

# 线-板结构离子风发生器强化通道内 对流换热的数值研究

孔令剑, 张剑飞\*, 王 爽

(西安交通大学 能源与动力工程学院 热流科学与工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 离子风发生器是利用电晕放电引起空气流动的一种装置。利用 COMSOL Multiphysics 软件建立了基于线-板电极结构离子风发生器的计算模型,对离子风发生器强化通道内对流换热的能力开展了数值模拟研究。针对入口风速、发射极电压、初速度方向以及电极水平间距这 4 个关键因素进行研究,分析了 4 种因素对强化换热效果的影响。模拟结果表明:在入口风速较小时,离子风对换热的强化效果更好;当发射极电压较高,离子风射流和主流方向相反时,离子风的扰动作用更剧烈,对换热过程有更加显著的增强作用。而电极水平间距则存在最优值,可以使换热效果达到最优。

**关键词:** 离子风;线-板结构;强化换热;数值模拟

**中图分类号:** TK124      **文献标识码:** A

## 0 引 言

离子风是由电晕放电引起的宏观空气流动现象,在强电场的作用下,发射极把周围空气电离成带电粒子,在电场力的作用下向集电极运动,并通过与中性粒子碰撞将自身电荷转移到中性粒子上使其一起运动,形成宏观上的空气流动<sup>[1]</sup>。离子风现象早在 1706 年就被 Francis Hauksbee 发现。但是,在离子风现象被发现后的几十甚至一百多年里,研究者对其的研究一直没有较大的进展。随着电子行业的高速发展,电子器件的热流密度急剧增大,散热问题已经成为电子行业发展的瓶颈之一。在寻求新型散热技术时,相较于传统的风扇散热技术,离子风散热技术的无噪声、能耗低、无旋转部件、响应迅速等优点使它又得到了诸多关注<sup>[2]</sup>。

根据电极结构的不同,离子风发生器有线-板结构<sup>[3-4]</sup>、针-板结构<sup>[5-6]</sup>、针-网结构<sup>[7-8]</sup>以及针-环结构<sup>[9-10]</sup>等多种经典结构。线-板结构作为离子风发生器最基本的电极结构之一,其结构简单和易于加工布置的优点使其在强化换热方面有巨大的应用潜力,得到许多研究者的关注。

Podliński 等<sup>[11]</sup>设计了线电极沿流道方向布置的线-板结构离子风发生器,并采用 PIV 测试技术分别对光滑平板和有表面处理的平板进行了测量,结果表明两种情况下流动基本一致,有表面处理的平板附近流速更低,可以防止沉积在集电极附近的颗粒被再次夹带。Chun 等<sup>[12]</sup>建立了线-板结构中流动速度场的数学模型,通过数值模拟的方法分析了板间流体的流动情况,模拟结果表明在下游区域尽管雷诺数很低,离子风造成的二次流仍然明显,二次流漩涡随着电场作用的增强而增强。Go 等<sup>[13-14]</sup>利用微加工技术设计并加工了线-板结构的模型来研究离子风的强化换热效果,并利用红外线热像仪测量了被加热平板的温度分布,结果表明离子风的扰动作用可以显著提高平板表面的传热系数。Kocik 等<sup>[15-16]</sup>设计了线-非平行板结构的离子风发生器,采用 PIV 测试技术测量了板间流体的流动情况,结果表明由板壁引发的下游尾流会对流体流动起阻碍作用。袁均祥等<sup>[17]</sup>采用 PIV 测试技术,研究了离子风发生器在正、负直流电源和工频交流电源作用下的速度特性和流场分布,同时利用红外热像仪研究

收稿日期: 2018-04-02; 修回日期: 2018-09-27.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51576155).

作者简介: 孔令剑(第一作者),男,1994 年生,硕士生,主要研究方向为离子风强化传热技术. E-mail: konglingjians@stu. xjtu. edu. cn;  
张剑飞(通信作者),男,1980 年生,博士,副教授,主要研究方向为强化传热,流动传热问题的先进算法. E-mail: zhangjief@mail. xjtu. edu. cn

了在离子风作用下发热平板的温度分布,分析了其强化换热作用。李庆等<sup>[18]</sup>认为放电空间中的离子在电场力的作用下运动形成了离子风,通过实验整理出了离子风发生时的伏安特性关系以及电压与风速的关系,并采用动力风替代离子风的方式,模拟了不同电压下放电通道内的电流体状态,证明了所得出关系式的正确性。Yanallah等<sup>[19]</sup>针对在正负两种电压作用下的线-板结构电极展开了半分析研究,所提出的模型可以给出电场的近似空间分布,并与有限元方法得到的结果进行了对比,结果表明所提出模型的近似解精度令人满意。Said等<sup>[20]</sup>研究了在多种不同条件下线-板结构电极的电流电压关系,并测定了不同情况下拟合关系式中待定系数的大小。Elagin等<sup>[21-22]</sup>针对线-板结构离子风发生器的板电极被加热的情况,通过数值模拟和实验的方法研究了离子风对传热过程的影响,模拟和实验结果都表明相比于自然对流,离子风可以极大提高换热效率。国内外的研究主要是以实验为主,数值模拟的研究较少,结构和电场参数对强化传热影响的研究仍不够深入。

本文利用 COMSOL Multiphysics 软件建立了线-板电极结构离子风发生器强化通道内对流传热的计算模型,研究分析了入口风速、发射极电压、初速度方向和电极水平间距 4 个因素对离子风发生器强化换热能力的影响,并对模拟结果进行了机理分析,为离子风强化换热技术的发展提供了一定的理论依据。

## 1 强化传热模型介绍

### 1.1 物理模型

本文建立的线-板电极结构离子风发生器强化通道内对流传热模型如图 1 所示。矩形流道的上表面布置有线状发射极,在其上施加高电压,下表面布置有板状集电极,将其接地。流道的下表面有均匀热流输入,上表面绝热,入口和出口为开

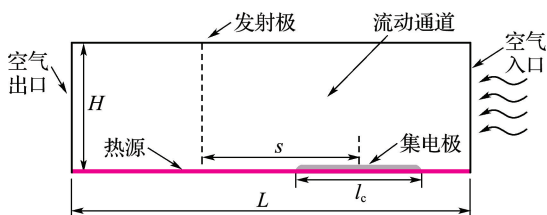


图 1 二维物理模型

Fig. 1 The schematic diagram of 2D physical model

边界,作为冷却介质的空气从流道右侧入口带有初速度流入,从左侧出口流出。布置在流道中的离子风发生器通过增强扰动达到增强换热的目的。物理模型相应的几何尺寸见表 1。

表 1 物理模型几何参数

Tab. 1 The geometric parameter of physical model					
流道长度	流道高度	发射极半径	集电极长度	集电极厚度	电极间水平间距
$L/\text{mm}$	$H/\text{mm}$	$r_e/\text{mm}$	$l_c/\text{mm}$	$d_c/\text{mm}$	$s/\text{mm}$
15	5	0.1	4.0	0.5	6

### 1.2 数学模型

利用数值方法模拟离子风的过程涉及多个物理场,包括静电场、速度场以及温度场。其中,电晕放电形成的电场用静电泊松方程和电流连续性方程描述,速度场用连续性方程和动量方程描述,温度场用能量守恒方程描述。空气假定为不可压缩常物性的流体。综合分析,可以得到控制方程组。

静电场泊松方程:

$$\nabla^2 V = -q/\epsilon_0 \quad (1)$$

式中: $V$  为电压, $q$  为电荷密度, $\epsilon_0$  为介电常数。

电流连续性方程:

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = 0 \quad (2)$$

式中: $\mathbf{J}$  为电流密度,其表达式为

$$\mathbf{J} = \mu_E \mathbf{E} q + \mathbf{U} q - D \nabla q \quad (3)$$

式中: $\mu_E$  为离子迁移率, $\mathbf{E}$  为电场强度, $\mathbf{U}$  为速度矢量, $D$  为空间电荷扩散系数。构成电流密度表达式的三部分分别表示电场引起的电荷传导,气流流动对电荷的影响以及电荷的热扩散运动。在本文的研究中,后两项的影响可以忽略不计,所以电流密度的表达式可以简化为

$$\mathbf{J} = \mu_E \mathbf{E} q \quad (4)$$

连续性方程:

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0 \quad (5)$$

动量方程:

$$\mathbf{U} \cdot \nabla (\mathbf{U}) = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{U} + \frac{\mathbf{F}_c}{\rho} \quad (6)$$

式中: $\rho$  为空气密度, $p$  为空气压力, $\nu$  为空气的运动黏度, $\mathbf{F}_c$  为电场力。

能量方程:

$$\nabla \cdot (\mathbf{U} T) = \nabla \cdot \left( \frac{\lambda}{\rho c_p} \nabla T \right) + \frac{Q_j}{\rho c_p} \quad (7)$$

式中: $Q_j$  为焦耳热,其大小为  $\mathbf{J} \cdot \mathbf{E}$ 。

### 1.3 网格独立性检验及模拟方法验证

本文的模拟计算在 COMSOL Multiphysics

软件中进行,采用静电、系数偏微分、层流和传热 4 个计算模块耦合的方法,分别计算出电场、流场以及温度场的结果。考虑到电晕放电的空间电荷分布情况极其复杂,本文在计算中采用 Kaptzov 假设,通过假设电离区边界电荷密度值  $q_0$  的方法,仅针对漂移区进行计算,从而避免了电离区内电荷分布的复杂情况给计算带来的困难。多物理场计算的流程如图 2 所示。

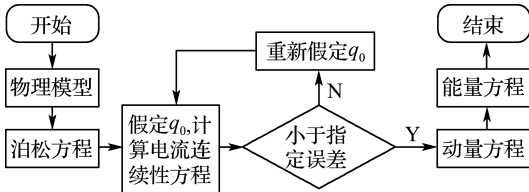


图 2 计算流程

Fig. 2 The calculation flow chart

电离区边界电荷密度值如何选取对计算的准确性有很大的影响,本文采用 Yanallah 等<sup>[19]</sup>推荐的半经验公式对假设值进行校核以保证准确性。半经验公式为

$$I = \frac{9.8 \mu_p \epsilon_0 \omega}{d^2 \ln(2d/r_0)} V(V - V_{onset}) \quad (8)$$

式中:  $\mu_p$  为离子迁移率;  $\epsilon_0$  为空气的介电常数;  $\omega$  为线电极有效长度,与几何结构有关;  $d$  为线板之间的距离;  $r_0$  为线电极半径;  $V_{onset}$  为线-板结构的起晕电压。

本文采用了 6 套网格进行网格独立性检验,分别计算在不同网格数下的努塞尔数  $Nu$ ,其结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,当采用第 4 套网格时,计算效率和准确性都可以得到较好的保证,所以在本文的计算中采用第 4 套网格密度进行数值计算。

为验证数值计算模型的正确性,选取文献

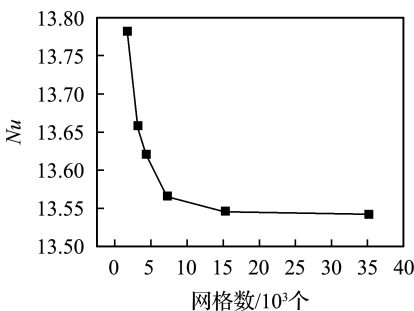


图 3 网格独立性检验

Fig. 3 The test of grid independence

[23]中结构的实验数据为考核算例。数值模型与文献中实验值的校核结果如图 4 所示,在电压为 8.5 kV 时,最大误差为 7.32%,因此可以认为模拟方法是可靠有效的。

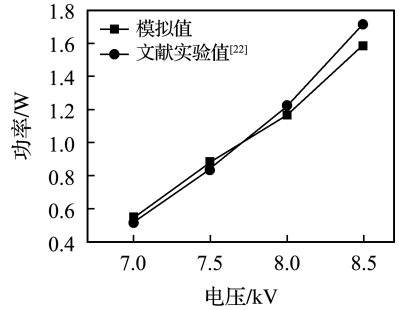


图 4 模型校核结果

Fig. 4 The result of model verification

## 2 结果与讨论

### 2.1 入口风速对换热效果的影响

在本文的研究中,空气以一定的初速度从入口进入流道,下壁面热源的加热功率为 5、15 和 25 W,发射极的电压为 8.0 kV,以努塞尔数作为评价换热效果的标准,分别选取入口速度为 0.1、0.4、0.7、1.0、1.3 和 1.6 m/s 来研究其对换热的影响。

表征换热效果的努塞尔数由式(9)~(10)计算:

$$h = W / \Delta t A \quad (9)$$

$$Nu = hl / \lambda \quad (10)$$

式(9)、(10)中:  $h$  为对流传热系数,  $W$  为热源功率,  $\Delta t$  为空气平均温度与下底面平均温度的差值,  $A$  为下底面面积,  $l$  为流道的水力直径,  $\lambda$  为空气的导热系数。

初速度的大小对换热的影响如图 5 所示。从图 5 可以看出,在不同热功率下,无论有无离子风的作用,随着入口风速的增加,努塞尔数均逐渐增大,风速的提高会显著增强换热能力。但是随着入口风速的增加,离子风引起的强化换热效果逐渐减弱。

图 6 为在相同的入口风速下,在有无离子风两种不同情况时的通道下表面平均温度的温度差。从图 6 中可以看出,在入口风速较小时,是否有离子风的作用对平均壁温会产生较大影响,随着入口风速的增加,这种影响逐渐减小。当风速达到 1.6 m/s 时,有无离子风的温度差几乎为零。这是因为当入口风速较小时,换热情况较差,换热

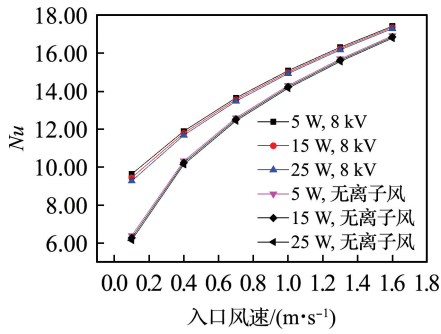


图 5 入口风速对努塞尔数的影响

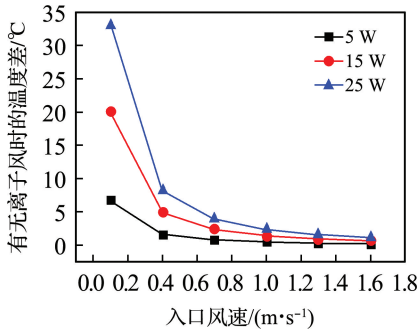
Fig. 5 The influence of inlet velocity on  $Nu$ 

图 6 有无离子风作用对平均壁温的影响

Fig. 6 The influence of ionic wind on the average wall temperature

能力有较大的提升空间,离子风的作用可以较为显著的增强换热效果,所以此时温差较大。而当入口风速较大时,此时换热情况良好,离子风对增强换热起到的作用很有限,所以此时温差几乎为零。

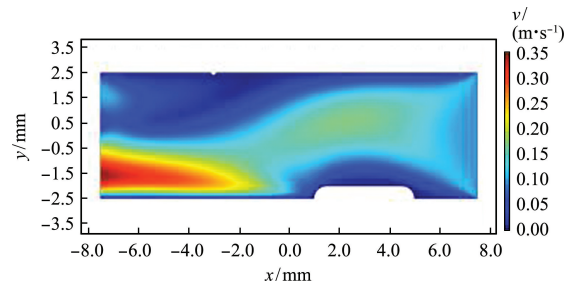
图 7 显示了在不同入口风速下速度的分布云图,当入口风速为 0.1 m/s 时,离子风对空气有较强扰动作用,而当入口风速为 1.3 m/s 时,在有无离子风两种情况下,速度分布基本没有差别,所以在入口风速较大时离子风的扰动作用很有限。

## 2.2 发射极电压对换热效果的影响

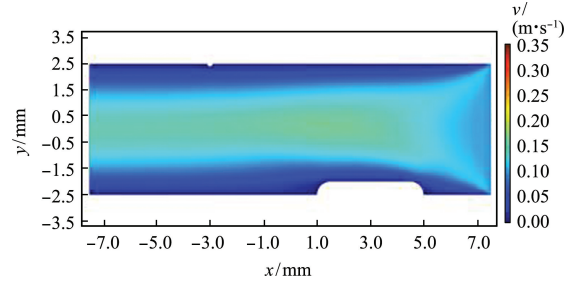
发射极电压作为离子风发生器的一个重要参数,也是影响换热效果的一个重要因素。本文分别选取发射极电压为 7.0、7.5、8.0、8.5 和 9.0 kV 的不同工况来研究其对换热效果的影响。此时,下壁面热源的加热功率为 15 W。

发射极电压对努塞尔数的影响如图 8 所示。从图 8 中可以看出,在不同入口风速条件下,随着电压的增加,努塞尔数逐渐增加,换热能力逐渐增强。

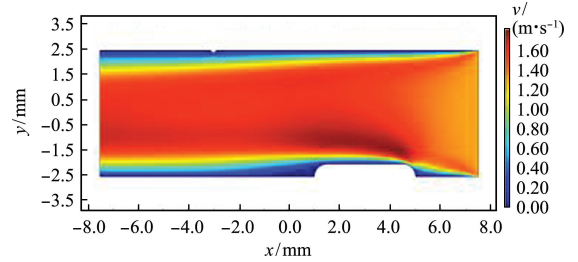
不同电压下,有无离子风两种情况下通道下壁面平均壁温的温差如图 9 所示。从图 9 中可以看出,随着电压的增加,有无离子风时下壁面的温度差逐渐增大,这是因为随着电压的增加,发射极



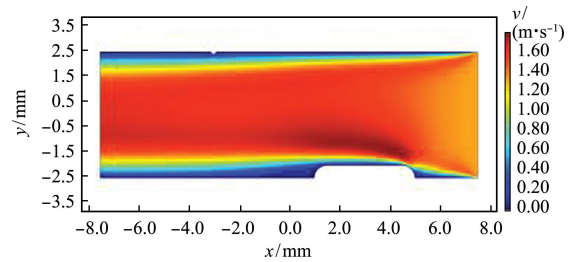
(a) 0.1 m/s, 8.0 kV



(b) 0.1 m/s, 无离子风作用



(c) 1.3 m/s, 8.0 kV



(d) 1.3 m/s, 无离子风

图 7 不同入口风速下速度分布云图

Fig. 7 The velocity distribution in different inlet velocities

电离能力增强,更多的空气被电离成带电粒子,同时电场强度也更大,导致离子风的扰动作用增强,从而增强了换热效果。

图 10 显示了不同发射极电压下的流线变化。可以看出,当电压为 9.0 kV 时,离子风的扰动作用远强于电压为 7.0 kV 时,这也进一步解释了图 8 和 9 所呈现的结果。

## 2.3 初速度方向对换热效果的影响

当离子风发生器工作时,在电场力的作用下空气会由发射极向集电极移动,离子风射流会与

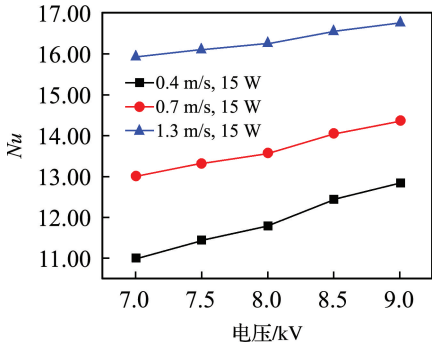


图 8 发射极电压对努塞尔数的影响

Fig. 8 The influence of voltage on Nu

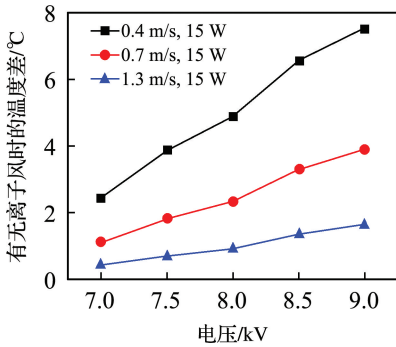
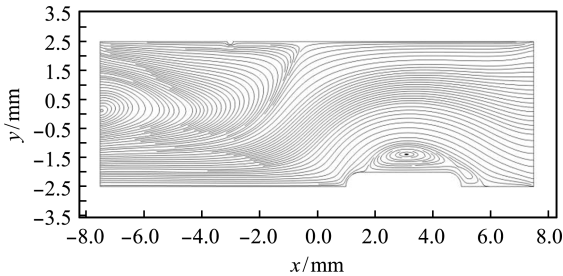
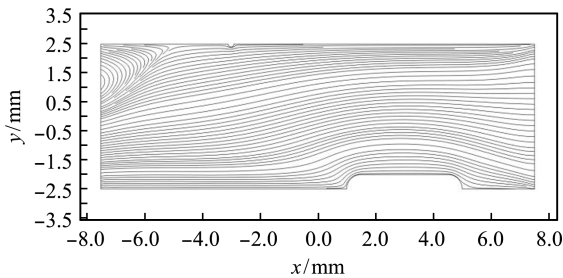


图 9 有无离子风作用对平均壁温的影响

Fig. 9 The influence of ionic wind on the average wall temperature



(a) 电压为 9.0 kV, 入口风速 0.1 m/s



(b) 电压为 7.0 kV, 入口风速 0.1 m/s

图 10 不同发射极电压下的流线图

Fig. 10 The streamline graphs in different voltages

壁面成一个夹角,所以流体从左侧流入和从右侧流入会有不同的换热效果,本文针对这种影响展开了研究。此时,下壁面热源的加热功率为 15 W。

初速度方向对努塞尔数的影响如图 11 所示。从图 11 中可以看出,在不同入口风速下,当空气从右侧流入时的努塞尔数始终高于从左侧流入的情况。电势、速度矢量和电场力的分布如图 12 所示,黑色箭头代表的电场力的方向,红色箭头代表的速度矢量方向,从图 12 可以看出,当空气从右侧流入时,速度矢量与电场力方向成钝角,在沿流动方向上有方向相反的分量,会引起更剧烈的扰动。而当空气从左侧流入时,速度矢量与电场力在沿流动方向上的分量速度相同,此时离子风对流动体的扰动作用相对较小。因此,空气从右侧流入时的换热要强于从左侧流入时。

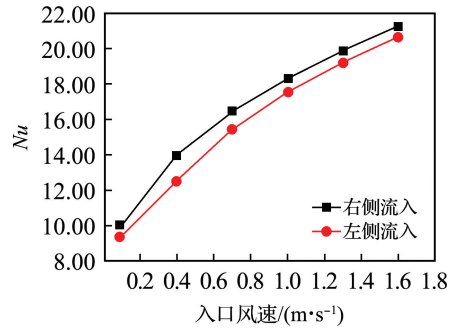
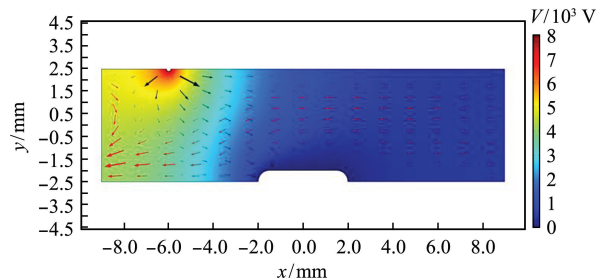
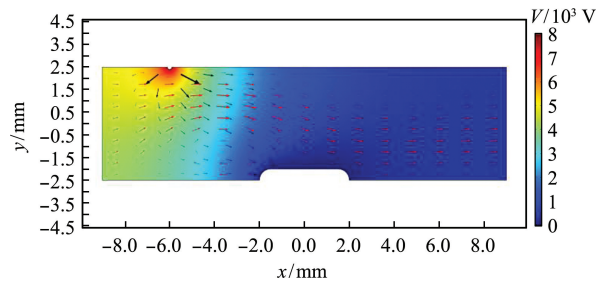


图 11 初速度方向对努塞尔数的影响

Fig. 11 The influence of inlet velocity direction on Nu



(a) 右侧流入



(b) 左侧流入

图 12 电压为 8.0 kV, 入口风速为 0.1 m/s 时, 电势、流速和电场力的分布

Fig. 12 The distribution of potential, velocity and coulomb force when voltage is 8.0 kV and inlet velocity is 0.1 m/s

## 2.4 电极水平间距对换热效果的影响

发射极和集电极之间的水平距离对离子风射流的方向和电极间电场的分布会产生影响,其综合的作用最终会影响离子风发生器增强换热能力的大小。本文分别选取电极水平间距为 0、3、6、9、12、15、18 和 21 mm 来研究其对换热效果的影响。此时,下壁面热源的加热功率为 15 W。

电极水平间距对换热效果的影响如图 13 所示。从图 13 可以看出,随着水平间距的增大,努塞尔数出现先增大后减小的趋势。当水平间距为 12 mm 时,努塞尔数达到最大值。这是因为当水平间距较小时,虽然电场强度较大,离子风射流几乎垂直直面,水平分量较小,扰动效果不佳。而当水平间距较大时,虽然离子风射流的方向更有利,但是此时由于电极间距过大,电场强度较小,引起的离子风射流并不剧烈,扰动效果同样不好。所以综合分析,存在一个最优的电极水平间距值,可以兼顾电场强度和射流方向,使得此时的换热效果达到最佳。在本文的参数研究中,最优的电极水平间距为 12 mm。

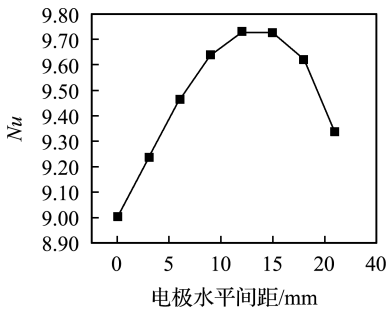


图 13 电极水平间距对努塞尔数的影响

Fig. 13 The influence of horizontal distance between electrodes on  $Nu$

## 3 结 论

1) 在入口风速较小的情况下,离子风的扰动作用更加明显,对换热的强化效果更好。而当入口风速达到 1.6 m/s 左右时,离子风对换热过程几乎没有贡献。

2) 随着发射极电压的增加,电极的电离能力增强,离子风的扰动作用加剧,可以对换热起到更好的强化作用。

3) 当主流速度矢量与射流方向成钝角时,空气分子间的动量交换较为剧烈,离子风扰动作用增强,此时的换热效果更好。

4) 电极水平间距存在最优值 12 mm,可以同

时保证较强的电场强度和较优的射流方向,从而达到最优的换热效果。

## 参考文献 (References):

- [1] JEWELL-LARSEN N E, TRAN E, KRICH-TAFOVITCH I A, *et al.* Design and optimization of electrostatic fluid accelerators [J]. *IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation*, 2006, **13**(1): 191-203.
- [2] 杨兰均,王 维,林 岑,等. 电晕放电离子风实验与理论研究进展及应用发展前景 [J]. *高电压技术*, 2016, **42**(4): 1100-1108.  
YANG Lan-jun, WANG Wei, LIN Cen, *et al.* Experimental and theoretical research progress in ionic wind produced by corona discharge and its application [J]. *High Voltage Engineering*, 2016, **42**(4): 1100-1108. (in Chinese)
- [3] BO Z, CHEN J H. Dimensional analysis of detrimental ozone generation by positive wire-to-plate corona discharge in air [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2010, **43**(6): 65204-65211.
- [4] AISSOU M, SAID H A, NOURI H, *et al.* Effect of relative humidity on current-voltage characteristics of monopolar DC wire-to-plane system [J]. *Journal of Electrostatics*, 2015, **76**: 108-114.
- [5] KAWAMOTO H, YASUDA H, UMEZU S. Flow distribution and pressure of air due to ionic wind in pin-to-plate corona discharge system [J]. *Journal of Electrostatics*, 2006, **64**(6): 400-407.
- [6] ZHAO L, ADAMIK K. EHD flow in air produced by electric corona discharge in pin-plate configuration [J]. *Journal of Electrostatics*, 2005, **63**(3-4): 337-350.
- [7] QIU W, XIA L, YANG L, *et al.* Experimental study on the velocity and efficiency characteristics of a serial staged needle array-mesh type EHD gas pump [J]. *Plasma Science and Technology*, 2011, **13**(6): 693-697.
- [8] QIU W, XIA L, TAN X, *et al.* The velocity characteristics of a serial-staged EHD gas pump in air [J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2010, **38**(10): 2848-2853.
- [9] LI L, LEE S J, KIM W, *et al.* An empirical model for ionic wind generation by a needle-to-cylinder dc corona discharge [J]. *Journal of Electrostatics*, 2015, **73**: 125-130.
- [10] LEE S J, LI L, KWON K, *et al.* Parallel integration of ionic wind generators on PCBs for enhancing flow rate [J]. *Microsystem Technologies*, 2015, **21**(7): 1465-1471.
- [11] PODLIŃSKI J, KOCIK M, BARBUCHA R, *et al.* 3D PIV measurements of the EHD flow patterns in a narrow electrostatic precipitator with wire-plate or wire-flocking electrodes [J]. *Czechoslovak Journal of Physics*, 2006, **56**(2): B1009-B1016.

- [12] CHUN Y N, CHANG J S, BEREZIN A A, *et al.* Numerical modeling of near corona wire electrohydrodynamic flow in a wire-plate electrostatic precipitator [J]. *IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation*, 2007, **14**(1): 119-124.
- [13] GO D B, MATURANA R A, FISHER T S, *et al.* Enhancement of external forced convection by ionic wind [J]. *International Journal of Heat & Mass Transfer*, 2008, **51**(25-26): 6047-6053.
- [14] GO D B, MATURANA R A, MONGIA R K, *et al.* Ionic winds for enhanced cooling in portable platforms [C] // *10th Electronics Packaging Technology Conference, EPTC 2008*. Singapore: IEEE, 2008: 737-742.
- [15] KOCIK M, PODLIRISKI J, NIEWULIS A, *et al.* Particle image velocimetry measurements of wire-non-parallel plate induction fan type electrohydrodynamic gas pump [J]. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2009, **16**(2): 312-319.
- [16] KOCIK M, PODLINSKI J, MIZERACZYK J, *et al.* Flow distribution measurement in wire-nonparallel plate type electrohydrodynamic gas pump by a particle image velocimetry [J]. *IEEE Transactions on Dielectrics & Electrical Insulation*, 2009, **16**(3): 601-607.
- [17] 袁均祥, 邱焯, 郑程, 等. 空气放电离子风特性的研究 [J]. *中国电机工程学报*, 2009, **29**(13): 110-116. YUAN Jun-xiang, QIU wei, ZHENG Cheng, *et al.* Study on characteristics of ionic wind from atmosphere discharge [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2009, **29**(13): 110-116. (in Chinese)
- [18] 李庆, 李海凤, 孙晓荣, 等. 电晕放电电流体状态实验研究与数值模拟 [J]. *高电压技术*, 2010, **36**(11): 2739-2743.
- LI Qing, LI Hai-feng, SUN Xiao-rong, *et al.* Experimental research and numerical simulation of electrohydrodynamic in corona discharge [J]. *High Voltage Engineering*, 2010, **36**(11): 2739-2743. (in Chinese)
- [19] YANALLAH K, PONTIGA F, CHEN J H. A semi-analytical study of positive corona discharge in wire-plane electrode configuration [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2013, **46**(34): 2589-2593.
- [20] SAID H A, NOURI H, ZEBBOUDJ Y. Analysis of current-voltage characteristics in the wires-to-planes geometry during corona discharge [J]. *European Physical Journal - Applied Physics*, 2014, **67**(3): 30802(1-8).
- [21] ELAGIN I A, YAKOVLEV V V, ASHIKHMIN I A, *et al.* Experimental investigation of cooling of a plate by ionic wind from a corona-forming wire electrode [J]. *Technical Physics*, 2016, **61**(8): 1214-1219.
- [22] ELAGIN I A, ASHIKHMIN I A, SAMUSENKO A V, *et al.* Computer simulation of plate cooling by ionic wind from the wire electrode and its experimental verification [C] // *2016 IEEE International Conference on Dielectrics*. Montpellier, France: IEEE, 2016: 151-154.
- [23] ZOUZOU N, DRAMANE B, MOREAU E, *et al.* EHD flow and collection efficiency of a DBD ESP in wire-to-plane and plane-to-plane configurations [J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2011, **47**(1): 336-343.

## Numerical study on convective heat transfer enhancement in a channel by a wire-plate ionic generator

KONG Ling-jian, ZHANG Jian-fei\*, WANG Shuang

(MOE Key Laboratory of Thermo-Fluid Science and Engineering, Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** Ionic wind generator is a device which can induce air flow by corona discharge. In order to investigate the heat transfer enhancement capacity of the wire-plate ionic wind generator, a numerical model was developed in COMSOL Multiphysics. The inlet velocity, applied voltage, initial velocity direction and horizontal distance between electrodes were selected as vital factors in investigation and the influence of them on heat transfer enhancement was analyzed numerically. The simulation results show that the heat transfer enhancement performance of ionic wind generator is greater when inlet velocity is slower. When applied voltage is high and the ionic wind velocity is opposite to the inlet velocity, the disturbance of the ionic wind is more intense and the heat transfer is obviously enhanced. Numerical results show that the horizontal distance between electrodes has an optimal value for obtaining best heat transfer performance.

**Key words:** ionic wind; wire-plate; heat transfer enhancement; numerical simulation