

· 战场环境仿真与试验鉴定技术专著之三 ·

光学制导导弹 战场环境仿真技术

隋起胜 史泽林 饶瑞中 等著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

· 战场环境仿真与试验鉴定技术专著之三 ·

光学制导弹 战场环境仿真技术

隋起胜 史泽林 饶瑞中 等著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍了光学制导导弹战场环境仿真相关技术。全书共8章,内容包括大气环境、太阳角、昼夜变化、人为干扰、电视制导导弹战场环境仿真、红外制导导弹战场环境仿真、激光制导导弹战场环境仿真等内容。

本书可作为从事光学制导武器装备研制、试验和使用的工程技术人员和部队官兵参考用书,有助于相关人员掌握有关光学制导导弹战场环境仿真的基本方法。

图书在版编目(CIP)数据

光学制导导弹战场环境仿真技术 / 史泽林著. —北京: 国防工业出版社, 2016. 11

ISBN 978 - 7 - 118 - 11120 - 0

I. ①光... II. ①史... III. ①光学制导 - 导弹 - 战场 - 环境模拟 IV. ①TJ765.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 271469 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 15½ 字数 250 千字

2016年11月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 98.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

撰写人员名单

写 作 组

组 长 隋起胜 史泽林
副组长 饶瑞中 赵怀慈
成 员 陈红伟 徐青山 董国才 花海洋
刘海崢 王立勇 刘鹏飞 喻卓越
王绪安 唐同斌 陈韶千 武鹏飞

审 校 组

组 长 邹 勇
副组长 罗海波
成 员 付宏明 魏合理 惠 斌 常 铮
郝颖明 郝明国 金玉花 刘满国

《反舰导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术》和《防空导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术》这两本书分别介绍了海、空战场环境的组成和特点。但是,光学制导导弹面临的战场环境与海、空战场电磁环境截然不同,其主要构成是目标干扰与自然环境。这里的自然环境不仅包括地面或海面背景,而且还包括大气及太阳角。

本书从科学原理分析入手,介绍了光学制导导弹战场环境的组成及影响机理,详细描述了电视、红外、激光等类型光学制导导弹战场环境仿真技术。

战场环境仿真技术是为导弹环境适应性评估和作战运用提供技术支持。第1章介绍了相关的光学制导导弹种类,概述了打击的主要目标,阐述了光学制导导弹所面对的战场环境仿真的真实性和可信度。

大气环境是影响导弹作战效能的重要外在因素,如何量化表征大气环境是一个重要的理论和实际问题。第2章从分析影响机理入手,分析了大气环境对光学制导导弹的影响。大气对光学制导导弹的影响主要有:①光的能量衰减;②信号背景对比度的下降;③制导光学图像的质量退化;④光学跟瞄系统的偏差。

太阳角和昼夜变化对于光学制导导弹作战效能有显著影响。由于太阳散射光导致的制导距离变化会影响作战效能,不同太阳角下的作用距离不同,因此,合理选择攻击角度会大大提高打击能力。昼夜变化会导致目标/背景的分辨时间窗口,因此,如何选取有效的目标可分辨窗口是一个重要课题。第3章和第4章分别分析了太阳角和昼夜变化对导弹作战效能的影响。

光学制导武器在战场环境中面临烟幕、诱饵等人为干扰因素,这些

干扰因素对目标形成遮蔽或能量压制,降低制导导弹对目标探测、识别和跟踪的能力,影响导弹的作战效果。第5章主要分析战场环境中烟幕、红外诱饵干扰的自身特性和影响机理,并对烟幕和红外诱饵干扰进行量化表征。

外场试验无法遍历所有的战场环境干扰条件,但仿真可以采用遍历的方法,因此,战场环境仿真成为环境适应性评估的重要技术手段。第6章、第7章和第8章分别阐述了电视、红外和激光战场环境仿真技术,并给出了仿真实例。

本书在写作过程中得到了诸多同志的帮助和支持,他们的大力支持对于本书的撰写和出版至关重要,借此机会,一并表示衷心的感谢。同时,还要感谢相关的审稿专家,他们为本书的进一步完善提出了大量中肯建议。

限于作者的认知和写作水平,书中难免存在疏漏和不当之处,恳请读者批评指正。

作者

2016年9月28日

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 光学制导导弹	2
1.2.1 电视制导	2
1.2.2 红外制导	5
1.2.3 激光制导	9
1.2.4 复合制导	10
1.3 打击目标	12
1.4 战场环境	13
1.5 环境仿真的真实性和可信度	14
1.5.1 光学制导环境	14
1.5.2 光学制导环境仿真度	14
1.5.3 仿真系统可信度	15
1.5.4 内场评估的可信度	17
第 2 章 大气环境	20
2.1 概述	20
2.2 影响光学传输的大气要素	22
2.2.1 大气结构及其应用模式	22
2.2.2 大气消光与湍流	28
2.2.3 大气下垫面反射与辐射	39
2.2.4 大气辐射传输	42
2.3 对光学制导导弹作战效能的影响	47

2.3.1	对电视探测的影响	47
2.3.2	对红外探测的影响	55
2.3.3	对激光探测的影响	63
2.4	大气消光与辐射计算工具	70
2.4.1	CART 软件	71
2.4.2	MODTRAN 软件	78
2.4.3	CLAP 软件	79
2.4.4	TBAC 软件	81
第 3 章	太阳角	84
3.1	概述	84
3.2	太阳角影响的描述方法	85
3.2.1	太阳角的定义	85
3.2.2	太阳角对大气背景光的影响	86
3.2.3	太阳角对不同光学波段成像的影响程度分析	92
3.2.4	太阳角影响的量化表征	93
3.3	太阳角影响导弹作战效能的分析	96
3.3.1	目标/背景视在对比度的计算	97
3.3.2	性能预测模型	99
第 4 章	昼夜变化	103
4.1	概述	103
4.2	昼夜变化对红外制导的影响分析	107
4.3	时间窗口	109
4.3.1	目标/背景辐射的时变性	109
4.3.2	目标/背景对比度计算模型	111
4.3.3	目标可探测时间窗口计算示例	112
4.3.4	典型材质辐射特性参数参考	116
第 5 章	人为干扰	121
5.1	概述	121

5.2	烟幕干扰的特性	121
5.2.1	烟幕干扰的物理特性	121
5.2.2	烟幕干扰的影响要素	127
5.2.3	烟幕干扰的表征	129
5.3	红外诱饵干扰的特性	133
5.3.1	红外诱饵干扰的物理特性	133
5.3.2	红外诱饵干扰的影响要素	134
5.3.3	红外诱饵干扰的表征	136
第6章	电视制导导弹战场环境仿真	138
6.1	概述	138
6.2	半实物仿真系统架构	139
6.2.1	系统构成	139
6.2.2	仿真设备	140
6.2.3	仿真软件	142
6.3	电视制导导弹战场环境仿真方法	143
6.3.1	目标/背景固有辐亮度	144
6.3.2	大气透过率	144
6.3.3	大气散射影响	145
6.3.4	目标/背景视在对比度	145
6.3.5	太阳角的影响	147
6.3.6	图像对比度	147
6.4	半实物仿真实例一	151
6.4.1	目标/背景固有辐亮度计算	152
6.4.2	大气透过率计算	153
6.4.3	大气散射影响计算	154
6.4.4	目标/背景视在辐亮度计算	154
6.4.5	图像对比度计算	155
6.5	半实物仿真实例二	160
6.5.1	烟幕透过率计算	160
6.5.2	目标/背景视在对比度计算	161

6.6	动态场景仿真	161
第7章	红外制导导弹战场环境仿真	163
7.1	概述	163
7.2	半实物仿真系统架构	164
7.2.1	系统构成	164
7.2.2	仿真软件	172
7.3	红外制导导弹战场环境仿真方法	176
7.3.1	目标背景温度及其辐射	177
7.3.2	大气辐射传输	182
7.3.3	红外人为干扰	185
7.3.4	视在红外辐射	187
7.3.5	红外成像系统响应模型	188
7.4	红外战场环境测试和仿真实例	190
7.4.1	MRTD 测试实例	191
7.4.2	仿真试验实例	194
7.4.3	注入式数字仿真试验	199
第8章	激光制导导弹战场环境仿真	202
8.1	激光制导导弹工作原理	202
8.1.1	激光制导导弹工作原理	202
8.1.2	打击的目标类型特征	205
8.1.3	战场环境对制导导弹的影响	205
8.2	激光制导导弹人为干扰环境的量化表征	209
8.2.1	诱骗干扰的量化表征	209
8.2.2	高重频干扰的量化表征	214
8.2.3	压制干扰的量化表征	216
8.3	激光制导导弹战场环境仿真方法	216
8.3.1	半实物仿真系统架构	216
8.3.2	仿真试验中的能量传递关系	218
8.3.3	自然环境条件下的仿真	219

8.3.4	诱骗干扰仿真	225
8.3.5	高重频干扰仿真	228
8.3.6	压制干扰仿真	230
8.3.7	自然环境和干扰环境的组合仿真	231
8.3.8	激光制导导弹战场环境半实物仿真流程与 评估方法	232
参考文献		233

1.1 概 述

精确制导技术的内涵是:利用惯性基准和支持保障信息获取导航信息,利用目标散射/辐射特性发现、识别与跟踪目标,控制和引导制导武器准确命中目标。精确制导技术是精确制导武器的核心技术,对提高制导武器作战效能和常规威慑能力具有重要作用。

精确制导技术通常是指中制导与末制导的结合。在第二次世界大战末期出现的 V-1、V-2 导弹,由德国制造,是世界上最早出现的制导武器。导弹采用了惯性制导和辅助程序控制技术,解决了常规弹头不能远程作战和不能在飞行中自动修正弹道的问题。导弹飞行过程中自动修正弹道的技术就是所谓的中制导技术。精确制导技术是最初的中制导技术的发展和延伸,最重要的进步是在提高中制导精度的同时,又发展了末制导技术。精确制导导弹采用中制导与末制导相结合,大大提高了武器的命中精度和毁伤效果。所谓末制导,是指导弹加装导引头,在弹道的末段通过导引头来直接探测目标,并测出目标相对于导弹的位置参数和相对运动参数,形成导引信号,送给弹上的飞行控制系统,控制导弹直接飞向目标。随着末制导技术尤其是主动寻的制导技术的应用,制导武器的自动化、智能化程度和打击精度得到了质的提高,逐步具有了远程作战、“发射后不管”、自动选择目标和攻击目标要害部位的能力,而且直接命中目标的概率几乎不受飞行距离的影响。

需要指出的是,当中制导精度足够高,且待机目标是固定不动的目标,那么即使不加装导引头也能达到很高的制导精度,如美国的精导武器系列中就有许多只依靠 GPS 导航来实现全程制导的。如果中制导精度不够,或者目标是运动目标,则需要依靠末制导手段来提高打击精度。目前末制导技术主要包括电视制导技术、红外制导技术、激光制导技术、毫米波制导技术、微波制导技术、多模或复合制导技术等。

精确制导武器总的能力发展趋势是实现远距离作战、高精度作战、昼夜作战、全天候作战、全方位作战、复杂战场环境下作战,而精确制导技术的发展就是要不断顺应武器装备作战能力的发展的需要。精确制导技术涉及多个专业技术领域,是一种综合应用多种现代高新技术的手段。对于精确制导导弹战场环境仿真技术,涉及的战场环境温湿度条件、振动条件、电磁兼容条件等已有相应专业书籍及标准规范,本书重点放在导弹导引头的环境适应性仿真技术方面。

1.2 光学制导导弹

1.2.1 电视制导

顾名思义,电视制导就是利用电视摄像机获得目标的图像信息,进而导引导弹飞向目标的技术。

1. 电视制导的特点

电视导引头利用可见光波段成像,并且只能在白天且能见度较好的条件下使用。

电视制导具有以下优点:

- (1) 电视成像探测器图像分辨率高,末制导精度高;
- (2) 图像视觉效果好,便于飞行员操作;
- (3) 抗电子干扰能力强;
- (4) 如果能够获取目标的可见光照片,则容易实现自动目标识别。

电视制导具有以下缺点:

- (1) 作战使用条件比较严格,只能在白天且能见度较好的条件下使用,同时对进入方向和太阳方向的夹角范围有较严格的要求;
- (2) 光电对抗能力弱,一旦目标被伪装,制导导弹就难以有效地识

别目标,也难以跟踪目标。

2. 电视制导导弹工作原理

导引头开机后,摄像机成像并将图像传送给视频跟踪器。视频跟踪器、稳定平台控制器、导引头控制器一起工作,在人工干预下进行搜索、捕获、跟踪和锁定目标,一方面将跟踪器计算得到的目标位置、速度、状态等信息反馈给制导导弹稳定伺服平台,对目标进行闭环跟踪,使目标保持在图像的中心;另一方面,控制器不断提取和整理视线角位置(视轴与弹轴的航向夹角、俯仰夹角)、视线角速度(视线与弹轴的相对航向、俯仰角速度)及状态信号,送给弹上飞行控制系统进行导弹的弹道控制,引导导弹自动飞向目标,直至命中目标。

3. 电视制导导弹的战术性能

制导导弹能看多远?这是一个简单而又复杂的问题。一般而言,“电视制导导弹看多远”是指电视导引头的作用距离,由技术设计和使用条件两方面因素共同决定。具体来说,作用距离不但与照相机的灵敏度和分辨率等导引头的因素有关,还与外界的目标尺寸大小、目标和背景的反射率、环境照度、大气能见度、与太阳位置相关的观测几何、显示器、显示环境、平台振动、人眼视觉等外在因素密切相关。同一个摄像机在同样条件下,大目标看得远,小目标看得近;敏锐的人看得远,迟钝的人看得近。

空地导弹电视导引头针对地面复杂场景内的常见低对比度目标,受传感器、显示器等器件水平限制,作用距离存在极限。我们抬头仰望星空,距离数亿光年的星星璀璨闪亮;我们放目远眺,却不一定能辨别数千米的地面目标。同理可知,高性能的电视摄像机对地观测具有复杂性,受地面目标对比度低、亮度低、背景复杂、大气透过率低等因素限制。一般情况下,对于典型的大中型目标,在考虑大气传输和显示环境较好的条件下,电视制导导弹的作用距离可达10~20km;在低能见度、侧逆光以及座舱显示器受到阳光直射影响时,作用距离就会明显减小。

“制导导弹作用距离多远”算好,取决于导弹总体性能和作战效能的综合要求,并不是看得越远越好。从视场角度说,看得远看得少,视场减小,放大倍数增加,视场中的目标变大,作用距离相应增加。但是,视场减小会产生非常不利的影响:第一,可观察的区域越小,对全局的把握

能力越差,不利于发现和寻找目标;第二,即使发现了目标,系统振动、大气湍流、风等因素影响放大,不易稳定,稍有风吹就会引起图像剧烈晃动甚至丢失目标,晃动会引起视觉疲劳,不利于观察、捕控、跟踪;第三,视场减小后,导弹进入战场时目标落入视场的概率相应减小,存在捕获概率减小的风险。

制导弹作用距离是充分考虑作战需求和作战环境,结合器件发展水平,综合考虑捕获概率、导弹中制导误差等因素而制定的制导弹总体战术指标。准确地说,它不是一项技术指标,技术指标是系统固有的;战术指标与作战使用条件相关,是一定条件下达到的能力指标。

制导弹作用距离多远才能抓得住目标?下面是经常发生的一种情景:导弹在预定的航迹上飞行,飞行员隐约发现了待打击的目标,用操纵杆将光标稳稳地移动到目标上,果断地按下锁定按钮,锁定!但是,目标无法捕控!战士为这个操作惊出一身冷汗。除非导弹出现故障,否则这种情况是正常的。究其原因,在远距离条件下,大气传输环节使目标和背景反差低。在中远距离处,电视制导弹获取的图像是物体的轮廓,虽然隐约观察到目标,但是图像反差低,细节不足,无法达到跟踪器对图像质量的基本要求。

人类经过了漫长的自然进化,具有机器不可比拟的信息处理能力。例如,人可以瞬间解译一幅图像究竟是风景图还是人物图,并指出高山、溪流、树木、花草等内容,而机器很难综合利用各种信息判读图像。因此,由于机器的信息处理能力与人存在差距,虽然人眼隐约能看到目标,但是图像质量差,跟踪器不响应或不能稳定跟踪,此时可以采取两个选择:一是密切关注实时的弹目距离,待图像质量达到适合跟踪程度后,再执行锁定命令;二是先锁定目标周围突出的物体,待目标突出后,再将攻击点修正到目标上。

制导弹怎样才能抓得牢?在目标捕控后,有时视频跟踪器抓目标的跟踪窗晃悠悠,不让人放心,甚至抖动、滑动或者跳动。过去由于视频跟踪器受硬件水平限制,不具备高性能实时处理能力,往往采用简化方法进行运算,丢弃了大量有用的图像信息。在超大规模集成电路和信息处理水平的飞速发展的今天,空地导弹的视频跟踪器具备了高性能的信息处理能力,跟踪精度主要受图像质量限制,跟踪不稳定的主要因素

是图像质量不满足要求,目标区域不突出。当然,设计师们在设计时已经充分考虑了这种情况,所采用的跟踪技术已在最大程度上避免了这种让人不放心问题的发生。对空地导弹的跟踪而言,跟踪不稳定的主要原因是图像质量差,锁定区域不明显,不能轻易与周围的背景区分。图像中越突出的部分,往往越容易引起人的注意,跟踪器跟踪越稳定。因此,先锁定目标周围最突出的物体,等目标明显后,修正攻击点到目标最突出的部分,才能让跟踪器抓得更牢。

4. 典型电视制导武器

迄今为止,美国、英国、俄罗斯、法国等军事强国先后研制并装备了大量的电视制导武器系列。美国研制的“幼畜”(Maverick)是最著名的一种电视制导导弹,有 AGM-65A 和 AGM-65B 两种型号。AGM-130 系列电视/红外制导炸弹是一种类似 GBU-15 的高性能制导炸弹,采用 GPS/INS(惯性导航)作为制导手段,而在末端则采用电视/红外成像作为精确制导手段。

俄罗斯也有一些电视精确制导武器。早期的有由 Molniya 设计局设计的 Kh-29T 型空地电视制导导弹和 KAB-500KR 型高命中精度的电视制导炸弹。目前,较成熟并得到广泛使用的是 Kh-59 系列空地导弹。

表 1-1 给出了典型的电视制导空地导弹。

表 1-1 典型电视制导空地导弹

项目 \ 型号	AGM-65A/B	AGM-130	Kh-29T	Kh-59
国别	美国	美国	俄罗斯	俄罗斯
制导方式	人在回路、发射前锁定	发射后锁定	发射前锁定	发射后锁定
装备时间	1985 年	1991 年	1980 年	1980 年

1.2.2 红外制导

红外制导是利用红外探测器探测目标的红外辐射,通过红外成像来进行目标探测、识别与跟踪的制导技术,其图像质量与电视相近,但可在电视制导系统不能工作的夜间和复杂气象条件下作战。红外制导技术已成为制导技术的一个主要发展方向。红外制导技术经过几十年的发

展,广泛应用于空地、空空、反舰等各种导弹上。红外制导武器已成为精确制导武器大家族中的重要分支。

红外制导武器的发展要从早期的“响尾蛇”导弹说起。响尾蛇毒性很大,它的眼睛对可见光几乎失去了作用,然而它却能敏捷地捕捉田鼠及其他小动物。研究发现,这种捕捉能力应归结于响尾蛇的热感受器——“热眼”。“热眼”能够接收小动物身上发出来的红外辐射,并把外界温差和红外线通过神经反馈给大脑,再由大脑发出相应的“命令”,引导毒蛇去猎取食物。

受响尾蛇的启发,美国海军武器中心经过大胆尝试和多次实验,研制出了一种与响尾蛇捕获猎物所用方法相同的空战武器,这就是当今闻名遐迩的“响尾蛇”红外型空空导弹。在1982年6月的中东战争中,叙利亚军方损失的20多架飞机几乎全部是“响尾蛇”空对空导弹击落的。

1. 红外制导的特点

红外制导是利用目标的红外辐射,实现对目标的捕获、跟踪,导引导弹攻击目标的一种被动寻的制导技术。

红外制导具有以下优点:

(1) 抗干扰能力强。红外成像制导系统能探测目标和背景间微小的温差或辐射率差引起的热辐射热分布图像。制导信号源是热图像,可以在复杂背景干扰下探测、识别目标,因此干扰红外成像制导系统比较困难;

(2) 空间分辨率和灵敏度高。红外成像制导系统一般用二维扫描,比一维扫描的分辨率和灵敏度高,很适合探测远程小目标;

(3) 探测距离大,具有全天候功能。与可见光成像相比,红外成像系统工作在 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 远红外波段,该波段能穿透雾、烟尘等,探测距离比电视制导大了 $3 \sim 6$ 倍,而且克服了电视制导系统难以在夜间和低能见度下工作的缺点,是一种能在恶劣气候条件下工作的准全天候探测制导系统;

(4) 制导精度高。该类制导导弹的空间分辨率高,能使导弹直接命中目标或目标的关键部位。

红外制导具有以下缺点:

(1) 进行红外成像制导时,受探测器材的限制,图像分辨率不高,制