

铁铝-氧化铝阻氦涂层研究现状及工程化思考

袁晓明，杨洪广，占勤

中国原子能科学研究院，北京市房山区新镇北坊，102413，yuanxm1981@163.com

针对未来 ITER 测试包层模块(TBM)、中国聚变工程实验堆(CFETR)等聚变堆氦增殖包层及氦工艺系统中的氦渗透、液态金属腐蚀以及磁流体动力学(MHD)效应等技术问题，中国原子能科学研究院（以下简称“原子能院”）20 年来，分别针对氦增殖包层结构材料 RAFM 钢及氦工艺管道 316L 两种不同基体表面 Fe-Al/Al₂O₃ 复合阻氦涂层技术，在材料设计、制备工艺及性能分析表征等方面取得了多项重要进展。

（1）RAFM 钢表面 Fe-Al/Al₂O₃ 复合涂层技术研究现状

2009 年开始在 ITER 国内配套项目支持下，原子能院完成了满足锂铅相容性和自修复等长期服役要求的 Fe-Al/Al₂O₃ 复合涂层设计，结合 RAFM 钢基体热处理制度提出了低温高活性渗铝+高温扩散两步法工艺路线，在满足 RAFM 钢热处理工艺规范的前提下，制备出了具有良好阻氦、耐蚀、电绝缘性能的 Fe-Al/Al₂O₃ 复合涂层，该复合涂层气相氦渗透率降低因子（TPRF）达 3-4 个数量级，综合性能指标达到国际先进水平，该技术可应用于未来聚变堆氦增殖包层复杂结构 RAFM 钢表面阻氦涂层的制备，并且与包层制造过程中的焊后热处理工艺具有很好的匹配性。

（2）316L 不锈钢表面 Fe-Al/Al₂O₃ 复合涂层技术研究现状

自上世纪九十年代以来，原子能院一直致力于 316L 不锈钢表面阻氦涂层技术研究，采用粉末包埋渗铝+原位氧化工艺突破了细长 316L 不锈钢薄壁管内表面 Fe-Al/Al₂O₃ 复合阻氦涂层技术，该复合涂层气相氦渗透率降低因子（TPRF）达 3-4 个数量级，并完成了研究堆内中子辐照及高温水介质条件下 300 多个等效满功率天（EFPD）的防氦渗透性能评价，TPRF 达到 100。目前原子能院已完全掌握 316L 细长薄壁不锈钢管内外表面 Fe-Al/Al₂O₃ 复合涂层的工程化技术，该技术可应用于未来复杂结构聚变堆氦工艺管道内表面阻氦涂层的制备。

关键词：聚变堆；氦增殖包层；阻氦涂层；Fe-Al/Al₂O₃；氦渗透

资助项目：国家磁约束核聚变能研究专项（2009GB109005，2010GB113000，2011GB111006，2013GB110006，2014GB111003）