

# 水面舰艇集成天线隐身设计技术

黄继进

(武汉船舶通信研究所, 湖北 武汉 430079)

**摘 要:** 阐述了水面舰艇雷达波隐身设计的主要技术措施, 强调了发展集成天线技术对提高舰艇隐身性的重要意义, 介绍了国外舰艇集成上层建筑的发展动向, 提出了未来水面舰艇电子系统, 特别是通信系统的集成天线隐身设计的基本设想。

**关键词:** 隐身技术; 雷达散射截面; 集成天线; 集成上层建筑

**中图分类号:** U663

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-7649(2008)S-0143-04 **DOI:** 10.3404/j.issn.1672-7649.2008.S.036

## Stealth techniques of integrated antenna for surface ship

HUANG Ji-jin

(Wuhan Maritime Communication Research Institute, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The main technical measures for the stealth design of radar wave of surface ship are discussed in this paper, with the emphasis on the significance of developing integrated antenna technique to improve the ship stealth capability. The foreign development trends of integrated ship superstructure are introduced. Then, basic stealth design ideas of integrated antenna which will be applied to electronic systems, especially communication systems for future surface ship are provided.

**Key words:** stealth technique; radar cross section; integrated antenna; integrated superstructure

## 0 引 言

随着对海作战高新技术的不断发展和应用, 特别是对舰探测技术的飞速发展, 世界各国海军近年来更加注重提高水面舰艇的隐身性能, 以实现舰艇的抗探测及抗打击能力。隐身设计成为未来水面舰艇的发展趋势之一, 隐身性能已成为水面舰艇重要的战技指标。

对舰艇这样一个复杂目标的探测, 通常是包括了雷达散射截面(RCS)、电磁散射、红外辐射、视场、声场及磁场等信号特征。以全隐身为特征的未来水面舰艇, 隐身就是降低并控制这些明显的信号特征。即使是数万吨的航空母舰, 亦应力求降低其雷达信号特征, 以延缓敌发现时间。新材料的使用、舰艇结构造型是控制和降低雷达信号特征的主要方法。本文主要讨论如何降低舰艇的雷达信号特征, 即雷达波隐身性问题, 特别是在舰艇的上层建筑设计方面如何加强

了隐身性设计的应用。

## 1 水面舰艇雷达波隐身性设计

根据雷达散射原理, 当雷达波电磁能量在传播路径中不连续时会发生能量的散射, 散射的强度和方向是形状不连续性和电磁能量两者特性的函数。不连续处的形状和材料决定了雷达波散射的特性。RCS最大的散射体是多面角反射体, 其主要原因是2个或3个平面构成角度, 当雷达波入射到上述宽角结构时, 引起多次的折射、叠加和耦合, 使反射能量聚集在很小的角度范围内, 如果再指向入射雷达的方向反射回去, 则其RCS量值将急剧增加。

舰船是一个包含了所有简单形态的巨大而复杂的散射体。船体和上层建筑的外壁是构成雷达波反射的大平面反射源(甲板和上层建筑外壁构成二面体反射), 对全船RCS的影响较大。因此, 倾斜外板设计已

收稿日期: 2008-08-20

作者简介: 黄继进(1962-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事天线和舰船通信技术研究。

成为世界各国隐身舰船的首选措施。通过倾斜船体和上层建筑外形,甚至将烟囱四壁和桅杆也设计有一定的倾角,以尽量减少入射雷达波的直接反射。

舰艇隐身技术措施之二是采用集成上层建筑设计,整洁的甲板平面、连续的上层建筑与模块化的烟囱及桅杆构成一个完美的整体。甲板上力求干净,天线、武器、救生艇等收缩进船体、桅杆或设置隐身外壳,采用组合式隐身桅杆(采用频率选择表面,雷达、通信天线设在桅杆内),大大地减小了全舰的 RCS。

其三是对电子武器装备(包括基座)、舰载小艇、海补装置等强反射点源进行专门的隐身设计,削弱或消除其雷达波反射。

其四是重视复合结构材料和雷达吸波材料(RAM)的应用。21 世纪舰艇上层建筑和壳体结构将采用费用可承受的耐火复合材料代替钢材或铝材,以降低雷达信号特征。雷达吸波材料主要通过电阻、介电和磁损耗将微波能量转化成热,提供磁性损耗或介电损耗,从而消除大部分雷达波反射,而只在其表面形成少量反射。对于无法避免的雷达波强散射源,直接用 RAM 进行表面涂敷,或用屏蔽网、屏蔽玻璃遮挡,也将是一个快速而有效的解决问题的途径。

## 2 集成天线提高舰艇隐身性

传统的水面舰艇,各型雷达、通信天线、武器装备等都安装在上层建筑之上,以期发挥舰上各系统、设备的最佳功能和性能,但这样易使得舰艇上层建筑的 RCS 大大增加。即使水面舰艇的桅杆已在水平线上消失,其上层建筑上的大型天线仍可能有很大的雷达截面,从而成为舰艇最后消失的主要散射源,这就要求在舰船桅区电子设备(特别是天线)的结构设计中,要充分考虑其隐身问题。

水面舰艇集成上层建筑技术,是为了解决舰艇隐身性、电磁兼容性与提高舰艇作战能力这一矛盾而发展的上层建筑设计技术。它采用系统工程方法,综合运用平面阵天线技术、复合天线技术、联合孔径技术、频选表面材料技术、结构设计技术、系统集成技术等,使隐身设计、电磁兼容设计与舰艇上层建筑设计技术有机地统一起来,从而提高全舰的整体作战性能。

发展集成天线设计技术的目的是减少舰艇上的天线数量或降低天线的散射截面,从而降低舰艇上层建筑的散射截面,提高舰艇的隐身性。水面舰艇综合通信系统是舰上重要的电子信息系统之一,通信系统的天线所占比例也最大,加强水面舰艇上层建筑集成

设计应考虑对通信天线进行集成设计。综合运用各种技术,减少通信天线,使各种通信天线尽可能与桅杆共形,实现天线的雷达波隐身设计。各种舰载探测雷达和电子战系统的天线采用平面化技术,实现与桅杆共形隐身安装,并采用多功能集成设计和联合孔径技术,以减少天线数量,降低散射截面。

因此,发展桅杆共形天线及集成天线,进而发展舰载电子系统多功能集成天线技术,促进水面舰艇电子系统的集成化发展,是解决舰艇隐身性、电磁兼容性的重要手段,是未来舰艇发展的必然趋势。

## 3 国外水面舰艇上层建筑隐身性发展动向

为了减少水面舰艇这样大面积目标的雷达截面,国外海军舰艇隐身技术专家认为,船体和上层建筑的外形设计和甲板上设备的布置等宜采用外倾或内倾形式,可有效避免形成 90° 夹角反射体。

20 世纪 90 年代中期交付的法国“拉斐特”级护卫舰主船体向内倾斜 20°, 上层建筑向外倾斜达 10°, 全舰几乎找不到一个垂直平面。日本的“金刚”级驱逐舰,英国的 23 型护卫舰,苏联的“基洛夫”级巡洋舰也基本采用这一直接而有效的隐身措施。

美国海军对此也开展了一系列的研究,设立了雷达路线图(Radar Roadmap)、先进的封闭式桅杆/传感器系统(AEM/S)、多功能电磁辐射系统(MERS)、先进多功能射频系统(AMRFS)、隐身多功能烟囱(LMS)等多个先进技术演示(ATD)项目,来完善相关技术。通过发展新型多功能天线、共形天线、联合孔径天线等技术,并采用大量轻型复合及频选表面材料,使雷达、电子战、通信等天线集成化、平面化,从而使各系统在一定程度上实现集成,目标是大幅度改善隐身性和电磁兼容性,发挥舰艇的整体作战性能。

以美国 DD(X) 为代表的新一代水面舰船采用集成上层建筑技术概念进行设计,以光滑、简洁、多面塔式结构的上层建筑,取代传统桅杆式上层建筑,消除了干舷和上层建筑部分垂直或近似垂直的截面。按干舷外飘、上层建筑立板内倾的多面体外形设计,使雷达照射波向多个方向反射,降低回波强度。在面面相交处采取平滑过渡措施,降低两面角和三面角效应。主甲板以上暴露的各位置尽量采用倾斜多面体组合形式。

美国海军研制完成了多功能电磁辐射系统(MERS),并投入使用。MERS 把敌我识别(IFF)、作战测向(CDF)、甚高频视距(UHF LOS)通信和用于

link 16 的 L 波段通信链路的联合战术信息分配系统(JTIDS)这 4 种舰载功能天线综合成单根的低可观测、重量轻的天线系统,以便安装到桅杆上。新结构的目标是把 MERS 要取代的系统重量减少一半以上,而提供新的能力和性能。这种有 6 个面的 MERS 具有小的雷达散射截面,它能同时发射 18 个无线电信号。2004 年采用 MERS 系统的美国两栖船坞运输舰“圣安东尼奥”号(LPD-17)完成海试,2005 年交付美国海军服役。

另一个具有代表性的集成系统是美国海军的先进封闭式桅杆/传感器系统(AEM/S)。该项目于 1995 年启动,目标是把传感器技术、降低特征技术、高级材料和制造技术综合进桅杆,改善目前和将来水面舰艇的作战能力。1997 年在“雷德福”号驱逐舰上加装了由上、下 2 个内倾  $10^\circ$  的复合材料六面锥体连接而成的 AEM/S 试制品,上半部分包括 MK-23 TAS 目标获取系统,下半部分包括安装 1 部 AN/SPS-40 型对空搜索雷达。该结构是美海军舰船有史以来安装的最大的复合结构,高达 26.5 m,重达 40 t,采用特种频选复合材料制造,将各种天线和有关设备都统一组合装配在该结构之内。AEM/S 表面采用了先进的复合频率选择材料,允许本舰上的雷达和通信信号穿透,同时阻止来自舰外的可能会对本舰辐射产生干扰的噪声或其他频率进入桅杆内。通过减少虚假目标和限制信号损耗等措施,使舰载传感器和通信系统的性能得以提高。

在 1995 年,美国海军研究局(ONR)开始实施舰上和飞机上采用多功能射频系统概念的先进多功能射频系统(AMRFS)规划。AMRFS 把 4 项先进技术研究成果进行集成,首次将雷达、电子战和通信功能集成到 1 套天线中。这 4 项成果是洛克希德·马丁公司的高波段多功能接收天线阵、雷声公司的低波段多功能接收天线阵、诺斯厄普·格鲁曼公司的高波段发射天线阵和低波段发射天线阵。

2004 年,AMRFS 计划成功演示了其在 6~18 GHz 频率范围内同时具备的雷达、电子战和通信功能。该系统的雷达因其高信号密度和多参数,使敌方难以从这种复杂波束中分辨出雷达的发射信号。AMRFS 将继续开展第二阶段工作,研究如何利用宽带隙放大器和数字合成技术,进一步提高功率和效率。

德国海军全隐身型护卫舰 FDZ-2020 的上层建筑顶端安装有称为“多探测器集成桅杆”(IMSEM)的集成式联合孔径天线的封闭式桅杆。整合在 IMSEM 桅

杆中的雷达天线主要包括 X 及 S 波段有源相控阵天线阵列,分别用于对空、对海搜索及引导区域防空导弹。IMSEM 桅杆内雷达、电子战、通信系统天线均以不同方式的孔径集成,从而较好地解决了上述问题,不仅能提高作战能力而且基本不损失其隐身性。

英国奎奈蒂克(Qinetiq)公司研制的先进桅杆(ATM)于 2005 年投入使用,装备海军“皇家方舟”号航母。荷兰、法国、日本等国也都在多功能雷达和集成(桅杆)天线技术方面有深入的研究和应用。

#### 4 水面舰艇集成天线发展构想

在水面舰艇上布置的各种作战电子信息系统的天线中,通信天线是水面舰艇作战保障的重要组成部分,且通常在上层建筑中占据较高及没有遮挡的位置,以保证通信功能和性能的有效发挥。未来大型的水面舰艇所需的通信天线种类更多、数量更大,舰面天线布置的难度将更大。

在保证通信体制向后兼容的条件下,应积极发展射频系统和天线的集成设计技术与桅杆共形设计技术,以提高舰艇隐身性总体技术水平。由于通信天线覆盖频带范围宽,天线品种多,功能及用途差异较大,应采用不同的技术手段对不同的天线进行集成、共形设计。综合应用功率合成和分离,宽带多路耦合和隔离等技术,实现射频结构和馈电系统的共用;也应综合应用外形隐身、吸波材料、频选材料等各种隐身新技术,开展上层建筑和射频天线系统的一体化设计,使我国集成上层建筑结构技术水平接近发达国家技术水平。

近期通信天线隐身设计的主要目标是集成超短波天线和微波天线,构成通信集成天线系统。将“塔康”天线、数据传输天线等微波频段天线改造成由多个平面相控阵天线组成的系统,并实现与桅杆侧壁四周的共形安装,实现全方位覆盖;对于超短波(VHF/UHF)通信天线,同样也可采用平面化技术,将其设计与桅杆侧壁共形的全向辐射天线。这些微波和超短波通信天线可共轴组合在一个封闭的桅杆中,并根据使用要求和天线特性确定集成的方案。

短波通信对水面舰艇来说仍然是重要的通信手段。对短波天线进行小型化设计,是目前天线隐身设计的主要手段,而短波通信天线与桅杆共形设计也是未来舰艇发展趋势。深入开展宽带匹配技术、新型辐射材料技术、天线组合与裁减技术等新技术研究是实现短波天线、中波天线等较大型天线隐身设计的基础和途径。

卫星通信天线的隐身设计也是舰艇上层建筑隐身设计的重要环节。在采用现有高增益抛物面天线的条件下,研究并采用频选表面材料来设计多面体卫通天线罩。频选表面材料天线罩可保证卫星通信频率信号透过,而将敌方雷达波信号反射至探测来波以外的方向,从而提升隐身性能。未来的卫通天线也可发展成平面或球面相控阵天线,与舰艇上层建筑顶部共形安装。

各种舰载雷达探测和电子战系统天线在相控阵天线技术领域已有较多的装备成果。为了进一步实现隐身设计,相控阵天线与上层建筑(舱壁)共形安装是必然选择,高增益、重量和尺寸较大的雷达相控阵天线可布置于舰艇上层建筑的中下部。不同功能的雷达和电子战系统共用天线孔径是未来提升舰艇上层建筑隐身性能的主要发展途径。

## 5 结 语

水面舰艇上层建筑设计是舰艇隐身性设计的重要环节,属系统性问题,应结合舰艇整体的隐身问题统一考虑。可以预见,不久的将来会有越来越多的舰

船采用集成上层建筑来达到控制雷达特征信号的目的,从而达到雷达波隐身,进而向多种特征信号控制的多功能、高隐身性能发展。集成上层建筑技术是一项复杂的系统工程技术,国外的研究已取得一定成果,我们应该抓住机遇,重点发展以集成天线及集成上层建筑技术为主的舰船隐身技术,以适应 21 世纪海军建设发展的需要。

## 参考文献:

- [1] 林忆宁. 21 世纪水面战舰设计的新攻略[J]. 船舶工程, 2004, 26(5): 1-7.
- [2] 潘镜芙. 水面舰艇的发展和展望[J]. 船舶工程, 2005, 27(B05): 35-41.
- [3] 魏晓庆. 舰船雷达波隐身技术的现状和展望[J]. 舰船科学技术, 2002, 24(3): 38-41.
- [4] 卢 斌, 程 翔. 舰船桅区电子设备结构设计中的隐身考虑[J]. 电子机械工程, 2004, 20(4): 25-27.
- [5] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [6] 龚锦伟, 王振民, 王立新, 卫林根. 舰船隐身设计探讨[J]. 船舶, 2003, (3): 29-31.

## 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](http://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](http://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](http://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>