

机载光电告警系统技术发展分析

张元生

(中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所,河南 洛阳 471000)

摘要:介绍了机载光电告警系统的组成和工作原理,分析了国外机载光电告警系统的最新装备与研制情况,指出了机载光电告警系统涉及的关键技术及发展趋势。

关键词: 红外告警; 紫外告警; 激光告警; 光电告警

中图分类号: V271.4; TN216 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)06-0052-04

Development of Airborne Electro-Optical Warning System

ZHANG Yuan-sheng

(Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471000, China)

Abstract: Analysis is made to the working principle and constitute of airborne electro-optical warning system, and some new airborne electro-optical warning systems in foreign countries and the development are introduced. The development trend and key techniques of airborne electro-optical warning system are also presented.

Key words: infrared warning; ultraviolet warning; laser warning; electro-optical warning

0 引言

光电告警利用敌方目标自身辐射、反射波信号,对敌威胁源进行告警定位和目标识别,是光电对抗系统的重要组成部分。根据告警方式的不同,机载光电告警系统可以分为红外告警系统、紫外告警系统、激光告警系统和综合告警系统^[1],与雷达告警相比,光电告警具有隐蔽性好、体积小和重量轻等优势,受到世界各国的高度重视,光电告警技术得到了迅速的提高和发展,大量机载光电告警系统已完成研发并装备。为及时准确地把握机载光电告警系统的技术发展方向,有效指导国内光电告警技术的发展和产品研制,本文对近年来国外机载光电告警系统的装备技术进展及关键技术进行了深入分析,给出了机载光电告警系统的技术发展趋势^[1-4]。

1 系统组成与工作原理

机载光电告警系统的组成如图1所示,一般由前端探测传感器单元、综合信息处理器单元和示警/控制单元组成,三者通过数据总线实现数据互联,是一个完全自动化的光电系统。前端探测传感器单元通过红

外/紫外/激光探测装置来探测目标的辐射信号,并将光电转换后的信号通过数据总线发送给综合信息处理器,其装机数量可根据飞机平台的防护范围和单个传感器的视场来确定,一般由4~6个传感器构成全方位、大空域的探测覆盖;综合信息处理器单元要对前端探测传感器生成的含有来袭目标的数据信息进行处理和威胁识别,若有多个威胁则要排定威胁程度的次序,解算威胁目标方位角并向示警/控制单元发送信息,完成与外部系统的通信;示警/控制单元接收上述信息后以声、光、电信号报警并显示目标信息,同时启动相应干扰系统实施对抗自卫,示警/控制单元可以独立设计,也可以综合到其他机载显示设备中一体化设计。

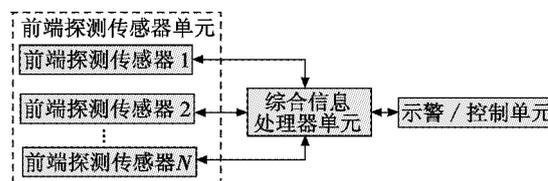


图1 机载光电告警系统组成框图

Fig.1 Composition of airborne EO warning system

不同告警方式的机载光电告警系统具有不同的特点。

1) 红外告警。

红外告警是通过告警系统的红外探测器探测飞机、导弹等目标本身的红外辐射特征,根据测得的数据和预定的判断准则发现和识别来袭的威胁目标,确定

收稿日期:2015-01-28

修回日期:2015-02-11

基金项目:国防预研基金(102080502)

作者简介:张元生(1965—),男,河南南阳人,博士,研究员,研究方向为光电对抗技术。

威胁导弹的方位以及其他特征并及时告警。红外告警采用中波或长波波段探测,具有灵敏度高、探测距离远等优点,但是其虚警率较高。红外告警系统的主要指标包括告警距离、告警角精度、虚警率和导弹碰撞时间(TTI)等。

2) 紫外告警。

紫外告警通过探测导弹发动机羽烟的紫外辐射,对导弹进行分类识别、精确定位,确定导弹来袭方向并及时告警,使被保护平台及时采取对抗措施。由于紫外告警系统工作在“日盲”波段,消除了太阳光的干扰,因此具有虚警率低的独特优势,但是由于大气对紫外辐射存在强烈的吸收作用,相对于红外告警其探测距离较近,且告警精度较低。紫外告警系统的主要技术指标包括告警距离、告警角精度、虚警率和导弹碰撞时间等。

3) 激光告警。

激光告警系统通过利用激光手段对大气中的激光辐射和散射进行探测接收,对激光源的特性进行分析识别,确定其入射方向并及时告警。激光告警具有宽频带、低虚警、高探测概率和宽动态范围等特点,主要有光谱识别型、相干识别型和成像型3种告警体制。激光告警系统的主要技术指标包括告警距离、告警角精度、动态范围、探测灵敏度、虚警率和光谱分辨率等。

4) 综合告警。

综合告警将红外/紫外/激光告警技术相融合,同时采用两种或多种告警波段,使之能够功能互补、配置优化,一般采用红外与激光综合、紫外与激光综合、红外与紫外综合等方式。综合告警具有单一告警方式无法比拟的优势,可以充分利用各种告警方式的优点,有效剔除假目标,显著降低虚警率,并能够通过不同波段获得的数据对比处理得到威胁目标的距离信息。

2 国外机载光电告警系统装备与研制情况

2.1 多光谱导弹告警系统

多光谱导弹告警系统(MIMS)如图2所示,由美国诺斯罗普·格鲁门公司于2006年研制。MIMS系统采用红外双色技术,将中波红外分为 $3.5\sim 4.2\ \mu\text{m}$ 和 $4.3\sim 4.9\ \mu\text{m}$ 两个谱段,能够有效区别导弹的红外辐射和大量的自然红外辐射(太阳、地面火焰和地球自身的辐射),通过比较不同谱段的红外辐射能量水平,MIMS系统能够在图像处理和数据处理前剔除大量的干扰假目标,有效降低导弹告警虚警率,经过测试,MIMS系统比紫外告警系统虚警率低3~5倍,对导弹的告警反应时间小于1s。MIMS系统工作中波红外 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 波段,单台前端探测传感器视场为 $90^\circ\times 90^\circ$,

重量为2.95 kg,尺寸为 $\Phi 120.6\ \text{mm}\times 152.4\ \text{mm}$ 。MIMS系统在结构、安装接口和电气方面与目前的大型运输机装备的AN/AAR-54(V)紫外告警系统一致,能够对其实实现整体替换,目前已经装备C-17,C-130,MV-22等飞机^[5]。

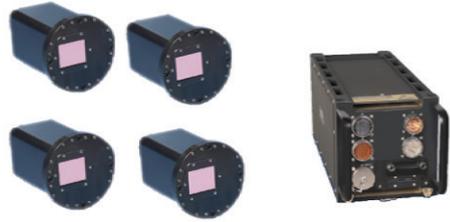


图2 MIMS 导弹告警系统

Fig. 2 Multi-imaging multi-spectral missile warning system

2.2 101KS-U 导弹发射探测系统

101KS-U 导弹发射探测系统如图3所示,由俄罗斯乌拉尔光学仪器生产联合体于2010年研制,目前装备T-50战斗机。101KS-U 导弹发射探测系统由101KS-U/01和101KS-U/02两种传感器组成。其中:101KS-U/01为单镜头前端探测传感器,安装在机体两侧;101KS-U/02为前后双镜头前端探测传感器,一台安装在机鼻下方,另一台安装在两台发动机之间的尾针上方,实现对飞机的全向空间防护。101KS-U 导弹发射探测系统采用紫外告警方式,通过探测导弹发动机羽烟的紫外辐射对导弹进行识别定位,确定导弹来袭方向并实时发出警报,系统单个前端探测传感器视场超过 $90^\circ\times 90^\circ$,并安装有保形光窗,对飞机的气动影响很小^[6]。

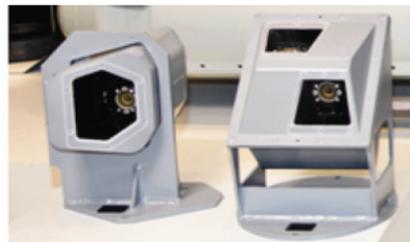


图3 101KS-U 导弹发射探测系统

Fig. 3 101KS-U missile launch detect system

2.3 多色红外告警系统

多色红外告警系统(MIRAS)如图4所示,由法国Thales公司于2008年研制。该系统主要针对便携式防空导弹和空空导弹进行逼近告警,具有探测距离远、反应时间短和虚警率低的特点,能够安装在运输机和战斗机上。MIRAS系统单个前端探测传感器视场为 $184^\circ\times 135^\circ$,3个前端探测传感器进行拼接即可构成 4π 全向空间的防御空域。告警器工作中波红外 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 之间的两个波段,尺寸为 $232\ \text{mm}\times 364\ \text{mm}\times 168\ \text{mm}$,重量不大于10 kg,告警信号处理器重量不大于5 kg^[7]。

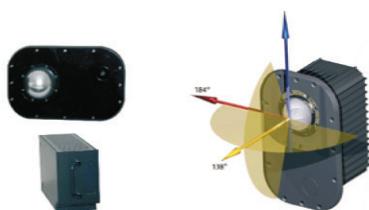


图 4 多色红外告警系统

Fig. 4 Multi-color infrared alerting sensor

2.4 AN/AAR-59 导弹告警系统

AN/AAR-59 导弹告警系统如图 5 所示,由美国 ATK 系统公司和 BAE 系统公司于 2011 年联合研制。该系统主要为美国海军和海军陆战队提供威胁感知能力,全称为联合威胁感知系统(Joint Allied Threat Awareness System, JATAS)。JATAS 系统是最新一代的导弹告警系统,该系统采用双色红外探测器,能够提供更快、更远距离的导弹探测,同时采用激光探测器对激光测距、激光照射和激光驾束等进行告警,此外, JATAS 系统还具备敌方火力指示威胁探测能力,能够提供对小型武器、火箭推进的手榴弹及其他地面火力的准确告警,保护螺旋翼、固定翼飞机免受导弹的袭击。

JATAS 系统工作中波红外 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 和短波 $0.7 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 之间的两个波段,5 台前端探测传感器和 1 台综合信息处理器的重量为 18.2 kg,前端探测传感器尺寸为 $\Phi 127 \text{ mm} \times 203.2 \text{ mm}$ 。JATAS 系统计划替代 MV-22B“鱼鹰”飞机的 AN/AAR-47 导弹告警系统,后续将装备 MH-60R, MH-60S, UH-1Y, CH-53K 和 AH-1Z 等直升机^[8]。



图 5 AN/AAR-59 导弹告警系统

Fig. 5 AN/AAR-59 missile warning system

3 机载光电告警系统的关键技术及发展趋势

3.1 关键技术

机载光电告警系统具有探测视场大、告警距离远、反应时间快和告警虚警率低等特点,这是其他机载光电探测系统所不具备的,因此其有一些特殊的关键技术,主要包括目标威胁评估技术、大视场低畸变光学系统设计技术、超大面阵红外探测器技术、空地复合背景红外小目标检测技术、激光宽动态范围接收技术和环

境适应性技术等,各关键技术的主要特点如下所述。

1) 目标威胁评估技术。

机载光电告警系统对威胁目标探测过程中,如果只出现一个威胁目标,则不存在威胁评估问题,但当同时或在前一个或前几个威胁未结束之前出现两个以上的威胁时,需要对不同目标的威胁程度进行评估,并根据紧迫性和严重性对目标进行排序。由于机载光电告警系统属于被动探测系统,不能直接获取导弹目标的距离信息,同时,告警视场较大,目标在图像上仅能占据很少的像素,图像特征不明显,上述问题造成对目标威胁的准确评估十分困难。有效解决目标威胁评估的途径为:①进一步提高光电告警系统的图像分辨率,利用目标图像识别处理的方法分辨导弹类型,并通过与数据库中的导弹类型对比获得相关参数,通过综合分析获得不同导弹的威胁等级;②利用导弹目标的辐射特性变化情况分析计算 TTI,系统根据导弹到达飞机的剩余时间对目标威胁等级进行评估,TTI 的计算一般按照式(1)进行。

$$\left. \frac{\partial H / \partial t}{H} \right|_{t=0} = \frac{3 + \rho}{t_{\text{TTI}}} \quad (1)$$

式中: H 为目标强度; t 为时间; ρ 为与大气透过率相关的参数。

2) 大视场低畸变光学系统设计技术。

为完成对飞机全向 360° 视场范围的有效覆盖,通常机载光电告警系统单台前端探测传感器的视场很大(一般不小于 90°),由于畸变与视场相关,随着视场的增大畸变将很难校正,同时与视场相关的像差(如像散、场曲、倍率色差、彗差等)会迅速增大,尤其是高级像差和轴外像差会造成系统加工和装调难度加大。上述问题都将影响光电告警系统的成像效果,控制光焦度参数,合理分配透镜组选择光学构型等措施是解决上述问题的关键。

3) 超大面阵红外探测器技术。

在相同探测视场情况下,由于红外探测器的面元数量直接决定了告警设备的空间分辨率,而空间分辨率是决定告警距离和告警角精度的关键因素,因此大面阵红外探测器已成为光电告警设备的核心部件。由于制冷型红外探测器的成本较高,使用寿命较短,因此,高性能长寿命的红外探测器使用将是告警系统发展的关键,通过改进探测器制备工艺,美国目前已经研制成功 4096×4096 规模的红外探测器。

4) 空地复合背景红外小目标检测技术。

机载光电告警设备需要探测飞机平台周围全向空间,其红外小目标检测背景为典型的空地复合背景,空地复合背景存在云层、阳光杂波、地物辐射干扰、战场炮

火、地面闪烁亮点等多种干扰,而由于距离较远,导弹目标在红外图像中仅占几个甚至一个像素,并且成像呈现微弱点状,因此,在上述空地复合背景下将红外小目标检出并达到实时性要求存在很大难度。通过建立红外小目标检测模型,完善背景抑制算法等途径能够有效提高空地复合背景下红外小目标的检测效果。

5) 激光宽动态范围接收技术。

激光威胁源包括激光测距机、激光照射器和激光驾束等多种类型,其能量差别很大,同时激光告警设备接收到的激光可能直接从敌方激光器发射来,也可能经过多个漫反射散射而来,因此,激光告警接收到的能量密度可能存在10个量级的变化,这要求激光告警设备有很宽的动态范围,但目前一般前置放大器和偏置电路的线性动态范围只有3~4个量级,因此激光宽动态范围接收技术是激光告警设备的难点。

6) 环境适应性技术。

机载光电告警系统需在过载、冲击、振动、高低温、淋雨、沙尘、霉菌、盐雾、湿热等各种环境条件下可靠地工作,同时还需满足重量轻、尺寸小、功耗低等各种要求,这对光电告警系统的结构设计、热设计等提出了很高的要求。

3.2 发展趋势

通过对国外机载光电告警系统的研制装备情况及关键技术的分析可以看出,机载光电告警系统的技术发展呈现以下趋势。

1) 告警视场向超大视场方向发展。

机载光电告警系统前端探测传感器告警视场的大小决定着其装机的数量和成本,当前端探测传感器告警视场为 90° 时,要实现飞机全向空间的覆盖至少需要6台产品,而增大前端探测传感器告警视场可以有效减少装机数量,降低整个机载光电告警系统的体积、重量和装机成本。大面阵红外探测器阵列的发展和成熟,使得传感器超大视场设计成为可能,世界各军事强国将超大视场红外成像作为光电告警系统的重要发展方向,如法国Thales公司已经研制成功视场为 $184^\circ \times 135^\circ$ 的红外镜头,3台前端探测传感器分布式安装即可实现对飞机平台的全向空间覆盖。

2) 告警方式由单一方式向综合告警发展。

机载光电告警系统既要求高的探测概率,又要求低的虚警率,而提高探测概率就需要提高探测器的灵敏度和响应度,噪声也会随之增加,最终导致虚警率的上升,因此仅依靠单一的告警方式难以平衡这种矛盾。针对单一告警方式存在的问题,通过红外、紫外、激光等多种告警方式组合应用,在前端探测传感器上有机结合,在数据处理上有效融合,并充分利用信息资源,

实现优化配置,最终实现对威胁目标的综合告警,并在提高探测概率的同时有效抑制虚警率。以激光驾束制导导弹为例,该类型导弹不仅有制导波束的激光辐射,还有导弹发动机工作时的羽烟紫外辐射和导弹自身的红外辐射,3种告警方式综合应用可以准确判断导弹类型,并精确地指示导弹攻击方位。

3) 产品由专用化向通用化方向发展。

目前装备的光电告警系统大部分针对特定机型研发,存在研发成本高、保障性差等缺点,通过产品通用化研制可以使机载光电告警系统跨军兵种用于直升机、运输机和战斗机等多种机型,有利于降低研发生产成本,缩短装备保障时间,整体提高部队的战斗力。通用化是目前机载光电告警系统的发展趋势,如美国海军研制的JATAS系统旨在替换目前装备的AN/AAR-47和AN/AAR-57导弹告警系统。

4 结束语

目前,我国的机载光电告警系统与国外研制装备情况还有较大的差距,但装备需求日益强烈,因此,我国的装备研制部门还需要做出巨大努力和艰苦的工作,才能迎头赶上。本文重点对近年来国外机载光电告警系统的装备与研制情况进行了深入研究,分析了系统涉及的关键技术,看到了今后的技术发展趋势,希望对我国机载光电告警系统的研制和技术发展有所帮助。

参考文献

- [1] MONTGOMERY J, MONTGOMERY M, HARDIE R. Advancement and results in hostile fire indication using potassium line missile warning sensors[C]//Proceedings of SPIE, 2014;04-1-04-9.
- [2] NADAV S, VARSANO L, OZ S. SAPIR collision alert system as part of IR MWS suite for helicopter fleets[C]//Proceedings of SPIE, 2009;1L-1-1L-11.
- [3] ZHANG L, PANTUSO F P, JIN G, et al. High-speed uncooled MWIR hostile fire indication sensor[C]//Proceedings of SPIE, 2011;19-1-19-6.
- [4] TIDHAR G, SCHLISSSELBERG R. Evolution path of MWS technologies: RF, IR and UV[C]//Proceedings of SPIE, 2005;662-673.
- [5] Jane's electro-optical system[Z]. 2011-2012.
- [6] Sukhoi_PAK_FA[EB/OL]. [2014-12-30]. http://en.wikipedia.org/wiki/Sukhoi_PAK_FA.
- [7] Miras[EB/OL]. [2014-12-25]. <http://www.thalesgroup.com/land-joint>.
- [8] JATAS-2013[EB/OL]. [2015-01-06]. <http://www.atk.com>.