

EAST 托卡马克高能粒子驱动磁流体不稳定性模拟研究

侯雅巍¹, 朱平^{2, 3, 1}, 金智善⁴, 邹志慧¹, 胡友俊⁵, 闫星廷¹

¹中国科学技术大学, 中国, 安徽, 合肥 230026

²华中科技大学, 中国, 湖北, 武汉 230026

³威斯康辛-麦迪逊大学, 美国, 威斯康辛, 麦迪逊 53706

⁴威斯康辛-麦迪逊大学, 美国, 加州, 圣地亚哥 92107

⁵中科院等离子体物理研究所, 中国, 安徽, 合肥 230031

Email: zhup@hust.edu.cn

摘要: 加热和聚变反应产生的高能粒子能够驱动磁流体不稳定性, 例如鱼骨模、阿尔芬本征模, 这些模式会反过来影响托卡马克等离子体的稳定性和约束。随着加热功率提高到 30 多兆瓦, 高能粒子驱动的磁流体不稳定性将会在 EAST 实验中扮演越来越重要的角色。

我们使用 AWEAC (Alfven Wave Eigen-Analysis Code)对 EAST 上阿尔芬本征模进行本征分析, 使用 NIMROD 的动理学-磁流体混合模块, 模拟高能粒子驱动的阿尔芬本征模和鱼骨模。平衡文件是由 EFIT 根据实验测量重构得到。中性束注入等离子体产生的高能粒子分布用慢化分布来描述。

模拟结果显示, 阿尔芬本征模的频率、极向模数、径向位置和本征程序 AWEAC 得到的结果一致。随着高能粒子比压份额的增大, 环向模数为 4 的环向阿尔芬本征模, 会发生偶模向奇模的转变。模转换的过程中, 模的频率和增长率均发生明显变化。当高能粒子的比压份额接近模转换阈值时, 偶模和奇模会同时存在。另外, 我们也给出了二维的模结构。对于扭曲模/鱼骨模的模拟, 我们发现, 随着高能粒子份额的增加, 扭曲模会首先被抑制, 然后被激发。这些结果可以用来帮助理解 EAST 上高功率加热实验中, 磁流体不稳定的特征和性质。

关键词: 托卡马克; 高能粒子; 阿尔芬本征模; 鱼骨模/扭曲模

参考文献

- [1] Y. W. Hou, P. Zhu, C. C. Kim, Z. Q. Hu, Z. H. Zou, Z. X. Wang, and the NIMROD Team, NIMROD calculations of energetic particle driven toroidal Alfven eigenmodes, Phys. Plasmas 25, 012501 (2018).
- [2] Y. W. Hou, C. C. Kim, P. Zhu, Z. H. Zou, Y. J. Hu, X. T. Yan, and the NIMROD Team. Numerical study of transition between even and odd toroidal Alfven eigenmodes on EAST. Phys. Plasmas 26, 082505 (2019).

基金项目: 本工作得到国家自然科学基金项目 (NO. 11875253), 中央高校基础科研项目 (NO. WK342000004), 中国磁约束聚变专项 (NO. 2015GB101004) 和美国能源部项目 (NO. DE-FG02-86ER53218 and DE-FC02-08ER54975) 等支持。本工作的计算模拟得到了中国科学技术大学超算中心的支持。