

# 均压环的漆膜对断口均压电容器介损测量的影响

孙恒峰, 陆建人, 潘恒晋, 张 扬, 季 楠, 耿勇德

(盐城供电公司, 江苏 盐城 224005)

**摘 要:**建立了均压环的漆膜与均压电容器串联的电路模型,模型的分析结论与测量结果相符,验证了模型的正确性。实例计算表明漆膜的电容量和介损值很大,因此在测量中要尽量避免漆膜的影响,测试线要接在金属接触良好的位置。

**关键词:**断路器;均压环;漆膜;均压电容器;介损

中图分类号:TM531.6

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)06-0045-02

500 kV 高压断路器的断口均压电容器距离地面很高,现场预试时一般将高空测试钳夹在断路器的均压环上,如果均压环上有漆膜会对介损和电容量的测量造成影响。在对 500 kV 盐都变电所田都 5041 开关的均压电容器进行例行试验时,就遇到了介损超标,电容量减小的情况;当测试线接在 A 相断路器均压环上时,测得介损为 3.47% 和 2.20%,显著超标;测得电容量为 1 263 pF 和 1 222 pF,比铭牌电容量 2 000 pF 少 40% 左右,而将测量线换至金属接触良好的位置,测得介损为 0.28% 和 0.32%,测得电容量为 2 029 pF 和 2 040 pF,数据合格。为了解释漆膜对均压电容器介损和电容量测量的影响,通过建立电路模型从理论上进行分析。

## 1 漆膜为纯电阻的电路模型

图 1 是 500 kV 盐都变电所田都 5041 开关所使用的户外柱式断路器,型号为 3AT2EI。假设均压环的漆膜为纯电阻模型,其与均压电容器的串联电路模型如图 2 所示。

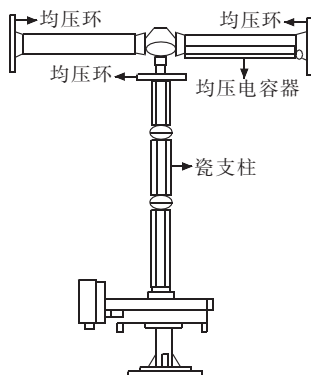


图 1 3AT2EI 型断路器

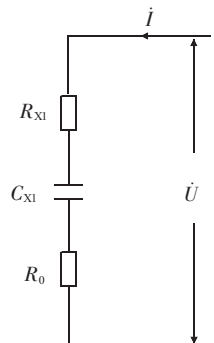


图 2 漆膜为纯电阻的串联电路模型

$R_0$  为漆膜电阻; $R_{X1}$  为均压电容器串联模型的电阻; $C_{X1}$  为均压电容器串联模型的电容。

对图 2 的电路模型分析可知,漆膜对均压电容器电容量的测量没有影响,但是使介损因数增大

( $\tan \delta_1 = C_{X1} + R_0$ )。

实际的测量结果是介损因数显著增大,而且电容量减少 40% 左右,因此漆膜不能等效成纯电阻模型,需要建立新的模型。

## 2 漆膜包含电阻和电容的电路模型

由资料可知,漆膜是电介质<sup>[1-4]</sup>。当测试夹通电时,相当于 2 个电极,于是

测试夹和漆膜间便形成电容,而且漆膜是有损的,因此漆膜是包含电容和电阻的电介质,其与均压电容器串联的电路模型如图 3 所示。图中  $R_0$  为漆膜串联模型的电阻; $C_0$  为漆膜串联模型的电容; $R_X$  为均压电容器串联模型的电阻;

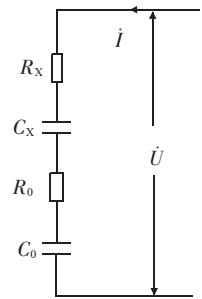


图 3 漆膜与均压电容器的串联电路模型

$C_X$  为均压电容器串联模型的电容。

对图 3 的电路模型分析可知, $C_0$  与  $C_X$  串联使总电容量减小, $R_0$  使电路总损耗增大,即介损因数  $\tan \delta$  增大。模型的分析结论与测量结果相符,从而验证了模型的正确性由图 3 可知。

漆膜的电容量和介损因数的表达式为:

$$\begin{cases} C_0 = \frac{C_{\text{测}} C_X}{C_{\text{测}} - C_X} \\ \tan \delta_0 = C_0 \left( \frac{\tan \delta_{\text{测}}}{C_{\text{测}}} - \frac{\tan \delta_X}{C_X} \right) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $C_{\text{测}}$  为测得的电容量; $\tan \delta_{\text{测}}$  为测得的介损因数; $C_X$  为均压电容器的电容量; $\tan \delta_X$  为均压电容器的介损因数; $C_0$  为漆膜的电容量; $\tan \delta_0$  为漆膜的介损因数。

## 3 瓷支柱对测量的影响

本文研究的断路器为户外支柱式,其瓷支柱存在电容量和介损,正接线测量时瓷支柱存在分流,对介损测量造成影响。下面结合电路模型对其影响情

况进行分析,电路模型如图4所示。 $C_1$ 为高压测量线处漆膜串联模型的电容; $R_1$ 为高压测量线处漆膜串联模型的电阻; $C_2$ 为电桥测量线处漆膜串联模型的电容; $R_2$ 为电桥测量线处漆膜串联模型的电阻; $C_X$ 为均压电容器串联模型的电容; $R_X$ 为均压电容器串联模型的电阻; $C_0$ 为瓷支柱串联模型的电容; $R_0$ 为瓷支柱串联模型的电阻。

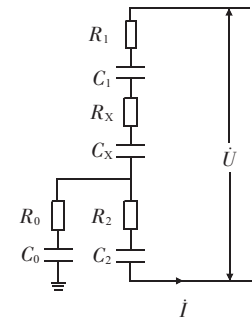


图4 漆膜和均压电容器及瓷支柱的电路模型

不考虑瓷支柱影响时,设电桥测量线处测得的电流为 $\dot{I}_X$ ;考虑瓷支柱影响时,设电桥测量线处测得的电流为 $\dot{I}'_X$ ,则有:

$$\begin{cases} \dot{I}_X = \frac{\dot{U}}{R_1 + 1/j\omega C_1 + R_X + 1/j\omega C_X + R_2 + 1/j\omega C_2} \\ \dot{I}'_X = \dot{U} \times [R_1 + 1/j\omega C_1 + R_X + 1/j\omega C_X + \frac{(R_2 + 1/j\omega C_2)(R_0 + 1/j\omega C_0)}{R_2 + 1/j\omega C_2 + R_0 + 1/j\omega C_0} \times \frac{R_0 + 1/j\omega C_0}{R_2 + 1/j\omega C_2 + R_0 + 1/j\omega C_0}]^{-1} \end{cases} \quad (2)$$

电介质的串联等值电路有如下关系式<sup>[1,2]</sup>:

$$\begin{cases} \tan \delta_1 = \omega C_1 R_1 \\ \tan \delta_X = \omega C_X R_X \\ \tan \delta_2 = \omega C_2 R_2 \\ \tan \delta_0 = \omega C_0 R_0 \end{cases} \quad (3)$$

将式(3)代入式(2)中,化简可得:

$$\begin{cases} \dot{I}_X = \frac{j\omega \dot{U}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_X} + \frac{1}{C_2}} \\ \dot{I}'_X = \frac{j\omega \dot{U}}{\frac{C_0}{C_2} (\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_X}) + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_X} + \frac{1}{C_2}} \end{cases} \quad (4)$$

因 $C_0 \ll C_1, C_2$ 和 $C_X$ ,故式(4)中 $\dot{I}_X = \dot{I}'_X$ ,即测量时瓷支柱分流很小,其对测量结果的影响可以忽略,所以实际的电路模型如图3所示。

#### 4 实例分析

以500 kV盐都变电所田都5041开关A相断路器的均压电容器为例进行分析,测量数据如表1所示。

根据图3所示的漆膜与均压电容器的串联电路模型,计算出漆膜的介损和电容量,如表2所示。

由表1和表2可知,1断口均压电容器电容量的真实值为2 029 pF,实际测量值为1 263 pF,漆

表1 测量数据

试验对象	$\tan \delta / \%$	$C_X / \text{pF}$	$C_{\text{测}} / \text{pF}$
有漆膜	1断口均压电容器	3.47	1 263
	2断口均压电容器	2.20	1 222
无漆膜	1断口均压电容器	0.28	2 029
	2断口均压电容器	0.32	2 040

表2 计算数据

试验对象	$C_0 / \text{pF}$	$\tan \delta_0 / \%$
1断口均压电容器	3 346	8.73
2断口均压电容器	3 048	5.01

膜的电容量为3 346 pF,漆膜的电容量与均压电容器的电容量是一个数量级,它们串联后使得电容量的测量值出现很大的偏差;1断口均压电容器介损的真实值为0.28%,实际测量值为3.47%,漆膜在交流电压下损耗很大,介损为8.73%,它与均压电容器串联后导致介损的测量值严重超标。2断口均压电容器的分析结论与1断口均压电容器类似,所以在测量中要尽量避免漆膜的影响。

#### 5 结束语

本文建立了均压环的漆膜与均压电容器串联的电路模型,模型的分析结论与测量结果相符,验证了模型的正确性。实例计算表明漆膜是一种有损电介质,它的电容量与均压电容器的电容量在一个数量级,介损值远远超过均压电容器的介损值,因此在测量中要尽量避免漆膜的影响,测试线要接在金属接触良好的位置。

#### 参考文献:

- [1] 李建国,朱康.高压电气设备试验方法[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 陈化钢.电力设备预防性试验方法及诊断技术[M].北京:中国科学技术出版社,2001.
- [3] 宁凤辉.浅谈断路器电容器介质损耗问题[J].电力电容器,2002(4):20-22.
- [4] 孙鹏举,吕洪明.高压断路器断口均压电容器介质损失角增大原因分析及解决措施[J].高压电器,2009,45(2):97-98.

#### 作者简介:

- 孙恒峰(1964-),男,江苏盐城人,工程师,主要从事变电检修管理工作;
- 陆建人(1965-),男,江苏盐城人,助理工程师,主要从事电气设备绝缘预防性试验工作;
- 潘恒晋(1973-),女,江苏盐城人,电气试验技师,主要从事电气设备绝缘预防性试验工作;
- 张 扬(1982-),男,江苏盐城人,工程师,主要从事电气设备绝缘预防性试验与试验数据分析处理工作;
- 季 楠(1980-),男,江苏盐城人,助理工程师,主要从事电气设备绝缘预防性试验工作;
- 耿勇德(1983-),男,江苏盐城人,助理工程师,主要从事电气设备绝缘预防性试验工作。

(下转第50页)

无法开放的问题,该方法实现起来简单可靠,经过调度部门批准可以执行。保护配置方面,继电保护和全自动装置技术规程中指出对于单侧电源双绕组变压器和三绕组变压器,其相间短路后备保护宜装于各侧,该保护宜考虑能反映 TA 与断路器之间的故障<sup>[1]</sup>。因此,在条件允许的情况下,应尽量为主变的各侧都安装后备保护,可彻底解决这一保护死区问题。

日常的生产工作中类似于该主变后备保护死区的情况可能会经常出现,这从一定程度上暴露出生产维护工作中的保护配置和运行操作存在的一些缺陷。在新的变电站设计环节,进行保护功能配置时,很容易只考虑到正常运行时的功能需要,而忽视了一些特殊运行方式下的情况。运行调度人员在编制操作票时,如果未能充分考虑到不同保护装置在不同运行方式下保护覆盖范围发生的变化,也容易造成操作缺陷。因此,在讨论新投保护装置的技术协议时,应严格按照保护规程的各项规定,并充分考虑到一些特殊的功能要求,比如分段备自投的检合流闭锁功能、3 台主变系统中低频低压减载装置的电压取值、110 kV 母联穿越性电流对主变差动保护接线

方式的影响等。保护人员对运行操作票和保护定值的合理性也需多把关,在进行重要操作前需要和运行人员共同研究、完善操作流程,减小操作风险。

#### 参考文献:

- [1] GB/T 14285—2006,继电保护和全自动装置技术规程[S].
- [2] DL/T 584—2007,3~110 kV 电网继电保护运行整定规程[S].
- [3] DL/T 559—94,220~500 kV 电网继电保护运行整定规程[S].
- [4] 江苏省电力公司.电力系统继电保护原理与实用技术[M].北京:中国电力出版社,2006.

#### 作者简介:

- 刘沪平(1980-),男,江苏盐城人,工程师,主要从事变电检修及继电保护工作;
- 陈恒祥(1972-),男,江苏扬州人,技师,主要从事变电检修及继电保护工作;
- 田 辉(1968-),男,江苏南京人,工程师,主要从事变电检修管理工作;
- 汤大海(1963-),男,江苏镇江人,高级工程师,主要从事电网继电保护运行管理工作;
- 刘建民(1970-),男,江苏盐城人,工程师,主要从事电网建设管理工作。

## Analysis of Transformer Backup Protection Dead-zone Caused by Compound Voltage Locking

LIU Hu-ping<sup>1</sup>, CHEN Heng-xiang<sup>1</sup>, TIAN Hui<sup>1</sup>, TANG Da-hai<sup>2</sup>, LIU Jian-min<sup>3</sup>

(1.Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210008, China; 2.Zhenjiang Power Supply Company, Zhenjiang 212000, China; 3.Binhai Power Supply Company, Binhai 224500, China)

**Abstract:** Compound voltage locking overcurrent protection is the backup protection for transformer. Different transformer backup protection devices have different protecting function, some devices only have high voltage side backup protection. In certain operation modes, there will be dead-zone in such backup protection. If short fault occurs in this dead-zone, the backup protection device will refuse to trip, so the short fault can't be cleared, and then transformer would be destroyed. This thesis analyses the logic of compound voltage locking, it finds the reasons of the backup protection dead-zone, and then it puts forward several simple improvement methods according to different instance.

**Key words:** compound voltage locking; backup protection; transformer; dead-zone

(上接第 46 页)

## Analysis Affection of Paint Film of Grading Ring for Measuring Grading Capacitor's Dielectric Loss

SUN Heng-feng, LU Jian-ren, PAN Heng-jin, ZHANG Yang, JI Nan, GENG Yong-de

(Yancheng Power Supply Company, Yancheng 224000, China)

**Abstract:** This paper establish the model for paint film of grading ring and grading capacitor. The conclusion of model is according with the measuring data, which verify valid of the model. It indicates that paint film has obvious affection to measuring grading capacitor's dielectric loss according to calculating the test date. Thus measuring line should connect with the naked metal of grading capacitor to avoiding affection of the paint film.

**Key words:** circuit breaker; grading ring; paint film; grading capacitor; dielectric loss