

聚变堆磁场参数下 DCLL 包层模块 MHD 直接数值模拟

陈龙¹, 倪明玖¹

¹中国科学院大学工程科学学院, 北京怀柔 101408

Email: mjni@ucas.ac.cn

摘要: 液态包层是磁约束热核聚变能量转换的关键部件, 涉及强磁场, 大热源, 复杂构型以及多物理场的耦合作用, 其内部的流动与传热非常复杂。但目前国际上关于包层的数值研究往往基于简单的包层部件, 且哈特曼数 (Ha) 较低。本文首先基于真实的聚变环境 ($Ha \sim 10^4$, $Re \sim 10^5$) 对完整 DCLL 包层模块进行了三维直接数值模拟, 详细分析了内部的压力与速度分布。研究表明, 进出口同芯母管 (Manifold) 内复杂的三维诱导电流分布与磁流体动力学 (MHD) 现象对于垂直管道 (poloidal ducts) 内的流量分布影响很大。为了降低 MHD 压降, 在包层的不同位置处引入低导电率的流道插件结构 (FCI)。结果表明在进出口段引入 FCI, MHD 总压降可以降低约 35.62%, 同时垂直管道内的流量分布较均匀。当在垂直管道内引入 FCI 时, MHD 总压将可降低约 9.87%, 但此时垂直管道内的流量分布差异较大, 中间管道流量约占 42.36%。

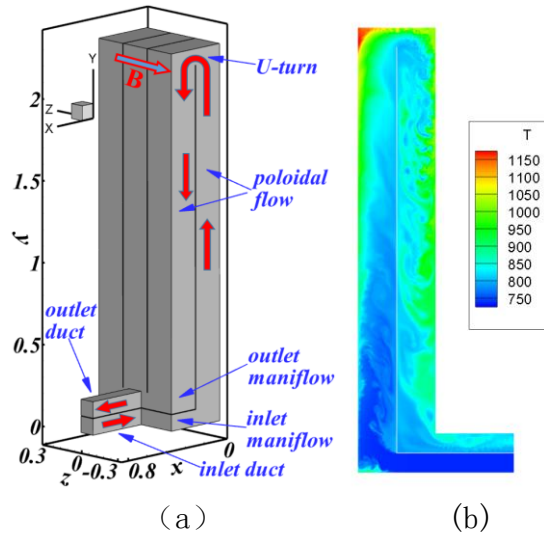


图 1: (a) 完整包层模型示意图。(b) $Gr=10^{10}$ 中间截面上的温度场分布

其次我们研究了格拉晓夫数

Gr 在 $10^5 \sim 10^{10}$ 间, 包层部件内的 MHD 自然对流与混合对流。结果表明, 当水平磁场较弱时, 传热效率会有所增加。一旦流动达到准二维状态, 传热效率开始降低, 并从洛伦兹力对速度分布的归置作用和抑制作用进行机理解释。对于垂直管道内的混合对流, 浮力会诱导主流区靠近冷壁面的逆向流动。与强迫对流相比, 浮力对速度分布影响很大, 同时会使截面上的温度分布更加均匀。

关键词: 液态包层; 磁流体运动; FCI; MHD 压降, 自然对流, 混合对流

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 51636009, NO. 51927812), 中科院先导项目 XDB22040201, QYZDJ-SSW-SLH014.