

〈制导与对抗〉

## 红外空空导弹抗干扰性能验证方法研究

陈晓娟

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** 抗干扰性能是衡量红外空空导弹作战效能高低的重要指标之一, 如何有效地进行测试与验证是当前研究的重点。提出了一系列包括静态验证, 虚拟样机仿真, 半实物仿真以及实物试验等完整的验证方法, 可以全面考核红外空空导弹的抗干扰性能, 其试验效果真实、有效。

**关键词:** 红外空空导弹; 抗干扰性能; 静态验证; 虚拟样机仿真; 半实物仿真

**中图分类号:** TJ762.2<sup>+</sup>3, TB114.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2013)09-0425-05

## Verification Method for Anti-jamming Performance of Infrared Air-to-air Missile

CHEN Xiao-juan

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** The anti-jamming performance is one of the important indexes to measure the combat effectiveness of infrared air-to-air missile. How to test and verify it effectively is the focus of the current study. This paper puts forward a series of verification methods, including static verification, virtual prototype simulation, semi-physical simulation and outfield test, which can completely evaluate the anti-jamming performance of infrared air-to-air missile, the test result is real and effective.

**Key words:** infrared air-to-air missile, anti-jamming performance, static verification, virtual prototype simulation, semi-physical simulation

### 0 引言

随着红外对抗技术的迅猛发展, 光电对抗战已经贯穿到整个空战过程中, 抗干扰能力的强弱直接影响导弹作战效能的高低。所以如何验证导弹的抗干扰性能, 设计合适的抗干扰试验, 搭建有效的抗干扰验证平台, 准确定位抗干扰设计缺陷, 不断改进抗干扰性能, 已经越来越受到各方的关注<sup>[1-2]</sup>。

### 1 红外诱饵干扰

红外空空导弹面临的主要干扰为红外诱饵干扰, 随着红外制导导弹抗干扰能力的不断提高, 红外诱饵技术也在随之改进和创新, 各种新型红外诱饵相继诞生。为了干扰各种新体制红外制导导弹, 国外研究和多种体制新型红外诱饵, 主要有: 多元、运动型、面源、多光谱及多种体制复合红外诱饵<sup>[3]</sup>。这些新型红外诱饵可以对新体制红外制导导弹进行有效的

干扰。因此, 为了充分验证导弹的抗干扰性能, 尽可能减少设计缺陷, 在搭建抗干扰验证平台时和设计抗干扰试验方案时应尽量考虑干扰可能对导弹产生的影响。

### 2 红外空空导弹抗干扰性能验证方法

红外空空导弹的抗干扰性能验证应根据导弹研制过程中抗干扰技术状态的需要进行开展。从导引头状态下的静态验证, 全弹的虚拟样机仿真, 制导状态的半实物仿真, 地面绕飞抗干扰试验, 空中系留抗干扰试验, 到实弹靶试, 验证级别逐渐深入, 结果更加真实可靠。

实验室内的抗干扰试验验证手段主要通过搭建抗干扰验证平台, 模拟真实目标以及红外诱饵干扰弹的辐射特性以及空间相对运动, 控制导弹按照预计的空间姿态运动, 设置不同的弹道初始条件, 模拟不同的红外诱饵弹投放方式等实现抗干扰性能的初步验

证;空中系留和发射抗干扰试验则考核导弹在真实环境下的抗红外诱饵干扰性能。

下面分别就制冷型探测体制的红外空空导弹的几种抗干扰性能验证方法进行介绍。

## 2.1 导引头状态下的静态验证

导引头状态下的静态验证,主要是在实验室导引头静态条件下,验证不同弹道条件下的抗干扰效果。通过设置动态目标干扰背景模拟器,模拟真实环境下的目标、干扰以及背景的红外辐射能量以及空间运动姿态等。通过设置干扰与目标的红外辐射能量的压制比,干扰投放速度、投放方向、投放枚数等,模拟抗干扰过程,获得不同弹道情况下的导引头抗干扰概率。

搭建实验室静态抗干扰验证平台示意图,如图1所示:将导引头安装在二自由度综合测试转台上,通过外部气源供气系统进行探测器制冷,动态目标干扰模拟器模拟目标干扰的不同能量,导引头测控子系统完成导引头抗干扰过程在线仿真,过程监控等,集控系统完成对动态目标干扰背景模拟器以及二自由度综合测试转台的控制。通过设置不同温度和光阑孔径的目标和干扰模拟器,模拟目标、干扰的与导弹在不同弹道条件下的辐射能量,设置目标和干扰的运行速度,干扰投放方向,可以模拟目标和干扰在空间的相对运动,通过设置干扰枚数以及不同枚数干扰之间的投放间隔来模拟多枚干扰的投放过程。

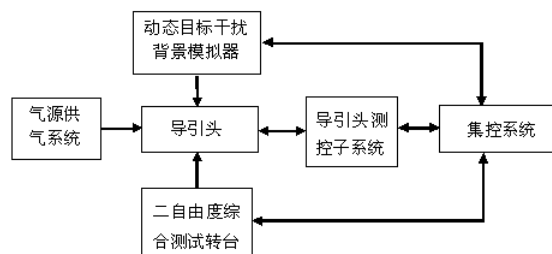


图1 静态抗干扰验证系统

Fig.1 Static verification system for anti-jamming performance

通过静态验证,能够在导引头状态下初步验证抗干扰算法的有效性,为抗干扰性能的改进设计提供验证平台。由于受到目标、干扰模拟器设备自身动态响应以及稳定性等因素限制,目标和干扰辐射能量设置范围有限,导弹自身的空间运行特征的模拟存在局限。

## 2.2 虚拟样机仿真验证

虚拟样机仿真是在计算机平台上进行,在导弹数学模型完成验证情况下,虚拟样机仿真是获取导弹抗干扰性能结果完备样本的主要方式,它是最经济的试验方法,仿真条件设置灵活,可以弥补真实仿真环境资源限制,验证条件有限等不足,并且试验结果可复现。

虚拟样机仿真验证示意图如图2所示。导弹的仿真模型主要包含以下几个部分:

1) 红外导引头<sup>[4]</sup>:它的功用是根据来自目标的红外辐射,形成探测信息,自动地跟踪目标,并给出与目标视线角速度成正比的控制信号。

2) 制导控制回路:由制导滤波器、舵机、弹体动力学环节组成,根据来自导引头的制导信号产生适当的过载,保证导弹按比例导引规律逼近目标。

3) 弹体模型:它是一组运动方程,描述导弹和目标间的运动关系,根据这组方程,将导弹和目标质心运动的有关信息反馈到导引头输入端,从而形成闭合的比例导引寻的制导系统。

4) 目标、干扰模型及目标、干扰的运动模型:模拟目标和干扰的红外辐射信息以及目标和干扰的空间相对位置变化。

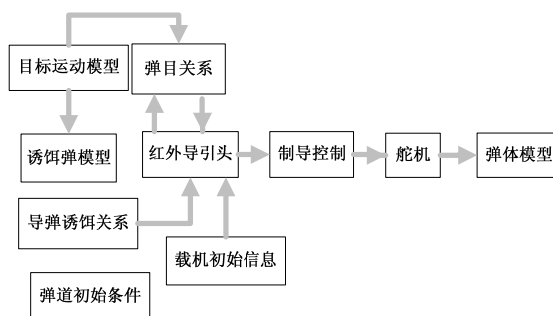


图2 虚拟样机抗干扰系统仿真示意图

Fig.2 The virtual prototype of anti-jamming system simulation diagram

仿真结果的可靠性很大程度上取决于模型的拟真程度,因此对模型验模的过程显得尤为重要。验模过程主要包含真实试验数据收集与整理、虚拟样机试验、试验结果比对、迭代验模、模型改进等,最终达到仿真结果更加贴近真实弹道的效果。

通过对弹道初始条件、干扰投放距离、投放速度、投放方向、投放时间间隔、投放枚数、载机初始信息、目标运动模型参数等进行设置,开展多弹道仿真<sup>[5]</sup>,同时可以根据需要实现抗干扰过程相关数据的记录,抗干扰结果输出,便于后续对抗干扰试验数据分析,为抗干扰性能的改进提供支持。

图3为抗干扰试验数据,两条曲线分别为抗干扰指示信号和X和Y方向的视线角速度信号,图4为相同条件下的虚拟样机仿真数据。图5为试验中目标能量变化率曲线,图6为相同条件下的虚拟样机仿真曲线。从图3到图6可以看出,虚拟样机仿真数据与试验数据具有良好的一致性,能够为抗干扰效果评估提供数据支持。

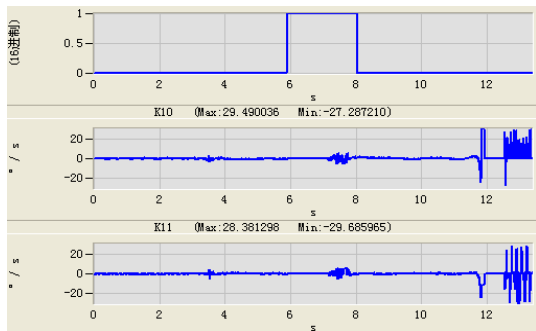


图3 试验中的抗干扰指示信号和视线角速度信号

Fig.3 The anti-jamming indication signal and sight angular rate signal in test

2.3 半实物仿真系统验证

半实物仿真是计算机在进行仿真时引入部分硬件实物进行软硬结合的仿真，能够克服数学模型不精确的缺点，更加真实地反映系统的实际情况。半实物仿真具有高可信度、安全、高效和可重复的特点，弥补了数字仿真与外场试验之间的空档<sup>[6]</sup>。通过采用有选择的飞行试验来校验数学模型，然后用这些经过校验的仿真模型多次进行半实物仿真试验来获得导弹性能数据已成为导弹性能考核的主要模式，这样可大大减少导弹飞行试验数量、节省研制经费、缩短研制周期，同时可以获得在各种不同条件下具有较高置信度的导

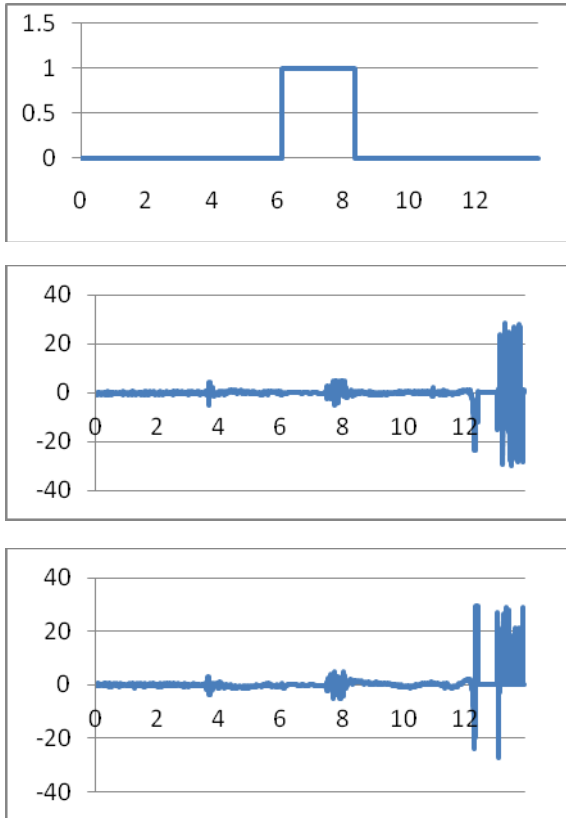


图4 虚拟样机仿真的干扰指示和视线角速度曲线

Fig.4 The anti-jamming indication signal and sight angular rate signal in virtual prototype simulation

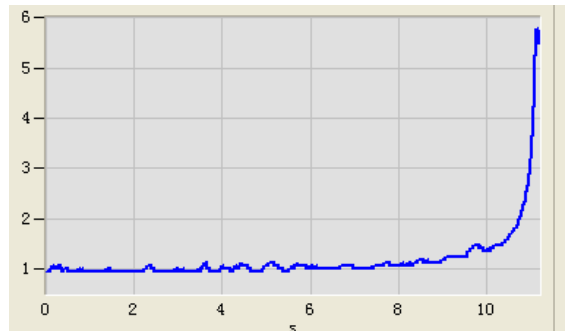


图5 试验中的能量变化率曲线

Fig.5 Energy rate curve in test

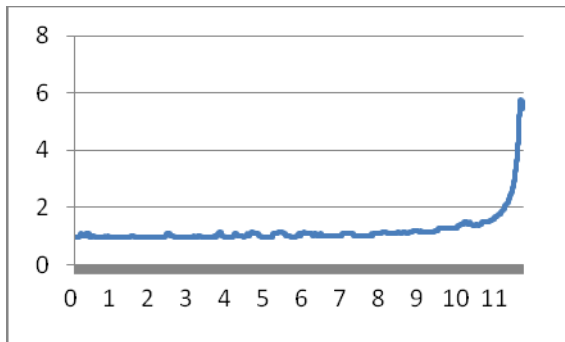


图6 虚拟样机仿真的能量变化率曲线

Fig.6 Energy rate curve in virtual prototype simulation

弹性能数据，实现在真实发射试验中由于各种条件限制而不能实现的复杂条件下的验证试验。

半实物仿真是在全数学仿真基础上用实物导引头、飞行控制子系统等代替全数学仿真中相应的数学模型，并增加半实物仿真专用设备构成与全数学仿真方块图类似的大闭环回路<sup>[7]</sup>。图7是一半实物仿真系统结构示意图，由红外成像目标模拟器、飞行模拟转台、仿真总控制台、仿真机、遥测小站等组成。红外成像目标模拟器在半实物仿真系统产生一个与武器系统使用环境接近的红外环境，用于红外面成像目标和红外诱饵干扰的产生。飞行模拟转台模拟导弹在空中飞行时绕自身轴坐标系旋转的姿态运动以及目标的运动，仿真总控制台是半实物仿真系统的控制中心，它通过实时网络对系统中各仿真设备集中协调控制，保证半实物仿真系统得以有序的正常工。仿真计算机作为半实物仿真系统的核心，主要承担着半实物仿真实时模型解算、设备驱动、数据通讯、状态显示和数据记录等功能。仿真过程中在仿真计算机上实时解算的模型包括导弹动力学模型、导弹运动学模型、导弹与目标的相对运动模型、目标运动学模型、坐标变换模型、产品惯性部件注入信号模型、仿真设备驱动模型等。通过对导弹、目标以及干扰空间姿态运动、弹道初始条件、目标干扰辐射能量的压制比、干扰投放间隔、干扰枚数、干扰投放时间、投放方向、投放

速度等进行设置。从而模拟不同弹道条件下的抗干扰过程。抗干扰结果数据通过遥测站进行反馈，进行数据分析、抗干扰改进、抗干扰性能验证。

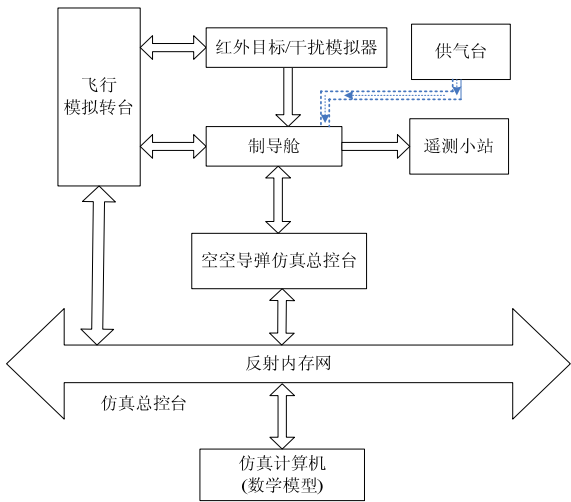


图7 制导系统半实物仿真系统组成图

Fig.7 Diagram of the guidance system of semi-physical simulation system

图8和图9分别为半实物仿真数据与试验数据的俯仰与偏航过载曲线的对比。后缀\_bs代表外场发射试验数据，后缀\_sz代表半实物仿真数据。

通过图8、图9可以得出，半实物仿真与试验曲线吻合较好。半实物仿真系统基本能够复现发射试验情况，因此能够有效对导弹的制导性能进行全面考核。

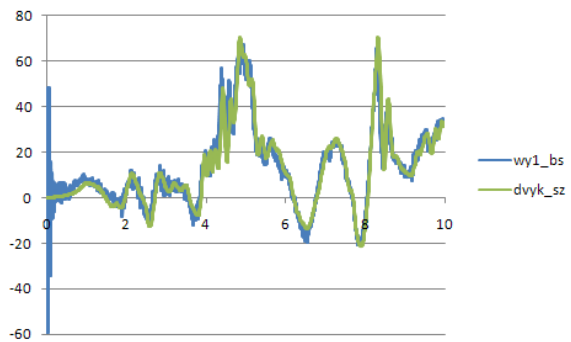


图8 俯仰过载曲线 Fig.8 Pitch overload curve

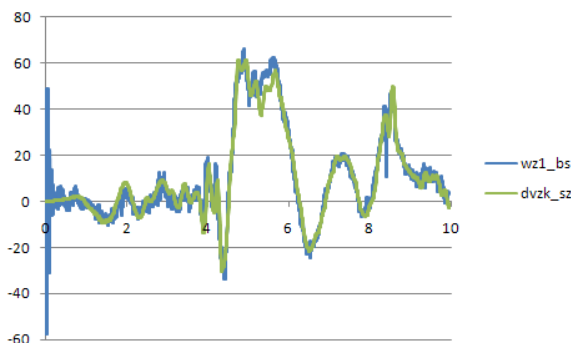


图9 偏航过载曲线 Fig.9 Yaw overload curve

## 2.4 地面绕飞抗干扰试验验证

地面绕飞抗干扰试验能够考核地面导弹抗空中真实红外诱饵干扰性能，并且能够获得目标机和红外诱饵弹的辐射特性，支持抗干扰性能改进。在试验前，应明确试验项目，试验环境及试验产品，了解目标机、红外诱饵弹的红外辐射特点以及红外诱饵弹的投放方式等，规划试验航迹，明确试验项目所需设置的导弹和目标的相对距离、干扰投放时刻，投放速度、投放方向、投放枚数和投放间隔等，用以验证预期试验点的抗干扰效果。图10为一地面绕飞抗干扰试验航迹示意图，图中所示试验对目标迎头和尾后方向的抗干扰性能进行考核，描述靶机的飞行航迹，干扰投放点以及地面导弹的位置等。通过地面绕飞抗干扰试验，获得了真实目标、红外诱饵弹的红外辐射特性，验证了导弹抗干扰算法在真实红外诱饵干扰下的目标识别效果，为后续抗干扰算法的改进以及目标干扰数字仿真模型的优化提供支持。

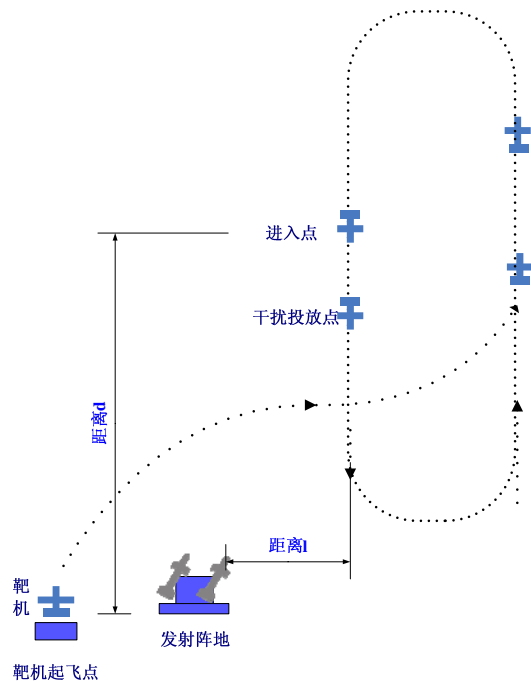


图10 地面绕飞抗干扰试验示意图

Fig.10 The ground flying around the anti-jamming test diagram

## 2.5 抗干扰系留飞行试验

导弹抗干扰系留飞行试验是导弹武器靶场发射试验前一种重要的试验，它既考核了导弹的跟踪性能、抗干扰性能，又考核了导弹和载机的适应性性能，还考核了导弹在真实环境下对飞机振动的适应能力。试验前同样需要明确试验项目、试验环境、参试产品及其技术状态，试验设备、试验航迹规划、试验结果评定等。图11和图12分别为目标机迎头和尾后方向抗干扰试验航迹示意图。导弹安装在载机上，目标机

在进入点和退出点之间的航迹上进行干扰弹投放。目标机和载机按照航迹规划试验进入、退出。通过在不同空间位置上设置不同的干扰弹投放方式、投放枚数及投放间隔等,完成不同目标能量下的抗干扰性能验证试验。通过抗干扰系留飞行试验,考核了导弹在真实空间运动状态下对红外诱饵干扰的对抗效果,并且验证了导弹在载机真实备战状态下的各项性能指标。

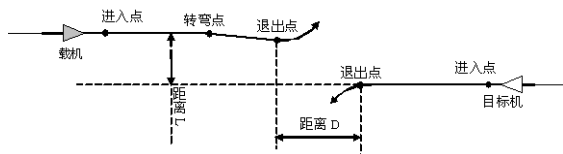


图 11 迎头方向飞行航迹水平投影示意图

Fig.11 Schematic diagram of the head-on direction flight track horizontal projection

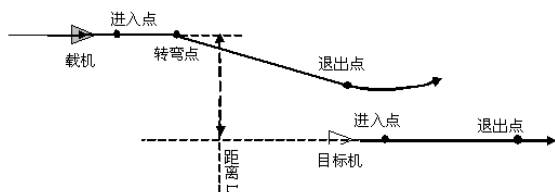


图 12 尾后方向飞行航迹水平投影示意图

Fig.12 Schematic diagram of the tail direction flight track horizontal projection

## 2.6 靶场发射抗干扰试验

靶场试验采用真实导弹进行空中发射试验,试验费用较大,对试验的可靠性,安全性等要求级别较高,并且试验风险较大,无法进行大量试验,故靶场发射试验应在完成上述抗干扰性能验证以及全弹性能验证的基础上开展。靶场发射试验能够对数字仿真、半实物仿真试验的结果进行验证。

靶场发射抗干扰试验前,要开展一系列的试验准备工作,导弹的性能检查,弹载装置性能测试,弹载装置和导弹性能之间的匹配性检测,试验条件、试验项目的确认,试验结果的评定等等。从而判定在规定发射条件下,弹道是否稳定、抗干扰是否功能有效、

弹目是否正常交会、脱靶量是否满足要求导引头工作状态是否稳等,从而可靠考核导弹在真实环境中的命中精度。

靶场发射抗干扰试验,考核真实环境下导弹对抗红外诱饵干扰的能力,试验结果直接反映抗干扰性能的高低,真实弹道数据为抗干扰性能的改进提供依据。

## 3 结语

经过上述抗干扰试验验证,导弹的抗干扰性能能够充分地进行考核,通过对各项验证方法大量试验样本的试验数据统计,能够获得导弹在不同环境下的抗干扰成功概率,直观反映导弹抗干扰能力,为抗干扰性能的评估奠定了基础,数据结果更加真实可靠。

## 参考文献:

- [1] 王民钢, 张军录, 崔伟成, 等. 基于导引头仿真模型的抗干扰目标识别算法研究[J]. 红外技术, 2007, 29(9): 500-504.
- [2] 史晓华, 张同贺. 多元双色导引头抗干扰技术研究[J]. 红外技术, 2009, 31(6): 311-315.
- [3] 赵非玉, 蒋冲. 机载红外诱饵技术的发展[J]. 舰船电子工程, 2012(3): 20-22.
- [4] 宋凯英, 岳敏, 杨军, 等. 对红外成像制导系统干扰效果的研究[J]. 西北工业大学学报, 2000, 18(1): 166-167.
- [5] 胡朝晖, 罗继勋, 王邑, 等. 红外制导空空导弹抗干扰性能试验及评估研究[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(增刊): 478-480.
- [6] 朱宇光. 基于 RT-LAB 的导弹雷达导引头半实物仿真系统设计[J]. 舰船电子工程, 2012(3): 81-85.
- [7] 胡朝晖, 闫杰. 红外空空导弹抗干扰性能评估方法研究[J]. 空军工程大学学报, 2008, 9(4): 45-49.