

磁约束聚变堆液态包层中磁流体动力学效应问题研究

张秀杰, 潘传杰, 许增裕, 王磊, 赵耀

中核集团核工业西南物理研究院, 成都 610225

Email: zhangxj@swip.ac.cn

摘要: 聚变堆液态包层以其运行压力低、设计简单、提氦方便等优点而被作为国际热核聚变堆 (ITER) 和未来聚变示范堆 (DEMO) 的主要产氦包层方案。但对磁约束聚变堆, 磁流体动力学效应 (MHD) 是液态产氦包层实现过程中急需解决的关键问题。本文介绍了基于核工业西南物理研究院液态金属镓铟锡回路的最新 MHD 效应实验研究进展。包括绝缘管道、普通导电管道及铁磁性导电管道中液态金属的 MHD 效应。对绝缘圆管中液态金属 MHD 流动, 实验给出了管道内 MHD 压降随平均流速及外加磁场强度的变化规律, 实验结果与理论预测结果吻合较好。对普通导电管道中液态金属 MHD 效应, 给出了不同的内壁条件对 MHD 压降的影响规律。对普通导电矩形管, 比较了高温 (300°C) 冲刷管道及无高温冲刷管道内 MHD 压降随平均流速及外加磁场强度的变化规律, 实验结果表明在同等条件下无高温冲刷管道内 MHD 压降较高温冲刷管道内 MHD 压降小约 40%。高温冲刷后的管道内 MHD 压降与理论预测结果较一致。另外实验还给出了导电矩形管道壁面上感应电势的分布规律, 并与数值模拟结果进行了比较, 实验结果与模拟结果吻合较好。对铁磁性导电管道 MHD 效应, 实验主要研究了铁磁性管壁材料 (低活化铁素体钢) 对管道内外磁场分布的影响规律。实验结果表明低活化铁素体钢 (CLF1) 对管道内外磁场分布有较大影响, 其主要影响规律为: 当外加磁场较小时, 铁素体钢的磁屏蔽效果较明显, 管道内的磁场小于外加磁场; 随着外加磁场的增加, 磁屏蔽效果消失, 管道内部磁场大于外加磁场, 当外加磁场为 1.85T 时, 管道内磁场相比于外加磁场增加 6%, 管道内 MHD 压降相比于无磁性管压降增加 12%。

关键词: 聚变堆; 液态包层; 液态金属; MHD 压降; 铁磁 MHD 效应。