

# 在大型飞机上解决通信系统 电磁兼容性问题的几种措施

刘 志 春

(空军第三研究所)

随着航空事业的飞速发展,各种新型飞机应运而生,机载电子设备的种类和数量与日俱增,所占用的电磁频谱越来越宽,所传输的信息量越来越大,因而机上电子设备之间的电磁兼容性问题亦越来越突出。

近年来,某些大型飞机,如军用的预警机、侦察机以及一些民航客机,仅就机上通信系统而言,设备种类之多,数量之大,是前所未有的。比如英国研制的猎迷(NIMROD)预警机,有机载短波(HF)、超短波(VHF和UHF)电台11部;俄罗斯的A-50预警机有机载电台15部之多,频段包括HF(2~30MHz),VHF(100~150MHz),UHF(225~400MHz),C波段(3GHz/6GHz)和S波段(1.52~5.2GHz);美国E-3机载预警和控制系统(AWACS)有HF、VHF、UHF和L波段(960~1215MHz)的电台达26部,通信天线近30副,到海湾战争时,电台又增至32部之多,并正在增设EHF(20GHz/44GHz)卫星(MILSTAR)通信设备。

如此繁多的通信设备,加上其他的电子设备(雷达、导航、敌我识别、电子侦察等设备),在飞机的有限空间内共存并要同时工作。如何解决相互之间电磁干扰的影响,是关系到一种新型飞机成功与否的大问题。这也是国内外一直高度重视机载

电子设备电磁兼容性的重要原因。

国内外关于电磁兼容性(EMC)的军标(如美国的MIL-STD-461,我国的GJB-151和152)对机载电子设备的电磁发射和电弱敏感度等均有明确的规定。在考虑机上设备或分系统配置时,首先要求所有的单项设备要满足EMC标准的规定。此外,就机载通信系统而言,还有以下几种措施可供采用。

## 1 电性能分隔

在机内有限的电磁环境中,各通信设备的发射机和接收机之间存在的干扰,概括地说,不外乎通过下列三种途径所造成的六种干扰。

三种干扰途径是:

- (1) 发射机之间的信号耦合;
- (2) 发射机与接收机之间的信号耦合;
- (3) 接收机之间的信号耦合(指本振辐射)。

造成的六种干扰是:

- (1) 发射机中产生的谐波、互调产物或其他杂散成分干扰其他接收机;
- (2) 发射机的背景噪声使其他接收通道灵敏度降低;
- (3) 由于邻道发射机信号很强,可能使接收机的RF前端电路堵塞,或使接收机产生交扰调制(或称转移调制);

- (4) 接收机中产生的互调干扰;
- (5) 接收机本振辐射干扰邻近接收机;
- (6) 接收机中的中频干扰或象频干扰等。

为了有效在抑制上述这些干扰, 目前国外采用的一种措施是在发射机或接收机

与天线之间串接自动电调谐的高 Q 值 (达 1000 以上) 同轴腔体滤波器, 或者发射机与天线之间再串接一个环形器, 这就是所谓的“电性能分隔”措施。

表 1 所列德国 R/S 公司生产的三种 VHF 和 UHF 的电调谐滤波器性能。

表 1 电调谐滤波器性能

型号 性能	FU 211	FD 211	FD 213A
频段(MHz)	100~16.2025	255~400	225~400
通带(3dB)	$>0.05\% f_0$	$>0.05\% f_0$	$>0.05\% f_0$
选择性	衰减 20dB, $<\pm 0.4\% f_0$ 40dB, $<\pm 1\% f_0$ 60dB, $<\pm 4\% f_0$	衰减 20dB, $<\pm 0.4\% f_0$ 40dB, $<\pm 1\% f_0$ 60dB, $<\pm 4\% f_0$	衰减 20dB, $<\pm 3\text{MHz}$ 35dB, $<\pm 7\text{MHz}$ 40dB, $<\pm 11\text{MHz}$
插损	2dB	2dB	2dB
调谐时间	6 秒 (典型值)	6 秒 (典型值)	6 秒 (典型值)
阻抗	50Ω	50Ω	50Ω
电源	28vdc	28vdc	28vdc
体积(mm <sup>3</sup> )	483×220×500	483×220×500	483×150×606

同轴腔体滤波器有单腔、双腔、四腔的, 腔体数越多, 选择性越好, 带外抑制性能越高。

由表 1 可见, 如果收发信机能各配一个腔体滤波器, 工作频率 ( $f_0$ ) 的间隔为  $\pm 1\% f_0$  (比如  $f_0 = 130\text{MHz}$ , 间隔即为  $\Delta f = \pm 1.3\text{MHz}$ , 则在接收机和发射之间, 将有 40dB 以上的隔离度; 若工作频率间隔为  $\pm 4\% f_0$ , 则收发信机之间将有 60dB 以上的隔离度。显然, 可以有效地抑制 (衰减) 来自邻近频道通信设备 (或来自其他电子设备) 的种种干扰。当然, 由于滤波器存在插入损耗, 会降低一些发射功率和接收灵敏度。

对于发射机来说, 还可在电调谐滤波器与天线之间, 再接一个环形器。环形器为一宽带单向器, 在 V/UHF 频段, 一般做成同轴形式, 这是一种不可逆的三端

网络。

一种 VHF 环形器, 正向插损  $<1\text{dB}$ , 而反向衰减  $>22\text{dB}$ ; 一种 UHF 环形器, 正向插损  $<1.7\text{dB}$ , 而反向衰减  $>18\text{dB}$ 。

由于邻近发射机信号可能通过天线串入本发射机末级功放, 而末级功放存在非线性, 可能产后互调产物, 干扰别的接收机。采用环形器即可有效地抑制互调产物或其他杂散成分的产生, 防止干扰邻台工作。

还有其他的电性能分隔措施, 但解决 EMC 问题最有效的、目前用得较多的是自动调谐同轴腔体滤波器。虽其体积较大, 重量亦重, 但在大型飞机上是能够承受的。

## 2 空间分隔

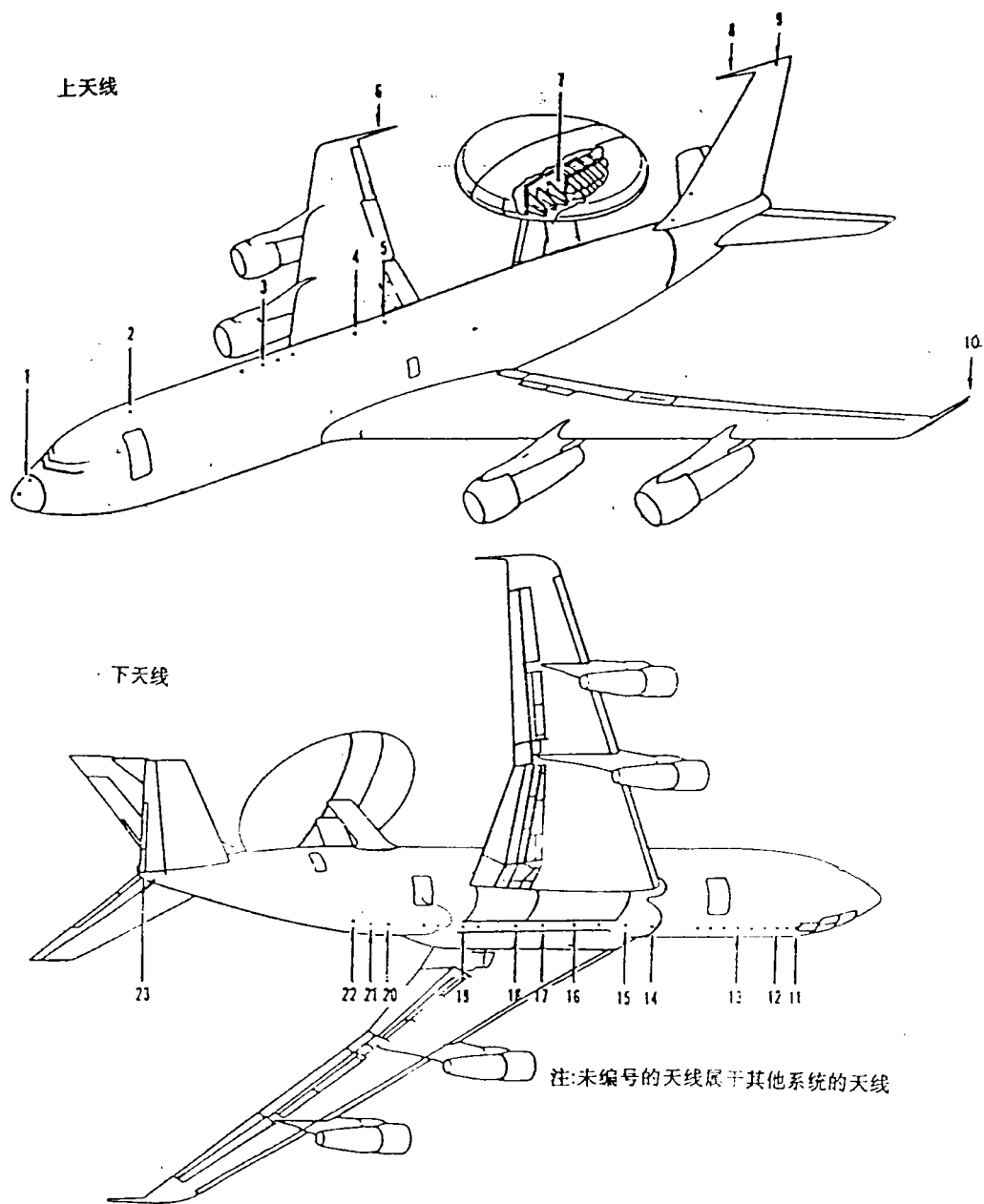


图1 E-3B 通信系统天线布局图

空间分隔, 指机上各种天线和机内各种设备需统筹安排、合理布局, 尽可能得到最大的空间隔离度, 使相互之间的干扰减至最低。

现举例说明空间分隔的考虑原则。图 1 为美军八十年代服役的 E-3B 机载预警和控制系统飞机的通信系统天线布局图。表 2 为通信系统天线说明。

表 2 通信系统天线说明

序号	天 线	电 台	类 型
1	①JTIDS 天线	JTIDS	矩形喇叭
2	UHF 高功率发射天线	T1	刀形
3	UHF 低功率发射天线	R / T10, R / T11 [B] [C] T17, T18	刀形
4	VHF—AM 收 / 发天线	R / T1	刀形
5	UHF 接收天线	R / T10, R / T11 [B] [C] R17, R18	刀形
6	HF 发射天线	T2	探针
7	UHF 发射 TADIL—C / LINK 4 定向天线	T1	对数周期
8	HF 发射天线	T1	探针
9	HF 接收天线	R1R2 LESS CO R3	尾帽
10	①HF 发射天线	T3	探针
11	UHF 高功率发射天线	T3	刀形
12	UHF 低功率发射天线	T5R / T19	刀形
13	UHF 低功率发射天线	R / T8, R / T9 [B] [C] T16	刀形
14	UHF 低功率发射天线	R / T7, R / T12 [B] [C] T14, T15	刀形
15	VHF——FM 收 / 发天线	R / T1	刀形
16	CHF——AM 收 / 发天线	R / T2	刀形
17	UHF ADF 天线	R13	嵌装环形
18	VHF—AM 救生接收天线	R3	刀形
19	UHF 接收天线	R / T8, R / T9	刀形井
20	UHF 救生接收天线	R6, R / T12 [B] [C] R14, R15	刀形
21	UHF 接收天线	R2, R4 [B] [C] R16	刀形
22	UHF 接收天线	R / T7, R / T19	刀形
23	①JTIDS 天线	JTIDS	矩形喇叭

该飞机配装了 26 部无线电通信设备, 23 副通信天线。通信天线的布局兼顾了最

好的空间分隔效果和最佳的通信效果。由图 1 可知:

(1) HF 天线设置在飞机的最极端位置。因 HF 电台的发射功率高达 1KW, 故将 3 部 HF 电台的发射天线(探针天线)分别置于飞机两翼尖和垂尾尖, 使其相互影响减至最小, 也使其对 V/UHF 通信设备和其他电子设备的影响减至最低程度。

(2) 所有的超短波通信天线均置于机背和机腹的中心线上, 这是为了以防止机身对某一方向传播电波的遮挡以获得最佳的通信效果。因超短波天线为全向天线, 超短波为直接波传播。

(3) UHF 高功率(AM 达 325W, FM 高达 1300W)发射天线置于机头上下; UHF 低功率(AM30W, FM 为 100W)发射天线置于机头稍靠后一点的位置; VHF 收/发共用天线(半双工工作方式)置于机腹或机背的中部位置, 由于与 UHF 频段不同, 除了空间隔离外还利用了频率分隔措施; 在机腹或机背中部的靠后的位置设置 UHF 接收天线。所以如此分布是为了使发射天线(特别是高功率的发射天线)尽可能远离同一频段的接收机天线, 防止发射机对邻道接收机造成堵塞或干扰。据测, 一副 UHF 的机背天线和一副 UHF 机腹天线之间, 若工作频率间隔为 7MHz, 有 40dB 的隔离度。

(4) 三军协同通信用的联合战术信息分布系统(JTIDS)是传递重要情报信息和指挥、引导信息的通信系统。为了取得最佳的通信效果, 并防止其他发射信号的干扰, 可将天线设置在机头尖端和机尾尖端。

从以上几点可以看出大型飞机通信系统中天线分布的考虑原则。在进行实际的系统工程设计时, 必须在掌握各种参数和

实验数据的基础上, 经过详细的计算和验证, 方能获得最佳的空间分隔效果。

至于机舱内各通信设备机柜的安装布局, 也有类似的考虑原则。比如, 双工工作的接收机要远离大功率发射机, 通信设备要远离强功率的雷达发射机, 各设备机柜之间要有严格的隔离和屏蔽措施, 等等。

### 3 频率分隔(即频率管理)

大型飞机的通信设备繁多, 各设备应能在共同的电磁环境中执行各自的功能, 这就必须实行频率管理。也即在大量的实验和计算的基础上, 通过统计处理方法导出其规律性, 规定各频段的发射机与发射机之间, 发射机与接收机之间的最小工作频率间隔, 即采取频率分隔措施, 以保证各设备能同场兼容工作。

我们亦以 E-3B 预警机通信系统为例。表 3 为该通信系统的频率分隔准则表。该表是在实际的 E-3B 飞机上进行了大量的理论计算和实验验证而制定的。预警机在执行战略、战术任务之前, 按表中所列的各发射机与发射机之间、各发射机与接收机之间的频率间隔选择工作频率, 即可防止相互干扰, 或使相互干扰减少到可允许的程度。

如前所述, 在天线布局中, 除了空间分隔外, 还可采用不同频段或不同频率的天线交错分布的方法, 以提高各信道之间的隔离度。

在机内设备的分布上, 可将不同频段的通信机柜交错分布, 以改善磁兼容性能。

表3 频率分隔准则表

	设备 / 设备	建议频率分隔
UHF	发射机—发射机	$3\text{MHz}$
	低功率发射机—接收机	$2.5\text{MHz}$
	高功率发射机—接收机	$3.5\text{MHz}$
	接收机—接收机 (同一多路耦合器)	$3\text{MHz}$
	接收机—接收机 (不同多路耦合器)	$2.5\text{MHz}$
	高增益发射机—IFF 子谐波	$25\text{kHz}$
	发射机杂散—接收机	$25\text{kHz}$ , 提供杂散发射 $<9\text{MHz}$
	发射机—接收机杂散	$25\text{kHz}$ , 提供杂散发射 $<9\text{MHz}$
	互调—UHF 接收机 3 至 7 阶产物, 二部发射机一次产生	$50\text{kHz}$
VHF —AM	发射机——发射机救生	$25\text{kHz}$
	发射机—发射机	$5\text{MHz}$
	发射机—接收机	$4\text{MHz}$
	发射机—救生接收机	$500\text{kHz}$
HF 和 VHF —FM	HF 发射机—VHF FM 接收机	$3\text{MHz}$
	发射机谐波—VHF FM 接收机 (多至 38 次谐波)	$100\text{kHz}$
	VHF FM 发射机—IF 频率	$100\text{kHz}$
	VHF FM 发射机—HF 接收机	$2\text{MHz}$ 或 HF 接收机频率的 10%
	HF 发射机, HF 发射机互调—HF 接收机 二阶和三阶和产物 五阶产物	$50\text{kHz}$ $7\text{kHz}$
	HF 发射机—HF 接收机 $<15\text{MHz}$ $>15\text{MHz}$	$2\text{MHz}$ 接收频率的 20%
	HF 发射机, VHF—FM 发射机互调—HF 接收机二阶和三阶产物 五阶产物	$50\text{kHz}$ $7\text{kHz}$
	HF 发射机, HF 发射机互调—HF 接收机 二阶至五阶产物	$50\text{kHz}$
	HF 发射机谐波—HF 接收机	10% 的接收机频率
	HF 发射机——HF 发射机	$1\text{MHz}$ , 或较低的发射机频率的 10%
	HF 发射机——IF 发射机	$100\text{kHz}$
禁止 频率	所有频段	$25\text{kHz}$

## 4 时间分隔

时间分隔主要是对使用而言。在飞机执行任务的过程中,为了保证重要信息的传递,必要时可采取分时使用方式,以避免电子设备之间的干扰。国内外已有过这样的使用方式。比如,有的飞机上配装了兼有通信数据传输和塔康(TACAN)导航功能的L波段机载设备,就是采用了“时分”使用的工作方式,即在进行数据传输通信时,TACAN不工作;而在进行TACAN导航时,数据传输不工作。这就避免了两者之间的相互影响。

又如,在有的飞机上,TACAN导航和敌我识别器设备内设有互相闭锁的电路,当敌我识别器发射询问信号时,同时闭锁TACAN接收机;而当TACAN发射导航信号时,同时闭锁敌我识别接收机。这也是为了防止邻近的强发射信号损坏接收机而采取的一种保护措施。

八十年代以后,国外的军用战略、战术飞机大多配装了具有电子对抗措施(ECCM)的通信设备。比较典型的例子是美军的E-3预警机,在海湾战争时,配装了19部UHF“HAVE QUICK”跳频(FH)电台。这种电台在现代电子战环境中,可以抗电子干扰的跳频方式工作,其工作频率可在 $225\sim 400\text{MHz}$ 全频段快速跳变(跳速可达500次/秒以上)。显然,一旦工作在这种FH方式时,UHF频段的频谱污染是严重的。因为高选择性的自动电调谐滤波器不可能用于跳频电台,其换频调谐时间达6秒左右,远不能适应快速跳变的需要。在严重的电子对抗环境中,若无别的有效分隔措施,也只能优先保证跳频电台的正常工作,以保证

重要的战术信息传输。这也就是说,在电子干扰环境中,ECCM通信设备工作;在无电子干扰环境中,常规通信设备工作,或FH电台工作在常规通信方式。

在通信设备的技术体制上,采用时分多址(TDMA)的技术体制可增大通信容量,并可减少通信设备和通信天线的数量,从而减轻机上EMC的压力。美军的JTIDS系统即为这类设备的典型代表。该系统可进行高速组网数据传输和话音通信,其数据率高达240kbps(TDMA)或300kbps(DTDMA),在数据传输的同时,还可实现四路全双工的话音通信。此外,JTIDS系统为通信、导航、识别(CNI)综合系统,它不仅可以取代同类功能的多个通信设备,还兼有导航和敌我识别功能。显然,这种技术体制,是解决机载电子设备EMC的一种有效措施,当然也是增大信息传输容量,提高抗电子干扰能力,减小体积、重量的一种先进的技术体制。

现代大型飞机上的电磁兼容性问题是一个极其复杂而又至关重要的技术问题。在进行机载通信系统(或其他电子系统)的设计时,必须首先要求各设备和系统要符合电磁兼容性的标准,即在规定的电磁环境电平下不因电磁干扰而降低性能,各设备本身产生的电磁发射亦不得大于规定的极限电平。此外还应选择采用诸如上述的“电性能分隔”、“空间分隔”、“频率分隔”、“时间分隔”以及天线共用等措施,并尽力实现机载电子设备的综合化。只有这样,才能保障机上数量繁多的电子设备能兼容地工作,进而保障飞机能完成各种飞行和战斗任务。