

基于 RP-3 航空煤油燃烧机理的斜爆轰波起爆特性研究

李灿*, 韩桂来*^{+,2)}

* (中国科学院力学研究所 空天飞行高温气动全国重点实验室, 北京 100190)

+ (中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)

摘要: 爆轰燃烧与等容燃烧、等压燃烧相比具有熵增小、释热效率高的特点, 因此对于飞行 $Ma > 7$ 的飞行器而言斜爆轰发动机能够更好的满足未来航空航天高超声速飞行的动力需求。燃料的选取是斜爆轰发动机设计的关键因素之一, 传统的斜爆轰发动机通常采用 H_2 作为燃料, 然而 H_2 能量密度较低, 且不易储存和运输, 本文采用 RP-3 航空煤油作为动力燃料, 主要成分为 73%的正十二烷 ($C_{12}H_{26}$)、14.7%的 1,3,5-三甲基环己烷 (C_9H_{18})以及 12.3%的丙基苯 (PhC_3H_7), 由于煤油的相对分子质量较大, 因此在耗氧量相同条件下, 燃料摩尔体积更小, 对流场扰动更小, 同时在相同初始静温条件下, 压比更大, 燃烧模型采用 44 组分 78 反应机理模型。建立了二维流场区域物理模型, 模型总尺寸约 430 (长) \times 295 (高) mm, 楔角为 15° , 采用四边形结构化网格进行网格划分, 近壁面第一层网格高度为 5×10^{-3} mm。求解了 N-S 方程、Species-Transport 组分输运模型和 SST $k-\omega$ 湍流模型, 预混气体来流参数: RP-3、 O_2 、 N_2 摩尔质量比为 2:37:139, 采用正交试验组合方法分别对不同来流 Ma 数、不同来流温度、不同来流压力等 9 个工况进行了计算, 得出了不同来流参数条件对楔形结构诱导产生斜爆轰波起爆特性的影响规律。结果表明, 随着来流 Ma 的增大, 斜爆轰波波后热释放率提高, 起爆所需诱导区长度缩短, 起爆位置提前, 爆轰波的波后与波前压比增大; 随着来流初始静温的升高, 斜爆轰波波后燃烧反应速率加快, 点火延迟时间变短, 起爆位置提前, 但爆轰波波后与波前压比减小; 随着来流压力增大, 来流气体总焓升高, 更容易达到临界起爆状态, 起爆位置提前, 爆轰波波后与波前压比减小。对于较低来流初始静温, 在较大的 Ma 数和较大的静压条件下仍然能够观察到爆轰现象的发生, 验证了所使用的 RP-3 航空煤油燃烧机理用于斜爆轰波起爆计算的可行性, 且在较宽的温度范围内具有很好的适用性。

关键词: 高超声速; 斜爆轰波; RP-3 航空煤油; 来流参数; 起爆位置

1) 资金资助项目 (国家自然科学基金重点项目: 12132017, 国家重点研发计划项目: 2022YFB3207000, 中国科学院青年交叉团队: JCTD-2022-02, 中国科学院青年创新促进会: 2020019)