

文章编号:1001-1609(2004)01-0022-03

# 126 kV 自膨胀灭弧室空载时的压力特性研究

张文兵<sup>1</sup>, 荣命哲<sup>2</sup>, 牟京卫<sup>1</sup>

(1. 西安高压电器研究所, 陕西 西安 710077; 2. 西安交通大学, 陕西 西安 710049)

## Research of Pressure Feature in 126 kV Auto-expansion Interrupter with No-load

ZHANG Wen-bing<sup>1</sup>, RONG Ming-zhe<sup>2</sup>, MU Jing-wei<sup>1</sup>

(1. Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, Xi'an 710077, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**摘要:** 对自膨胀式断路器在空载状态下膨胀室的压力进行了测试。通过与计算值的对比,分析了压力变化与开断时间的关系。通过对空载时断口间的电场计算和压力特性计算,验证了该断路器开断空载长线时的性能。

**关键词:** 自膨胀灭弧室; 空载; 压力特性

**中图分类号:** TM561.3 **文献标识码:** A

**Abstract:** Gas pressure in thermal expansion chamber with no-load is measured in this paper. Compared with calculation, the relationship between pressure and breaking time is analyzed. Based on calculation of electric field and pressure, it proves that the interrupter has a capability of breaking no-load long transmission line.

**Key words:** auto-expansion interrupter; no-load; pressure feature

## 1 引言

高压自能式 SF<sub>6</sub> 断路器是近年来开发的一种基于较新灭弧方式的产品。尽管产品已开始应用于电力系统,但对它的机理研究仍不充分,特别是对灭弧室中物性参数的动态特性进行计算,并通过一定的试验方法对这些理论计算进行验证的研究工作做的不多。目前在高压电器设计和制造领域,各公司和科研机构都在寻求通过软件和仿真技术达到对产品的准确设计或验证,从而逐步替代以往基于经验和高昂试验费用的粗旷化设计。

## 2 空载时热膨胀室的压力测量

### 2.1 测量方法及主要元件介绍

测量是在 ZF10-126B 型 GIS 用断路器间隔上进行的。因为其壳体较宽,利于放置传感器,且外接接地,易保护测量系统。测量系统的结构原理见图 1。

传感器通过一个接头与热膨胀室直接相连,见图 2。传感器的电缆通过一个密封装置连于壳体外,

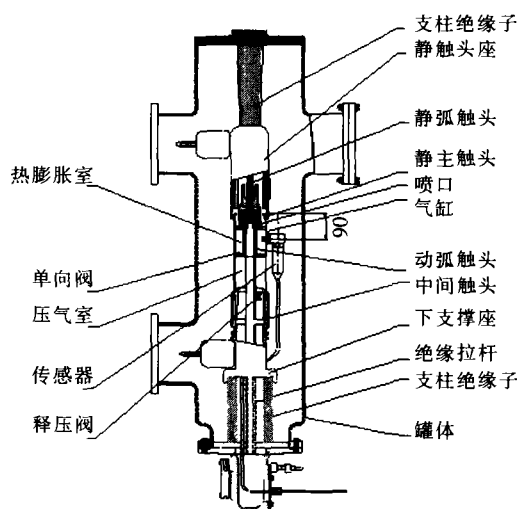


图1 测量系统的结构原理图

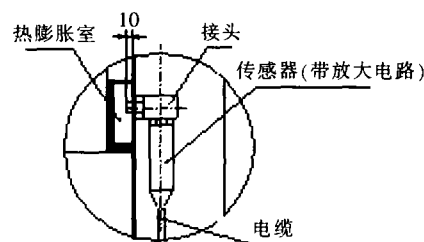


图2 传感器放置的位置

反映压力的电信号接入示波器。

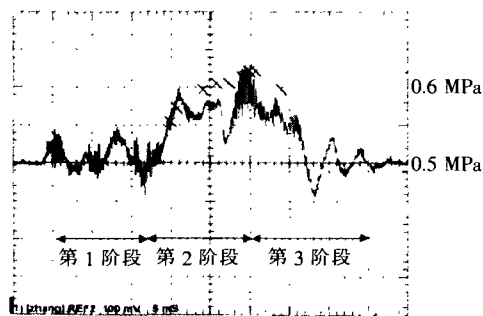
传感器采用了 DBY-12 型压阻压力变送器。其工作原理是根据硅单晶的压阻效应,采用集成电路工艺,按一定的晶相在硅膜片上制作惠斯登电桥。当恒流电源供电,无应力时,桥臂电阻相等,电桥输出为 0 mV。当被测流体作用在硅膜片上时,它受到压力作用而引起应变,致使电桥 4 个桥臂电阻 1 对增大,1 对减小,电桥即有一个对应于压力值的毫伏信号。该输出毫伏信号被专用集成运算放大器放大成标准输出信号,可与数字显示仪表、电动单元组合仪表、计算机连接。

示波器可直接同计算机相连,在其专用软件支持下,可在计算机显示器上直接输出并进行有关的

数据处理。测量采用了自触发和另一相同期断口触发两种方式,其结果基本一致。

## 2.2 分闸时的压力特性测试

由于测量工作是在实际的 ZF10 型 GIS 中进行的,以前很少有人进行,积累的试验和调试经验不多,所以测试工作具有一定的尝试性质,尚有很多不完备之处。故未能将传感器在多点、多位置多次测量,只取得了一个测试点的数据和波形。图 3 为热膨胀室所测点的压力波形,与计算值相比,两者差别不大。



注:横坐标零线为 1.79 V(对应 0.5 MPa),x 为计算值

图 3 热膨胀室测试点的压力特性

## 3 数据分析及与计算值的比较

### 3.1 自膨胀式断路器空载开断时的物理过程

由图 3 可见,按空载开断过程中动、静弧触头与大小喷口的相对位置,可以将灭弧室中的气流场大致分为 3 个阶段:

第 1 阶段为动触头开始运动到小喷口打开前,按照分闸运动特性对比,这个过程约为 0~12 ms。这一阶段,压气室内的气体处于压缩状态,并通过置于压气室与膨胀室之间的单向阀进入热膨胀室内,使热膨胀室的初始压力得到提高。

第 2 阶段为小喷口打开运动到静弧触头脱出大喷口喉部前,这个过程约为 12~25 ms。这一阶段,下喷通道已经打开,压气室内的气体继续处于压缩状态,并通过单向阀进入热膨胀室内,同时热膨胀室内气体通过下喷通道进入中空动弧触头与拉杆组成的空腔里。这一阶段中,热膨胀室内的压力取决于压缩和泄压的综合作用。

第 3 阶段为大喷口开放直至分闸到底。这一阶段,上喷通道也打开了,热膨胀室内气体将通过上下两个通道泄出,气体压力快速下降至初始压力,同时喷口喉部的气吹达到最强烈。

从图 3 中可以看出,在空载状态下,热膨胀室内压力值的上升是不多的,因为此时自膨胀式灭弧室可以看成是一个寄生容积很大、压气效率不高的压气式灭弧室。在触发后约 25 ms,也就是说,在断口分离约 15 ms 后达到最大值,压力约折合 0.62 MPa,相对增大了 0.12 MPa。从时间上看,所测结果是基本满足断路器实际情况的。该断路器在超程段需走约

10 ms,在弧触头脱离大喷口段需走约 15 ms,从结构上分析,此时压力值应达到最大。

对于该套测量系统,有些因数可能会影响测量的准确度,如传感器测量的滞后性。从热膨胀室的压力传递到传感器的压膜上,将会有一定的时延,对时间会有滞后;探头所处的位置可能也会引起测量的偏差。

对于波形中的一些低频振荡,已排除了电源干扰或单次谐波的干扰。作者认为有这样几种可能:一是作用在热膨胀室上横截面的压力反射波造成的;二是在气吹阶段喷口喉部可能产生激波,这种激波将反射到膨胀室内,引起压力的变化。

### 3.2 与计算结果的对比

笔者以电弧的二维磁流体动力学(MHD)数学模型为基础,对该型自能式断路器在空载状态下灭弧单元的有关物理参数做了相关计算<sup>[1]</sup>。通过数值模拟,计算了在空载操作的条件下热膨胀室内的压力特性。

图 3 的“x”即表示测试点的压力在若干个时间点的计算值。从这些计算值可以看出,压力在分闸动作 20 ms 后,基本维持在 0.6 MPa(设定初始压力为闭锁压力 0.5 MPa)。压力的变化规律与实测值有一些差别,但都约在 20~25 ms,压力达到最大值,约为 0.63 MPa。可见,仿真计算和实际测量结果具有一定的一致性。

图 4 给出了空载时,当分闸运动时间  $t=22.7$  ms(此时对应的弧触头分离时间为 12 ms)时整个灭弧室内的压力分布。可以看出,压气室内的压力稍高于热膨胀室的压力。但整个分闸过程中的压力也达不到设定的释压阈值,即空载分闸过程中,释压阀始终是关闭的。此时,断口间的压力约为 0.64 MPa(计算闭锁压力为 0.5 MPa)。

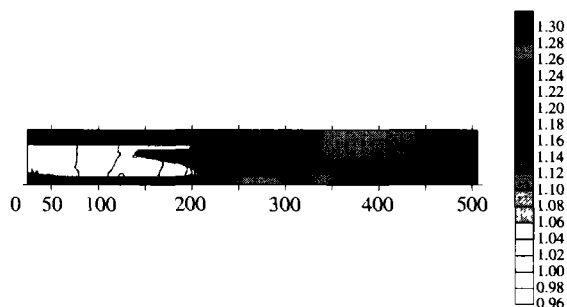


图 4 空载时热膨胀室内的压力分布( $t=22.7$  ms)

## 4 利用空载时的压力特性研究切空载长线时的绝缘问题

断路器在服役的大部分时间里,所需开断的是额定电流和空载长线电流,这两类电流都是很小的。在开断这些小电流时,喷口间的气吹可能并不强烈,但只要有足够的断口距离和良好的介质恢复强度,就有可能熄弧。这时热膨胀室的压力特性基本等同

于空载时的压力特性。下面通过一个特定的切长线试验来具体描述。

#### 4.1 开断空载长线时的电场状态

试验表明,开断空载长线电流时的断口绝缘状况是一个值得注意的问题。开断是否成功主要与断路器的充气压力和刚分速度有关。对于自膨胀式断路器,在开断小电流时,不易在断口间建立较高的压力,所以准确地研究自膨胀断路器在开断小电流时的断口状态是非常有意义的。对此,首先计算在开断空载长线电流时可能出现的严酷开距下的电场分布情况。

严酷开距是这样确定的。试验测到的最短熄弧时间是 2 ms,过 10 ms 后,即弧触头分离 12 ms(分闸动作约 22 ms 后),断口电压达到了最大值,约为 288 kV(电压系数 1.4),此时对应的开距为 60 mm(按该型断路器的行程曲线读出)。显然这是开断空载长线时最苛刻的状态。

针对上述分析的断口状态,采用静电场计算软件,计算出此时的电场分布情况,见图 5。

根据图 5 给出的电场分布,该状态下最大场强集中在静弧触头端部, $E_{\max}=22.2$  kV/mm。

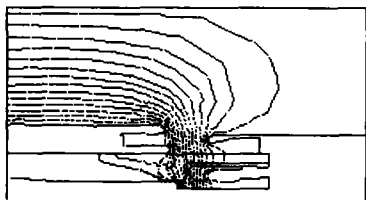


图 5 断口在切长线试验严酷开距(60 mm)下的电场分布图

(上接第 21 页)

带宽为 5 MHz,传输距离最远可达 35 m,完全满足该系统的要求<sup>[3]</sup>。

光纤传输信号的优势:①抗电磁干扰;②抗共模干扰能力强;③高低电位隔离性能好;④响应时间短,准确度高。

#### 4.2 红外传输信号

由于传感器在高电压、大电流的环境下工作,所以光纤传输信号的方案并不能做到高低电位的完全隔离,所以亦可采用红外无线传输信号的方案。

该系统中,在红外发射端采用二级放大提高发射的功率,增加传输的距离;在接收端采用集成的红外接收器使结构简单,并且降低了成本。

实践证明,在 3 m 以内的距离,红外传输装置都可以比较好地完成信号的传输,这就为解决信号在高电压、大电流环境中的准确传输和高低电位隔离提供了一种新思路。图 3 是整个系统的结构框图。

## 5 结语

实验证明,该传感器系统可满足对开关设备母

#### 4.2 开断空载长线时的绝缘校核

如图 4 所示,分闸动作 22.7 ms 后,断口间压力  $p$  为 0.64 MPa,高于初始压力 0.5 MPa。可以计算该状态下的 SF<sub>6</sub> 气体间隙的工频击穿场强  $E_{ix}$  为<sup>[2]</sup>:

$$E_{ix}=65 \times (10 p)^{0.73}=25.2 \text{ kV/mm} \geq 22.2 \text{ kV/mm}$$

由此可以推断断口间的绝缘设计是可行的,但裕度不大。这个结果也得到了试验的验证。当然,若燃弧时间更长,将对开断后的无重击穿更有利。

## 5 结论

(1)对断路器在空载下热膨胀室内的压力特性进行了测量,并与计算结果做了对比分析,两者具有较为一致的趋势和数值。测量结果表明,在静态充气压力为 0.5 MPa 时,热膨胀室内的压力升高不超过 0.12 MPa。

(2)将测试和计算的成果用以校核断路器开断空载长线时断口间的绝缘能力,结果表明断口间的动态绝缘设计是可行的,但裕度不大。这个结果也得到了试验的验证。

## 参考文献:

- [1] 牟京卫, K Y Park, J K Chong. SF<sub>6</sub> 断路器开断过程的数值模拟[J]. 高压电器, 2000, 36(4):3-7.
- [2] 朱德恒, 严璋. 高电压绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.

作者简介:张文兵(1968-),男,工程硕士,高级工程师,从事高压电器的设计和研制工作。

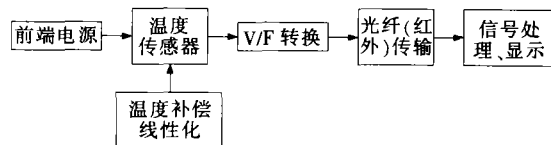


图 3 系统结构框图

线温度测量的要求,达到了很好的测量准确度,并解决了传感器前端电源的问题,在信号的传输上实现了高低电位的隔离。

## 参考文献:

- [1] 查美生. 热电偶用补偿导线测温误差分析及修正方法[J]. 工业仪表与自动化装置, 1998(5):3-6.
- [2] 何希才. 传感器及其应用电路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [3] 赵仲钢. 光纤通信与光纤传感[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1993.

作者简介:郑义(1979-),男,辽宁沈阳市人,硕士研究生,研究方向为成套开关设备的在线监测。