

高频冰冻弹丸制备系统的研制及其工程调试*

胡 毅, 徐红兵, 朱根良, 钟云珂, 刘德权

(核工业西南物理研究院, 四川 成都 610041)

摘 要: 与俄罗斯培林实验室联合研制的 60Hz 高频冰冻弹丸制备系统已研制完成: 能制备直径 Φ 1.0mm、长度 L 1.0mm~1.3mm 可调节的圆柱形冰冻弹丸; 最高注入频率 60Hz; 注入速度 100m/s~300m/s。工程调试结果表明, 弹丸制备系统能稳定可靠地运行, 能较好地制备冰冻弹丸, 为在 HL-2A/2M 装置上开展弹丸注入相关物理研究提供基础。

关 键 词: 高频; 冰冻弹丸注入; 工程调试

中图分类号: TL62+9.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0322(2021)02-0062-04

doi: 10.13385/j.cnki.vacuum.2021.02.13

Development of High-frequency Cryogenic Pellet Preparation System and its Engineering Commissioning

HU Yi, XU Hong-bing, ZHU Gen-liang, ZHONG Yun-ke, LIU De-quan

(Southwestern Institute of Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: The 60Hz high-frequency cryogenic pellet preparation system was successfully developed with the collaboration of PELIN Laboratory Ltd. It was designed to produce cylindrical cryogenic pellets with diameter of 1.0mm and adjustable length of 1.0mm~1.3mm. The pellets can be injected into the plasma at a frequency within 60Hz with an adjustable speed at 100m/s~300m/s. The engineering commissioning shows that the preparation system meets the design requirements of preparing pellets, and can run stably and reliably. It provides a basis for the physical research of pellet injection on the HL-2A/2M tokamak.

Key words: high-frequency; cryogenic pellet injection; engineering commissioning

在聚变实验中发现, 高约束模式(H-mode)下等离子体自发产生的边缘局域模(ELM, Edge Localized Mode), 将快速地释放瞬态大热量到第一壁和偏滤器靶板^[1-4]。对于未来聚变堆(如 ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor)而言, 若不能有效控制 ELM, 瞬态大热负荷对装置的损伤将会非常致命, 如何解决并控制 ELM 已经成为当前聚变研究的重点方向^[5,6]。

目前对 ELM 控制的主要方法有: 1) 快速垂直振荡^[7], 通过对水平场线圈增加扰动来调制等离子体垂直位移, 通过快速移动等离子体来调节边界等离子体电流来触发 ELM, 从而实现对 ELM 的控制; 2) 共振磁扰动^[8], 利用磁共振效应在边缘随机磁场区域或者台基顶部创建磁岛, 增强粒

子输运, 以达到 ELM 抑制的效果; 3) 超声分子束注入^[9], 采用超声分子束加料技术将粒子沉积到等离子体台基区域, 从而触发小的 ELM, 避免产生大的 ELM, 达到 ELM 缓解的目的; 4) 弹丸注入^[10,11], 利用高频小弹丸注入, 将粒子沉积到台基区域, 使 ELM 在较低的压强梯度下爆发, 减小能量损失。

最新的研究表明, 高频小弹丸注入是一种行之有效的控制 ELM 的手段, 同时 ITER 也将采用冰冻小弹丸作为 ELM 控制的重点手段之一。ASDEX Upgrade 上的实验结果表明, 以 83Hz 的频率注入体积为 0.4mm³ 的氘弹丸, 不会对等离子体产生明显的加料效果, 并成功将 ELM 的爆发频率提高了 2.8 倍^[12]; D III-D 以 60Hz 的频率(<200m/s)

收稿日期: 2020-08-11

作者简介: 胡毅(1991-), 男, 四川省雅安市人, 硕士。 通讯作者: 徐红兵, 高级工程师。

* 基金项目: 国家重点研发计划, 面向 ITER 壁在线原位清洗和处理的新技术研究(2017YFE0301305)。