

流动液态锂第一壁的研发及与高约束等离子体相互作用研究

左桂忠¹, 李成龙^{1,2}, 孟献才^{1,3}, 孙震^{1,4}, 徐伟^{1,3}, 钱玉忠¹, R. Maingi⁴, D. Andruczyk⁵, 龚先祖¹, 胡建生¹

¹中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031

²中国科学技术大学, 合肥 230026

³深圳大学物理与能源学院, 深圳 518060

⁴美国普林斯顿等离子体物理实验室, NJ 08543

⁵美国伊利诺斯大学, IL 61801-2984

Email: zuoguizh@ipp.ac.cn

摘要: 流动液态锂壁可以吸附来自等离子体的燃料及杂质粒子, 有效地降低等离子体的再循环及杂质水平, 提高等离子体约束性能行为[1, 2]。尤其是, 相对于传统的固态壁, 流动的液态锂壁还具有高热负荷的输运能力、抗中子辐照损伤、无寿命限制及易于循环更新等优点, 是一个非常具有应用前景的选择。

在 EAST 装置中, 成功地研制了三代流动液态锂限制器, 该限制器由分配盒、引导盘、热沉、收集盒、加热及冷却系统组成。流动液态锂的设计厚度 <0.1 mm、流速 $\sim 2\text{cm}^3\text{s}^{-1}$ 、薄而缓慢流动的自由表面的锂膜。设计的目的是使用液态锂的表面张力抵抗破坏性电磁力的影响, 避免液态锂滴飞溅; 液态锂的流速满足粒子控制的需求; 热流通过热沉冷却移除! 在此设计的基础上, 成功地开展了流动液态锂壁与高约束等离子体相互作用的实验研究, 主要结果如下: 首先, 在一代液态锂实验中[1], 证实了液态锂可以由创新性的内置式直流电磁泵驱动, 利用装置稳态环向场, 形成一个锂循环回路。第二, 二代流动液态锂采用了一些技术改进, 包括: 改进了分配盒的制造工艺, 增加了液态锂驱动的电磁泵, 添加了促进润湿的表面纹理, 使用了更厚的不锈钢保护层, 以及使用高压氦气的冷却系统。这些改进有效地提高了液态锂的表面覆盖率($\sim 80\%$), 消除了表面侵蚀, 提高了排热能力[2]。第三, 三代以钼合金 TZM 为基材, 具有高耐腐蚀性、高溅射阈值、对锂有良好的润湿性; 实验获得了比以不锈钢层为基材的限制器具有更均匀的锂流。流动液态锂减少了杂质及再循环, 改善等离子体约束[1,2]; 实验还发现由于液态锂表面与等离子体之间的强相互作用而产生的边缘锂辐射层[3]。流动液态锂限制器已证实与高功率 H 模放电兼容, 辅助加热功率可达 8.3 MW。此外, 液态锂也证实了对 H 模等离子体中边缘局域模式(ELM)具有连续的缓解作用。

液态锂第一壁的成功研制与实验, 拓展了流动液态锂作为未来聚变装置高热负荷区第一壁部件应用的可行性。

关键词: 液态锂; 第一壁; 等离子体与壁相互作用; 高约束等离子体; EAST

参考文献

- [1] J. S. Hu *et al.*, First Results of the Use of a Continuously Flowing Lithium Limiter in High Performance Discharges in the EAST Device, *Nucl. Fusion* 2016,56(4),046011
- [2] G. Z. Zuo *et al.*, Results from an improved flowing liquid lithium limiter with increased flow uniformity in high power plasmas in EAST, *Nucl. Fusion* 2019, 59(1), 016009
- [3] G. Z. Zuo *et al.*, Mitigation of plasma-material interactions via passive Li efflux from the surface of a flowing liquid lithium limiter in EAST, *Nucl. Fusion* 2017,57(4),046017

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11775261 和 11625524) 等