

武器装备

主动防护系统拦截误差分析及模型构建

刘建国, 邱从礼, 夏杰, 寇勃晨

(中国人民解放军 63870 部队, 陕西 华阴 714200)

摘要: **目的** 建立主动防护系统拦截误差数学模型。**方法** 详细分析主动防护系统的拦截过程, 依据主动防护系统的作用原理对拦截过程进行数学模型构建。分析主动防护系统拦截过程中可能出现的误差, 研究来袭目标的位置误差、速度误差、高低角误差、方向角误差, 拦截弹的速度误差、高低角误差、方位角误差对来袭目标位置和拦截弹位置的影响, 并进行模型构建。**结果** 确定了来袭目标的位置误差、速度误差、高低角误差、方向角误差引起的来袭目标被拦截位置偏差; 确定了拦截弹药的速度误差、高低角误差、方位角误差引起的拦截弹药战斗部爆炸位置偏差。**结论** 基于拦截弹药和来袭目标的位置偏差模型, 构建了主动防护系统拦截误差模型, 为主动防护系统的研发和科研试验的开展提供了必要的技术支持和理论参考。

关键词: 主动防护系统; 装甲防护; 拦截误差; 拦截弹药; 数学模型

中图分类号: TJ811

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)11-0066-05

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.11.009

Interception Error Analysis and Model Construction of Active Protection System

LIU Jian-guo, QIU Cong-li, XIA Jie, KOU Bo-chen

(Unit 63870 of PLA, Huayin 714200, China)

ABSTRACT: This paper discusses the establishment of mathematical model of interception error of active protection system. The interception process of active protection system is analyzed in detail, and the mathematical model of interception process is constructed according to the action principle of active protection system. This paper analyzes the possible errors in the interception process of the active protection system, studies the influence of the position error of the incoming target, the velocity error of the incoming target, the high and low angle error of the incoming target, the direction angle error of the incoming target, the velocity error of the interceptor, the high and low angle error of the interceptor and the azimuth error of the interceptor on the position of the incoming target and the interceptor position, and constructs the model. The position deviation of intercepted target caused by position error, velocity error, high and low angle error and direction angle error of incoming target, and explosion position deviation of intercepting ammunition warhead caused by velocity error, high-low angle error and azimuth error of intercepting ammunition are determined. Based on the position deviation model of intercepting ammunition and incoming target, the interception error model of active protection system is constructed. It provides necessary technical support and theoretical reference for the research and development of active protection system and scientific research and test.

KEY WORDS: active protection system; armor protection; interception error; interception ammunition; mathematical model

收稿日期: 2021-03-21; 修订日期: 2021-05-20

Received: 2021-03-21; Revised: 2021-05-20

作者简介: 刘建国(1988—), 男, 博士研究生, 工程师, 主要研究方向为装备试验鉴定。

Biography: LIU Jian-guo(1988—), Male, Doctor, Engineer, Research focus: equipment test and appraisal.

引文格式: 刘建国, 邱从礼, 夏杰, 等. 主动防护系统拦截误差分析及模型构建[J]. 装备环境工程, 2021, 18(11): 066-070.

LIU Jian-guo, QIU Cong-li, XIA Jie, et al. Interception error analysis and model construction of active protection system[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(11): 066-070.

主动防护系统是装甲防护的一个新发展方向，许多国家都在积极参与主动防护系统的研发^[1-4]。其中，比较成熟的产品有俄罗斯的“竞技场”、美国的“速杀”、以色列的“铁拳”等^[5-9]。国内主动防护系统的发展相对较晚，与其他国家存在一定差距^[10-13]，急需相关技术和理论。本文对主动防护系统拦截误差进行分析和建模，为主动防护系统的研发和科研试验的开展提供必要的技术支持和理论参考。

1 拦截过程分析

当来袭弹药攻击装甲车辆时，装甲车辆主动防护系统探测雷达检测来袭弹药，测量来袭弹药的目标信息，包括位置、速度、方位角、高低角等，并对目标信息进行实时跟踪。与此同时，主动防护系统火控装置对来袭目标信息进行解算，计算出拦截弹药发射的基本诸元参数。当来袭弹药飞临装甲车辆主动防护系统预设的拦截距离时，火控装置将此时解算得到的数据作为拦截弹药最终的发射诸元，并将数据传送到主动防护系统拦截装置。拦截装置对拦截弹药进行发射诸元设定，并发射拦截弹药对来袭目标实施拦截，使得装甲车辆免于来袭弹药的攻击，实现对装甲车辆的防护^[14-16]，拦截过程如图 1 所示。

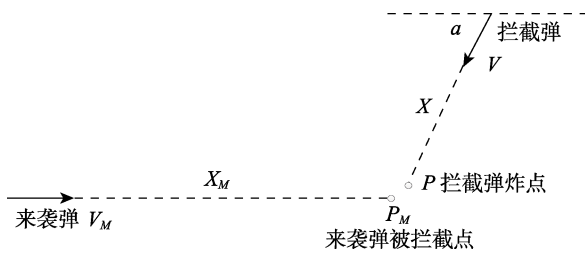


图 1 拦截过程示意
Fig.1 Schematic diagram of interception process

2 拦截过程模型构建

2.1 坐标建立

采用三自由度弹道模型构建坐标系，依据外弹道学，用 y 表示高度，用 z 表示射程，用 x 表示偏向，忽略地球曲度，重力场均匀且为常数，所建立的主动防护系统拦截过程惯性坐标系如图 2 所示。其中， O 点为主动防护系统拦截弹药发射点， P 点为拦截弹药， M 点为来袭弹药， α 为高低角， β 为方向角， I_P 为拦截弹的炸点位置， I_M 为拦截弹被拦截点位置。

2.2 数学模型构建

分析装甲车辆主动防护系统的拦截过程，将其分为来袭目标识别、来袭目标跟踪、火控解算、发射拦截弹药、引爆战斗部摧毁来袭目标等阶段。作战过程中，来袭目标的运动参数随时间变化而变化，将装甲车辆主动防护系统拦截过程描述为关于时间变化的

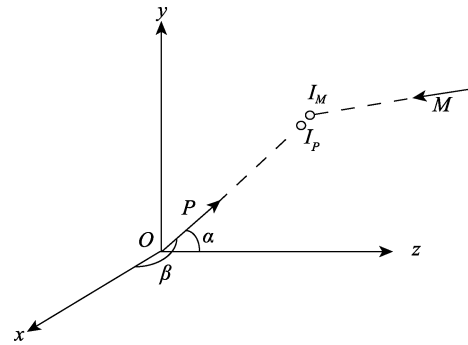


图 2 拦截过程坐标系
Fig.2 Coordinate system of interception process

函数，包括位置坐标 $(x(t), y(t), z(t))$ 、速度 $V(t)$ 、高低角 $\alpha(t)$ 和方位角 $\beta(t)$ 。

主动防护系统探测雷达发现来袭目标后，对来袭目标进行跟踪，实时测得来袭目标的运动参数。记主动防护系统探测雷达跟踪稳定时的时刻为 t_0 ，来袭目标位置坐标为 $(x_M(t_0), y_M(t_0), z_M(t_0))$ ，高低角为 $\alpha_M(t_0)$ ，方向角为 $\beta_M(t_0)$ ，来袭目标速度为 $V_M(t_0)$ 。当来袭目标到达可拦截区域时，主动防护系统火控装置将解算得到的发射诸元传输给拦截装置，拦截装置发射拦截弹药对来袭目标进行拦截。记拦截弹药发射时刻为 t_1 ，来袭目标所在位置坐标为 $(x_M(t_1), y_M(t_1), z_M(t_1))$ ，高低角为 $\alpha_M(t_1)$ ，方向角为 $\beta_M(t_1)$ ，来袭目标速度为 $V_M(t_1)$ ，来袭目标位置点 $(x_M(t_1), y_M(t_1), z_M(t_1))$ 和点 $(x_M(t_0), y_M(t_0), z_M(t_0))$ 的位置关系如式 (1)：

$$\begin{cases} x_M(t_1) = x_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_1} V_M \cos \alpha_M \cos \beta_M dt \\ y_M(t_1) = y_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_1} V_M \cos \alpha_M \sin \beta_M dt \\ z_M(t_1) = z_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_1} V_M \sin \alpha_M dt \end{cases} \quad (1)$$

主动防护系统拦截弹药发射后，拦截弹药引信处于解除保险状态，当拦截弹药接近来袭目标时，拦截弹药引信依据起爆条件引爆拦截弹药战斗部，形成爆炸威力场，击爆来袭弹药战斗部，实现对来袭目标的拦截。记拦截弹药战斗部起爆时刻为 t_2 ，此时拦截弹药位置坐标为 $(x_P(t_2), y_P(t_2), z_P(t_2))$ ，来袭目标位置坐标为 $(x_M(t_2), y_M(t_2), z_M(t_2))$ ，拦截弹药速度为 $V_P(t_2)$ ，高低角为 $\alpha_P(t_2)$ ，方向角为 $\beta_P(t_2)$ ，来袭目标速度为 $V_M(t_2)$ ，高低角为 $\alpha_M(t_2)$ ，方向角为 $\beta_M(t_2)$ 。来袭目标位置点 $(x_M(t_2), y_M(t_2), z_M(t_2))$ 和点 $(x_M(t_0), y_M(t_0), z_M(t_0))$ 的位置关系如式 (2)：

$$\begin{cases} x_M(t_2) = x_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos \alpha_M \cos \beta_M dt \\ y_M(t_2) = y_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos \alpha_M \sin \beta_M dt \\ z_M(t_2) = z_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \sin \alpha_M dt \end{cases} \quad (2)$$

拦截弹药位置点坐标 $(x_P(t_2), y_P(t_2), z_P(t_2))$ 如式 (3):

$$\begin{cases} x_P(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \cos \alpha_P \cos \beta_P dt \\ y_P(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \cos \alpha_P \sin \beta_P dt \\ z_P(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \sin \alpha_P dt \end{cases} \quad (3)$$

拦截过程时间轴如图 3 所示, t 时刻发现来袭目标, 目标点处于位置 M_t ; t_0 时刻开始对目标点进行跟踪, 来袭目标处于位置 M_{t_0} ; t_1 时刻拦截弹发射, 来袭目标处于位置 M_{t_1} , 拦截弹药处于位置 P_{t_1} ; t_2 时刻拦截弹战斗部起爆, 来袭目标处于位置 M_{t_2} , 拦截弹药处于位置 P_{t_2} , 此时, 主动防护系统实现对来袭目标的拦截。

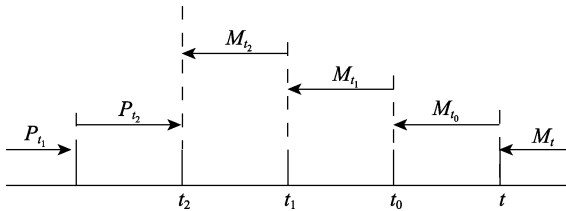


图 3 拦截过程时间轴
Fig.3 Interception process timeline

3 拦截误差分析及建模

3.1 拦截误差分析

在装甲车辆主动防护系统发射拦截弹药拦截来袭目标的整个过程中, 从拦截弹药发射时刻到拦截弹药战斗部爆炸时刻, 每个环节都存在一定的误差。在各种误差的共同影响下, 拦截弹药战斗部起爆位置与来袭弹药理想拦截位置之间存在一定偏差, 称为拦截误差^[17-18]。

综合分析主动防护系统拦截过程的各个阶段, 发现影响拦截效果的主要因素有探测雷达的探测误差、火控装置的解算误差、气象条件的影响、电磁环境的干扰等。在这些因素的共同影响下, 主动防护系统的拦截过程总存在一系列的偏差, 包括来袭目标的位置误差、速度误差、高低角误差、方向角误差, 拦截弹药的速度误差、高低角误差、方位角误差等, 导致拦截弹药战斗部的实际爆炸位置偏离理想位置, 形成拦截误差, 如图 4 所示。其中, I_P 为拦截弹药战斗部的理想爆炸位置, I_M 为来袭目标被拦截的理想位置, I_P' 为拦截弹药战斗部的实际爆炸位置, I_M' 为来袭目标被拦截的实际位置。

3.2 拦截误差模型构建

1) 来袭目标位置误差。

主动防护系统探测雷达在探测来袭目标位置时的

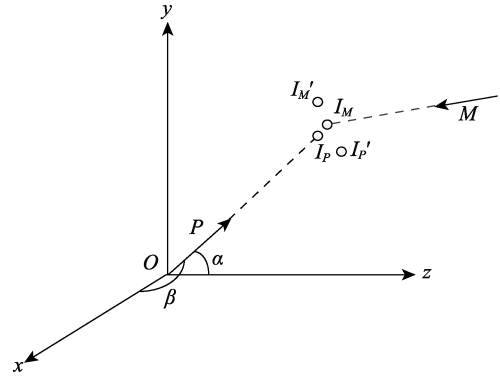


图 4 拦截误差示意
Fig.4 Schematic diagram of interception error

不准确导致来袭目标产生位置误差, 使主动防护系统解算得到的来袭目标被拦截位置偏离理想拦截位置, 其数学表达式为:

$$\begin{cases} x_{Mx}'(t_2) = (x_M(t_0) + \Delta x_M) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos \alpha_M \cos \beta_M dt \\ y_{Mx}'(t_2) = (y_M(t_0) + \Delta y_M) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos \alpha_M \sin \beta_M dt \\ z_{Mx}'(t_2) = (z_M(t_0) + \Delta z_M) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \sin \alpha_M dt \end{cases} \quad (4)$$

2) 来袭目标速度误差。

主动防护系统探测雷达在探测来袭目标速度时的不准确使来袭目标速度产生了误差, 导致主动防护系统解算出的来袭目标被拦截位置偏离理想位置, 其数学表达式为:

$$\begin{cases} x_{MV}'(t_2) = x_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} (V_M + \Delta V_M) \cos \alpha_M \cos \beta_M dt \\ y_{MV}'(t_2) = y_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} (V_M + \Delta V_M) \cos \alpha_M \sin \beta_M dt \\ z_{MV}'(t_2) = z_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} (V_M + \Delta V_M) \sin \alpha_M dt \end{cases} \quad (5)$$

3) 来袭目标高低角误差。

主动防护系统探测雷达在拦截过程中探测来袭目标高低角时存在误差, 导致主动防护系统解算出的来袭目标被拦截位置偏离理想位置, 其数学表达式为:

$$\begin{cases} x_{M\alpha}'(t_2) = x_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos(\alpha_M + \Delta \alpha_M) \cos \beta_M dt \\ y_{M\alpha}'(t_2) = y_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos(\alpha_M + \Delta \alpha_M) \sin \beta_M dt \\ z_{M\alpha}'(t_2) = z_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \sin(\alpha_M + \Delta \alpha_M) dt \end{cases} \quad (6)$$

4) 来袭目标方向角误差。

来袭目标攻击装甲车辆时, 探测雷达探测到的来袭目标方位角存在误差, 导致主动防护系统解算出的来袭目标被拦截位置偏离理想位置, 其数学表达式为:

$$\begin{cases} x_{M\beta}'(t_2) = x_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos \alpha_M \cos(\beta_M + \Delta\beta_M) dt \\ y_{M\beta}'(t_2) = y_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \cos \alpha_M \sin(\beta_M + \Delta\beta_M) dt \\ z_{M\beta}'(t_2) = z_M(t_0) + \int_{t_0}^{t_2} V_M \sin \alpha_M dt \end{cases} \quad (7)$$

5) 拦截弹药速度误差。

主动防护系统火控装置对拦截弹药飞行速度的解算存在一定误差，导致主动防护系统计算得到的拦截弹药战斗部爆炸位置偏离理想位置，其数学表达式为：

$$\begin{cases} x_{PV}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} (V_P + \Delta V_P) \cos \alpha_P \cos \beta_P dt \\ y_{PV}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} (V_P + \Delta V_P) \cos \alpha_P \sin \beta_P dt \\ z_{PV}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} (V_P + \Delta V_P) \sin \alpha_P dt \end{cases} \quad (8)$$

6) 拦截弹药高低角误差。

主动防护系统火控装置对拦截弹药飞行高低角的解算存在一定误差，导致主动防护系统计算得到的拦截弹药战斗部爆炸位置偏离理想位置，其数学表达式为：

$$\begin{cases} x_{P\alpha}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \cos(\alpha_P + \Delta\alpha_P) \cos \beta_P dt \\ y_{P\alpha}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \cos(\alpha_P + \Delta\alpha_P) \sin \beta_P dt \\ z_{P\alpha}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \sin(\alpha_P + \Delta\alpha_P) dt \end{cases} \quad (9)$$

7) 拦截弹药方位角误差。

主动防护系统火控装置对拦截弹药飞行方位角的解算存在一定误差，导致主动防护系统计算得到的拦截弹药战斗部爆炸位置偏离理想位置，其数学表达式为：

$$\begin{cases} x_{P\beta}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \cos \alpha_P \cos(\beta_P + \Delta\beta_P) dt \\ y_{P\beta}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \cos \alpha_P \sin(\beta_P + \Delta\beta_P) dt \\ z_{P\beta}'(t_2) = \int_{t_1}^{t_2} V_P \sin \alpha_P dt \end{cases} \quad (10)$$

在来袭目标的位置误差、速度误差、高低角误差和方位角误差共同作用下，来袭目标的最终被拦截位置偏差表达式为：

$$\begin{cases} \Delta x_M = (x_{Mx}'(t_2) - x_M(t_2)) + (x_{MV}'(t_2) - x_M(t_2)) + \\ \quad (x_{M\alpha}'(t_2) - x_M(t_2)) + (x_{M\beta}'(t_2) - x_M(t_2)) \\ \Delta y_M = (y_{Mx}'(t_2) - y_M(t_2)) + (y_{MV}'(t_2) - y_M(t_2)) + \\ \quad (y_{M\alpha}'(t_2) - y_M(t_2)) + (y_{M\beta}'(t_2) - y_M(t_2)) \\ \Delta z_M = (z_{Mx}'(t_2) - z_M(t_2)) + (z_{MV}'(t_2) - z_M(t_2)) + \\ \quad (z_{M\alpha}'(t_2) - z_M(t_2)) + (z_{M\beta}'(t_2) - z_M(t_2)) \end{cases} \quad (11)$$

在拦截弹药的速度误差、高低角误差和方位角误差的共同作用下，拦截弹药战斗部的最终爆炸位置偏差表达式为：

$$\begin{cases} \Delta x_P = (x_{PV}'(t_2) - x_P(t_2)) + (x_{P\alpha}'(t_2) - \\ \quad x_P(t_2)) + (x_{P\beta}'(t_2) - x_P(t_2)) \\ \Delta y_P = (y_{PV}'(t_2) - y_P(t_2)) + (y_{P\alpha}'(t_2) - \\ \quad y_P(t_2)) + (y_{P\beta}'(t_2) - y_P(t_2)) \\ \Delta z_P = (z_{PV}'(t_2) - z_P(t_2)) + (z_{P\alpha}'(t_2) - \\ \quad z_P(t_2)) + (z_{P\beta}'(t_2) - z_P(t_2)) \end{cases} \quad (12)$$

来袭目标被拦截位置偏差和拦截弹药战斗部爆炸位置偏差共同构成了主动防护系统拦截误差，其模型如式 (13) 所示：

$$f = \sqrt{(\Delta x_M + \Delta x_P)^2 + (\Delta y_M + \Delta y_P)^2 + (\Delta z_M + \Delta z_P)^2} \quad (13)$$

拦截弹药战斗部爆炸位置与来袭目标被拦截的理想位置距离越近，成功拦截来袭目标的概率越大。

4 结论

1) 分析了主动防护系统的拦截过程，建立了拦截过程数学模型。

2) 通过对主动防护系统拦截过程中的误差分析，确定了由来袭目标的位置误差、速度误差、高低角误差、方位角误差引起的来袭目标被拦截位置偏差；确定了由拦截弹药的速度误差、高低角误差、方位角误差引起的拦截弹药战斗部爆炸位置偏差。

3) 基于拦截弹药和来袭目标的位置偏差模型，构建了主动防护系统的拦截误差模型。

参考文献：

- [1] 王树山, 马晓飞, 李园, 等. 坦克主动防护系统弹药毁伤效能评估[J]. 北京理工大学学报, 2007, 27(12): 1042-1044, 1049.
WANG Shu-shan, MA Xiao-fei, LI Yuan, et al. Evaluation of damage effectiveness for tank active protection defense system ammunitions[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2007, 27(12): 1042-1044, 1049.
- [2] 薛增全, 郑斌, 李建伟, 等. 基于主动防护系统的最佳拦截区域设计[J]. 弹箭与制导学报, 2012, 32(5): 207-209.
XUE Zeng-quan, ZHENG Bin, LI Jian-wei, et al. The best intercepting area design based on active protection system[J]. Journal of projectiles, rockets, missiles and guidance, 2012, 32(5): 207-209.
- [3] 罗健, 侯云辉, 任良, 等. 定向破片拦截下 RPG-7 类反坦克火箭弹(静态)毁伤模式的试验研究[J]. 弹箭与制导学报, 2013, 33(2): 41-43, 46.

- LUO Jian, HOU Yun-hui, REN Liang, et al. Experimental study of RPG-7 (static) damage modes under directed fragment field[J]. Journal of projectiles, rockets, missiles and guidance, 2013, 33(2): 41-43, 46.
- [4] 徐文超, 薛青, 张国辉, 等. 基于效能分析的坦克主动防护系统建模研究[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(4): 84-87.
XU Wen-chao, XUE Qing, ZHANG Guo-hui, et al. Modeling of tank active protection system based on efficiency analysis[J]. Fire control & command control, 2015, 40(4): 84-87.
- [5] 雷灏, 尉广军, 姚志敏. 国外坦克装甲车辆主动防护系统发展综述[J]. 飞航导弹, 2013(11): 30-35.
LEI Hao, YU Guang-jun, YAO Zhi-min. Review of the development of active protection system for tanks and armored vehicles abroad [J]. Aerodynamic missile journal, 2013(11): 30-35.
- [6] 高学刚. 战车主动防护系统中的目标跟踪算法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
GAO Xue-gang. Research on target tracking algorithm in combat vehicle active protection system[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010.
- [7] 周平, 赵辰霄, 梅林, 等. 现代坦克主动防护系统发展现状与趋势分析[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(2): 132-136.
ZHOU Ping, ZHAO Chen-xiao, MEI Lin, et al. Development situation and trends analysis of modern tank active protection system[J]. Command control & simulation, 2016, 38(2): 132-136.
- [8] 房凌晖, 郑翔玉, 汪伦根, 等. 坦克装甲车辆主动防护系统发展研究[J]. 装备环境工程, 2014, 11(1): 63-67.
FANG Ling-hui, ZHENG Xiang-yu, WANG Lun-gen, et al. Study on development of tank & armored vehicle active protection systems[J]. Equipment environmental engineering, 2014, 11(1): 63-67.
- [9] 姚素红. 轻型装甲车辆主动防护系统弹药的引战配合设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
YAO Su-hong. Fuze warhead coordination design of active protection system ammunition for light armored vehicle[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010.
- [10] 卢东祥. 基于分布式 MEFP 主动防护系统设计及毁伤概率研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2016.
LU Dong-xiang. Design of active defense system based on distributed MEFP and research on damage probability[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2016.
- [11] 辛建国. 装甲车辆主动防护系统研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.
XIN Jian-guo. Study on active protection system of armored vehicle[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004.
- [12] 李富贵, 夏群利, 郭龙昌. 超近程低成本主动防护系统拦截导弹设计[J]. 弹道学报, 2013, 25(2): 59-64.
LI Fu-gui, XIA Qun-li, GUO Long-chang. Design for super-short-range low-cost intercept missile of active protection system[J]. Journal of ballistics, 2013, 25(2): 59-64.
- [13] 张然. 坦克主动防护拦截与反坦克导弹突防的研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
ZHANG Ran. Study on the tank interception for active protection and the anti-tank missile penetration[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016.
- [14] 李建伟. 硬杀伤型坦克主动防护系统拦截概率研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
LI Jian-wei. Research on intercept probability of tank active protection system using hard kill mode[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.
- [15] 郭希维, 赵昉, 姚志敏. 主动防护系统与 EFP 战斗部对抗过程[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(10): 1-3.
GUO Xi-wei, ZHAO Fang, YAO Zhi-min. Confrontation process between active protection system and EFP warhead[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2012, 33(10): 1-3.
- [16] 陈理凯. 轻型装甲车辆主动防护系统拦截效率研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
CHEN Li-kai. Research on interception efficiency of light armored vehicle active protection system[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2008.
- [17] 卢东祥, 陈曦, 杜忠华, 等. 分布式 MEFP 战斗部对空中目标毁伤概率仿真研究[J]. 弹道学报, 2015, 27(2): 46-50, 61.
LU Dong-xiang, CHEN Xi, DU Zhong-hua, et al. Simulation research on damage probability of distributed MEFP warhead attacking air target[J]. Journal of ballistics, 2015, 27(2): 46-50, 61.
- [18] 武新, 王晓, 苗成, 等. 国外坦克主动防护技术进展及发展趋势[J]. 兵器材料科学与工程, 2013, 36(2): 133-137.
WU Xin, WANG Xiao, MIAO Cheng, et al. Development and trend of active protection technology in foreign combat tank[J]. Ordnance material science and engineering, 2013, 36(2): 133-137.