

doi: 10.7690/bgzd.2024.07.003

基于改进坐标变换的某型航空装备成像画面研究

陈局非¹, 张胜楠², 韩旭³, 高佳祥¹, 陆海⁴

- (1. 国营长虹机械厂弹药修理技术研究中心, 广西 桂林 541000; 2. 国营长虹机械厂电子车间, 广西 桂林 541000;
3. 青岛海西重机有限责任公司电气技术研究所, 山东 青岛 266530;
4. 国营长虹机械厂发动机车间, 广西 桂林 541000)

摘要: 为帮助某型航空装备飞行员排除干扰快速精准地锁定目标, 提出一种基于改进坐标变换的某型装备成像画面预测方法。将其同仿真软件的图形用户界面功能相结合开发了一套预测系统, 通过利用该套预测系统进行目标成像画面预测, 仿真输出结果可辅助飞行员排除干扰从而提升制导率。结果表明: 该方法填补了某型装备成像画面预测方面的技术空白, 具有实际意义与推广价值。

关键词: 改进坐标变换; 成像画面预测方法; 预测系统; 排除干扰; 提升制导率

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Research on Imaging Picture of a Certain Type of Aviation Equipment Based on Improved Coordinate Transformation

Chen Jufei¹, Zhang Shengnan², Han Xu³, Gao Jiexiang¹, Lu Hai⁴

- (1. *Ammunition Repair Technology Research Center of State-Owned Changhong Machinery Factory, Guilin 541000, China;*
2. *Electronics Workshop of State-Owned Changhong Machinery Factory, Guilin 541000, China;*
3. *Electric Technology Research Institute, Qingdao Haixi Heavy-duty Machinery Co., LTD., Qingdao 266530, China;*
4. *Engine Workshop of State-owned Changhong Machinery Factory, Guilin 541000, China)*

Abstract: In order to help the pilot of a certain type of aviation equipment to eliminate interference and lock the target quickly and accurately, an imaging picture prediction method of a certain type of equipment based on improved coordinate transformation is proposed. A set of prediction system is developed by combining it with the graphical user interface function of the simulation software. By using the set of prediction system to predict the target imaging picture, the simulation output results can assist the pilot to eliminate interference and improve the guidance rate. The results show that the method fills the technical blank of the imaging picture prediction of a certain type of equipment, and has practical significance and promotional value.

Keywords: improved coordinate transformation; imaging picture prediction method; prediction system; elimination of interference; improvement of control rate

0 引言

在现代战争中, 航空装备的使用对战争走向起着十分重要的影响, 前期侦查到的图像情报直接影响飞行员是否能够快速、准确地发现目标从而锁定目标, 亦是航空装备能否准确捕获、稳定跟踪及命中目标前提条件, 因此对目标成像画面的研究具有重要意义。相较于其他制导方式, 电视制导具有隐蔽性高、抗干扰能力强、成本低等一系列优点。操作者能够通过监视器查看目标画面, 通过操纵杆控制电视摄像机用以搜寻目标, 找到目标后并将其锁定。现阶段的理论研究均是针对某型装备图像处理算法方面所开展的, 尚未对成像画面进行系统具体研究, 该项研究仍处于空白阶段。

笔者提出一种基于改进坐标变换的某型装备成

像画面预测方法, 结合仿真软件图形用户界面功能开发一套成像画面预测系统, 可辅助飞行员排除干扰从而提升制导率。

此方法的优势有3点: 1) 成像画面预测系统对预测过程中涉及到的复杂运算等操作进行整合, 操作者可实现对预测结果快速控制及理解。2) 该方法可辅助飞行员快速排除干扰, 提升制导率。3) 填补了某型装备成像画面预测方面的技术空白, 具有现实意义及推广价值。

1 坐标变换

坐标变换^[1-3]是指从一种坐标系到另一种的转换过程, 可由构建2个坐标系之间的相互关系来完成。由飞行力学相关知识可知, 地面坐标系与弹体坐标系之间可以通过坐标转换矩阵相互转换, 对

收稿日期: 2024-03-17; 修回日期: 2024-04-23

第一作者: 陈局非(1994—), 女, 黑龙江人, 硕士。

于研究某型装备成像画面问题,此种方法同样适用。通过介绍及自定义相关坐标系,对某型装备成像画面问题开展研究。

1.1 坐标系介绍

1) 地面坐标系:坐标系的原点^[4-5]通常取弹体质心在地面(水平面)上的投影点A, Ax轴在水平面内,指向目标为正; Ay轴同地面垂直,向上为正; Az轴以右手定则为准,如图 1 所示。

2) 弹体坐标系:坐标系的原点取在弹体的质心上^[6-8]; Ox'轴同弹体重合,以其头部为正; Oy'轴在弹体纵向对称面内,同 Ox'轴垂直,向上为正; Oz'轴同 x'Oy'平面垂直,按右手定则确定方向,此坐标系同弹体固连是动坐标系,如图 1 所示。

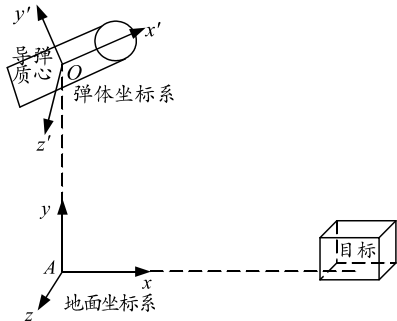


图 1 地面坐标系与弹体坐标系空间位置关系

3) 平面坐标系^[9]:用物理单位来表示像素的位置,其原点为摄像机光轴同平面坐标系的交点。

4) 像素坐标系:以像素为单位,坐标原点在左上角。

1.2 自定义相关坐标系

如图 2 所示,某型装备的电视摄像机镜头位于导引头内,可随 2 个转动框做上下、左右转动,镜头转动的同时,2 个转动框中心点的位置相对不会改变,始终位于弹体纵轴 x' 上。

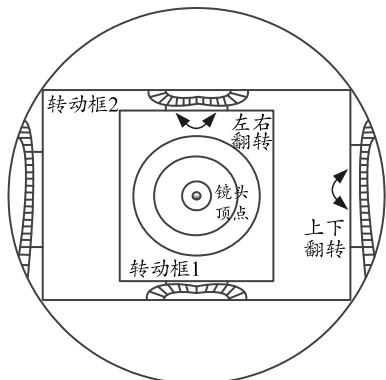


图 2 转动框与镜头相对位置关系

1) 转动框坐标系:选取转动框中心位置自定义

为转动框坐标系原点 O_1 ,同弹体所重合的轴定义为其纵轴 x_1 轴,该轴朝向弹体头部为正; y_1 轴位于弹体纵向对称面内,同 x_1 轴垂直,向上为正; z_1 轴同 $x_1O_1y_1$ 平面垂直,方向以右手定则为基准,转动框坐标系同样与弹体所固连属于是动坐标系,如图 3 所示。

2) 光心坐标系:自定义光心坐标系的原点 O_2 取于镜头光心上, x_2 轴同镜头主光轴重合; y_2 轴位于镜头纵向对称面内同 x_2 轴垂直,向上为正; z_2 轴同 $O_2x_2y_2$ 平面垂直。光心坐标系同主光轴固连,是一个动坐标系,如图 3 所示。

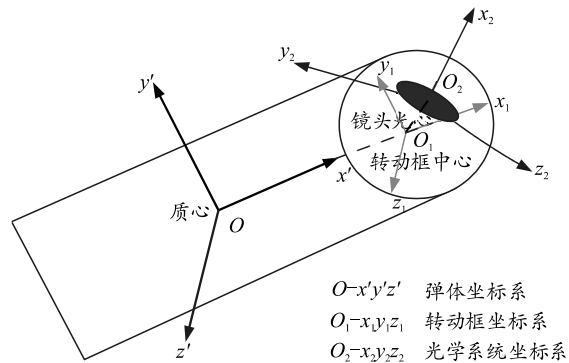


图 3 弹体坐标系、转动框坐标系与光学系统坐标系空间位置关系

1.3 改进^[10]坐标变换

如图 4 所示,飞行力学中的传统坐标变换方法仅是针对原点位置不变的情况下才可进行。

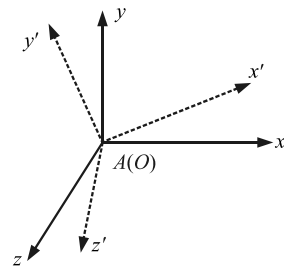


图 4 传统坐标变换

如图 5 所示,从上述介绍的 4 个坐标系中,可看出原点的位置均发生了改变;因此,需要对传统意义上的坐标变换方法进行改进。

2 具体成像画面预测方法

具体成像画面预测方法主要是由目标轮廓特征信息提取、改进坐标变换及传统坐标变换分为 6 步共同实现,其中改进坐标变换是其核心算法。笔者对这 6 个步骤进行详细介绍。

2.1 提取目标轮廓特征信息

首先根据弹体质心在地面投影及目标的位置,

确定地面坐标系,然后根据弹体质心距地面的高度、距目标的距离及目标建筑物本身的特征信息,提取目标建筑物相对地面坐标系的轮廓特征信息。

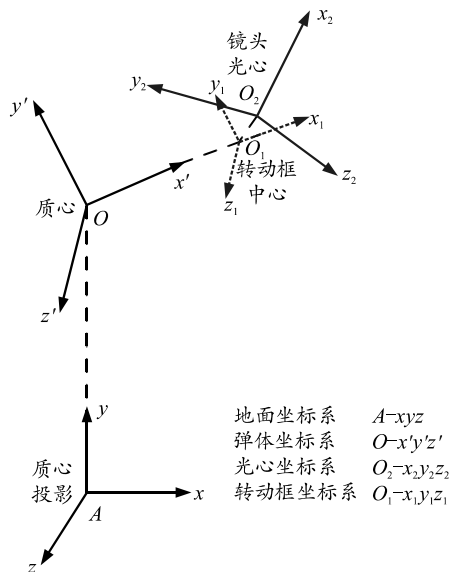


图 5 4 个坐标系原点空间位置关系一览

2.2 地面坐标系、弹体坐标系进行改进坐标变换

如飞行力学中所描述,地面、弹体坐标系之间的变换是进行图 4 所示那般的原点位置不发生位移的传统变换,若要其满足图 5 所示的空间位置关系,需在进行传统变换后,将地面坐标系整体沿坐标轴方向上移导弹质心距地面原点高度段距离。

2.3 弹体坐标系、转动框坐标系进行改进坐标变换

镜头在随转动框做转动运动时,转动框中心点的位置相对弹体质心不会发生变化,即弹体质心距转动框中心的距离恒定不变。

如图 6 所示,将弹体坐标系整体沿 x' 轴平移弹体质心距转动框中心位置长度段距离,即可将其变换到转动框坐标系上。

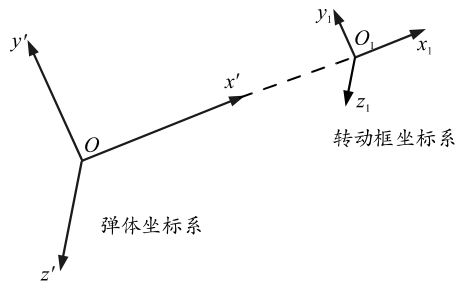


图 6 2 个坐标系空间位置关系

2.4 转动框坐标系、光心坐标系进行坐标变换

如图 7 所示,在不改变转动框坐标系、光心坐标系在空间欧拉角的前提下,将转动框坐标系整体移动令其原点同光心坐标系原点交汇。

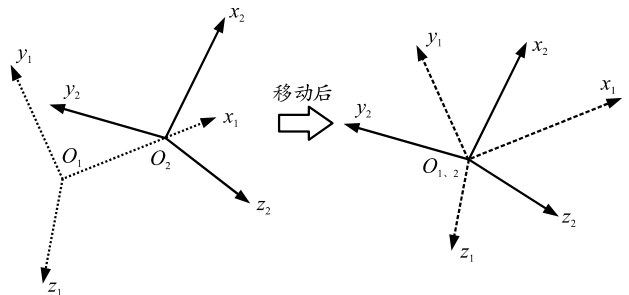


图 7 移动前后效果

1) β 角(俯仰角):定义为光心坐标系的纵轴(x_2)轴同水平面($O_1x_1z_1$ 平面)间的夹角。光学系统坐标系纵轴指向水平面上方为正, β 角为正;反之为负。

2) α 角(航向角):定义为光心坐标系的纵轴(x_2)轴在水平面内投影同弹体坐标系 x_1 轴之间的夹角。迎 α 角平面观察,若由 x_2 轴转至 x_1 轴是逆时针旋转,则 α 角为正,反之为负。

如图 8 所示为转动框、光心坐标系空间关系示意图,设转动框中心距光心的距离为 L 。

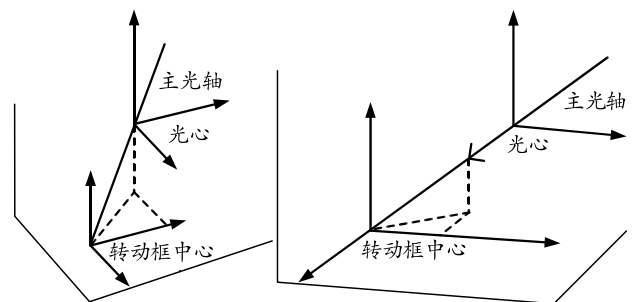


图 8 3 维空间关系

经过推导:转动框坐标系整体需沿 x 轴移动 $L*\cos(\alpha)*\cos(\beta)$;沿 y 轴移动 $L*\sin(\beta)$;沿 z 轴移动 $L*\cos(\beta)*\sin(\alpha)$;方能实现如图 7 所示的位置关系。

转动框坐标系与光心坐标系的原点重合后,以转动框坐标系为基准,按照上述定义的 2 个角参数,进行坐标变换。

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = L(\beta, \alpha) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

推导出坐标变换矩阵:

$$L(\beta, \alpha) = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \alpha & \sin \beta & -\cos \beta \sin \alpha \\ -\sin \beta \cos \alpha & \cos \beta & \sin \beta \sin \alpha \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.5 光心坐标系、平面坐标系进行改进坐标变换

如图 9 所示,从光心坐标系变换到平面坐标系,属于由 3 维变换为 2 维,可由三角形相似定理进行推导。

即有：

$$\frac{AB}{O_3C} = \frac{MB}{mC} = \frac{AO_2}{O_3O_2} = \frac{z_2}{x} = \frac{x_2}{f} = \frac{y_2}{y}; \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 \\ 0 & f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_2/x_2 \\ y_2/x_2 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

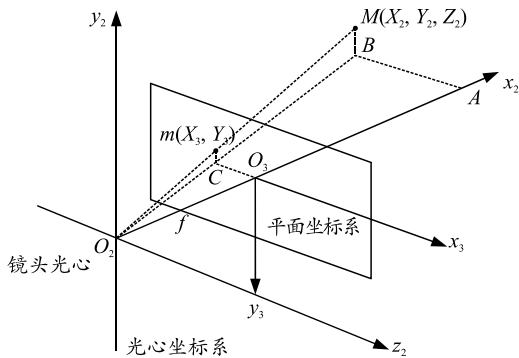


图 9 光心坐标系、平面坐标系空间关系

2.6 平面坐标系、像素坐标系进行改进坐标变换

如图 10 所示，平面坐标系、像素坐标系之间的变换同样也与前文所述的坐标变换有所区别，因为两坐标系均为 2 维平面坐标系，且坐标系大小、原点位置均不一致，是以仅需进行伸缩变换和平移变换即可。

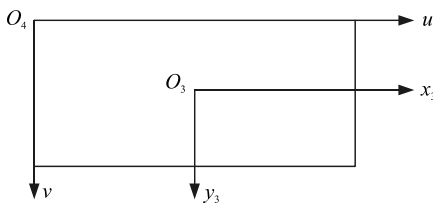


图 10 平面坐标系、像素坐标系间关系结构

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/dx & 0 & u_0 \\ 0 & 1/dy & v_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

式中^[11]：dx、dy 分别代表像素坐标系中水平、垂直方向每个像素的物理大小。

3 预测软件设计

在具体成像画面的预测过程中除需进行上述的多步骤坐标变换之外，还需进行弹体、镜头、感光元件、目标等相关参数的设定，需要足够的人机交互操作处理。为增强对具体成像画面预测结果的快速控制、理解，设计并开发了某型装备成像画面预测软件，对预测过程中的操作进行集成，并且以简洁明了的图形交互界面方式显示。

3.1 软件技术实现

图形用户界面是由窗口、按键、图标、文本等

各种图形对象组成的用户界面，可实现用户同仿真软件交互方式的制定。将图形用户界面功能同前文所述的具体成像画面预测方法相结合，即可实现某型装备成像画面预测软件的开发。

3.2 软件结构

如图 11 所示，为此预测软件的结构，主要由参数设定及界面交互 2 部分构成。

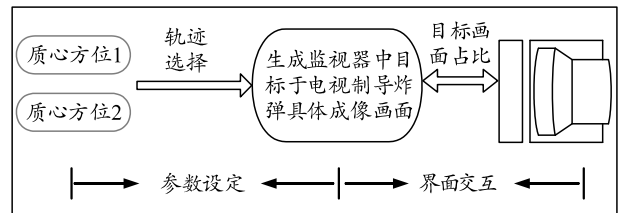


图 11 软件结构

3.3 软件界面与功能实现

成像画面预测系统的主界面，如图 12 所示。由于监视器中的画面均是经过修正的画面，所以可忽略弹体及镜头滚转角带来的影响，功能设计方面未将弹体及镜头的滚转角纳入其中。同时，如图 13 所示，设计了 2 种弹体质心相对目标方位可供选择，分别为质心投影于目标正前方及侧方时的 2 种飞行模式，默认弹体的真航向为 0。

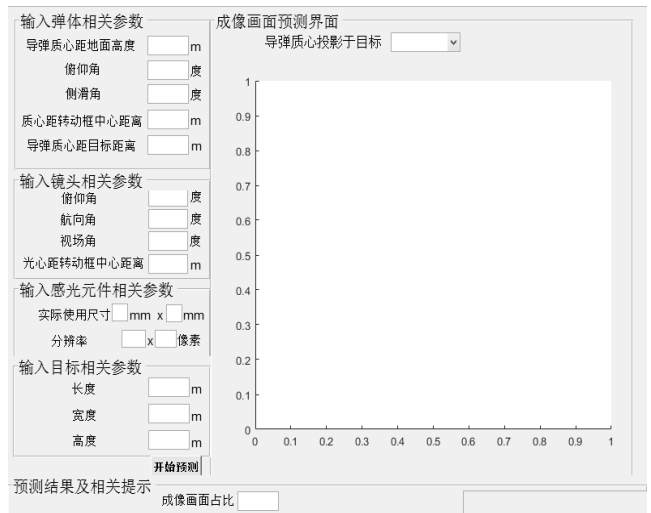


图 12 软件界面

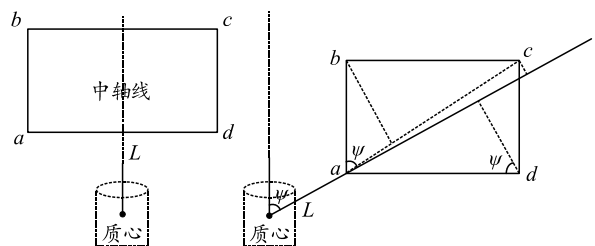


图 13 导弹质心相对于目标方位

预测软件输入参数如表 1 所示，可看出预测软

件所考虑到的各项预测参数及相应单位。

表 1 输入参数汇总

参数类别	参数名称
弹体相关参数	导弹质心距地面高度/m
	俯仰角/(°)
	侧滑角/(°)
	导弹质心距转动框中心距离/m
	导弹质心距目标距离/m
镜头相关参数	俯仰角/(°)
	航向角/(°)
	视场角/(°)
	镜头光心距转动框中心距离/m
感光元件参数	实际使用尺寸/mm
	分辨率/像素
目标相关参数	长度/m
	宽度/m
	高度/m
相对位置参数	导弹质心投影于目标侧方
	导弹质心投影于目标正前方

3.4 仿真实例

成像画面预测系统的运行界面，如图 14 所示。通过设定弹体、镜头、感光元件、目标相关参数以后，选择弹体质心投影于目标的方位，点击开始预测按钮后，预测界面面板上将会出现目标的具体成像信息，界面下方成像画面占比框将会显示目标成像相较于载体显示器的画面占比，若成像画面超出预测界面边界，界面右下角将会出现如图 15 所示相应提示。

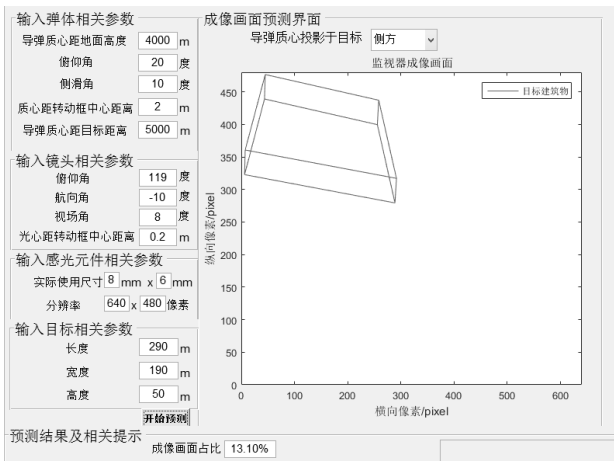


图 14 软件运行界面

预测软件界面右下角可做出包括“成像画面全部超出预测界面，位于上方”“成像画面全部超出预测界面，位于下方”“成像画面全部超出预测界面，位于左方”“成像画面全部超出预测界面，位于右方”“成像画面部分超出预测界面”5种提示，飞行员可根据提示调整使成像画面完全出现在预测界面区域内，根据画面占比及画面方位信息，排除目标干扰，从而快速锁定目标。

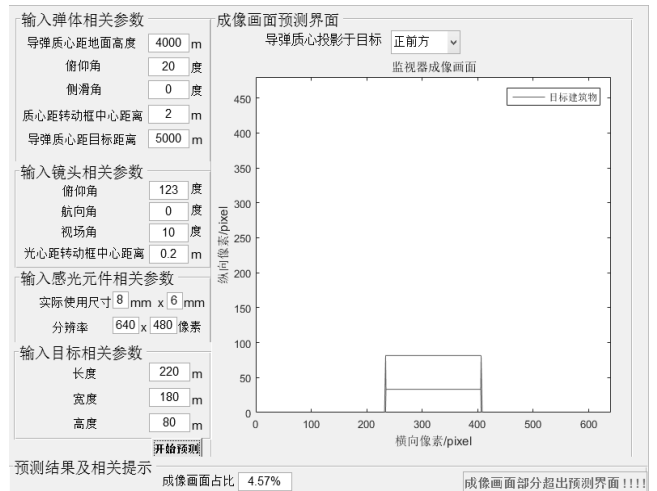


图 15 提示“成像画面部分超出预测界面”

4 结论

笔者系统介绍了一种基于改进坐标变换的某型装备成像画面预测方法，通过利用改进坐标变换的具体成像画面预测方法同仿真软件图形用户界面功能结合进行成像画面预测，飞行员可根据预测系统输出的画面占比信息及图像方位信息快速锁定目标，辅助其排除干扰从而提升制导率。改进坐标变换的某型装备成像画面预测方法填补了某型装备成像画面预测领域的技术空白。由于笔者的侧重点是介绍某型装备成像画面的具体预测方法，导致软件设计方面存在不足，仅考虑了特定的 2 种弹体质心方位，未考虑完全；因此，后续软件功能设计方面应基于本预测方法将多种弹体质心方位整合进去。

参考文献：

- [1] 陈春行, 林春生, 贾文科, 等. 基于地磁传感器的弹体姿态测量方法[J]. 探测与控制学报, 2018, 40(1): 33-39.
- [2] 黄鲁豫, 曲鑫, 凡永华, 等. 多约束下的导弹螺旋机动制导控制一体化设计[J]. 宇航学报, 2021, 42(9): 1108-1118.
- [3] 郭正玉, 王超磊, 钱航, 等. 带有攻击角约束的大机动目标协同攻击制导律[J]. 西北工业大学学报, 2020, 38(6): 1257-1265.
- [4] 陈晋璋. 脉冲式修正弹控制策略和弹道特性分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [5] 黄景帅. 大气层高层机动目标末段拦截制导控制方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2015.
- [6] 周慧波. 基于有限时间和滑模理论的导引律及多导弹协同制导研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [7] 邹汝平, 陈士超, 陈韵, 等. 激光寻的空地导弹制导控制方法[J]. 兵工学报, 2021, 42(1): 1-10.