

爆轰理论的新进展

爆轰波是化学反应波在炸药内以冲击波速度传播的过程。爆轰模型具有重要的理论和实践意义，是兵器高效毁伤技术、原子弹起爆设计、超新星 SN Ia 爆炸计算的理论基础。爆轰现象极为复杂，它同时涉及力学、化学和热力学过程，无数爆轰产物粒子做多维复杂运动，粒子间还存在摩擦、扩散和热传导等输运效应。描述如此复杂的图像非常困难，经典理论 ZND 模型将其简化成一维层流并忽略输运效应。实验发现，爆轰产物的多维复杂运动和输运效应在爆轰过程中起重要作用，更精确的爆轰模型应该考虑其存在。

西安近代化学研究所副研究员胡绍鸣等人提出用熵原理概括输运效应的结果，确定爆轰过程的终点；用 Hamilton 原理描述爆轰产物粒子复杂运动，确定有序能量耗散成热能的真实过程，建立了一种新的 LADM 爆轰模型 (Least Action Detonation Model)，发表于《中国科学：物理学 力学 天文学》2011 年第 10 期。

最小作用量原理是物理学的普遍法则，由它几乎可以导出基础物理学的全部方程：牛顿力学定律、光学的 Fermat 原理、Maxwell 电磁方程、离散系统的 Lagrangian 方程、量子力学的 Schrödinger 波动方程以及各种场的运动方程都可以从最小作用量原理导出。Hamilton 原理是力学中的最小作用量原理，与牛顿力学等效，适用于约束条件复杂的力学系统。胡绍鸣和李辰芳等首次将 Hamilton 原理扩展到爆轰学，分析爆轰产物系统的能量而不研究粒子之间力的关系，绕过了描述反应区粒子复杂多维运动并最终耗散成热能的难题，描述了爆轰阵面和终点之间发生的过程，建立了 LADM 爆轰模型。

考虑了复杂运动和输运效应后，LADM 模型描述的爆轰图像和 ZND 模型不一样。ZND 模型的化学反应区后是变

化的 Taylor 波，LADM 模型化学反应区后爆轰产物处于静止状态。用闪光 X 光观察植入药柱的钛箔在爆轰波中的位置变化，可以判断爆轰产物粒子的运动状况。X 光照片显示(图 1)，在反应区粒子运动造成的初始位移 1~2 mm 之后，箔片不再运动，爆轰产物处于静止状态，与 LADM 模型相符。

其实，能说明爆轰产物静止不动的数据、曲线和照片早就出现于爆轰文献，但因不符合 ZND 模型未受关注，更未被看作爆轰过程的固有属性。从静止状态导出的爆炸驱动模型因简单准确而也早就得到广泛应用，但其前提静止状态因不符合 ZND 模型而只能作为假设存在。

LADM 模型解决了很多 ZND 模型无法理解的“非理想爆轰”问题，又向爆轰科学提出一系列新的课题。

近年来爆轰学多关注爆轰现象的细观和微观结构，相比之下，LADM 模型更强调热力学第二定律决定的大方向，从总体上把握爆轰过程的本质。

LADM 模型从理论和实验说明，在考虑了复杂运动和输运效应后，爆轰过程将沿着与 ZND 模型不同的途径、达到与 ZND 模型不同的终点。

和 ZND 模型相比，LADM 模型的多个偏微分方程(组)解更能反映爆轰现象的多样性。而求解这些同时关联了力学、化学和热力学的偏微分方程(组)，也极富挑战性。

为计算 ZND 模型爆轰产物运动的 CJ 状态，提出了多种爆轰产物状态方程。在理论和实践都证明爆轰产物静止不动后，建立新的状态方程成为爆轰科学面临的重要课题。

在计算超新星 SN Ia “标准烛光”的爆炸过程时，发现 ZND 模型无法精确模拟这样复杂的过程，需要新形式的爆轰模型。具有多个微分方程解的 LADM 模型的有望用于该领域。

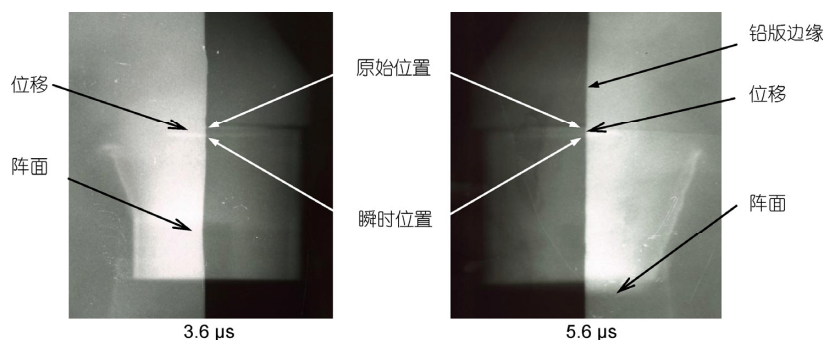


图 1 炸药柱内钛箔在不同时间的 X 光照片

(本刊讯)