ELM 湍流与输运的多时空尺度自洽集成数值模拟

王占辉¹, 陈彬², 鲁鑫¹, 李娜咪³, 徐学桥⁴

¹中核集团核工业西南物理研究院, 成都 610041

²河北省紧凑型聚变重点实验室, 廊坊 065001

³大连理工大学物理学院, 大连 116024

⁴劳伦斯利弗莫尔国家实验室, 美国利弗莫尔 94550

Email: zhwang@swip.ac.cn

摘要：边缘局域模（Edge localized mode, ELM）是影响磁约束托卡马克等离子体物理高约束运行模式的一种重要的 MHD 不稳定性。ELM 爆发将导致偏滤器靶板热负载增加而损坏，实现 ELM 的有效控制与缓解，是当前国际最热的亟待解决的关键物理和技术问题。超声分子束注入（SMBI）是缓解 ELM 的一种行之有效的重要方法。它既涉及到宏观中性粒子和等离子体输运物理过程，又涉及到微观 ELM 激发、增长和非线性饱和的物理过程。我们之前已采用 Braginskii 流体方程组推导建立了的超声分子束注入（SMBI）等离子体加料的物理模型^[1,2]，开展了与 HL-2A 实验对照^[3]及程序验证工作^[4]。本论文将基于 OMFIT 大型集成平台，建立自洽的物理模型耦合 ELM 湍流及宏观等离子体输运物理，从超声中性粒子注入宏观输运和微观湍流这两个方面同时开展多时空间尺度数值模拟研究，理解其物理机制。基于 BOUT++ 程序，独立地开发新的程序来模拟完整的中性粒子注入 ELM 缓解过程，这一学界公认的最具挑战的工作，从而，指导当前实验中 ELM 缓解与控制，并为 ITER 的提供技术支持。本文已经根据所建立的自洽多时空尺度物理模型，开发了相应的集成模拟程序，并开展了 ELM 湍流与等离子体输运的集成数值模拟研究，对 ELM 湍流引起的等离子体输运进行了磁面平均，从而获得了 ELM 期间垂直方向上湍性粒子和热输运系数，以及宏观等离子体剖面随时空的演化。

关键词：边缘局域模；输运；多时空；集成模拟；超声分子束

参考文献

- [1] Z H Wang, et al., 2D simulations of transport dynamics during tokamak fuelling by supersonic molecular beam injection, Nucl. Fusion, 2014, 54, 043019
- [2] Y.L. Zhou, et al., Comparisons between tokamak fueling of gas puffing and supersonic molecular beam injection in 2D simulations, Physics of Plasmas, 2015, 22, 012503
- [3] Z H Wang, et al., Simulations and Validations of Transport during Fueling by SMBI in HL-2A Tokamak, 25th IAEA Fusion Energy Conference, 2014, TH/P7-30, St. Petersburg, Russia., TH/P7-30
- [4] Y H Wang, et al., Benchmark studies of BOUT++ code and TPSMBI code on neutral transport during SMBI, Physics Letters A, 2017, 381,1795–1806

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11575055）