

文章编号: 1671-0576(2003)03-0038-04

主被动复合导引头天线系统的结构布局

王起飞

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 从雷达天线系统的基本原理出发, 以尺寸和空间为主要约束条件, 讨论了三种主被动复合天线系统的结构布局方式, 在比较其优劣的基础上提出了极具新颖性的设计方案, 其基本原理的正确性和工程研制的可行性已经得到了有关专家的认同。

关键词: 主被动复合; 天线系统; 结构分析; 空空导弹

中图分类号: TN 82; TJ 765.331 **文献标识码:** A

Structural Layout of Active-passive Composite Seeker Antenna System

WANG Qi-fei

(China Airborne Missile Academy, Luoyang Henan 471009, China)

Abstract: From the basic theory of radar antenna system, the structural layout method of three active-passive composite antenna system is discussed on the main confinement condition of dimension and space, and presented fresh greatly design schema on the basis of comparing goodness and badness. Relevant experts accept the accuracy of basic theory and the actable of project research.

Key words: active-passive composite; antenna system; structural analysis; air to air missile

0 引言

在导弹中拟采用主被动复合导引头技术, 是美、俄、欧进行型号研制、预先研究和计划论证新一代中远程空空导弹的一项重大技术变革。尽管这方面的资料十分匮乏, 给研究分析工作带来了一定的困难, 但主被动复合导引头的引入给新一代中远程空空导弹总体作战效能带来的益处是非常明显的, 概括起来主要有两点: 一是提高了导引头的发现概率和截获概率; 二是大大增强了导引头的抗干扰能力。

主被动复合导引头系统方案设计的难点之一是体积和尺寸受到了严格的限制。美、俄、欧正在研制或计划研制中的新一代远程空空导弹的弹径均未超过 200mm, 导引头的长度一般也不超过 1m。在这么狭窄的空间内要放置两到三套天线系统、两到三套高频组件、两到三套中频接收机、一套发射机系统、一套数字信号处理系统、一套天

收稿日期: 2003-05-13

作者简介: 王起飞 (1956-), 男, 高级工程师, 从事天线技术的研究。

线伺服系统以及起辅助作用的电源、屏蔽、转接等装置是十分困难的,首当其冲的是天线系统的设计问题。对天线系统设计的第一个要求是体积和尺寸必须足够小,但主动天线增益、被动天线频带宽度又必须满足技术要求。同时要考虑到天线系统的方案选择,会影响到接收机的体制乃至整个导引头的雷达体制,使导引头系统方案设计遇到的问题多元化^[1,2]。

1 关于频率问题的讨论

导引头被动接收系统是通过接收目标飞机机载雷达的辐射能量来获取目标信息的,因此必须对目标机载雷达的频率特性进行分析,以确定被动天线的频率接收范围。世界上主要战斗机和预警机的机载雷达的主要性能参数如表 1 所示。

表 1 机载预警雷达与机载火控雷达的主要参数
Tab.1 Main parameter of ariborne early warning radar and airborne fire control radar

装备型号	功能	载机	工作波段	功率	天线	备注
AN/APQ-120	火控雷达	F-4	8~10GHz	165kW	699×623mm	
AN/APQ-153	火控雷达	F-5E/F	X 波段	80kW	310×410mm	
AN/AWG-9	火控雷达	F-14	8~12.5GHz	2~10kW	Φ914mm	
AN/APG-63	火控雷达	F-15C/D	X 波段		Φ914mm	
AN/APG-66	火控雷达	F-16A/B	9.7~9.9GHz	20kW	-35dB 副瓣	PRF = 1 ~ 2kHz/19 ~ 25kHz,PW = 10~20us
AN/APG-65	火控雷达	F/A-18	8~12.5GHz		Φ914	
AN/APS-138	监视雷达	E-2	400~440MHz	1000kW		
AN/APY-1/2	监视雷达	E-3	2.5~3.5GHz	1000kW	增益 40dB 副瓣 -45~-50dB	波音 707
AN/APY-3	监视雷达	E-8	8~10GHz			PRF = 1~2kHz
AN/APS-115	搜索雷达	P-3	8.5~9.6GHz			捷变 85MHz
Agave	多用途雷达	超级军旗	X 波段	70kW	Φ350 变态卡塞格伦天线	PRF = 500, 1000, 2000; PW = 0.2us,1.0us
Cyrano II	火控导航雷达	幻影 III /5/50	9~9.6GHz	200kW	Φ400 变态卡塞格伦天线	PRF = 2000,645; PW = 0.5us,1.75us
RDM	多用途雷达	幻影 2000	X 波段		655mm	
RDI	多用途雷达	幻影 2000	X/Ku 波段	4kW	674mm 平板缝阵	
No-93	火控雷达	Su-27/Mig-29	9.2~9.8GHz	6.5kW	副瓣 -30dB	

从表 1 可以看出机载预警雷达与机载火控雷达的频率特性具有下述特点:E-2T 预警雷达工作在 UHF 波段、E-3 预警雷达工作在 S 波段、E-8 预警雷达工作在 X 波段,它们的共同特点是辐射功率较大;而火控雷达大多数都工作在 X 波段,少数工作在 Ku 波段。如作战飞机机载雷达频率主要分布在 8~18GHz,预警飞机机载雷达频率主要分布在 400MHz~4000MHz 或 8~10GHz,

中间的 C 波段(4~8GHz)则几乎不存在机载火控雷达。因此,新一代中远程空空导弹寻的头被动接收系统的工作频段只要覆盖 400MHz~4GHz 与 8~18GHz 两个相间的波段,就足以满足作战使用的要求了。

导引头主动雷达系统的主频率设计一般仍选择在 X 波段或 Ku 波段,例如 AIM-120 AMRAAM 导引头的主频率就选择在 X 波段,而

“流星”导弹在末制导段采用 Ku 波段脉冲多普勒主动寻的导引头,雷达发射机使用行波管放大器。

2 共形天线与复合天线

被动天线系统的设计必须得到充分的考虑。一般说来,被动天线的设计有三个特点:一是必须覆盖很宽的频率范围;二是不能挤占头部空间,对主动雷达天线的性能产生大的影响;三是不能使弹径尺寸增加。

通常,被动天线系统的设计构思中有两种模式可供选择。本文只对一种采用共形天线技术的模式进行阐述(将被动天线与导弹外形的某些部分融为一体)。它的显著优点是减小了导弹尺寸和体积,同时也可能获得较高的天线增益和较大的半功率点波束宽度;缺点:一是天线波束一般没有扫描能力(从理论上讲,也可通过微波延迟线的设计获得电扫描能力,只是困难较大),用于制导控制的角速率信号必须通过数字微分的方法得到;二是由于受到弹体的限制,用于相位干涉的一对天线间的基线不能任意调整,导致某些频段清晰的测角范围减少,即出现测角模糊,同时抗气动摩擦、结构安装和机械强度问题也有一定难度。

以“流星”导弹为例,在这种冲压发动机导弹的气动外形设计中,只有两个进气道、两片弹翼和四个尾翼(舵)作为突起物适用于作共形天线。但是,由于双下侧二元进气道和弹翼是非轴对称的,不利于被动雷达对目标的二维角度定位。尾翼虽然是轴对称的,但由于它在导弹飞行过程中存在着运动,会改变天线波束的方向。同时,尾翼的运动使其下缘不再与弹体相接,导致天线的镜像效应降低、性能恶化,也不适合作天线。对此,如果在导弹的弹体中部位置再增加两片弹翼,使其成为轴对称的四片弹翼,既可提高导弹的升力,增加导弹的升阻比,又可用来安装被动雷达的共形天线。由于受天线弹翼几何形状的制约,因而与弹翼共形的天线只能设计成线极化的形式。尽管设计时可以兼顾垂直极化和水平极化,但对于恰好与设计的天线极化方向相垂直的特殊线极化的电磁波有一个接收盲区。

在雷达相位干涉仪测角机制中,目标的角位置是通过分析一组平行波束到达两个天线的波程差所确定的。如果这一波程差小于入射波的波长,角度测量值就不存在多值性,即没有测角模糊,相反则会出现测角模糊。这就是为什么入射波频率越高,系统测角越模糊的缘故。由于导弹的展向尺寸有限,对高频率的入射波出现测角模糊是不可避免的,但对 400MHz 的电磁波一般不存在测角模糊。因此,置于导弹弹翼共形天线难以兼顾很宽的频域范围,只能解决有限频带范围内入射波接收问题。

为了解决在较宽频域内雷达被动信号的接收问题,还需利用导引头的头部空间位置进行主被动复合天线的设计。一般说来,天线的尺寸不能小于拟接收的电磁波波长的四分之一,即天线的大小与被接收信号的频率直接相关。所以,如果把接收较低频率信号的被动天线设置在头部,必然会对主动雷达天线的性能产生大的影响。显然,只有在较高频段上,被动天线才可以和主动雷达天线进行复合设计。

3 主被动复合天线系统的结构布局

如前所述,被动天线可分割为两个频段进行独立设计。接收 400MHz~4000MHz 信号的天线可设计成一组对数周期天线,天线置于导弹的弹翼中,弹翼对称的“×”形置于弹体中部,可以称为天线的共形设计;接收 8~18GHz 信号的被动天线占据头部位置与主动天线进行复合设计,以实现单位空间设计效益的最大化。

最简单的天线系统的结构布局是在一个一定直径的圆盘上将中间设计为主动天线,在主动天线的外围布置和设计宽带被动天线单元,两种天线共用一套伺服机构。这种布阵方案需要设计两种天线,一种是主动天线,AIM-120 AMRAAM 导引头和“流星”导引头均采用平板缝阵天线;另一种是宽带被动天线,这种天线一般选用平面螺旋天线,螺旋形式采用曲折臂,天线至少应有三个或四个才能构成俯仰和方位两个通道的干涉仪,一般还需增加若干个天线单元构成短基线干涉仪与

中基线干涉仪,用于解算长基线干涉仪存在的测角模糊。采用该结构布局的问题之一是体积和重量均太大;二是天线增益较低,只能做到0dB左右,相对应的半功率点波束宽度可以做到 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$;三是由于众多小天线的厚度一般均需达几十毫米,使得主动雷达天线的偏转角度减小,由于同一原因使得天线的转动惯量不再均衡,即使采用配重补偿,也将给天线的伺服控制系统的设计带来很大困难。三个缺点中最主要的缺点是尺寸过大问题,并且由于受体制和原理的限制,这一缺点也不会随着技术的进步而获得解决^[3~5]。

既然在一个平面内设计主被动复合天线系统的结构布局不能满足导弹系统的总体要求,那么应考虑主被动复合天线系统能否共用一个口径天线,而这种天线已在工程实践中出现过。主被动天线可以共用一个介质透镜天线,在主被动天线接收段的电磁波均能通过透镜进行聚焦,馈源口置于透镜的焦点处,在馈源口之后主被动天线分路传输^[6,7]。该方案中的天线是真正意义上的复合天线,一个天线完成了两个或数个天线的功能,结构简单、功能完备、性能可靠。但是,这种复合天线系统的结构布局应用于空空导弹也有难以解决的技术问题:由于透镜至馈源的距离较长(起码大于100mm),使得伺服系统设计遇到较大的困难,天线转动角过小,转动惯量太大^[8]。尽管如此,有理由认为这一主被动复合天线的设计方案,值得作进一步或更深入的研究。

在一个平面内,设计主被动复合天线系统结构布局的主要问题是体积和尺寸太大。如果减小天线尺寸,无论是减小主动天线,还是减小被动天线尺寸,都将使天线的性能严重恶化。共用一个介质透镜天线虽然解决了天线的展向尺寸问题,但会遇到其径向尺寸影响天线随动系统的伺服控制问题。这就要思考第三种技术选择:将主被动天线结构布局方式由平面环绕式改为前后重叠,即主被动两种天线都能利用全部的天线阵口径。复合天线为两层重叠式,前面为被动抛物面天线,后面为平板缝阵主动天线,两者均采用线极化设计,且极化方向相互垂直。抛物面本身是一种宽

带结构,重点是进行宽带馈源与宽带和差电路的设计。该方案的显著优点是可以保持主动雷达天线的口径不变,其缺点是:由于宽带馈源的遮挡效应和电磁波的绕射效应,被动天线在较低频段的性能将受到一定的影响。

4 结束语

主被动复合天线系统的结构布局问题是新一代中远程空空导弹系统设计中的一个重要问题,以“流星”为标志的新一代中远程空空导弹已将主被动复合导引头作为其主要设计思想公之于世,但设计细节却从未见之于公开发表的资料。本文从雷达天线系统的基本原理出发,以尺寸和空间为主要约束条件,讨论了三种主被动复合天线系统的结构布局方式。提出的方案虽然极具新颖性,但设计细节尚有待完善。当然,这也不能穷尽主被动复合天线系统的结构布局研究,仅仅是为了促进这一技术的研究与讨论,以此求教国内外的专家,使中远程空空导弹复合天线系统设计能有一个长足的进步。

参考文献

- [1] 张光义. 相控阵雷达系统[M]. 北京:国防工业出版社,1994.
- [2] 郭燕昌. 相控阵和频率扫描天线原理[M]. 北京:国防工业出版社,1978.
- [3] 章日荣. 反射镜天线及高效率馈源[M]. 北京:人民邮电出版社,1977.
- [4] 田车攀. Ku/C双频天线及其性能[J]. 微波与卫星通信,1998,(3).
- [5] 徐道立. 单脉冲低副瓣天线馈源系统[J]. 现代雷达,1999,(2).
- [6] 岳欣. 用于冲击雷达的宽带旋转对称单极天线的分析与设计[J]. 现代雷达,2000,(3).
- [7] Julius Green. Asymmetric Ridge Waveguide Radiating Element for a Scanned Planar Array[J]. IEEE Trans. Antennas Propagate, 1990, 38(8):1161-1165.
- [8] Hung Yuet Yee. The design of large waveguide arrays of shunt slots[J]. IEEE Trans. Antennas Propagate, 1992, 40(5):775-781.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>