

离散杆战斗部现状与发展

庞军¹,袁宝慧²

(1. 海军驻西安导弹设备军事代表室, 西安 710065; 2. 西安近代化学研究所, 西安 710065)

摘要:概述了杆式战斗部的发展历史,系统总结可控离散杆战斗部在杆条初始姿态控制、飞散姿态、毁伤试验及数值仿真等方面的研究现状,分析了如何提高离散杆战斗部的离散杆速度、引战配合效率以及增加杆条密度等关键问题。

关键词:离散杆战斗部;姿态控制;飞散姿态

中图分类号:TJ762

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2013)08-0043-03

Research States and Trend of Discrete Rod Warhead

PANG Jun¹, YUAN Bao-hui²

(1. Naval Representative Office in Xi'an for Missile Equipment, Xi'an 710065, China;

2. Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In this paper, the history of rod warhead was introduced. And then, initial attitude control, flight attitude, damage experiments and numerical simulation of discrete rod warhead were summarized. Finally, the development trend of discrete rod warhead, such as improving rod fragment velocity, fuze-warhead coordination efficiency, as well as rod fragment density, was discussed.

Key words: discrete rod warhead; attitude control; flight attitude

可控离散杆战斗部是导弹战斗部结构设计与研究的重要方向之一,它用独立的大长径比的预制杆条作为主要杀伤元素,杆条紧密排列在炸药装药的周围,当战斗部装药爆炸后,杆条按预控姿态向外飞行,即杆条的长轴始终垂直于其飞行方向,同时绕长轴的中心旋转,最终在某一半径处首尾相连,靠形成连续的切口来提高对目标的杀伤能力^[1]。可控离散杆战斗部继承了连续杆战斗部杆条质量大、对目标切割能力强的优点;同时又兼顾了破片战斗部速度高、威力半径大的优点,对目标具有较强的毁伤能力。

1 杆式战斗部的发展历史

杆式战斗部的研究由美国海军机械局提出,主要在新墨西哥矿业技术学院(NMIMT)进行。用杆条对飞机实施结构毁伤的概念由实验室主任 Jhon Workman 首次提出,其思想可能源于二战中保护伦敦的气球吊篮绳索,这些绳索想用来

摧毁飞越这个保护网的飞机。新墨西哥矿业技术学院的 M. L. Kempton 在 20 世纪 40 年代后期完成了这个研究的初步工作^[2]。

杆式战斗部早期使用的是非可控离散杆战斗部^[2,3],战斗部爆炸后离散杆向外翻滚飞行。M. L. Kempton 等的研究发现,使空中目标遭受临界损伤所要求的杆体必定相当长,但一般认为,当杆体长径比超过 30 时,杆条的断裂是个严重问题^[4],这就为杆长设置了非常严格的限制。正是由于离散杆长度的限制,导致了连续杆战斗部的发展。

连续杆战斗部的特征是由两层方钢杆均匀环置于装药周围,两端交错焊接,战斗部起爆后杆条形成一个展开的大环,此环到达其最大理论周长的 80% 时仍不断裂。为了使作用在整个杆条上的冲量均匀,杆条展开时不撕裂焊点,波形控制器或装药空腔的使用降低了爆炸冲量,因此,杆条的初速约为破片型战斗部破片初速的一半;同时随着半径的增加杆条环会自然断裂,杆条运动方向改变,一般认为连续杆环

收稿日期:2013-03-20

作者简介:庞军(1963—),男,高级工程师,主要从事火炸药质量监督研究;通讯作者 袁宝慧(1959—),博士,主要从事爆炸力学和战斗部研制研究。

断裂后的功效很小,甚至可以忽略不计^[2]。因此,国际上重新开始研究离散杆战斗部。

新的设计思想^[5]是将离散杆以一定角度斜置于以战斗部轴线为中心的圆周上,战斗部爆炸赋予杆条上各点初速矢量不同,使杆向外扩张的同时产生旋转。当杆条扩张到一定直径时,形成连续的圆环。可控离散杆战斗部克服了普通离散杆战斗部对目标的离散切割,也等效于连续杆战斗部的连续切割,避免了扩张中的连续杆环断裂的缺点,而且初速相对较高,对目标具有较大的毁伤能力。

2 离散杆初始姿态控制研究

和破片战斗部相比,离散杆战斗部装填的杆条较少,为实现对目标的结构毁伤,需能在目标上形成连续的切口,因此,离散杆战斗部的关键在于杆条初始姿态的控制。离散杆姿态的控制主要是通过以下2个措施来实现的,一是使杆条在整个长度上获得相同的抛射速度;二是将离散杆以一定的角度斜置于装药周围。由于起爆方式、端面稀疏波及爆轰产物运动方向的影响,作用在杆条各微元的冲量并不相同。为了解决这些问题,通常使用特定形状的装药空腔或波形控制器^[6]。目前对装药空腔定量设计的文献较少;现有文献对波形控制器进行定量设计时,主要有2种方法,一种是采用几何光学原理,另外一种是用爆轰波与惰性介质的相互作用原理。

在离散杆战斗部中,要将从点起爆得到的球形爆轰波变成筒形波,需要类似于几何光学中的透镜,即波形控制器。爆轰波在炸药和波形控制器的界面上将发生折射,使其传出介质面时变为平行波,且各点到达杆条的时间为一常数^[7,8],根据这一原则,刘志建在文献^[8]给出了装药曲线方程,但由此得到的装药曲线,仅考虑了爆轰波到达的同时性,并没有讨论由此而造成的爆轰波到达杆条时的压力分布,以及其对杆条各微元初速的影响。

采用爆轰波与惰性介质相互作用原理研究波形控制器曲线的文献^[6,9,10]大都采用如下设计原则,确定最小装药量以保证杆条的最小初速;冲击波经波形控制器衰减后到达壳体内壁各点的时间差最小,压力差也最小。通过对计算结果分析发现^[6],加上波形控制器后能够明显减小爆轰波到达壳体内壁各点的时间差,但还不能使该时间差缩小为零,即爆轰波同时到达各点。因为必须考虑杆条的初速要求,不能无限制地加厚波形控制器。姚翠友^[9]用类似方法对直线型、折线型以及抛物线型波形控制器曲线分别进行了计算,并作了比较分析,王少龙^[10]对波形控制器内形进行了优化设计。发现隔板形状不同,冲击波到达壳体内壁各点的时间差也不同,但并不显著;而到达内壁各点的压力差却明显不同。并且从所收集到的杆条来看,折线形波形控制器优于抛物线型和直线型波形控制器。

3 离散杆飞散姿态研究

对离散杆空间运动状态的研究,一方面可作为斜置角设

计的基础;另一方面可进一步对杆条在空间不同距离上的杀伤性能进行分析,为优化设计指标提供参考。

孙传杰等^[11]通过试验研究发现,离散杆的旋转运动会造成其平动衰减加剧,因此可控离散杆飞散速度的衰减要比非可控离散杆飞散速度的衰减快;杆条尺寸对杆条的旋转运动影响不大,斜置角是影响杆条旋转变化规律的主导因素,并且杆条旋转的角速度随斜置角的增大而增大。

余春华等^[12]从空气动力学的角度对离散杆的各个摩擦系数进行了研究,得到了各摩擦系数的理论表达式,以及飞行时的阻力和阻力矩,为离散杆的着靶姿态设计及动力学状态分析提供了理论依据。

桂毓林等^[13]分别用多重纸靶和“直靶法”对离散杆的旋转规律进行了试验研究,试验结果表明杆条在空中旋转角度与运动距离呈线性关系。在不借助光学测试仪器时,“直靶法”简单可行。但用“直靶法”对离散杆旋转姿态测试时,并非所有杆条长轴都与靶板平行,使得杆条各微元到达靶板的时间并不相同,对杆条在靶板上的穿孔有一定影响。

4 离散杆毁伤试验研究

可控离散杆对目标的毁伤形式有两种:结构毁伤和功能毁伤。结构毁伤立足于对目标各种构成部件的毁伤,主要利用大破片或密集破片群;功能毁伤立足于对目标要害部件功能的破坏,要求战斗部具有较大的破片杀伤区域。由于离散杆速度较高且易于控制飞行姿态,因此多用于对空中目标进行有效防御和攻击。可控离散杆对空中目标的毁伤多为结构毁伤,在速度足够大时可进行功能性毁伤。

黄静等^[14]针对离散杆对目标的2种毁伤形式,设计了毁伤效应实验,利用破片发生器得到离散杆,发射初速为1 700 m/s,将模拟目标(模拟战斗部)及10 mm厚钢靶板放置于距破片发生器1 m处,试验结果发现离散杆可穿透10 mm厚靶板,并且杆条以大致相同的角度平行排布,一致性较好。但靶板背部装药没有被杆条引燃或引爆,这是由于试验值低于理论计算得到的引爆速度(2 500 m/s)。

宋浦^[15]进行了离散杆对柱壳装药的毁伤试验研究,得到的结果与文献^[14]类似。试验发现离散杆以1 700 m/s的速度撞击模拟目标,将模拟靶正面切割穿透,露出主装药,但并未引爆。运用Jacobs判据求得的射弹撞击引爆的阈值速度为2 300 m/s,远高于试验中所测得的离散杆速度。

5 数值仿真研究

李龙俊等^[16]利用ANSYS/LS-DYNA对离散杆战斗部以不同起爆方式(中心轴起爆,4点起爆以及中心点起爆)起爆时的驱动过程和杆条飞散过程进行了模拟,通过仿真发现中心轴起爆时爆轰波的传输比较均匀,杆条受力比较平衡,生成的封闭杀伤圆最稳定也最为有效;而且通过仿真发现,在装药形状不变的条件下,改变起爆方式可提高特定方位的能

量输出。

周平等^[17]采用 ANSYS/LS-DYNA 对离散杆以不同攻角高速侵彻 LY-12 加筋板的过程进行了数值模拟,分析得出了破坏尺寸预测公式。计算结果表明,对同样的加筋板,随着离散杆对目标侵彻时角度的增加,杆条的剩余速度减小,破坏尺度增加;剩余质量的变化复杂,在水平侵彻时较大。同时文献对离散杆侵彻平板和加筋板进行了对比分析,发现条件相同时,加筋板的破坏尺寸较大,但剩余速度和剩余质量较小。

6 离散杆战斗部发展

1) 由于端部效应及起爆方式等的影响,杆条在整个长度上无法获得相同的抛射速度,虽然波形控制器及装药空腔的使用,可以使得爆炸冲量到达杆条时基本均匀,但也在一定程度上降低了杆条的抛射初速,无法使杆条对目标产生功能毁伤。定向战斗部可在特定方向上提高毁伤元的速度,因此可以将离散杆战斗部与定向战斗部结合,在保证杆条爆轰驱动的平稳性和杆条完整性的基础上,提高杆条的抛射速度。

2) 离散杆战斗部杆条分布带宽较窄,显著提高了命中密度,但是较窄的带宽分布,也对引战配合提出了更高的要求。因此可采用双束离散杆战斗部,在保证离散杆毁伤效果的基础上,增加拦截概率,提高引战配合效率。

3) 战斗部起爆后,离散杆向外飞散,随着半径的不断增大,相邻杆条间距将大于目标尺寸。因此可采用双层聚焦离散杆战斗部技术,以增加杆条密度。

参考文献:

- [1] 李向东,钱建平,曹兵,等. 弹药概论[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [2] 赵国志. 战术导弹战斗部毁伤作用机理[M]. 南京:南京理工大学出版社,2002.
- [3] 刘志建,肖川,王亲会. 可控旋转式离散杆战斗部设计分

析[J]. 火炸药学报,2000,23(4):48-50.

- [4] 赵国志. 战术导弹战斗部概论[M]. 南京:南京理工大学出版社,1999.
- [5] Kempton M L. Rod fragment controlled motion warhead [P]. US Patent: 4216720,1980-05-12.
- [6] 李卫青. 爆轰波的传播与爆轰驱动在杆条战斗部中的作用[C]//中国兵工学会火箭导弹分会第七次学术年会论文集(下册). 出版地不详:[出版社不详],1998.
- [7] 美国陆军装备部. 终点弹道学原译终点弹道学原理[M]. 王维和,译. 北京:国防工业出版社,1988.
- [8] 刘志建. 可控旋转式离散杆战斗部工程设计方法探索[J]. 火炸药学报,2002(2):25-27.
- [9] 姚翠友,姜春兰,陈放,等. 离散杆战斗部中隔板形状研究[J]. 北京理工大学学报,1999(12):61-64.
- [10] 王少龙,周卫军,汪德武,等. 离散杆战斗部中隔板形状优化设计[J]. 弹箭与制导学报,2006(1):925-927.
- [11] 孙传杰,路中华,卢永刚,等. 可控旋转离散杆空间运动分析[J]. 爆炸与冲击,2008(4):378-383.
- [12] 余春华,尹晓春,李宝玉,等. 高速飞行离散杆的空气阻力效[J]. 航空兵器,2007(5):15-18.
- [13] 桂毓林,黄文斌,庞勇,等. 旋转式离散杆战斗部的杆条旋转规律试验研究[J]. 高能密度物理,2006(4):162-165.
- [14] 黄静,张庆明,李晋庆,等. 离散杆的破坏效应研究[J]. 弹箭与制导学报,2008(1):125-134.
- [15] 宋浦,余建斌,梁安定,等. 杆式战斗部对柱壳装药的毁伤实验研究[J]. 含能材料,2004(4):249-251.
- [16] 李龙俊,董素荣,陈秀文,等. 不同起爆方式下离散杆战斗部爆炸驱动杆条的数值研究[J]. 弹箭与制导学报,2009,29(4):103-106.
- [17] 周平,姚武文,李小雷. 离散杆高速侵彻加筋板的有限元分析[J]. 航空兵器,2008(3):54-56.

(责任编辑 杨继森)