

电磁干扰对舰艇作战的制约

□ 李凯华

一、前言

舰艇电磁干扰危害众所周知，但它对舰艇作战行动的制约与限制却是在战争环境中暴露出来的。60年代末期，舰艇电磁干扰问题已是十分严重。越南战争期间美海军舰长J. S. 小奥勒尔写到大量电磁干扰问题“已明显影响舰队的作战行动，以致舰队的作战能力实际上受电磁干扰制约。要求特混舰队和分队指挥官在指挥战斗时考虑他们的电子设备界面的限制。在某些情况下，当命令导弹处于战备状态时，一般惯用作法是关闭某些搜索雷达和通信发射机；在另外的情况下，飞机的起飞和着舰也规定采取这样的措施。美国是在非常受限制的环境下进行战争”。事实上舰艇电磁干扰对作战舰艇的制约与限制，在海战中已给舰艇带来了严重的后果，在马岛海战中英国驱逐舰“谢菲尔德”号被“飞鱼”导弹击沉就是一个典型例子。据1986年5月16日《华盛顿邮报》报道，当时该舰正在同英本土进行无线电通信联络，为了避免雷达干扰作战电话联系，关闭了该舰雷达，恰在此时被来袭导弹击中。

现代舰船是用先进电子设备与系统装备起来的移动式信息社会，海军作战舰艇离开电子设备就不可能完成预期功能。以舰载作战系统为例，电子设备提供了雷达预警、跟踪和制导，武器系统控制、指挥与决策，外部和内部通信，数据传输处理，敌我识别，电子战，导航，遥测，水下探测，气象等。甚至一些武器装备也是电引爆方式。这些电子设备所产生、接收、传送、处理、贮存的电信号中含有大量信息。电磁干扰使电信号模糊、畸变和差错，导致信息错误、丢失和虚假，造成电子设备和系统有效性发生不允许的降低。世界上先进国家海军十分重视预先解决电磁干扰对舰艇的制约与限制问题，以避免在未来的海战中出现不希望的局面。除开展大量实验研究外，还从设计生产建造入手进行周密严格地电磁兼容性设计和采取各种电磁干扰控制措施。如今，舰船电磁兼容性已成为现代舰船最重要指标之一。

二、电磁干扰危害和根源

现代环保科学把电磁辐射列为继水污染、空气污染、噪声污染和环境污染之后的第五公害，称之为电磁污染。它是人类社会不断扩大开发利用电磁能资源过程中出现的公害。舰艇是移动的信息社会，自然毫不例外。但由于舰艇上装备的设备系统多、能量大、灵敏度高，再加上设备高度密集等原因，致使电磁辐射这一公害发展到无以复加的地步。海军舰艇开发利用了从0Hz~40GHz几乎整个无线电频谱，发射机平均功率高达几千瓦，用电量几乎相当一个城市的电量。在一个空间有限的舰艇上集中布置那么多的天线及设备，自然会产生严重的电磁污染和频谱污染。电磁干扰(以下简称EMI)定义为：“任何能中断、阻碍、降低或限制通信电子设备有效性能的电磁能量”。舰船电磁学指出，凡有产生、应用电能和磁能的地方，都有电磁现象发生。舰艇上一切产生和应用电磁能的设备都可能是有害的电磁辐射干扰和传导干扰源。舰艇是一个含有巨大电磁能量的、信息即将爆炸的、既要求保持电磁环境“清洁纯净”又要有许多大功率发射机发出强大电磁辐射造成环境污染的矛盾体。

1. 电磁干扰的危害

EMI危害是使舰艇作战能力受到制约和限制的原因。现实生活中，许多EMI危害仍然被容忍。例如，无线耳机中的嘈杂声，尽管十分讨厌使人疲劳，但无可奈何。严重的EMI危害是不允许的，如出现电磁兼容性故障。电磁兼容性故障定义为：“由于电磁干扰或灵敏性原因，使系统或有关的分系统及设备失灵，从而导致使用寿命缩短、运载工具受损、飞机失事或系统效能发生不允许的永久性下降”。EMI危害十分深广，主要有：

(1)降低功能指标

话音系统

话音和正弦波信号系统，在EMI作用下会发生畸变失真。舰艇自身产生的非线性产物干扰，常使远航的舰艇无法收听北京的新闻联播。例如，接收机收听调幅广播时，本舰产生的电磁干扰使信号干扰比下降。当信号干扰比为18dB时，可清楚听见干扰但语言接收良好。当信号干扰比为12dB时，语言尚可辨认但听音乐不行。当信号干扰比为0dB，此时EMI完全淹没语言信息已无法辨别，接收中断。舰载高频通信发射机发信时，本舰接收机常被阻塞无法正常收信。

图像显示系统

图像显示系统包括雷达显示器、电视、传真、图示和字母数字读出器等。它们在EMI作用下会出现模糊差错，严重时使人无法观看和不能作出判断。例如，EMI与雷达目标回波信号一起进入雷达接收机时，雷达显示器出现扭曲线状干扰条纹。试验证明，当一名技术熟练的雷达员在显示器上进行目标定位时，轻微EMI可使该雷达员发现目标的最大距离缩短10%，严重EMI缩短25%；如果该目标以超音速飞行，轻微EMI使发现目标的最大距离缩短20%，严重EMI缩短50%，这意味着此时雷达作用距离减半，雷达功能指标严重降低。

数字系统

舰载作战系统有不少由电子计算机和数字设备组成的数字系统。EMI使误码率或误信率增大，降低数字系统可靠性。无论是耦合的本舰强EMI还是设备内部的EMI，都可能使数字电路中出现错误的0码或1码，或者使电路发生错误翻转。例如，在二进制系统中，鉴相器输入端测得的信号干扰比和信号噪声比均为15dB时，误码率为10的负12次方。如果干扰为随机噪声，信号噪声比下降3dB时，误码率增大为10的负8次方。强电磁辐射会对电子计算机造成危害，计算机低电平电路受到中等程度电磁辐射时常发生突然停机或存贮信息丢失等故障。

指针式系统

指针式电子仪表在EMI作用下会造成定位误差和缩短作用距离。EMI使指针式仪表指示误差增大、错误指示、乱摆和抖动。像舰载无线电测向仪、舰载飞机无线电罗盘等极易受本舰EMI影响。实验发现, 当本舰EMI通过天线、电源线、地线和线路进入使接收机输出噪声增加一倍时, 作用距离将缩短1 / 3, 严重降低系统性能指标。

(2)误动作、误爆和误燃

EMI场强直接被雷达、遥测、侦测等定向天线接收后, 定向天线会作出错误动作, 误跟踪、误指向或乱摆动。舰载电操纵、电控制设备与系统中, 大都含有数字电路、放大电路等电子线路或(和)含有像继电器、电磁开关等执行器件。数字电路工作电压约十几伏, 直流24伏继电器工作电压也不高。本舰大功率发射机辐射和大电流电气装置瞬变干扰, 通过辐射和传导耦合都可能在上述电路和装置中感应耦合几十伏的EMI电压, 使电操纵控制设备及系统产生误动作, 危及控制系统工作和安全。

强电磁辐射可能对敏感的电爆装置存在有早爆、误爆和失控的危险。在有易燃气体区域, 强电磁场在金属体上感应电压可能引起金属之间产生电弧飞弧, 从而引起燃油蒸汽的误燃, 危及舰艇使用及安全。

(3)辐射危险、电磁暴露与电磁泄密

人员距大功率发射天线很近受到照射时, 强电场辐射会伤害眼睛等器官组织。现代舰艇上这种非电离辐射危害一般不会发生, 有良好的防范措施, 但危险依然存在。

舰艇上所有发射机均不发射时, 或者处在无线电静默时, 舰艇本身仍有EMI辐射产生。舰艇电气装置、电力系统、发电机、电动机等都产生很强的EMI辐射, 并通过外露导线电缆等辐射到外界空间。金属舰体、上层建筑、甲板上的设备都有复杂的电磁辐射。对于那些有隐蔽作战要求的舰艇, 这种EMI辐射是十分不利的, 因为很容易被远处敌舰侦测出。过早的电磁暴露对于那些需要隐蔽的舰艇是相当危险的。

电子计算机、数字设备及系统有频谱很宽的电磁辐射, 可以从舱门、窗、孔等辐射到外面空间, 也可沿电源线、控制线、信号线、地线等传导到甲板上并转化为电磁辐射。这种电磁辐射中常含有机密信息, 会造成电磁泄密。

2. 电磁干扰的根源

(1)本舰强电磁场

舰载雷达、通信、导航等发射天线发射时, 舰艇被笼罩在本舰产生的电磁场之中。发射机功率越大, 电磁场越强。本舰强电磁场像“有毒烟雾”一样污染舰艇电磁环境, 无孔不入, 无缝不钻, 或转化成电流电压侵袭到舰载作战系统内部。接收天线接收耦合本舰强电磁场; 外露导线电缆感应接收强电磁场后将干扰电流电压传导到设备中; 门、窗、孔、盖等都是强电磁场进入的通道; 外露导弹、发射筒架、枪炮、甲板上飞机、扶手栏杆等都会感应出电压。由于天线林立、桅杆、索具、武器设置密集, 强电磁场被金属体反射和散射, 形成复合电磁场, 加剧EMI制约与限制作用。

(2)非线性元件和互调产物

电路非线性产生互调是电子学理论重要内容之一, 凡应用电子技术的设备和系统都可能因存在非线性元件而产生互调产物。通常把有危害的互调产物称之为互调干扰, 它是重要的EMI源。

(3)电气装置

舰载发电机、变流机、电动机、电网调整装置、电源设备都有EMI源。交流电谐波干扰总畸变可达额定电压的5%, 浪涌电流可达额定电流的1~10倍, 瞬态尖峰电压峰值高达1~2千伏, 它们产生的辐射干扰和传导干扰频谱很宽。例如, 交直流电机干扰频谱约在100Hz至15MHz范围, 内燃机电点火装置干扰频谱可高达几百兆赫, 荧光灯干扰频谱约在0.1至3MHz范围等等。电源开关、继电器、电磁阀等都产生干扰。电源干扰是最普遍危害长久的EMI源之一。

(4)电子设备

电子设备中诸如信号发生器、数字脉冲电路、放大整流电路等都是EMI源。例如, 开关电源干扰频谱0.1~30MHz, 双稳态电路15kHz, 电传打字机1~3.6MHz等。它们沿电路、信号线、地线等传导和向空间辐射。有些电子设备如电子计算机、接收机等具有双重特性, 既是EMI的受害者又是EMI源。

三、解决制约与限制的方法

解决EMI对舰艇制约与限制的根本方法是实现舰艇电磁兼容。电磁兼容性(以下简称EMC)定义为: “舰船设备、分系统、系统在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态。”这就是说, 舰载设备不会由于受到处于同一电磁环境中其它设备的电磁发射导致或遭受不允许的降级, 它也不会使同一电磁环境中其它设备(分系统、系统)因受其电磁发射而导致或遭受不允许的降级。显然, 实现EMC是件困难复杂的工作, 它面临三大难题: 第一, 必须解决由于本舰大功率发射电平高出接收机灵敏度电平160dB以上带来的收发共站址干扰问题; 第二, 必须将舰体非线性元件和互调产物电平减至允许程度; 第三, 必须能实时、适时对本舰EMC / EMI预测和有效管理。从国内外发展趋势分析, 大都采取如下解决措施:

(1)EMI控制

舰艇EMI控制是必不可少的解决措施, 包括EMI控制计划方案、频谱管理和采取的切实可行的各种降低EMI技术措施。

(2)EMC / EMI预测

在现役舰艇上采用微机和EMC / EMI预测软件对本舰进行预测, 协助舰艇指挥员在技术业务组织实施前预测可能出现的状况、选择最佳方案和避免干扰。

(3)EMC设计

设计和建造新型舰艇时严格进行EMC设计。

解决EMI对舰艇制约是件需要各方全面通力协作的工作, 因为它不仅同舰艇总体有关, 而且同设备有关; 它不仅同电子、电气有关, 而且同舰体、构造、布局、工艺有关; 它不仅同舰艇研究设计、生产建造有关, 而且同舰艇使用管理、维修保养有关。