

旋弧式灭弧装置中电弧运动速度的研究

西安交通大学 游一民* 郭文元

【摘要】 通过试验, 测量了电弧的旋转速度, 并讨论了电弧的旋转速度对旋弧式灭弧装置的开断性能的影响。

【关键词】 旋弧式灭弧室 电弧 速度

【Abstract】 The velocity of arc rotating was measured in lab, and the influence from the velocity on the interrupting capability was discussed in this paper.

【Key words】 Arc rotating interrupter, arc, velocity

一、引言

旋弧式灭弧装置中, 电弧的旋转速度是一个极为重要的参数。它直接关系到灭弧装置的开断性能。文[1]采用光纤—光电转换法对旋弧式灭弧装置中电弧的旋转速度进行了测量, 表明电弧在电流过零后有后退运动的现象, 同时, 给出了电极间几个不同间隙情况下电弧的旋转速度曲线。

本文从电弧旋转速度对其熄灭的影响出发, 对电弧的旋转速度进行了测量, 得到了一些结果和新的认识。

二、测量方法和示波图

光纤—光电转换法测量电弧的旋转速度的原理框图如图1所示^[1, 2]。

本测量装置研制过程中调整了光强和装置输出灵敏度的关系, 克服了电弧高温对器件的影响等。

探头是接受电弧弧光的部件, 因而要求它耐高温, 而且它与光纤直接接触, 还要求其绝热性能较好。选取三聚氰胺作为制作探头的材料, 它具有很好的耐高温和隔热的特

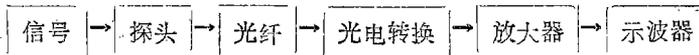


图1 测量电弧旋转速度的原理框图

点。

探头的尺寸为 $\phi 10 \times 30$, 光纤插入 $\phi 2.5$ 的孔内, 弧光先通过 $\phi 0.5$ 的小孔后, 经过 $\phi 1$ 的孔到达光纤接收面。光通道($\phi 0.5$ 孔和 $\phi 1$ 孔)可以起到保护光纤和减小测量视角的作用, 测量视角直接关系到测量的精确度。探头的视野直径为3mm。

本装置选用3DU5D型光电三极管作为光电转换和光电流放大。设旋弧速度为400

m/s, 光探头放置位置距圆筒电极中心20mm处, $T=L/v=125.6/400=0.3\text{ms}$, 其中L——周长。而光电管的上升时间为 $5\mu\text{s}$, 下降时间为 $5\mu\text{s}$, 说明光电管对电弧每一次经过它时, 有足够的分辨率。电弧经过探头所需时间为 $7.5\mu\text{s}$, 如果考虑到电弧的直径, 则经过探头所需时间是大于 $7.5\mu\text{s}$, 因此记录光强讯号还有一定的余量。

电弧等离子体发射出光谱主要有可见光

*现工作单位, 西安高压电器研究所

(0.4~0.76μm波长)，光电管的光谱范围是0.5~1.19μm，可见光电管的光谱范围也是满足要求的。

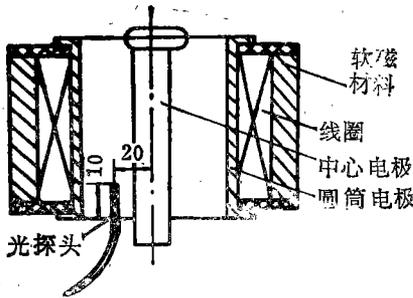


图2 灭弧室原理图及探头安装位置

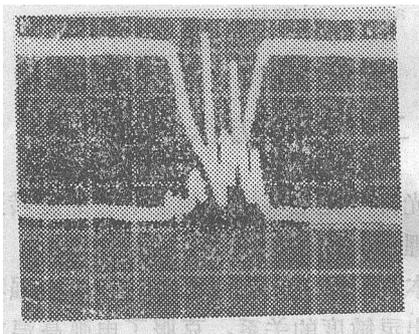


图3 测量电弧旋转速度示波图

灭弧室及探头的安装位置如图2所示。图3所示为电弧电流I=928A，SF₆压力为0.2MPa时测得电弧旋转速度的典型示波图。图中每一个脉冲表示电弧旋转时每通过一次探头记录的信号。

三、试验结果及讨论

1. 电弧电流对旋弧速度的影响

图4示出了电流半波内电弧旋转速度最大值与燃弧电流的关系。一般情况下速度的最大值出现在 $\vec{i} \times \vec{B}$ 的最大值期间内。当电流较小时，电弧的旋转速度与电流几乎是线性增长关系，而当开断电流幅值约等于1600A时，速度的增长开始减慢，电流继续增加时，速度增加得很小或几乎不再增加，即达到所谓速度的“饱和”状态。这是由于单位长度电弧的旋转速度v是受洛仑兹力及气动

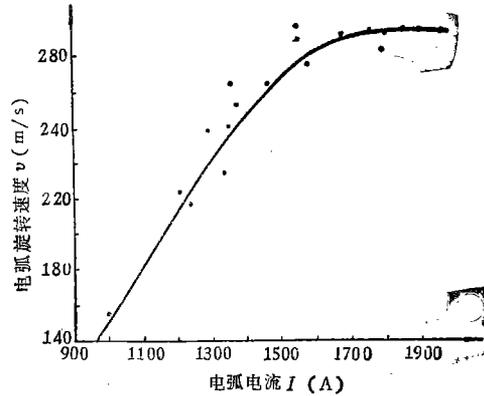


图4 电弧旋转速度的最大值随电流的变化情况

阻力共同控制的结果，即

$$IB\sin\varphi = \frac{1}{2}C_d \cdot D \cdot \rho \cdot v^2$$

sinφ——电流与磁场间的空间角；D——电弧直径；C_d——阻力系数；ρ——密度；v——电弧旋转速度。

当电弧电流增大时，电弧直径变粗，使气动阻力增大，当电弧电流增大到某一值，电弧的直径足够大，使得电弧的边界层与电极间的摩擦作用明显增加，此时电弧的旋转速度将随着电流的增加缓慢增加或不再增加，即出现“饱和”现象。

2. SF₆压力对旋弧速度的影响

增加灭弧室内SF₆的压力能使得电弧的旋转速度减小。图5为不同压力下，开断电流与电弧旋转速度最大值的关系曲线。这是由于气动阻力与气体密度有关，如果其它条件不变，气动阻力与气体的密度成正比，因此增加灭弧室的压力，旋弧速度变小。

3. 旋弧速度对灭弧室熄弧能力的影响

旋弧式灭弧装置中电弧的旋转速度将直接影响着装置的灭弧性能，因此对它作详细的研究是很有意义的。在本装置结构的形式下，由于受磁场轴向分量、径向分量以及周向分量（在圆柱坐标系中）的作用，电弧一方面作旋转运动；另一方面也沿轴向移

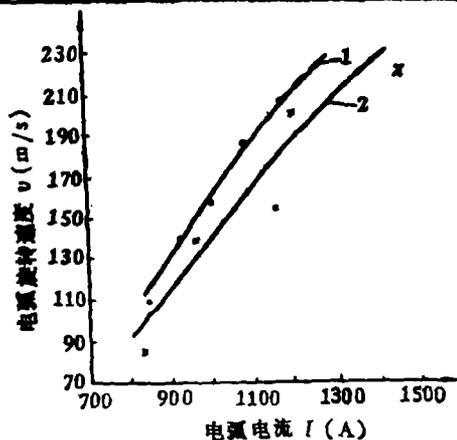


图5 压力与电弧旋转速度的关系
1— $p=0.2\text{MPa}$
2— $p=0.3\text{MPa}$

动, 形成螺旋式的磁井运动。电弧的高速旋转, 使其自身冷却, 消游离能力增强, 同时也避免了因弧根温度过高而大量喷射金属粒子的情况, 无疑, 旋转速度快对熄弧是有利的。

然而, 并不是速度越快, 熄弧能力越强。如图6示出灭弧室内压力为 0.2MPa , 电流 $I=1607\text{A}$ 时, 两次开断试验中, 电弧旋转速度变化情况。曲线1表示电流半波未开断的情况, 曲线2表示电流半波内开断的情况。从图

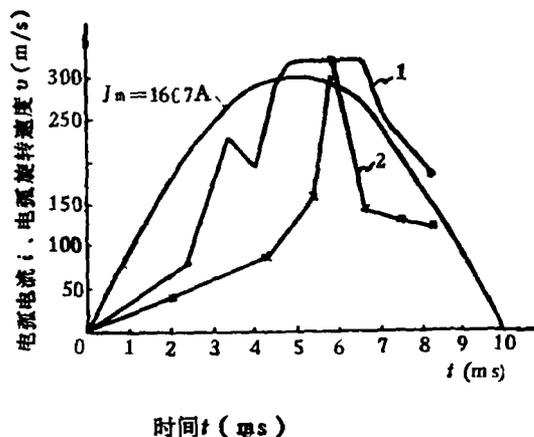


图6 $I_m=1607\text{A}$ 时开断电流与电弧旋转速度的变化情况

6中可以看出曲线1在电流达到最大值时, 电弧旋转速度已升到最大值, 并且保持在此值上直到 $t=6.6\text{ms}$ 后, 才开始下降。曲线2中, 速度在 6ms 时达到最大值(其最大值与曲线1的最大值相等), 但未能持久, 速度立即开始下降, 最终在电流过零时使电弧熄灭。在其它试验中也出现了类似情况, 例如, 当 $I_m=1762\text{A}$ 时, 做了两次开断试验, 也出现了一次电流半波内熄灭, 一次继续燃弧的情况, 电弧旋转速度的变化情况与图6类似。

众所周知, 电弧是否能熄灭, 主要取决于电流过零附近介质强度恢复的快慢。在旋弧装置中, 主要取决于电流过零前后的吹弧强弱(即电弧旋转速度的大小)。大电流期间, 如果电弧旋转太快, 会出现高温气体来不及冷却首尾相接的严重情况, 以使圆筒电极内充满了游离气体, 那么就失去了对电弧的冷却作用, 由于电弧能量的不断积累, 温度则不断升高, 因而在电流过零附近, 积累的热量来不及散发, 电弧电导率也就不可能很快下降。电流过零后, 介质强度恢复较慢, 就可能引起电弧的重燃。

因此, 希望在大电流期间, 电弧的旋转速度不必太快, 而在电流即将过零前, 电弧仍有适当的旋转速度。

电弧的轴向移动速度是影响旋弧式灭弧装置的另一个重要因素。这是由于电弧的轴向移动使电弧弧根总是在较冷的电极上燃烧, 有利于电弧散热。不致使电极温度过高而引起电极的熔化和金属粒子的喷射。并且电弧轴向移动, 使电弧总是在新鲜的冷气体中运动。在某种程度上避免了电弧首尾相接, 电极内充满游离气体的情况, 有利于有效地吹弧。

四、结论

1. 旋弧式灭弧装置中, 电弧的旋转速度不是随着电流的增加而无止境地增加, 而(下转第47页)

很明显,在保证允许储存期的条件下,真空灭弧室真空度愈高,则灭弧室所需存放的时间就愈短。相反,真空度低,要保证允许储存期就需要长的存放期。

下面来看,在保证20年允许储存期和最短的7天存放期内,生产的真空灭弧室真空度要求的范围。

$$\text{根据 } T = \frac{6.6 \times 10^{-2} - p_1}{p_2 - p_1} \times \frac{t}{365} \text{ 可得}$$

$$p_2 - p_1 = \frac{6.6 \times 10^{-2} - p_1}{1042.9}$$

把起始真空度 p_1 定为 6.6×10^{-3} 、 6.6×10^{-4} 和 6.6×10^{-5} Pa 进行计算。附表给出的是计算结果。

附表	计算结果 (Pa)		
p_1	6.6×10^{-3}	6.6×10^{-4}	6.6×10^{-5}
$p_2 - p_1$	0.063×10^{-3}	0.63×10^{-4}	6.3×10^{-5}
p_2	6.663×10^{-3}	7.23×10^{-4}	12.9×10^{-5}

从附表列出数据可以看出,真空度在 10^{-3} Pa 数量级时, p_2 和 p_1 的差值在百分位

上;真空度在 10^{-4} 、 10^{-5} Pa 数量级时, p_2 和 p_1 的差值分别在十分位和个位上。对一般以毫米刻度的测试仪只有后两种数据才能读出。但最易直观读数的只有 10^{-5} Pa 数量级的灭弧室。也就是说,要在7天的存放期内,要判别20年以上的允许储存期,灭弧室的真空度应高于 6.6×10^{-4} Pa。

下面,我们再讨论漏气速率 Δp 。根据定义,并排出容积因素,则一种确定的灭弧室的漏率为

$$\Delta p = \frac{p_2 - p_1}{t}$$

$p_2 - p_1$ 仍以上述 6.3×10^{-5} (Pa) 计算。代入得

$$\begin{aligned} \Delta p &= \frac{p_2 - p_1}{t} \\ &= \frac{6.3 \times 10^{-5}}{7 \times 24 \times 60 \times 60} \\ &= 1 \times 10^{-10} \text{ (Pa/s)} \end{aligned}$$

这个结果表示:要用漏率来判别真空灭弧室20年的允许储存期时,其漏气速率应小于 1×10^{-10} Pa/s。

(上接第19页)

是当电流增加到某一值时,电弧的旋转速度将不再增加,即达到“饱和”。

2. 通过试验研究了电弧旋转速度对灭弧性能的影响,发现如果电弧在电流峰值附近出现持续高速地旋转,并不有利于电弧的熄灭,因此,对此类装置应有一合适的电弧旋转速度。电弧的轴向运动速度也是提高开断性能的主要因素。

致 谢

慈溪高压开关厂的王旭东和电器专业85

届学生刘军在本文的模型调整和测速装置制作中参加了部分工作,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Campbell I.G. et al. Multi-Channel Optical Fiber System for Velocity Measurement of a Rotating Arc in SF₆. Proc. of ECAAA, 1989
- 2 Ma Z.Y. et al. Current Zero Region of an SF₆ Rotating Arc, GD-88 Venice.