

EAST 钨偏滤器杂质注入脱靶以及钨杂质产生输运模拟研究

桑超峰^{1,*}, 周庆瑞¹, 赵学乐¹, 丁锐², 王亮², 王德真¹¹中大连理工大学, 大连 116024²中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所, 合肥 230031*Email: sang@dlut.edu.cn

摘要: 偏滤器是托卡马克中用于排除氦灰和粒子的主要部件, 也是发生等离子体与壁材料相互作用最强烈的区域。聚变产生的热能, 经由刮削层最终将沉积到偏滤器靶板, 这对偏滤器寿命造成了巨大威胁。钨由于具有高熔点、良好的热导率和机械性能、低的燃料滞留率和低的侵蚀率, 因此被认为是偏滤器的主要候选材料。世界上的主要托卡马克装置都逐渐开始研究钨偏滤器条件下放电特性。EAST 装置上偏滤器为钨材料, 下偏滤器为石墨材料[1], 如图 1 所示, 近期实验发现石墨材料已经成为限制 EAST 实现更长时间高参数放电的主要因素, 因此其下偏滤器的升级改造也在进行中, 即将下偏滤器改为钨材料。

长脉冲高热负荷运行对下钨偏滤器的要求包括: (1) 钨杂质源的控制和粒子排除; (2) 热通量应该控制在水冷钨铜技术允许的 10 MW/m^2 。为了达到这两点要求, 通常要求偏滤器具有较强的热辐射能力, 从而在能量沉积到偏滤器靶板之前将其辐射掉, 同时降低入射到靶板的粒子能量。在偏滤器区域注入杂质气体被认为是实现辐射偏滤器的最有效方案, 但是有几点关键问题亟待解决: (a) 流入刮削层的能量同所需要的注入气体之间的关系; (b) 注入气体不同种类气体的区别; (c) 引入杂质气体之后对于钨靶板侵蚀和钨杂质产生的影响。为了解决这几点问题, 本工作针对 EAST 上钨偏滤器放电杂质注入脱靶开展了数值模拟研究。采用边界等离子体程序 SOLPS 研究了流入刮削层不同功率情况下, 分别注入不同速率的氖气和氩气, 所能到达的偏滤器等离子体条件, 以及相应的芯部杂质含量。在此基础上采用 DIVIMP 模拟给出了不同条件下钨偏滤器靶板的侵蚀和钨杂质的输运及分布。通过本研究, 我们确定了 (1) 不同加热功率条件下, 同时满足钨杂质控制和靶板沉积能量所需要的杂质注入量; (2) 氖气和氩气注入的区别。

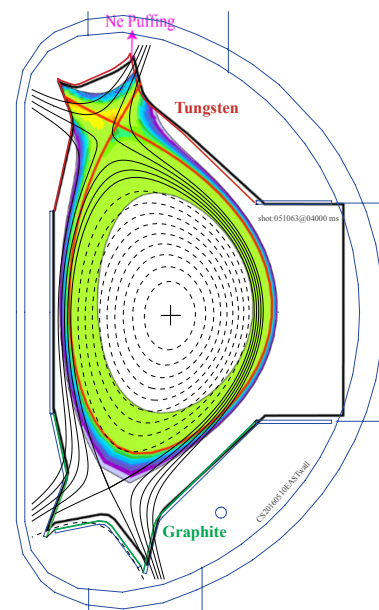


图 1 EAST 偏滤器靶板材料示意图, 模拟网格和注入杂质位置。

关键词: 偏滤器; 脱靶; 钨杂质; 热沉积

参考文献

- [1] C. Sang *et al.*, Effects of carbon impurities on the power radiation and tungsten target erosion in EAST, *Physics of Plasmas*. 2018, 25 (7), 072511.

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFA0402500, 2017YFE0301206, 2017YFE0300402, 2018YFE0301101), 国家自然科学基金项目 (11775044)