

# 入射角度对破片穿甲威力影响

袁新波

(安徽神剑科技股份有限公司,合肥 230601)

**摘要:**基于优化破片穿甲威力目的,以立方体钨破片为研究对象,利用 ANSYS/LS-DYNA 有限元分析软件,对比分析不同入射角度对破片穿甲速度的影响趋势。研究表明,钨破片剩余速度随入射角度的增大而减小,入射角度超过极限时,钨破片无法穿透钢板靶,失去杀伤威力。研究结论将对战斗部威力设计,破片研制与生产提供一定依据。

**关键词:**破片;穿甲;入射角度;速度衰减;数值模拟

**本文引用格式:**袁新波. 入射角度对破片穿甲威力影响[J]. 四川兵工学报,2015(2):37-40.

**Citation format:**YUAN Xin-bo. Numerical Simulation on Effect of Incident Angle on Fragments Penetrating Power[J]. Journal of Sichuan Ordnance,2015(2):37-40.

中图分类号:TJ410.2

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2015)02-0037-04

## Numerical Simulation on Effect of Incident Angle on Fragments Penetrating Power

YUAN Xin-bo

(Anhui Shenjian Technology & Science Co., Ltd., Hefei 230601, China)

**Abstract:** With the cubic tungsten fragment as the object of study, we comparatively analyzed the influence of tungsten fragments penetrating velocity with different incident angles by using the ANSYS/LS-DYNA finite element analysis software, aiming to optimize the fragment penetrating power. Researching shows that tungsten fragment residual velocity decreases along with the increase of incident angle, and when the angle of incidence exceeds limit, tungsten fragments cannot penetrate the armor plate and lose the lethality. The conclusion will provide some theories references to the design of warhead power, fragments developing and production.

**Key words:** fragment; armor penetration; incident angle; velocity attenuation; numerical simulation

破片穿甲威力是指战斗部装药起爆后驱动预制破片,使其获得高初速、高动能,进而利用其动能侵彻装甲、以及完成后效杀伤的能力<sup>[1]</sup>。装药起爆后,战斗部外形影响破片的空间分布,同时破片飞散特性使得预制破片在接触装甲钢板时存在一定角度,入射角度(破片速度方向与靶板法线方向夹角)不同,接触面积及穿甲等效厚度均有所不同<sup>[2]</sup>。因此研究破片不同入射角度穿甲过程中,速度、动能衰减曲线有着重要意义。

立方体钨破片作为预制破片的一种类型,由于具有密度高、衰减系数小、穿甲能力强等优点被广泛用于预制破片战

斗部<sup>[3]</sup>。本文以立方体钨破片为研究对象,建立有限元模型,对比研究破片以不同入射角度进行斜穿甲过程中,速度、动能衰减趋势,并确定极限入射角度。

### 1 仿真模型建立及计算方案确定

#### 1.1 仿真模型建立

本文采用三维 Lagrange 计算方法,建立立方体钨破片斜穿甲三维仿真模型,立方体钨破片边长 8 mm,质量均为 9 g,钢板靶厚度为 10 mm。由于破片尺寸远小于靶板尺寸,靶板

远端受到影响较小,可以将靶板考虑为无限靶,因此对靶板四边施加非反射边界条件<sup>[4]</sup>,破片与靶板之间接触采用 CONTACT\_ERODING\_SURFACE\_TO\_SURFACE 算法采用<sup>[5]</sup>。立方体钨破片斜穿甲仿真模型如图 1 所示, $\delta$  为入射角度。

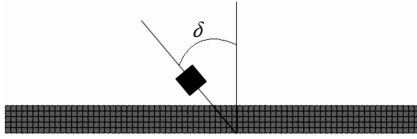


图 1 破片斜穿甲仿真模型

### 1.2 材料模型及参数选择

钨破片密度高、强度极限较大,因此将钨破片在数值模拟中作为钢体处理,选择 \*MAT\_RIGID 材料模型,其参数为:密度  $\rho = 17.3 \text{ g/cm}^3$ ;弹性模量  $E = 117 \text{ GPa}$ ;泊松比  $\mu = 0.22$ <sup>[6]</sup>。钢板靶选用的材料模型为 \*MAT\_JOHNSON-COOK,该模型是描述材料在大变形、高应变率 and 高温条件下的本构模型,适用于大部分金属材料,其应力表达式为<sup>[7]</sup>

$$\sigma_y = (A + B \bar{\epsilon}_p^n)(1 + c \ln \dot{\epsilon}^*) (1 - (T^*)^m) \quad (1)$$

其中

$$T^* = \frac{T - T_{\text{room}}}{T_{\text{melt}} - T_{\text{room}}}, \quad \dot{\epsilon}^* = \bar{\epsilon}_p / \dot{\epsilon}_0$$

式(1)中:参数  $A, B, C, n, m$  为材料常数,由材料动力学试验推导; $T_{\text{room}}, T_{\text{melt}}$  分别为室温  $T_r$  和熔点温度  $T_m$ ;  $\bar{\epsilon}_p$  为等效塑性应变;  $\dot{\epsilon}_0$  是  $\dot{\epsilon}_0 = 1 \text{ s}^{-1}$  时的等效塑性应变率,状态方程为 EOS\_GRUNEISEN<sup>[8]</sup>。其材料模型参数及状态方程参数分别如表 1、表 2 所示。

表 1 钢板靶材料模型参数

RO	G	E	PR	A
7.89	81.8	200	0.3	0.35
B	N	C	TM	
0.275	0.36	0.022	1811	

表 2 钢板靶状态方程参数

C	S1	S2	S3	GAMAO	A	EO
4 569	1.49	0	0	2.17	0.5	0

### 1.3 计算方案确定

确定钢板靶厚度为 10 mm,立方体钨破片初速度为 1 200 m/s 前提下,钨破片分别以入射角度为  $\delta = 0^\circ, \delta = 15^\circ,$

$\delta = 30^\circ, \delta = 40^\circ$  4 种情况进行斜穿甲仿真计算。

## 2 仿真计算结果分析

### 2.1 穿甲深度对比

立方体钨破片分别以  $\delta = 0^\circ, \delta = 15^\circ, \delta = 30^\circ, \delta = 40^\circ$  4 种入射角度进行斜穿甲,穿甲剖面图如图 2 所示。

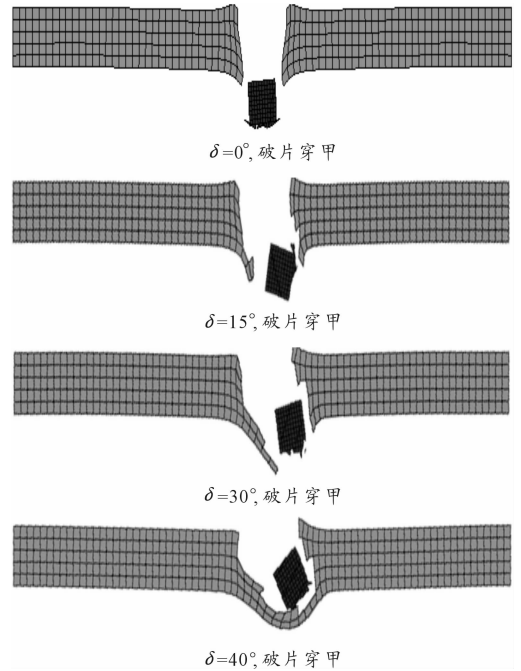


图 2 钨破片穿甲剖面图

图 2 可以得出,入射角度在  $0 \sim 30^\circ$  范围内,立方体钨破片均可以穿透装甲钢板。入射角度  $\delta = 40^\circ$  时,钨破片无法穿透,直至嵌入靶板。并且在挤压开坑阶段,靶板孔洞等效直径随入射角度增大而增大。

造成以上情况的主要原因是:

- 1) 入射角度增大,破片穿甲的等效厚度增大;
- 2) 破片垂直靶板的分速度随着入射角度的增大而减小,入射角度过大时,会造成侵彻动能不足,无法穿透靶板;
- 3) 存在入射角度时,破片产生与靶板平面平行的分速度,穿甲过程中,平行分速度造成破片平行侵彻靶板距离长,开坑孔径大。

### 2.2 速度衰减对比

立方体钨破片以 1 200 m/s 初速度进行斜穿甲,不同入射角度穿甲的速度衰减曲线如图 3 所示,破片剩余速度如表 3 所示。

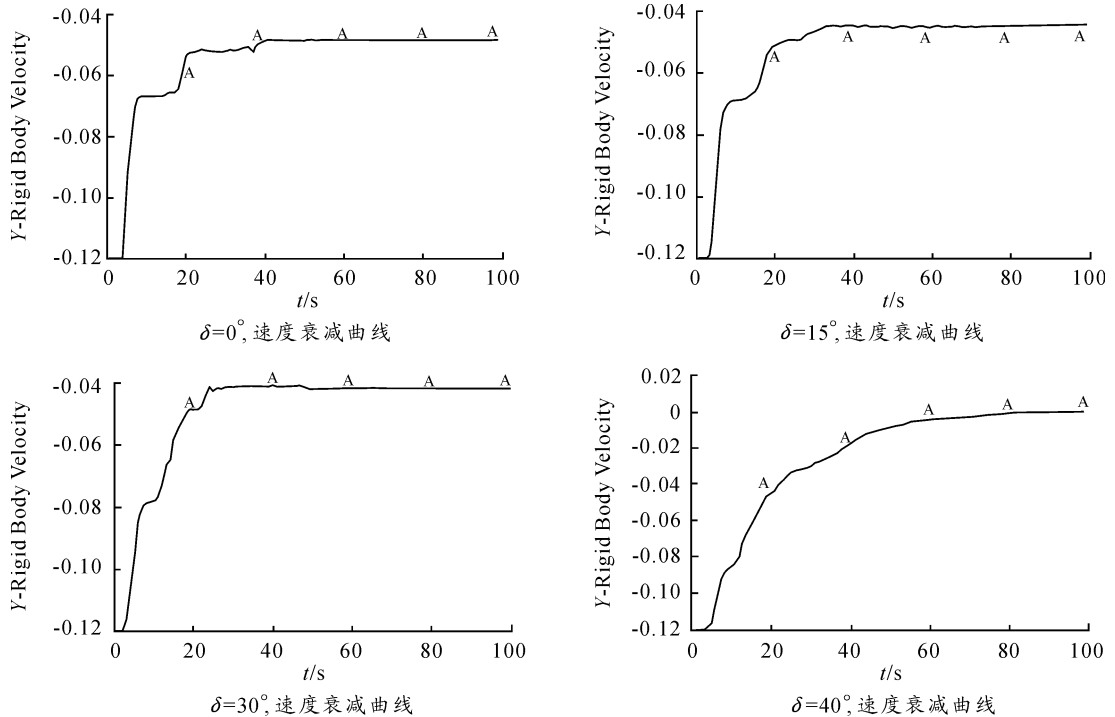


图3 破片速度衰减曲线

钨破片以不同入射角度进行斜穿甲,破片的穿透情况以及剩余速度如表3所示。

表3 破片剩余速度对比

入射角度/(°)	0	15	30	40
初速度/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	1 200	1 200	1 200	1 200
剩余速度/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	480.4	440.6	406.4	0
衰减速度/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	719.6	759.4	793.6	1 200
速度衰减率/%	60.0	63.3	66.1	100
穿透情况	穿透	穿透	穿透	嵌入

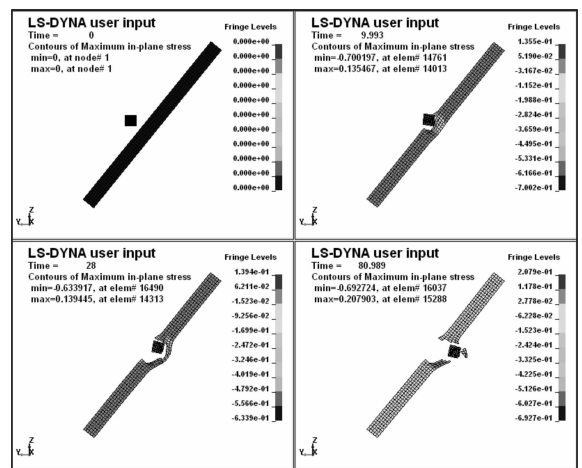
由图3、表3可以得到以下结论:

- 1) 入射角度在 $0 \sim 30^\circ$ 范围内,立方体钨破片穿甲过程中,速度明显下降,穿甲完成后,破片剩余速度稳定;
- 2) 入射角度在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 范围内,立方体钨破片剩余速度随入射角度的增加而减小,速度衰减率随入射角度增大而增大。但破片剩余速度及速度衰减率变化趋势,说明入射角度在 $30^\circ$ 之内,立方体钨破片穿甲威力受到入射角度影响不大;
- 3) 入射角度 $\delta = 40^\circ$ ,立方体钨破片无法穿透,并最终嵌入钢板靶,说明入射角度大于 $\delta \geq 40^\circ$ ,立方体钨破片无法穿透靶板,失去后效毁伤效能。

### 2.3 确定极限入射角度

入射角度 $\delta \geq 40^\circ$ 时,立方体钨破片无法穿透10 mm钢板靶,最终影响杀伤效能。现将入射角度调整到 $\delta = 39^\circ$ ,利用

ANSYS/LS-DYNA有限元分析软件进行穿甲仿真,穿甲过程如图4所示。

图4  $\delta = 39^\circ$ ,破片穿甲过程

入射角度 $\delta = 39^\circ$ ,立方体钨破片穿甲过程中,速度、动能衰减曲线如图5所示。

图4、图5可以看出,入射角度 $\delta = 39^\circ$ ,立方体钨破片可以穿透10 mm钢板靶,并且剩余速度为125.9 m/s,剩余动能为124.4 J。根据我国采用质量大于1 g的破片为有效破片,其动能大于98 J的为有效杀伤破片的准则<sup>[9]</sup>,入射角度 $\delta = 39^\circ$ 的立方体钨破片穿透10 mm钢板靶后,仍然具有杀伤效能。

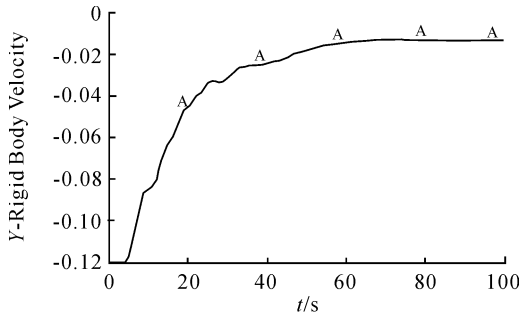
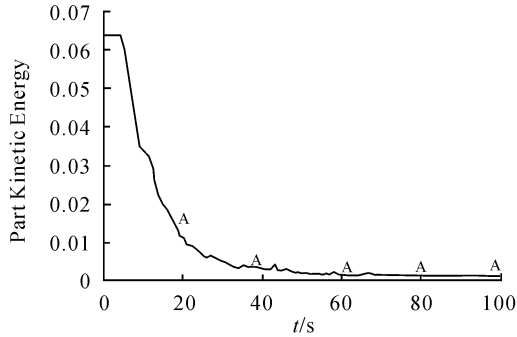
 $\delta=39^\circ$ 速度衰减曲线 $\delta=39^\circ$ 动能衰减曲线

图5 速度、动能衰减曲线

### 3 结论

- 1) 入射角度在 $0^\circ \sim 39^\circ$ 范围内,立方体钨破片可以穿透10 mm 钢板靶,剩余动能仍具有后效杀伤威力;
- 2) 极限入射角度内,钨破片剩余速度随入射角度的增加而减小,速度衰减率随入射角度增大而增大;

3) 入射角度 $\delta=40^\circ$ ,立方体钨破片无法穿透10 mm 钢板靶,确定 $\delta=39^\circ$ 为极限入射角度。

### 参考文献:

- [1] 魏峰. 某战斗部预制破片设计及破片威力数值模拟[D]. 沈阳:东北大学,2010:1-3.
  - [2] 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,2009:90-100.
  - [3] 米双山,张锡恩,陶贵明. 钨球侵入LY-2 铝合金靶板的有限元分析[J]. 爆炸与冲击,2005,25(5):477-480.
  - [4] 孟文,张娟. 球形破片侵入金属靶板的数值模拟研究[J]. 中国水运,2006,6(6):73-74.
  - [5] 时党勇,李裕春,张胜氏. 基于ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显示动力分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005:130-145.
  - [6] 米双山,刘东升,张建茂. 球形破片侵入靶板的损伤模式研究[J]. 弹箭与制导学报,2006,26(1):741-746.
  - [7] 孟文,张娟. 球形破片侵入金属靶板的数值模拟研究[J]. 中国水运:学术版,2006,06(06):73-74.
  - [8] LSTC inc. LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL(Version 970),2003[M]. 北京:水利水电出版社,2008.
  - [9] 王儒策,赵国志,杨绍卿. 弹药工程[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002:121-126.
- (责任编辑 周江川)
- 
- (上接第17页)产品,另外其系统非常稳定、对极端环境的耐受性也很强,这些都是国内产品所欠缺的,是今后应该加大研究投入的方向. 由于训练产品具有很强的技术背景,国外公司都会进行产品与技术封锁,很难直接获得技术资料,也不可能从国外引进产品,只能从公开资料中一点点地挖掘与积累数据,从中获取有价值的信息,从而为我军的开放式声电报靶系统的研制起到一定的借鉴作用,这也是值得今后继续开展的工作。
- ### 参考文献:
- [1] 张军,颜树华,徐琰. 自动报靶系统的研究进展[J]. 激光与红外,2006(12):1152-1154.
  - [2] 张江涛. 激波报靶原理、算法及信号处理方法研究[D]. 石家庄:河北科技大学,2007.
  - [3] SAAB 公司. SAAB LOMAH[EB/OL]. [2014-05-12]. <http://www.saabgroup.com/en>.
  - [4] MIL-STD-810F, Department of Defense Test Method Standard. Environmental Engineering Considerations And Laboratory Tests[S].
  - [5] 胡泽儒. 基于声爆效应的枪械自动报靶系统研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
  - [6] 国蓉,何镇安,王伟. 被动声探测技术与弹着点定位方法综述[J]. 电声技术,2010(11):48-52.
  - [7] 孙磊,柏逢明,王宇航. 小波变换在弹丸超声阵列中的应用[J]. 长春理工大学学报,2011(1):96-99.
- (责任编辑 周江川)