

霍尔推力器内放电等离子体数值仿真分析*

赵 杰^{1,2}, 许 丽^{1,2}, 李 建^{1,2}, 王 坤^{1,2}, 王世庆¹

(1. 成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 614000; 2. 核工业西南物理研究院, 四川 成都 610041)

摘 要: 为研究霍尔推力器通道内放电过程和等离子体的分布情况, 对霍尔推力器建立二维仿真模型。得到推力器通道中 Xe^+ 和 Xe^{++} 数密度分布、速度分布、电流密度分布、电势分布和电子温度分布等, 通过不同时刻 Xe^+ 和 Xe^{++} 离子数密度的变化, 观察到推力器内放电达到稳定运行的过程。由结果可知此推力器工作电压 350V, 电流 4.2A, 工质气体流量 42SCCM 时的比冲约为 1300S。与文献中报道的实验结果和数值模拟结果对比, 具有很好的一致性。一方面验证了该模型用于霍尔推力器数值仿真的有效性, 另一方面得到了稳态霍尔推力器内较详细的放电等离子体参数分布。

关 键 词: 等离子体; 推力器; 数值仿真; 比冲

中图分类号: V439

文献标识码: A

文章编号: 1002-0322(2020)04-0054-06

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2020.04.12

Numerical Simulation and Analysis of Discharge Plasma in Hall Thruster

ZHAO Jie^{1,2}, XU Li^{1,2}, LI Jian^{1,2}, WANG Kun^{1,2}, WANG Shi-qing¹

(1. The Engineering and Technical College, Chengdu University of Technology, Leshan 614007, China;

2. Southwestern Institute, Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: In order to study the discharge process and plasma distribution in Hall thruster channel, a two-dimensional simulation model of Hall thruster was established. The number density and velocity distribution of the Xe^+ and Xe^{++} , current density distribution, potential distribution and electron temperature distribution in the thruster channel were obtained. The discharge process in the thruster was observed from the change of number density distribution of the Xe^+ and Xe^{++} at different time. The results show that the specific impulse is about 1300S when the discharge is 1300V and 4.2A, and the gas flow rate is 42SCCM. The results are in good agreement with the experimental and numerical results reported in the literature. On the one hand, the validity of the model in numerical simulation of Hall thruster is verified. On the other hand, the detailed discharge plasma parameters in the steady Hall thruster is obtained.

Key words: plasma; thruster; numerical simulation; specific impulse

电推力器由于大大降低推进剂的质量, 同时获得更高的推进速度, 因而受到广泛重视。离子的能量和数量可以通过电磁场控制, 因而很容易实现对推力和速度的调整。其单位推力(比冲)可达常规化学火箭的 10~20 倍, 所用推进剂的质量不到化学火箭的十分之一, 而排气速率却可以轻易达到化学火箭的十倍, 因此可以大大减少推力器的质量并降低空间运行成本, 大幅度提高空间飞行器的寿命。霍尔等离子体推力器中沿着轴向

在阳极与阴极之间建立电场, 在径向方向存在强的磁场分量, 阻止电子直接冲向阳极。电子在这样的交叉电磁场中会发生漂移, 漂移方向垂直于电场与磁场, 因此漂移路径存在环形封闭趋势, 在某些文献中这种漂移也被称作是封闭漂移^[1,2]。在漂移过程中电子与中性粒子碰撞, 离化中性粒子, 产生的离子在轴向电场的作用下加速喷出放电区域。

霍尔电推进首次空间试验是 1972 年前苏联

收稿日期: 2019-07-22

作者简介: 赵杰(1980-), 男, 山东省菏泽市人, 副教授。

* 基金项目: 西物创新行动计划(批准号: 201901XWCXRC005); 四川省科技厅项目(批准号: 2019YJ0705)。