

doi: 10.7690/bgzdh.2021.04.003

多模毁伤元成型及侵彻的数值模拟研究

张 渝, 尹建平, 王雪飞, 刘亚昆

(中北大学机电工程学院, 太原 030051)

摘要: 为实现“一弹多用”的战术目的, 提出一种多模战斗部。战斗部外层采用高爆速炸药、内层采用低爆速炸药的复合聚能装药结构, 通过改变起爆点的位置, 改变作用于药型罩的爆轰波形状, 并利用 ANSYS/LS-DYNA 数值模拟软件研究内、外药型罩罩顶壁厚匹配对 PELE/EFP 多模毁伤元成型及侵彻性能的影响规律。结果表明: 带隔板聚能装药结构可有效实现 PELE/EFP 多模毁伤元的转换, 当外层药型罩罩顶壁厚为 0.037CD 时, 多模毁伤元成型及侵彻效果最优。

关键词: 多模毁伤元; 药型罩; 成型装药; 侵彻

中图分类号: TJ410.3 **文献标志码:** A

Numerical Simulation Research on Forming and Penetration of Multi-mode Damage Element

Zhang Yu, Yin Jianping, Wang Xuefei, Liu Yakun

(School of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: In order to achieve the tactical purpose of “one projectile multi-purpose”, a multi-mode warhead is proposed. The warhead adopts a composite shaped charge structure with high detonation velocity explosives in the outer layer and low detonation velocity explosives in the inner layer. By changing the position of the initiation point, the shape of detonation wave acting on the liner is changed. At the same time, ANSYS/LS-DYNA numerical simulation software is used to study the influence of top wall thickness matching of inner and outer liner on PELE/EFP multi-mode damage element forming and penetration performance. The results show that the PELE/EFP multi-mode damage element can be converted effectively by the shaped charge structure with separator. When the top wall thickness of the outer liner is 0.037CD, the forming and penetration effect of the multi-mode damage element is the best.

Keywords: multi-mode damage element; liner; shaped charge; penetration

0 引言

现代战争中, 目标多样性是主要的特点之一, 传统单模战斗部在面对各类新型装甲目标时显得力不从心, 甚至出现击而不毁的情况。为有效解决作战载体的有限装弹量和战场目标日益多样化之间的矛盾, 实现“一弹多用”的战术目的, 以及命中即毁伤的作战要求, 多模转换战斗部应运而生。

现有的多模战斗部多以杆式射流 (jetting projectile charge, JPC) 为中间载体^[1-4], 实现聚能射流 (shaped charge jet, JET) 与 JPC、JPC 与爆炸成型弹丸 (explosive formed projectile, EFP) 之间的相互转换, 以 Li W B 为代表的学者们^[5-7]分析了多模战斗部单点起爆与环起爆条件下药型罩的压垮过程, 得到了多模战斗部的最佳装药结构参数, 并通过改变不同的起爆方式, 实现 JET、JPC 和 EFP 之间的相互转换。随着装甲防护技术的发展, 上述 3 种传

统聚能毁伤元在面对新式轻型装甲目标如步兵战车、轮式装甲车等, 会出现毁伤后效不足的问题, 难以对装甲内部目标形成有效杀伤, 改进传统聚能战斗部的毁伤模式是必然选择。

基于智能化弹药的发展理念, W·Arnold 等^[8]在 28 届国际弹道会议上提出了一种多模战斗部, 通过不同的起爆序列能够形成类似于横向效应增强弹 (penetrator with enhanced lateral efficiency, PELE) 的横向效应增强射弹与 EFP 之间转换的多模毁伤元, 但其概念提出后, 后续并没有相关研究报告跟进。传统的 PELE 弹丸由外壳和内芯 2 部分组成, 外壳为高密度材料, 内芯为低密度材料, 由于 2 种材料的侵彻能力不同, PELE 弹丸侵彻过程中, 内芯受靶板和外壳的挤压, 内芯受到不断升高的压力从而对外壳产生了径向作用力使得对靶板的开孔较大。文中得到的 PELE 模式毁伤元, 不是传统意义上由身

收稿日期: 2020-11-17; 修回日期: 2021-01-10

作者简介: 张 渝(1994—), 男, 重庆人, 硕士, 从事弹药毁伤技术研究。E-mail: 532635898@qq.com。

管武器发射的 PELE 弹丸，而是由聚能装药爆炸载荷压垮形成，具有更高的初速。战斗部设计过程中采用了外层为高爆速炸药，内层为低爆速炸药的复合装药。张先锋等^[9]和 Wang Z 等^[10]研究表明：复合装药中射流头部速度相比普通装药可提高 30% 以上；Liu Y K 等^[11-12]研究表明：复合装药中超压爆轰强度由内外炸药爆速和多方指数共同决定。此外，PELE/EFP 多模战斗部还采用了双层药型罩结构，郑宇等^[13-14]对双层药型罩形成串联毁伤元进行了较为系统的分析，并初步给出了双层药型罩的压垮机理和最终速度分析模型。

基于以上背景，为改进现有传统聚能战斗部的毁伤模式，笔者将多模转换技术同复合装药技术和双层药型罩技术相结合，得到 PELE/EFP 多模毁伤元，并对多模毁伤元成型及侵彻性能开展研究。研究结果可为聚能战斗部的设计提供新思路。

1 多模战斗部结构设计及爆轰波传播机理

聚能毁伤元的成型状态主要取决于作用于药型罩的爆轰波形状，多模战斗部通过控制不同的起爆序列，得到在装药内传播的不同爆轰波形状。药型罩微元初始速度可根据瞬时爆轰理论^[15]求得：

$$v^i = \rho_j (d/2 - y_i) / \sqrt{k^2 - 1} \rho g(x^i) D. \quad (1)$$

其中： v^i 为药型罩微元速度； ρ_j 为炸药密度； d 为装药直径； ρ 为药型罩材料密度； $g(x^i)$ 为微元轴向厚度； D 为炸药爆速。

药型罩微元的速度方向并不是垂直于微元表面，而是沿着与微元表面法线方向呈一定的角度 δ 运动，在已知微元的压垮速度 v^i 时， δ 可近似由下式求取，其中 φ 是爆轰波在药型罩微元表面的入射角。

$$\delta = \arcsin(v^i \sin \varphi / 2D). \quad (2)$$

由上式可知：药型罩微元的速度大小和速度方向与爆轰波的入射角密切相关，作用于药型罩表面的不同爆轰波形，可实现药型罩的不同压垮变形过程。

1.1 战斗部结构及几何模型

多模战斗部采用的装药结构分为内、外 2 部分，外层部分装药为杯状结构的高爆速炸药，内层部分装药为柱状结构的低爆速炸药；药型罩采用次口径变壁厚弧锥结合设计。变壁厚次口径药型罩可使毁伤元在成型时具有更好的形态及侵彻能力^[16-17]，规

定药型罩远离炸药的一侧为内层罩，靠近炸药的一侧为外层罩。

战斗部采用无壳体装药设计。图 1 所示为战斗部几何模型，装药直径为 100 mm，装药高度为 0.6 CD，外层罩直径为 0.84 CD，内层罩直径为 0.82 CD，外层罩罩顶厚度为 0.057 CD，内层罩罩顶厚度为 0.055 CD，外层罩外锥角与外曲率半径分别为 118° 与 50 mm，内层罩内锥角与内曲率半径分别为 148° 与 100 mm，内、外层药型罩相邻表面的锥角与曲率半径分别为 141.41° 与 40.71 mm，内层炸药直径为 0.48 CD，隔板的直径与厚度分别为 0.54 CD 与 0.08 CD，隔板距外层罩罩顶距离为 0.2 CD。

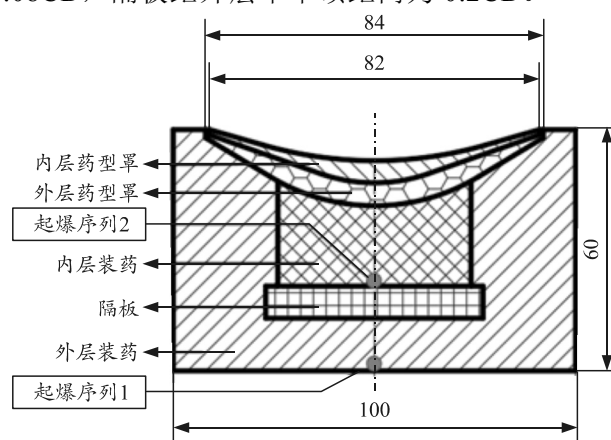


图 1 战斗部结构几何模型

1.2 爆轰波传播过程分析

由研究团队前期研究结果^[11-12]可得复合装药相比普通单一装药的一系列优势。如图 2(a) 所示，在带隔板聚能装药中，普通装药在隔板性能较优的情况下，可在主装药内碰撞形成马赫波，但随着传播距离的增加，马赫波最终会衰减为球面波传播。如图 2(b) 所示，复合装药无论隔板性能如何，都可以在装药内部形成超压爆轰波，并根据内外层炸药爆速差异的大小，最终在装药内部以不同超压爆轰强度的喇叭波形传播，且在相同的传播距离上，复合装药不仅增加了爆轰强度，同时减小了爆轰波在药型罩表面的入射角。

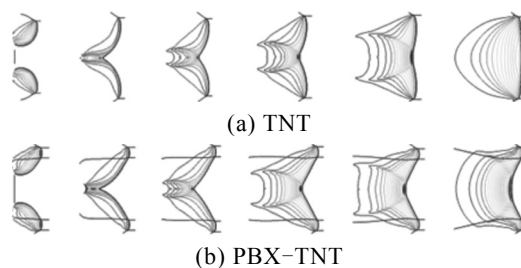


图 2 单一装药与复合装药的爆轰波传播比较

与传统的战斗部相比，多模战斗部根据起爆序列的不同可以形成向前压垮的包覆型 EFP(EFP 模式)和类似于横向效应增强弹的横向效应增强射弹(PELE 模式)。EFP 模式和 PELE 模式成型过程的相似之处在于，它们都是双层结构的药型罩在爆轰波作用下向前弯折形成；不同之处在于因为起爆序列不同，EFP 模式下爆轰波前沿绕过隔板呈环状传播至药型罩，如图 3(a)所示，迫使药型罩外圈率先变形并向前弯折形成速度较高且长径比较大的毁伤元；PELE 模式下爆轰波前沿直接作用于药型罩，如图 3(b)所示，形成速度较低且长径比也较小的包覆型毁伤元。

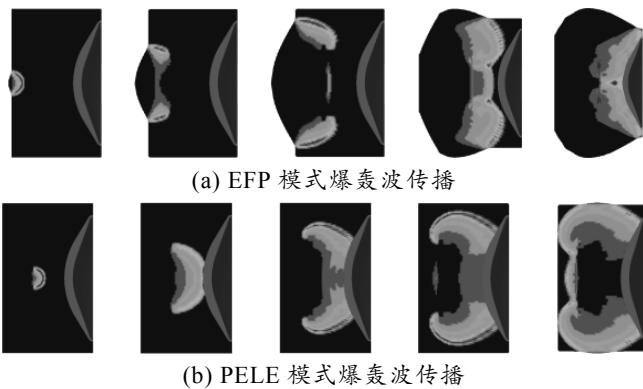


图 3 EFP/PELE 模式下爆轰波传播过程

2 数值计算模型

2.1 有限元网格模型

由于物理模型具有轴对称特点，为提高分析效率，笔者利用 TrueGrid 软件建立 1/4 有限元模型进行数值计算，且对药型罩的网格加密。如图 4 所示，建立覆盖整个毁伤元飞行范围的空气域，并在边界节点上施加非反射边界条件，避免压力在边界上的反射。

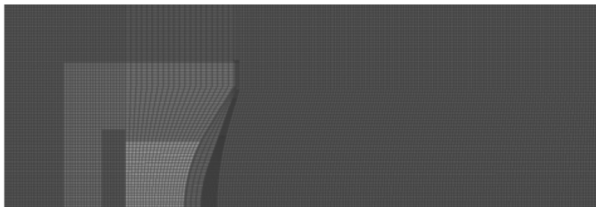


图 4 战斗部有限元模型

大量研究表明，仿真算法对计算结果的准确性有重要影响。此模型采用多物质任意拉格朗日-欧拉(arbitrary Lagrangian Eulerian, ALE)算法。多物质 ALE 算法适用于复杂几何模型，与 Euler 算法类似，不同的是 ALE 算法中空间网格可以任意流动。ALE 计算时先执行一个或几个 Lagrange 时间

步计算，此时单位网格随材料流动可以任意变形，然后执行 ALE 时间步计算，所以非常适合描述大变形问题和爆轰产物的膨胀过程。

2.2 材料模型选择及参数选取

多模战斗部的内层装药为爆速较低的 B 炸药，外层装药为爆速较高的 PBX 炸药，起爆的炸药采用 High Explosive Burn 本构模型及 JWL 方程联合描述，被冲击起爆的炸药则采用 Elastic Plastic Hydro 本构模型和 Ignition and Growth of Reaction in HE 方程进行描述，材料参数全部来自 Autodyn 材料库，具体参数如表 1—4 所示。

表 1 炸药的 High Explosive Burn 本构模型参数

材料	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$D/(\text{cm}\cdot\mu\text{s}^{-1})$	P_{C-J}/Pa
B 炸药	1.717	0.798	33
PBX 炸药	1.840	0.880	37

表 2 炸药的 JWL 状态方程参数

材料	A/Pa	B/Pa	R_1	R_2	ω
B 炸药	524.23	7.678	4.2	1.1	0.34
PBX 炸药	852.40	18.020	4.1	1.3	0.38

表 3 炸药的 Elastic Plastic Hydro 本构模型参数

材料	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	G/Pa	SIGY/Pa
B 炸药	1.717	3.50	2
PBX 炸药	1.840	4.54	2

表 4 炸药的 Ignition and Growth of Reaction in HE 方程参数

材料	$I/\mu\text{s}^{-1}$	b	a	x	G_1	c
B 炸药	44	0.222	0.01	4	414	0.222
PBX 炸药	7.3E11	0.667	0	20	3.1	0.667

材料	d	y	G_2	e	g	z
B 炸药	0.667	2	0	0	0	0
PBX 炸药	0.111	1	400	0.333	1	2

药型罩内层罩材料为 2024 铝，外层罩材料为紫铜，隔板材料为泡沫铝，靶板材料为 4340 钢，材料模型都选用 Plastic Kinematic，具体参数如表 5 所示。

表 5 药型罩、隔板及靶板的材料参数

材料	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	E/Pa	PR	SIGY/Pa
紫铜	8.960	137.00	0.345	0.12
2024 铝	2.785	73.08	0.330	0.26
泡沫铝	1.040	0.01	0.330	0.40
4340 钢	7.830	206.00	0.280	0.79

3 数值模拟结果分析

3.1 成型过程分析

EFP 模式毁伤元的成型过程如图 5(a)所示，当战斗部以爆炸序列 1 起爆时，外层杯状高爆速装药首先被引爆，接着爆轰波绕过隔板引爆内层柱状低爆速装药，内外层装药中传播的爆轰波交汇时会形

成马赫波，接着马赫波继续向前传播并开始压垮药型罩。由于双层药型罩采用变壁厚设计，药型罩顶部厚度远大于底部厚度，当爆轰波传递至药型罩时，药型罩底部微元的轴向速度明显大于顶部的轴向速度。此时，高密度的外层罩包裹着低密度的内层罩，罩壳中部速度较低，边部速度较高并向对称轴收拢，成为毁伤元的头部，EFP 成型完毕。

PELE 模式毁伤元的成型过程如图 5(b)所示，当战斗部以爆炸序列 2 起爆时，内层柱状低爆速装药首先被引爆，爆轰波直接作用于双层药型罩，由于药型罩顶部厚度远大于底部厚度，药型罩底部微元的轴向速度大于顶部的轴向速度，因此也形成向前压拢的毁伤元。不同之处在于，PELE 模式下装药起爆后传递给药型罩的能量较少，形成的毁伤元速度较低、长径比较小，高密度的外层罩成为毁伤元的外壳，低密度的内层罩成为毁伤元的填充物，结构类似横向效应增强弹；因此，在侵彻轻装甲目标时会产生一定的横向效应。

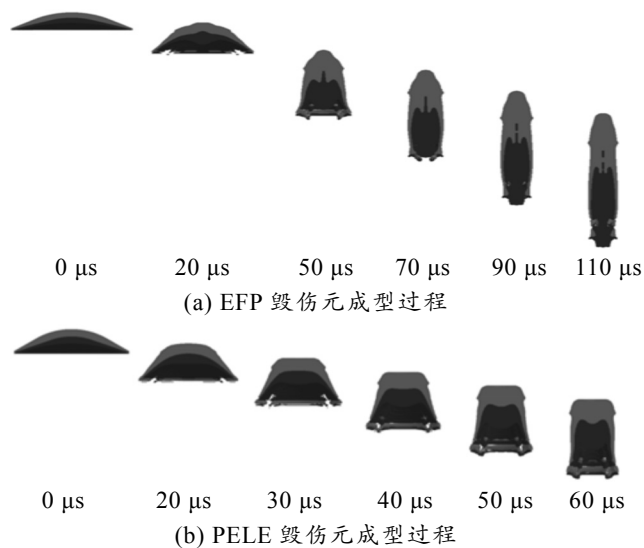


图 5 毁伤元成型过程

3.2 侵彻结果分析

由于 EFP 模式下毁伤元成型所需时间较长，为了使毁伤元完全成型后再侵彻靶板，将靶板置于战斗部 3 倍炸高处，靶板厚度为 70 mm；而 PELE 模式下毁伤元成型所需时间较短，将靶板置于战斗部 2 倍炸高处，靶板厚度为 22 mm。

在 EFP 模式下，仿真得到着靶时毁伤元长度为 173.83 mm，长径比为 8.52，头部速度为 2 102 m/s。侵彻过程如图 6(a)所示，可以看出：毁伤元在着靶时长径比很大，但已经被拉断。这是由于内层罩较薄，在成型过程中内层罩形成的填充物主要集中在

毁伤元中部及头部且速度较大，外层罩则形成前中段的包覆物及速度较低且密实的尾部。从图中可以看到，毁伤元对靶板开孔可以分为 2 个阶段：1) 毁伤元的前半部分作用于靶板，由于毁伤元前半部分有内层罩形成的填充物，在侵彻时会有一定的扩孔作用；因此，该阶段的开孔直径较大；2) 填充物作用结束后，毁伤元密实的尾部继续侵彻靶板；因此，靶板开孔的出口直径比入口直径小很多。由于材料为紫铜的外层罩较厚，毁伤元在穿透靶板后残余部分较多，并且使靶板形成的冲塞块破碎成破片，使其拥有一定的二次杀伤效果。最终测得靶板开孔的入口直径为 42.2 mm、出口直径为 27.6 mm。

在 PELE 模式下，仿真得到着靶时毁伤元长度为 98.47 mm，长径比为 3.36，头部速度为 1 715 m/s。侵彻过程如图 6(b)所示，可以看出：在侵彻靶板前毁伤元头部的填充物很少，内层罩形成的填充物主要集中在毁伤元的中部；因此，在开坑阶段几乎没有产生扩孔作用，靶板的开孔直径较小。随着侵彻过程的继续，毁伤元中部的填充物接触到靶板后开始膨胀挤压外壳，靶板的开孔直径逐渐变大。毁伤元穿透靶板后残余少量外壳，与靶板形成的冲塞块贴合在一起，使其具有一定的后效杀伤能力。最终测得靶板开孔的入口直径为 35.4 mm、出口直径为 41.8 mm。

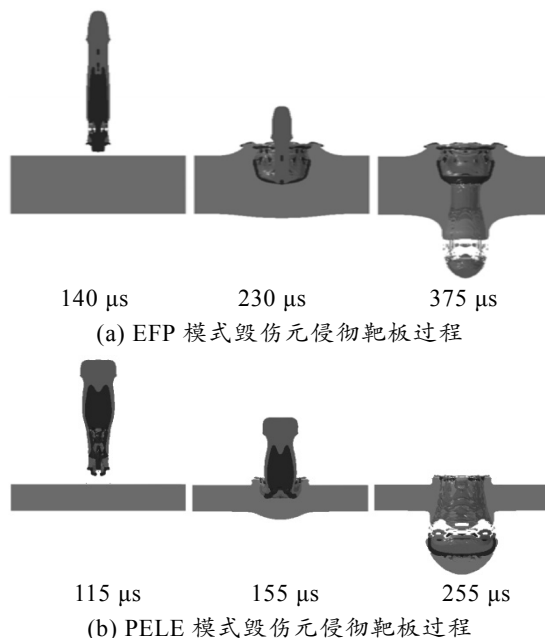


图 6 毁伤元侵彻靶板过程

通过 2 种模式下毁伤元侵彻靶板的结果可以看出：多模战斗部形成的毁伤元侵彻能力良好，穿透靶板后还有少量的残余毁伤元可以进行二次杀伤。

PELE 模式下的毁伤元在侵彻靶板时扩孔效果较差。这是因为毁伤元中填充物占比太少、材料密度较大^[18]以及毁伤元速度较高,填充物还没有充分挤压毁伤元外壳就穿透了靶板;因此,可以增加内层罩壁厚,使毁伤元成型时填充物占比更大以及填充物选择密度更小的非金属材料。

3.3 内、外药型罩罩顶壁厚影响

由于双层药型罩为变壁厚弧锥结合罩,药型罩

的大部分质量集中在顶部,因此改变填充物占比最直接的方法是改变药型罩罩顶厚度。在双层药型罩总厚度不变的情况下,改变内、外层药型罩罩顶的厚度,外层罩罩顶厚度 δ_1 分别取 0.017CD、0.027CD、0.037CD、0.047CD,内层罩罩顶厚度 δ_2 对应取 0.095CD、0.085CD、0.075CD、0.065CD。得到毁伤元在着靶前的成型形态如图 7 所示,具体成型参数如表 6 所示。

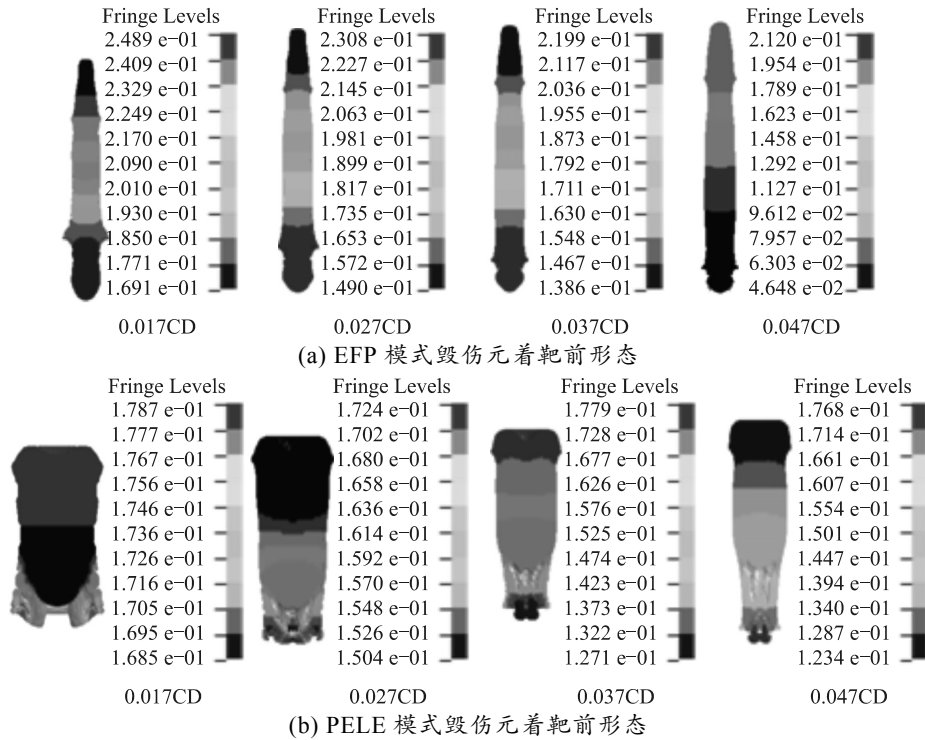


图 7 毁伤元着靶前形态

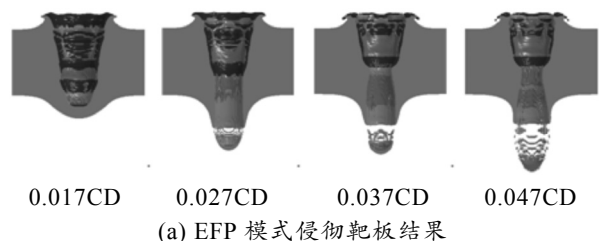
表 6 毁伤元着靶前成型参数

模式	外层罩罩顶厚度 δ_1	毁伤元长度/mm	长径比	毁伤元头部速度/($m \cdot s^{-1}$)
EFP	0.017CD	148.40	4.79	2 489
	0.027CD	157.32	6.03	2 308
	0.037CD	159.99	6.81	2 199
	0.047CD	165.22	8.47	2 120
	0.057CD	173.83	8.52	2 102
PELE	0.017CD	56.49	1.59	1 787
	0.027CD	70.78	2.19	1 724
	0.037CD	83.85	2.76	1 779
	0.047CD	91.75	3.09	1 768
	0.057CD	98.47	3.36	1 715

从表中可以看出: EFP 模式时随着高密度的外层罩占比增加,毁伤元的长度和长径比均随之增加,毁伤元头部速度逐渐减小。PELE 模式时随着高密度的外层罩占比增加,毁伤元的长度和长径比均随之增加,而头部速度几乎没有变化。这是由于紫铜的密度较高且延展性好,在毁伤元成型时高密度的外层罩会吸收更多来自炸药传递的能量,但是整体

速度却不会增加。而外层罩罩顶厚度小于 0.037CD 时,外层罩形成的外壳被拉断成几段导致不能包裹住填充物,因此在战斗部设计时,外层罩罩顶厚度不应小于 0.037CD。

不同的内、外罩罩顶厚度形成的毁伤元侵彻结果如图 8 所示。从图中可以看出: δ_1 为 0.017CD 时,2 种模式的毁伤元都不能穿透靶板,因为内层罩占比太大,2024 铝作为药型罩材料其侵彻能力并不强;而随着外层罩罩顶厚度继续增加,毁伤元均能穿透靶板,且穿透靶板后残余的毁伤元随之增多。



(a) EFP 模式侵彻靶板结果

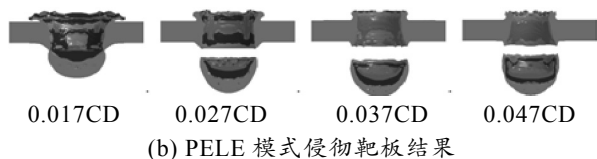


图8 多模毁伤元侵彻靶板结果

靶板的开孔直径如表7所示,随着 δ_1 的增加,毁伤元对靶板的开孔直径均随之减小。在EFP模式时,靶板的入口开孔直径减小趋势在 δ_1 小于0.037CD时较缓, δ_1 在大于0.037CD时减小趋势较快,而靶板的出口开孔直径减小幅度并不大。因为侵彻过程的前半段发生了明显的扩孔作用,毁伤元中的填充物占比对开孔直径影响较大,而侵彻过程的后半段都是由毁伤元剩下的致密尾部进行侵彻,所以靶板的出口开孔直径并没有明显减小。PELE模式时,整个侵彻过程填充物一直在挤压毁伤元外壳,靶板的进出口开孔直径都较大。靶板的入口开孔直径减小趋势呈先大后小,出口的开孔直径减小趋势呈先小后大。综合多模毁伤元成型状态及侵彻靶板结果, δ_1 取0.037CD最佳。

表7 靶板开孔直径

模式	外层罩罩顶厚度 δ_1	入口直径/mm	出口直径/mm
EFP	0.017CD	54.2	—
	0.027CD	52.2	29.4
	0.037CD	50.2	29.1
	0.047CD	47.6	28.6
	0.057CD	42.2	27.6
PELE	0.017CD	68.2	—
	0.027CD	54.2	55.1
	0.037CD	45.6	51.5
	0.047CD	37.6	49.8
	0.057CD	35.4	41.8

4 结论

笔者运用LS-DYNA有限元仿真软件对多模毁伤元的成型及侵彻过程进行数值模拟,并研究了内、外药型罩罩顶壁厚对毁伤元成型及侵彻的影响,得到以下结论:

1) 笔者设计的多模战斗部结构在起爆序列不同时可以实现毁伤元模态转换,形成2种不同的包覆式毁伤元。

2) 多模战斗部形成的EFP毁伤元长度、长径比及整体速度都较大,具有较强的侵彻能力;形成的PELE毁伤元长度、长径比及整体速度都较小,对靶板的扩孔效果较好。

3) 随着外层罩罩顶厚度的增加,多模战斗部形成的毁伤元长度和长径比均增加,而头部速度随之减小;毁伤元对靶板的开孔直径也随之减小但侵彻能力更强。

参考文献:

- [1] 李文彬. 成型装药多模战斗部设计原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 3-6.
- [2] 高伟, 周宝平, 蒋道建, 等. 多模战斗部的毁伤元转换技术研究[J]. 战术导弹技术, 2018(3): 116-122.
- [3] 高伟. 一种多模战斗部的数值模拟与试验研究[D]. 绵阳: 中国工程物理研究院, 2018: 1-6.
- [4] 樊雪飞, 李伟兵, 王晓鸣, 等. 爆轰驱动钽药型罩形成双模毁伤元仿真与试验研究[J]. 兵工学报, 2017, 38(10): 1918-1925.
- [5] LI W B, WANG X M, LI W B. Method of converting a multimode penetrator through point initiation[J]. Combustion Explosion and Shock Waves, 2012, 48(6): 718-723.
- [6] LI W, WANG X, LI W, et al. Research on the optimum length - diameter ratio of the charge of a multimode warhead[J]. Shock Waves, 2012, 22(3): 265-274.
- [7] LI W, WANG X, LI W. The effect of annular multi-point initiation on the formation and penetration of an explosively formed penetrator[J]. International Journal of Impact Engineering, 2010, 37(4): 414-424.
- [8] ARNOLD W, ROTTENKOLBER E, HARTMANN T. Axially switchable modes warheads[C]//28th International Symposium on Ballistics. ATLANTA, SEPTEMBER 22-26, 2014: 289-300.
- [9] 张先锋, 丁建宝, 赵晓宁. 夹层聚能装药作用过程的数值模拟[J]. 爆炸与冲击, 2009, 44(6): 60-67.
- [10] WANG Z, JIANG J W, WANG S Y. Jet Formation and Penetration Study of Double-Layer Shaped Charge[J]. Journal of Energetic Materials, 2017, 36(2): 1-17.
- [11] LIU Y K, YIN J P, WANG Z. Study on Overdriven Detonation of Double-Layer Shaped Charge[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2019, 44(13): 1-14.
- [12] LIU Y K, YIN J P, WANG Z. Study on the overdriven detonation wave propagation in double-layer shaped charge[J]. Physics of Fluids, 2019, 31(9): 1-14.
- [13] 郑宇, 王晓鸣, 李文彬. 材料对双层药型罩形成串联EFP的影响[J]. 兵器材料科学与工程, 2009, 32(1): 38-41.
- [14] 郑宇. 双层药型罩毁伤元形成机理研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008: 50-99.
- [15] 林加剑. EFP成型及其终点效应研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2009: 51-56.
- [16] 张毅, 苟瑞君, 陈亚红, 等. 变壁厚药型罩对爆轰波对撞EFP成型影响的数值模拟研究[J]. 兵器材料科学与工程, 2015, 38(2): 40-43.
- [17] 李慧子, 李伟兵, 李文彬, 等. 优化设计次口径球缺罩成形装药结构[J]. 火工品, 2009(5): 16-19.
- [18] 朱建生. 横向效应增强型侵彻体作用机理研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008: 42-45.