

电磁兼容性设计——现代舰船新潮流

□ 李凯华

一、EMC运动

二战后各海军大国为增强舰船战斗力，在缺乏电磁兼容性(EMC)设计情况下，仓促安装了许多同无线电通信争夺有限空间和有限频谱资源的对海与对空搜索雷达、火控雷达、导航和电子对抗设备，导致电子系统之间出现严重相互干扰。近代微电子技术的发展，使舰载作战系统有可能成为一个把电子、信息、计算机、武器相结合在一起的智能系统。电磁干扰的危害从单纯电性能下降与电信号失真误差转而表现为情报与控制信息错乱虚假和自动控制与武备系统的误动作，电磁干扰制约并限制了舰船作战功能。在紧急时刻，电磁干扰能中断或降低电子系统性能从而产生严重后果。越战期间暴露出的舰船电磁干扰问题震惊了美国海军。美海军时报记者谈到“谢菲尔德”事件时称“相同或类似的问题也可能出现在美军舰船上。”为此美海军曾在80年代开展了“EMC运动”。事实上世界其它海军大国也都相继把EMC置于重要位置，开始从各个方面加强电磁干扰控制，力图实现电磁兼容。

二、EMC设计方兴未艾

世界性的EMC运动，主要体现在舰船设计、建造、大修和现代化改装中，严格执行EMC计划，强制执行电磁干扰控制，强制采取各种各样的电磁兼容技术，并要求贯穿到采购、计划、组织和管理工作中。在实施EMC设计中明显有下列各种倾向：

1. 改革结构

为净化舰船电磁环境，减少上层建筑和甲板上设备对舰船电磁场的影响，改革舰船结构，降低复合射频能量环境造成的电磁干扰，减少非线性元件造成的非线性产物干扰。

(1)上层建筑和甲板上设备在本舰发射机发射时，可能产生阻挡、反射、截获、传导、绕射、散射和再辐射电磁能的作用，以及金属构件非线性和锈蚀螺栓效应，加剧了电磁干扰。为避免上述缺点，现代舰船设计尽量减少上层建筑和甲板上设备，使桅杆、支架、索具等越少越好。为减少强电磁能量有害的反射、散射，采用圆弧流线型设计，减少边缘棱角。

(2)采用整体结构，避免连接和搭接。整体结构增强金属化，减少连接和搭接可减少地电流干扰。由于地阻抗不均匀产生的地电位差往往是探测设备、计算机等灵敏装置受到电磁干扰的原因。

(3)需要固定、连接和搭接的金属构件，采用熔焊或铜焊等焊接，不用螺栓固定连接。那些不能焊接连接的地方，在连接处两端焊接跨接条。

(4)减少活动连接，尽可能将活动连接件改成非金属材料，或者将其与船体绝缘，或者在活动金属连接件两端焊接跨接条。

(5)一切可以用非金属材料代替金属材料构件地方尽可能用非金属材料代替。例如栏杆、扶手等，减少射频灼伤危险和反射散射作用。

(6)采用吸波材料或安装电磁能量吸收器，在关键部位采用吸波材料或安装电磁能量吸收器，可减少几十分贝，有效减少雷达虚假目标和改善电磁环境。

2. 减少设备

舰载设备是产生电磁干扰的根源，也是电磁干扰的受害者和传播者。设备数量越多，干扰源越多，受危害机会越多，电磁干扰问题越严重复杂。战后舰载设备数量急剧膨胀的势头，近年似乎有所减弱，这显然与认识到增加新设备可能带来电磁干扰有关。首先改变了以往不加选择一味追求先进的作法，要经过EMC论证。减少设备数量是在提高设备质量基础上的。高质量设备才有可能减少重复设置，才可能满足EMC性能指标要求。装舰的先进设备必须具有先进的EMC指标。装舰设备必须是经过严格EMC标准考核合格者。

3. 完善设计

舰船EMC设计是现代潮流。舰船总体设计中，上层建筑、天线、设备等优化布局，频谱资源的合理利用，系统和设备工作的协调，这些空域、频域、时域EMC设计均占有极重要位置。作战系统、电子系统、电气系统是按总体EMC界面要求设计，它们反过来又影响总体设计指标。现代先进舰船具有良好EMC性能指标，大都经过高质量EMC设计，采用新工艺新结构，减少舰体非线性元件，实施电磁干扰控制、软化、阻断、隔离等措施。

4. 作用距离

舰载探测、侦察、通信、指挥、情报传输等系统作用距离大小同EMC设计有密切关系。电磁干扰影响作用距离的直接原因一是电磁干扰使信号/干扰(或信号/噪声)值下降到允许值以下，接收系统和设备收不到有用信号；二是电磁干扰被误认为是有用信号进入接收机。在舰船总体设计、系统组成和选择设备时，任何会使接收机(或灵敏装置)输入端信号干扰比下降和产生虚假信号的举措都应避免。

5. 理想环境

舰载对电磁信号非常灵敏(或敏感)的系统、设备和装置，需要有一个安全可靠的工作环境。这个理想电磁环境要由舰船总体、系统和设备提供和保证。同时，舰船实际能达到的理想电磁环境又是确定灵敏系统、设备和装置灵敏度的依据。理想环境可以用电磁场强、电压和电流表示，是频率、空间位置、时间等变量的函数。

6. 电子系统

减少发射机带外功率发射是EMC设计重要内容之一。通信、雷达、导航和武器控制系统发射的互调产物、谐波、乱真信号、宽带信号、高电平旁瓣等均是强电磁干扰，需要将其控制在允许值以下。选择大功率发射机时，

必须考虑到由此带来的强电磁干扰问题。对于接收系统，在接收天线至接收机之间不希望有有源设备、有源器件和非线性结构，以免增大干扰(噪声)电平和增加互调产物干扰，降低作用距离。适当选择大动态范围和具有高抗干扰能力的接收机是有益的。

7. 电气装置

增大电气系统设备功率时，应考虑到大功率电气设备滤波是十分困难的。大电流滤波电感线圈很难制造。单纯采用增大接地电容方法不仅使地电流干扰增大，还会有漏电流太大的危险。电源系统和设备产生的电磁干扰，是长期困扰灵敏系统的因素。小心选择电气装置和电源调整变换装置，以免对声纳、视频和数字系统产生干扰。

8. 接地和搭接

舰船有严格的接地和搭接要求。接地和搭接采用焊接，不用螺栓连接。信号地、安全地和干扰噪声地的地线均采用信号地线标准，十分有利于电磁兼容。接收天线系统应有极小的接地电阻值，否则会增大干扰(噪声)电平，降低信噪比缩短作用距离。选择确定单点和多点接地系统时，重要的是必须考虑到进入该系统的电磁干扰频率。例如，一个典型的单点接地低频系统，有从外部耦合来的较强高频干扰，且该低频系统各部分间距以及地线长度较长超过高频干扰波长的几十分之一，则该系统应采用多点接地系统，或者采用单点与多点相结合的复合式接地系统。

9. 增强屏蔽有效性

屏蔽有效性是舰船广泛采用屏蔽技术的核心问题。许多地方表现出确保屏蔽连续性相当困难。现实生活中常由于工艺结构缺陷或长期失修原因，使完整屏蔽体瓦解出现屏蔽中断，致使屏蔽有效性下降。例如，完整的屏蔽电缆由于外屏蔽层从屏蔽插头(座)上脱落被分解成不连续的两部分；屏蔽壳体、盖板、接插件金属接触部分锈蚀或接触不良，间断和接触阻抗突变破坏连续性，等等。屏蔽连续性被破坏会严重降低屏蔽有效性，十分不利于电磁兼容性。

10. 舰载飞机

舰载电子系统和舰载飞机之间存在有电磁干扰问题。舰载飞机在甲板上使用电子系统时，舰载电子系统同舰载电子系统间有可能相互影响。近区飞行时空中的旋翼也可能产生不良影响。舰船同飞机之间要避免电磁危害保证相互安全，起飞、着舰和甲板上通电检查以及添注燃油和军械操作加载时，均应采取有效防护措施避免电磁辐射对武器弹药危害和电磁辐射飞弧与静电积累对燃油危害发生。

舰船EMC设计广泛深入。专门的电磁辐射对人员、武备、燃油危害防护设计，核电磁脉冲防护设计，电磁信息防泄漏设计等均属于EMC设计范围。舰载电子系统EMC设计更是丰富多采，光纤技术、自适应技术、干扰相消技术等新技术、新工艺、新器件、新材料层出不穷。现代EMC技术是跨学科综合性技术，它集现代科学于一体。

三、计算机广泛应用

80年代，采用计算机进行EMC模拟预测达到高潮。EMC计算机辅助设计重要性不断提高，作用日益增大。美国海军80年代常用的三个模拟程序是：舰船通信电磁兼容性分析(SEMCAC)、舰船微波电磁兼容性分析(SEMCAM)和舰船露天区设计模型(TDM)。SEMCAC程序及其辅助程序天线散射分析程序(ASAP)计算给出通信EMC设计、通信性能、天线方向性和阻抗、最佳天线布局、辐射危害图等结果。

SEMCAM程序是微波系统天线间耦合干扰程序，用于评估舰船设计各微波系统和天线布置的优缺点。TDM是用于舰船设计、现代化及大修EMC计算机辅助设计程序。该程序用简单的三维几何图形评估露天区部件设备的电磁性能。比较天线优劣，给出方向性图和增益，给出通信作用范围和雷达探测范围，对全向天线和定向天线系统进行性能评估。并用图示法对舰载作战系统覆盖区作出预测。近来计算机和软件的发展，使计算机应用日益向实时和适时预测、管理、使用EMC方向发展，开始出现了舰载电子系统中的电磁干扰自动检测预报，EMC频率和功率自适应管理控制与电磁干扰软化摘除，为舰载作战系统服务的EMC智能系统等。

[选择本期文章题目](#)



MSEO

