

文章编号:1001-9014(2007)02-0157-04

# 烟雾干扰的效果评价方法与测试研究

沈涛, 宋建社

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

**摘要:** 从干扰效果测试与评估的内涵出发, 讨论了烟雾干扰效果评价的方法, 提出了烟雾干扰效果的评估准则。对于光电制导系统, 根据实施烟雾干扰后制导武器的跟踪回路的信号状态变化造成导弹制导精度、脱靶量或者命中概率所产生的变化, 确定干扰是否有效, 给出了典型战场气象环境和典型投弹方式下不同透过特性的烟幕对抗激光制导武器的测试结果, 得出了烟雾是对抗红外制导武器的有效手段, 对烟幕技术的研究具有一定参考价值和借鉴作用。

**关键词:** 烟幕干扰; 激光制导; 干扰效果

**中图分类号:** TN21 **文献标识码:** A

## RESEARCH ON TEST AND EFFECTIVENESS EVALUATION OF SMOKE INTERFERENCE

SHEN Tao, SONG Jian-She

(The Second Artillery Engineer College, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** Set out from the connotation of the test and evaluation of the smoke jamming, the evaluation method of the smoke jamming was discussed. The evaluation rules of jamming effectiveness were presented. For electro-optical guided system, a jamming is effective or not is according to the changing of the tracking error, its guidance accuracy or its hit probability. The test result of the smoke screen's countering laser guided weapon under typical weather environment and different transmissivity of bomb release modes were given. The conclusion that the smoke is an effective jamming way was obtained.

**Key words:** smoke screen interference; laser guidance; interference effect

### 引言

激光半主动制导导弹以其高精度及其在现代军事战争中的成功使用, 使人们日益重视对它的干扰方法的研究。烟幕可以吸收、反射和散射激光, 这样使导引头上接收的能量大大衰减, 降低了导弹的命中概率。利用烟幕可以形成干扰屏障, 可见光、红外辐射和激光在通过烟幕时被散射、吸收而衰减, 从而达到遮蔽目标的作用。烟幕干扰是目前光电对抗装备的重要干扰手段之一, 具有“隐真”和“示假”双重功能, 它具有实时对抗敌方光电武器攻击的特点, 尤其是能对光电制导威胁作出快速反应, 可以显著削弱现代光电侦察设备和光电制导武器的效能, 其干扰弹所形成的烟幕对光电制导导弹的干扰效果是评定光电对抗装备能否定型的最主要的指标之一。

### 1 干扰效果测试评估的相关概念

由于目前对于干扰效果测试与评估的内涵存在不同的观点, 所以有必要首先明确在本文中这些概念的具体含义。干扰效果指的是在干扰作用下对被干扰对象产生的破坏、损伤效应, 而不是干扰设备本身的性能指标之一。因此, 应该从被干扰对象的角度出发, 以干扰作用下被干扰对象与干扰效应相关的关键性能的变化为依据评估干扰效果, 这是在评估干扰效果时应该遵循的基本原则。否则, 就有可能将干扰效果评估与干扰设备性能指标的鉴定混为一谈。

在评估干扰效果时, 首先要确定相应的评估准则。干扰效果评估准则主要指的是在评估干扰效果时, 所选择的评估指标和所确定的干扰效果等级划

收稿日期: 2006-07-05, 修回日期: 2006-11-15

基金项目: 国家自然科学基金重点(60272022)资助项目

作者简介: 沈涛(1978-), 男, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事光电对抗系统仿真及效能评估方面的工作。

Received date: 2006-07-05, revised date: 2006-11-15

分. 评估指标是指在评估中需要检测的被干扰对象与干扰效应有关的关键性能. 干扰效果等级划分则是指根据上述评估指标量值大小对被干扰对象战术性能或总体功能的影响程度, 确定出与干扰无效、有效或一级、二级、三级等量化等级对应的评估指标阈值. 由此可见, 干扰效果评估准则是进行干扰效果评估所必需的依据, 在确定了干扰效果评估准则后, 通过检测实施干扰后被干扰对象评估指标的量值并与阈值相比较, 便可以确定干扰是否有效以及干扰效果的等级.

对烟幕作用于干扰对象所产生的遮蔽效果进行测试与评估, 它与烟幕的战术技术性能、被干扰对象的战术技术性能、实施干扰的环境和评估检测条件等密切相关. 通常, 对烟幕干扰效果测试与评估, 是依据导弹末制导导引头受干扰后, 看其跟踪回路的信号状态变化造成导弹制导精度、脱靶量或者命中概率所产生的变化, 再选用一个或多个性能参数的改变对干扰效果进行检测的.

## 2 烟雾干扰效果评价准则的建立

首先讨论在正常情况下, 即未实施烟幕干扰时, 制导武器的制导精度问题.

设靶平面上目标的位置矢量为  $r_0$ , 制导武器弹着点的位置矢量为  $r_i (i=1, 2, \dots, n)$ ,  $n$  为有效试验次数, 于是第  $i$  次试验的脱靶量矢量为  $\Delta r = r - r_0$ , 平均脱靶量矢量则为  $\bar{\Delta r} = \bar{r} - r_0$ , 其中  $\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$  为平均弹着点的位置矢量. 平均脱靶量即为制导误差的系统误差. 对于系统误差, 只要了解了其来源和变化规律, 通常可以采取一定措施加以消除或修正, 这时有  $\bar{\Delta r} = 0$ , 即有  $\bar{r} = r_0$ . 制导误差的随机误差通常用标准差表示, 利用 Bessel 公式, 可得标准差为

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - r_0)^2},$$

在系统误差已消除或修正的情况下, 即可利用上式计算制导精度.

在各种随机因素的作用下, 导弹在无导引下飞行的弹道散布误差的概率分布为正态分布. 只考虑侧向散布误差.

在烟幕遮挡下, 导弹在方位上的脱靶概率  $P_n = 1 - P_s$ , 式中  $P_s$  为在导弹自导头搜索范围(或视场)内, 在烟幕遮蔽下导弹飞过烟幕在方位上命中目标的概率.

在射击理论中, 常使用概率偏差(中央偏差)表

示实际弹道的偏差程度. 根据中心极限定理, 无自导下飞行的导弹的侧向散布误差的概率分布为正态分布.

设侧向散布误差为  $\varpi$ , 则

$$f(\varpi) = \frac{P}{E\varpi \pi \gamma^2} \exp\left[-p^2 \frac{(W - M\varpi)^2}{E\varpi^2}\right],$$

式中  $E\varpi$  为侧向散布概率误差,  $M\varpi$  为侧向散布数学期望,  $p = 0.477$ . 若以散布中心为坐标中心零点, 则  $M\varpi = 0$ , 于是

$$P_s = 1/2 [\delta(W_2/E\varpi) - \delta(W_1/E\varpi)],$$

$$W_2 = B_p - R_{dc} + b, \quad W_1 = B_p - R_{dc} - b,$$

式中  $B_p$  为在烟幕遮挡时间内, 在垂直导弹来袭方向上目标几何中心移动的距离,  $R_{dc}$  为导弹散布中心侧向变化的距离,  $b$  为目标在垂直  $R_r$  方向上投影距离之半,  $R_r$  为导弹来袭方向.

理论分析和大量试验结果证实, 在正常情况下制导武器的制导误差服从正态分布. 根据测量误差理论, 制导武器弹着点落在以目标为中心,  $S$  为半径的范围内的概率将为 68.27%, 落在以  $2S$  和  $3S$  为半径的范围内的概率则分别为 95.45% 和 99.73%, 也就是说, 在未实施烟幕干扰时, 制导武器弹着点仅有 0.27% 的概率落在以目标为中心,  $3S$  为半径的范围以外. 为此, 可以  $3S$  为界限判定实施干扰时制导误差是否超出正常制导精度允许范围.

设未实施烟幕干扰时制导武器的制导精度为  $S_0$ , 实施干扰后脱靶量大小为  $\Delta r$ , 则可以按照以下标准判定干扰是否有效:

当  $\Delta r \leq 3S_0$  时, 本次干扰无效;

当  $\Delta r > 3S_0$  时, 本次干扰有效.

除此之外, 还可以实施烟幕干扰后制导武器的脱靶量相对于制导武器对被保护目标的杀伤半径的大小为依据来评定干扰是否有效或确定干扰效果等级. 设制导武器对被保护目标的杀伤半径为  $R_d$ , 则可以按照以下标准评定干扰效果:

当  $\Delta r \leq R_d$  时, 本次干扰无效;

当  $\Delta r > R_d$  时, 本次干扰有效.

在实际使用中, 烟幕干扰设备对制导武器的干扰是一个高度动态的过程, 在这一动态过程中, 影响干扰效果的因素非常复杂, 所以干扰效果有很大随机性. 因此在实用中重要的不是某一次干扰效果如何, 而是在一定的使用条件下有多大把握对特定目标实现有效干扰, 即干扰成功率.

为考核干扰成功率, 需要进行多次干扰试验, 记录各次干扰试验中的脱靶量  $\Delta r_i$ , 依据上述两种判定

标准之一判定各次干扰是否有效,最后按照下式统计出干扰成功率(也称干扰概率).即  $\eta = \frac{n_e}{n} \times 100\%$ ,式中  $n$  为总干扰次数, $n_e$  为有效干扰次数.干扰成功率越高,则说明烟雾干扰设备在规定使用条件下对特定光电成像系统的干扰效果越好,也即干扰能力越强.在实际应用中,可以根据评估需要,依据干扰成功率的大小,将干扰效果划分为若干等级.

### 3 烟雾干扰效果的测定

烟雾的形成时间、持续时间和有效的遮蔽面积是衡量烟雾干扰效果的重要指标.这些与烟雾的释放方式、气象和环境条件有很大的关系.根据上面的讨论,评估烟雾干扰性能的外场试验选择在地域开阔,通讯条件好,周围背景简单的区域,天气晴朗,能见度 23km 的环境条件下进行.根据设定的 3 种投弹条件进行测试.在测试结果中,飞行时间是指激光制导武器从投弹到落地的总时间,开始制导距离是指导引头开始敏感到目标的弹目之间直线距离;开始制导时间是指投弹初始时刻到导引头开始敏感到目标;制导精度是弹体落地时的位置与目标之间的距离.测试结果如下:

#### (1) 投弹条件 1

初始弹目水平距离:6km;炸弹初始速度:290 m/s;投弹高度:1km.

#### (2) 投弹条件 2

初始弹目水平距离:2.5km;炸弹初始速度:260m/s;投弹高度:0.5km.

表 1 模式 1 测试结果

Table 1 Result of the compound mode No. 1

烟雾透过率 $T(\%)$	飞行时间 (s)	开始制导 时间(s)	开始制导 距离(km)	制导精度 (m)
100%	21.8	0.0	6.1	2.5
50%	21.8	0.0	6.1	2.5
45%	21.8	1.7	5.6	2.5
40%	21.8	3.9	4.9	2.5
35%	21.8	6.2	4.5	2.5
32%	21.8	7.6	4.1	2.5
31%	21.8	8.1	3.9	16.6
30%	21.9	8.6	3.8	50.8
29%	21.9	9.0	3.7	55.4
28%	22.1	9.5	3.6	33.4
27%	22.3	10.0	3.5	16.3
26%	22.3	10.5	3.3	49.4
25%	22.4	11.0	3.2	42.9
24%	22.6	11.5	3.1	16.1
23%	22.7	12.0	2.9	29.5

表 2 模式 2 测试结果

Table 2 Result of the compound mode No. 2

烟雾透过率 $T(\%)$	飞行时间 (s)	开始制导 时间(s)	开始制导 距离(km)	制导精度 (m)
100%	9.4	0.0	2.5	2.9
50%	9.4	0.0	2.5	2.9
40%	9.4	0.0	2.5	2.9
30%	9.4	0.0	2.5	2.9
25%	9.4	0.0	2.5	2.9
24%	9.4	0.2	2.5	2.9
23%	9.4	0.7	2.3	2.9
22%	9.4	1.1	2.2	2.9
21%	9.4	1.5	2.1	2.9
20%	9.4	1.9	2.0	33.8
19%	9.4	2.4	1.9	44.7
18%	9.5	2.8	1.8	46.6
17%	9.7	3.2	1.7	14.3
16%	9.8	3.6	1.6	9.1

表 3 模式 3 测试结果

Table 3 Result of the compound mode No. 3

烟雾透过率 $T(\%)$	飞行时间 (s)	开始制导 时间(s)	开始制导 距离(km)	制导精度 (m)
100%	45.3	0.0	10.1	4.6
50%	45.3	15.4	6.8	4.6
40%	45.3	21.9	5.5	4.6
30%	45.3	28.8	4.1	4.6
29%	45.3	29.4	4.0	4.6
28%	45.3	30.1	3.7	35.5
25%	45.9	32.2	3.4	15.9
22%	46.4	34.2	3.0	16.7
20%	46.6	35.6	2.7	28.8
19%	46.8	36.2	2.6	18.5
18%	47.0	36.9	2.5	16.8

#### (3) 投弹条件 3

初始弹目水平距离:10km;炸弹初始速度:230m/s;投弹高度:2km.

在以上 3 种投弹条件下,无影响的起始制导弹目距离是不一样的,这说明大气衰减不是唯一决定制导精度的因素,投弹条件(控制系统设计参数)和大气衰减共同影响了制导精度.对于假设的武器系统性能指标,烟雾的透过率  $T < 20\%$  时,武器制导精度必然受到影响,在  $T < 15\%$  时,必然受到严重影响.以上 3 种投弹条件是很典型的,具有代表性,可供参考使用.

### 4 结语

本文在一定的初始条件下,深入研究了烟雾透过率与制导精度的关系,给出了不同透过率烟雾的干扰效果,得出了烟雾使对抗红外制导武器的有效手段,定量论述了烟雾的战场应用重要性,对烟雾技术的研究具有一定参考价值和借鉴作用.

## REFERENCES

- [1] LI Ming, FAN Dong-Qi, YIN Chun-Yong. Study on corresponding relation of laser and infrared transitivity for smoke screen [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (李明, 范东启, 殷纯永. 烟幕激光和红外透过率对应关系研究. *红外与毫米波学报*), 2006, **25**(2): 127—130.
- [2] ZHOU Zhun-Ning. Composition design and application research on pyrotechnic anti-infrared smoke agent [D]. Ph D Thesis. Nanjing: Nanjing Science and Technology University (周遵宁. 燃烧型抗红外发烟剂配方设计及应用研究. 南京: 南京理工大学博士论文), 2003, **10**: 1—2, 20—90.
- [3] FU Wei. Present state of electro-optic passive jam technique [J]. *Applied Optics* (付伟. 光电无源干扰技术的发展现状. *应用光学*), 2000, **21**(6): 1—5.
- [4] YIN Xi-Feng, CHEN Yu-Zhong, CHEN Hong-Da, et al. Studies on the application techniques of explosion-dispersed composite interfering smoke agents [J]. *Energetic Materials* (尹喜凤, 陈于忠, 陈宏达. 爆炸分散型复合干扰发烟剂使用技术研究. *含能材料*), 2003, **11**(2): 71—75.
- [5] XIONG Xiao-Wei, LIU Shang-Qian. Effect evaluation on infrared aerosol screening smoke [J]. *Systems Engineering and Electronics* (雄晓伟, 刘上乾. 红外气溶胶烟幕干扰效果的定量评估. *系统工程与电子技术*), 2001, **23**(2): 39—41.
- [6] ZHANG Xiao-Hong, JIANG Jun. Mathematical modeling on detective ability of IR seeker [J]. *Optical Technique* (张晓宏, 姜军. 红外导引头探测能力的数学建模. *光学技术*), 2000, **26**(5): 388—390.
- [7] HAN Jie, ZHANG Jian-Qi, HE Guo-Jing. Estimation technology of the infrared smoke interference effect [J]. *Infrared and Laser Engineering* (韩洁, 张建奇, 何国经. 红外烟幕干扰效果评价方法. *红外与激光工程*), 2004, **33**(1): 1—4.
- [8] FANG You-Pei. The smoke screen's effect and trend of development in modern wars [J]. *Astronautic Electromagnetic Countermeasure* (方有培. 烟幕在现代战争中的作用及发展趋势. *航天电子对抗*), 1998, **25**(4): 33—36.

## 全国第十一届红外加热暨红外医学 发展研讨会征文通知

由中国光学学会红外光电器件专业委员会、中国光学光电子行业协会红外分会、中国电子学会量子电子学与光电子学分会、中国光学学会锦州分会、云南省光学学会、中国机械工程学会工业炉分会、中国电工技术学会电热专业委员会、武汉国家红外产品质量监督检验中心联合主办, 常州市万特光电技术有限公司承办, 《红外技术》编辑部、《工业加热》编辑部、锦州海利斯石英工业灯制造有限公司、佛山思纬整水技术有限公司、北京周林频谱科技有限公司协办的全国第十一届红外加热暨红外医学发展研讨会, 定于2007年10月在常州市召开。

本届会议主要反映与交流近年来, 红外加热技术及红外医学领域的新成果和新进展。

### 一、应征论文范围

1. 红外加热技术在国民经济中的地位、作用及发展前景的综述、评论文章;
2. 红外加热元件、红外辐射涂料的新成果、新工艺及相关技术研究;
3. 红外与物质相互作用, 红外加热理论与机理的研究;
4. 各种红外加热装置的优化设计与制造及应用实例剖析;
5. 红外加热测试技术、物质的红外光谱及相关技术的研究;
6. 红外加热在生物学和医学中的应用等;
7. 红外医学新仪器、新材料、新技术、新成果及国内外发展动向;
8. 红外医学的临床理论研究, 临床应用报告及相关的激光、微波、毫米波的研究与应用。

二、应征论文作者请在2007年8月30日前, 将500~800字论文摘要寄到: 大连理工大学物理与光电工程学院栾文彦教授收(邮政编码: 116023), 并请作者注明详细通讯地址、工作单位及职务、职称和邮政编码。

三、经审稿录用的论文摘要集, 将由《红外技术》编辑部编辑出版发行。

四、会议筹备组的通信地址: 锦州市13号信箱中国光学学会锦州分会(邮政编码: 121000)

联系人: 王永钧, 电话: 0416-2650160、2135100, 传真: 0416-2135100。

全国第十一届红外加热暨红外医学  
发展研讨会筹备组