

利用光电倍增管对磁驱动滑移电弧直径的研究

马 强 赵宇含 黎林村 夏维东

(中国科学技术大学热科学与能源工程系 合肥 230027)

摘要 利用光电倍增管测量得到了电弧电流分别为 0.7A 和 1.0A、外磁场 0.32—0.8T 条件下磁驱动滑移电弧的侧向直径。对于固定的电弧电流,电弧直径随外磁场的增加而减小,并趋向于某一固定值,对于 0.7A 和 1.0A 的电弧电流,电弧直径分别维持在 0.78mm 和 0.88mm。根据光电倍增管所得信号对电弧的截面形状进行描述。

关键词 磁驱动滑移电弧, 光电倍增管, 侧向直径

中图分类号 O461

大气压非平衡等离子体和热平衡等离子体相比,所需输入能量较小,能量的利用率较高,且无需真空系统,适合在大气压或更高气压的环境中工作。在化工、材料制备材料表面改性及环境工程等领域有广泛应用前景。

滑移电弧(Gliding-Arc)是产生大气压非平衡等离子体的一种方式,目前主要采用气驱动^[1-3]和磁驱动^[4]两种方法产生滑移电弧。与气驱动滑移电弧相比,磁驱动滑移电弧可以大大提高气流和电弧之间的相对速度^[4],有利于放电中产生的受激粒子和气体介质的混合,有利于提高等离子体的非平衡度。

由于磁场中电弧的高速移动和磁轭的阻挡,很难对电弧进行观测。李辉^[5,6]等人利用光电倍增管研究了大气压下磁驱动滑移电弧的移动速度,外磁场从 0 增大到 0.6T,相应的电弧移动速度变化范围为 7.8—32m/s,弧电流则在 0.26—0.66A 间波动。

本实验利用光电倍增管对磁驱动滑移电弧进行了进一步研究,测量了电弧弧柱的侧向直径,得出弧柱侧向直径随外磁场和弧电流的变化趋势,并根据光电倍增管信号得出弧柱的非圆截面特性。

1 实验装置和测量方法

实验装置参见文献[5],电源电路原理参见文献[7]。图 1 是平行电极和挡板的结构示意图。在电磁铁的 S 极上开有一道 2mm 的狭缝。孔板上的小孔连成一条直线,与电磁铁上的狭缝、平行电极中心轴线以及光电倍增管在同一平面上。电极与孔板间距 3mm,光电倍增管距离电极 60cm。平行铜电极之间的距离为 30mm,击穿点之间的距离为 2mm。

孔板上相邻小孔(直径 0.5mm)的中心距离由下而上分别为 7.58mm、6.46mm 和 7.92mm,四个小孔均位于电极平行段内对称轴线上。电磁铁产生的磁场驱动电弧在电极平行段自下而上移动,弧柱位于电极中心轴线附近的部分发出的光自下而上依次透过孔板上的小孔辐射到光电倍增管上,如图 2 所示。电弧的电压电流信号和光电倍增管的电信号由四通道数字记忆示波器(TDS2014, 100MHz, 1GS/s)记录。

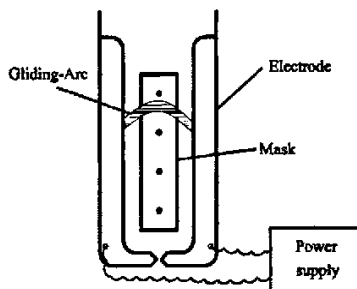


图 1 电极和挡板的结构示意图
Fig. 1 Structure of the electrode and mask

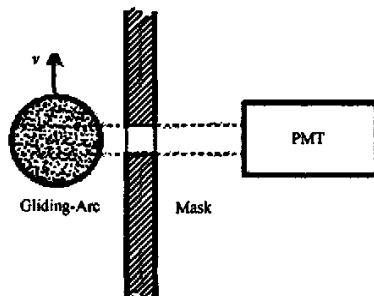


图 2 直径测量示意图
Fig. 2 Schematic of the arc diameter measurement

国家自然科学基金(10375065)和安徽省自然科学基金(03045102)资助

第一作者:马 强,男,1981 年出生,2003 年毕业于中国科学技术大学,现为该校在读硕士研究生,专业:热能与动力工程

通讯作者:夏维东

收稿日期:2006-07-07,修回日期:2006-09-05

鉴于电弧在移动过程中等离子体参数的不断变化, 电弧直径也有波动, 因此, 我们对于固定的电弧电流和外磁场, 进行了多次测量取其平均值。

电弧电流、电压与光电倍增管信号的对应关系如图 3 所示。电弧在电极平行段移动过程中, 弧电流基本保持不变, 波动幅度小于 3%; 而弧电压波动幅度小于 20%, 主要是由于弧根的跳跃导致弧长变化所引起的。

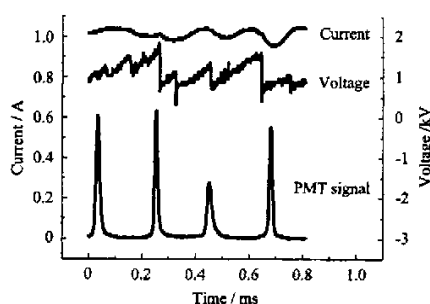


图 3 电弧电流、电压和光电倍增管信号 (磁场强度 0.56T)

Fig. 3 Arc-current, arc-voltage and PMT signals as a function of time (The magnetic induced intensity is 0.56T)

实验中使用的 GDB-23 型光电倍增管波长响应范围 300—650nm, 峰值波长为 400nm, 处于可见光范围, 因此, 用光电倍增管测定的电弧直径是电弧的光学直径。由于光电倍增管的灵敏度限制, 只有处于光电倍增管波长响应范围内且光强达其临界灵敏度的光才能被探测到。

电弧透过小孔辐射到光电倍增管上, 光电倍增管输出的典型光强信号波形见图 4, 它反映的是电

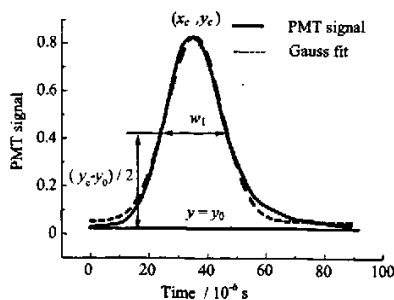


图 4 光电倍增管输出的典型光强信号及其高斯拟合

Fig. 4 Typical signal obtained by PMT and Gauss-Fit curve

弧在通过小孔时弧柱对准小孔部分的光辐射到光电倍增管上的光强信号。因此电弧侧向直径与电弧通过小孔的时间 Δt (也就是光电信号的脉冲宽度) 相对应。设 v 是电弧的移动速度 (电弧移动速度测量方法参见文献[7]), 则电弧直径可表示为:

$$d = v \times \Delta t$$

其中, Δt 通过对光电倍增管信号单个峰进行高斯拟合得到。高斯分布函数:

$$y = y_0 + \frac{2\sqrt{\ln 2}A}{\sqrt{\pi}w_1} e^{-\frac{4\ln 2(x-x_0)^2}{w_1^2}}$$

式中 y_0 为基线偏移量, x_0 为峰顶的坐标, A 为曲线到基线间的面积, w_1 为半高宽, (图 4)

$$\Delta t = 2w_1$$

2 实验结果与讨论

2.1 滑移电弧弧柱的非对称性

对光电倍增管所测得的单个峰信号 (图 5) 进行对称性分析。取经过信号峰值并垂直于横坐标的一条直线作中心线 (见图中直线 3)。曲线 1 (用虚线表示) 为中心线左侧实际测得的信号关于中心线的对称曲线, 曲线 2 (用实线表示) 为实际信号曲线。通过对比发现, 在距离峰值相同的距离处, 中心线右侧实际信号明显高于中心线左侧的对称信号。这说明, 电弧后侧光强的衰减相对缓慢, 有一个比较长的衰减区 (decay zone)。电弧截面并非对称分布, 而应如图 6 所示。

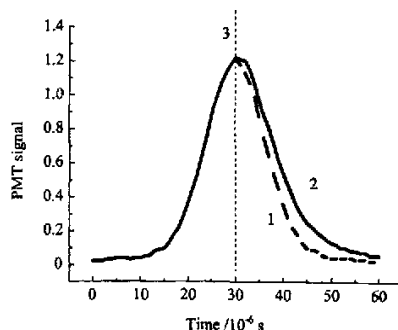


图 5 单个峰的对称性分析

Fig. 5 Symmetrical analysis of a peak.

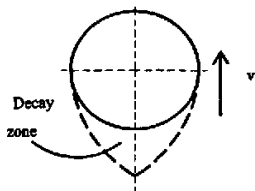


图6 电弧截面示意图

Fig. 6 Schematic of the arc section

2.2 电弧的侧向直径及磁场对电弧扩散的影响

实验中,分别测量计算了弧电流为0.7A和1.0A时的电弧侧向直径。测量结果统计平均值如图7。

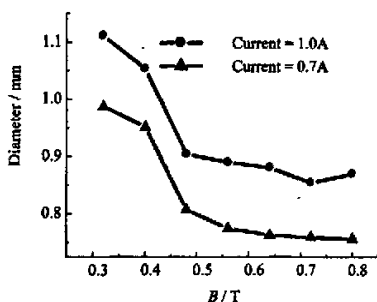


图7 电弧直径随磁场强度的变化

Fig. 7 Diameter of the gliding arc as a function of the magnetic inductance

对于固定的弧电流,随外磁场从0.32T增强到0.8T,电弧侧向直径逐渐减小,但是当磁场超过0.5T后,直径下降趋于平缓,并维持在一个固定值。对于0.7A的弧电流,其侧向直径维持在0.78mm,对于1.0A的弧电流,其侧向直径维持在0.88mm。

对于固定的弧电流,随磁场增加,电弧的侧向直径减小,这主要是由于较快的电弧移动速度促进了电弧的扩散,增强了电弧衰减区内激发态粒子与周围空气的混合^[4],图6所示的电弧衰减区增大,在电弧能量基本不变的情况下衰减区内的光强减弱,以致无法被光电倍增管检测到。在这里,磁场对电弧起到了扩散的作用,相对气驱动滑移电弧,磁驱动滑移电弧中,电弧与周围气体有较大的相对速度,扩散效果更明显。

2.3 电弧光强的随机性

在实验中,我们还发现光电倍增管所得到的信

号峰值大小与磁场和弧电流大小没有直接关系,是随机的,由此推测,电弧在移动过程中,其等离子参数并不是处于一个稳定的状态,而是不断变化的,并由此引起弧柱光强的变化。

3 结论

利用光电倍增管,可以较为准确的测量出磁驱动滑移电弧的侧向直径。通过对直径的分析,得出如下结论:

1)滑移电弧弧柱截面形状是非圆对称的,由此,推测电弧后侧存在一个衰减区域(decay zone)。

2)随着磁场增强,电弧移动速度加快,衰减区增大,但是,其内部激发态粒子浓度下降,使能被光电倍增管所探测到的区域减小,表现为电弧侧向直径的减小。较快的电弧移动速度加速了电弧衰减区激发态粒子与气体介质的混合,在这里,磁场促进了电弧的扩散。

3)弧柱光强的随机性,说明弧柱内部等离子体参数是不断变化的。

参考文献

- 1 Richard F, Cormier J M, Pellerin S, *et al.* J Appl Phys, 1996, 79(5): 2245—2250
- 2 Fridman A, Nester S, Kennedy L A, *et al.* Progress in Energy and Combustion Science, 1999, 25: 211—231
- 3 Mutař-Yardimci O, Savelliev A V, Fridman A A. J Appl Phys, 2000, 87(4): 1632—1641
- 4 林烈, 吴承康. 核聚变与等离子体物理, 1998, 18(2): 56—60
LIN Lie, WU Chengkang. Nucl Fusion Plasma Phys, 1998, 18(2): 56—60
- 5 李辉, 王传兵, 马强, 等. 核聚变与等离子体物理, 2004, 24(4): 304—306
LI Hui, WANG Chuanbing, MA Qiang, *et al.* Nucl Fusion Plasma Phys, 2004, 24(4): 304—306
- 6 LI Hui, MA Qiang, LI Lincun, *et al.* Plasma Sci Technol, 2004, 6(6): 2593—2595
- 7 李磊, 夏维东, 赵宇含. 核技术, 2004, 27(5): 350—353
LI Lei, XIA Weidong, ZHAO Yuhuan. Nucl Tech, 2004, 27(5): 350—353

A study on size of magnetism-driven gliding arc with a multiplier phototube

MA Qiang ZHAO Yuhan LI Lincun XIA Weidong

(*Department of Thermal Science and Energy Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230027*)

Abstract Diameter of gliding arc driven by magnetic field at different arc currents (0.7A to 1.0A) and magnetic inductances (0.32T to 0.8T) was measured by using a multiplier phototube. For a constant arc current, the diameter decreased with increasing magnetic induced-intensity and tends to a constant. The diameter was at 0.78mm and 0.88mm, respectively, for arc current of 0.7A and 1.0A. According to signals of the multiplier phototube, the arc section is described, too.

Key words Gliding arc driven by magnetic field, Multiplier phototube, Lateral diameter

CLC O461