

面向高热流密度的多孔介质中狭缝射流耦合传热的数值模拟研究

潘泓宇¹, 庄依杰^{1*}, 仲峰泉^{2*}

1 (广东工业大学环境科学与工程学院安全工程系, 广东广州 510006)

2 (中国科学院力学研究所高温气体动力学国家重点实验室, 北京 100190)

摘要: 面向运载火箭、电子元器件等高热流密度装备的热防护需求, 发汗冷却技术因其冷却效率高、再生能力强的特点受到广泛关注。对于发汗冷却多孔介质基体, 其内部具有复杂的孔隙结构、毛细流动与渗流传热过程, 因此亟需明晰冷却工质流动、传热与多孔介质耦合的作用机理。本文构建了三维多孔介质中狭缝射流耦合传热数理模型, 采用体积平均法、局部热非平衡模型与达西修正模型来描述多孔介质骨架及其内部流动与传热特性。其中泡沫铜被采用为多孔介质基体, 其上部负载持续的稳定高热流; 在多孔介质下方存在非多孔介质区域和狭缝射流。本文研究了不同雷诺数、达西数和格拉晓夫数条件下冷却工质在多孔介质中的传热和流动特性。研究发现随着雷诺数增加, 冷却工质在射流入口界面形成较强的涡流, 加快了流体与固体的热量交换, 入口周围冷却效率较高; 随着冷却工质的进一步流动, 其在多孔介质中发生渗流过程, 达西数对冷却效率起主导作用; 从流固交界面的平均努塞尔数可以看出, 随着达西数的增加, 冷却效率也随之提高。对于模型内部非多孔介质与多孔介质的交界面, 高雷诺数会导致二次涡形成热羽流, 同时由于浮力作用使得交界面热边界层变厚, 对表面附近的传热起阻碍作用。本研究结果对实际发汗冷却中多孔介质的流动与传热问题具有指导意义。

关键词: 多孔介质; 狭缝射流; 有限体积法; 局部热非平衡; 发汗冷却

1) 资金资助项目 (高温气体动力学国家重点实验室开放课题“高热流密度下多孔材料中冷却介质流动换热机理”(2023KF12))