



2018.11.2 上海

线筒电极下负电晕放电的仿真研究

刘志, 李家玮, 韩锋
华中科技大学

摘要

线筒电极结构是电晕放电装置中一种常见的结构, 但是其电晕放电的发展过程却一直不清楚。本文利用 comsol 中的等离子化学模块, 对大气压条件下空气介质中线筒电极的负电晕放电发展过程进行了仿真研究。在仿真模型中, 高压电极为线电极, 筒电极为地电极, 模型包含了12中粒子之间的26种反应, 其涵盖了典型的弹性碰撞、碰撞电离、电荷转移、复合反应、附和与解离反应。最终的仿真结果显示, 在电晕放电发展初期存在一个脉动过程, 等离子体以脉冲的形式向地电极扩展。当电晕处于稳态时, 在高压电极处是以 O_4^+ 为主的阳离子, 在远离高压电极处的地方以 O_2^- 及 O^- 等阴离子为主。本文的工作有助于人们理解线筒电极下的电晕放电的发展过程及等离子体的分布情况。

1 等离子体化学模型

几何
尺寸

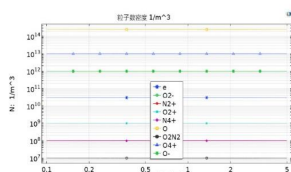
➤线电极半径为1mm
➤筒半径为50mm

反应
模型

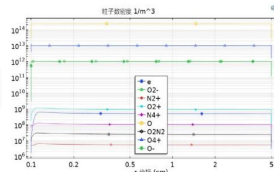
➤反应粒子: $e, N_2, O_2, N_4^+, O_4^+, O_2^+, N_2^+, N_2O_2^+, O, O^-, O_2^-$
➤反应数目: 26种反应

2 电晕放电的发展过程

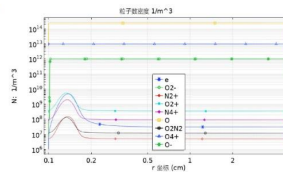
➤放电电压为10kV



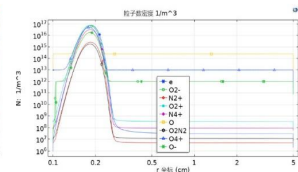
a 1ns初始粒子分布曲线



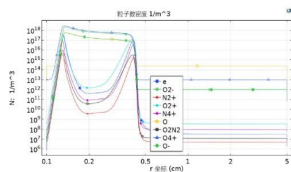
b 8ns时刻的粒子分布曲线



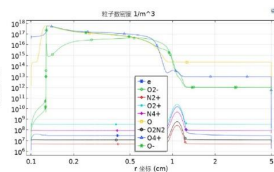
c 40ns时粒子分布曲线



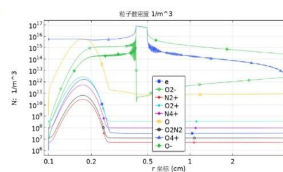
d 63ns时粒子分布曲线



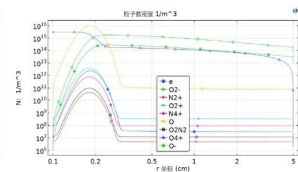
e 106ns时粒子分布曲线



f 2.4us时粒子分布曲线



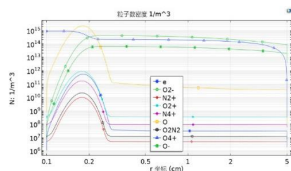
g 42us时粒子分布曲线



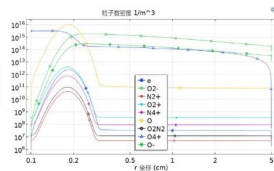
h 1s时粒子分布曲线

a阶段为仿真开始的初始阶段; b~d阶段为电晕区从开始电离到完全电离的阶段; e~f为离子呈脉冲波的形式向地电极扩展的阶段, 此阶段除了 O_4^+ 、 O_2^- 、 O^- 这三种粒子外, 其余粒子因复合、转化、电荷转移等反应而衰减; g~f阶段为漂移扩散后逐渐达到稳定状态的阶段。

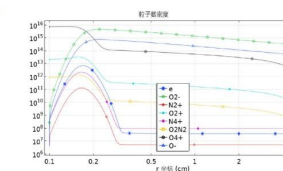
3 电压对电晕放电的影响



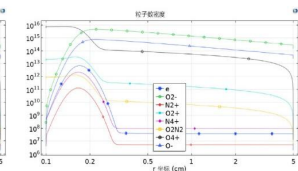
a V为5kV粒子分布曲线



b V为10kV粒子分布曲线



c V为15kV粒子分布曲线



d V为20kV粒子分布曲线

当电晕放电进入稳态时, 我们可以发现电晕区是以 O_4^+ 为主的阳离子, 漂移扩散区是以 O_2^- 、 O^- 为主的阴离子, 且两者的粒子数密度都随着电压的升高而升高, 且迁移区阴阳离子的差距随电压升高而拉大。

4 结论

线筒电晕放电在发展过程中呈脉冲波的形式向地电极扩展, 且电离区内呈正电, 主要为 O_4^+ , 迁移区内呈负电, 主要为 O_2^- 、 O^- ; 且随着电压升高, 电离区内的阳离子和迁移区内的阴离子都有所升高。