

doi: 10.7690/bgzdh.2022.10.002

## 简易被帽结构弹丸的穿甲性能研究

蒋学乔, 吴树雄, 李文武, 胡晓东, 赵保全, 刘苗苗, 芮亮  
(重庆红宇精密工业集团有限公司研究所, 重庆 402760)

**摘要:** 针对穿甲弹侵彻时的性能问题, 给出一种简易被帽设计方法。描述低速穿甲跳弹的基本因素, 阐述简易被帽结构的设计原理, 介绍对倾斜穿甲性能的影响, 通过合理设置预分离截面大小, 从而增大倾斜穿甲角度。采用数值分析和飞行试验进行验证, 结果表明: 该方法可避免倾斜穿甲时弹丸跳弹和保护弹体主体侵彻结构在碰击目标时不破碎, 提升了弹丸约 10% 的穿甲能力。

**关键词:** 简易被帽; 穿甲性能; 预分离截面

**中图分类号:** TJ413<sup>+</sup>.2 **文献标志码:** A

## Study on Armor Piercing Performance of Projectile with Simple Quilt Cap Structure

Jiang Xueqiao, Wu Shuxiong, Li Wenwu, Hu Xiaodong, Zhao Baoquan, Liu Miaomiao, Rui Liang  
(Research Institute, Chongqing Hongyu Precision Industrial Co., Ltd., Chongqing 402760, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of penetration performance of armor piercing projectile, a simple quilt cap design method is given. This paper describes the basic factors of low-speed armor-piercing ricochet, expounds the design principle of simple quilt cap structure, and introduces the influence on inclined armor-piercing performance. The numerical analysis and flight test results show that the method can prevent the projectile from ricocheting and protect the main penetration structure of the projectile from breaking when hitting the target, and improve the penetration ability of the projectile by about 10%.

**Keywords:** simple quilt cap; armor piercing performance; preseparation section

### 0 引言

穿甲是指高速或超高速运动的弹体对目标侵彻的运动过程<sup>[1-2]</sup>。穿甲及装甲防护问题历来是军事科学家和兵器设计者重视的问题。从 19 世纪起, 穿甲弹随着钢甲兵舰的出现而问世, 在此后的 200 年里, 随着科技水平的提高, 穿甲弹和装甲防护这对相互制约的矛盾事物总是交替领先地出现在海、陆、空战场上, 一直发展到现今水平。随着现代战场装备的升级, 坦克、军舰、自行火炮等武器的防护装甲均带有倾斜角, 故穿甲弹设计时不可避免地要考虑增加防跳弹结构的设计情况。

### 1 设计原理

#### 1.1 低速穿甲跳弹的基本因素

所谓跳弹, 就是侵入或者碰击介质后, 又从介质表面跳出并继续在空中运动的弹丸。跳弹在倾斜侵彻时才会产生, 能否产生跳弹的主要因素在于靶板厚度、侵彻倾角和弹丸的能量、结构, 也就是能否快速地将靶板抗力产生的力矩转变成弹丸转正力矩。

现代坦克的前装甲倾角均大于  $30^\circ$ <sup>[3]</sup>, 低速弹丸

碰击前装甲时, 往往在装甲板上划了一条浅沟而“跳飞”出去。对于普通尖头穿甲弹大倾角斜穿甲, 跳飞的情况更多发生在弹丸碰靶时着靶速度较低和初始着靶面积较小时, 其中着靶速度对侵彻、穿透的影响是最大的<sup>[4]</sup>。对于确定某一速度, 在弹体和靶板强度相当时, 弹丸倾斜穿甲的能量消耗主要出现在碰靶时弹头的磨损和持续侵入靶板。

#### 1.2 设计思路

弹体在倾斜侵彻过程中, 受力非完全对称<sup>[5-8]</sup>。钝头穿甲弹较尖头穿甲弹增加了靶板接触面积, 改善了着靶时受力状态, 使弹体侵彻时在受到轴向阻力的同时弯矩更大, 进而降低了跳弹风险<sup>[9]</sup>。被帽穿甲弹在碰撞目标时被帽和靶板同时损坏, 从而弹体主结构以较小的阻力继续侵彻<sup>[10]</sup>。大量资料及文献表明钝头穿甲弹穿甲过载很大, 加大了设计困难, 降低了装填系数; 被帽穿甲弹的被帽一般采用焊接再局部淬火, 加工实现较复杂。

大量试验证明, 在低速倾斜侵彻均质装甲中厚板时, 随着不断侵入, 尖头穿甲弹弹头部会大量磨损, 磨损后的弹头直径约在  $0.3 \sim 0.5 d$ 。综合试验

收稿日期: 2022-06-01; 修回日期: 2022-07-20

作者简介: 蒋学乔(1989—), 男, 四川人, 工程师, 从事战斗部结构与高效毁伤研究。E-mail: Kqiao86@163.com.

结果，结合被帽穿甲弹的设计思路，设计一种简易被帽穿甲弹：将钝头穿甲弹和被帽穿甲弹被帽结合一体化设计，弹丸外形仍采用尖头。弹丸结构如图 1 所示。

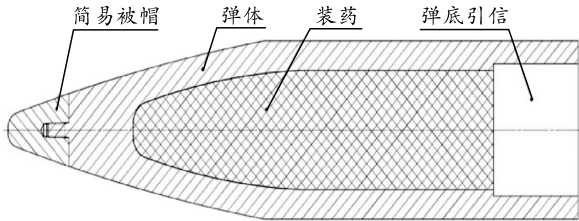


图 1 简易被帽结构弹丸

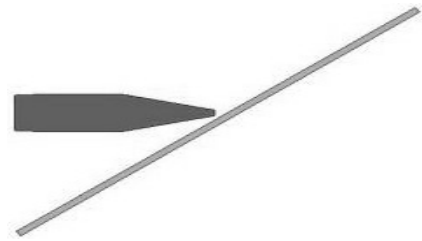
在弹丸设计时，以尖头形状进行初始设计，在弹头部 0.3~0.5 d 处进行预分离，从而形成简易被帽，简易被帽材料可根据目标类型(如混凝土、普通钢、装甲钢等)进行适应性选择，简易被帽与弹体采用螺纹连接。这种结构设计既保证了垂直侵彻或小倾斜侵彻的穿甲能力，又可以在大倾角侵彻时，简易被帽受到靶板碰撞力与弹体分离减少弹体磨损，保存弹丸侵彻动能，从而保证弹丸以较钝头型侵彻目标，增强弹丸倾斜穿甲能力。

本文中的简易被帽材料选择与弹体材料一致，通过常规工艺加工完成；预分离截面选择 0.4 d。

## 2 仿真及试验应用

### 2.1 数值仿真

为验证方案的可行性，开展了倾斜穿甲作用过程的数值仿真计算。仿真计算条件均为：280 m/s 着靶速度、55°/60°着靶角度，侵彻 15 mm 装甲均质钢。尖头弹丸的数值仿真如图 2 所示，简易被帽结构弹丸的数值仿真如图 3 所示。

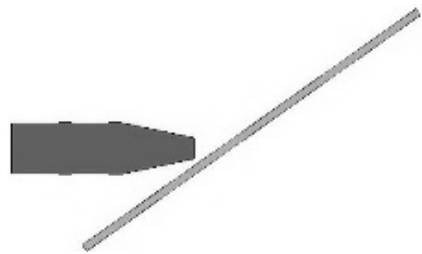


(c) 60°仿真计算模型



(d) 穿甲结果

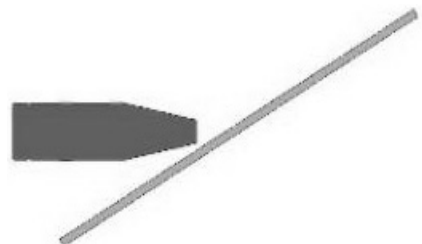
图 2 尖头弹丸数值仿真结果



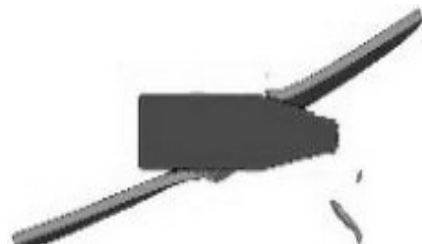
(a) 55°仿真计算模型



(b) 穿甲结果



(c) 60°仿真计算模型



(d) 穿甲结果

图 3 简易被帽弹丸数值仿真结果



(a) 55°仿真计算模型



(b) 穿甲结果

从计算结果中可以看到，简易被帽结构弹若按照预分离截面进行穿甲，可以提高穿甲能力，增加倾斜穿甲角度。

### 2.2 试验条件及方法

选用高炮为试验用火炮，采用平射，在距炮口

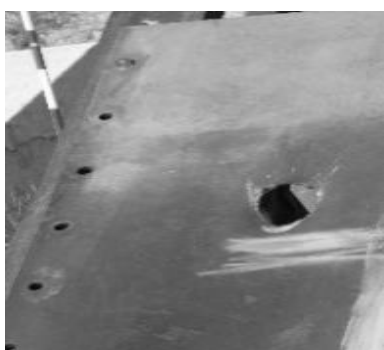
50 m 布置拦截钢靶；拦截钢靶为 15 mm 装甲均质钢，拦截靶架设置为 55°/60°着角；试验采用高速摄影进行速度测定和观测弹丸穿甲侵彻情况。

### 2.3 试验数据及分析

试验数据如表 1 所示，试验现象如图 4—6 所示。

表 1 侵彻试验数据

状态	着速/(m/s)	弹重/kg	着角/(°)	穿甲情况	穿孔大小(长×宽)/mm
尖头弹丸	281	13.5	55	穿透，有滑移	160×100 滑移约 45
简易被帽弹丸	279	13.5	55	穿透，无滑移	120×100
尖头弹丸	280	13.5	60	跳弹，板背鼓包	滑移约 300
简易被帽弹丸	278	13.5	60	穿透，有滑移	180×100 滑移约 50
简易被帽弹丸	282	13.5	60	穿透，有滑移	200×100 滑移约 50

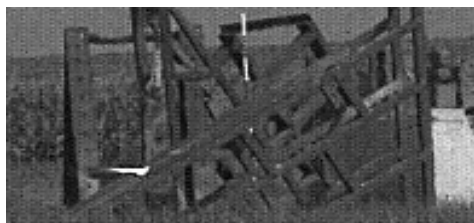


(a) 尖头弹丸



(b) 简易被帽弹丸

图 4 55°倾斜穿甲及回收弹丸状态



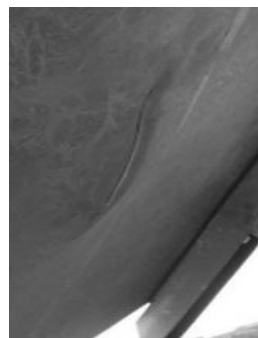
(a) 碰靶姿态



(b) 出靶姿态

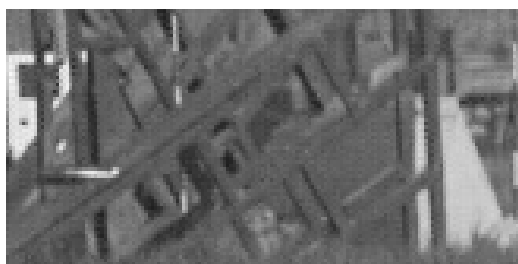


(c) 靶板正面划痕



(d) 靶板背面鼓包

图 5 尖头弹丸 60°倾斜穿甲现象



(a) 碰靶姿态



(b) 出靶姿态



(c) 靶板正面穿孔



(d) 靶板背面

图 6 简易被帽弹丸 60°倾斜穿甲现象

从试验现象看,尖头弹丸在 55°穿甲时就存在滑移,且回收弹头磨损量很大,磨损后弹头直径约为 0.4 d; 60°穿甲时仅在靶板上有长划痕,最后跳弹,表明该尖头弹丸在此速度情况下穿甲极限为 55°。简易被帽结构弹丸在 55°穿甲时基本没有滑移,回收弹丸的弹体主结构预分离界面几乎没有磨损; 60°穿甲时产生了滑移,弹体主结构预分离界面边缘也存在明显的磨损。

通过对比 2 种弹丸的回收状态,简易被帽结构的预分离截面面积与尖头弹丸的极限穿甲时磨损后的弹头大小基本上一致。表明在碰撞装甲钢时,简易被帽产生了作用,降低了弹丸的动能损失,弹丸以较钝的头型侵入装甲钢,进而增加了约 10%的穿

甲角度。

### 3 结论

笔者通过尖头穿甲弹侵彻时弹头磨损量为切入点,对弹头结构进行预分离,形成简易被帽结构。采用数值分析和飞行试验进行验证,弹头设计为简易被帽结构时,可避免倾斜穿甲时弹丸跳弹和保护弹体主体侵彻结构在碰击目标时不破碎,进而提升了弹丸约 10%的穿甲能力。笔者给出的简易被帽设计方法,在常规加工可实现的前提下,简易被帽材料可进行适应性选择,再合理设置预分离截面,弹丸的穿甲能力可进一步提高。

### 参考文献:

- [1] 陈智刚,赵太勇,侯秀成. 爆炸及其终点效应[M]. 北京:兵器工业出版社,2004:192.
- [2] 张国伟. 终点效应及其应用技术[M]. 北京:国防工业出版社,2006:40.
- [3] 王儒策,赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京:北京理工大学出版社,1993:135-136.
- [4] 曹兵,郭锐,杜忠华. 弹药设计理论[M]. 北京:北京理工大学出版社,2016:393-394.
- [5] 徐伟. 球头弹低速斜侵彻下靶板穿甲破坏机理[J]. 国防科技大学学报,2018,40(1):51-54.
- [6] 孔祥振,方秦,吴昊. 考虑靶体自由表面和开裂区影响的可变形弹体斜侵彻脆性材料的终点弹道分析[J]. 兵工学报,2014,35(6):814-821.
- [7] 葛超,董永香,陆志超,等. 弹丸头部对斜侵彻弹道偏转影响研究[J]. 兵工学报,2015,36(2):255-262.
- [8] 段建,王可慧,周刚,等. 弹体斜侵彻硬介质目标的临界跳弹评估方法[J]. 兵工学报,2016,37(8):1395-1400.
- [9] 熊飞,石全,张成,等. 不同头部形状半穿甲弹战斗部侵彻薄钢板数值模拟[J]. 火箭与制导学报,2015,35(1):55-58.
- [10] 卢芳云,李翔宇,林玉亮. 战斗部结构与原理[M]. 北京:科学出版社,2009:146-147.