB/T 50064—2014[S]. 2014.
Code for design of overvoltage protection and insulation coordination for AC electrical installations: GB/T 50064—2014[S]. 2014.
- [16]330 kV~750 kV 变电站无功补偿装置设计技术规定:DL/T 5014—2010[S]. 2010.
Technical rules for designing of reactive power compensation equipment in 330~750 kV substations: DL/T 5014—2010[S]. 2010.
- [17]常菊民,王薇,高小根. 单星形桥式差流保护的公式推导与分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2008, 29(6): 12-14.
CHANG Jumin, WANG Wei, GAO Xiaogen. The deduce and introduction to the protection formula of the unbalance current bridge in single-star connection[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2008, 29(6): 12-14.
- [18]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.
- [19]韩少卫,姚晖,苏建明,等. 一起 10 kV 并联电容器组断路器异常跳闸分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2015, 36(4): 18-21.
HAN Shaowei, YAO Hui, SU Jianming, et al. Analysis on abnormal tripping of circuit breaker in 10 kV shunt capacitor bank[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2015, 36(4): 18-21.
- [20]电气绝缘用薄膜第4部分:聚脂薄膜:GB/T 13542. 4—2009[S]. 2009.
Film for electrical insulation—Part 4: Polyethylene terephthalate film used for electrical insulation: GB/T 13542. 4—2009[S]. 2009.
- [21]张广东,温定筠,汪泓,等. 基于 EMTP/ATP 的 35 kV 并联电容器组内部过电压研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(1): 45-49.
ZHANG Guangdong, WEN Dingjun, WANG Feng, et al. Study on internal overvoltage of 35 kV capacitors bank based on EMTP/ATP[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2017, 38(1): 45-49.
- [22]张晓新,董灵斌,林峰,等. 自取电的电缆故障类型及故障分段定位的研究[J]. 高压电器, 2024, 60(11): 116-122.
ZHANG Xiaoxin, DONG Lingbin, LIN Feng, et al. Research on fault types and fault segment location of self-feeding cable[J]. High Voltage Apparatus, 2024, 60(11): 116-122.
- [23]陈琳,张文海,肖先勇,等. 基于波形相似度的中压配电网瞬时故障重复性辨识[J]. 电测与仪表, 2025, 62(7): 106-116.
CHEN Lin, ZHANG Wenhai, XIAO Xianyong, et al. Waveform similarity-based recurrent temporary fault identification in a medium-voltage distribution network[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2025, 62(7): 106-116.
- [24]马飞越,马青,崔巍,等. 宁夏电网 35 kV 电容器组关合涌流计算与仿真分析[J]. 宁夏电力, 2024(4): 41-48.
MA Feiyue, MA Qing, CUI Wei, et al. Calculation and simulation analysis of closing surge currents in 35 kV capacitor banks in the Ningxia power grid[J]. Ningxia Electric Power, 2024(4): 41-48.
- [25]王雪松,岳永刚,吕鑫,等. 基于串联电阻开关的电容器组投切重燃过电压仿真研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2024, 45(4): 124-132.
WANG Xuesong, YUE Yonggang, LYU Xin, et al. Research on simulation of switching re-ignition over-voltage of capacitor bank based on series resistance switch[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2024, 45(4): 124-132.
- [26]邓于可,唐金叶,卢金钊,等. 特高压换流站交流滤波器电容器发热故障研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(1): 16-22.
DENG Yuke, TANG Jinye, LU Jinzhao, et al. Study on heating failure of AC filter capacitor at UHV converter station[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2025, 46(1): 16-22.

作者简介:

胡润阁(1989—),男,高级工程师,主要从事电力设备检修试验技术研究工作。

可翀(1993—),男,工程师,主要从事电气试验与故障诊断工作。

吕杰(1990—),男,主要从事电力设备、无功补偿位置检修试验工作。

刘星伟(1996—),男,工程师,主要从事电气试验与故障诊断工作。E-mail: Liuxingwei1014@163.com。

李威(1991—),男,高级工程师,主要从事电气试验与故障诊断工作。

郝亚峰(1996—),男,工程师,主要从事变电设备二次运检及故障诊断工作。