

# 新型红外空空导弹抗干扰能力评估分析

王 泉,董维浩,刘新爱,何永鹏,程 洋

(中国人民解放军 95972 部队,甘肃 酒泉 735018)

**摘要:** 在梳理新型红外空空导弹对抗环境要素的基础上,分析研究了红外对抗环境、抗干扰能力评估试验现状、试验条件设计与结果评估等内容。针对目前新型红外空空导弹抗干扰试验中各种限制因素,预测了今后抗干扰能力评估的主要发展方向。

**关键词:** 红外空空导弹;抗干扰能力;试验评估

**中图分类号:** TN973;TJ762.2<sup>+</sup>3 **文献标识码:** A

**DOI:**10.16328/j.htdz8511.2019.03.004

## Analysis of evaluation for new infrared air-to-air missile countermeasures performance

Wang Quan,Dong Weihao,Liu Xin'ai,He Yongpeng,Cheng Yang

(Unit 95972 of PLA,Jiuquan 735018,Gansu,China)

**Abstract:** The infrared countermeasures environment, current situation of experiment, design of experimental condition and result evaluation are analyzed, which based on the elements of countermeasures environment for new infrared air-to-air missile. And according to the limiting factors in the experiment, the major directions of its development are predicted for countermeasures performance evaluation.

**Key words:** infrared air-to-air missile;countermeasure performance;experiment evaluation

## 0 引言

随着红外干扰技术的迅速发展和广泛应用,新型红外空空导弹面临着日益复杂的作战环境,导弹的抗干扰能力成为其能否达成作战意图的关键性因素。红外空空导弹抗干扰问题在 20 世纪 90 年代就开始引起各界广泛关注,但由于国内相关研究起步较晚、实际空战数据较少等原因,始终缺乏一套全面系统、深入实际的红外空空导弹抗干扰能力评估方法。本文在分析红外空空导弹对抗环境要素的基础上,从红外对抗环境、抗干扰能力评估试验现状、试验条件设计与结果评估、今后发展的方向等方面进行了研究探讨。

## 1 红外对抗环境

当今信息化战争中,红外空空导弹的作战目标除了原有的飞行器外,还包括隐身飞机,复杂天空云层背景下弱小目标,超低空飞行(距地面高度在 100 m 以下)的巡航导弹、无人机等。这样一来,其作战样式由

传统单一的空对空打击转为空空/空地双重打击,作战环境也由较为简单的天空背景转为复杂的天空/地面背景。这就对空空导弹的红外导引头在复杂战场环境下的自动目标识别能力提出了更高的要求。

与此同时,红外对抗技术如红外诱饵弹、红外伪装、隐身、红外定向干扰、红外成像诱饵等也在不断地发展和应用之中。以最常用的红外诱饵弹为例,正在发展中的新技术包括:改变干扰释放策略,以不同压制比的多诱饵弹向多方向投放;采用伴飞诱饵或拖曳式诱饵,模拟飞机的运动轨迹;改变诱饵弹材料和燃烧方式,使其光谱特性更接近目标;面源红外诱饵弹,形成干扰云团等等。可见,红外诱饵弹发展的方向是使干扰与目标在更多的特征上具有相似性。此外,目前激光定向干扰已较为成熟,在航空装备中得到普遍推广。飞机在探测到来袭导弹的方向时通过机载激光定向干扰系统向来袭导弹发出高能量激光,使红外成像导引头致盲或致眩,从而破坏导弹对目标的稳定跟踪造成导弹脱靶。这些新型红外对抗技术<sup>[1]</sup>的发展很大程度上降低了现有红外空空导弹成功打击目标的概率。

红外对抗环境的构建是开展红外空空导弹抗干扰试验的基础,逼真地反映导弹武器系统面临的真实战

收稿日期:2019-04-02;2019-05-13 修回。

作者简介:王泉(1989-),男,工程师,硕士,主要研究方向为航空武器试验鉴定。

场对抗环境,营造贴近实战的作战态势,以检验武器装备的适应能力,是抗干扰能力评估的基本原则。试验评估中对抗环境的构建要以导弹抗干扰指标为依托,根据典型战场环境,立足现有试验资源,全面覆盖各种因素。

## 2 抗干扰能力评估试验现状

目前红外空空导弹抗干扰试验主要有:仿真试验(数字仿真、半实物仿真)、挂飞试验和空中发射试验<sup>[2]</sup>等。导弹抗干扰能力的评估往往是采取上述几类试验相结合的方式开展,根据几类试验的结果,综合评定其抗干扰能力。

目前抗干扰试验的特点及存在的问题有:

### 1) 仿真试验

仿真试验是在内场环境下,运用仿真软件或目标/干扰模拟设备,对导弹目标跟踪能力、目标/干扰识别能力进行验证评估的试验。主要包括数字仿真和半实物仿真,具有试验成本相对较低、可重复性好等特点,可以实现大样本量试验。但目前仿真试验的目标/干扰及环境特征与真实导弹自主飞行过程存在一定差异,评估结果的置信度还有待进一步提高。

### 2) 挂飞试验

挂飞试验是在导弹挂机状态下,对导弹目标跟踪能力、目标/干扰识别能力进行验证评估的试验。该类试验中,目标机能够模拟真实的目标/干扰特性,但由于导弹处于挂机状态,难以模拟弹目接近的真实过程,同时出于试验安全考虑,载机和目标机必须保持规定的安全距离,因此难以对导弹末端抗干扰能力进行评估考核,而导弹的末端抗干扰能力才是决定其抗干扰成败的关键环节。

### 3) 空中发射试验

空中发射试验是在导弹自主飞行状态下,对导弹目标截获跟踪、抗干扰能力、飞行控制能力、引战配合等进行综合评估的试验。该类试验能够在最为接近真实环境的状态下,模拟导弹攻击目标的过程,且攻击目标的目标/干扰特征最接近真实目标的状态,可信度最高,能够全面验证导弹的抗干扰等各项能力。但由于空中发射试验存在花费高、样本少的特点,很难满足对导弹抗干扰能力的考核需求。

由于上述试验都存在各种限制因素,因此目前导弹抗干扰能力采用综合评估的方式开展:利用空中发射试验和挂飞试验数据对仿真试验的模型进行校验;在仿真试验模型满足置信度需求后,进行全空域、多条件的仿真试验;综合三类试验结果,给出抗干扰能力评估结论。

## 3 试验条件设计与结果评估

### 3.1 试验条件设计

针对目前红外对抗环境<sup>[3]</sup>进行分析,其构成要素主要有目标、干扰和态势,进一步细化梳理如图1所示。目标因素主要取决于目标类型和机动方式;干扰因素又可分为自然干扰和人工干扰,其中自然干扰主要包括天空背景干扰和地物背景干扰,人工干扰主要取决于干扰类型、干扰数量、投放时机和密集程度;态势因素主要取决于发射时刻弹目距离和相对方向。

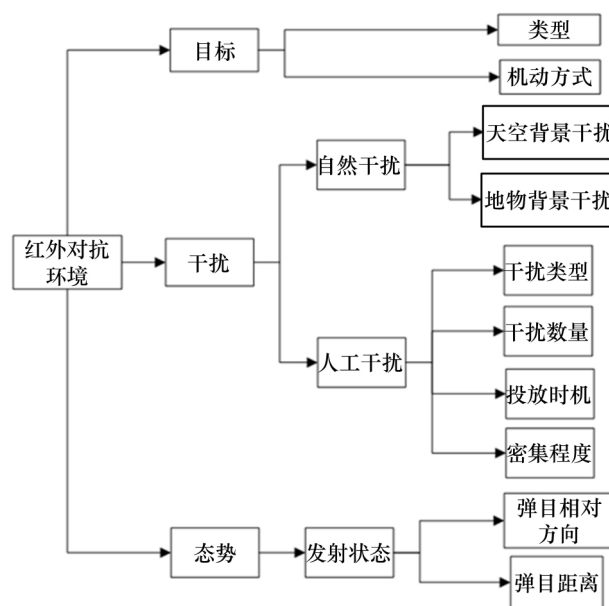


图1 红外对抗环境要素

由于抗环境要素的复杂多变性,红外空空导弹抗干扰试验中通常是多因子、多水平的问题。在这种情况下试验设计非常复杂,需要实现变量与水平之间合理的随机搭配,既要保证良好的试验效果,又要尽可能地减少试验次数,因此需要选取一部分有代表性的水平组合来实施试验。

目前常用的试验条件设计方法主要有正交设计法和均匀设计法<sup>[4]</sup>。正交设计法是利用正交性来挑选部分的水平组合,希望每个因素的水平之间分配均衡,任两个因素的全部水平组合也分配均衡,而均匀设计法是利用均匀性来挑选部分的水平组合。

1) 目标因素选择。对红外对抗环境要素进行分析,通过研究国外各种战机及战机被导弹攻击后所采取的各种规避战术,结合国内现有机型和靶标的特点,从而凝练出典型的飞机特性、逃逸机动方式,主要考虑目标红外辐射特性、机动方式、过载大小、机动时间等因素。

2) 干扰因素选择。通过研究国外各种战机组备的红外干扰投放系统和红外干扰弹,分析干扰系统的组成、功能、作战使用方式,结合国内试验条件和现役装备红外干扰投放模式,凝练出典型的人工干扰模式,主要考虑干扰投放时间、投放方向、投放组数、组间隔、每组弹数、弹间隔等因素。通过梳理不同级别、不同类型的天空背景和地物背景特点,提炼自然干扰场景,主要考虑光线强度、光线角度、云量、地物类型等因素。

3) 态势因素选择。结合试验条件下红外空空导弹发射条件概率统计分析,针对典型红外空空导弹发射条件提炼关键影响因素,主要考虑目标高度、目标速度、载机高度、载机速度、进入角、离轴角、发射距离等因素。

针对仿真试验,在导弹使用包线内,可采用正交试验设计、均匀试验设计等方法进行条件设计;对于飞行试验而言,由于试验资源限制,一般在仿真试验条件中挑选具有代表性的典型条件开展相关试验。

3.2 试验结果评估

目前抗干扰试验方法主要有:仿真试验、挂飞试验和空中发射试验等几类。综合考虑各类试验的特点,从提高试验结果的置信度出发,并考虑到试验组织实施的可行性、经济性,红外空空导弹抗干扰能力评估应以仿真试验为主,同时结合少量的挂飞试验和空中发射试验,通过对仿真和外场试验结果的综合对比分析,最终给出抗干扰能力的可靠评估。

在导弹抗干扰评估过程中,由于其过程牵涉的要素众多,因此特别需要一种能够全面综合评估导弹抗干扰性能的方法,为导弹的抗干扰评估提供理论依据。目前,导弹的抗干扰性能评估的常用方法主要有概率统计法、加权评估法、Bayes 方法和层次分析法。

1) 概率统计法

概率统计法<sup>[5]</sup>即试验中抗干扰弹道总数为  $N$ ,其中有  $n(n \leq N)$  条弹道抗干扰成功,则该导弹的抗干扰成功概率为:

$$p = n / N \tag{1}$$

概率统计法简单易懂,是评估导弹的抗干扰性能时常用的方法之一。

2) 加权平均法

加权平均法是根据试验类型对试验中的  $N$  个抗干扰弹道进行划分,然后根据不同类型的重要性对其取不同的加权系数。如:试验采用数字仿真、半实物仿真、挂飞试验和空中发射试验相结合的方式开展,将  $N$  个条件分成 4 种类型,在每种类型条件下的抗干扰成功概率分别为  $p_1、p_2、p_3、p_4$ ,取其加权系数分别为  $n_1、n_2、n_3、n_4$ ,则导弹的抗干扰成功概率为:

$$p = (n_1 p_1 + n_2 p_2 + n_3 p_3 + n_4 p_4) / (n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \tag{2}$$

虽然加权平均法的计算量比概率统计法大一些,但是加权平均法体现了不同试验类型的弹道在评估中的权重的不同。

3) Bayes 方法

Bayes 方法是在小样本或无样本信息的前提下能得到较好参数估计的一种方法,它是基于一个主观概率的框架,常用概率对信任程度建模,处理复杂系统中普遍存在的不确定因素的情况,可以在保证决策风险尽可能小的情况下,综合利用多种信息类型,既包括现场试验数据,又包括各个历史阶段的信息,既可以是统计数据,也可以是专家经验。Bayes 方法起源于 Bayes 公式<sup>[6]</sup>:

$$P(A_i / B) = P(B_i / A) P(A_i) / (\sum_{i=1}^n P(B_i / A) P(A_i)), \tag{3}$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$

式中,  $P(A_i)$  是试验之前事件  $(A_i)$  成立的概率,称为验前信息;  $P(A_i / B)$  是试验之后  $A_i$  成立的概率,称为验后信息。对于试验结果评定中常用的假设检验,如:

$$H_0: P = P_0; H_1: P = P_1 \tag{4}$$

$A_1$  可代表  $H_0$ ; 而  $A_2$  代表  $H_1$ 。Bayes 方法的特点在于利用了验前信息,从而可以做出更合理的统计推断。

4) 层次分析法

层次分析法<sup>[5]</sup>是一种定性和定量相结合的、系统化、层次化的分析方法,它把复杂的问题分解为各组成因素,将这些因素按分配关系分组以形成有序的递阶层次结构,通过构造两两比较判断矩阵的方式确定每层次中因素的相对重要性,然后在递阶层次内进行合成,以得到决策因素相对于目标的权重系数。层次分析法的优点在于通过两两比较,降低个别判断失误造成的影响,评估结果可靠性高。

导弹的抗干扰能力评估层次如图 2 所示,其抗干扰概率一般来源于数字仿真、半实物仿真、挂飞试验和空中发射试验。

根据图 2 中  $B$  层各个因素之间的相对重要性来构造  $A-B$  判断矩阵,判断矩阵如表 1 所示。

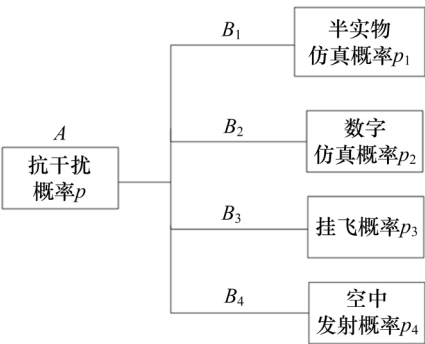


图 2 导弹的抗干扰性能评估层次示意图

表 1 A-B 判断矩阵

A	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	w
B <sub>1</sub>	1	a <sub>12</sub>	a <sub>13</sub>	a <sub>14</sub>	w <sub>1</sub>
B <sub>2</sub>	a <sub>21</sub>	1	a <sub>23</sub>	a <sub>24</sub>	w <sub>2</sub>
B <sub>3</sub>	a <sub>31</sub>	a <sub>32</sub>	1	a <sub>34</sub>	w <sub>3</sub>
B <sub>4</sub>	a <sub>41</sub>	a <sub>42</sub>	a <sub>43</sub>	1	w <sub>4</sub>

其中,在判断矩阵中主对角线元素为 1,  $a_{ij}$  和  $a_{ji}$  互为倒数,即判断矩阵为正反矩阵,然后按照式(5)计算权重系数。其中尺度  $a_{ij}$  的含义如表 2 所示。

$$w_i = (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n} / \sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{kj})^{1/n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

表 2 1~9 尺度  $a_{ij}$  的含义

尺度 $a_{ij}$	含义
1	$b_i$ 与 $b_j$ 的重要程度相同
3	$b_i$ 比 $b_j$ 稍重
5	$b_i$ 比 $b_j$ 明显重要
7	$b_i$ 比 $b_j$ 强烈重要
9	$b_i$ 比 $b_j$ 极端重要
2, 4, 6, 8	$b_i$ 比 $b_j$ 的重要性程度之比在两个相邻等级之间
1/2, 1/3, ..., 1/9	$b_i$ 比 $b_j$ 的重要性程度之比为 $a_{ij}$ 相同的互反数

在获取当前层次的权重系数后,必须对判断矩阵进行一致性校验,以排除里面的人为逻辑判断错误。一致性校验的步骤如下:

1) 计算一致性指标 CI

$$CI = \lambda_{\max} - n / (n - 1) \quad (6)$$

式中,  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵最大特征值;  $n$  为判断矩阵的阶次。

2) 查找相应的平均一致性指标 RI

3) 计算一致性比例 CR

$$CR = CI / RI \quad (7)$$

当  $CR < 0.1$  时,认为判断矩阵的一致性可以接受;当  $CR \geq 0.1$  时,要对判断矩阵进行适当修改。按照上述方法,获取下一级各因素项的权重因子  $w_1, w_2, \dots, w_n$  再通过一致性校验,最后可以求取评估的各因素的权重因子  $w$ ,计算公式如下:

$$w^{(k)} = w_i^{(k)T} w_i^{(k-1)} \quad (8)$$

式中,  $k$  为当前层数。故对于性能指标 A:

$$p_A = w^{(k)T} p \quad (9)$$

式中,  $p$  为各因素下的性能指标。

根据构造的抗干扰性能评估层次示意图,得到二阶的两两判断矩阵,由上述计算方法可知导弹的抗干扰概率为:

$$p = w_1 p_1 + w_2 p_2 + w_3 p_3 + w_4 p_4 \quad (10)$$

## 4 今后发展的方向

### 4.1 贴近实战,构建典型红外战场环境

以红外空空导弹未来的作战使命任务为依托,根

据未来空战特点,构建典型红外战场环境,想定武器系统作战态势,以战场上可能出现的目标特性、干扰方式入手,分析提炼典型战场环境的构成要素。

### 4.2 分级量化,明确红外对抗环境层级

从红外空空导弹面对的复杂对抗环境的物理特征出发,在信息特征层面对复杂对抗环境进行科学表征。在信息特征测度的基础上对复杂对抗环境进行分级量化,从评估的角度建立等级化的复杂对抗环境与导弹抗干扰能力之间的关系。

### 4.3 迭代修正,提升仿真系统的置信度

在不断开展飞行试验的同时,利用已经获取的试验数据,不断修正完善武器仿真系统,形成更为逼真的目标、干扰、自然环境等因素的仿真数据库,提升仿真试验置信度,保证天地一致性。

### 4.4 综合评估,有效融合各类试验数据

根据不同试验阶段、不同种类试验的结果,按照其样本量和置信度的不同,寻求一种科学有效的综合评估方法,既能有效利用不同研制阶段、不同试验条件的试验信息,又要避免大量仿真数据信息造成飞行试验等小子样试验信息的数据淹没。

## 5 结束语

目前新型红外空空导弹抗干扰试验能力评估主要是基于数字仿真试验、半实物仿真试验、挂飞试验和空中发射试验相结合的方式。针对评估试验中存在的各种限制因素,预测了今后抗干扰能力评估的 4 个主要发展方向,即战场环境贴近实战、对抗层次量化分级、仿真系统迭代修正、试验数据综合评估,这将更为全面真实地对导弹抗干扰能力进行评估,以促进战斗力的快速生成和不断提升。■

## 参考文献:

- [1] 孔令春. 飞机自卫反红外导弹综述[J]. 光电技术应用, 2005, 20(1): 7-9.
- [2] 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): 44-45.
- [3] 王学伟, 熊璋, 沈同圣, 等. 红外成像制导导弹虚拟战场仿真[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(7): 922-924.
- [4] 潘丽军, 陈锦权. 试验设计与数据处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2013: 100-190.
- [5] 庞艳静. 基于层次分析法的某红外导弹的抗干扰性能评估[J]. 红外技术, 2014, 36(3): 234-236.
- [6] 金振中, 宋琳. Bayes 方法在战术导弹试验与鉴定中的应用[J]. 战术导弹技术, 1997(1): 57-59.