

HMX 炸药颗粒跌落过程中能量耗散和热点形成机制研究

李帅¹，孟宝清^{2,*}，田保林³

¹（中国工程物理研究院研究生院，北京 100088）

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）

³（北京航空航天大学航空科学与工程学院，北京 100191）

摘要：近些年来，炸药等含能材料在低速冲击作用下的热点生成、点火燃烧甚至是爆轰问题受到了学术界和工业界的广泛关注。通过颗粒间和颗粒内部的耗散机制（摩擦、粘性、塑性、晶粒的变形和断裂等）引起的局部热量梯度化，而产生的高温区域，称为热点。目前，离散元和有限元方法为炸药热点问题主要数值模拟手段。本文首先基于经典的 Hertz-Mindlin 接触理论，加入了 Thornton 弹塑性接触理论，改进了碰撞力模型，考虑了塑性加载力作为耗散力之一，对炸药热点的贡献。其次，建立了颗粒温度的控制方程，不同种类耗散功（滑动摩擦力做功、滚动摩阻力偶做功和塑性功），以及颗粒之间传热作为控制方程中的热源项。进一步，本文通过设计不同初始条件下的算例，完成了对碰撞力模型和温度控制方程的验证。最后，我们基于以上的碰撞力模块和颗粒温度更新模块，讨论不同颗粒的尺寸、加载条件，以及不同缺陷形状对热点的形成过程的影响。并基于以上物理过程，量化耗散过程和传热过程对诱发“热点”的贡献，解释其内在的物理机制。

关键词：离散元方法；HMX 炸药；炸药热点；塑性功；颗粒传热