

doi: 10.7690/bgzdh.2020.04.002

激光制导空地导弹武器系统攻击运动目标试飞技术

杜梓冰, 段 亚, 张 洁, 陈敬志

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 为了验证激光制导导弹攻击地面运动目标的能力, 提出一种激光制导空地导弹武器系统攻击运动目标试飞技术。依据无人机激光制导导弹武器系统的作战原理, 建立面向使用的考核指标体系, 采用一体化试验与评估方法, 通过分析半实物仿真、地面试验定量结果和操作员定性评价。对配试目标的各项技术要求进行说明, 给出了机载、外部数据测试方法和测试内容, 并提出了作战使用建议。试验结果验证了该方法的有效性和合理性。该试飞设计思路和试飞方法可以为激光制导导弹武器系统的试飞鉴定工作提供参考。

关键词: 无人机; 激光制导导弹; 时敏运动目标; 飞行试验

中图分类号: TJ762.2⁺1 **文献标志码:** A

Flight Test Technology for Laser Guided Air-to-ground Missile Weapon System Attacking Moving Target

Du Zibing, Duan Ya, Zhang Jie, Chen Jingzhi

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: To demonstrate the ability of laser guided air-to-ground missile to attack moving target, the flight test technology for laser guided air-to-ground missile weapon system attacking mobbing target was proposed. The evaluation index system for operation was established according to the operating principle of UAV laser guided missile weapon system, integrated test and evaluation method was used to analyze operator's qualitative evaluation and quantitative results which came from semi-physical simulation and ground test. The technical requirements of the targets were described in detail. The test methods and contents of airborne and external data testing were given, and the suggestion of operation was given to users. At last, the validity and rationality of the method are proved by the real flight test result. The designing idea and flight test method can provide reference for the flight test and evaluation of laser-guided missile weapon system.

Keywords: UAV; laser guided missile; time-sensitive moving target; flight test

0 引言

激光制导空地导弹是当前直升机、无人机装备的主要武器^[1-3], 用于打击地面目标, 但与打击地面固定目标相比, 打击地面时敏运动目标的难度要大得多, 成功率低得多, 命中精度明显下降, 常常贻误战机^[4], 这是由于时敏运动目标状态变化频繁、定位难、跟踪难、可打击时间短造成的。

装备交付前都需要通过试验鉴定。目前, 国内对无人机电载激光制导空地导弹攻击运动目标的试验研究较少, 主要集中于研究激光制导炸弹。黄捷^[5]、王勋^[6]主要研究了无人机对地面运动目标跟踪算法和自主攻击能力; 李亚平^[7]从理论和飞行试验方面比较全面地分析了无人机发射激光制导炸弹攻击地面固定目标影响因素; 刘大卫等^[8]、刘跃峰等^[9]通过仿真研究了激光制导炸弹攻击运动目标的情况, 对攻击方向、目标速度、导弹发射高度的影响进行

了定性分析。虽然激光制导炸弹与激光制导导弹基本作战原理相通, 但有区别, 上述研究结果还不能说明这些因素对无人机发射激光制导导弹攻击运动目标能力的影响。

在前期研究基础上, 笔者对无人机激光制导空地导弹武器系统攻击运动目标的试飞方法进行研究, 以较全面地验证武器系统战术指标和使用性能, 评估各因素对导弹武器系统作战使用的影响, 为产品设计改进和后续使用提供参考^[10-11]。

1 激光制导武器系统技术及鉴定特点

“捕食者”等察打一体无人机主要挂载的是以“AGM-114”型号为代表的激光半主动制导空地导弹^[2], 属于激光寻的制导。典型的无人机激光制导导弹武器系统组成包括带有半主动导引头的导弹、无人机火控系统、激光指示器。其基本原理是: 由无人机或其他平台的激光指示器发射激光照射目

收稿日期: 2019-12-08; 修回日期: 2020-01-24

基金项目: 装发共用项目(41411030301)

作者简介: 杜梓冰(1986—), 男, 陕西人, 硕士, 工程师, 从事机载武器火控系统试飞研究。E-mail: duzibing@126.com。

标，弹上导引头接收目标漫反射的回波信息，制导系统形成对目标的跟踪，同时将偏差信号送给弹上控制系统，控制攻击弹药飞向目标^[1]。主要作战目标是房屋、坦克、车辆、小型船只等。与其他空地导弹相比，激光制导武器主要优点：作战适应性强，可全天候作战；能在人为干扰和背景干扰下作战；制导精度高，打击精度高；结构简单，成本低，质量轻，通用性强，可系列化发展^[1]；因此，成为直升机、无人机的主战武器。

近年来，美国对科索沃战争、阿富汗战争、伊拉克战争和反恐行动表明：虽然空中目标速度远比地面目标速度快，但使用激光制导导弹打击地面运动目标比使用空空导弹打击空中运动目标难得多。用户对使用其他机载空地导弹打击车辆等高速运动目标的需求并没有使用激光制导导弹打击运动目标的需求强烈，同时激光制导导弹打击运动目标又不比打击固定目标更难。基于上述 3 个原因和特点，激光制导导弹试飞过程中很重要的一个科目就是打击运动目标，尤其是无人机使用激光制导导弹打击越野车辆等高速目标试飞。在试飞鉴定新形势下^[10]，要更加注重提升打击移动目标的能力，因为这是对系统边界能力的考核。

2 面向使用的考核指标体系建立

装备的试飞鉴定工作是一个目的性很强的工程实践活动，考核验证装备的指标和使用能力。指标方面，需要根据作战使用细化指标颗粒度，建立考核指标体系，分解到不可再分为止，从装备作战原理过程和用户使用要求 2 方面进行分析。

作战原理过程如图 1 所示，“捕食者”挂载 AGM-114 导弹时，其典型本照本打击过程包括武器准备、探测识别锁定目标、发射武器、目标照射制导和打击效果核查评估等步骤。发射参数主要包括攻击方向、目标速度、载机速度、发射距离、发射高度等^[7,11-12]。

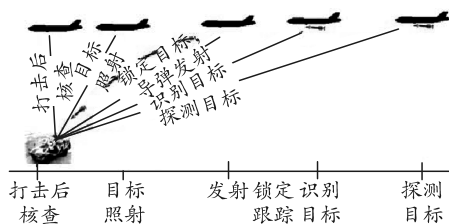


图 1 无人机激光制导导弹作战原理过程

如图 2 所示，对于用户使用要求，采用鱼骨图形式进行分析。

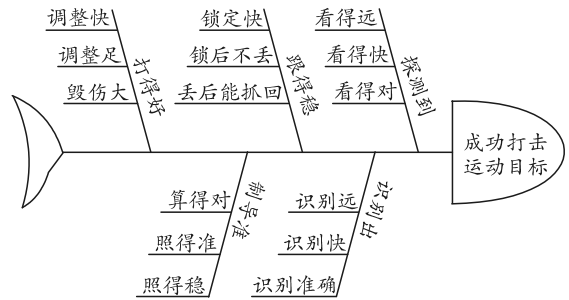


图 2 用户使用要求分析

对于用户而言，作战目标是成功毁伤运动目标，而无人机能否发射导弹毁伤时敏目标，在于无人机的传感器能否在预计区域探测、识别、定位目标，能否在有限时间窗口内完成相应操作，导弹机动能力和制导精度是否满足要求，发射后能否对目标进行照射^[7]。笔者根据攻击运动目标的作战过程，建立如图 3 所示的指标体系^[11]。

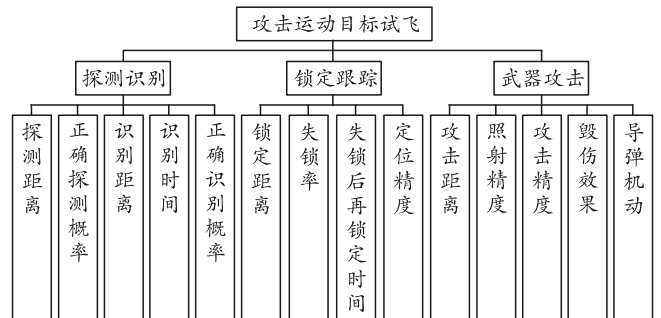


图 3 试飞评估指标体系

3 一体化试验方案设计

笔者建立考核指标体系后，设计合适的试验方法对每个指标进行试验与评估，给出考核结果。装备的试验与评估方法很多，包括仿真、地面试验和飞行试验等类型，仿真实现便利、样本量大、可重复，但不够真实，地面试验常常只能完成分系统动态试验而难以完成机弹结合的大系统动态试验，飞行试验是真实环境下对装备的考核，具有结果真实、费用高、样本有限、样本不可重复等典型特点^[11]。与其他机载设备相比，导弹武器系统更大、要素更多，难以通过飞行试验完成全部要素检查，部分要素需要通过仿真试验、地面试验验证，对移动目标攻击能力的考核，综合分析试验能力、保障能力、进度等方面要素，确定攻击精度由飞行试验和仿真试验综合评定，导弹机动能力由半实物仿真评定，其他各指标由飞行试验评定^[11]。由于这些试验常常由不同单位各自进行，在以往的试验鉴定过程中，试验设计之初缺乏顶层规划和统一考虑，各个试验各自为战，各阶段没有足够的继承性和协调性，前

一阶段试验对后续试验的支撑不足，造成试验结果利用不够，后续试验的先验信息不足，准备时间过长^[11]。

为此，采用一体化试验与评估方法，在试验鉴定顶层设计阶段即统筹考虑实验室半实物仿真、地面试验和飞行试验，明确各阶段试验内容、试验顺序、试验结果评定以及对后续试验的支撑作用。

在导弹半实物仿真试验中，用正交试验设计方法对发射条件尽可能多的因素水平进行试验，在全样本空间内，检查不同高度、速度、距离、姿态条件下发射导弹对不同方向、速度的运动目标攻击精度，根据仿真结果分析各种攻击条件对命中精度的影响，并进行关键性排序，作为飞行试验选点的重要参考。

由于打击过程中需要飞行员操作光电球探测、识别、跟踪目标^[11]，因此，在光电球地面跑车试验中，分别在不同方位，实验车在固定和运动的情况下，操作光电球对不同速度、距离的运动目标进行探测、识别、跟踪。如图 4 所示，模拟载机不同攻击态势下对运动目标的搜索跟踪能力，主要包括迎头、侧向、尾追等攻击态势，操作员定性评价这些因素对操作的影响。

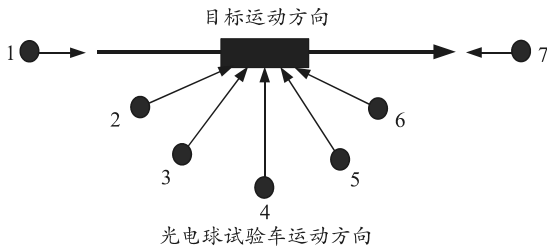


图 4 实验车和目标相对运动态势

通过分析半实物仿真、地面试验定量结果和操作人员定性评价，识别关键因子及水平，进行关键性排序，初步确定飞行试验因子水平，然后在上述试验结果中选取几个最典型因素水平设计飞行试验剖面方案如表 1 所示。

表 1 飞行试验条件

目标速度	机动方式	攻击方向	载机速度	发射距离	发射高度
速度 1	机动 2	方向 1	速度 5	距离 3	高度 2
速度 3	机动 1	方向 2	速度 3	距离 1	高度 R
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

综合考虑配试保障资源、经费、周期等外部要素，确定最终飞行试验方案。

4 配试目标及要求

如图 5 所示，通过飞行试验验证系统攻击能力

时，需要运动靶标作为配试目标，相比于固定靶标而言，运动靶标的控制方式、目标特性和数据记录都有独特的要求^[11]。如图 6 所示，可参照唐平建等^[13]的方法建设靶标。该靶标系统由牵引车、靶标和遥控站组成^[13]，牵引车拖动靶标，以模拟假想坦克、车辆外形、运动、红外等特征，还可与光、烟模拟器组合使用，模拟敌武器发射时的特性，也可在车上加装电台，模拟恐怖分子车辆；工作人员通过遥控站控制靶车的启动、变速、转向、油门及刹车，使其按试验要求的速度和路线行驶，同时牵引车上的电台将路况和牵引车状态参数传至遥控站进行监控。这样牵引车、人和遥控装置便能闭环工作。为便于结果的评定，要求这种靶标的速度不仅能调节，还需要精准控制、误差小，而且能够加装测试设备，用于测试位置和速度等信息。

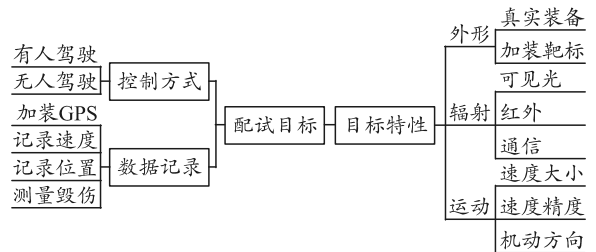


图 5 配试目标特点及要求

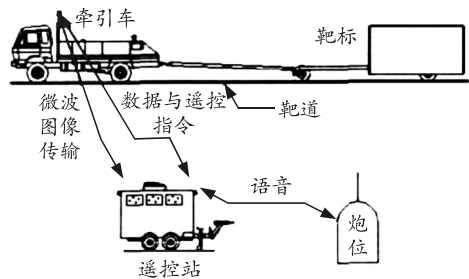


图 6 遥控运动靶标

5 测试方法和内容

攻击移动目标试飞涉及载机、地面运动目标和靶场空地多域测试。由于目标的运动特性是评价攻击能力的重要依据，因此，与攻击固定目标试飞相比，一个重要区别是需要记录目标的运动数据。测试系统与参数如图 7 所示。利用机载测试、外部测试等多种手段采集记录参数^[11,14]如下：

1) 载机的飞行数据。在试验机上加装测试设备，记录试飞过程中试验载机的飞行传感器输出的数据，包括高度、速度、航向、姿态、航迹等相关参数。

2) 载机火控系统数据。在试验机上加装测试设备，记录试飞过程中火控系统的输入/输出数据、火

控解算和导弹攻击的过程数据、显示画面等。

3) 目标数据。在运动目标上加装差分 GPS 接收机, 记录运动目标高精度的位置、速度信息, 为分析和处理运动目标攻击系统数据提供基准参数。

4) 靶场外部测试参数, 包括激光照射情况、导弹飞行弹道参数、导弹中靶位置参数、导弹脱靶量或中靶坐标、靶场气象等。需要注意的是: 外部测试中, 对于导弹脱靶量或中靶坐标的测量是一个难点, 对测试设备的测量范围和选址要求较高, 要进行反复的推算和演练, 确保能在导弹遇靶阶段进行可靠的测试。

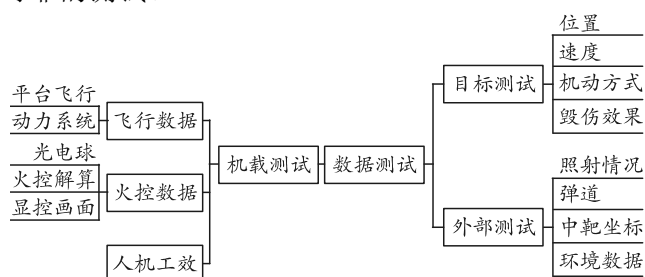


图7 测试系统与参数

6 试飞结果及作战使用建议

在一种无人机激光制导空地导弹武器试飞过程中, 采用上述方法完成了试飞评估, 以不同态势攻击不同速度的运动目标^[15]。试飞结果表明: 无人机使用激光制导导弹攻击运动目标要比攻击固定目标困难, 对系统综合能力的考核也更丰富、全面, 单架次试飞中暴露的系统问题增加约 20%, 对设计改进的促进更明显; 同时, 在其他条件相同时, 与攻击固定目标试飞相比, 攻击移动目标试飞过程中各项时间增加情况见表 2。试飞结果可见: 攻击方向对系统作战使用影响最大, 攻击方向夹角越大, 探测、锁定运动目标越难, 锁定时间越长, 失锁率越高, 再锁定时间越长, 与激光制导炸弹攻击运动目标的情况类似^[8]。

表2 试飞结果 %

项目	攻击夹角	
	尾追	正侧向
探测时间增加率	10	20
锁定时间增加率	15	40
失锁率	10	30
再锁定时间增加率	20	60

7 结束语

笔者结合工程实际, 细化了试飞考核指标体系, 设计了一体化的试验方案, 研究了目标配试方法, 制定了测试方法, 确定了测试内容。试飞结果检验

了笔者提出方法的正确性, 证实了该方法的可行性和有效性, 并得出以下结论:

1) 攻击运动目标试飞能更全面、更严苛地考核导弹武器系统的能力, 在导弹武器系统试飞中应安排足够的试飞架次;

2) 一体化试验方案衔接性好, 试验能力互补, 数据利用充分, 仿真和地面试验能支撑合理设计飞行剖面;

3) 配试运动靶标和测试系统是试飞实施中的重要组成部分, 应建设技术条件满足试飞要求的靶标和测试系统;

4) 正侧向攻击运动的目标最难, 尾追的方式最容易。

参考文献:

- [1] 张腾飞, 张合新, 惠俊军, 等. 激光制导武器发展及应用概述[J]. 电光与控制, 2015, 22(10): 62-67.
- [2] 张翼麟, 蒋琪, 文苏丽, 等. 国外无人机载空地导弹发展现状及性能分析[J]. 战术导弹技术, 2013(5): 16-19.
- [3] 秦明, 武文军, 辛欣. 发展中的现代攻击型无人机[J]. 兵工自动化, 2007, 26(2): 1.
- [4] 朱荣刚, 贺建良, 张道驰, 等. 空地制导弹药打击运动目标分析[J]. 飞航导弹, 2014(4): 35-39.
- [5] 黄捷. 无人机对地运动目标精确打击技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- [6] 王勋. 无人机自主跟踪地面运动目标方法与试验研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2012.
- [7] 李亚平. 高速侦察打击一体化无人机关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [8] 刘大卫, 夏群力, 温求道. 激光制导炸弹打击运动目标作战方式与仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(9): 55-58.
- [9] 刘跃峰, 孙厚俊, 冯星. 地面移动目标打击精度分析[C]. 北京: 第六届中国指挥控制大会, 2018.
- [10] 吕永刚, 罗光华. 装备飞行试验模式现状与发展[J]. 国防科技, 2016, 37(1): 100-105.
- [11] 徐宏林. 直升机机载武器试验鉴定[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 63-68.
- [12] 王庆江, 彭军, 倪保航, 等. 无人机对地攻击过程的研究[J]. 战术导弹技术, 2014(3): 28-33.
- [13] 唐平建, 郑志伟. 无轨式靶车遥控系统的设计与实现[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(5): 88-91.
- [14] 冯北前. 现代机载空面武器系统试飞技术[J]. 飞行力学, 2016, 34(2): 72-74.
- [15] 杨环亮, 张伟杰, 张弓胤. 美军通用空地导弹作战使用研究[J]. 国防科技, 2015, 36(2): 49-52.