

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测量控制系统

电磁兼容技术

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

第一部分 电磁兼容概论

第1章 绪 论

1.1 电磁兼容概述

电磁兼容是近 20 年才蓬勃发展起来的一门新兴学科,它与电磁环境和频谱资源有着密切关系。随着电子信息技术的飞速发展及各类电气、电子、信息设备的日益广泛应用,人类生存、活动空间中存在着越来越复杂的电磁场,充溢着越来越大的电磁能量。据专家预测,空间电磁能量将以每年 7% ~ 14% 的速度增长。这必将给空间环境带来越来越严重的电磁污染,对人类的生存、活动和各种仪器设备的工作产生越来越重大的影响。因此,如何确保在整个或某个局部空间环境中,尽量减少以至消除电磁污染对人体健康和设备功能的影响,实现电磁兼容,便成为人类需要特别关注并着力解决的重大技术难题之一。

1.1.1 电磁干扰及其危害

电磁兼容是相对于电磁干扰而言的。一般说来,当电磁发射源产生的电磁场信号对其周围环境中的装置、设备或系统(包括有生命和无生命系统)产生有害影响时,则称之为电磁干扰信号,简称为电磁干扰。可见,电磁干扰一定是有害信号,也叫电磁噪声。

电磁干扰按频谱划分,通常可分为以下 6 类。

- (1) 工频干扰:50Hz 频率,6000km 波长。
- (2) 甚低频干扰:30kHz 以下频率,10km 以上波长。
- (3) 载频干扰:10kHz ~ 300kHz 频率,1km 以上波长。
- (4) 射频、视频干扰:300kHz ~ 300MHz 频率,1m ~ 1km 波长。
- (5) 微波干扰:包括特高频、超高频、极高频干扰,频率为 300MHz ~ 300GHz,波长为 1mm ~ 1m。

(6) 雷电及核电磁脉冲干扰:频率范围很宽,最低可接近直流,最高可达 PHz 级。

不同频段的电磁干扰的危害情况不尽相同。

电磁干扰的危害主要表现在以下几方面。

1) 对电子设备的危害

辐射能量大的强电磁干扰,可以使电子设备中的半导体器件的结温升高,造成 PN 结击穿和烧穿短路,使器件性能降低或失效,从而直接影响设备的正常工作,使信息失误,控制失灵,引发各类事故。另外,当电子设备工作时,由于电磁辐射的作用,即使辐射不强,如果不采取一定的措施,其辐射的信息内容也容易被有心侦察者清晰、稳定地接收,从而造成严重的泄密。这本质上也是对电子信息设备工作安全性、可靠性的一种危害。

2) 对军械装备的危害

在现代飞机、坦克、舰船、导弹和航天飞行器及运载火箭上,都有许多电引爆装置,它已成为军械系统必不可少的设备。然而,电磁波通过电引爆装置的控制电路感应耦合,形成干扰电流,可能引起爆炸。有关电磁干扰辐射对军械系统的危害问题,最早是由英国人 1932 年在一次意外爆炸事故的分析中提出的,并为此后的许多射频能量引发意外爆炸的事故和试验所证明。半个多世纪以来的大量试验研究和失败经验表明,由于电磁干扰能量的作用,雷达可使导弹、火箭误发射,使飞机座舱盖误开启;调幅/调频广播电台可使雷管误爆炸,鱼雷误发射;双路无线电可使电引爆器误引燃;无线电辐射干扰可使飞机机翼副油箱误投放;射频发射机可使导弹在飞行中意外失效;机载电子设备的干扰可引起飞机偏航、损坏

或意外投弹;等等。

3) 对燃油、燃气的危害

各种低燃点的燃油、燃气在强电磁场作用下有发生燃烧和爆炸的危险。理论和实验研究表明:燃油蒸气在电磁波频率为2MHz~13MHz范围的发射天线辐射的电磁波照射下,如果发射功率为100W,天线与燃油距离在11.5m~75m之间,就会发生自燃而引起爆炸;在24MHz~32MHz频率范围的电磁波,其场强只要达到37V/m便可获得引起电弧和电火花放电的电磁能量极限值(50VA),从而产生电弧和电火花放电,使燃油燃烧起爆;当易挥发的燃油装在密封的油罐车中运输时,由于燃油在车罐内晃动摩擦会造成电荷积累,引发静电放电,一旦燃油蒸气和空气的混合比例满足一定条件,这种静电放电就会使燃油引燃起爆。国外就曾发生过多起由此引发的油轮及工厂爆炸事故。

4) 对人体的危害

电磁能量通过对人体组织器官的物理化学作用会产生有害的生理效应,造成较严重的危害。电磁辐射对人体的危害表现为热效应和非热效应两方面。当辐射的功率密度高达 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以上时,以明显的热效应为主,这时电磁辐射通过对人体细胞加热,增加血液的流通和发热,并使外部感觉神经末梢受到加热刺激作用,产生病理、生理和神经反应。当人体长时间接受高功率密度的辐射时,就会引起体温升高,如果温度升高率超过机体热调节系统的散热能力,就会引起烧伤、出血、组织坏死等损伤,甚至导致死亡。即使短时间接受高功率密度辐射,也可引起眼睛的损伤,容易发生白内障。当电磁辐射的功率密度低于 $1\text{mW}/\text{cm}^2$ 时,对人体的危害以非热效应为主,其作用机理主要表现为:在适当频率和强度的电磁场中,人的血液特性会发生微小变化;在射频场作用下,染色体结构会出现变异;在脉冲射频照射下,蛋白质分子会出现运动、定位和极化。长时间接受这种低功率密度辐射,人的神经系统、造血系统和细胞免疫系统将会受到损害,从而引发头痛、头晕、疲劳、嗜睡、失眠、记忆力衰退、心悸、忧郁、神经质和性功能减弱等

病症。

电磁辐射对人体的危害程度,不仅取决于辐射的功率密度和时间,还与辐射波的频率有关。一般来说,人体皮肤对高强度射频照射有吸收、反射和穿透3种作用机理。在1GHz以下频率的电磁波照射下,约有50%~60%的辐射能量能穿透人体;对1GHz~3GHz频率范围内的电磁波照射,辐射能量能全部被人体吸收,使人体深处的细胞致热效应最明显,温升最快,最易导致内部器官的损伤;而3GHz以上频率的电磁波照射时,其辐射能量一部分被皮肤表面吸收,一部分被皮肤反射,因此只会加热表面皮肤,不会加热内脏,对人体危害较小。

为了防护电磁辐射对人体造成的危害,世界各国都在进行相关研究的基础上,对电磁辐射量的安全容限值作出了自己的规定,我国也于1979年、1985年、1988年、1989年先后多次制定/修订了一系列相应的标准。例如1989年我国颁布的作业场所微波辐射卫生标准(GB10436—89)就对微波电磁辐射的安全限值作了以下规定:

(1) 对连续波,一天8h暴露的平均功率密度为 $50\mu\text{W}/\text{cm}^2$;一天暴露时间(t)不等于8h的平均功率密度为

$$P_d = 400/t \quad (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$$

(2) 对脉冲波固定辐射,一天8h暴露的平均功率密度为 $25\mu\text{W}/\text{cm}^2$;一天暴露时间(t)不等于8h的平均功率密度为

$$P_d = 200/t \quad (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$$

(3) 对脉冲波非固定辐射,平均功率密度限值与连续波相同。

(4) 对肢体局部辐射(不分连续波和脉冲波),一天8h暴露的平均功率密度为 $500\mu\text{W}/\text{cm}^2$;一天暴露时间(t)不等于8h的平均功率密度为

$$P_d = 4000/t \quad (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$$

1.1.2 电磁兼容与电磁兼容性

所谓兼容,通常指的是处于同一环境、状态中的万事万物能够

和谐共存,互不伤害。电磁兼容则是针对电磁环境而言的。按我国军用标准 GJB72—85 给出的定义,电磁兼容系指设备(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。即该设备不会由于受到处于同一电磁环境中的其他设备的电磁发射而导致或遭受不允许的降级,也不会使同一电磁环境中其他设备(分系统、系统)因受其电磁发射而导致或遭受不允许的降级。这就是说,处于同一电磁环境中的所有电子设备和系统,均能按照设计的功能指标要求满意地工作,互不产生不允许的干扰,就认为它们是电磁兼容的;否则,就是电磁不兼容。从电磁兼容的观点出发,在设计电子设备、系统时,除按要求进行功能设计外,还必须基于设备、系统所在的电磁环境进行电磁兼容设计,一方面使它具有规定的抗电磁干扰能力,另一方面使它不产生超过限值的电磁干扰。

电磁兼容性指的是电子设备、系统在规定的电磁环境中,按照设计要求而工作的能力,即电磁兼容能力。它表征的是共存于同一电磁环境中的设备、系统间互相兼容的程度好坏,是设备、系统的一种重要的技术性能。

在分析中,通常把系统内电磁兼容性和系统间电磁兼容性区分开来。前者指的是给定系统内部各分系统、设备及部件相互之间的电磁兼容程度,后者则指的是给定系统与其所在电磁环境中的其他系统之间的电磁兼容程度。

从上述电磁兼容性的观点出发,电子设备、系统(分系统)可分为兼容、不兼容和临界兼容 3 种状态,并用电磁干扰裕量(M_1)来定量衡量其兼容性能。电磁干扰裕量(用 dB 表示)定义为

$$M_1 = I - S \quad (\text{dB}) \quad (1-1)$$

式中 I ——干扰电平(dB);

S ——敏感度门限电平(dB)。

当 $M_1 > 0$ 时,表示设备或系统处于不兼容状态;当 $M_1 < 0$ 时,表示设备或系统处于兼容状态;当 $M_1 = 0$ 时,表示设备或系统处于临界兼容状态。 $|M_1|$ 越大,说明兼容性越好或不兼容问题越

严重。

电磁兼容和电磁相容性是过去抗干扰概念的扩展和延伸,目前已发展成一门独立的新兴交叉综合性技术学科。在技术发展的早期阶段,实现电磁兼容主要靠改进个别电路和结构的方案,以及使用频谱的计划分配。但到现在,仅靠被动地采用个别的局部措施已远远不够。从整体上说,电磁兼容问题具有明显的系统性特点,在电子设备/系统设计、研制、生产和使用的全过程中,都必须考虑这个问题,主动采取措施抑制电磁干扰。只有这样,才能保证电子设备/系统在整个寿命期中满足电磁相容性要求。今天,有关电磁兼容的定义、理论和电磁相容性标准,已成为一个国家、一个地区、乃至世界范围内解决电子设备/系统相互间电磁兼容问题的基础。

1.1.3 与电磁兼容有关的常用术语

电磁兼容作为一个新的学科领域,必然要统一定义一系列名词术语,并且作为电磁兼容标准的重要内容之一,以保证该领域中叙述、论证问题的统一性和设计、测量结果的可比性。遗憾的是,各国际标准化组织以及各国制定的相应标准中,对同一名词术语的定义也不完全相同。本书主要根据我国军用标准《电磁干扰与电磁兼容名词术语》(GJB72—85),列出一部分较常用名词术语供读者参考使用。

1) 有关噪声与干扰方面的术语

(1) 电磁噪声(Electromagnetic noise)——与任何信号都无关的一种电磁现象。通常是脉动和随机的,但也可以是周期性的。

(2) 自然噪声(Natural noise)——由自然电磁现象产生的电磁噪声。

(3) 人为噪声(Man-made noise)——由机电或其他人工装置产生的电磁噪声。

(4) 无线电噪声(Radio noise)——射频频段的电磁噪声,即具有无线电频率分量的电磁噪声。

(5) 电磁干扰(Electromagnetic interference)——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。也有的地方把电磁干扰叫做电磁骚扰(Electromagnetic disturbance),而把电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降叫做电磁干扰。本书不赞成这种定义,而倾向于对骚扰和干扰不作严格区分,这样反而更有利于抓住问题的本质。

(6) 干扰源(Interference source)——任何产生电磁干扰的元件、器件、设备、分系统、系统或自然现象。

(7) 工业干扰(Industrial interference)——由输电线、电网以及各种电气或电子设备工作时引起的电磁干扰。

(8) 宇宙干扰(Cosmic interference)——由银河系(包括太阳)的电磁辐射引起的电磁干扰。

(9) 天电干扰(Atmospheric interference)——由大气中发生的各种自然现象所产生的无线电噪声引起的电磁干扰。

(10) 辐射干扰(Radiated interference)——由任何部件、天线、电缆或连接线辐射的电磁干扰。

(11) 传导干扰(Conducted interference)——沿着导体传输的电磁干扰。

(12) 宽带干扰(Broadband interference)——一种能量频谱分布相当宽的不希望有的发射。当测量接收机在 ± 2 个脉冲带宽内调谐时,它对接收机输出响应的影响不大于3dB。

(13) 窄带干扰(Narrowband interference)——一种主要能量频谱落在测量接收机通带内的不希望有的发射。

(14) 电磁脉冲(Electromagnetic pulse)——围绕整个系统(它犹如一个天线),具有宽带大功率效应的脉冲,例如在核爆炸时就会对系统产生这种影响。

(15) 电磁环境(Electromagnetic environment)——设备、分系统或系统在执行规定任务时,可能遇到的辐射或传导电磁发射电平在不同频率范围内功率和时间的分布。电磁环境有时也可用场强表示。

(16) 电磁环境电平 (Electromagnetic ambient level)——在规定的试验地点和时间内,当试验样品尚未通电时,已存在的辐射和传导的信号与噪声电平。环境电平是由人为和自然电磁能量共同形成的。

(17) 系统内干扰 (Inter - system interference)——由本系统内部原因引起的电磁干扰。

(18) 系统间干扰 (Intra - system inferences)——由其他系统对本系统造成的电磁干扰。

(19) 静电放电 (Electrostatic discharge, ESD)——具有不同静电电位的物体相互靠近或直接接触时引起电荷转移的现象。

2) 有关发射与接收的术语

(1) 发射 (Emission)——以辐射或传导形式从源向外发出的电磁能的现象。

(2) 辐射发射 (Radiated emission)——以电磁波形式通过空间传播的电磁发射。

(3) 传导发射 (Conducted emission)——沿电源线或信号线传输的电磁发射。

(4) 宽带发射 (Broadband emission)——带宽大于某一特定测量接收机带宽的发射。

(5) 窄带发射 (Narrowband emission)——带宽比测量接收机带宽小的发射。

(6) 发射带宽 (Band width of an emission)——任一带外频谱分量的电平都不超过参考电平的某一规定百分比的频带宽度。

(7) 带外发射 (Out of band emission)——由调制过程引起的紧靠必要带宽的单个或多个带外频率点上的发射。

(8) 脉冲发射 (Impulse emission)——由重复频率不超出所用接收机脉冲带宽的脉冲所产生的发射。

(9) 谐波发射 (Harmonic emission)——发射机发出频率为载波频率整数倍的但不是信息信号组成部分的一种电磁辐射。

(10) 寄生发射 (Parasitic emission)——发射机发出的由电路

中不希望有的振荡引起的一种电磁辐射。它既不是信息信号的组成部分,也不是载波的谐波。

(11) 乱真发射(Spurious emission)——在必须发射带宽以外的一个或几个频率上的电磁发射。这种发射电平降低时不会影响相应信息的传输。乱真发射包括谐波发射、寄生发射以及互调制的产物,但不包括为传输信息而进行的调制过程在紧靠必须发射带宽附近产生的发射。乱真发射又称杂散发射。

(12) 信噪比(Signal - to - noise ratio)——规定条件下测得的有用信号电平与电磁噪声电平之间的比值。

(13) 选择性(Selectivity)——接收机分辨给定的有用信号与无用信号的能力或这一能力的度量。

(14) 有效选择性(Effective selectivity)——在规定的特殊条件下例如接收机输入电路过载时的选择性。

(15) 邻频道选择性(Adjacent channel selectivity)——用与频道间隔相等的信号间隔所测得的选择性。

(16) 灵敏度降低(Decensitization)——因无用信号引起的接收机有用输出的减小。

(17) 交调(Crossmodulation)——非线性设备、电网络或传播媒介中信号的相互作用所产生的无用信号对有用信号的调制。

(18) 互调(Intermodulation)——发生在非线性的器件或传播媒介中的一种现象。由于一个或多个输入信号的频谱分量相互作用,产生出新的分量,其频率等于各输入信号分量频率的整倍数的线性组合。

互调可以是由单个非正弦输入信号或多个正弦/非正弦信号作用于同一或不同输入端引起的。

(19) 中频抑制比(Intermediate frequency rejection ratio)——接收机上使用的任一中频频率上的规定信号电平与产生同样输出功率的有用信号电平之比。

(20) 镜频抑制比(Image rejection ratio)——接收机镜频频率上的规定信号电平与产生同样输出功率的调谐频率的有用信号电

平之比。

3) 有关干扰控制与电磁兼容性能方面的术语

(1) 干扰抑制(Interference suppression)——通过滤波、搭接、屏蔽和接地或这些技术的任意组合,削弱或消除电磁干扰发射的行为。

(2) 屏蔽(Screen)——用来减少交变电磁场向指定区域穿透的措施。

(3) 屏蔽效能(Shielding effectiveness)——对给定外来源进行屏蔽时,在某一点上屏蔽加上前后的电磁场强度之比,通常以dB表示。

(4) 屏蔽体(Shield)——为了阻止或减少电磁能传输而对装置进行封闭或遮蔽的一种阻挡层。它可以是导电的、导磁的或带有非金属吸收材料的。

(5) 电磁敏感性(Electromagnetic susceptibility)——设备、分系统或系统暴露在电磁辐射下所呈现的不希望有的响应程度。

(6) 降级(Degradation)——任何设备、分系统或系统的工作性能偏离预期的指标,使工作性能出现不希望有的偏差。

(7) 辐射敏感度(Radiated susceptibility)——对造成设备降级的辐射干扰场的度量。

(8) 传导敏感度(Conducted susceptibility)——当引起设备不希望有的响应或造成其性能降级时,对在电源、控制或信号引线上的干扰信号电流或电压的度量。

(9) 敏感度门限(Susceptibility threshold)——使试验样品呈现最小可辨别的不希望有的响应的信号电平。

(10) 抗扰性电平(Immunity level)——装置、设备或系统面临电磁干扰不降低运行性能的最大干扰电平。

(11) 抗扰性限值(Immunity limit)——规定的最小抗扰性电平。

(12) 发射电平(Emission level)——用规定方法测得的由特定装置、设备或系统发射的某给定干扰电平。

(13) 发射限值 (Emission limit)——规定的电磁干扰源的最大发射电平。

(14) 电磁兼容电平 (Electromagnetic compatibility level)——预期加在工作于指定条件的装置、设备或系统上的规定的最大电磁干扰电平。

(15) 抗扰性裕量 (Immunity margin)——装置、设备或系统的抗扰性限值与电磁兼容电平之间的差值。

(16) 发射裕量 (Emission margin)——装置、设备或系统的电磁兼容电平与发射限值之间的差值。

(17) 电磁兼容裕量 (Electromagnetic compatibility margin)——装置、设备或系统的抗扰性电平与干扰源的发射限值之间的差值。

(18) 耦合系数 (Coupling factor)——给定电路中,电磁量(通常是电压或电流)从一个规定位置耦合到另一个规定位置,目标位置与源位置相应电磁量之比。

(19) 电磁干扰控制 (Electromagnetic interference control)——对辐射和传导能量进行控制,使设备、分系统或系统运行时尽量减小不必要发射的行为。所有辐射和传导的电磁发射不论它们来源于设备、分系统或系统都要进行控制。若在控制敏感度同时还能成功地控制电磁干扰,就能实现电磁兼容。

(20) 电磁易损性 (Electromagnetic vulnerability)——系统在人为的恶劣环境中遭到一定程度的机理性威胁后,在执行任务时经常出现有限程度降级的一种特性。

(21) 电磁兼容性故障 (Electromagnetic compatibility malfunction)——由于电磁干扰或敏感性原因,使系统或有关的分系统、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等。

1.1.4 电磁干扰形成三要素与电磁干扰效应

电磁干扰的形成必须同时具备以下 3 个因素:

(1) 电磁干扰源,指产生电磁干扰的元件、器件、设备、分系统、系统或自然现象;

(2) 敏感设备,指对电磁干扰发生响应的设备;

(3) 耦合通道,指把能量从干扰源耦合(或传播)到敏感设备上,并使该设备产生响应的通路或媒介。

通常将这3个因素称为电磁干扰三要素,如图1-1所示。

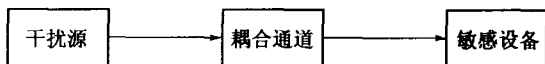


图1-1 电磁干扰三要素

由电磁干扰源发出的电磁能量,经过某种耦合通道传输至敏感设备,导致敏感设备出现某种形式的响应并产生效果。这一作用过程及其效果,称为电磁干扰效应。

为了说明电磁干扰源是否对敏感设备造成干扰,从而产生电磁干扰效应,通常引入电磁干扰安全系数 S_1 ,它定义为敏感度门限电平 S 与出现在关键试验点或信号线上干扰电平 I 之比值,即

$$S_1 = \frac{S}{I} \quad (1-2)$$

当 $S_1 < 1$,即 $S < I$ 时,表示存在潜在干扰效应;当 $S_1 > 1$,即 $S > I$ 时,表示无干扰效应,电磁兼容;当 $S_1 = 1$,即 $S = I$ 时,表示处于临界兼容状态。

如果 S 、 I 、 S_1 均用 dB 表示,则式(1-2)可改写为

$$S_1 = S - I \quad (1-3)$$

这样,当 $S_1 < 0$ dB 时表示有潜在干扰, $S_1 > 0$ dB 时表示无干扰效应, $S_1 = 0$ dB 时表示处于临界状态。

式(1-3)与式(1-1)本质上是一样的,只不过式(1-1)表示的是电磁干扰裕量,而式(1-3)表示的是电磁干扰安全系数。为了避免电磁干扰效应产生,保证系统和设备的电磁兼容性,一般应取 $S_1 = 3$ dB ~ 6dB,对于军用品,则还要提出更高的要求。

电磁干扰效应按其危害程度分为灾难性、非常危险、中等危

险、严重和使人烦恼 5 个等级。若电磁干扰效应仅表现为设备或系统的性能发生有限度的降级,这就是前面提到的“电磁易损性”。而若电磁干扰效应十分严重,设备或系统出现失灵,甚至引起严重事故,则说明出现了前述的“电磁兼容性故障”。

1.1.5 电磁兼容的实施

电磁兼容实施的目的是保证系统或分系统的电磁兼容性。从总体上看,电子、电气设备或系统的电磁兼容性实施,必须采取技术和组织两方面的措施。所谓技术措施,包括系统工程方法、电路技术方法、设计和工艺方法的总和,其目的是改善电子、电气设备的性能。采用这些方法是为了降低干扰源产生的干扰电平,增加干扰在传播途径上的衰减,降低敏感设备对干扰的敏感度(或提高抗扰度),等等。所谓组织措施,包括对各设备和系统进行合理的频谱分配、选择设备或系统分布的空间位置,还包括制定和采用某些限制性规章,目的在于整顿电子、电气设备的工作,以便消除非有意干扰。

就技术措施而言,在现代电子技术发展过程中先后出现了 3 种实施电磁兼容的方法。

1) 问题解决法

问题解决法是先进行设备或系统的研制,然后根据研制成的设备或系统在联试中出现的电磁干扰问题,运用各种抑制干扰的技术去逐个解决。这是一种早期普遍采用的方法,现在依然在实际中被广泛应用。这种方法的弊端和局限性是显然的。系统已经装配好,要彻底解决电磁干扰问题是很困难的,可能要进行大量的拆卸和修改,也许还要重新设计。对于大规模集成电路,可能要严重地损坏其版图,甚至要作大量返工。这不但会造成人力和物力的浪费,延长系统研制周期,而且会使系统性能下降。

2) 按规范设计法

这种方法是按颁布的电磁兼容性标准和规范进行设备和系统设计制造。这种方法可以在一定程度上预防电磁干扰问题的出

现,比用问题解决法更为合理。但由于标准和规范不可能是针对某个设备和系统制定的。因此,企图解决的问题不一定是真正存在的问题,只是为了适应规范而已。另外,规范是建立在电磁兼容实践经验的基础上的,没有进行电磁干扰的分析和预测,因而往往导致过量的预防储备,可能使系统成本增加。

3) 系统设计法

系统设计法是用计算机技术按预测程序针对某个特定系统的设计方案进行电磁兼容性预测和分析。这种方法从设计开始就预测和分析设备或系统的电磁兼容性,并在设备或系统设计、制造、组装和试验过程中不断对其电磁兼容性重新进行预测分析。若预测结果表明存在不兼容问题或存在太大的过量设计,则可修改设计后再进行预测,直到预测结果表明完全合理,才进行硬件生产和系统安装。用这种方法进行系统设计和研制,基本上可以避免一般出现的电磁干扰问题或过量的电磁兼容性设计。

系统设计法体现的是一种并行工程、系统工程的先进设计思想和设计理念,是现代电子系统电磁兼容性设计的总趋势。

实施电磁兼容是一项极为复杂的任务。在研究任何电子设备和电气工程设备时,应当在尽可能早的阶段上注意保证它们的电磁兼容性。随着设备研制工作的推进,可供利用的抗干扰措施将越来越少,而其成本却越来越高,如图 1-2 所示。可见,在早期阶段采取措施排除非有意电磁干扰对敏感设备的影响可得到比较好的效果,且经济上也更合算。据国外资料介绍,在设计阶段及时采取措施可以避免 80%~90% 的与干扰影响有关联的、潜在的困难。相反,在较晚的阶段上采用解决方法,结果表明,措施将更加复杂,需要追加更多的工作量和增加设备的消耗,延长研制周期,有时甚至根本无法解决。

实施电磁兼容,最后都必须通过电磁兼容性试验或测量予以验证。归纳起来,系统电磁兼容的实施在技术上需要经过 3 个步骤:

(1) 电磁干扰预测与分析;

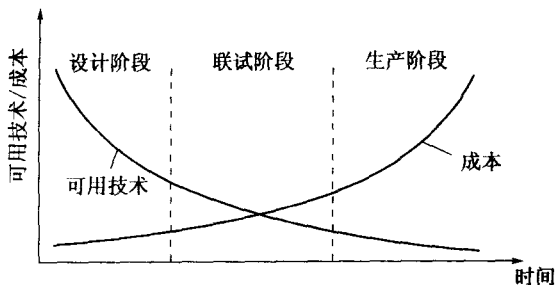


图 1-2 产品开发过程的各个阶段实施电磁兼容措施可用技术与成本的关系

- (2) 电磁兼容性设计；
- (3) 电磁兼容性试验。

1.2 电磁兼容技术

1.2.1 电磁兼容技术的内涵和学科特点

1) 技术内涵

电磁兼容技术的根本任务是使处于同一电磁环境中的各种电气、电子设备或系统能够互不干扰而正常工作，达到所谓的“兼容”状态。电磁兼容技术的研究则是紧密围绕形成电磁干扰的三要素而进行的，即研究干扰产生的机理、干扰源的发射特性以及如何抑制干扰的发射；研究干扰以何种方式、通过什么途径传播，以及如何切断这些传播通道；研究干扰接受器对干扰产生何种响应，以及如何降低其干扰敏感度，增强抗干扰能力。基于此，可将电磁兼容技术的内涵归结为对以下几方面技术的研究。

(1) 电磁干扰三要素特性的分析。人们为了抑制电磁干扰，首先必须分析弄清电磁干扰的特性和它的传播、敏感机理。如分析干扰信号的频谱特性可以了解它是宽带干扰还是窄带干扰；分析干扰信号的时间特性可以知道它为连续波、间歇波还是瞬态波等，以便决定采用不同的方法加以抑制。同样，如分析清楚了干扰

主要是通过空间辐射还是导线传导的方式从干扰源传播到干扰接受器的,并弄清了其基本传播特性,以及接受器对该干扰的响应特性和敏感指标,也就便于有的放矢地运用电磁场理论或(和)电路理论来对干扰加以控制。

而实际中的干扰源、干扰传播途径和干扰接受器都是多种多样的,具体特性千差万别,十分复杂,而且在实际工程中,电磁干扰的来源和传播耦合形态往往都不是单一的,而是由多种干扰源和多种基本耦合特性组合而成,表现为综合性的干扰及其耦合模式。如何从电磁场理论和基本电路理论出发,分析清楚各种典型的单一和组合的干扰源特性,干扰耦合模式和干扰形成机理,便成为电磁兼容技术的基本研究内容之一。

(2) 电磁兼容性分析预测技术。电磁兼容性分析预测是进行合理的电磁兼容性设计的基础。通过对电磁干扰的预测,能够对可能存在的干扰进行定量的估计和模拟,以免采取过高的防护措施,造成不应有的浪费;同时也可避免系统建成后才发现不兼容而带来难题。因为在系统建成后再修改设计,重新调整布局,即使花费很大的代价,有时也未必能彻底解决不兼容问题。因此在系统设计开始阶段就开展电磁兼容性分析预测是十分必要的。

电磁兼容性预测一般在3个级别上进行。第一个级别是芯片级预测。传统的芯片设计一般不考虑电磁兼容问题,这在低频工作时问题不大,但当芯片工作在高频时,电磁兼容问题便十分突出,它直接影响芯片的可靠性,因此必须在设计芯片时就考虑电磁兼容问题。目前,美国、日本和其他一些西方发达国家的半导体芯片生产公司已把电磁兼容设计、预测作为芯片生产过程中的首要步骤。第二个级别是部件级预测,包括印制电路板、多芯线、驱动器等电气电子部件本身的电磁兼容预测,以及部件与部件之间的电磁兼容预测。第三个级别是系统级预测,这是对诸如卫星、导弹、飞船、火箭、舰船、飞机等装有多种复杂电气电子设备的系统进行的电磁兼容预测。

电磁兼容性分析预测的方法是采用计算机数字仿真技术,将