

中国聚变工程实验堆混合包层中子学概念研究

师学明, 秦桂明, 彭先觉
北京应用物理与计算数学研究所, 北京, 100088
Email: sxm_shi@qq.com

摘要: 中国聚变工程试验堆 (CFETR) 正在开展工程设计。为满足氚自持并降低氚初始投料量, 本文提出聚变裂变混合包层概念, 作为传统的氦冷陶瓷方案等纯聚变包层的补充方案。混合包层采用天然铀的锆合金为裂变燃料, 轻水做冷却剂, Li_4SiO_4 为氚增殖剂。利用 MCNP 与 ORIGENS 耦合的输运燃耗程序 MCORGS 开展了中子学设计。一维模型分析表明, 为实现氚增殖比最大化和适当的能量放大倍数, 裂变区和产氚区应该交替布置以减少 ^{238}U 吸收中子。经过优化设计, 一维氚增殖比 (TBR) 和包层能量放大倍数 (M) 分别为 1.52 和 4.17。基于 CFETR 三维基准模型, 将一维设计主要结果嵌入 25 个包层模块, 形成 CFETR 三维混合包层设计方案。包层模块均采用六层裂变区与产氚区交替布置。裂变区采用 $1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ 的栅元设计, 内嵌半径为 0.98cm (厚为 0.1cm) 的冷却剂水管。产氚区采用 $1.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ 的栅元设计, 内嵌半径为 1.28cm (厚 0.1cm) 的慢化剂水管。CFETR 混合包层寿期初 $\text{TBR} = 1.26$, 大于纯聚变包层可达到的最大 TBR 值 (1.15); $\text{M} = 3.18$, 在能量放大的同时, 可以把氚的初始投料量降低 3 倍; 系统处于深度次临界状态, $\text{Keff} = 0.161$ 。经过 12 年燃耗, 包层的 TBR、M、 Keff 分别为 1.28、4.05 和 0.227。

关键词: 氚自持; 聚变裂变混合堆; 包层

基金项目: 国家磁约束聚变能研究专项资助项目 (2015GB108002B)