

Analysis of High Voltage Capacitor Faults in Capacitive Voltage Transformers

Zhimin Liao Xiaolong Chen

Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract

Capacitor Voltage Transformer (CVT) is a power equipment used to monitor the operating voltage of power systems. Due to its small size, light weight, and low cost, it is widely used in power systems. The paper takes the abnormal test data of 110kV CVT self-excited method in a certain substation as an example to comprehensively analyze the state variables of each structural unit of CVT. The conclusion shows that high-voltage capacitor breakdown is the main cause of abnormal test data of capacitive voltage transformers. Therefore, the paper proposes corresponding preventive measures, providing guiding suggestions for more effectively discovering related problems and maintaining the safe and stable operation of the power grid in the future.

Keywords

capacitive voltage transformer; dielectric loss factor; capacitance; self-excitation method; voltage ratio

电容式电压互感器的高压电容器故障分析

廖志民 陈小龙

内蒙古电力（集团）有限责任公司，中国·内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要

电容式电压互感器（Capacitor Voltage Transformer, CVT）作为监测电力系统运行电压的电力设备，因其体积小、重量轻、造价低等特点，广泛使用于电力系统中。论文以某变电站110kV CVT自激法的异常试验数据为实例，对CVT各结构单元的状态量进行综合分析，结论表明高压电容击穿是引起电容式电压互感器试验数据异常的主要原因。为此，论文提出了相应的预防措施，为以后更有效地发现相关问题、维护电网安全稳定运行提供了指导性的建议。

关键词

电容式电压互感器；介质损耗因数；电容量；自激法；电压比

1 引言

电容式电压互感器（下文称 CVT）是一种由电容分压器和中间变压器组成的电压互感器，通过电容分压器将高电压降为低电压，再经中间变压器的变换，用以提供计量、继电保护、自动控制、信号指示等，其结构设计和各元器件的连接使电磁单元的二次电压实质上正比于一次电压，相位差接近于零，具有防止铁磁谐振过电压、体积小、造价低、重量轻等优点，在电力系统中得到了广泛应用^[1]。CVT 受制造水平、工艺技术、长途运输等因素影响，在投运一段时间后往往会出现电容分压器电容量变化异常、介质损耗因数超标等问题^[2]。论文针对某台 110kV CVT 电容量变化异常、介质损耗因数超标的实例进行诊断分析，探明了问题所在，

防止设备进一步劣化，并提出了相应的预防措施。

2 自激法测试 CVT 原理

论文以桂林电力电容器有限责任公司于 2010 年 8 月生产的 TYD110/ $\sqrt{3}$ -0.02H 型 CVT 为例对用自激法测量设备介质损耗因数和电容量进行说明，设备结构如图 1 所示。

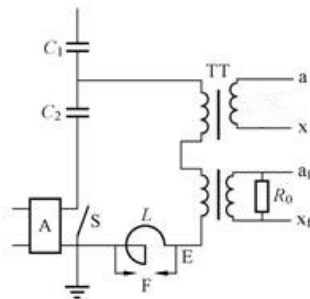


图 1 110kV CVT 结构

图中： C_1 、 C_2 分别为分压电容器的高压电容和中压电容；a、x、af、xf 为二次绕组；A 为载波装置；L 为电抗器；

【作者简介】廖志民（1982-），男，中国吉林扶余人，硕士，高级工程师、注册安全工程师，从事电力安全监督管理领域研究。

F 为保护间隙；TT 为中间变压器；R₀ 为阻尼电阻。

在用自激法测量分压电容器高压电容 C₁ 电容量和介质损耗因数时，中压电容 C₂ 与电桥内标准电容 C_N 串联后作为电桥的一个桥臂，被试电容 C₁ 则作为另一个桥臂，通过中间变压器的二次侧绕组加压，一次侧绕组末端 E 接地，电桥测量时采用正接线方式，由于 C_N << C₂，中压电容 C₂ 与电桥内标准电容 C_N 串联后总电容近似为标准电容的电容量 C_N，总介质损耗因数近似为标准电容的介质损耗因数 tanσ_N，所以桥臂中串入的中压电容 C₂ 并不影响测试结果。当电桥通过调节可调电容 C₄ 和可调电阻 R₃ 达到平衡时，可以实现对 C₁ 电容量和介质损耗因数的测量。中压电容 C₂ 测试原理同 C₁^[3]。

3 例行试验数据分析

2018 年 6 月，试验人员对某变电站 110kV CVT 进行例行试验时发现，C 相分压电容器的高压电容 C₁ 介质损耗因数超标，电容量测试值较 A、B 两相比较有增大趋势。CVT 铭牌信息见表 1，自激法试验数据见表 2。

表 1 CVT 铭牌信息

参数	数值	参数	数值
型号	TYD110/√3-0.02H	额定一次电压	110/√3 kV
1a1n 电压	100/√3 V	2a2n 电压	100/√3 V
3a3n 电压	100/√3 V	dadn 电压	10V
高压电容 C ₁	29.12nF	中压电容 C ₂	66.24nF
制造日期	2010 年 8 月	制造厂	桂林电力电容器有限责任公司

表 2 自激法介损损耗因数及电容量数据

相序	电容	tanσ (%)	电容测试 C _x (nF)	总电容测试 C _x (nF)	铭牌 C _N (nF)	初值差
A	C1	0.047	29.57	20.38	20.29	0.4%
	C2	0.066	65.53			
B	C1	0.046	29.62	20.42	20.34	0.4%
	C2	0.065	65.71			
C	C1	0.556	29.96	20.54	20.23	1.5%
	C2	0.064	65.32			

表 2 数据分析如下：

tanσ 值分析：C 相高压电容 tanσ 值为 0.556%，根据内蒙古电力公司《输变电设备状态检修试验规程》（以下称规程）的要求：tanσ ≤ 0.25%，初步判定 C 相高压电容 tanσ 不合格。

电容量横向比较：C 相高压电容芯子电容量测试值为 29.96nF，与 A、B 两相的测试值 29.57nF 和 29.62nF 作横向比较，均偏大 1.2% 左右，而 A、B 两相数据相比较为接近，数据比较如下：

$$\Delta_{AC} = \frac{29.96 - 29.57}{29.57} \times 100\% = 1.32\%$$

$$\Delta_{BC} = \frac{29.96 - 29.62}{29.62} \times 100\% = 1.15\%$$

电容量纵向比较见表 3。

表 3 C 相电容芯子的电容量测试值与铭牌值数据

电 容	电容测试 (nF)	铭牌 (nF)	初值差	总电容测试值 (nF)	总电容铭牌值 (nF)	初值差
C1	29.96	29.12	2.9%	20.54	20.23	1.5%
C2	65.32	66.24	-1.4%			

$$\text{电容初值差 \%} = \frac{C_x - C_n}{C_n} \times 100\%。$$

由表 2 和表 3 得知，C 相高压电容 C₁ 初值差为 2.9%，不符合规程 ≤ ±2% 的要求，C 相总电容初值差为 1.5%，符合规程要求的 ≤ ±2%，但与 A、B 两相的初值差 0.4% 作横向比较，均偏大 1.1% 左右，初步判定高压电容 C₁ 电容量测试值不合格。

综上分析，C 相高压电容 tanσ 测试值不合格，高压电容 C₁ 电容量测试值不合格，初步怀疑高压电容的电容芯子串中存在短路击穿的现象；可能是由于高压电容芯子中只有一个或数个电容芯子短路击穿，才使得横向比较下 C_x 值变化不明显，只有 1.1% 左右；但短路处会存在明显的局部放电，使得阻性电流分量明显增大，导致 tanσ 超标。但 tanσ 值的增大也可能由中间变压器引起，需通过诊断试验进一步分析。

4 诊断试验数据分析

为进一步分析，现场试验人员进行了诊断性试验，试验项目有：中压电容末端绝缘电阻、中间变压器二次端子的绝缘电阻、电压比、油中溶解气体和水分析等试验^[4]，试验数据见表 4。

表 4 C 相 CVT 诊断试验数据

试验项目	参数	测试值	标准值
绝缘电阻 (MΩ)	中压电容末端	> 10000	> 5000
	中间变压器二次 1a1n	> 10000	> 1000
	中间变压器二次 2a2n	> 10000	
	中间变压器二次 3a3n	> 10000	
	中间变压器二次 dadn	> 10000	
油中溶解气体和水分析 (uL/L)	H ₂	96.2	≤ 150
	C ₂ H ₂	0	≤ 2
	CH ₄	42.5	
	C ₂ H ₆	2.1	
	C ₂ H ₄	5.9	
	总烃	50.5	≤ 100

经测试，C 相 CVT 中压电容末端以及中间变压器二次端子的绝缘电阻值均正常，油中溶解气体和水分析未见异常，所以可以排除中间变压器的影响，下面通过电压比测试来进一步验证，见表 5。

表 5 CVT 电压比诊断试验数据

相序	1a1n	2a2n	3a3n	标准	比差 %	dadn	标准	比差 %
A	1098	1098	1098	1100	-0.18	636.3	635.1	0.19
B	1098	1098	1098	1100	-0.18	636.7	635.1	0.25
C	1086	1086	1086	1100	-1.27	629.6	635.1	-0.87

由表 5 可知，C 相中间变压器 1a1n、2a2n、3a3n、dadn 四个二次端子的电压比差与 A、B 两相作横向比较均明显偏大，偏差均在 1% 左右，且电压比有变小的变化趋势。

5 综合分析和解体验证

由于电容分压器电压比为 $\frac{C_1+C_2}{C_1}$ ，设中间变压器一次侧和二次侧绕组匝数比为 N，则 CVT 变比 K 表达式为两者乘积，即： $K = N \times \frac{C_1+C_2}{C_1} = N + N \frac{C_2}{C_1}$ 。当高压电容芯子 C_1 内部电容被击穿一个或数个时，串联的电容芯子个数减少，则 C_1 电容值会变大，使得变比 K 变小。由上述分析得知，电压比差为 1% 左右。即 C_1 增加了 1% 左右，验证了高压电容内 100 个电容芯子串中只有一个电容芯子短路击穿判断。

为验证 C 相 CVT 高压电容芯子是否存在芯子短路击穿的现象，对 CVT 进行了解体分析，发现分压电容器中高压电容内有一个电容芯子串存在烧损的痕迹，验证了高压电容内 100 个电容芯子串中有一个电容芯子短路击穿判断。

6 结论和建议

通过计算结果及解体检修可以看出，C 相的高压电容

中存在一个电容芯子短路击穿的现象。为保证 CVT 的安全稳定运行，论文建议对于 CVT 的运维工作要注意以下两点：

其一，CVT 在正常运行时，最易出现的问题是 CVT 二次电压异常和分压电容器的介质损耗因数或电容量超标等故障，当运行中的 CVT 二次电压发生即使是很轻微的变化时也应当注意。因为分压电容器电容量的变化会影响到 CVT 电压比，当高压电容或中压电容出现击穿或受潮时，相应电容量会产生变化，从而引起二次电压的改变，二次电压就是最早也是最易发现的异常状态量，应当引起运维巡视人员的注意。

其二，应结合停电检修计划，加强对同厂家同类型 CVT 的普查监视，并定期采集试验数据，在依据规程要求对同台设备数据进行纵向比较的同时，还应选定合理的比较对象，尤其是在三相之间对数据进行横向比对，更能有效地发现 CVT 的异常状态量，提前排查设备安全隐患，从而进一步开展有针对性的诊断试验分析，维护电网设备安全稳定运行。

参考文献

[1] 范辉.电气试验[M].北京:中国电力出版社,2010.
[2] 谭立成,高楠楠.高压电气试验基础知识[M].北京:中国电力出版社,2013.
[3] 陈天翔,王寅仲,海世杰.电气试验[M].北京:中国电力出版社,2005.
[4] 张玉波,张磊,黎大健,等.电容式电压互感器二次电压异常分析[J].广西电力,2018,41(1):44-46.