

# 机载定向对抗共光路闭环系统设计

苗用新<sup>1,2</sup>, 张堃<sup>1,2</sup>, 郭劲<sup>1</sup>

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2.中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘 要:**随着红外制导技术的发展, 开环干扰系统已不能满足对红外制导导弹的对抗要求。本文对红外制导导弹导引头的功能和结构进行了介绍, 分析了大气和系统噪声对激光信号的影响, 最后简要描述了一种机载定向对抗共光路闭环系统的设计。

**关键词:**共光路; 闭环干扰; 激光; 光电技术

**中图分类号:** TN215

## Design of the Common Path Closed Loop Equipment of the Airborne Directed Countermeasure System

MIAO Yong-xin<sup>1,2</sup>, ZHANG Kun<sup>1,2</sup>, GUO Jin<sup>1</sup>

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2.Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** The components and function of the seeker head are discussed, also the influence factors of the laser signal transforming. On this basis, introduction is given on structure of common path closed loop equipment of the airborne directed countermeasure system.

**Keywords:** common path; close-loop jamming; laser; EO technology

### 1 引言

红外制导导弹是应用最广泛也是最有效的反飞机武器, 它包括肩上发射的红外制导地对空导弹和机上发射的空对空红外制导导弹。在伊拉克战争中, 就有攻击直升机和大型运输机被肩上发射地对空导

弹击落的例子。目前全世界已有便携式防空系统 50~70 万个, 便宜的每个仅 5 000 美元。现在红外探测器的光谱响应正从短波扩展到中波和长波, 红外成像技术也从线阵 CCD、面阵 CCD 发展到了凝视焦平面阵列, 红外制导技术的发展显著提高了红外导弹的杀伤力。新一代的红外制导导弹具有全方位的

攻击能力、抗干扰能力强、探测距离远等特点。随着廉价的便携防空系统不断地扩散和采用红外凝视焦平面阵列寻的器的红外导弹对各种军用机和民航机的威胁日趋严重,要求保护飞机免遭红外导弹攻击的呼声也日趋强烈。对抗红外制导导弹,现阶段的主流技术是采用激光有源干扰技术破坏其红外导引头。但当前大多数干扰设备均采用开环干扰方式,即按预定设置发射固定波段的激光,系统不含反馈环节,其稳定性和精度不高,响应间也相对较长。为了更有效地对红外制导武器的导引头进行干扰,采用带有反馈环节的闭环干扰系统是光电对抗技术发展的必然趋势。

## 2 红外导引头的功能与组成

导引头技术是精确制导武器的核心技术之一,用来完成对目标的自主搜索、识别和跟踪,并给出制导律所需要的控制信号。红外导引头由于具有制导精度高、抗干扰能力强、隐蔽性好、效费比高、结构紧凑、机动灵活等优点,已成为精确制导武器的重要技术手段。红外导引头的研究始于第二次世界大战期间,经过几十年的发展,红外导引头已广泛用于空空导弹、地空导弹等。

### 2.1 红外导引头的功能

制导武器红外导引头的主要功能如下:

- (1)接收目标(飞机、坦克等)的红外辐射,完成对目标的自动搜索、识别和捕获;
- (2)隔离弹体的角运动,稳定光学(或天线)轴,为提取目标视线角提供参考系;
- (3)对锁定后的目标进行自动跟踪并实时输出俯仰、偏航两路视线角速度信号;
- (4)输出两路弹轴与光学(或天线)轴的框架角信号。

### 2.2 红外导引头的结构

红外导引头通常由光学系统、调制器、红外探测器、制冷器、陀螺伺服系统以及电子线路等组成,其框图如图1所示。其中,光学系统、调制器、红

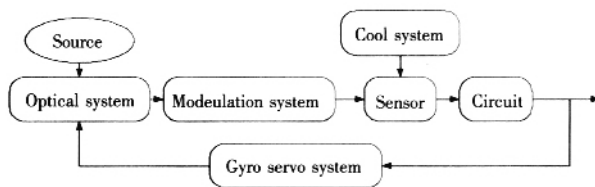


图1 红外导引头框图

外探测器、制冷器和陀螺伺服系统所组成的光电机械系统又叫位标器,所以,从结构上来看,红外导引头就是由红外位标器和电子线路组成的。

红外导引头工作过程如下:光学系统接收目标红外辐射,经调制器处理成具有目标信息的光信号,由红外探测器将光信号转换成易处理的电信号,再经电子线路进行信号的滤波、放大,检出目标位置误差信息,然后输送给陀螺跟踪系统,驱动陀螺带动光学系统进动,使光轴向着目标位置误差方向运动,构成导引系统的角跟踪回路,实现导引系统跟踪目标。导弹制导律所需要的控制信号同时由电子线路给出。

## 3 影响系统性能的各种因素

### 3.1 激光信号传输过程中的影响因素

激光在大气中传输,大气折射率的变化、大气吸收、大气散射和大气湍流等因素的影响会引起探测误差,使激光信号变坏。

#### (1) 大气折射

对流层是接近海平面的一层大气,其厚度随纬度与季节等因素的不同而变化。在南北极,对流层厚度约为7~8 km,质量占大气质量的3/4,并且是流动变化的。光波大气延迟中的80%发生在对流层。大气对光波的影响主要体现在大气对光波的折射,大气折射率与大气的物理参数有关。严格地说,通过解析方法求得大气各点的折射率几乎是不可能的,但通过一定的近似,建立大气分布模型,可以得到其解析式。如在对流层,大气折射率 $N$ 和大气折射系数 $n$ 的关系式近似为

$$N=(n-1)\times 10^6=\frac{77.6}{T}\left(P_a+\frac{4810P_v}{T}\right) \quad (1)$$

式中,  $P_a$  为大气压力,  $P_v$  为大气水汽分压,  $T$  为温度。大气折射率是空气温度、湿度与气压的函数。在光波段还与辐射波长有关。

## (2) 大气吸收

大气中的水蒸汽和二氧化碳对可见光和红外光具有强烈的吸收作用。但它们对不同的波长的光吸收的程度是不同的, 吸收最强的光波称为吸收中心。水蒸汽的吸收中心波长是:  $0.9\ \mu\text{m}$ ,  $1.1\ \mu\text{m}$ ,  $1.4\ \mu\text{m}$ ,  $2.3\ \mu\text{m}$ ,  $6.3\ \mu\text{m}$ 。二氧化碳的吸收中心波长是:  $2.7\ \mu\text{m}$ ,  $4.3\ \mu\text{m}$ ,  $15\ \mu\text{m}$ 。为了减小大气吸收的影响, 在选择激光的工作波段时, 应避开吸收中心, 使其处于大气“窗口”上, 即使其处于吸收最弱的波长上。

## (3) 大气散射

大气中悬浮的颗粒, 如尘埃、水滴、烟雾等, 使激光束向不同的方向散射, 引起信号强度的衰减。大气散射程度与悬浮颗粒的粒度 (颗粒大小) 和密度有关。当微粒的粒度小于激光波长时, 主要表现为瑞利 (Rayleigh) 散射, 散射系数  $R$  为

$$R=0.827 N A_p \lambda^{-4} \quad (2)$$

式中  $N$  为颗粒密度,  $A_p$  为微粒截面积, 短波的瑞利散射较严重。

当悬浮颗粒的粒度远大于光波波长时, 大气散射表现为米氏散射, 它是引起激光信号衰减的主要因素。其散射系数可表示为

$$\alpha_m = \frac{3.91}{V} \left( \frac{\lambda}{0.55} \right)^{-0.585V^{\frac{1}{3}}} \quad (3)$$

式中  $V$  为激光通过大气层的距离。

(4) 大气湍流地球表面热空气上升, 冷空气下降时, 形成空气对流, 使大气中各点的温度和密度无规则的变化, 因此大气的折射率也随之做无规则的变化。这种现象称为大气湍流。大气湍流对激光传输的影响叫做湍流效应。湍流效应决定于光束的直径和气团尺寸的相对大小, 假定光束直径为  $d$ , 气团直径为  $l$ , 则有如下结论: 当  $d/l \ll 1$  时, 湍流效应主要表现在使激光束偏转, 并作无规则跳动, 这将导致激光束不能正确地对准目标, 影响探测精度。

当  $d/l \gg 1$  时, 小气团将像透镜那样使激光束会聚或发散, 破坏激光束的平行度和方向性。当  $d/l \gg 1$  时, 激光束的各小部分彼此无规则的发生衍射, 使相位严重畸变, 空间相干性下降, 进而使激光束产生闪烁, 信号强度变弱, 探测误差增大。

## 3.2 检测系统自身产生的噪声

在信号检测过程中, 探测器不仅给出探测信号电压或信号电流, 还会伴随输出无用噪声电压或噪声电流。一个探测系统中, 探测器产生的噪声相对于系统中前置放大器和其它信号处理器件所产生的噪声对系统性能的影响要大得多。信号检测过程, 核心问题之一就是有关噪声干扰的分析以及如何从噪声中提取微弱信号, 所以, 了解器件噪声的性质, 降低探测器的噪声, 对系统的构成和性能的改善十分重要。系统的内部噪声, 主要由电和光的基本性质引起。光电探测器中存在的内部噪声主要有热噪声、散粒噪声、温度噪声和闪烁噪声等。

### 1. 热噪声

热噪声是导体中的电荷载流子的随机热扰动引起的。这种载流子的运动类似于微粒的布朗运动。在任何一个处于绝对零度以上的导体中, 电子都在随机运动, 这种运动与温度有关。因为每个电子都携带着  $1.59 \times 10^{-19}$  库仑的电荷, 所以, 由于材料中电子的随机运动, 将有许多小的电流脉冲。虽然平均电流为 0, 但是瞬时电流扰动还是存在的, 就是这种扰动在导体的两端产生了电压。探测器中的热噪声就是由于探测器内部的自由电子或电荷载流子的无规则热运动所表现出的一种电流或电压的统计起伏或涨落。因为这种噪声是自由电子热运动所产生, 故通常称为热噪声。每个电子的运动所引起的单元电流是极其短暂的, 因为电子相邻两次碰撞的时间间隔是很短的 (电子的自由程约为  $10^{-15}$  s), 所以整个热噪声形成的起伏电流可以看成大量短暂的单元脉冲电流之和。由统计理论可得到热噪声电压的有效值

$$V_{nt} = (4KTR\Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

和热噪声电流的有效值

$$I_{nT} = \left( \frac{4KTR\Delta f}{R} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

式中  $R$  为探测器的等效电阻,  $T$  为探测器的绝对温度,  $K$  为玻尔兹曼常数,  $\Delta f$  为检测系统带宽。热噪声是任何电子器件中所不可避免的, 而且它的频谱极宽, 从零频开始, 连续不断, 一直延伸到  $1.013 \sim 1.014$  Hz 以上的频率。尽管热噪声的频谱很宽, 但是, 任何检测系统都具有一定的通频带, 只有位于通频带内的那一部分噪声功率才能通过系统。热噪声的电压和系统的通频带  $\Delta f$  成正比。在保证有用信号无失真地通过的条件和器件允许的情况下, 使检测系统的通频带尽量小或降低温度, 可以使热噪声变小。

## 2. 散粒噪声

由于电流是由粒子(如电子和空穴)组成的, 这些微观粒子的随机涨落所引起的噪声称为散粒噪声。在电子管, 晶体管和二极管中, 存在着所谓散粒噪声的噪声电流机构。探测器所发出的光电子数总在随机起伏, 这是造成散粒噪声的一个来源。另外, 光生载流子(例如电子空穴对)的产生和复合过程也具有一定的随机性, 因此导致载流子流量随时间的随机起伏, 这也是造成散粒噪声的来源。通过理论计算, 可求得散粒噪声电流

$$I_N = (2qI)^{\frac{1}{3}} (\Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

其频谱密度

$$S(f) = 2qI \quad (7)$$

其中:  $q$ —电子电荷,  $1.59 \times 10^{-19}$  (C);  $I$ —直流电流 (A);  $f$ —噪声带宽 (Hz)。

由上式可知, 散粒噪声电流正比于噪声带宽的平方根。这就是说每赫兹带宽含有相等的噪声功率, 属于白噪声。

## 4 红外导引头干扰共光路闭环系统的设计

对红外导引头的干扰有破坏其光学系统和对传感器进行有效干扰 2 种方式。本文只考虑对红外导引头的传感器进行干扰以对抗红外制导导弹的方

式。要实现闭环干扰模式下对导引头的干扰, 首先要解决的是导引头工作波段的识别问题。这里系统设计采用全波段脉冲激光照射导引头, 检测回射激光并确定被导引头中光学系统及传感器吸收的激光脉冲, 由此来确定导引头的工作波段。

如图 2 所示, 系统采用共光路设计: 即激光探测与干扰信号在同一光路中发射。共光路设计可以使系统结构更加紧凑, 体积和重量减小, 适合于机载应用。在主动探测工作模式下, 系统将可调谐激光器放射的低能光束, 经过分光镜分光后, 一路通过光束扩散系统射向目标, 另一路通过滤光镜片后, 有传感器接受并由电脑将信息记录, 此后, 激光的回波信号, 仍然通过扩束系统进入照射到传感器焦平面上, 与先前记录信号进行比对, 以确定系统干扰模式。在有源干扰工作模式下, 可调谐激光器放射能量相对较高的激光能量, 通过分光镜后, 一路通过光学系统照射目标进行干扰, 另一路则被滤光镜片将高能激光滤除。

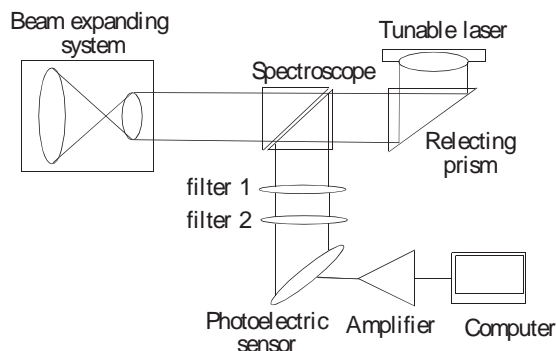


图 2 共光路闭环系统的结构

## 5 结 论

红外制导导弹技术近年来发展迅速, 其红外探测器的工作波段已拓展到很宽的涵盖范围, 而红外凝视焦平面阵外寻的器的使用则使导引头不仅具有更高的灵敏度, 而且具备了更强的抗干扰能力。与之相比, 稳定性、精度和响应速度相对较差的开环干扰系统显然已无法适应光电对抗的要求。本文采用共光路方法设计了一种红外导引头闭环干扰系统, 具有小型化、轻量化的优点, 适合于机载应用。(No.7)

## 参考文献:

- [1]戚国庆,张蛟,李显峰.随机穿越特征指标下的满意激光回波问题 [J].激光技术,2007,31(1):109- 112.
- [2]易亨瑜,吕百达,季云松.不同云层背景中目标的识别 [J].激光技术,2004,28(2):133- 136.
- [3]林玉池,崔彦平,黄银国.复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究 [J].光学 精密工程,2006,16(3):509- 514.
- [4]贾平,张葆.航空光电侦查平台关键技术及发展 [J].光学 精密工程,2003,11(1):82- 88.

## 伊士曼柯达实现 NTSC 规格比 100%

美国伊士曼柯达 (Eastman Kodak) 以白色有机 EL 材料与 RGB 三色彩色滤光片组合的方式,开发出了色彩表现范围 NTSC 规格比达 100%的 8.1 有机 EL 面板,并在“SID2008”展示会上展出。伊士曼柯达自信地表示:以此方式达成“NTSC 规格比 100%为全球首次。能以低成本实现与 RGB 三色分涂方式面板同等以上的画质”。

用彩色滤光片方式扩大色彩表现范围时,一般采用加厚 RGB 各色材料的做法。但是,“色材料变厚,面板的亮度就会降低,可成膜的厚度也有限”。此次,通过与某彩色滤光片厂商联合开发,“将厚度控制到了与现有液晶电视同等的水平”。

元件结构为底部发光型。彩色滤光片形成于 TFT 底板上 (Color Filter on Array),并在上面蒸镀了低分子型的白色有机 EL 材料。TFT 底板采用了台湾奇晶光电 (CMEL) 开发的名为 SDC (Sublimation Deposition Crystallization) 的低温多晶硅 TFT 底板。另外,由于采用底部发光型结构, TFT 底板表面上还粘贴了用于防止反射的偏光板。

新产品为 854 × 480 像素 (相当于宽 VGA)。亮度为 300 cd/m<sup>2</sup>,对比度为 100 000:1 以上。有机 EL 面板的厚度为 1.7 mm。