

线-铝箔电极电晕放电激励器的推力理论与实验研究

王维 杨兰均 刘帅 黄易之 黄东 吴锴

Theoretical and experimental study of thrust produced by corona discharge exciter in wire-aluminum foil electrode configuration

Wang Wei Yang Lan-Jun Liu Shuai Huang Yi-Zhi Huang Dong Wu Kai

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 105204 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.105204

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.105204>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I10>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

雷云电场作用下长地线表面正极性辉光电晕放电的仿真研究

Numerical simulation of positive glow corona discharge initiated from long ground wire under thundercloud field

物理学报.2015, 64(10): 105205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.105205>

棒-板电极下缩比气隙辉光放电相似性的仿真研究

Simulation on similarity law of glow discharge in scale-down gaps of rod-plane electrode configuration

物理学报.2014, 63(9): 095206 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.095206>

缩比间隙中辉光放电相似性的初步研究

Preliminary study on similarity of glow discharges in scale-down gaps

物理学报.2013, 62(20): 205209 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.205209>

多针-网电极离子风激励器推力与功率比实验研究

Experimental study on the thrust and the ratio of thrust to power of multi-points/grid ionic wind exciter

物理学报.2013, 62(7): 075205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.075205>

大气压 Ar/NH₃ 介质阻挡辉光放电的仿真研究

Modelling study of dielectric barrier glow discharge in Ar/NH₃ mixture at atmospheric pressure

物理学报.2012, 61(24): 245205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.245205>

线-铝箔电极电晕放电激励器的推力理论与实验研究*

王维 杨兰均[†] 刘帅 黄易之 黄东 吴锴

(西安交通大学, 电力设备电气绝缘国家重点实验室, 西安 710049)

(2014年8月29日收到; 2014年11月1日收到修改稿)

空气电晕放电离子风激励器无需旋转部件, 仅通过消耗电能就能直接产生驱动力, 它是一种新型的动力技术, 备受国内外航空航天界的广泛关注. 目前对空气电晕放电离子风激励器的推力产生机理虽有各种解释, 但是现有理论均不能统一各种条件下的实验结果, 仍需要开展进一步的分析与研究. 本文以线-铝箔电极电晕放电激励器为研究对象, 通过实验研究发现作用在线电极与铝箔电极上的静电力不对称, 而且改变铝箔电极纵向高度和气压均能影响激励器的推力大小; 通过理论分析, 考虑电晕层与空间电荷的影响, 建立了线-铝箔电极电晕放电激励器的推力计算模型, 其计算值与实测值比较一致. 基于上述实验现象与理论建模分析, 本文认为线-铝箔电极电晕放电激励器的推力主要来源于线电极电晕产生的空间电荷对电极系统产生了不对称静电力作用, 使激励器出现净静电力作用.

关键词: 线-铝箔电极, 静电力, 离子风, 电晕放电

PACS: 52.80.Hc, 52.75.Di, 41.20.Cv

DOI: 10.7498/aps.64.105204

1 引言

电晕放电在日常生活中的应用已经非常普遍, 像静电除尘器、负离子发生器以及臭氧发生器等产品中均采用了这类气体放电形式. 电晕放电的理论探索从宏观的起始电晕电压和脉冲电流等^[1] 参数的研究逐渐深入到微观粒子输运和放电机理^[2-6] 的研究, 而后者主要以等离子体化学反应过程为基础, 模拟粒子输运过程获得电晕放电过程的特征参数^[7-9]. 另一方面, 以电晕放电为基础的应用也不断地得到深化, 特别是电晕放电离子风从流体驱动和强化传热方面向动力推进方面发展. 现在, 电晕放电离子风作为一种新型动力技术, 更是受到国内外航空航天和科技界的关注. 如美国宇航局(NASA)、美国陆军研究实验室(ARL)、英国国防科技实验室(DSTL)和国际宇宙航行学会(IAA)等研究机构对这类新型推进技术非常重视, 分别在反重

力、等离子、微波推进和电推进等领域进行了相关研究.

空气电晕放电离子风激励器的电极结构一般由线-铝箔电极、针-网电极或线-网电极等构成, 电极间由轻质绝缘支撑, 通过空气介质进行电绝缘. 通常线电极或针电极连接直流高压电源, 铝箔电极或网电极接地, 当线电极或针电极产生电晕后, 在铝箔电极或网电极下方可以感受到一定风速的空气流动, 通常被称为离子风; 当外施电压增加到足够高时, 空气电晕放电离子风激励器通常能产生与离子风速度相反的推力. 众多学者提出了许多不同的理论, 解释推力产生的原因, 其中较为普遍的理论是离子风的反作用力^[10-17].

然而, JLN(Jean-Louis Naudin) 实验室^[18] 的研究发现, 增加铝箔电极宽度可以有效地增大线-铝箔电极激励器的推力, 但离子风的速度大小并没有明显增加. Bahader 和 Fazi^[11] 计算了线-铝箔电极三角形激励器所产生的离子风的最大推力与实

* 国家自然科学基金(批准号: 51377132)资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: yanglj@mail.xjtu.edu.cn

验测量获得的推力大小至少相差3个数量级. 这些研究与计算说明空气电晕放电离子风激励器推力的产生并非完全是通过离子风反作用获得.

Barsoukov^[13]认为离子的漂移驱动是线-铝箔电极电晕放电激励器推力产生的原因, 但理论计算与实验数据仍然相差较大, 因为计算中未考虑铝箔电极纵向高度的影响. Wilson等^[19]认为空间电荷对电极的静电作用力是导致净推力的原因, 通过引入均匀电场下的离子迁移率理论, 推导了其推力计算的公式, 然而不对称电极产生的极不均匀电场使离子迁移率随着电场强度的变化而变化, 忽略电场的变化计算得到的推力大小与实验数据有较大的差异. 另外, 文献^[20, 21]发现线-铜管电极电晕产生推力后, 铜管电极受到指向线电极方向的静电力作用, 并快速向线电极靠近; 当电压足够大时, 铜管电极能够将整个电极系统抬起并悬于空中, 这说明空气电晕放电离子风激励器本身存在不对称静电力. 并且空气电晕放电离子风激励器产生的推力很有可能由不对称静电力主导, 离子风的反作用力是次要因素.

可见, 要完全理解空气电晕离子风激励器推力产生的机理仍然需要大量的实验进行研究分析, 对于已有的解释也需要大量的实验和理论分析进行求证. 因此, 本文针对空气电晕离子风激励器推力产生来源解释不完善的现状, 通过实验研究了线-铝箔电极激励器推力以及铝箔纵向高度和气压因素对推力的影响作用, 认为线-铝箔电极激励器推力的主要原因是由不对称电极系统自身的不对称静电力引起.

2 线-铝箔电极激励器的推力模型

在线-铝箔电极激励器中, 线电极附近的高电场强度导致周围空气被电离, 形成的带电离子在电场作用下向铝箔电极运动, 与中性空气分子的碰撞形成了空气流动, 带电离子到达铝箔电极后形成电晕电流. 线-铝箔电极激励器中引起局部空气加速流动的机理得到大家一致的认可^[22-26], 然而对于产生净推力的现象则众多学者持有不同的看法.

本文在通过大量的实验与分析后, 发现产生净推力的主要原因是由于大曲率半径的铝箔电极受到电极间空间电荷的静电力作用, 同时覆盖小曲率半径线电极的电晕层作为虚电极不能稳定承受来自铝箔电极的静电吸引作用, 导致有自由电荷从电晕层中漂移而出形成空间电荷, 并在电场的作用下

向铝箔电极运动, 从而使不对称电极系统产生不对称静电力形成净推力.

目前在研究空气电晕离子风激励器产生的离子风或推力时均是忽略电晕层, 采用单离子模型进行研究. 本文在理论计算线-铝箔电极系统推力时考虑了电晕层和空间电荷的影响, 认为电晕层与空间电荷对飘升机的推力产生至关重要.

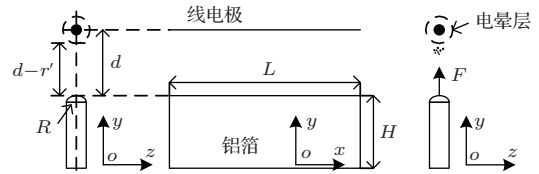


图1 线-铝箔不对称电极结构及净推力来源示意图
Fig. 1. The schematic of asymmetric electrode structure of wire-to-foil and the source of net thrust.

由Cooperman^[27]的研究可以得到线-铝箔电极系统的伏安特性, 如(1)式所示. 由(1)式可看出, 当施加在线电极上的电压 $U > U_0$ 时, 线电极表面及附近区域才能发生局部电晕放电, 线-铝箔电极系统产生的电晕电流 I 与外施电压 U 呈二次方关系:

$$I = G \cdot U(U - U_0), \quad (1)$$

其中 I 为电晕电流, U 为外施电压, U_0 为电晕起始电压, G 为线-铝箔电极结构参数.

由于作用在铝箔电极单元的静电力与作用空间电荷的静电力大小相同方向相反, 所以可以通过计算线-铝箔电极间隙中空间电荷承受的静电力大小来反映线-铝箔电极系统的推力大小. 因此, 通过文献^[22]研究离子风激励器推力特性所获得的结果, 再结合(1)式可以得到线-铝箔电极系统的推力计算经验公式如下:

$$F = qE = I \cdot \frac{d}{v_d} \cdot E = G \cdot d \frac{U(U - U_0)}{\mu}, \quad (2)$$

其中 F 为线-铝箔电极单元产生的推力, q 为空间带电离子电荷, E 是电极间电场强度, v_d 是离子漂移速度, μ 为离子迁移率($\mu = v_d/E$), d 表示电极间隙.

由文献^[27]可知, 当 $d \geq w$, 线-铝箔电极单元的电极结构参数 G 可以表示为

$$G = 2\pi\epsilon_0\mu \frac{L}{d^2 \left(\frac{\pi d}{w} + \ln \frac{\pi w}{2r} \right)}, \quad (3)$$

其中 ϵ_0 为真空介电常数, L 表示铝箔电极长度, w 表示铝箔电极横向宽度, r 表示线电极半径. 将(3)

式代入(2)式中可以得到线-铝箔电极系统推力计算的表达式:

$$F = 2\pi\epsilon_0 \frac{L}{d\left(\frac{\pi d}{w} + \ln \frac{\pi w}{2r}\right)} U(U - U_0). \quad (4)$$

由于本文研究的电极结构与 Cooperman^[27] 研究的电极结构有所不同, (4) 式中并未包含铝箔电极纵向高度 H 对推力大小的影响. Barsoukov^[13] 为了减小计算结果与实验数据间的差异, 只是简单地将铝箔电极的纵向高度值的 $1/6$ 替代横向宽度值来估算推力大小.

通过实验发现, 推力随铝箔电极纵向高度的增加而增加. 当宽度增加到非常大时, 推力大小趋于饱和. 所以, 本文认为在(4)式的基础上应该加上铝箔电极纵向高度对推力大小的影响作用, 如(5)式所示, 其中函数 $f(H/d)$ 为铝箔电极纵向高度对推力的影响因子, 具体表达式将在文后说明.

$$F = 2\pi\epsilon_0 \frac{L}{d\left(\frac{\pi d}{w} + \ln \frac{\pi w}{2r}\right)} U(U - U_0) f\left(\frac{H}{d}\right). \quad (5)$$

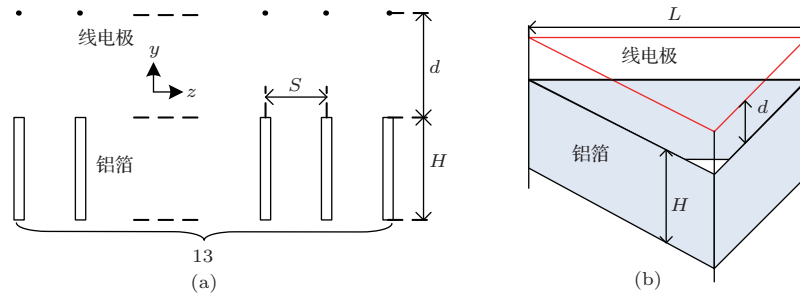


图2 线-铝箔电极激励器电极结构配置示意图 (a) 激励器1, 平行排列; (b) 激励器2, 三角形

Fig. 2. The schematic of the structure configuration of wire-to-foil exciter: (a) exciter 1, parallel structure; (b) exciter 2, triangular structure.

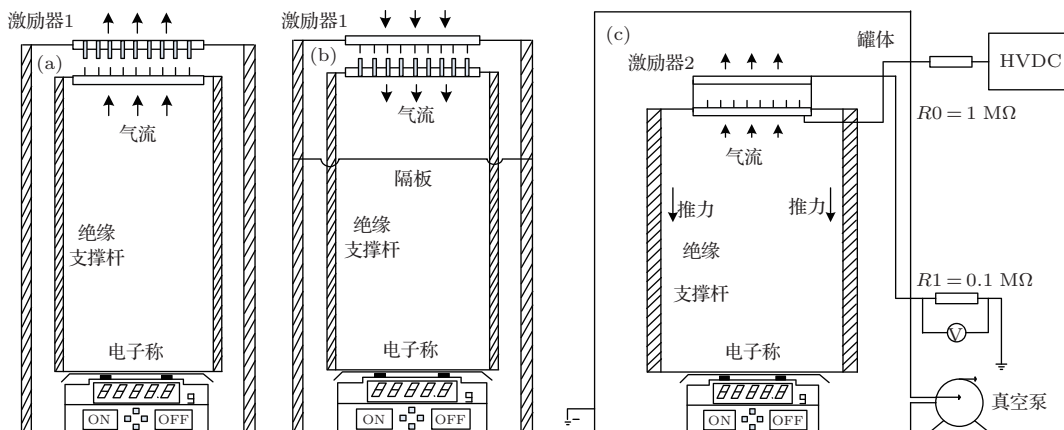


图3 线-铝箔电极激励器推力测量平台 (a) 测量线电极上的作用力, 外电路与(c)相同; (b) 测量铝箔板电极上的作用力, 外电路与(c)相同; (c) 在低气压条件下测量三角形激励器的推力

Fig. 3. The thrust measurement stand of wire-to-foil exciter: (a) to gauge the acting force on the electrode, the external circuit same with (c); (b) to gauge the acting force on the aluminum foil, the external circuit same with (c); (c) to gauge the thrust of triangular exciter under low air pressure.

本文计算推力选取 πR 作为铝箔电极的横向宽度 w 的计算值, 而且在计算线电极半径 r 时, 考虑了电晕层厚度的影响. 因为随着电压的升高, 电晕层厚度也将不断增大, 一方面使线电极的等效半径不断增大, 另一方面也使电晕区的压降增大. 所以, 在计算(5)式中的线电极半径 r 和电压 U 时, 要考虑电晕层的影响和电晕区的压降.

3 线-铝箔电极激励器配置与测量装置

实验采用型号为 DWN503-4 AC 高压直流电源作为线-铝箔电极激励器的驱动电源, 其最大输出电压为 50 kV, 最大输出功率为 500 W. 线电极经保护电阻 R_0 (1 MΩ) 连接直流高压, 铝箔电极经无感电阻 R_1 (100 kΩ) 接地, 通过 UT39 A 万用表测量无感电阻 R_1 两端的电压可计算出线-铝箔电极激励器的电晕电流. 实验时温度为 26.4—27.3 °C, 湿度为 40%—42%.

图 2(a) 为线-铝箔电极激励器电极平行排布示意图. 线电极选取直径为 $50\ \mu\text{m}$ 的钨丝电极, 长度 L 为 $300\ \text{mm}$, 地电极由外贴铝箔的 $2\ \text{mm}$ 厚轻质纸板构成, 高度 H 为 $100\ \text{mm}$, 铝箔电极之间距离 S 为 $30\ \text{mm}$, 线-铝箔电极间距 d 为 $33\ \text{mm}$. 图 2(b) 所示为三角形电极结构配置示意图. 线电极仍为 $50\ \mu\text{m}$ 钨丝电极, 长度 L 为 $220\ \text{mm}$, 铝箔电极的宽度 H 为 $70\ \text{mm}$, 线-铝箔电极间隙 d 为 $40\ \text{mm}$.

图 3(a), (b) 为分别测量线电极和铝箔电极上承受作用力大小的装置. 测量铝箔电极的作用力时, 采用泡沫隔离层将电子天平与电极系统隔离, 防止离子风对电子天平的干扰. 图 3(c) 所示为三角形飘升机在低气压条件下的推力大小的测量平台. 推力测量仍然是采用绝缘支撑架将线-铝箔电极激励器产生的推力传递到电子天平上, 并将整个推力测量部分放置在可抽真空的罐体中从而获得不同气压条件下推力大小.

4 线-铝箔电极激励器推力测量研究

4.1 线电极与铝箔电极承受的静电力比较

图 4 所示为线-铝箔电极激励器产生的推力与电压的关系. 由图 4 可以看出, 在相同的电压下, 作用在铝箔电极上的合力远大于作用在线电极上的合力, 而且线电极上的合力方向与铝箔电极上的合力方向相反, 可见线-铝箔电极激励器产生的推力主要由铝箔电极上的合力提供, 该合力主要有指向线电极的静电力和背离线电极的离子风阻力, 由于铝箔电极的横截面非常小, 离子风阻力几乎可以忽略不计.

本文认为, 在相同气压条件下, 线-铝箔电极激励器电晕产生的空间电荷导致电极系统受到的静电力不对称的主要原因是: 空间电荷与电晕层表面电荷对铝箔电极的静电力方向一致, 而空间电荷与铝箔电极表面电荷对电晕层表面电荷的静电力方向相反, 所以导致作用在铝箔电极的静电力大于线电极的静电力. 通过 (5) 式计算比较了是否考虑电晕层的影响对静电力计算值的大小带来的差异, 发现在未考虑电晕层的影响时计算结果偏大; 相反, 考虑电晕层的厚度后, 计算结果更加靠近实验数据, 如图 4 所示.

实验中发现, 在线电极处于松弛状态下, 逐渐增大外施电压, 松弛的线电极发生弯曲变形并向铝箔电极靠近, 这就是 Zhao 和 Liaw^[20] 实验中分离的线电极不能使三角形线-铝箔电极激励器飘升的原

因. 他们认为激励器的推力主要由地电极提供, 其实验中地电极采用直径为 $16\text{--}33\ \text{mm}$ 的铜管电极, 虽然受到的离子风阻力比较大, 但铜管电极仍能将激励器抬起悬浮于空中. 所以离子风的反作用并非是激励器推力的来源, 作用于地电极的静电力才是激励器推力的主要来源.

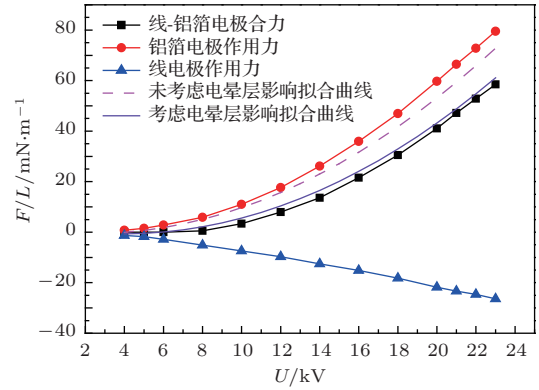


图 4 线-铝箔电极激励器推力与电压的关系

Fig. 4. The relationship of wire-to-foil exciter thrust and the applied voltage.

4.2 铝箔电极纵向高度对推力的影响

图 5 所示为激励器的推力与铝箔电极纵向高度的关系. 由图 5 可以看出, 线-铝箔电极电晕放电激励器推力随铝箔电极纵向高度的增加而增加, 并逐渐趋于饱和状态. 图 6 所示为铝箔电极纵向高度对激励器推力的影响因子 $f(H/d)$ 与 H/d 的关系. 从图 6 中可看出, 当铝箔电极的高度大于电极间隙距离时, 激励器的推力则基本趋于饱和状态. 通过数据拟合可以得到 $f(H/d)$ 与 H/d 的关系, 如 (6) 式所示:

$$f\left(\frac{H}{d}\right) = 1.47 + 2.141 \tanh\left(\frac{\pi H}{d}\right). \quad (6)$$

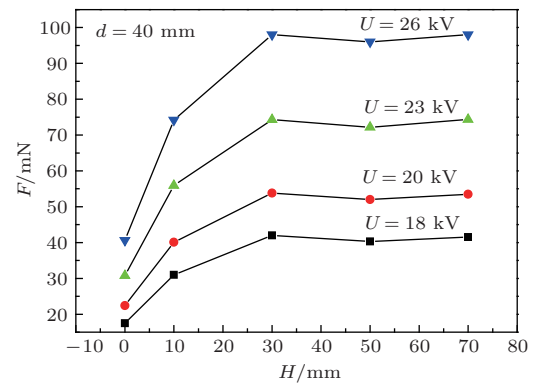


图 5 推力与铝箔电极纵向高度的关系

Fig. 5. The relationship of thrust and the width of foil electrode.

当增加铝箔电极纵向高度时, 铝箔面积不断增加, 使铝箔电极表面感应的总电荷量不断增加, 将会导致空间电荷和电晕层外表面电荷对铝箔电极的静电作用力不断增加; 随着铝箔电极纵向高度增加, 铝箔电极末端处的电场强度将越来越弱, 导致静电力的增加也将越来越小, 最后达到饱和.

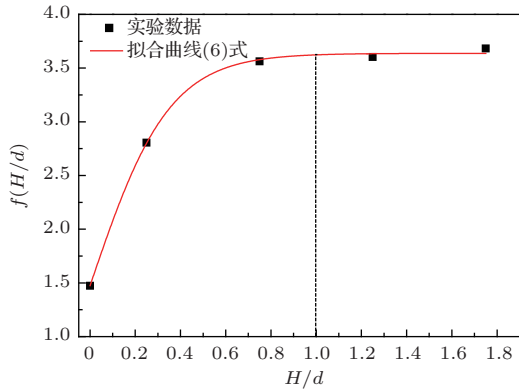


图6 H/d 与 $f(H/d)$ 的关系

Fig. 6. The relationship of H/d and $f(H/d)$.

4.3 气压对推力的影响

图7所示为不同气压下三角形线-铝箔电极激励器的推力与电压的关系. 相同气压下, 激励器的推力随电压增大而增大; 相同电压下, 推力随着气压降低而增大. 当气压降低时, 电子的平均自由行程将会增大, 与中性空气分子的碰撞附着, 传递能量的次数就会减少, 引起的空气流动速度也会降低. 因此, 在低气压条件下, 线-铝箔电极激励器推力也应该降低, 但是实验发现推力随气压的降低而增大. 这说明线-铝箔电极离子风激励器推力的主要因素不是离子风的反作用力.

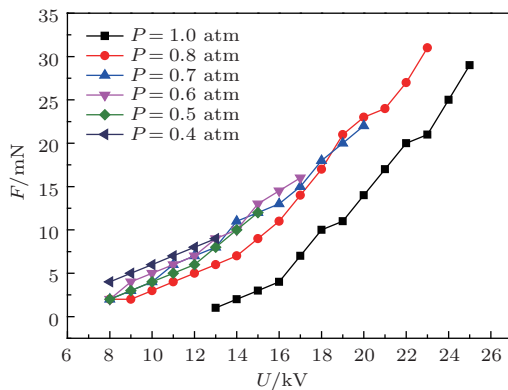


图7 不同气压条件下推力与电压的关系

Fig. 7. The relationship of thrust and the applied voltage under different air pressure.

图8所示为激励器在不同气压下的伏安关系. 由图8可以看出, 相同气压下激励器的电流随电压

的增加而增加, 相同电压下其电流随气压的降低而增加. 线-铝箔电极离子风激励器在低气压条件下工作时, 电功率将会增加, 电能转化为动能的效率将下降.

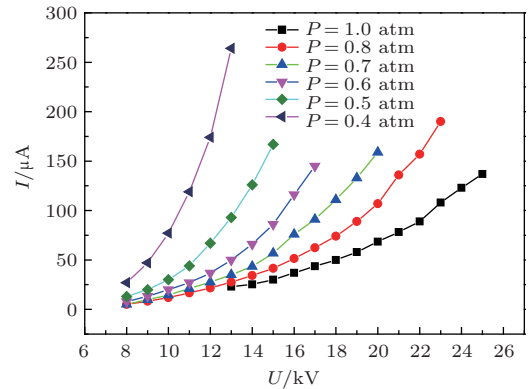


图8 不同气压条件下电压与电流关系

Fig. 8. The relationship of the applied voltage and current.

图9所示为线-铝箔电极激励器推力与气压的关系. 由图9可以看出, 推力随气压的降低先增加后减小, 当气压降低到100 Pa以下后, 激励器的推力降为零[28]. 这主要是由于在相同电压作用下, 降低环境气压, 空气密度降低, 使电子自由程增大, 电子从电场中积累的能量更大, 进而增强了电离程度, 增大了电晕层厚度, 提高了电极间隙空间的电荷密度, 增加了不对称电极系统静电力不对称程度, 因此激励器推力会随着气压的降低而增加; 当气压降低到小于0.6 atm时, 由于电晕层厚度的增加, 导致线电极的有效半径与铝箔电极前端的曲率半径相当, 空间电荷对电极的静电力作用的不对称性减小, 最终导致线-铝箔电极离子风激励器的推力降低.

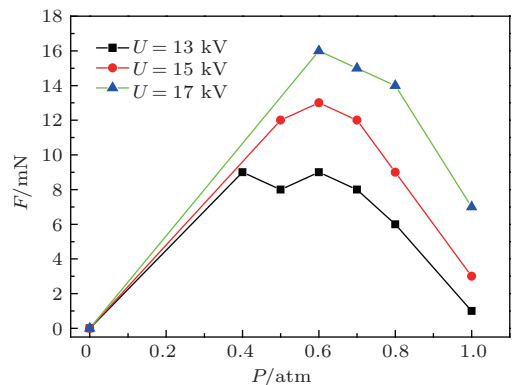


图9 线-铝箔电极离子风激励器推力与气压的关系

Fig. 9. The relationship of wire-to-foil ionic wind exciter thrust and air pressure.

5 结 论

本文通过理论和实验分析了线-铝箔电极激励器静电力不对称性, 研究铝箔电极宽度和气压因素对激励器静电力不对称的影响. 得到如下结论:

1) 线-铝箔电极激励器产生的推力主要是由静电力提供, 离子风的反作用是次要因素;

2) 增加铝箔电极宽度、降低气压均有利于增加线-铝箔电极激励器的推力, 在实验范围内当铝箔电极宽度 $H > d$ 时, 线-铝箔电极激励器产生的推力增加达到最大, 当气压在 0.6 atm 左右时, 激励器推力的增加也达到最大;

3) 线-铝箔电极激励器净推力的产生主要是线电极电晕产生的空间电荷对不对称电极结构形成了不对称的静电力, 从而导致整个激励器产生指向线电极的净静电力.

参考文献

- [1] Metwally I A 1996 *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insulat.* **3** 544
- [2] Li X C, Niu D Y, Xu L F, Jia P Y, Chang Y Y 2012 *Chin. Phys. B* **21** 075204
- [3] Feng S, He F, Oyang J T 2007 *Chin. Phys. Lett.* **24** 2304
- [4] Zhang G Q, Ge Y J, Zhang Y F, Chen G L 2004 *Chin. Phys. Lett.* **21** 2238
- [5] Yu Z, Zhang Z T, Yu Q X, Xu S J, Yao J, Bai M D, Tian Y P, Liu K Y 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 195202 (in Chinese) [俞哲, 张芝涛, 于清旋, 许少杰, 姚京, 白敏冬, 田一平, 刘开颖 2012 物理学报 **61** 195202]
- [6] Wei H L, Liu Z L, Li Z G, Zheng Q G 1996 *Chin. Phys.* **15** 520
- [7] Liu X H, He W, Yang F, Wang H Y, Liao R J, Xiao H G 2012 *Chin. Phys. B* **21** 075201
- [8] Li S, Ouyang J T, He F 2010 *Chin. Phys. Lett.* **27** 065201
- [9] Chen G L, Fan S H, Li C L 2005 *Chin. Phys. Lett.* **22** 1980
- [10] Musha T 2000 *Electric Space Craft J.* **31** 21
- [11] Bahder T B, Fazi C *Force on an Asymmetric Capacitor* <http://arxiv.org/ftp/physics/papers/0211/0211001.pdf> [2014-7-11]
- [12] Zhao L, Adamiak K 2006 *J. Electrostat.* **64** 639
- [13] Barsoukov E http://sudy_zhenja.tripod.com/lifter_theory [2014-7-11]
- [14] Canning F X, Melcher C, Winet E 2004 *Asymmetrical Capacitors for Propulsion*, NASA/CR-2004-213312, 2004
- [15] Yost C A 2002 *Electr. Spacecraft J.* **33** 22
- [16] Ma C, Lu R D, Ye B J 2013 *J. Electrostat.* **71** 134
- [17] Tajmar M 2004 *AIAA* **42** 315
- [18] Naudin J L <http://jnaudin.free.fr/lifters/main.htm> [2014-7-11]
- [19] Wilson J, Perkins H D, Thompson W K 2009 *An Investigation of Ionic Wind Propulsion*, Technical Report NASA/TM-2009-215822, National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC
- [20] Zhao L, Liaw T M 2011 *Industry Applications Society Annual Meeting (IAS) IEEE Orlando FL, USA, October 9-13, 2011* p9
- [21] Koziell L, Zhao L, Liaw J, Adamiak K 2011 *Proc. ESA Annual Meeting on Electrostatics Cleveland OH, USA, June 14-16, 2011* p1
- [22] Wang W, Yang L J, Gao J, Liu S 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 075205 (in Chinese) [王维, 杨兰均, 高洁, 刘帅 2013 物理学报 **62** 075205]
- [23] Moreau E, Leger L, Touchard G 2006 *J. Electrostat.* **64** 215
- [24] Takeuchi N, Yasuoka K 2009 *IEEE Trans. Plasma Sci.* **37** 1021
- [25] Qiu W, Xia L Z, Yang L J, Zhang Q G, Xiao L, Chen L 2011 *Plasma Sci. Technol.* **13** 693
- [26] Zhao L, Adamiak K 2006 *J. Electrostat.* **64** 639
- [27] Cooperman P 1960 *AIEE Trans.* **79** 47
- [28] Borg X <http://www.blazelabs.com/l-vacuum.asp> [2014-7-11]

Theoretical and experimental study of thrust produced by corona discharge exciter in wire-aluminum foil electrode configuration*

Wang Wei Yang Lan-Jun[†] Liu Shuai Huang Yi-Zhi Huang Dong Wu Kai

(Department of Electrical Engineering, State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

(Received 29 August 2014; revised manuscript received 1 November 2014)

Abstract

Air corona discharge ionic wind exciter can generate driving force without any rotating component, which makes it commonly used in aviation and aerospace field. Although there are many explanations of the thrust generating mechanism of the air corona discharge ionic wind exciter, no existing theories can unify the experiment results obtained under various conditions. A further study is still needed. The paper focuses on the characteristics of wire-aluminum foil exciter. The experiments show that the electrostatic force acting on the wire-aluminum foil is asymmetric and the variations of the height in lengthways aluminum foil and the air pressure can change the electrostatic force. Meanwhile, with the theoretical analysis the calculation model of the force of the wire-aluminum foil exciter's corona discharge is established by taking the influences of corona layer and space charge into consideration. The calculation fits the measured value. By combining with the theoretical analysis, the thrust of wire-aluminum foil electrode corona discharge exciter is proved to come from the space charge produced by wire electrode corona discharge, which exerts an asymmetric electrostatic force on the electrode system and generates a net electrostatic force for the exciter.

Keywords: wire-aluminum foil electrode, electrostatic force, ionic wind, corona discharge

PACS: 52.80.Hc, 52.75.Di, 41.20.Cv

DOI: 10.7498/aps.64.105204

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51377132).

[†] Corresponding author. E-mail: yanglj@mail.xjtu.edu.cn