

冲击波与高能量密度状态

经 福 谦

(中国工程物理研究院科技委副主任)



我于 1960 年开始从事冲击波极端条件下凝聚态物质行为的研究工作。冲击波是产生高能量密度状态的一个重要手段, 这种状态以高压、高温、高应变速率, 甚至高淬灭速率等为其特征。在高能量密度状态下, 所有物质都将呈现出其独特的力学、物理和化学行为的变化。这一研究无论对基础学科(如天体物理和化学、凝聚态物理、地球物理等), 还是对工程和技术学科(如材料科学、武器物理、能源科学等), 都有其重要意义。

对这一研究领域, 在我们的研究集体中, 我主要参与和领导了以下几方面的工作:

一、负责组建了我国实验设备及测试系统最为齐备的冲击波物理和爆轰物理实验室, 用于进行冲击波极端条件下凝聚态物质行为的基础性研究工作。实验设备达到的最高压力约为 500 吉帕, 即可进行高于地球中心压力(360 吉帕)状态下的研究工作。通过这组设备, 获得了大量的有关固体材料几百吉帕下的物态方程数据, 为国防科技的重要工程设计提供了必不可少的重要参数。近年来, 还进一步拓宽到高压物性、高压本构方程、动态损伤和破坏、冲击波化学等研究方向上, 取得了一批研究成果。

二、地下核爆炸是现今产生 1 太帕以上超高压高能量密度状态的唯一手段。在利用地下核爆炸环境的超高压物态方程实验技术研究中, 为了使在核爆近区强干扰背景下进行这一测量成为可能, 我们独立地解决了以下几项关键技术问题: 针对贯穿辐射对探头的损伤和破坏问题, 经过分析, 提出了“ γ 辐照感生电击穿”是主要导致电探针失效机制的见解, 给出的失效阈值为 10^{11} — 10^{12} 戈/秒, 解决了探头处核屏蔽设计的重要准则; 针对核爆电磁干扰的电磁屏蔽设计技术, 提出了应充分利用瞬态集肤效应的见解, 并根据实际核爆环境估算了瞬变项贡献值, 为利用“时间躲避”技术简化电磁屏蔽设计提供了理论依据; 利用“传输线类比”法分析和估算了外电流干扰场沿屏蔽管道的衰减规律, 为“局部双屏蔽”这一简化设计技术提供了理论依据。在以上基础上, 测得了一些材料的超高压物态方程的数据。

三、在冲击波的能量聚集系统研究中, 对半球形模型实验设计理论提出了“严重稀疏范围”概念, 从而拓宽了半球模型实验在聚能系统研究中的应用范围; 对超半球模型实验的“信号通道保护”技术研究, 提出了“相对保护”和“绝对保护”两种概念, 后经实验研究, “绝对保护”技术得到成功应用。这项成果, 对利用冲击波会聚方法产生高能量密度状态技术的研究工作, 至今仍有其重要意义。

在以上研究工作的基础上, 编写了《实验物态方程导引》专著。