# 托卡马克等离子体中微观湍流驱动氦灰输运的理论研究

郭伟欣1，王璐1，庄革2, 1

1华中科技大学，武汉，430074

2中国科学技术大学，合肥，230026

邮箱: wxguo@hust.edu.cn

摘 要：在托卡马克聚变反应堆中，来自氘（D）- 氚 (T) 反应的 $α$ 粒子经过加热等离子体之后将变成氦灰。如果氦灰在装置芯部聚集，会稀释等离子体并降低聚变反应的功率，甚至诱发等离子体大破裂导致放电终止，从而不利于聚变堆的稳态安全运行。因此，理解氦灰的输运机制有利于实现对芯部氦灰浓度的控制。

根据回旋动理学理论，我们分别研究了离子温度梯度模（ITG）湍流 [1] 和平行速度剪切（PVS）模湍流 [2] 驱动的氦灰输运。主要研究结果为：当氦灰的剖面比较陡峭时，微观湍流可以实现氦灰的排出。但是，随着氦灰温度（$T\_{z}$）的下降，微观湍流排出氦灰的效率变低；其次，同位素效应对湍流杂质输运的影响与模式有关：增加有效离子质量数（$A\_{i, eff}$）可能不利于（有利于）ITG（PVS）模湍流中氦灰的排出；此外，我们还研究了不同温度氦灰对约束的影响，发现增加$T\_{z}$可以提高残余带状流的水平（ZF）[3]，以及提高无碰撞捕获电子模湍流驱动的带状流的线性增长率[4]，这表明较高温度的氦灰可能有利于改善等离子体的约束性能。

这些研究可为今后燃烧等离子体中氦灰的排出以及了解氦灰对等离子体约束的影响提供一定的理论参考。

关键词：氦灰；离子温度梯度；平行速度剪切；同位素效应；带状流

参考文献：

[1] Guo Weixin *et al.*, Isotopic dependence of impurity transport driven by ion temperature gradient turbulence, *Phys. Plasmas*. 2016 23（11） 112301*.*

[2] Guo Weixin *et al.*, Impurity transport driven by parallel velocity shear turbulence in hydrogen isotope plasmas, *Nucl. Fusion*. 201959(7) 076012.

[3] Guo Weixin *et al.*, Impurity effects on residual zonal flow in deuterium (D)-tritium (T) plasmas, *Nucl. Fusion*. 201757 056012.

[4] Guo Weixin *et al.*, Impact of impurities on zonal flow driven by trapped electron mode turbulence, *Nucl. Fusion*. 201757(8) 126052.