托卡马克中等离子体垂直不稳定性的数值模拟

李旭静

摘要

本文研究了磁约束核聚变装置托卡马克中等离子体垂直不稳定性的模型和数值求解算法。根据托卡马克中等离子体破裂的特征，提出了描述托卡马克中等离子体宏观运动的托卡马克磁流体力学（Tokamaks MagnetoHydroDynamics, TMHD）方程组。TMHD 模型将等离子体破裂过程描述为一系列平衡的演化,演化过程中等离子体保持磁通量守恒。根据 TMHD 模型，本文首先研制实现了等离子体边界区域平衡计算的程序 EEC （Edge Equilibrium Code)， EEC 程序基于磁面坐标使用 Hermite 等参有限元，采用自适应网格，使得计算网格与磁面相吻合，并随着磁面的演化而演化。EEC 结合已存的 ESC （Equilibria and Stabilities Code）程序，可以覆盖各种位形等离子体平衡的计算。本文开发研究了模拟等离子体垂直不稳定性的程序 VDE（Vertical Displacement Event)。VDE 程序对柱形等离子体与环形等离子体破裂过程的模拟显示等离子体发生垂直不稳定性时会激发表面电流，在等离子体与托卡马克内壁结构接触后形成 Hiro 电流与 Evans 电流，这与实验中测量到的电流相符，从而解释了实验中测量到托卡马克内壁瓦片结构中电流诊断信号的物理含义。最后本文将 VDE 程序应用于 EAST 托卡马克装置，使用 EAST 装置真实的内壁结构，提出模拟 EAST 导体壁中电流的模型。

关键词： 托卡马克，等离子体破裂，TMHD 模型，有限元方法，磁面坐标，自适应网格