

低活化钢辐照损伤与氢渗透行为研究

丁文艺, 郑明杰, 信敬平, 凤麟团队
中国科学院核能安全技术研究所, 安徽, 合肥, 230031
Email: wenyi.ding@inest.cas.cn

摘要: 聚变堆中高能中子辐照、强电磁辐射场、高热流密度等复杂服役工况, 以及清洁能源发展的需求, 对结构材料提出了苛刻的性能要求。低活化铁素体/马氏体钢 (简称低活化钢) 具有较好的抗辐照肿胀性能、良好的研究基础和相对成熟的工业技术基础, 被普遍认为是未来聚变堆和第一座聚变电站的首选结构材料。

中子辐照实验的费用高、周期长, 并且缺乏高流强聚变中子源, 难以开展未来聚变堆服役周期内辐照剂量水平的实验。因此, 计算模拟已经成为聚变环境下中子辐照损伤研究的必要手段。为推动低活化钢在先进核能系统中的应用进程, 课题组长期从事低活化钢相关的辐照模拟研究, 在中子辐照损伤中能谱效应, 辐照肿胀模拟以及氢渗透实验与计算模拟方面取得了系列进展。开展了铁铬合金中的离位阈能计算, 得到了 PKA 类型、入射方向以及 Cr 比例对离位阈能的影响。系统研究了中高能级联碰撞引起的铁铬合金中缺陷的演化过程, 分析得到了 PKA 能谱所引起的缺陷差异和损伤参数区别。开展了低活化钢辐照肿胀的速率理论方法模拟研究, 并将其应用在低活化钢电子辐照下的肿胀模拟, 与实验结果一致, 离子辐照和中子辐照的模型正在发展中。开展了 CLAM 钢的氢渗透实验研究, 得到了 CLAM 钢中的氢扩散系列参数, 与国际多个同类钢种的结果一致。同时利用分子动力学模拟了氢及其同位素在纯铁中的扩散行为, 研究结果揭示了扩散系数与同位素类别的关联性, 为深入分析聚变堆结构材料的氚滞留行为提供了基础数据支持。

低活化钢作为聚变堆氚增殖模块的结构材料, 其辐照损伤和氢同位素氚的渗透行为直接决定了聚变堆的安全性和经济性。因此, 开展低活化钢辐照损伤与氢渗透行为的研究对于推动聚变堆的发展具有重要意义。

关键词: 低活化钢; 中子辐照损伤; 氢渗透实验; 计算模拟; 氢同位素

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11605232, 11675209, 11632001) 等