

发展中的飞行器射频隐身技术

Air Vehicle RF Stealth Technology in Evolution

中航工业成都飞机设计研究所 桑建华
中航工业发展研究中心 陈益邻



桑建华

1982年毕业于西北工业大学,现任中航工业成都飞机设计研究所副所长、副总设计师,自然科学研究员,工学博士。长期从事航空工程技术研究,是我国飞机总体设计及飞行器隐身技术领域的学术技术带头人,历经多个重大型号研制工程并取得突出成就的飞行器隐身技术专家,获国家级、省部级科技成果多项,在国内发表科研论文 20 余篇。

射频隐身技术的研究对象是以机载电子设备为主,如飞行器的机间数据链和机载相控阵雷达的射频隐身技术,并以飞行器的应用研究为重点。

射频隐身技术

1 射频隐身技术的内涵

隐身是目标相对探测系统而言的。目标未被探测系统发现或者识别,认为目标实现了隐身;目标已被探测系统发现或识别,认为目标未能隐身。雷达隐身、红外隐身是指目标与雷达及红外探测系统间的对抗概念。射频隐身是指目标与无源探测系统间的对抗概念。无源探测系统可以根据武器平台上电子设备(系统)辐射的电磁波确定武器的位置(角度和距离)信息。射频隐身技术

是武器平台上的电子设备针对无源探测系统的隐身技术,它属于武器平台有源或主动信号特征控制(Active Signature Reduce or Control,相对于Passive Signature Reduce Control)范畴。飞行器的红外隐身技术、潜艇的减振降噪技术也属于有源或主动特征信号控制范畴。

2 射频隐身的技术特点

雷达隐身及红外隐身要求尽可能减小目标的雷达及红外特征,即目标的 RCS 及红外辐射强度越低越好。但射频隐身则有很大的不同,不能无限限制地减小目标的射频特征。因为

电子设备要依靠辐射的电磁波工作,电子设备辐射的电磁波能量小到一定值后,电子设备的功能和性能会下降或消失而失去作用。因而射频隐身的一大特点或限制条件是保持电子设备的功能及性能,满足使用需求。

发展射频隐身技术的重要性

1 快速发展的无源探测系统对飞行器构成了严重威胁

近年来,随着传感器的元、器件水平和计算机软硬件水平的不断提高,无源探测系统(无源态势感知、电子情报系统 ELINT、信号情报系统 SIGINT、电子支援措施 ESM、反辐射导弹 ARM 等)对各种机载、舰载、车载、弹载辐射源的探测能力已大大提高。机载无源探测系统对飞行器的最大探测距离可达 460km 以上,已远大于机载火控雷达对飞行器的作用距离(200km 左右)。而地面无源探测系统对飞行器的作用距离已达 800~1000km。无源探测系统具有作用距离远、不发射电磁波、隐蔽性好的特点,对配有各种主动电磁辐射源的军事装备构成了严重威胁,见表 1。

- 美国罗普-格鲁曼公司生产的机载电子支援系统 AN/ALR-94,工作波段 0.5~20GHz,对飞行器无源探测距离大于 460km,信号测角精度小于 15°,能够探测的雷达信号类型包括:连续波、脉冲、脉冲多普勒、脉冲压缩、脉冲重复频率捷变、载频捷变等,能够识别的辐射源模式大于 10000 个。

- 美国 ES5000 机载信号情报系统(SIGINT),工作波段为 0.02~18GHz,对飞行器的最大作用距离为 350km(10km 高度),测角精度小于 3°,瞬时带宽 400MHz,能够探测的雷达信号类型包括:脉冲、连续波、脉冲重复间隔捷变(2~10000 μ s),能够识别的辐射源模式大于 10000 个。

表1 目前装备的无源探测系统

型号名称	工作波段 /GHz	对飞行器作用距离 /km
F-22 机载无源态势感知系统	0.5~20	460
美国机载信号情报系统	0.02~18	350 (10km 高度)
捷克“伯拉普”电子情报侦察/电子支援系统	0.1~19	450
乌克兰“铠甲”雷达系统	0.1~18	>800
机载有源相控阵火控雷达的无源探测模式	8~12	>300
空空导弹引导头	0.4~18	>50

捷克的 ERA 公司研制的“伯拉普”(Borap)电子情报侦察/电子支援系统(ELINT/ESM)(见图 1)。它采用先进的宽带干涉测向技术,工作波段 0.1~1GHz,1~18GHz,或 18~40GHz,瞬时带宽 200MHz,对飞行器的作用距离约 450km,能同时跟踪 200 个目标。能够探测的信号包括:脉冲、连续波、塔康导航、敌我识别和二次监视。

- “铠甲”雷达系统由乌克兰国营托帕兹公司研制(见图 2),于 1987 年投入批量生产,系统灵敏度为 -145dBw,可以发现、跟踪并确定来自空中、地面和水面目标。该雷达是一种被动无线电侦察自动系统,能够发现 800km 以内的空中目标,可以侦察纵深 600km 宽 150km 范围内的地面目标,是目前世界上同类系统中捕捉目标最远的装置。

如果由 1 辆指挥车同时控制 3 部“铠甲”雷达,利用三角测量法,整套系统的探测距离将可延伸至 1000km。它能够探测当时所有的地、海、空的雷达、导航、敌我识别和航空管制信号。

目前,国外已装备的无源探测系统对飞行器(电磁辐射源)的作用距离

已达 460km 及 800km,远大于机载雷达及机载红外搜索跟踪装置(IRST)的作用距离,威胁十分严重。

2 隐身设计与探测性平衡设计原则

在武器平台进行隐身设计时,应遵循平衡设计原则,即平衡观测性原则:对主要的探测系统,武器平台应呈现大致相近的被探测距离。目前雷达、红外搜索跟踪系统(IRST)及无源探测系统是对飞行器作用距离最远的 3 种探测系统。武器平台的



图1 “伯拉普”电子情报侦察系统

隐身设计应对这3种主要威胁平衡设计。单独追求雷达隐身性能,不断地提高雷达隐身性能(降低其RCS值)是不恰当的。当其雷达隐身性能提高后,雷达对其探测距离降低了。但对方可用红外或无源探测系统来检测目标,目标可能首先暴露给对方的无源探测系统,而后暴露给红外IRST。所以隐身设计应遵循雷达隐身、红外隐身、射频隐身性能平衡设计的原则。

3 飞行器隐身设计的短板

对常规飞行器,机载雷达对它的探测距离200km左右,机载IRST(美国的AAS-42)对它的前向探测距离185km左右,无源探测系统(美国的ALR-94)对它的探测距离460km左右。而针对雷达隐身的飞行器,其RCS已经降到 0.1m^2 以下,比常规飞行器降低了20~30dB,机载雷达对它的探测距离降低到了只有几十km。作战飞行器将首先被无源探测系统发现,其后将被红外IRST发现,射频隐身已经成为飞行器隐身平衡设计的短板。

国外射频隐身技术发展状况

1 1980年美国完成了第一个射频隐身飞行试验

美国在开展飞行器雷达隐身(RCS减缩)的同时,就开展了飞行器射频隐身的研究。据已解密的公

表2 机载雷达射频隐身前后被探测距离比较

	RHAW 对雷达 探测距离 /km	ELINT 对雷达 探测距离 /km	ARM 对雷达 探测距离 /km
采取射频隐身技术前	346	2188	55
采取射频隐身技术后	8.5	19.3	0.48

注:以上数据前提条件:Cyrano 雷达对目标 A/A 下视探测距离保持 37km 不变;
ELINT:电子情报系统,RHAW:雷达寻的告警接收机,ARM:反辐射导弹。

开资料,美国在1979~1980年就完成了第一个射频隐身的飞行试验,仅滞后于美国第一架隐身飞行器F-117A的验证机“海弗蓝”首飞(1977年12月)1年多的时间。该计划开始于70年代中期,由美国防预先研究计划局(DARPA)、美国空军和海军主持,休斯飞机公司为主承包商。试验的未隐身雷达为法国幻影飞机Cyrano雷达系列。射频隐身后雷达参数为5w/波束、9波束、320MHz带宽、天线旁瓣-55dB、LPI波形。射频隐身的作战对象为F-111A飞机载的AN/ALR-62雷达寻的告警接收机RHAW(它是当时美国最先进的RHAW)、ELINT和反辐射导弹ARM。飞行试验结果见表2。

从表1可以看出,机载雷达采用射频隐身技术后,在保持雷达对目标作用距离不降低的条件下,威胁方RHAW对飞行器的探测距离从346km降低到8.5km,ELINT的从2188km降低到19.3km,反辐射导弹的从55km降低到0.48km。无源探

测系统的探测距离缩减了97%以上,可见飞行器射频隐身的效果是十分显著的。

2 射频隐身发展的3个阶段

第一阶段:F-117A时期,意识到射频隐身的重要性,但没有掌握射频隐身技术。美国自20世纪70年代起,就已经认识到射频隐身的重要性并开展了研究,但

美国还没有掌握射频隐身技术,在F-117A隐身飞机上没有装备机载雷达。

第二阶段:B-2时期,美国掌握了部分射频隐身技术。20世纪80年代后期,美国在B-2隐身轰炸机上装备了具有低截获概率(LPI)的APQ-181相控阵雷达,该雷达具有隐身波形和5级辐射功率控制,并不断对该雷达的射频隐身性能进行升级,美国掌握了部分射频隐身技术。

第三阶段:F-22和F-35时期,美国全面掌握了射频隐身技术。90年代到21世纪初,美国为新一代战斗机F-22和F-35研制了射频隐身性能良好的机载雷达、通讯导航识别(CNI)等电子设备。F-22和F-35战斗机的研制过程中,美国全面掌握了射频隐身技术。

总体来说,美国现今已经全面掌握各类机载电子设备辐射能量的自适应控制技术、射频隐身波形设计技术等射频隐身技术。

射频隐身技术的研究重点

射频隐身技术的研究对象是以机载电子设备为主,如飞行器的机间数据链和机载相控阵雷达的射频隐身技术,并以飞行器的应用研究为重点。对于具体的电子设备,根据射频隐身技术的基本原理,在技术上,应以电子设备辐射能量的自适应控制和发射信号的空域、频域、时域不确定性和低截获波形为重点。对于飞行器应用,应以系统综合及多种隐身要求的平衡设计、战术应用为主。

(责编 小城)



图2 “铠甲”雷达系统