

机载红外告警系统技术发展及应用研究

胡瑞卿 王海滨

海军航空大学 山东烟台 246001

摘要：随着科学技术的进步，战争的结果越来越取决于科技的先进程度，机载红外告警系统可以通过向空勤人员通告飞机外部环境的威胁告警信息，以保护载机的安全。文章通过介绍国外的机载红外定向对抗系统的基本情况，分析了红外被动探测的关键技术，研究了典型机载红外告警系统。

关键词：红外；告警；对抗

1. 机载红外定向对抗系统

1.1 美国红外定向对抗系统

自20世纪90年代开始，美国和英国率先开展了红外定向对抗技术研究和装备研制，已开发了四代红外对抗系统。

第一代是基于弧光灯的红外定向对抗系统，多采用紫外告警器和两框架或四框架的跟瞄发射转塔结构型式，主要代表型号产品为：美国的ATIR-CM、DIRCM。第二代系统普遍采用红外凝视告警器代替紫外告警器，采用全固态固体激光作为干扰源，跟瞄精度大为提高，快速响应能力增强。典型性产品为诺·格公司的LAIRCM和BAE公司的TADIRCM。第三代以CIRCM通用红外定向对抗系统为代表，主要技术特点为：采用更高效的多波段激光器作为干扰源；采用模块化开放式系统架构（MO-SA）和非专有接口，支持组件互换和技术植入；主要以BAE公司和诺·格公司的CIRCM为代表。第四代以意大利莱昂纳多DRS子公司的分布式红外定向对抗系统（DAIRCM）为代表。

1.2 其他国家红外定向对抗系统

以色列有多家企业开展了红外定向对抗系统的研制。埃比特Elop公司早期开发了“多光谱红外对抗系统”（MUSIC）。

系统采用基于高帧频红外跟踪器的镜塔结构，采用OPO中波红外激光器作为干扰源，在此基础上Elop公司与意大利ELT公司联合开发ELT-572。此外，还开发了用于

民用飞机对抗肩扛导弹的红外定向对抗系统C-MUSIC和J-MUSIC。

2019年，以色列的飞鸟航空系统公司展示了雷达光电自卫防护传感器SPREOS。

意大利的莱昂纳多公司开发了世界上最小最轻的Mysis-DIRCM。单台样机质量约15.4kg，采用铥光纤泵浦的Ho:YAG/ZGP多波段激光技术体制，采用捷联稳定镜塔跟踪技术以及先进的干扰代码结构，已经完成了飞行试验和实弹打靶试验。

2. 红外被动探测关键技术

2.1 设计性能指标

机载红外告警系统主要工作对象是来袭导弹、飞机或其他重要威胁源。根据战术使用要求，红外告警系统主要技术指标包括：工作波段、作用距离、告警时间、探测视场、瞬时视场、探测概率和虚警率等，这些指标直接影响着告警系统的探测能力和战场实战能力。

2.2 总体技术

机载红外告警器具有视场大、告警距离远、响应时间短、探测概率高、虚警率低等特点，这是一般热像仪所无法具备的，因而它有一些特殊的关键技术，其中必不可少的有光学系统设计、高灵敏度大面阵红外探测器、点目标检测算法、轻小型与环境适应性技术等。

红外告警系统的安装除了考虑高低温、湿热、霉菌、盐雾等自然环境因素，还需考虑加速度、冲击、振动等力学环境的影响，如安装在飞机垂尾处，要求红外告警器经

受甚至大于15g的振动，这对红外告警系统来说是一个很大的考验。

2.3跟踪技术算法

红外目标跟踪课题一直以来都是计算机视觉领域中非常经典的问题，其基本任务可以叙述为在视频序列中针对感兴趣的目标对象进行有效的位置、速度等运动特征的确定或估计。Mean-Shift算法是一种基于概率密度函数梯度的估计方法。Mean-Shift算法采用核函数直方图建模，对目标旋转、边缘遮挡、背景运动以及目标形变都不敏感。其算法速度较快，实时性比较好。但是，同时Mean-Shift算法也存在一些缺陷，传统的Mean-Shift算法当背景的直方图分布和目标的直方图分布类似时，或者目标受到光照、阴影等影响，或有干扰物体靠近目标时，很容易发生跟踪错误。因此，必须对Mean-Shift方法改进，使其能增强跟踪红外目标的准确度。首先由Kalman滤波器对距离比较远的红外弱小目标的大致运动的位置做出最初估计，然后再由Mean-Shift算法在估计区域内做目标的精确匹配，从而提高跟踪红外目标的准确度。

3.国外典型机载红外告警系统

3.1 ATIRCM系统

(1) 研制背景

红外制导的空空和地空导弹对战术飞机构成了最大的威胁，特别是对低空、慢速飞行的直升机。第一代的红外制导导弹，使用工作在1微米和2微米波段的红外探测器，如美制“红眼”和AIM-9“响尾蛇”空空导弹，苏制“环礁”空空导弹。这种导弹瞄准温度较高的飞机尾部喷气发动机排出的热气，只能尾随攻击飞机。通过施放热的曳光诱饵和在飞机尾部安装红外特征抑制器，可以有效地对抗这种红外制导导弹对飞机的攻击。新一代的红外制导导弹，将使用工作在3~5微米波段的前视红外成像传感器，能瞄准飞机温度较低的部分，全方位或迎头攻击飞机，施放热的曳光诱饵和在飞机尾部安装红外特征抑制器均不能对抗这种红外制导导弹对飞机的攻击。

为了对抗新一代红外制导导弹对飞机的攻击，特别是使用的在4~5微米波段工作的红外制导导弹对飞机的攻击，美国陆军决定研制未来威胁红外对抗系统，即ATIRCM系统。

(2) 组成特点

ATIRCM/CMWS系统是一种综合导弹报警、红外对抗和干扰物/诱饵抛撒功能为一体的综合红外对抗系统，主要用来防护飞机使之免受未来新一代红外制导导弹的攻击。整个系统由ATIRCM、三军通用CMWS和干扰物/诱饵抛撒器组成。这三个子系统可以综合为一体工作，也可以单独工作。

AN/AAR-57通用导弹预警系统（CMWS），为旋翼和固定翼飞机提供导弹预警。CMWS由6个光电传感器和1个内部安装的电子控制单元（ECU）组成，它检测到导弹，向机组人员发出警告，并提供对抗措施。CMWS是一种完全被动的探测系统，只需要导弹尾流的电光（EO）信号。ECU确定了从飞机中央计算机（CC）接收的飞行参数数据检测的威胁状态。ECU向CC提供导弹威胁声明、到达方向（DOA）和高程信息，并生成显示和警告音。CMWS允许自动或手动AN/ALE-45对抗措施分配（CMD）操作。

综合红外对抗套件（SIIRCM）和通用导弹预警系统（CMWS）通过改进个体飞机（或地面车辆）的生存概率，提高了其在全球范围内不断增加的先进红外制导导弹的生存几率。CMWS是一种软件可重新编程系统，旨在提供自动被动导弹探测、威胁声明、发射后导弹的正向预警，该导弹在主机平台上进行导航、对抗效果评估、虚假警报抑制，以及收集其他机载系统的线索。

BAE系统公司的ATIRCM系统旨在与AAR-57通用导弹预警系统（CMWS）和ALE-47对抗分配系统（CMDS）无缝衔接工作：

①导弹发射后CMWS将探测导弹，并向ATIRCM系统提供来袭导弹的方位信息；

②ATIRCM截获导弹，并使用高精度跟踪传感器跟踪弹道；

③ATIRCM将激光束直接射入导弹导引头，使导弹偏离飞机。

ATIRCM与CMWS相结合，提供了最先进和最完整的威胁管理解决方案之一，以检测和战胜当今和未来的威胁。

(3) 实战验证

CMWS部署于美国军方，自服役起，交付量超过了2000套系统，并已经安装在30多个不同的平台上。CMWS已经证明了其自身在复杂条件下对飞机和机组人员的保护

能力。

交付量超过了2000套系统；

①飞行时间超过200万小时；

②为后任务分析提供数据记录功能；

③可作为综合飞机生存装备的集中处理系统。

3.2 DIRCM系统

定向红外对抗系统“复仇女神”(DIRCM)安装了一个定向红外氙弧灯,而ATIRCM则必须要求安装激光器作为干扰光源,DIRCM能探测到导弹发射。当AN/AAR-54紫外型导弹逼近告警系统发现目标并确定该目标构成威胁时,DIRCM就跟踪导弹同时从炮塔发射装置向目标发射红外对抗光束。

AN/AAQ-24(V)又称复仇女神定向红外对抗系统,用来防护战术空运飞机、特种作战飞机、直升机及其它大型飞机。对抗地对空和空对空红外制导导弹对飞机的威胁。该系统是第一个可供作战部署的定向红外对抗系统,由美国和英国联合研制。

AAQ-24(V)复仇女神系统的设计目的是,在红外制导导弹临近飞机时提供报警和对抗。系统采用开环定向红外对抗方式工作,用一个或两个调制的红外辐射来干扰红外制导导弹。整个系统由导弹报警子系统和干扰发射转塔子系统组成。导弹报警子系统选用了AAR-54(V)凝视紫外导弹报警系统的改进型,改进了尺寸和灵敏度,具有宽视场和高分辨率紫外探测的特点。用于直升机时,通常安装4个凝视紫外传感器。用于大型固定翼飞机时,通常安装5~6个凝视紫外传感器。凝视紫外传感器的输入提供给模块化的电子装置,该装置使用先进的分析算法探测和分类远距离的导弹并从杂波中识别导弹,其探测和分类导弹的距离达10km,几乎两倍于现有的紫外探测系统;它能跟踪多个辐射源,按照威胁、非威胁或杂波分类每个辐射源;它具有测算拦截时间的特点,因而可在最佳时刻实施对抗;它采用了很精确的到达角分辨算法,提高了到达角测量精度并降低了虚警率,方位角的测量精度小于1°。

红外干扰发射转塔子系统由瞄准转塔、精密跟踪红外传感器、红外干扰发射机、调制器和中央处理机组成。GEC-马可尼公司(现BAE系统电子公司)提供的4轴转塔,有俯仰和方位两个常平架,这种4轴的转塔,可转动360°,确保了全方位的覆盖空域,能使干扰光束精确瞄准

临近导弹的红外导引头。现有两种类型的转塔:1个小尺寸转塔的直升机型,转塔直径20cm,质量55.7kg;2个大尺寸转塔的固定翼机型:转塔直径40.6cm,质量87.8kg。固定翼飞机上要求安装两个转塔,以提供更大的防护范围。

美国柯林斯空天公司提供的精密跟踪红外传感器定位于转塔的方向轴上,采用256×256元的HgCdTe凝视红外焦平面阵列探测器,这种探测器具有高灵敏度和10km以外距离的高分辨率;制冷的时间快;跟踪精度高,达到0.05°。当导弹报警系统将捕获的临近导弹图像数据输送到该传感器时,该传感器跟踪导弹本身的红外辐射,即使在导弹发动机停机后也能进行跟踪,这时整个系统由紫外传感器工作方式转变为红外传感器工作方式,通过闭环跟踪网络,红外干扰机锁定威胁导弹并将红外干扰光束保持在导弹的导引头上,直至导弹被毁环。

红外干扰发射机现使用调制到5°束宽的直径5~8cm的25W氙弧光灯。小尺寸转塔上使用一个氙灯;大尺寸转塔上使用两个氙灯。激光器相干干扰光源装在转塔上部的激光盒中。复仇女神I型使用的激光器类似于氙灯,只用来增强氙灯的照射强度,这种激光器是由GEC-Marconi TIALD机载激光目标指示器发展而成。为了干扰4μm波段工作的未来新一代红外制导导弹,复仇女神II型将用激光器相干干扰光源代替氙灯非相干干扰光源,要求该激光器发射4μm波长的激光,且发射能量能使导弹红外导引头的电路过载。

整个AAQ-24(V)复仇女神系统的控制、威胁和红外对抗信息均存储在使用者预编的存储器中,系统能自动工作或与其它机载防御系统综合。

3.3 LAIRCM系统

LAIRCM导弹告警器系统的范围比通用导弹告警系统及AAR-54远得多,并装有毒蛇激光器的DIRCM。该系统采用闭环IRCM。闭环IRCM激光器将分析来袭导弹,确定其类型,然后反射定制的干扰编码序列,破坏来袭导弹的瞄准系统,使来袭导弹明显偏离目标飞机,并且在3~4s以后可以对付另一个目标导弹。这确实超过了目前的开环IRCM系统——只是利用随机假目标或红外能量试图迷惑来袭导弹,使导弹在飞行过程中抖动,但未必解锁。使用开环IRCM系统时,如果干扰头移向别的导弹,先前的导弹能够接着搜索目标。

美空军机动司令部的C-17和C-130运输机装备了诺斯罗普·格鲁曼公司的AN/AAQ-24红外对抗系统,该系统是定向红外对抗系统(DIRCM)的升级,用于几种特殊的飞机。这两种系统都将用于大型飞机防御肩射、红外寻的导弹。该系统还安装在美空军特种作战司令部的MC-130E/H、AC-130H/U、CV-22以及MH-53上。

3.4 TADIRCM系统

TADIRCM是美国海军F/A-18E/F超级大黄蜂的一个研发项目。

TADIRCM采用原轨道ATK公司AN/AAR-47双色中波256×256红外焦平面探测器,装有红外凝视(非旋转)传感器,探测距离远,而能够抑制杂乱回波,具备不同波段工作的能力,大大降低虚警率。雷神技术公司的PAW-2导弹告警系统就是采用每机6个红外告警器提供全方位覆盖,

并成功应用于F-16战斗机。

TADIRCM最初是一项先进的技术开发项目,其大部分资金来自BAE系统公司及诺斯罗普·格鲁曼公司。诺斯罗普·格鲁曼公司的TADIRCM称作Wanda,其14厘米的圆顶有一个“毒蛇”中红外激光器。

TADIRCM系统主要服务于战斗机,但因为其干扰头小、更光滑以及其导弹告警系统作用距离较远等特点,也可应用于C-17快速运输机等其他平台。

英国国防部曾授予BAE系统公司一项560万美元的技术演示合同,以进一步开发其防空电子收发机(DART),它与激光告警器及通用导弹告警系统集成在一起。由于简化了光学路径及复杂的光电/红外接口,DART外型比TADIRCM要小。

参考文献

[1]白小叶,张建宇.国外光电对抗技术的发展动向与分析[J].舰船电子工程,2020,40(06):13-17.
 [2]张元生.机载光电告警系统技术发展分析[J].电光与控制,2015,22(06):52-55.
 [3]张爱珍,王延新.机载红外告警技术分析[J].航天电子对抗,2013,29(06):5-7+40.
 [4]陈颖.机载先进红外对抗技术发展思考[J].航天电子对抗,2020,36(01):19-23.

[5]朱怀毅.基于红外的空中目标告警跟踪系统研究[D].长沙理工大学,2017.
 [6]淦元柳,王晓飞,李富栋.国外机载红外对抗技术的发展[J].战术导弹技术,2011(01):122-126.
 [7]姚哲毅.机载红外告警系统中探测与跟踪的若干关键技术研究[D].南京理工大学,2017.
 [8]陈兆兵,郭劲,姜伟伟.红外告警设备的应用现状与发展趋势[J].光机电信息,2008(09):37-41.

作者简介

胡瑞卿,1982.06,男,汉族,山西应县人,硕士研究生。研究方向:机载电子对抗