

〈系统与设计〉

## 红外成像导引头动态性能测试系统设计

胡小江, 陈战辉, 白云

(空军工程大学 防空反导学院, 陕西 西安 710051)

**摘要:** 针对红外成像导引头在复杂干扰背景条件下难以获取动态性能指标的问题, 分析了红外成像导引头动态性能参数体系, 基于红外图像注入技术设计开发了动态指标测试系统。该系统能够模拟典型的红外目标和干扰信号, 并对导引头输出信号进行采集、处理和分析, 最后给出动态性能测试结果。通过对某型号红外成像导引头的测试和验证, 证明了该系统工作高效、稳定, 为红外成像导引头的动态性能测试提供了有效的方法和手段。

**关键词:** 动态性能; 红外成像导引头; 目标模拟; 虚拟仪器

**中图分类号:** TJ765.333      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8891(2017)12-1078-05

## Design of Dynamic Performance Test System for Infrared Imaging Seeker

HU Xiaojang, CHEN Zhanhui, BAI Yun

(College of Air Defense and Anti-Missile, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

**Abstract:** It is difficult to obtain the dynamic performance of an infrared imaging seeker in a complex interference environment. In order to solve this problem, analysis of the infrared imaging seeker dynamic performance index is used to design an auto-testing system based on infrared target simulation. The testing system can simulate typical infrared target and jamming signals and collect, analyze, and process the output signal of the infrared imaging seeker. The test results show that this auto-testing system is highly efficient and accurate, and provides an effective method for measuring the dynamic performance of an infrared imaging seeker.

**Key words:** dynamic performance, infrared imaging seeker, target simulation, virtual instrument

### 0 引言

红外成像导引头作为空空导弹最重要的设备仪器, 导引头的动态技术性能参数是否符合要求影响到全弹的技术指标。传统测试系统中, 红外成像导引头静态性能指标比较容易获取, 但很少能够全面地获取各种复杂干扰环境下的动态性能指标, 而红外成像导引头的动态性能指标是决定其性能好坏的重要指标<sup>[1-2]</sup>。

为了能够全面地获取红外成像导引头动态性能指标, 必须有效地模拟目标和干扰环境, 而虚拟仪器技术具有性能高、易于扩展和高效的优点, 对设计和研

发红外导引头动态性能测试系统具有较大优势。本文基于虚拟仪器技术设计了红外成像导引头动态性能测试系统, 通过建立目标模拟器, 能够较好地地为红外成像导引头动态性能的测试提供激励信号。相比于实物挂飞或靶试等方法, 该系统可以节省大量的经费, 有效提高红外成像导引头在复杂干扰环境下动态性能测试的高效性和准确性<sup>[3-4]</sup>。

### 1 动态性能指标选取

红外成像导引头系统动态性能指标分为综合性指标和基础指标两类。综合性能指标主要包括识别能力、再次捕获能力和跟踪能力; 基础性能指标主要包括检

收稿日期: 2017-07-19; 修订日期: 2017-12-07.

作者简介: 胡小江(1978-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 导航制导与控制。E-mail: huxjlj@126.com。

测概率、虚警概率、识别概率、空间分辨率、持续抗干扰能力、抗能量压制能力、光谱识别能力、信息处理能力等参数。对于产品阶段的红外成像导引头，基础性能指标获取比较困难。因此，主要选择识别能力、再次捕获能力和跟踪能力作为动态性能指标。红外成像导引头动态性能指标层次如图 1 所示。

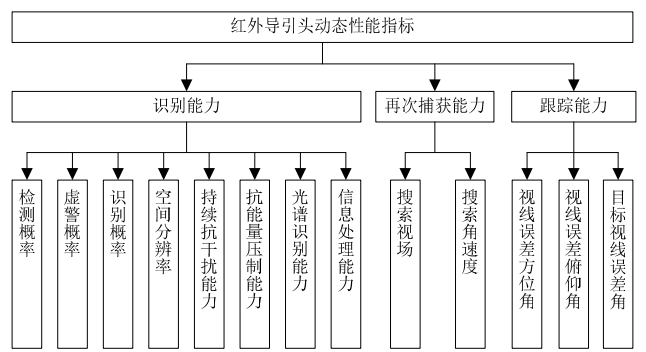


图 1 红外导引系统动态性能指标层次图  
Fig.1 Infrared guidance system dynamic performance level chart

主要基础指标内涵如下：

- 1) 空间分辨率：可以有效辨别两个目标同时出现在视场内时的最小距离。
- 2) 持续抗干扰能力：在给定的抗干扰概率下，导弹发射后，导引头能够经受的最大抗干扰事件或者抗干扰时间占整个飞行弹道的比重。
- 3) 抗能量压制能力：在给定的抗干扰概率下，导引头能够接受的最大干扰能量和最小干扰能量的之比。
- 4) 光谱识别能力：指导引头在有干扰的情况下，通过目标与干扰光谱辐射特性之间的差异，对目标识别的能力。
- 5) 信息处理能力：指导引头信息处理器与软件能够处理辐射源的最大数量。

2 动态性能测试系统构建

红外成像导引头动态参数指标的测试必须构建较为完整的系统。目前，红外激励信号的生成主要包括辐射式和图像注入两种方式。相比辐射式，采用注入式构建系统具有成本低、红外信号环境易于搭建等优点<sup>[1]</sup>。因此，该系统构建时主要通过目标/干扰模拟器生成不同的目标和干扰信号，对导引头综合性能指标进行测试。红外成像导引头动态性能测试系统主要由硬件和软件两部分构成。硬件包括目标/干扰模拟器、专用适配器、测试仪器和电源等组成，主要实现目标和干扰信号生成、导引头输出信号的控制、调理

和采集；软件系统由主控软件、系统自检、自动测试和测试结果等子模块组成。红外成像导引头动态性能测试系统原理框图如图 2 所示。

动态性能测试系统考虑红外成像导引头的工作过程中每一个组件的信号流程，通过软件控制系统硬件仪器和对不同的测试条件进行设置，使测试系统能够系统地检测红外成像导引头的动态技术指标。

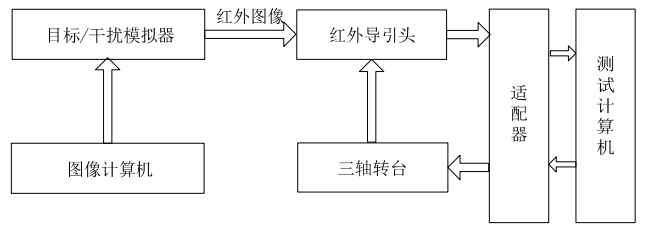


图 2 动态性能测试系统原理框图  
Fig.2 Block diagram of dynamic performance test system

测试系统原理：操作者根据测试需求，通过目标/干扰模拟器生成激励信号，该激励信号经适配器施加到红外成像导引头。红外成像导引头在激励信号的作用下，产生相应的输出信号，输出信号通过适配器转接进入测试仪器硬件资源进行调理和采集，最后送入测试软件进行测试结构判别和显示。

3 硬件平台设计

通过对红外成像导引头的原理和特性分析，硬件平台设计时需要充分考虑典型红外目标和干扰信号的模拟，从而对红外成像导引头施加相应的激励信号，并对其输出信号进行调理、采集，送到软件进行分析处理。硬件平台结构图如图 3 所示。

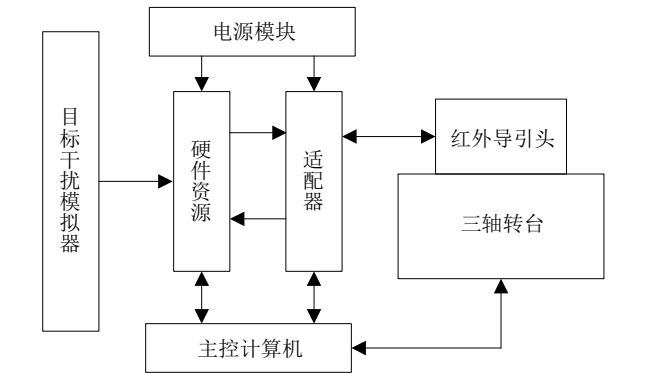


图 3 硬件结构图  
Fig.3 Hardware structure diagram

3.1 目标/干扰模拟器设计

目标/干扰模拟器主要完成典型目标和干扰信号

的模拟。该模块首先通过对典型目标和干扰进行建模，然后采用图形工作站构建目标三维红外特性、典型干扰、背景、大气传输及传感器等物理效应，并实现场景的动态渲染，生成导引头视觉图像。由于采用信号注入法，可模拟导引头的成像效应。包括：光学效应、探测器效应、噪声效应等；目标和干扰环境模拟器原理如图4所示。

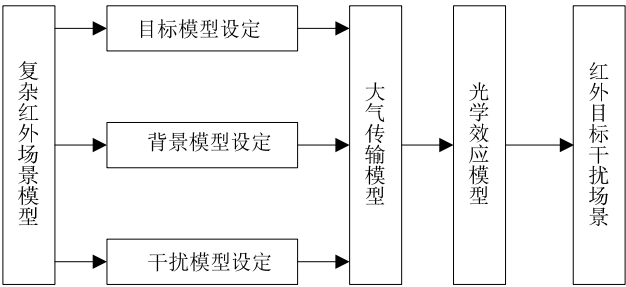


图4 目标和干扰环境模拟器原理图

Fig.4 Target and interference environment simulator schematics

硬件中的图像工作站完成红外目标干扰场景的建模和图像生成，PCI-e 图像注入卡将生成的图像以LVDS 电平信号的形式注入红外成像导引头的电子舱<sup>[5]</sup>。目标和干扰环境模拟器硬件结构如图5所示。

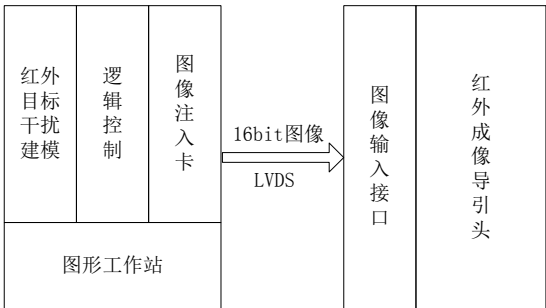


图5 目标和干扰环境模拟硬件结构

Fig.5 Target and interference environment simulation hardware structure

3.2 输出信号测试模块

输出信号测试模块要对红外成像导引头输出的信号进行采集。考虑到红外成像导引头输出信号主要为交流电压、直流电压、数字信号和部分频率信号，所以在选择测量仪器时主要选用 PXIe-4081 和 PXIe-6704。其中 PXIe-4081 完成交流电压、直流电压和频率量的分时分步测量；PXIe-6704 主要完成对红外成像导引头 23 路状态量的实时测量和监测，并配合软件模块中的状态保护模块完成对红外成像导引头的实时保护。

3.3 适配器设计

适配器主要完成红外成像导引头输出信号的转接和输入图像信号的注入两项任务。在设计时兼顾红外成像导引头的工作原理和测试任务等因素。选用 PXI-2569 和 PXIe-2529 完成信号的控制和分配，并根据测试任务对硬件仪器、电源和状态转换信号进行切换。

4 软件系统设计

在硬件设计基础上，设计了红外成像导引头动态性能测试系统软件。该软件可以根据不同测试条件形成对系统硬件仪器的控制。并能够根据目标和干扰环境的配置情况对不同的测试条件下的输出结果进行判定。

4.1 软件架构

在进行红外成像导引头动态性能测试时，需要控制的硬件器件较多，并且测试过程中根据需要改变测试条件和目标/干扰模拟器的控制。因此，测试软件在设计时需要能够完成硬件控制、测试任务和测试系统控制 3 项功能。为此，测试系统软件架构采用了测试层、任务层和控制层的 3 层架构设计方式<sup>[6-7]</sup>。动态性能测试系统软件架构如图 6 所示。任务层和测试层采用插件形式，主要是为了方便控制层的调用，同时也能减少任务层之间的耦合，快速准确的完成测试任务。

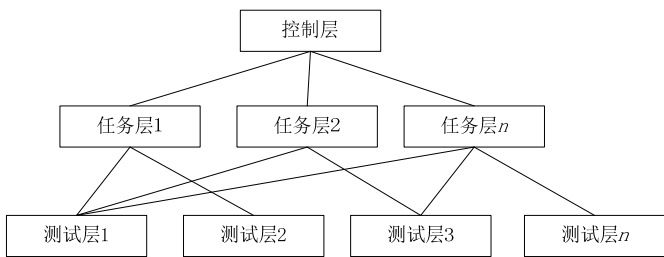


图6 软件架构设计图

Fig.6 Software architecture design diagram

测试层是将每一个硬件单独封装成 VIs (Virtual Instrument)，该 VIs 能够完成对应硬件资源的读写操作和数值转换操作，测试层供任务层调用；任务层是根据导引头动态测试条件的不同配置，通过调用测试层 VIs 完成相应的测试任务；控制层是根据测试任务的需要，通过调用任务层 VIs 完成具体的测试任务。

4.2 软件功能

测试系统软件主要完成系统自检、目标/干扰环境配置、自动测试、故障分析定位等功能。测试系统软件在功能上主要包括控制模块、参数配置模块、用户

管理模块、系统自检模块、自动测试模块、设备状态保护模块和数据处理模块, 软件结构图如图 7 所示。

4.2.1 参数配置模块

参数配置模块主要完成红外成像导引头测量参数值的修改和保存操作。具备高级权限的人员可以通过该模块进行参数的修改, 一般权限的人员只能浏览参数, 不能修改参数。

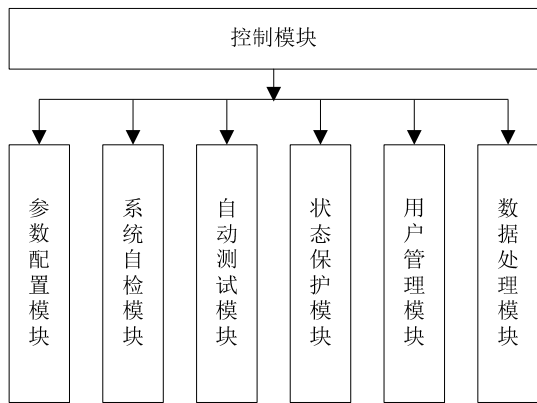


图 7 测试系统软件结构图

Fig.7 Test system software structure

4.2.2 系统自检模块

系统自检模块主要完成对目标/干扰模拟器、测试系统电源、测试仪器硬件资源以及专用适配器的功能检查。其中的适配器功能检查能够对所有输出信号端和输入信号端线路的通断和适配器模块的状态进行判别。

4.2.3 自动测试模块

自动测试模块主要根据不同的测试条件, 自动生成测试方案。完成红外成像导引头动态性能指标的自动测试。自动测试可以对识别能力、再捕获能力、跟踪能力和伺服控制系统等多个性能参数的测试并对结果自动保存。

4.2.4 状态保护模块

状态保护模块主要用于测试过程中对当前红外成像导引头所处状态和测试仪器所处状态的实时记录, 以备后续性能判定时, 为系统提供当前实际红外成像导引头所处状态, 并对后续操作提供恢复操作。

4.2.5 用户管理模块

用户管理模块可以完成用户登录和用户数据管理功能。其中用户数据管理功能主要完成对人员的信息进行修改操作。登录子模块用于操作人员登录测试系统软件。

4.2.6 数据处理模块

数据模块主要完成对当前或以往测试结果的分析 and 处理。通过该模块可以选择不同的测试结果进行红外成像导引头动态性能评判, 最后将结果生成报表进行打印和保存。

5 测试结果

5.1 测试条件配置

在测试前需要对目标/干扰模拟器配置初始条件, 主要包括目标、导弹的初始位置及运动条件, 目标的飞放间隔、距离、方向、数目、目标姿态等多种因素。表 1 为诱饵参数设置因素的部分值<sup>[8]</sup>。

表 1 诱饵干扰因素

Table 1 Decoy disruptive factors

影响因素	取值		
释放距离/km	0.6	1.2	3.2
释放间隔/s	0.1	0.3	0.7
释放数量	2	4	8
姿 态	迎头	侧向	尾部

5.2 测试结果

分别设置两组干扰条件, 对某型号红外成像导引头进行测试。

测试条件 1: 目标机相对攻击机同向飞行, 平飞, 投射 1 枚干扰弹, 相对距离 3 km。测试过程中红外成像导引头能够正确识别并跟踪目标, 脱靶量 12 m。

测试条件 2: 目标机相对攻击机同向飞行, 做转弯机动, 投射 2 枚干扰弹, 相对距离 1 km。测试过程中红外成像导引头能够正确识别目标, 但跟踪过程中很快丢失目标, 并无法再次捕获目标。

通过以上测试结果分析可知, 弹目距离、干扰弹数目和目标做转弯机动等因素对红外成像导引头动态性能指标影响较大。为了对红外成像导引头进行全面测试, 需要设置测试条件库, 尽量覆盖到各种因素, 从而能够全面地对红外成像导引头的动态性能进行测试, 这部分内容也是后续工作需要重点考虑的方面。

6 结论

本文通过构建目标/干扰模拟器完成了复杂背景条件下的目标模拟, 所设计的红外成像导引头动态性能测试系统, 在实际应用中能够满足红外成像导引头动态性能测试的要求。测试结果表明, 该测试系统能有效地解决某型号红外成像导引头动态性能指标测试的问题, 测试结果准确、快速。为红外成像导引头

动态性能指标测试和检测提供了灵活、高效的方法和手段。

参考文献：

[1] SHIM H S, OHKH, MIN H K. Synthetic infrared image injection apparatus, US:8848060[P]. 2014.

[2] 张晓阳, 孟卫华, 付奎生, 等. 用于红外成像导弹干扰测试的仿真模型[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4): 569-572.  
ZHANG Xiaoyang, MENG Weihua, FU Kuisheng. Simulation model for countermeasure test of IR imaging missile[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(4): 569-572.

[3] 陈敏, 李龙. 红外对抗及其半实物仿真试验研究[J]. 红外技术, 2013, 35(6): 377-380.  
CHEN Min, LI Long. Research on infrared countermeasure and hardware-in-the-loop simulation[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(6): 377-380.

[4] BUFORD J A, KING D E, BOWEDN M H. Low cost real-time infrared scene generation for image projection and signal injection[C]//*Proceedings of SPIE*, 1998, 3368: 290-299.

[5] 高伟林, 曹峰, 郭超. 基于双处理器系统的图形生成电路研究与应用[J]. 电子技术应用, 2016, 42(2): 9-13.  
GAO Weilin, CAO Feng, GUO Chao. Research and implementation of graphics generation circuit based on double processor[J]. *Application of Electronic Technique*, 2016, 42(2): 9-13.

[6] 陈妮, 何华光, 谢开仲. 基于全相位 FFT 的振弦式传感器频率测量系统设计[J]. 电子技术应用, 2016, 42(7): 53-56.  
CHEN Ni, HE Huaguang, XIE Kaizhoang. Design of frequency measurement system for vibrating wire sensor based on all phase FFT[J]. *Application of Electronic Technique*, 2016, 42(7): 53-56.

[7] Jeffrey Travis, Jim Kring. *LabVIEW for Everyone Graphical Programming Made Easy and Fun*[M]. NJ: Prentice Hall, 2006.

[8] 童中翔, 李传良, 姚本君. 红外诱饵干扰下的导弹作战效能仿真[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(11): 42-47.  
TONG Zhongxiang, LI Chuanliang, YAO Benjun. Combat effectiveness simulation of infrared jam projected by fighter plane[J]. *Journal of System Simulation*, 2008, 20(11): 42-47.