

爆炸冲击波作用下屏蔽装药模型起爆判据研究

明路遥,李昌坤,程波,罗杰

(西南技术工程研究所,重庆 400039)

摘要:为了研究屏蔽装药在爆炸冲击波加载下的临界起爆判据,基于侧壁影响可忽略和一维平面冲击波的假设,采用将冲击波作用下的战斗部简化为屏蔽装药模型,在简化主发炸药的爆轰波波形的基础上,将主发炸药的作用等效为破片冲击过程的方法,得到了战斗部简化模型的冲击起爆判据,此判据为不敏感弹药的研究提供了理论基础。

关键词:爆炸冲击波;冲击起爆;判据

本文引用格式:明路遥,李昌坤,程波,等.爆炸冲击波作用下屏蔽装药模型起爆判据研究[J].兵器装备工程学报,2016(4):95-97.

Citation format: MING Lu-yao, LI Chang-kun, CHENG Bo, et al. Research on Initiation Criterion of Covered Charge Model Loaded by Explosive Shock Wave[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(4):95-97.

中图分类号: O389; TJ5

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2016)04-0095-03

Research on Initiation Criterion of Covered Charge Model Loaded by Explosive Shock Wave

MING Lu-yao, LI Chang-kun, CHENG Bo, LUO Jie

(Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

Abstract: In order to find out the initiation criterion of covered charge loaded by explosive shock-wave, based on the assumptions of side-wall having no effect on shock initiation and one dimensional plane shock, the warhead loaded by shock wave was simplified as covered charge model, and then by simplifying the shape of the detonation wave of donor charge, the effect of donor explosive was equivalent to projectile impact, and the initiation criterion of warheads simplified model was proposed, which lays a foundation of study on insensitive ammunition for the future.

Key words: explosive shock wave; shock initiation; criterion

近年来,随着国防工业对弹药在外界刺激下的稳定性的重视,弹药在不敏感方面的研究成为了一个热点。战斗部在冲击波作用下的响应作为弹药不敏感研究的重要方面,相关研究还鲜见报道^[1-6]。本研究从战斗部整体的角度出发,基于适度的假设,提出了爆炸冲击波作用下战斗部装药冲击起爆判据,为后续的深入研究奠定一定的理论基础。

1 战斗部受冲击波作用过程分析

战斗部受冲击波作用的场景很多,如弹药爆炸后产生的

冲击波作用于邻近弹药,又如弹药受到高速碰撞等。战斗部在受冲击波刺激后并非立即产生某种响应,而是在响应之前存在着复杂的与冲击波的作用过程,其示意过程如图1所示。

理论上,爆炸冲击波都是三维的,完全意义上的一维爆炸冲击波根本就不存在,然而三维冲击波与固壁间相互作用,以及冲击波相互之间的作用过程是非常复杂的,必须借助于数值模拟软件进行仿真分析,所以此处必须对冲击波作用于战斗部的问题进行合理简化,以便建立理论计算模型。假设:

- 1) 作为外界激励的冲击波是一维平面波;
 - 2) 经战斗部壳体耗散后的冲击波,除边沿局部受侧向稀疏波影响较严重外,中心区域仍可视为一维平面波。
 - 3) 当冲击波的作用半径远小于壳体尺寸时,平行于冲击波传播方向的侧壁对炸药装药的冲击起爆的作用可忽略。
- 因此,战斗部简化后的屏蔽装药模型如图2所示。

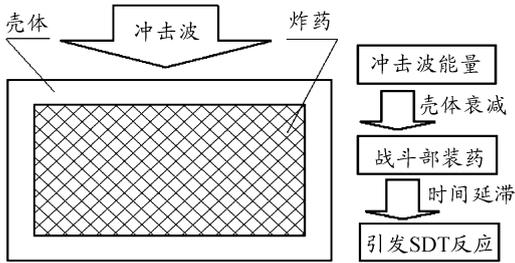


图1 冲击波作用战斗部与能量传递框图

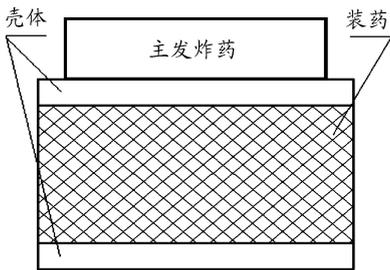


图2 简化战斗部冲击起爆模型

2 主发炸药爆炸冲击波的波形简化

在分析之前需对理论爆轰波的结构^[7](见图3)作一点简化,由于 von Neumann 峰在传入金属后就会立即耗散,例如当炸药与铝板接触爆炸时,von Neumann 在进入铝板 1.25 mm 处就完全消失了,所以在分析初始冲击波的耗散时,可以将图3压力波形中的阴影部分略去,也即是将爆炸冲击波转化为理论冲击波,其峰值平台为炸药的 C-J 压力。而根据冲击波理论可知,飞片垂直撞击金属固体平板时,形成的冲击波波形接近理论的波形,所以基于此做如下的近似处理:将爆炸冲击波的作用等效为某一速度下飞片的撞击作用,并取飞片的直径等于冲击波作用半径,在本模型中即为主发炸药的直径,该飞片的厚度近似与主发炸药的化学反应区厚度的 1/2 相等,且撞击壳体后的初始压力应与主发炸药的 C-J 爆压相等。

基于前述的假设和上述的近似,则冲击起爆判据的建立可按照飞片冲击起爆屏蔽装药(除了在冲击波作用方向的保护,没有其他约束)的过程来进行推导。



图3 爆轰波结构与压力波形

3 起爆判据的建立

据报道^[8],对给定的某种炸药,不仅其冲击起爆的能量阈值 E_c 是常数,而且无论该装药是屏蔽装药或是带壳装药,该常数不变。因此为建立判据式,在推导过程中需要 E_c 值(可来自冲击裸药试验)、进入炸药中的冲击波参数,以及冲击波被来自自由面的稀疏波的卸载速度。最后一个因素的重要性在于它决定了最大的冲击波能量储存于炸药中的时间点,也即是在此刻计算炸药单位面积上的能量(判据 E)。当 $E = E_c$ 时,屏蔽装药即达到临界爆轰。

此处设“飞片”、上侧壳体、炸药材料都遵守线性冲击绝热关系^[9]

$$D = C_{0i} + \lambda_i u + \beta u^3, \beta < 0 \quad (1)$$

式中: D 为冲击波速度; u 为冲击波作用下材料的质点速度; C_{0i} 为材料在压力为零时的声速; λ, β 均为与材料性质有关的常数;下标 $i=1,2,3$ 分别依次表示上述3个部件。

此处设 T 为初始冲击波到达上侧壳体/被发炸药界面的时间,则

$$T = d/D_2 \quad (2)$$

式中 d 为壳体的初始厚度。而在 T 时刻壳体的厚度 d' 将变为

$$d' = d(D_2 - u_2)/D_2 \quad (3)$$

取与飞片/壳体界面相对静止的坐标系(该界面相对实验室坐标系以速度 u_2 移动),在 $c_2 > c_1$ 或 $c_2 = c_1$ 时,那么来自平板边沿的稀疏波形成一个半径 $c_2 T$ 的弧(见图4)。在撞击时刻,此弧以板边沿为中心,它与壳体/被发炸药界面相交的点决定了冲击波开始传入炸药时的冲击半径 R_c ,弧的一般方程为

$$(c_2 T)^2 = x^2 + (R_0 - R)^2 \quad (4)$$

式中: x 为从飞片/上侧壳体界面开始的垂直距离; R_0 为飞片的初始半径,也即为冲击波初始作用半径; R 为对应于 x 处的半径。以 d' 代替 x 带入式(4)并整理得 R_c 为

$$R_c = R_0 - \{c_2^2 - (D_2 - u_2)^2\}^{1/2} d/D_2 \quad (5)$$

当 $R_c = 0$,临界壳体厚度(超过此值将没有初始冲击波

传入炸药 d_c ,也可表示为

$$d_c = R_0 D_2 / \{c_2^2 - (D_2 - u_2)^2\}^{1/2} \quad (6)$$

由此可以注意到,应用冲击起爆的 E_c 判据含义,当壳体厚度略比 d_c 小时,爆轰反应将不能持续。其原因在于给定的 E_c 值在某一冲击速度下需要一个冲击半径承担(而 d_c 对应于零半径),而此时的作用半径非常小。若冲击半径更小,那么响应的等级只能是非爆轰反应。

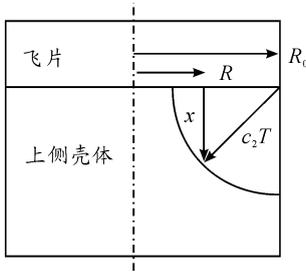


图4 冲击波卸载示意图

受初始冲击波作用的炸药的体积由冲击波对炸药的侵入深度、稀疏波引起的侧向收缩和壳体所决定。冲击波的侵入深度 L 为

$$L = (D_3 - u_3)t \quad (7)$$

式中 t 为冲击波到达炸药界面后的时间。事实上,计算受冲击作用炸药的形状的理论体积是非常复杂的,由于其受到两组稀疏波的综合作用,一为来自飞片自由端的追赶稀疏波,另一为来自壳体侧边沿的稀疏波。所以还需进行合理地简化以完成判据的建立。

破片冲击炸药临界起爆判据^[10]为

$$E = put_0 \quad (8)$$

式中 t_0 为受冲击体积达到最大值的时间,起点为冲击波到达壳体/炸药界面。对于裸炸药的撞击其值为 $R_0/3c_3$ ^[8],此处作一个类比,得 t_0 的一阶近似

$$t_0 = R_0/3c_3 \quad (9)$$

所以对于屏蔽装药,有

$$E = Pu_3 R_c / (3c_3) \quad (10)$$

代入可得

$$E = Pu_3 \{R_0 - [c_2^2 - (D_2 - u_2)^2]^{1/2} d / D_2\} / (3c_3) \quad (11)$$

此即为屏蔽装药在一维平面冲击波作用下的起爆判据,当 $E = E_c$ 时为临界爆轰。

4 结束语

从一维平面波假设出发提出的屏蔽装药模型的冲击起爆判据,简化了三维冲击过程,同时考虑了冲击波的传播过程和壳体材料参数对起爆判据的影响,能够较可靠地反映屏蔽装药模型抵抗冲击起爆的能力。为使得起爆判据更接近真值,仍需要对冲击起爆过程和机理进行深入研究。

参考文献:

- [1] 许学忠,刘家骢. 深水环境中水下爆炸冲击波作用下圆柱壳动态响应的数值模拟研究[J]. 振动与冲击, 2012(5): 160-165, 182.
- [2] 陈军,曾代明,孙承伟,等. JB-9014炸药超压爆轰产物的状态方程[J]. 爆炸与冲击, 2010, 30(6): 583-587.
- [3] 王芳,冯顺山,俞为民. 爆炸冲击波作用下靶板的塑性大变形响应研究[J]. 中国安全科学学报, 2013(3): 61-64, 84.
- [4] 贾宪振,陈松,杨建,等. 双破片同时撞击对B炸药冲击起爆的数值模拟研究[J]. 高压物理学报, 2011, 25(5): 469-474.
- [5] 陈卫东,张忠,刘家良. 破片对屏蔽炸药冲击起爆的数值模拟和分析[J]. 兵工学报, 2011, 30(9): 1187-1191.
- [6] 章冠人,陈大年. 凝聚炸药起爆动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
- [7] Marc Andre Meyers. 材料的动力学行为[M]. 张庆明,刘彦,黄风雷,等译. 北京: 国防工业出版社, 2006: 128-188.
- [8] COOK M D, HASKINS P J, JAMES H R. Projectile impact initiation of explosive charges[C]//Proceeding of 9th symposium(inter) on detonation. [S. l.]: [s. n.], 1989: 1441-1449.
- [9] 谭华. 实验冲击波物理导引[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [10] JAMES H R. Critical energy criterion for the shock initiation of explosives by projectile impact[J]. Propellants, explosives, pyrotechnics, 1988(13): 35-41.

(责任编辑 周江川)