

# 两例 500 kV CVT 异常分析及 日常运行监视探讨

代英俊

(国网四川省电力公司检修公司自贡运维分部,四川 自贡 643010)

**摘要:**对500 kV叙府变电站两例500 kV线路电容式电压互感器(CVT)的电容量及介损异常增长原因进行分析,分析得出CVT内部元件击穿导致电容量及介损异常增长。通过返厂对故障CVT进行试验及解体检查,证明了由于原材料及制造工艺水平导致了CVT内部电容元件击穿。最后对500 kV CVT出厂试验、例行试验及日常运维监视进行了探讨。

**关键词:**电容式电压互感器(CVT);介损;电容量;击穿

**Abstract:** The causes for the abnormal growth in capacitance and dielectric loss of capacitor voltage transformer ( CVT) in two 500 kV transmission lines at 500 kV Xufu substation are analyzed ,and the analysis shows that the abnormal growth in capacitance and dielectric loss are due to the breakdown of internal components in CVT. Through the testing and disassembling inspection on the fault CVT which is returned to the factory ,it is proved that the breakdown of internal capacitance components in CVT is caused by raw materials and manufacturing process. Finally ,the routine test ,daily operation and monitoring for 500 kV CTV are discussed.

**Key words:** capacitor voltage transformer ( CVT) ; dielectric loss; capacitance; breakdown

中图分类号: TM451 文献标志码: B 文章编号: 1003 - 6954(2014) 05 - 0032 - 04

## 0 引言

相比传统电磁式电压互感器(TV),电容式电压互感器(CVT)由于结构简单,造价低等特点广泛应用于110kV及以上电网系统。但是CVT的设计受制造水平、工艺水平、原材料以及运行条件等多种因素的限制,使其在运行过程中易发生电容元件击穿等故障。CVT故障的发生不仅会影响测量计量准确度,严重时甚至可能导致贯穿性击穿造成爆炸、起火等恶性事故<sup>[1-3]</sup>。为防止上述事故的发生,在深入分析两例500 kV CVT异常的基础上,对500 kV CVT日常运行维护进行探讨。

## 1 CVT工作原理

电容式电压互感器(CVT)由电容分压器和电磁单元两部分组成,其设计和相互连接使电磁单元的二次电压实质上正比与一次电压,且相位差在连接方向正确时接近于零<sup>[4]</sup>。其电气原理图如图1所示。

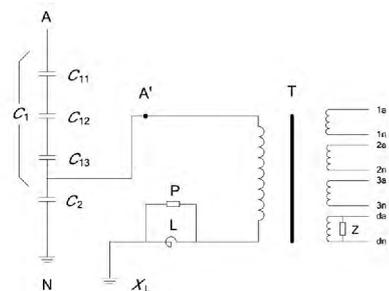


图1 500 kV CVT 电气原理图

图中,  $C_1$  由  $C_{11}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{13}$  组成电容分压器的高压电容器,  $C_2$  为电容分压器的中压电容器; 500 kV CVT 共有3节瓷套,  $C_{11}$  在上节瓷套中;  $C_{12}$  在中节瓷套中;  $C_{13}$  和  $C_2$  在下节瓷套中并由法兰和电磁部分连接在一起; T 为中间变压器, P 为保护装置, L 为补偿电抗器; Z 为阻尼装置。1a - 1n, 2a - 2n, 3a - 3n 为二次绕组作为保护、计量以及测量用, da - dn 为剩余绕组。

由电容器分压原理可知

$$U_2 = \frac{U_p C_1}{C_1 + C_2} \quad (1)$$

式中,  $U_2$  为电容分压器的中压电容器的电压;  $U_p$  为

表1 500 kV 甲线 CVT A 相现场试验数据及出厂试验数据

	2014年2月		出厂值		C/%
	容量/nF	介损/tanδ%	容量/nF	介损/tanδ%	
C <sub>11</sub>	15.29	1.204	14.47	0.060	5.67
C <sub>12</sub>	14.73	0.181	14.53	0.060	1.38
C <sub>13</sub> 及C <sub>2</sub>	15.77	0.194	15.63	0.055	0.90

注: C 为电容量初值变化

表2 500 kV 乙线 CVT C 相现场试验数据及出厂试验数据

	2014年2月		出厂值		C/%
	容量/nF	介损/tanδ%	容量/nF	介损/tanδ%	
C <sub>11</sub>	14.96	0.397	14.47	0.060	3.39
C <sub>12</sub>	14.79	0.253	14.48	0.060	2.14
C <sub>13</sub> 及C <sub>2</sub>	16.06	0.257	15.71	0.058	2.23

系统一次相电压。

500 kV 乙线 CVT C 相电压变化为

(5 053.25 - 4 954.84) / 4 954.84 = 2.59%。

## 2 现场试验

表3 500 kV 甲、乙线 CVT 电容量试验数据

设备	试验值/pF	出厂值/pF
500 kV 甲线 CVT A 相	5 083.82	4 952.67
500 kV 乙线 CVT C 相	5 083.25	4 954.84

2014年2月,对500 kV 叙府变电站500 kV 甲、乙线线路 CVT 进行例行试验。试验发现500 kV 甲线线路 CVT A 相上节、500 kV 乙线线路 CVT C 相介损值及电容量与出厂试验数据相比均有增长异常情况,试验数据见表1及表2所示,均超过 CVT 状态检修规程的注意值(介损 tanδ% ≤ 0.25,电容量初值变化不超过 ± 2%)<sup>[5]</sup>。

为了判断 CVT 内部电容元件是否存在击穿现象,查阅500 kV 甲、乙线线路历史电压数据如下(见表4、表5)。

## 3 故障分析

表4 500 kV 甲线每月1日0点电压

日期	U <sub>A</sub> /kV	U <sub>B</sub> /kV	U <sub>C</sub> /kV	U/%
2013-03-01	308.65	305.58	306.31	1.00
2013-04-01	308.95	305.46	306.01	1.14
2013-05-01	309.53	305.81	306.60	1.22
2013-06-01	308.07	305.93	306.89	0.70
2013-07-01	306.89	304.22	305.72	0.88
2013-08-01	307.48	304.26	305.14	1.06
2013-09-01	308.07	303.67	304.84	1.45
2013-10-01	310.41	305.43	305.72	1.63
2013-11-01	310.70	305.22	305.72	1.80
2013-12-01	311.23	305.31	305.68	1.94
2014-01-01	311.88	304.55	304.55	2.41
2014-02-01	312.76	305.14	304.84	2.60

现场试验时由于 C<sub>13</sub> 与 C<sub>2</sub> 在下节瓷套中并由法兰和电磁部分连接在一起,因此测量的是 C<sub>13</sub> 与 C<sub>2</sub> 串联总电容量。

根据电容串联可知 CVT 总电容量 C 为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{11}} + \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3} \quad (2)$$

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_{13}} + \frac{1}{C_2} \quad (3)$$

$$C = \frac{C_{11}C_{12} + C_{12}C_3 + C_{11}C_3}{C_{11} + C_{12} + C_3} \quad (4)$$

利用出厂值与现场试验值计算500 kV 甲、乙线 CVT 总电容量见表3。

由 CVT 工作原理可知,当 CVT 内部击穿电容量变化会引起一次或二次电压的变化,因此500 kV 甲线 CVT A 相电压变化为

$$(5 083.82 - 4 952.67) / 4 952.67 = 2.64\%$$

注: U 为相间电压最大不平衡率。

表5 500 kV 乙线每月1日0点电压

日期	$U_A/kV$	$U_B/kV$	$U_C/kV$	$U/\%$
2013-03-01	306.01	307.19	308.07	0.67
2013-04-01	—	—	—	—
2013-05-01	306.89	308.36	308.95	0.67
2013-06-01	305.72	307.77	309.24	1.14
2013-07-01	304.55	306.60	308.07	1.14
2013-08-01	303.67	306.60	309.24	1.80
2013-09-01	304.67	306.60	310.41	1.85
2013-10-01	305.72	308.65	311.88	1.98
2013-11-01	305.31	309.24	311.88	2.11
2013-12-01	303.93	307.77	311.00	2.27
2014-01-01	303.34	307.48	310.70	2.37
2014-02-01	303.16	307.56	311.16	2.57

注:2013年4月1日500 kV 乙线停电,故无电压数据。

相间电压最大不平衡率为

$$U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\min}} \quad (5)$$

截至2014年2月:500 kV 甲线A相电压最大不平衡率为2.60%,与计算的电压变化2.64%基本一致;500 kV 乙线C相电压最大不平衡率为2.57%,与计算的电压变化2.59%基本一致。初步判断为CVT内部 $C_1$ 电容单元击穿导致一次电压升高。

通过表4及表5分析发现500 kV 甲线A相电压、500 kV 乙线C相电压比其他两相电压偏高且电压逐渐增高,同时相间电压最大不平衡率呈现逐渐增大趋势,与现场试验500 kV 甲线线路CVT A相

表6 500 kV 甲线 CVT A 相返厂数据及出厂试验数据

	返厂试验值		出厂值		$C/\%$
	容量/nF	介损/ $\tan\delta\%$	容量/nF	介损/ $\tan\delta\%$	
$C_{11}$	15.51	0.471	14.47	0.060	7.19
$C_{12}$	14.76	0.083	14.48	0.060	1.93
$C_{13}$	18.74	0.064	18.65	0.056	0.48
$C_2$	95.77	0.075	95.58	0.055	0.20

表7 500 kV 乙线 CVT C 相返厂数据及出厂试验数据

	返厂试验值		出厂值		$C/\%$
	容量/nF	介损/ $\tan\delta\%$	容量/nF	介损/ $\tan\delta\%$	
$C_{11}$	14.98	0.125	14.47	0.060	3.52
$C_{12}$	14.81	0.108	14.53	0.060	1.93
$C_{13}$	19.11	0.137	18.72	0.056	2.08
$C_2$	97.10	0.073	96.81	0.055	0.30

上节、500 kV 乙线线路CVT C相介损及电容量与出厂试验数据相比均有异常增长情况一致;从而排除了试验干扰导致试验数据错误的可能,间接证明了CVT内部电容元件击穿的判断是正确的。于是申请对故障CVT进行更换,避免了因CVT内部故障而可能引起事故的扩大。

发现缺陷的两只CVT型号为TYD14-500/ $\sqrt{3}$ -0.005H,于2011年12月出厂,2011年6月投运。根据CVT的结构和工作原理,电容分压器部分承受电压较高,电容元件在高电压长期作用下局部场强集中易发生损坏。目前电容分压器电容元件普遍采用的是膜纸复合介质,其介损主要取于膜与纸的成分中存在的无机物质及在生产加工过程中加入的添加剂等<sup>[6]</sup>。瓷套管质量、设计水平、原材料、制造业,干燥处理工艺等都将影响CVT的正常运行。

#### 4 解体检查

为了查明故障原因,返厂对故障CVT进行解体检查,解体前试验数据如下(见表6、表7)。

将CVT分压器解体,把芯子从套管中取出。对分压器的元件逐一进行2.15 kV的直流耐压检查,检测出甲线CVT A相(解体检查)发现从上往下数第55、71、74、75、77、80、82号元件击穿,共7只元件击穿;乙线C相互感器上节分压器从上往下数第36、48、50只元件击穿,共3只元件击穿。

根据现场解剖的情况可以判断此次互感器故障

的原因是:元件极板铜引出片边缘毛刺清理不干净,局部场强集中导致元件击穿。由于元件极板铜引出片的制造采用冲压的方式,铜引出片边缘容易产生毛刺,铜引出片冲压后必须对边缘进行清理,清理时若不注意,可能会使铜引出片的边缘有极少的毛刺产生,局部场强集中,毛刺有可能会产生低能局部放电,在电场的长期作用下导致部分元件击穿。由于是  $C_1$  元件击穿,  $C_1$  电容量变大,  $C_1$  阻抗变小,导致二次输出电压偏高。

## 5 防范措施

500 kV CVT 内部故障以电容元件击穿为主,由于内部元件击穿是一个逐步缓慢发展的过程,若早期出现的内部元件击穿故障未及时处理,将有可能导致 CVT 内部元件逐渐击穿导致继电保护误动作、设备爆炸等事故。因此,为了及早发现 CVT 内部缺陷,提出以下几点建议。

1) 110 kV (66 kV) ~ 500 kV 互感器在出厂试验时,局部放电试验的测量时间延长到 5 min<sup>[7]</sup>。

2) CVT 例行试验时,不仅要关注 CVT 介损值,更要关注电容量的变化并结合历次试验数据纵向、横向比较综合分析,即使电容量变化未超出规程规定值,但其变化已明显大于其余几节时,应引起足够注意<sup>[8]</sup>;对于电容量变化量接近或达到 2% 的 CVT 应查阅其历史电压数据,以每月 1 日 0 点或 15 日 0 点相间电压最大不平衡率进行对比分析(参见表 3 与表 4)。

3) 应及时处理或更换已确认存在严重缺陷的电压互感器;对介质损耗因数上升或怀疑存在缺陷的电压互感器,应缩短试验周期,进行跟踪检查和析,以查明原因<sup>[9]</sup>。

4) 随着 500 kV 变电站无人值守的稳步推进对设备运行监视提出了更高的要求。由于 CVT 是全密封设备,除发生渗漏油、异常声响等较易发现的故障外,内部故障一般不易发现,由 CVT 工作原理可知其内部故障可导致运行中的 CVT 一次或二次电压异常,实际运行中可监视 CVT 一次与二次电压,可以较早的发现 CVT 的异常情况。

5) 定期抄录一次、二次电压以及开口电压  $3U_0$ ,以每月 1 日 0 点或 15 日 0 点为宜,计算其最大相间电压不平衡率以便跟踪分析。国家电网公司《110

(66) kV ~ 500 kV 互感器运行规范》中第二十一条明确了电容式电压互感器二次电压异常现象及引起的主要原因<sup>[10]</sup>。若监测到三相相间电压最大不平衡率超过 2%,为排除 CVT 二次回路压降或者故障导致二次电压异常,应立即通知二次继电保护人员从 CVT 端子箱直接测量二次电压以便准确测试 CVT 二次电压值;若判断确为 CVT 内部元件击穿,应尽快申请停电对 CVT 进行诊断性试验。

## 6 结 语

简述了 500 kV 叙府变电站两只 CVT 同时出现电容量及介损异常增加的现象,结合返厂试验及解体检查情况分析得出:由于原材料或制造工艺致使 CVT 内部电容元件在持续电压作用下局部场强集中,最终导致电容元件击穿;电容元件击穿不仅导致电容量增加,同时也会引起介损异常变化。最后对 CVT 出厂试验、例行试验以及日常 CVT 日常运维监视进行了探讨。

### 参考文献

- [1] 印华,王勇,宋伟,等. 电容式电压互感器常见故障及原因分析[J]. 电工技术, 2007(10): 70-71.
- [2] 张霖. 电容式电压互感器的特点及存在的问题[J]. 江苏机电工程, 2000, 19(1): 35-36.
- [3] 孙鹏举. 500 kV 变电站电容式电压互感器故障原因分析及经验教训[J]. 电力设备, 2008, 9(10): 65-67.
- [4] GB 4703—2007, 电容式电压互感器[S].
- [5] 国家电网公司. 输变电设备状态检修试验规程[S].
- [6] 唐铁英,徐建文. 电容式电压互感器潜伏性故障发现及原因分析[J]. 中国电力教育, 2011(18): 130-131.
- [7] 国家电网公司. 十八项电网重大反事故措施(修订版)[S].
- [8] 郭丽娟,徐宇军. 500 kV 电容式电压互感器介损超标原因分析及处理[J]. 广西电力, 2009(10): 27-28.
- [9] 国家电网公司. 预防 110(66) kV ~ 500 kV 互感器事故措施[S].
- [10] 国家电网公司. 110(66) ~ 500 kV 互感器运行规范[S].

作者简介:

代英俊(1987), 助理工程师, 从事 500 kV 电网高压试验工作。

(收稿日期: 2014-05-04)