



舰 | 船 | 现 | 代 | 化

舰船隐身技术

朱英富 张国良 编著



HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



舰船现代化

舰船隐身技术

朱英富 张国良 编著

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书阐述了舰船物理场(电磁场、声场、红外场、磁场、水压场、尾流场)的基本理论;物理场的特性和分析计算方法;物理场控制技术及测试方法等。全书既系统介绍了现代舰船的雷达隐身、声隐身、红外隐身、磁场隐身、水压场隐身、尾流场隐身,又突出了舰船雷达隐身、声隐身和红外隐身,使读者对现代舰船的隐身技术在全面了解基础上又能掌握重点。本书以舰船为背景,注重理论及工程应用。

本书可作船舶类相关专业硕士、博士研究生以及本科高年级学生教材,也可供部队、院校、厂所等从事隐身技术工作有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

舰船隐身技术/朱英富,张国良编著. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2012. 12
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0496 - 0

I. ①舰… II. ①朱… ②张… III. ①军用船 - 隐身
技术 IV. ①U674. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 298266 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 30. 75
字 数 805 千字
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
定 价 160. 00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

随着现代探测设备和武器(导弹、鱼雷、水雷)向高精度、远距离的发展,舰船的暴露和被命中概率大幅提高,生存力和战斗力受到严重威胁。从隐形飞机的诞生和战斗中所发挥作用而受到启迪,舰船隐身开始受到重视,并且世界上相继出现隐身舰、安静型潜艇,从舰船性能方面以提高其隐蔽性,同时增加防护和对抗能力。舰船隐身技术就是为了降低舰船的暴露率和敌方武器命中率,提高本舰对目标的发现、跟踪距离和打击力,从而采取多种技术和措施,以减小舰船物理场特征信号。

本书以舰船为背景,阐述了舰船物理场(电磁场、声场、红外场、磁场、水压场、尾流场)的基本理论;物理场特性和分析计算方法;物理场控制技术及测试方法等。由朱英富、张国良提出本书总体构架,全书分Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三部分共19章。Ⅰ.舰船雷达隐身技术(共6章);Ⅱ.舰船声隐身技术(共9章);Ⅲ.舰船其他物理场(红外场、磁场、水压场、尾流场)隐身技术(共4章)。全书突出雷达隐身、声隐身和红外隐身方面的内容。根据编著者的专业和特长分工如下:Ⅰ部分中的第1章由朱英富编著,第2、5章由王荣成编著,第3、4、6章由宋东安编著;Ⅱ部分中的第7、8章由张国良编著,第9章由孙光苏编著,第10、13章由朱显明编著,第11、14章由原春晖编著,第12章由马建忠编著,第15章由邵汉林编著;Ⅲ部分中的第16章由张国良编著,第17章由孙光苏编著,第18章由马建忠编著,第19章由邵汉林编著。各章完成初稿后分别进行校稿,并由朱英富、张国良组织编著者进行全书统稿和修改。本书稿通过王荣成、孙光苏初审后,最后由朱英富、张国良审定。

由于隐身技术是近代才发展起来的新兴学科,还处于工程应用的初级阶段,因此,在理论研究、分析计算、试验检测和工程应用等方面还有待进一步深入探索。编著者希望本书能引起读者对舰船隐身技术的关注,并促进我国隐身技术的发展。书中难免有不当之处,诚恳希望读者不吝批评、指正。

编著者

2012年2月

目 录

I 舰船雷达隐身技术

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.2 有关物理知识	2
1.3 舰船雷达隐身的功能	8
第 2 章 舰船雷达特性	11
2.1 引言	11
2.2 雷达的工作原理	11
2.3 雷达基本单元	12
2.4 雷达类型	14
2.5 雷达检测	20
2.6 舰船雷达的特征	22
第 3 章 雷达散射截面计算	27
3.1 基本概念	27
3.2 雷达截面积的预计方法	29
第 4 章 特殊几何体的散射特征	72
4.1 简单几何体的散射特征	72
4.2 简单复合体的散射特征	83
4.3 散射形状的分类	91
第 5 章 舰船雷达散射截面控制	94
5.1 概述	94
5.2 雷达隐身考虑原则	94
5.3 外形隐身技术	98
5.4 材料隐身技术	104
5.5 舰用电子对抗技术	107
第 6 章 雷达散射截面测试技术	111
6.1 引言	111
6.2 RCS 测量的类型	111
6.3 测量技术要求	115
6.4 测量误差分析	121
6.5 室外 RCS 测试	128
6.6 室内 RCS 测量	138
6.7 几种常用的测试方法	144

II 舰船声隐身技术

第 7 章 舰船声隐身基础知识	154
7.1 名词术语、量和单位	154
7.2 声学基础	165
第 8 章 舰船声隐身技术概论	184
8.1 概述	184
8.2 舰船声隐身技术	189
第 9 章 舰船水声场特性	197
9.1 概述	197
9.2 舰船辐射噪声和自噪声特性	197
9.3 舰船声目标特性	238
9.4 舰船水声场与舰船隐身	247
第 10 章 舰船结构声场特性	253
10.1 概述	253
10.2 舰船结构声场的形成	264
10.3 舰船结构声场特性	272
10.4 舰船结构声场与舰船隐身	277
第 11 章 舰船空气声场特性	280
11.1 概述	280
11.2 舰船空气声场的形成	282
11.3 用亥姆霍兹定理求解舰船空气声场	289
11.4 舰船空气声场与舰船隐身	292
第 12 章 舰船水声场控制	297
12.1 舰船噪声指标确定及分配	297
12.2 舰船水声场控制技术	299
12.3 消声瓦	321
12.4 水声对抗	327
第 13 章 舰船结构声场控制	331
13.1 结构设计	331
13.2 机械设备的选用与布置	334
13.3 舰船设备基座	336
13.4 隔振技术	342
13.5 阻尼技术	347
13.6 管路振动控制	351
第 14 章 舰船空气声场控制	355
14.1 舰船机电设备的噪声控制	355
14.2 吸声	359
14.3 隔声	364

14.4	消声器·····	371
14.5	有源噪声控制·····	378
第 15 章	舰船声场及目标特性测量 ·····	382
15.1	测量技术基础·····	382
15.2	舰船空气噪声测量·····	393
15.3	舰船结构噪声测量·····	397
15.4	舰船水噪声测量·····	406
15.5	舰船目标强度测量·····	410

III 舰船其他物理场隐身技术

第 16 章	舰船红外场隐身技术 ·····	412
16.1	概述·····	412
16.2	舰船红外场特性·····	420
16.3	舰船红外场的控制·····	436
第 17 章	舰船磁场隐身技术 ·····	445
17.1	概述·····	445
17.2	舰船磁场特性·····	445
17.3	舰船消磁·····	452
17.4	舰船磁场测量·····	456
第 18 章	舰船水压场隐身技术 ·····	462
18.1	舰船水压场·····	462
18.2	舰船水压场特性·····	466
18.3	舰船水压场的测量·····	470
第 19 章	舰船尾流场隐身技术 ·····	474
19.1	概述·····	474
19.2	舰船尾流场特性·····	475
19.3	舰船尾流场探测·····	479
参考文献	·····	482

I 舰船雷达隐身技术

第 1 章 概 论

1.1 概 述

1.1.1 引言

舰船隐身性是当今各海军大国普遍关注的大问题。对于一艘在海上执行任务的舰艇来说,暴露于开阔的海面,就会面对着来自空中、海上、水下多方面的攻击。虽然舰上配备了各种防御武器,但还不足以最有效地防御精确武器的打击。随着当代电子技术、武器装备的飞跃发展,雷达等探测设备的探测距离、精度等性能达到了相当高的程度,导弹武器的制导技术也使武器命中率达到极为精确的程度。

水面舰艇被发现和命中的概率不断地增大,使其在海上作战中更易遭受到攻击。因此,近年来各国海军对舰艇的雷达隐身提出了迫切的要求,并作为舰艇的一项重要的战术、技术指标。一艘隐身性设计良好的舰艇能有效降低被敌方雷达发现和被敌方武器击中的概率,并能在海战中争取到足够的准备时间进行对敌反击。雷达隐身设计主要是通过各种措施来降低舰艇的雷达信号特征值——雷达截面积,以达到“隐蔽”的目的。舰艇雷达隐身技术近几年发展很快,并在舰艇中得到了大量的应用,航空、航天等领域的雷达隐身技术发展成果,也在舰艇领域中得以越来越多的借鉴。但由于舰艇是一个外形复杂的大电尺寸的结构物,所以它的雷达隐身设计和隐身技术的应用就显得更为复杂和困难。此外,未来反隐身技术的发展,也对舰艇的隐身技术提出了挑战。

1.1.2 舰船雷达隐身技术应用的进展

第二次世界大战期间,雷达的出现给战争的进程带来了重大的变化,而雷达隐身技术相应地伴随着雷达的应用而出现。第二次世界大战中,德国潜艇为了减少被盟国空军战机的发现距离,在潜艇通气管上安装了雷达吸波材料,这可以说是舰艇应用雷达隐身技术的首例。第二次世界大战后,雷达隐身技术在航空中的应用较多,如 20 世纪 50 年代中期的美国 U-2 高空侦察机,20 世纪 60 年代的 SR-71 高空侦察机。美国 F-117A 隐身战机的研制成功,大大促进了武器装备的隐身技术的应用和发展,使隐身技术在空军、陆军和海军武器装备中得到了普遍应用,并成为其重要的设计内容。

20 世纪 80 年代,英国在 23 型护卫舰设计中首次采用了雷达隐身技术,主要通过在舰艇上

层建筑采用侧壁倾斜 7° 、减少角反射的影响等措施以减小舰的雷达截面积。美国在20世纪80年代中期开发了以小水线面双体船型为基础的隐身试验艇“海影”号(Sea Shadow)。瑞典海军于1991年开始用隐身试验艇“斯米杰”号(Smyge)进行各种试验。法国海军成功地研制了排水量为3 600吨“拉斐特”级(La Fayette)隐身护卫舰。据报道其雷达截面积仅相当于一艘500吨的巡逻艇的雷达截面积。此后,瑞典于1996年底开始建造一艘低可探测性的轻型护卫舰YS-2000型“维斯比”号(Visby)。首舰已于2000年6月下水,瑞典海军订购6艘,全部6艘将于2007年前服役。它同“斯米杰”号一样是用纤维增强塑料建造,使用了频率选择表面和雷达吸波材料。该舰的特点是应用了许多低可探测性的技术,包括低雷达截面积、红外、水下声压、水动压力等特征信号。德国布朗·沃斯(Brown Voss)公司推出的MEKO系列新一代隐身舰中的4 000吨级的MEKO A-200型,其雷达截面积只相当于一艘常规高速攻击艇。

舰艇甲板上众多的天线对雷达隐身有着重要的影响,各国海军在这方面也做了不懈的努力。美国海军在DD963“斯普鲁恩斯”(Spruance)级的“瑞德福特”(Arthur W Radford)号上改装了先进的混合式复合材料结构桅(后桅),称为“先进封闭式桅杆/传感器系统”。其中部采用了选频结构材料,只允许己方传感器频率通过,且损失很小。英国的沃·桑(Vosper Thornycroft)公司开始着手“海幽灵”II(Sea Wraith)的研制,他把所有的通信天线及附件都隐藏于一个截头锥体形的后桅中。

英国宇航系统公司已开始新的舰艇桅杆隐身技术研究,这种技术使远程雷达以及许多大功率传感器和通信天线有效组合,使它们之间的干扰降低到最低。这种天线桅杆将安装到英国的新一代45型驱逐舰上。这种新桅杆在钢结构外附有先进的纤维增强型塑性复合嵌板,其上有雷达吸波层,传感器采用可互换的模块安装在桅杆内。

20世纪90年代起,无论是大国海军,还是中小国家都对舰艇减小雷达信号特征值越来越重视,都把减小雷达截面积作为一个重要指标来要求,并在设计中采取各种措施来实现这一目标。

1.2 有关物理知识

1.2.1 雷达工作频率

1979年国际无线电波管理会议采用A,B,C,D…字母来对雷达的频段(波段)进行划分(如下表),已为世界各国所采用。

波 段	频率范围	波 段	频率范围
A	0 MHz ~ 250 MHz	G	4 GHz ~ 6 GHz
B	250 MHz ~ 500 MHz	H	6 GHz ~ 8 GHz
C	500 MHz ~ 1 GHz	I	8 GHz ~ 10 GHz
D	1 GHz ~ 2 GHz	J	10 GHz ~ 20 GHz
E	2 GHz ~ 3 GHz	K	20 GHz ~ 40 GHz
F	3 GHz ~ 4 GHz	L	40 GHz ~ 60 GHz
		M	60 GHz ~ 100 GHz

美国在二次世界大战中,为了保密也将雷达波段用字母表示。1976年,美国电机电子工程师协会所规定的波段(如下表),目前仍被广泛地使用。

波 段	频率范围	波 段	频率范围
HF	3 MHz ~ 30 MHz	X	8 GHz ~ 13 GHz
VHF	30 MHz ~ 300 MHz	Ku	13 GHz ~ 18 GHz
UHF	300 MHz ~ 1 GHz	K	18 GHz ~ 27 GHz
L	1 GHz ~ 2 GHz	Ka	27 GHz ~ 40 GHz
S	2 GHz ~ 4 GHz	毫米波	40 GHz ~ 300 GHz
C	4 GHz ~ 8 GHz		

国际电信联盟对频段作如下表的划分:

波段	波长	频段	频率范围
短波	100 m ~ 10 m	HF(高频)	3 MHz ~ 30 MHz
米波	10 m ~ 1 m	VHF(甚高频)	30 MHz ~ 300 MHz
分米波	100 cm ~ 10 cm	UHF(特高频)	300 MHz ~ 3 GHz
厘米波	10 cm ~ 1 cm	SHF(超高频)	3 GHz ~ 30 GHz
毫米波	10 mm ~ 1 mm	EHF(极高频)	30 GHz ~ 300 GHz

3 MHz ~ 30 MHz的HF雷达主要用于超视距警戒,其电磁波可沿地面传播,也可经电离层反射传播。

30 MHz以上至2 GHz(如VHF,UHF;L;A,B,C,D)的雷达主要用于超远程警戒;空中交通管制常用D波段。

S波段或E,F波段雷达常用于中程警戒,远程气象以及机场交通管制。

C波段或G,H波段雷达多用于精密监视雷达、跟踪雷达、气象雷达等。

X波段或I波段雷达用于中近程武器火控雷达、对海搜索雷达、导航雷达、机载搜索、跟踪雷达、气象雷达以及交通管制。

Ku,K,Ka波段或J,K波段主要用于近程搜索、跟踪以及导弹的控制和末制导。X波段的高频段也可用于此目的。

毫米波雷达或L,M波段(40 ~ 100 GHz)用于低仰角跟踪、导弹末制导、宽带高分辨率雷达。

1.2.2 雷达方程

雷达方程是雷达最大作用距离和雷达系统各参数之间的关系,在自由空间的脉冲雷达方程的基本形式为:

$$R_{\max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_r} \right)^{1/4} \quad (1-1)$$

式中, $R_{\max}$ 是雷达最大作用距离; P_t 是雷达发射机输出的脉冲功率; G 是雷达天线增益; λ 是雷达工作波长; σ 是目标有效散射面积(雷达截面积); P_r 是雷达接收的回波功率。

在实际应用雷达方程时,也常用以下形式方程:

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t A_e^2 \sigma}{4\pi \lambda^2 k T B F_n (S_o/N_o)_{\min} L} \right]^{1/4} \quad (1-2)$$

式中, A_e 是雷达天线有效面积,又称天线孔径; k 是玻耳兹曼常数; T 是标准室温; B 是雷达接收机的噪声带宽; F_n 是雷达接收机的噪声系数; $(S_o/N_o)_{\min}$ 是雷达接收机输出的最小信噪比; L 是雷达的内部和外部损失。

雷达作用距离同雷达天线孔径 A_e 和平均发射功率 P 有以下关系:

$$R_{\max}^4 \propto A_e P \quad (1-3)$$

所以雷达的孔径和发射功率的积越大,则雷达的作用距离就越大。舰载对海雷达会受到由海浪引起的海杂波的影响;大气中的雾和雨滴会使雷达发出的电磁波衰减,且雨滴还会产生干扰信号。

1.2.3 雷达截面积

雷达截面积(Radar Cross Section——RCS)即目标有效散射截面积是在给定方向上返回的散射功率的一种量度。通常用符号 σ 来表示,其理论定义式为:

$$\sigma = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{|\mathbf{E}^s|^2}{|\mathbf{E}^i|^2} = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{|\mathbf{H}^s|^2}{|\mathbf{H}^i|^2} \quad (1-4)$$

式中, $\mathbf{E}^s$ 、 $\mathbf{H}^s$ 分别为散射电场和磁场, $\mathbf{E}^i$ 、 $\mathbf{H}^i$ 则分别为入射电场和磁场。

在实际应用中,也可用式(1-1)给出的雷达方程来求得目标的雷达截面积,即:

$$\sigma = \frac{(4\pi)^3 P_r R_{\max}^4}{P_t G^2 \lambda^2} \quad (1-5)$$

显然,只要测出 P_r 值,就可以由上式计算出雷达截面积。在实际情况中,由于目标相对于雷达是不断运动的,雷达对目标的视角也就不不断变化,所以对于某一目标来说,不能得出一个固定的雷达截面积。因此,对目标的雷达截面积常用不同视角的平均值或中值作为单值来表示,也有用 95% 以上的观察时间都超过的值作为单值来表示。

RCS 的单位通常用平方米(m^2)表示,但由于 RCS 值的动态范围很大,在实际应用中通常采用分贝值(dB_{sm})表示,即:

$$\sigma(\text{dB}_{\text{sm}}) = 10 \lg(\sigma) \quad (1-6)$$

式中,右边 σ 的单位是 m^2 。下表给出了两种单位雷达截面积的某些数值对照。

RCS(m^2)	RCS(dB_{sm})	RCS(m^2)	RCS(dB_{sm})
0.01	-20	2.0	3
0.02	-17	5.0	7
0.1	-10	10.0	10
1.0	0	100	20

1.2.4 雷达波散射机理

雷达波电磁能量在传播途径中遇到金属障碍物就会发生散射,散射强度和方向同雷达波能量和障碍物的特性密切相关。障碍物的几何形状、尺度与波长之比、材料的电特性等都对雷达波的散射有影响。障碍物对雷达波的散射主要有以下五种方式。

1.2.4.1 镜面反射

目标的镜面反射可以在表面法向产生较强的雷达回波,其分布的角域范围决定于表面的形状和尺寸。图1-1为平面镜反射的示意图。平面相对波长的尺寸越大,反射波的每个波瓣的波束角就越小,同样整个波瓣角度也越小。水面舰艇舰体结构上有许多大平面,对于大平面,雷达波反射能量集中在一个极小角度的空间范围内。因此,如雷达入射波束来自水平方向,则只要将这些大平面从垂直面略倾斜一个角度,就能使反射的能量不再返回到雷达接收机。

平滑曲面也会产生镜面反射。当雷达波的入射方向与曲面上某点(或线)的法线平行(即垂直入射)时,在该点(或线)就会产生后向镜面反射。如果雷达波不在曲面的某点(或线)垂直入射,则镜面反射主波瓣就不会在入射反方向上。对平板而言,只在很小角度范围内存在强的镜面散射问题,但曲面会在很大的视角上存在强的镜面散射问题。

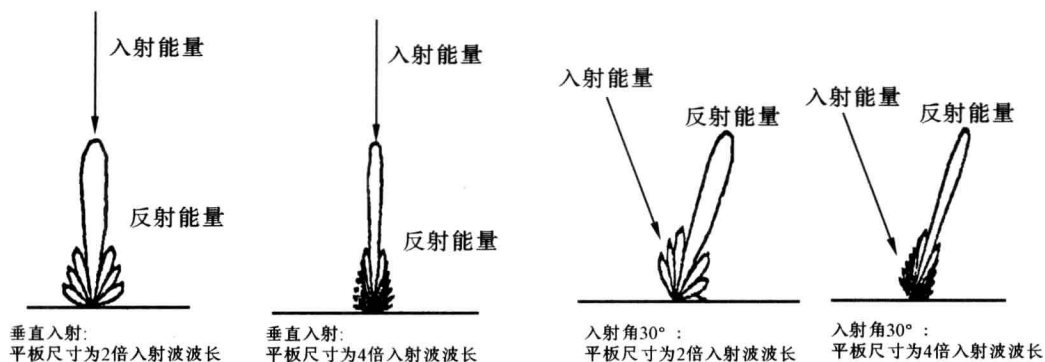


图1-1 平板电导体表面的散射

1.2.4.2 角形结构反射

相邻的平面可以形成多次反射路径,从而在较大的视角范围内产生显著的后向散射。由两个或三个相互正交的平面构成的散射面称之为角反射体,它是最强的散射源,因为它可使雷达波束经过两次或三次反射后沿着入射波方向反射回去见图1-2。

1.2.4.3 空腔结构反射

空腔结构是使雷达入射波在腔内经过多次反射后从原入射波方向反射回去。这种多路径散射源在一个较宽的角度范围内,其反向散射能保持在较高的反射能量级上,因此要给予特别关注。舰船上的进气口、排气口、舷窗、开口等都是多次反射的散射源,可产生很大的雷达截面积。

1.2.4.4 边缘和尖端绕射

当散射面的尺寸近于或小于波长时,主要的散射机理是绕射。物体的边缘和尖端的不连续性使雷达入射波产生绕射,即在入射波照射不到的阴暗区域中某个方向上散射,这为

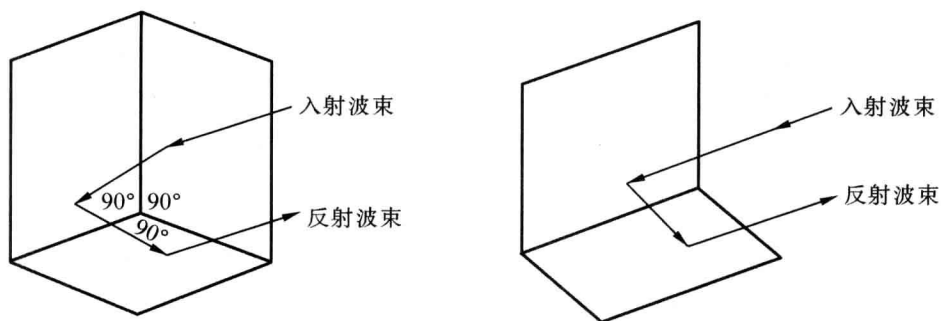


图 1-2 直角双面体和三面体反射路径

双(多)基地雷达提供了雷达截面。尖劈的边缘散射就是一个示例,如果入射雷达波的方向垂直于尖劈的边缘,则其反射的主波瓣在大角度范围内可被雷达侦收到。

1.2.4.5 表面行波反向散射

入射到绕射源上的能量可能来自于直接照射,或者来源于表面波。表面波是沿着表面或边缘传播的。它产生于雷达波的明亮区,在入射波相对于反射体小掠角时产生。它可从照射目标的近端到远端聚集起来,在物体远端边缘突然中断时反射回来。

当镜面反射和主要绕射反射源消失后,表面行波的影响在减少 RCS 的设计中就变得非常重要。减小和抑制表面行波可采用消除物体后端边缘的不连续性。如使表面行波在尾端被吸收或使它流经一个光滑终端体也可消除表面行波。

1.2.5 雷达隐身

隐身技术是通过控制和降低装备本身的特征信号,从而使其难以被发现和识别的技术。雷达隐身主要是控制和降低雷达特征信号,即缩减雷达截面积。使舰船的雷达截面积降低到与海面杂波一样大小是最理想的,这样,舰船的雷达特征信号就淹没在海洋环境中,反舰导弹的雷达末制导就不可能捕获或鉴别目标,但要实现这一点,经济上是不可承受的。图 1-3 给出了某护卫舰在方位面的雷达截面积曲线,由图可见经过隐身设计后,该舰的 RCS 在整个方位面都有较明显的改善。雷达隐身设计可通过多种技术措施来实现,但主要是外形技术和吸波材料。

1.2.6 外形技术

外形技术是在舰体外形设计中利用不同外形的物体具有不同的雷达散射特性的原理,通过舰艇各部位的外形设计,以减小舰船受威胁方向的截面积。图 1-4 为外形技术在隐身设计中作用的示意图。由图可见,当舰体外形为垂直面时,强的反射雷达波将沿入射波的反方向返回而被雷达探测到;当舰体外形为斜直面时强的反射雷达波将偏离入射波的方向,这样就达到了隐身目的。

外形技术适应的频段较宽,效果好,又不需要维护保养,因此在舰船雷达隐身设计中作为首要手段。

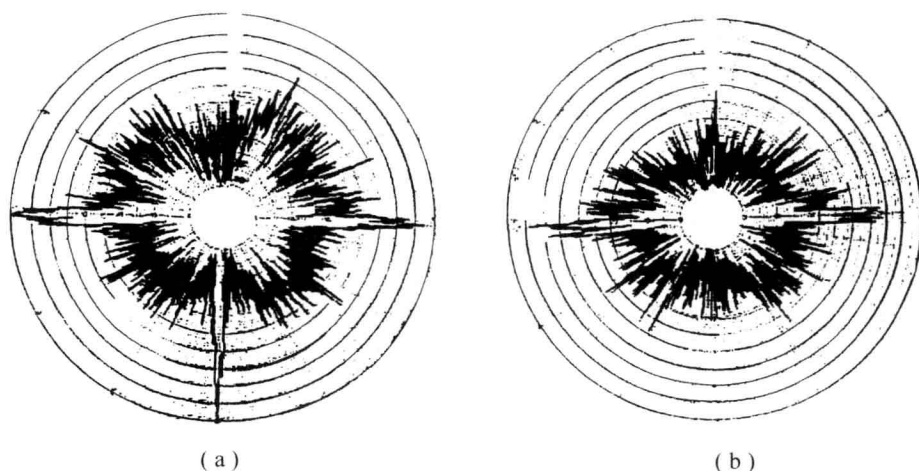


图 1-3 某护卫舰在方位面的雷达截面积曲线

(a) 隐身设计前;(b) 隐身设计后

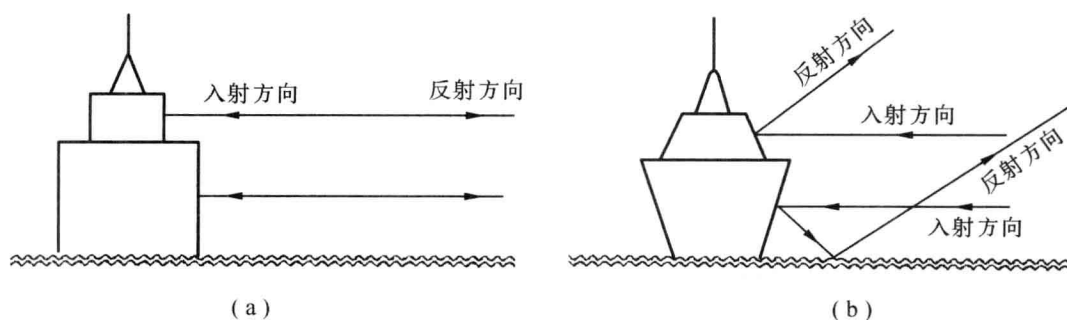


图 1-4 外形技术在隐身设计中的作用

1.2.7 吸波材料

减小目标在雷达方向回波的方法之一是吸收入射的电磁波能量,通过吸收以减少由目标反射的有效能量。作为实际应用于舰船的吸波材料应该具有吸收频带宽和重量轻的特点,能满足舰艇在海上航行时承受的日晒、风雨、盐雾、振动等恶劣环境考验,并且要具有良好的施工工艺特性。图 1-5 给出了吸波涂料工作原理示意图。目前使用的吸波材料主要有两类:吸波涂料和结构型吸波材料。

按照雷达隐身需要,应采用在宽频带内能充分吸收电磁波的材料,因此吸波涂料大多以铁氧体粉末作

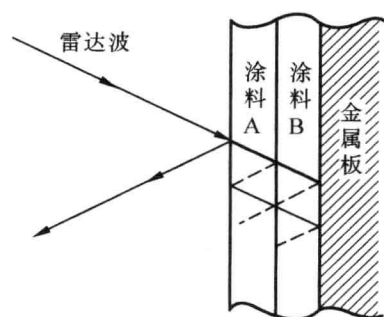


图 1-5 吸波涂料工作原理示意图

为吸波剂。如用铁氧体粉末和四氧化三铁粉末相混合,分散在氯化橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶之类的聚合材料中,制成吸波涂料。

结构型吸波材料由吸波材料同非金属基复合材料组合而成,具有优良的吸波性能,且重量轻、强度高。吸波效果较好的材料有高模量有机纤维和塑料。如瑞典“维斯比”级艇船体使用碳纤维增强塑料(CFRP)。

非金属合成材料的隐形功能是不言而喻的,但在许多情况下,这些材料在燃烧时会发出有毒的气体,对舰上人员的安全性带来危害。

1.3 舰船雷达隐身的功能

1.3.1 舰船在海上面临的威胁态势

现代海战是多方位的立体战争,威胁来自太空、空中、陆地、海面和水下。从水面舰船的雷达隐身角度来看,所面临的探测威胁主要有以下几个方面:侦察卫星、机载预警与控制系统型侦察飞机、陆基超视距雷达侦察、舰载探测器、机载探测/射击控制装置(如战斗轰炸机、直升机、导弹末制导雷达等)的战术探测器等。

现代舰艇一般都装备多种不同性能和用途的雷达,主要有在尽可能远的距离上发现目标的远程警戒雷达,其特点是作用距离远但精度不一定很高;能对目标进行跟踪以实现准确射击的火控雷达;能对海面及低空目标进行搜索的搜索雷达;能引导导弹准确攻击的照射雷达或导弹攻击专用的攻击雷达;保障本舰安全航行的导航雷达;引导直升机归航的直升机引导雷达等。对舰船构成探测威胁的主要是舰载警戒雷达、搜索雷达、火控雷达和攻击雷达。

敌方的探测器是从不同的角度来探测舰船的。机载探测装置主要是从较高的俯仰角观察到舰船,而导弹的末制导雷达和舰载探测器主要是从几乎成水平的方向观察到舰船的舰体。

各类探测器是在不同的频带内工作。据统计,舰船所面对的频段主要是在 $2 \sim 10$ GHz,但导弹末制导还有向更高频段发展的趋势。

舰船面临的武器威胁主要是机载炸弹、炮弹、导弹(空舰导弹、舰舰导弹)以及其他武器。

机载炸弹是当目标被发现后,飞机携带炸弹飞临目标上空,实现空投的武器。命中目标的概率与飞行员的熟练程度有关。激光制导炸弹等的出现对目标的威胁大增,但舰艇的本身防空武器对飞机也同样构成相当大的威胁。

舰炮武器在传统的海战中曾是打击敌舰的重要武器,但其不足是远距离对海打击命中概率相对较低,威力受到一定的制约。激光制导炮弹的出现使舰炮的威力得以倍增。

导弹武器是对舰船最具威胁的武器。第二次世界大战以后,导弹武器得到了快速的发展。通过对早期导弹的不断改进,现代导弹的制导精度和爆炸威力大大增强。制导方式已发展到雷达制导、电视制导、复合制导等多种方式,波段也从厘米波段发展到毫米波段。GPS技术、地形匹配技术等也已结合到导弹的制导中去。爆炸方式也从直接命中等单一体制发展到无线电近炸、指令爆炸、感应爆炸等方式。对舰船来说,反舰导弹的末制导雷达是导弹精

确命中舰船目标的关键设备,这也同雷达技术密切相关。

1.3.2 舰船雷达隐身的效用

舰船雷达隐身通过减小雷达截面积来达到以下效果:

1.3.2.1 延迟敌方雷达的探测,或使其对目标识别变得困难,从而使我舰在被敌舰发现前有足够的时间来对敌目标进行探测、分析、判断和决策,增加了战斗准备时间,赢得主动。

由式(1-5)可知,雷达截面积同雷达的最大作用距离的四次方成正比。因此,要使被探测到的距离减少一半,就需要把雷达截面积缩到 $1/16$ 。如果一条舰的雷达隐身设计指标为雷达截面积缩减 10 倍,则就意味着使敌方探测我舰距离缩短 44%,这对作战使用有十分重大的意义。以对海作战为例,我舰与敌舰均以 18 节航速相向而行,假设我方看到敌舰为 41 km,由于我舰的雷达隐身设计,装有相类似雷达的敌舰的探测距离就缩短 44%,即为 23 km,即我舰比敌舰早发现约 18 km。以双方相对速度为 66.6 km/h(约 1.1 km/min)计,早发现 18 km,这相当于赢得约 16 min 的时间,这足以供作战准备使用。

1.3.2.2 防止被反舰导弹末制导雷达锁定或减少其锁定距离,从而减少舰被导弹击中的概率。一般说,反舰导弹末制导雷达开机约在距被攻击舰船 8 ~ 12 km 处。假设导弹飞行速度为 300 m/s,从末制导雷达开机到导弹飞临目标尚有 26.7 s ~ 40 s 的时间。舰艇雷达截面积小,导弹末制导雷达开机后,较难于马上捕获目标,且有利于被攻击舰及时组织电子对抗手段进行有源干扰和无源干扰,或组织近程防御系统反击,致使导弹攻击失效。

1.3.2.3 提高无源干扰的电子对抗能力。对于无源干扰来讲,缩减雷达截面积本身就是一种无源措施。在实施箔条干扰时,由于被攻击舰的低雷达截面积值,则施放的箔条形成的假目标的雷达截面积就相对变大,足够量的箔条云面积,能使导弹误入箔条云假目标的概率增大,从而提高了舰的生存能力。

1.3.2.4 对于如导弹艇之类的高速攻击艇,因其本身目标就小,再采用了雷达截面积缩减技术,就可使其成为几乎难以被探测到的目标,这就大大提高了高速攻击艇的突袭能力。

1.3.3 雷达隐身技术在舰船设计中应用

舰船的特征信号有雷达截面积,红外线特征信号,磁性、光学、空气辐射噪声、水下辐射噪声、航行时的水压、尾迹及其他信号特征。在舰船隐身性设计的考虑中,这些都是不可避免的因素。但是在实现舰船本身的作战能力以及舰船总体设计上的限制等方面会带来不少制约因素,因此,在设计中一定要综合权衡,并对这些特征信号的特征因素的防护措施给予充分考虑。

不同的舰船担负着不同的使命任务,其作战功能要求和自身防护能力要求亦不尽相同。对于一条确定使命任务的舰艇来说,其雷达隐身设计到什么样的程度,是舰艇总体设计中需反复权衡的。设计师既要在舰体结构外形、舰面设备布局、吸波材料应用等方面尽力减小雷达截面积,同时又必须考虑舱容的有效利用、设备及电子武器装备的性能发挥、工艺上的可行性、经济性等诸多方面的因素,以达到综合性能兼优。

降低雷达信号特征在总体设计的初期就应展开,整个舰船的外形、船体、上层建筑、桅

杆和烟囱都应设计成具备较小的雷达截面积。经精心的外形技术处理的雷达截面积比按常规设计的舰船的雷达截面积可低一量级。但是一艘总体隐身设计良好的舰船,其实际上的雷达截面积可能很大,这是因为舰面大量的小型非隐形部件(设备)给弄糟了。舰面上的各类武器、传感器、甲板机械、小艇、栏杆、甲板突出物等未经隐身设计都会对雷达截面积产生很大的影响,舷窗、开口等产生的空腔效应也会带来很大危害。一个设计得很好的船体其雷达截面积可能只占全舰雷达截面积的极小一部分,而极大部分是由上述这些非隐形部件所造成的。因此,设备本身的隐形设计也极为重要,必须作为一个重要内容加以控制。对于那些未作隐形设计的部件(设备)来说,也可以采取位置选择、遮挡、屏蔽、涂敷吸波材料等措施来加以改善。