

EAST 上 I 模的实验进展

刘子奚¹, 刘阿棣¹, 周楚¹, 刘彦君¹, 冯喜¹, 高翔², 徐学桥³, 杨曜², 张涛², 王岷民², 张杰², 刘永², 夏天阳², 刘海庆², 吴木泉², 孔德峰², 李宏¹, 谢锦林¹, 兰涛¹, 毛文哲¹, 张寿彪², 丁卫星¹, 刘万东¹, 庄革¹

¹ KTX Laboratory and Department of Engineering and Applied Physics, University of Science and Technology of China, Anhui Hefei 230026, China

² Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Anhui Hefei 230031, China

³ Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California 94550, USA

Email: zxliu316@ustc.edu.cn

摘 要：经过对 2016 年-2018 年的 EAST 数据库的总结，我们发现了 65 炮 I 模放电。EAST 上的 I 模放电大部分都是在 LHW 的主导下，此外，还有 LHW 与 NBI 联合加热的放电以及为数不多的几炮 NBI 和 ECRH 联合加热的放电，而这种非 LHW 放电的 I 模，我们在 2019 年以 I 模为专门研究的实验中重新获得了，因此证明其是可重复的。在 I 模的典型放电中，磁场方向是不利于出现 H 模的 unfavor 磁场，在 L-I 转换的时刻，密度扰动的上会有一个明显的湍流被抑制的现象，同时伴随弱相干模（WCM）的出现。整个过程中，密度剖面始终是维持在 L 模的水准，但温度在边界出现了类似 H 模的台基。

通过对 EAST 上 I 模的宏观分析，我们发现 EAST 上的 I 模在约束上是比 L 模要好，但依然比相同条件下（unfavor 磁场下）的 H 模略差。但同样电流下，I 模的能量约束时间随着加热功率增加的降幅是小于 EAST 上的典型 H 模的。EAST 上高磁场下获得 I 模所需的最低阈值功率和低磁场下差不多，但 I 模存在期间的加热功率范围区间，在高磁场下是要大于低磁场很多的。EAST 上的 I 模对边界密度非常敏感，在较大的外加功率不变的情况下，几次边界的超声分子束的注入，就会导致 I 模向 H 模的跃迁。

在 EAST 的 I 模阶段，我们不仅仅发现了 WCM，还观察到 GAM 以及一个 6-11kHz 的低频扰动（LFO）。实验发现，LFO 的密度扰动是小于 2%，而温度扰动在 5-10%，并且在径向是一个很窄的一个分布。

EPED 模型告诉我们，EAST 的 I 模台基区是剥离-气球模式稳定的，BOUT++六场模型的线性模拟结果告诉我们，EAST 上的 I 模是一个漂移阿尔芬波模主导的一个模式，电阻气球模在不稳定性的贡献中占有一定的比重。C-Mod 上的 I 模的非线性分析结果告诉我们，DAW 是可以提供向外的粒子输运，并且直接与 WCM 的存在相关。

关键词：I 模；边界不稳定性；托卡马克

参考文献

[1] X, Feng, A.D. Liu, C. Zhou, Z.X. Liu, *et al.*, I-mode investigation on the Experimental Advanced Superconducting Tokamak, Nucl. Fusion, 2019, 59, 096025

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11975230, 11635008, 11675211），国家磁约束核聚变能发展研究专项基金项目（2017YFE0301700, 2017YFE0301204, 2018YFE0311200）。