

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2013.08.001

飞行器射频隐身技术及发展思路^{*}

王 琳^{**}

(成都飞机设计研究所,成都 610091)

摘 要:射频隐身是武器平台对抗无源探测设备的重要手段,与雷达、红外隐身一起构成作战平台的隐身能力。飞行器射频隐身性能是其作战能力和生存能力达成的重要因素。在对飞行器典型有源传感器的使用和面临的威胁分析基础上,分析了飞行器射频隐身主要技术手段,概括了飞行器射频隐身主要技术特点,提出了飞行器射频隐身技术的发展思路。

关键词:飞行器;射频传感器;射频隐身;截获距离;低截获概率

中图分类号:TN97 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2013)08-0973-04

RF Stealth Technology and Development Thoughts on Aviation Platform

WANG Lin

(Chengdu Aircraft Design & Research Institute, Chengdu 610091, China)

Abstract: RF stealth, an important technique against passive detection equipment for weapon platform, constitutes the stealth capability of combat platform together with radar and infrared stealth. The performance of RF stealth for aircrafts is the key factor to reach its combat capability and survivability. Based on analysis of the usage and faced threats of typical active sensors for aircrafts, this paper analyzes the main techniques of RF stealth for aircrafts, summarizes the main technical characteristics of RF stealth and proposes the development thoughts of RF stealth for aircrafts.

Key words: aircraft; RF sensor; RF stealth; intercept distance; low probability of intercept

1 引 言

各种新型探测系统和精确制导武器的相继问世,对航空器、海面/海底作战舰艇、陆上平台等军事平台构成巨大威胁,不具备隐身能力的武器平台甚至难以在未来的网络中心战环境中生存。为提高武器平台在战争中的生存力和最大限度发挥攻击武器的作战效能,隐身已成为未来作战平台的基本要求。根据对方探测设备的不同,隐身可以分为雷达隐身、红外隐身、射频隐身、声隐身、可见光隐身等等。其中,射频隐身技术是指采用射频辐射信号特征减缩和控制,降低敌方无源探测设备对其截获、分

选、识别和定位的能力。射频隐身技术在国外的研究和应用起步较早,目前已经实现工程化应用,其典型代表包括美国新一代战机 F-22 和 F-35^[1]。而国内的射频隐身技术尚处于概念研究阶段,航空平台现有的射频有源传感器在设计时更多地考虑自身战术性能,未对其辐射信号的被截获情况进行深入研究。例如,几乎所有的传感器都采用最大功率辐射,并未根据战场态势进行最优功率控制。在天线设计和波形设计方面,也主要考虑的是传感器本身的性能以及抗干扰能力,并未充分考虑其射频隐身性能,与国外的差距非常大。近年来,国内相关科研院所和高校逐渐开始射频隐身概念的研究^[2]。目前,美军已经综合利用天、空、地、海等多种探

^{*} 收稿日期:2013-05-16;修回日期:2013-07-17 Received date:2013-05-16;Revised date:2013-07-17

^{**} 通讯作者:wanglin19590306@sina.com Corresponding author:wanglin19590306@sina.com

• 973 •

测手段形成了全天候、高分辨率、分层部署、梯次覆盖的电子侦察网,能对各类平台所辐射的雷达信号、通信信号、敌我识别信号、塔康导航信号及遥控遥测信号进行有效的侦察、测向、定位。其机载无源探测设备的工作频率范围从 0.3 ~ 40 GHz 向 140 GHz 扩展,探测距离已达到460 km以上,测向精度达到 0.3° ~ 0.1°,截获概率接近 100%,信号环境适应能力已达到每秒几百万脉冲。可以看出,飞行器面临着极大的射频隐身威胁。

本文在飞行器射频隐身需求分析基础上,从时、空、频、能等几个方面提出了飞行器射频隐身的主要技术手段;根据飞行器典型传感器的辐射特征与使用方式,提出了各个传感器的射频隐身技术特点;结合装备研制阶段,提出了飞行器射频隐身的主要发展思路。

2 飞行器典型射频传感器的隐身需求分析

当前飞行器装载的典型有源射频传感器主要包括机载火控雷达、数据链、塔康、敌我识别器、无线电高度表、有源干扰设备等,频段上覆盖几十 MHz 到几十 GHz,如图 1 所示。

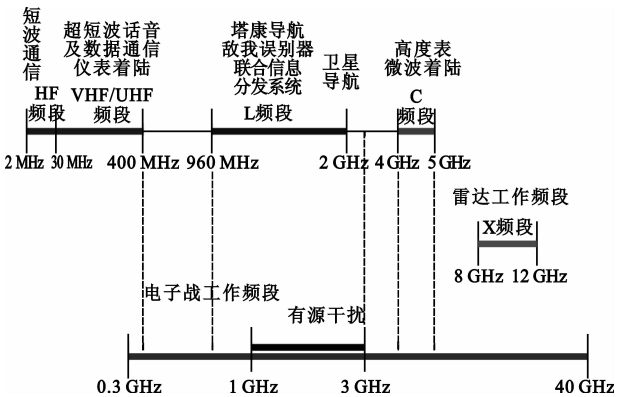


图 1 飞行器典型传感器及其频段分布
Fig.1 Typical sensors of aircraft and their band distribution

以上传感器在不同作战阶段以各种组合形式频繁使用,其典型使用情况如表 1 所示。

(1)机载雷达主要应用于战斗阶段,但为了满足其有源探测性能,特别是为了探测隐身战机,一般有效辐射功率很大,面临的无源探测威胁很突出。对于系统灵敏度为 - 70 ~ - 80 dBm的中等水平侦察接收机,其主瓣被截获距离超过800 km,旁瓣被截获距离也超过400 km,在所有射频传感器中是射频隐身控制的重点。

(2)敌我识别器也主要应用于战斗阶段,其询问

采用定向辐射,有效辐射功率较大,对于灵敏度为 - 90 dBm的截获接收机,其主瓣被截获距离超过 500 km,旁瓣被截获距离也超过150 km。其应答功率虽然较小,但采用全向辐射,截获概率较高。因此,敌我识别器也是射频隐身的控制重点之一。

(3)超短波数据链和联合信息分发系统虽然有效辐射功率较低,但对于灵敏度为 - 90 dBm的截获接收机,截获距离也达到了250 km以上。此外,这两种通信数据链都采用全向辐射,被截获概率较高,对这两种数据链的射频隐身控制也很重要。

(4)无线电高度表虽然其辐射功率较小,且主要朝地面方向辐射,但由于其需要全程使用,且在飞机姿态发生变化时,其辐射会朝着非地面的方向泄露,增大了被截获的可能性。另外,无线电高度表需要在隐身突防等作战任务中使用,故必须对其采用射频隐身控制措施以满足飞机整体的隐身需求。

(5)对于塔康导航设备,虽然其辐射功率较高,且采用全向辐射,但由于其主要应用于巡航和返航阶段,且其体制等有专项的标准限制,需要考虑其他设施的匹配和协同,目前只宜在使用上想办法增强其隐身性,不是传感器射频隐身控制的重点。

表 1 飞行器典型传感器使用情况
Table 1 Usage of typical sensors of aircraft

飞行阶段	主要射频有源传感器						
	雷达	敌我识别器	超短波数据链	联合信息分发系统	宽带、定向数据链	塔康	无线电高度表
爬升			✓	✓		✓	✓
巡航		✓	✓	✓	✓	✓	✓
接敌	✓	✓	✓	✓	✓		✓
返航			✓	✓	✓	✓	✓
着陆			✓	✓		✓	✓

通过以上分析可知,飞行器各种传感器自身辐射特点和受威胁程度各不相同,需要进行有针对性的射频隐身设计和控制。

3 飞行器射频隐身主要技术手段分析

对于射频隐身作战对象的无源侦察设备,其通过对有源电子装备辐射信号进行搜索、截获、测量、分析、识别、定位以获取其技术参数、功能、类型、位置、用途,其主要的性能指标有侦察作用距离、系统灵敏度及动态范围、空域覆盖范围及瞬时视野、频率覆盖范围及瞬时带宽、截获概率及截获时间、测频分辨率及精度、测向分辨率及精度。

目前典型截获接收机的技术体制和性能如表 2 所示。

表 2 典型截获接收机体制及其性能评估
Table 2 Typical intercept receiver systems and their performance evaluation

接收机类型	接收机能力									
	接收脉冲	接收连续波	测频	选择性	多信号	灵敏度	频率覆盖	截获概率	动态范围	解调信号
晶体视频	Y	N	N	P	N	P	G	G	G	Y
瞬时测频	Y	Y	Y	P	N	P	G	G	M	N
调谐式射频	Y	Y	Y	M	Y	P	G	P	G	Y
超外差	Y	Y	Y	G	Y	G	G	P	G	Y
固定调谐	Y	Y	Y	G	Y	G	P	P	G	Y
信道化	Y	Y	Y	G	Y	G	G	G	G	Y
布拉格小盒	Y	Y	Y	G	Y	M	G	G	P	N
压缩	Y	Y	Y	G	Y	G	G	G	G	N
数字化	Y	Y	Y	G	Y	G	G	M	G	Y

注:G=良好 M=适中 P=差 Y=是 N=否

根据对典型射频传感器辐射方式的分析,以及不同辐射特征对射频无源探测系统的影响关系分析^[3-5],可得出飞行器射频隐身技术主要包括以下几个方面。

(1)最小辐射能量自适应控制技术

最小辐射能量自适应控制技术可以使机载有源电子装备根据实际威胁情况与任务要求情况,在保证其性能指标不影响作战使用的前提下,辐射最优的射频功率;与此同时,减小被敌方无源侦察装备发现或截获的距离,是射频隐身的重要基础技术。

(2)窄波束、超低副瓣天线技术

采用窄波束、超低副瓣天线技术可以将辐射能量集中在主瓣内,大大减小通过天线副瓣辐射的功率,从而大大减小被敌方截获的空间范围。

(3)低截获波形设计技术

采用低截获波形技术并结合与之相应的信号处理技术,利用信号处理技术获得的信噪比增益,可以使电子装备在性能不受影响的情况下减小辐射功率,或减小功率谱密度,一方面减小了被敌方无源侦察装备截获的距离,另一方面对于非协作的无源侦察装备来说,由于信噪比的降低,其侦察参数的精度也会有所下降,从而影响侦察后端的分选、识别、定位等。此外,低截获波形还能降低信号被截获的概

率,例如通信中的跳频技术。

(4)辐射信号最大不确定性设计技术

无源探测设备的脉冲分选功能受辐射信号在时域、空域、频域的稳定性和规律性影响,因此,通过有源电子装备辐射信号的最大不确定性设计可以直接影响无源探测设备的分选识别功能,例如雷达中的频率捷变、重频抖动和捷变、波束随机扫描,通信中的变速跳频、调制跳变等。

(5)传感器协同隐身技术

航空平台传感器功能众多,除了大量的有源电子装备外,还有无源探测设备,除了具有探测功能的设备外,还有具有传输功能的多种数据链。利用无源探测设备或者数据链的引导信息,可以大大减小雷达盲目搜索的时间以及雷达的开机时间,减小被敌方无源探测设备截获的概率。传感器协同也是航空平台射频隐身的重要技术之一。

4 飞行器射频隐身主要特点及发展思路

飞行器射频传感器数量多,射频辐射特征千变万化,平台整体辐射特征与平台结构、天线安装位置、使用时机和传感器辐射参数密切相关。此外,在开展飞行器射频隐身技术方面,还应重点考虑以下几个方面的问题。

(1)射频隐身与雷达隐身、红外隐身的平衡

在实现射频隐身的研究目标过程中,应该使机载射频传感器被无源探测设备截获的距离与平台被敌方雷达和红外探测设备发现的距离相当,目标过高则会加大实现难度而无太大意义,目标过低则达不到整机隐身的目的。

(2)飞行器有源传感器自身性能需要与射频隐身性能相平衡

射频隐身与雷达、红外隐身最大的区别在于:雷达隐身与红外隐身都是要求目标特征越小越好,而射频隐身不能只要求自身辐射越小越好,因为射频辐射信号承载着传感器自身的使命,如探测目标、传输信息、干扰对手等,所以需要把握好传感器自身性能与射频隐身性能的平衡。理想的标准在于使传感器性能恰能满足作战使用要求,又尽可能降低敌方侦察设备的截获、分选、识别和定位能力。

(3)飞行器射频隐身技术层次性

从层次上说,航空平台射频隐身技术既包括了各功能传感器自身射频特征的减缩和控制,又包括了传感器系统综合的使用控制策略。各功能传感器

在做好自身的射频隐身设计之外,需要受上层传感器系统在辐射时间、辐射空间、辐射功率等方面的约束。需要同步开展各传感器自身的射频隐身技术攻关和系统级的使用控制策略研究。系统层应通过不同的作战任务和作战对象制定出不同的辐射模式,在辐射模式中规定各传感器的射频隐身辐射方式。

(4) 飞行器各传感器的工作体制有所差异

在飞行器装载的各种典型有源电子装备中,既有独立电子装备(如机载雷达),也有成体系的装备(如联合信息分发系统),对于成体系建制的传感器装备应结合实际情况,在体系标准未发生变化前主要考虑能量与使用策略,同时提出改进方向。

(5) 飞行器各传感器的研制阶段有所差异

在飞行器装载的各种典型有源电子装备中,有的装备已经成批量地装备到各种战机,有的装备正处于研制当中,如有源相控阵雷达、宽带/定向数据链等。对这些处于不同研制阶段的电子装备,应采取不同的射频隐身研究思路。新研装备从一开始就应考虑射频隐身需求,在技术体制和系统设计上全面采用射频隐身技术,如天线设计、波形设计、功率控制设计、工作方式设计等。对已有装备,在不影响技术体制和保证使用的前提下,进行局部技术改进,在进行射频隐身功能的添加时,不能破坏其原有的协议和波形。

总之,在飞行器射频隐身技术的研究中,需要采用迭代优化的研究思路,分阶段突破射频隐身关键技术并逐步优化,最终实现高水平的射频隐身能力。

5 结 论

飞行器射频隐身具有紧迫的军事需求,而我国飞行器射频隐身研究进展情况与国外高水平的差距很大,所以需要做好统筹规划,兼顾技术先进性与工

程可实现性,尽快建立射频隐身指标体系,梳理、突破飞行器平台射频隐身关键技术,大力提升我国飞行器的射频隐身技术水平。

参考文献:

- [1] David L. 射频隐身导论[M]. 沈玉芳,译. 西安:西北工业大学出版社,2009.
David L. Introduction To RF Stealth[M]. Translated by SHEN Yu-fang. Xi'an: Northwest Industrial University Press, 2009. (in Chinese)
- [2] 朱银川. 飞行器射频隐身技术内涵及性能度量研究[J]. 电讯技术,2013,53(1):6-11.
ZHU Yin-chuan. Implication and Performance Metric Research of RF Stealth for Aircrafts[J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(1): 6-11. (in Chinese)
- [3] 王星. 航空电子对抗原理[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
WANG Xing. Principles of Aviation Electronic Warfare[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [4] 周一宇,安玮,郭福成. 电子对抗原理[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
ZHOU Yi-yu, AN Wei, GUO Fu-cheng. Principles of Electronic Warfare[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009. (in Chinese)
- [5] 贲德,韦传安. 机载雷达技术[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
BEN De, WEI Chuan-an. Airborne Radar Technologies[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008. (in Chinese)

作者简介:



王 琳(1959—),男,山东烟台人,1982年获学士学位,现为研究员,主要从事航空电子系统综合设计等方面研究。

WANG Lin was born in Yantai, Shandong Province, in 1959. He received the B. S. degree in 1982. He is now a senior engineer of professor. His research concerns integrated design of avionics system.

Email: wanglin19590306@sina.com