

重复率气体火花开关绝缘恢复特性

许日宁 辉 邱爱慈

(西北核技术研究所, 西安 69 信箱 13 分箱, 西安 710024)

莫凡 邱毓昌

(西安交通大学电气系, 西安 710049)

摘要 在自行设计的气体火花开关上, 利用双脉冲回路, 对纳秒脉冲作用下 N_2 和 H_2 的绝缘恢复特性进行了实验研究。结果表明, 在静态不吹气情况下, H_2 的绝缘恢复时间明显比 N_2 短。在吹气情况下, 适当的气流速度即可使绝缘恢复时间明显缩短。

关键词 气体火花开关 重复率 绝缘恢复 双脉冲回路

ABSTRACT This paper presents results obtained during experiment research on the insulation recovery of the rep-rate gas spark gap. Insulation recovery information has generally been obtained using a two-pulse technique while the nanoseconds pulse breaks down the gap. First, under static conditions (unblown), hydrogen gas allows an order-of-magnitude improvement in the recovery of an unblow spark gap. Under dynamic conditions (gas flow), gas between the electrodes allow a significant improvement in the switch recovery.

KEY WORDS gas spark gap, rep-rate, insulation recovery, two-pulse circuit

0 引言

重复率脉冲功率技术是当前脉冲功率技术发展的重要方向。重复率脉冲功率技术的关键之一是开关技术。气体火花开关由于其工作电压高, 通流能力强, 转换电荷量大, 所以被广泛应用于脉冲功率装置中。为了确定其可能的最大重复率, 必须研究其在冲击电压作用下的绝缘恢复情况。气体开关的绝缘恢复时间决定了重复率气体火花开关的工作频率。有几种途径可以提高开关的绝缘恢复速度^[1, 2]。一种是在开关电极间隙间吹气, 另一种是选用具有较好热扩散性的气体介质, 如 H_2 等。在实验中, 采用双脉冲技术来测定气体的恢复特性。用第一个脉冲使开关击穿, 经过给定时延后, 用第二个脉冲使开关再次击穿。我们定义开关的绝缘恢复为第二个脉冲电压对第一个脉冲电压的比值。实验中, 首先对静态不吹气条件下 N_2 和 H_2 的绝缘恢复特性进行了测定, 比较了两种气体介质的绝缘恢复特性。然后, 在吹气状态下, 采用不同的吹气速度, 对 N_2 在不同的吹气速度下的绝缘恢复特性进行了实验研究。

1 开关结构与实验方法

实验中所用开关是自行设计的^[3], 其基本结构见图 1, 开关是在自击穿方式下工作。开

1995年5月4日收到原稿, 1996年8月21日收到修改稿。

关绝缘筒是有机玻璃, 内壁直径为 110mm, 工作气压在 1.0MPa 以下。电极材料为黄铜, 电极间隙距离可以在 0.5mm 至 4.5mm 间调整。在吹气时, 气体先流入开关一端的汇气罩, 再从电极板上的六个均布斜孔吹入开关腔体, 腔内气体从另一电极中心的圆柱形小孔流出到另一端汇气罩, 经出气孔流出。

双脉冲实验回路如图 2 所示。为了产生两个同样的脉冲, 左右回路参数完全一致。经实验测定两边的电压和电流波形也完全一样。实验中, 两边回路中的储能电容同时充电至 20kV。当小触发球隙 T_1 触发时, C_1 上的电压迅速加在被试开关上, 电压以 0.2 kV/ns 的速率上升, 接近峰值时, 主开关击穿, 经过一设定延时后, 另一触发球隙 T_2 触发导通, C_2 上的电压以同样的上升速率加到开关上, 开关再次击穿。设定延时可在数十微秒至数十秒之间连续调整, 考虑击穿分散性的影响, 对每一时间间隔都连续作 5 次, 最后取平均值。

用一响应时间小于 1ns 的罗科夫斯基线圈测量电流, 一电阻分压器测量电压。记录设备采用瞬态波形数字化仪 TekRTD720A 和数字存储示波器 TekTDS644A。720A 的最小采样时间间隔是 0.5ns, 记录长度是 4M 字节。644A 的最高采样率是 2GHz, 记录长度是 2K 字节。

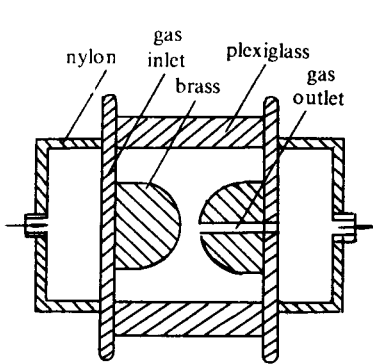


Fig.1 Drawing of the spark gap housing
图 1 开关结构图

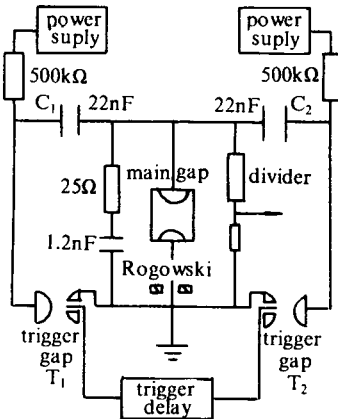


Fig.2 Two-pulse circuit
图 2 双脉冲回路

2 实验结果

2.1 测量波形

由 644A 数字示波器记录的典型电压波形如图 3 和图 4 所示。开关内充 N_2 , 气压为 0.3MPa。由图 3 和图 4 中可以看到第一脉冲击穿电压值为 24 kV, 第二脉冲击穿电压值为 18kV, 两个脉冲击穿电压比值即绝缘恢复为 75%。两个脉冲的时间间隔是 17ms, 所以在这段时间间隔内, 气体的绝缘恢复是 75%, 没有完全恢复。

2.2 气体绝缘恢复曲线

在静态不吹气情况下, N_2 和 H_2 的绝缘恢复曲线如图 5 所示。 N_2 在 70ms 以后绝缘完全恢复, H_2 在 6ms 以后绝缘完全恢复。两种气体的绝缘恢复曲线在 50% 左右

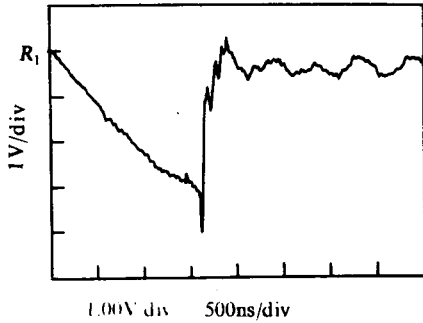


Fig.3 Waveform of the first pulse

图3 第一脉冲波形

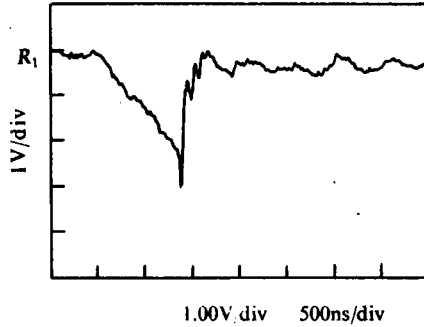


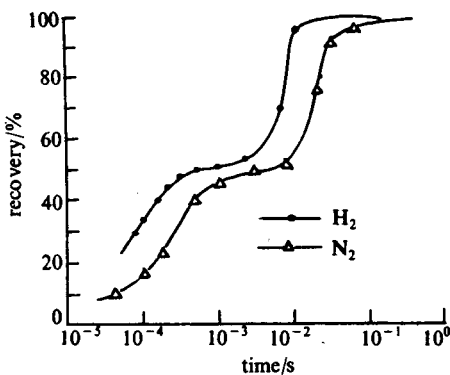
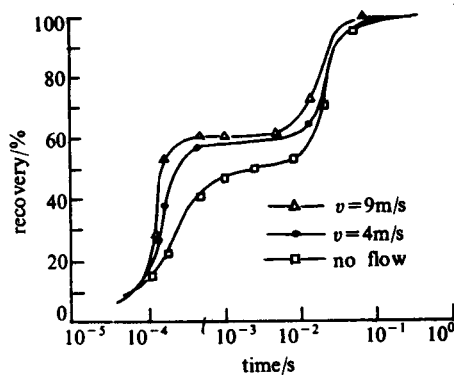
Fig.4 Waveform of the second pulse

图4 第二脉冲波形

出现了平台，这一点经实验测定是开关的直流击穿点。 N_2 达到 50% 绝缘恢复的时间大约是 3ms, H_2 达到 50% 绝缘恢复的时间大约是 $460\mu s$ 。这说明自击穿开关的绝缘恢复分两个阶段。第一阶段是耐受直流击穿电压能力的恢复，第二阶段是耐受过电压能力的恢复，这一阶段要慢得多。对自击穿开关而言，只有当耐受过电压能力恢复之后，才能认为是完全的绝缘恢复。因为耐受过电压能力恢复较慢，所以自击穿开关的最大重复率不会太大。

从图 5 中可以看出， H_2 的绝缘恢复时间短得多。气体放电和绝缘恢复的过程是带电粒子产生和消失的过程。开关放电后，间隙中有一炽热的气体通道，通道内带电粒子浓度远大于放电前的浓度，此时开关易击穿。若通道内气体能尽快冷却，带电粒子能尽快扩散到四周，则气体绝缘恢复也较快。 H_2 具有较高的分子运动速度，较好的热扩散性，火花通道内炽热气体冷却快，带电粒子扩散快，所以绝缘恢复时间也短。

图 6 给出了吹气状态下 N_2 的绝缘恢复曲线，当吹气速度达到 4m/s 时，开关的绝缘恢复时间明显缩短，当吹气速度增大到 9m/s 时，开关的绝缘恢复时间更短。这说明吹气有助于电极间隙气体冷却，吹散带电粒子，促进了开关的绝缘恢复。

Fig.5 Recovery of hydrogen and Nitrogen under static condition with $d=1.5\text{mm}$ $p=0.3\text{MPa}$ 图5 不吹气状态下 N_2 和 H_2 的绝缘恢复Fig.6 Recovery of Nitrogen under dynamic condition with $d=1.5\text{mm}$ $p=0.3\text{MPa}$ 图6 吹气状态下 N_2 的绝缘恢复

3 结语

实验结果表明:(1)在不吹气状态下, H_2 的绝缘恢复时间大约比 N_2 小一个数量级。所以用 H_2 作绝缘介质的开关其最大可能重复率比用 N_2 作绝缘介质的开关高一个数量级。(2)自击穿开关绝缘恢复时间较长, 其可能最大重复率不会很高。(3)在吹气状态下, 依据开关结构选择适当的吹气速度, 可以明显缩短绝缘恢复时间。气流速度增大时, 绝缘恢复时间也相应缩短。所以在电极间隙间吹气也是提高开关重复率的一个途径。

在实际应用中, 可以根据实验情况选择适当途径以提高开关的最大可重复率。

依据实验结果我们认为影响开关绝缘恢复的重要因素之一是气体介质的冷却速度。 H_2 等热扩散性较好的气体冷却较快, 在开关电极间隙间吹气也可以提高冷却速度。当然影响开关绝缘恢复的因素还有一些, 如电弧对电极烧蚀, 放电后产生杂质, 放电时气体的电离与复合等, 这些还有待于进一步的研究。

参考文献

- 1 Moran S L et al. Proceedings of the 8th IEEE Pulsed Power Conference, 1991. 336~339
- 2 Molen G M et al. Proceedings of the 5th IEEE Pulsed Power Conference, 1985. 465~468
- 3 许日等. 一种重复率气体火花开关的设计. 第五届全国高功率会议论文集, 1993

EXPERIMENT RESEARCHES OF REP-RATE GAS SPARK GAP INSULATION RECOVERY

Xu Ri, Ning Hui, and Qiu Aici

North-West Institute of Nuclear Technology, P.O.Box 69(13), Xi'an, 710024

Mo Fan and Qiu Yuchang

High Voltage Division, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710049

The results obtained during experiment research on the insulation recovery of the rep-rate gas spark gap are presented. Insulation recovery information has generally been obtained using a two-pulse technique where the first pulse breaks down the gap and the second pulse determines the recovery. First, the voltage across the spark gap rises at a rate of about 0.2kV/ns up to a maximum of 24kV. Then, the main gap breaks down approximately at the peak value. After a present time delay, the second identical pulse is used to indicate the switch recovery. Electrical diagnostics consists of a fast Rogowski coil to monitor the current and a resistive voltage divider to monitor the voltage. The recovery of the spark gap is defined as a ratio of the second pulse average breakdown voltage to the first pulse average breakdown voltage for each two-pulse burst. First, under static conditions (unblown), the recovery results of two gases, hydrogen and nitrogen, are obtained. The recovery of an overvoltage gap occurs in two stages. The first stage is the recovery of the ability of D.C.hold off voltage. This occurs on the order of several hundred microseconds. The second stage is the recovery of the ability to be overvoltage resisting, which is much longer. From the results, it is found that

hydrogen gas, with its high molecular speed and thermal diffusivity, allows the recovery time to be an order-of-magnitude faster than nitrogen gas. Under gas flow condition, an apparent improvement in gas insulation recovery occurs when the velocity of gas flow increases to 4m/s. When the velocity increases to 9m/s, the recovery time decreases correspondently.