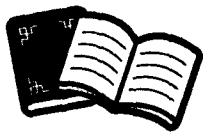


第一章



电磁兼容绪论

本章简明地介绍了电磁干扰对军事武器、工业设备、生产环境以及人体所产生的电磁危害案例；给出了电磁兼容性(EMC)、电磁干扰(EMI)的定义；回顾了电磁兼容学科的发展历史；介绍了电磁兼容学科的研究内容；指出了电磁兼容学科的特点。通过宏观概述，使读者对电磁兼容学科有一个清晰、全面的认识。

1.1 电磁干扰与电磁污染的危害案例

随着现代科学技术的发展，各种电子、电气设备已广泛应用于人们的日常生活、国民经济的各个部门及国防建设中。电子、电气设备不仅数量及种类不断增加，而且向小型化、数字化、高速化及网络化的方向快速发展。这些电子、电气设备正常工作时，往往会产生一些有用或无用的电磁能量，影响其他设备、系统和生物体，导致电磁环境日趋复杂，造成了“电磁污染”。下面我们介绍几例电磁兼容性故障及“电磁污染”危害案例。

1. 土星 V-阿波罗 12 事件

1969年11月14日上午，土星 V-阿波罗 12 火箭——载入飞船发射后，飞行正常。起飞 36.5 s 后，飞行高度为 1920 m 时，火箭遭到雷击。起飞 52 s 后，飞行高度为 4300 m 时，火箭又遭到第二次雷击。这便是轰动一时的大型运载火箭——载入飞船在飞行中诱发雷击的事件。故障分析及试验研究的结果表明，此次事故是由于火箭及其火箭发动机火焰所形成的导体（火箭与飞船共长 100 m，火焰折合导电长度约 200 m）在飞行中使云层至地面之间、云层至云层之间人为地诱发了雷电所造成的。

2. 民兵 I 导弹飞行故障

民兵 I 导弹的遥测试验弹多次发射成功后，1962 年开始进行战斗弹状态的飞行试验。前两发导弹均遭到失败。这两发导弹的故障现象相似，都是在 I 级发动机关机前炸毁。炸毁时的高度一个为 7.6 km，另一个为 21.8 km。在炸毁前，两发导弹的制导计算机均受到脉冲干扰而失灵。经过分析，故障是由于导弹飞行到一定高度时，在相互绝缘的弹头结构与弹体结构之间出现了静电放电，它产生的骚扰脉冲破坏了计算机的正常工作而造成了此次故障。

3. 英国谢菲尔德号导弹驱逐舰惨剧

英阿马岛之战，英国谢菲尔德号导弹驱逐舰由于雷达与通信网络相互干扰，不能同时工作，当谢菲尔德号导弹驱逐舰与英国本土通信时，恰遇阿根廷的飞鱼导弹来袭，导致了舰毁人亡的惨剧。

4. 大力神 III C 运载火箭故障

1967 年，大力神 III C 运载火箭的 C-10 火箭在起飞 95 s 后，飞行高度为 26 km 时，制导计算机发生故障。C-14 火箭起飞 76 s 后，飞行高度为 17 km 时，制导计算机也发生了故障。经过分析，故障原因是制导计算机中采用了液体循环冷却方案，冷却液体在外部带有钢丝编织网套的聚四氟乙稀软管内流动。此钢丝套软管是用经阳极化处理的铝支架分段固定的，由于金属网套的不少处因支架阳极化氧化层破裂而接地，但有几段未接地，当冷却液体流动时，金属网套没有接地的部分与火箭地之间产生电压。当火箭飞行高度增加，气压下降到一定值时，此电压产生的火花放电使计算机发生了故障。

5. 宇宙神导弹爆炸事件

一发宇宙神导弹在起飞后数秒即发生爆炸，并造成发射台严重损坏。这是因为接地汇

流条与连接面之间的连接件不够紧固而产生锈蚀，此锈蚀表面形成了非线性整流结（锈螺栓效应），从而使指令接收机收到虚假指令信号而引起爆炸。

6. 可变速感应电动泵抽油站的电磁干扰

为了处理不断增长的北海石油矿藏，苏格兰建立了两个 6 MW 可变速感应电动泵抽油站，其中一个在 Negherly，一个在 Balbeggie。2001 年 10 月 16 日这两台设备一投入运行，本地电站和电话局收到的控诉便如洪水般涌来。从区域着，投诉集中在距离这两台设备的高空供电线（33 kV）12 英里（1 英里 = 1.6093 公里）以内的范围。距离供电线 4 英里的付费电话非常嘈杂，几乎不能使用。然而仅隔一条街道，一住户的电话却不受影响。其它征兆还有：电视帧同步丢失（屏幕滚动），辉光放电电路振铃。尽管这两台装置的设计符合电力工业的 G5/3 谐波标准，但上述现象证实这两台装置包含的更高次谐波，事实上可达 100 次（即 5 kHz）。这个问题成为有些行业工作人员的一个共同头痛的问题。最终，该问题引起政府部门的注意，并决定做些 EMC 补救工作。尽管这样做极度困难，且石油泵站停机的代价非常高，但最终还是完成了。

7. 医疗设备的失灵

1992 年，医务工作者在将一心脏病病人送往医院的途中，救护车上的监视器 / 电震发生器始终对病人进行观察。不幸的是，当医务人员一打开无线通话机请求帮助时，心机就会关闭。结果这位病人死了。分析表明：因为救护车顶已由金属材料改为玻璃钢，使得监视器单元暴露在特别高的电磁场内，受到了极强的干扰。这证明，汽车屏蔽效能的降低与强辐射信号的结合对此设备干扰极大。

8. 电吹风机引起的民事罚款

美国洛杉矶 Hartman 公司已同意支付 60 000 美元的民事罚款，以补偿其 1992 年生产的型号为 Hartman Pro1600 的吹风机由于本身的缺点给消费者带来的损失。美国消费品安全委员会（CPSC）认为，这些吹风机在开 / 关旋钮处于“断开”位置时能自动接通电源，当加热器工作时，其风扇不转，可能引起内部器件过热而发生火灾。

9. 飞机导航系统的故障

美国航空无线电委员会（RTCA）曾在一份文件中提到，由于没有采取对电磁骚扰的防护措施，一位旅客在飞机上使用调频收音机，使导航系统的指示偏离 10° 以上。因此，1993 年美国西北航空公司曾发表公告，限制乘客在飞机上使用移动电话、便携电脑、调频收音机等，以免骚扰导航系统。

10. 雷击引起的浪涌电压

雷击引起的浪涌电压，属于高能电磁能量，具有很大的破坏力。1976 年至 1989 年，我国南京、茂名、秦皇岛等地的油库以及武汉石化厂，均因遭受雷击引爆原油罐，造成惨剧。1992 年 6 月 22 日傍晚，雷电击中北京国家气象局，造成一定的破坏和损失。雷击有直接雷击和感应雷击两种，避雷针只能局部地防护直接雷击，对感应雷击则无能为力。对感应雷击，需要采用电磁兼容防护措施。

11. 强电磁辐射对电引爆军械的危害

关于射频辐射能量对军械系统危害的问题，最早由英国人在 1932 年提出。美国

早在 20 世纪 50 年代也已发现电磁辐射对军械的危害问题 (Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance ,简称 HERO 问题)美国海军特别重视 HERO 问题,这并非偶然。为了提高舰船的战斗能力,舰船上无线电电子设备成倍增加,但甲板的空间、面积有限,不可能像在陆地上那样用拉开距离的方法来隔离。此外,海军使用的无线电、雷达等的频带很宽,功率很大,加上舰船上层建筑及金属构件的不规则反射,使通信和雷达天线的近场分布复杂,电磁环境恶劣。于是,舰船上的武器就可能在强电磁场环境中贮备、运输、安装和使用,也就是说,在舰船特殊的条件下,海军必须重视强电磁场中武器的电磁易损性问题。

12. 电磁辐射对人体的危害

科学家致力于电磁辐射与生物体之间的相互作用的研究,迄今为止已有 30 多年了。他们将辐射电磁能量在生物体中的吸收以及随之而来的生物物理和生物化学过程的直接相互作用定义为原始作用,将由原始作用所引起的生物机体的结构和功能的变化定义为生物效应。在原始作用的部位产生的瞬间生物效应可以引起进一步的急性和慢性的间接变化。

经过大量科学实验发现,高功率密度一般大于 10 mW/cm^2 ,此时以明显的热效应为主。长时间接触高功率密度的辐射,可以造成机体损伤甚至死亡;短时间接受高功率密度的辐射,可以引起眼睛的损伤,易发生白内障。在低于 1 mW/cm^2 的低功率密度下,热效应不起主要作用。长时间接触低功率密度的辐射,动物的神经系统、造血系统、细胞免疫功能都会受到损害。另外,电磁辐射对遗传、生育等也会产生影响。

13. 手机辐射——人类健康的潜在危险

手机是现代人们生活和工作常用的一种新型通信工具。随着科学技术的发展和水平的提高,手机的地位越来越重要,其普及程度也越来越广泛。然而,手机在为人们通信带来快捷和方便的同时,也带来了一些麻烦,尤其是给人们的健康带来了一些影响。目前,世界各国的科学家和研究人员都在积极探索手机对人类健康所产生的危害,并正在采取相应措施,消除这种影响。

1) 电磁辐射形成污染

众所周知,手机在使用的过程中会产生电磁辐射。这种电磁辐射是以光速传播的,又可以通过传输通道间的交互作用形成污染,干扰人类的正常活动。因而,世界各国对日益严重的手机电磁污染格外重视,纷纷制定相关法规治理手机的电磁辐射。

早在 1993 年 1 月,美国各大报纸就曾在头版报道了佛罗里达州的凯瑞京状告 NEC 公司,诉其夫人因长期使用该公司的移动电话而致癌,要求该公司巨额赔偿。随后,世界上一些相关的公司开始制定了研究手机的生物效应计划,并着手降低移动电话对人体的电磁辐射强度。

尽管学术界对手机电磁生物效应的某些机理尚有争议,但不可否认,其在一定条件下会对人体产生危害。瑞典的一家科研机构对一万多个使用手机的瑞典人做了一项调查,结果表明,使用手机越频繁的入,其身体不舒服的感觉越明显。科技工作者已研究证明:人体持续受一定强度的电磁辐射会产生致热效应和非致热效应,可能会引起皮肤发热、眼球白内障、睾丸退化、身体疲倦、头痛、免疫功能下降等症状。

2) 手机微波易入人脑

瑞典隆德大学的研究人员最近还发现，手机发出的微波有可能为毒素进入人脑打开方便之门。隆德大学的一个研究小组是在对老鼠进行试验后得出这一结论的。他们把接受试验的老鼠置于一个相当于手机发出的微波量的环境中生活了一段时间，结果发现，老鼠血液中的白蛋白可以突破鼠脑中的防护层进入鼠脑。白蛋白是血液中的正常组成部分，但对大脑却有害。

隆德大学附属医院神经外科专家说，我们在鼠脑中发现了极微量的白蛋白，目前还不清楚，这将对鼠脑造成什么样的伤害，但其它的试验已经显示，即使向鼠脑注射非常少量的白蛋白，鼠脑细胞也能受到伤害，白蛋白的数量达到一定程度后脑神经细胞将被杀死，其后果是可能引发自体免疫性疾病，还可能引发老年性痴呆和帕金森氏病等病症。

隆德大学的研究人员认为，手机的微波是否对人脑也造成这样的后果，目前还不得而知，但人脑对血液中有毒成分的防护功能与鼠脑是一样的，而且既然白蛋白能突破防护层而进入大脑，那么比白蛋白更小或同样大小的分子也可能进入大脑。

3) 英国科学家弃用手机

国际医疗界对移动电话危害健康的副作用早已有所怀疑，最近牛津大学对此又提供了新的论证。该大学著名物理学家科林不久前指出，经他们广泛调查和实验取证，发现移动电话确实对人类健康有潜在危险。因为它会危害人脑的认知能力、记忆力与注意力，驾驶汽车时使用影响更大。科林是英国无线电保护委员会的辐射顾问，已接受政府委托负责监督全国移动电话的安全使用标准。科研人员在英国皇家医院也进行了移动电话志愿者实验。他们头部被连接一发射器，然后在一小时内，一半人接受 915 MHz 移动电话发出的微波，一半人不接受。紧接着接受有关心理检测，以判断大脑受影响情况。结果表明，没有接受微波辐射的一组人记忆力、注意力都优于或同于以前，而接受的一组人则普遍不如以前。

科学家指出，移动电话发出的低强度辐射影响大脑或神经细胞中传送信息的化学物质，由于这些物质带有电荷，因此射线会影响它们的功能。《星期日泰晤士报》报道，已有大量英国一流科学家开始少用或不用移动电话。

4) 多用手机容易衰老

英国科学家还警告说，多用手机容易使人衰老，就好像常吸烟的人衰老得快一样。最新发布的研究结果显示，手机的低度辐射会加速细胞的活动。而医学界相信，肿瘤、心脏病及老年痴呆症是由辐射引起的。据英国生物科学院一项研究显示，当细胞受到影响时，生物的防御系统就会启动，产生白蛋白“黏附”在细胞上，用以保护和修补细胞。而对于频繁使用手机的人来说，过多的白蛋白反而会“黏结”细胞，阻碍自然的修补程序。领导这项研究的波梅拉博士表示：“细胞会慢慢地不能如常运作，新陈代谢作用变得呆滞。”他说：“如果细胞修补活动过剧，就会出现过早衰老的现象。”波梅拉表示，他们曾利用昆虫进行相关实验，发现昆虫寿命缩短，并相信这种现象也会在人体发生。不过他们还需要进行更大型的研究去确定人体的反应。

5) “微波老鼠”丧失记忆

据英国一项人体测试结果显示，手机发出的电磁波有可能伤害肝脏和肾脏。手机长期

挂在腰部且免持听筒接听更是危险。同时，电磁波在腰间持续地接收和发射，会影响肾脏和女性的卵巢，患慢性肾衰的几率会增加。此外，男性应避免把手机放在前裤袋内，因为那里离睾丸和输精管太近。美国华盛顿大学专门研究手提电话的专家曾用老鼠作实验，将 100 只老鼠放进一个盛满水的大水桶中，水中则放置一个救生浮台，然后训练这些老鼠爬上救生浮台。为了让爬浮台的知识留在老鼠的长期记忆中，他重复训练这批老鼠六次。这位专家把其中 50 只老鼠暴露于与手提电话类似的微波辐射中。结果发现，另外 50 只不曾暴露在微波辐射中的老鼠，仍能驾轻就熟地由水中爬上浮台，但受微波影响的老鼠，则差不多全部丧失记忆，不知如何爬上浮台。

6) 患脑癌机会增加

过去的实验曾认为，使用手提电话会令人丧失短期记忆，忘记一些刚做过或看过的事，但“微波老鼠”的实验却显示，手提电话对长期记忆亦有显著影响。对老鼠的实验研究显示，手提电话发出的微波辐射除可能影响使用者的短期记忆外，也可能祸及长期记忆，把早已贮藏在脑中的记忆除掉。

美国一名科学家指出，美国 26 家移动电话公司拨款两亿美元，资助一项手机对健康影响的研究，结果发现，手机使用者患脑癌致死的机会较高。

英国《每日快报》透露，华盛顿的卡洛博士花了六年时间，研究使用手机对健康构成的影响，结果发现，手机使用者死于脑癌的机会较高，患脑外肿瘤的几率更是增加了两倍。

7) 建议用免提式手机

卡洛博士曾于 1999 年 2 月将研究报告提交给资助研究计划的 26 家美国移动电话公司，但这些公司一直没有就报告结果采取适当措施，保护消费者，英美两国的移动电话使用量也不减反增。卡洛博士接受采访时表示：“移动电话公司现正花费数以百万计的钱来抹黑我，因为他们不喜欢我告诉他们的事实。”卡洛博士对此感到愤怒及失望，他一再表示，任何人包括小孩子使用手机是安全的说法是不正确的。

卡洛博士的研究显示，脑部右边生肿瘤，可能跟人们把手机贴在右耳来接听有关。研究也发现，手机的天线所释放的辐射会迫害遗传基因。卡洛博士建议消费者减少使用手机，或使用免提式手机，避免手机接触耳部。

1999 年初，英国的研究员发现，手机会产生辐射热点，损害小孩子正在发育的脑部。另外，英国电讯一名前雇员 1999 年上诉法院，控告公司提供给他的手机导致他脑部受损。40 岁的科尼曾任职英国电讯，过去科尼每天都会使用手机几小时，他称手机的辐射令他短暂失去记忆。另一名受害人是 27 岁的多米尼西斯，过去两年他每天也使用手机几小时，他称使用手机致他患上罕见的“何杰金氏病”。估计日后有关手机的诉讼会增多，情形就如烟民控告烟草商一样。

8) 各国研制防范措施

到目前为止，有关手机对人类健康影响的大小问题，在科学界和学术界依然争论不休。但经过科学实验可以肯定的是：长期使用手机的入的健康会因为手机的电磁辐射而受到危害，其程度虽然有所不同，但是也不容忽视。目前，日本、以色列等国的科研机构都在积极探索降低手机辐射的新举措。以色列的科技人员前不久研制出了能够在一些重要的公共场所禁止使用手机的新装置，以避免在医院、飞机等场所由于手机的使用而造成公共

害。日本科学家也利用海洋中贝类的壳体经过加工，研制出了能够涂抹在手机外罩上的涂层，以减少或降低手机的电磁辐射。一些国家的管理部门还成立了专门机构，研究手机对人类健康的影响程度，以便采取相应措施。相信随着现代科学技术的发展，人们一定会找到既安全又方便的降低手机电磁辐射的新方法和新技术，从而使手机能够更好地为现代人类的生活和通信服务。

凡此等等，不胜枚举。由于电磁骚扰的频谱很宽，可以覆盖 0~40 GHz 频率范围，所以“电磁污染”已和水与空气受到的污染一样，正在引起人们的极大关注。

综上所述，可以看到，电磁骚扰有可能使电气、电子设备和系统的工作性能偏离预期的指标或使工作性能出现不希望的偏差，即工作性能发生了“降级”，甚至还可能使电气、电子设备和系统失灵，或导致寿命缩短，或使电气、电子设备和系统的性能发生不允许的永久性下降，严重时还可能催毁电气、电子设备和系统，而且还将影响人体健康。因此，人们面临着一个新问题，这就是如何提高现代电气、电子设备和系统在复杂的电磁环境中的生存能力，以确保电气、电子设备和系统达到初始的设计目的。正是在这样的背景下产生了电磁兼容的概念，形成了一门新兴的综合性学科——电磁兼容 (Electromagnetic Compatibility)。

1.2 电磁兼容的含义

在自然界中，电磁干扰源普遍存在，电磁骚扰现象大量出现，电磁干扰的产生使用电气设备、分系统和系统的工作性能降级或发生电磁兼容性故障，等等。那么，究竟什么是电磁干扰 (Electromagnetic Interference, EMI) 和电磁骚扰 (Electromagnetic Disturbance) 呢？

1.2.1 电磁干扰与电磁骚扰

电磁干扰是指电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降。这里，电磁骚扰是指任何可能引起装置、设备或系统性能降低，或者对有生命物质或无生命物质产生损害作用的电磁现象，而电磁干扰是指由电磁骚扰引起的后果。电磁骚扰可能是电磁噪声 (Electromagnetic Noise)、无用信号 Unwanted Signal, Undesired Signal 或传播媒介自身的变化。人们在生产及生活中使用的电气、电子设备在工作的同时，往往会产生一些有用或无用的电磁能量，这些电磁能量影响处于同一电磁环境中的其它设备或系统的工作，这就是电磁骚扰。可见，电磁骚扰强调任何可能的电磁危害现象，而电磁干扰强调这种电磁危害现象产生的结果。

我国国家军用标准 GJB72 - 85《电磁干扰和电磁兼容性名词术语》中指出，电磁干扰 (EMI) 是指任何能中断、阻碍、降低或限制通信电子设备有效性能的电磁能量。一些国家、国际组织也制定了各自的电磁兼容性标准，阐明了相关的名词术语。美国电气与电子工程师协会 (IEEE)、国际电工技术委员会 (IEC) 对电磁骚扰和电磁干扰给出了如下定义：Electromagnetic Disturbance is any electromagnetic phenomenon that may degrade the performance of a device, equipment or system, or adversely affect inert or living matter. An electromagnetic disturbance may be electromagnetic noise, an unwanted signal or a

change in the propagation medium itself. The abbreviation EMI stands for Electromagnetic interference and it is defined as the degradation of the performance of a device, equipment or system by an Electromagnetic disturbance. RFI stands for Radio-Frequency Interference and this is defined as the degradation of the reception of a wanted signal caused by a radio-frequency disturbance.

1.2.2 电磁兼容的含义

什么是兼容呢？一般来说，“兼容”描述一种和谐的共存状态，在这个意义上，它广泛用于各种自然的和人造的系统中。例如，某一近海中鱼类的生态问题，如果近海水域被生活污水和工厂排放的工业污水所污染，导致鱼类品种减少或死亡，那么人类及工厂与鱼类就“不兼容”。然而，采取适当的有效措施使生活污水和工业污水得到净化处理，达到鱼类在其中生存的标准，鱼类在含有经过净化处理的污水的近海水域的生存就不会受到污水的威胁，人类及工厂与鱼类就均“兼容”。

电磁兼容(Electromagnetic Compatibility, EMC)，对于设备或系统的性能指标来说，直译为“电磁兼容性”，但作为一门学科来说，应译为“电磁兼容”。电磁兼容是研究在有限的空间、时间和频谱资源等条件下，各种用电设备（广义的还包括生物体）可以共存，并不致引起降级的一门科学。电磁兼容性是指设备或系统在其电磁环境下能正常工作，并且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。在工程实践中，人们往往不加区别地使用“电磁兼容”和“电磁兼容性”，且采用同一英文缩写 EMC。

为了使系统达到电磁兼容性，必须以系统整体电磁环境为依据，要求每个用电设备不产生超过规定限度的电磁发射，同时又要求它具有一定的抗干扰能力。只有对每个设备作这两方面的约束，才能保证系统达到完全兼容。我国国家军用标准 GJB72-85《电磁干扰和电磁兼容性名词术语》中给出电磁兼容性的定义为：“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其它设备的电磁发射而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”。可见，从电磁兼容性的观点出发，除了要求设备（分系统、系统）能按设计要求完成其功能外，还要求设备（分系统、系统）有一定的抗干扰能力，不产生超过规定限度的电磁干扰。

世界各个国家、国际组织为了保证用电设备或系统可以相互兼容，制定了各自的电磁兼容性标准，阐明了电磁兼容的名词术语。美国电气与电子工程师协会（IEEE）给电磁兼容性下的定义是：“Electromagnetic Compatibility, EMC, is the ability of a device, equipment or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment.” 国际电工技术委员会（IEC）认为，电磁兼容是一种能力的表现，它给出的电磁兼容性定义为：“电磁兼容性是设备的一种能力，它在其电磁环境中能完成它的功能，而不致于在其环境中产生不允许的干扰”。

目前，电磁兼容学科的科技工作者又进一步探讨电磁环境对人类及生物的危害，学科范围已不仅限于设备与设备间的问题，而进一步涉及到人类自身，因此，一些国内外学者也把电磁兼容学科称为“环境电磁学”。

1.2.3 系统电磁兼容性

1. 系统与分系统

我国军用标准 GJB72-85 对电磁兼容领域中的常用术语——“系统”给出了明确定义，即系统 (System) 指若干设备、分系统、专职人员及可以执行或保障工作技术任务的技术组合。一个完整的系统除包括有关的设施、设备、分系统、器材和辅助设备外，还包括在工作和保障环境中能胜任工作的操作人员。从电磁兼容性的角度考虑，下列任何一种状态都可以认为是分系统 (Subsystem)：① 作为单独整体起作用的许多装置或设备的组合，但并不要求其中的装置或设备独立起作用；② 作为在一个系统内起主要作用并完成单项或多项功能的许多设备或分系统的组合。以上两类分系统内的装置或设备，在实际工作时可以分开安装在几个固定或移动的台站、运载工具及系统中。

需要注意的是，“系统”与“分系统”的概念是相对的。因为在“系统”的定义中若排除操作人员，那么同一物理系统在某一环境中可能被认为是“分系统”，而在另一环境中也可能被认为是“系统”。例如，车载通信系统可以被认为是电子战系统的分系统，然而当其单独执行通信任务时又可以被认为是相对独立的系统。

2. 系统内与系统间的电磁兼容性

系统电磁兼容性 (Systems EMC) 也称为系统级电磁兼容性 (System Level EMC)。美国军用标准 MIL-E-6051D 包含有系统电磁兼容性要求，这一标准以系统电磁干扰裕度作为衡量系统电磁兼容性的一个重要指标，对于军事系统，电磁干扰裕度为 20 dB。

系统电磁兼容性分为系统之间的电磁兼容性和系统内部的电磁兼容性。某系统与它运行所处的电磁环境或其它系统之间的电磁兼容性称为系统之间的电磁兼容性，IEEE 的定义为：“intersystem electromagnetic compatibility is the condition that enables a system to function without perceptible degradation caused by electromagnetic sources in another system.” 影响系统之间的电磁兼容性的主要因素有天线与天线的耦合、天线与电缆的耦合等。在给定系统内部的分系统、设备及部件相互之间的电磁兼容性称为系统内部的电磁兼容性，IEEE 的定义为：“intra-system electromagnetic compatibility is the condition that enables the various portion of a system to function without perceptible degradation caused by electromagnetic sources in other portions of the same system.” 系统内公共阻抗的耦合、设备机壳间的耦合、机壳与电缆的耦合、天线间的耦合等是影响系统内电磁兼容性的主要因素。

1.3 电磁兼容学科的发展历史透视

电磁兼容是研究电磁干扰这一传统问题的扩展与延伸，其发展历史可上溯至 19 世纪。下面我们按时间顺序透视其发展历史的概况。

1.3.1 第二次世界大战前

电磁干扰的重要性，在 20 世纪 20 年代开始被人们认识。随着无线电广播传输的开始，

无线电噪声（也称为电磁噪声）干扰受到美国电力设备制造商和电力事业公司的关注。这一电磁噪声严重到足以导致由美国国家电光协会（The National Electric Light Association）和美国国家电气制造商协会（The National Electrical Manufacturers Association）设立技术委员会以检验无线电噪声。当时的目的是发展适合的测量技术和执行标准。为此目的，在 20 世纪 30 年代，这些努力的结果是产生了几份技术报告，一份测量方法文件的出版和测试设备的发展。具体的进展包括建立测量架空电力输电线附近电场强度的步骤、测量无线电广播电台产生的场强、开发测量无线电噪声和场强的设备以及确定无线电噪声容限的信息库。

1881 年英国科学家希维赛德发表了《论干扰》的文章，标志着研究干扰问题的开端。在跨越大西洋的几个欧洲国家，涉及无线电干扰各个方面的技术论文陆续开始出现，这些论文不仅研究无线电传输的电磁干扰，而且研究无线电接收的干扰。1888 年德国物理学家赫兹首创了天线，用实验证实了电磁波的存在，从此开始了对电磁干扰问题的实验研究。在英国，人们于 1934 年详细分析了 1000 多个与无线电干扰相关的案例所产生的故障。人们发现这些无线电干扰来自电动机、开关和汽车点火装置的运行，并观察了来自电力牵引和电力输电线的干扰。在欧洲有这样的认识：无线电干扰领域有国际级的共同技术研究价值，无线电干扰问题的国际合作是必要的，因为无线电传输不认识地理和国家边界。此外，各种离开制造国，使用电动机、开关等的仪器和设备很可能在许多国家销售和使用，因此，这些设备必须符合所有相关国家的执行标准。国际电工技术委员会（The International Electro-technical Commission, IEC）和国际广播联盟 The International Union of Broadcasting 携手联合，在 20 世纪 30 年代，提出了相关的技术问题。在 1933 年，国际无线电干扰特别委员会（The International Special Committee on Radio Interference, CISPR - Comite International Special des Perturbations Radioelectrique）成立。CISPR 的第一次会议于 1934 年 6 月 28 日至 30 日在法国巴黎召开。CISPR 起初提出的两个重要问题是可以接受的无线电干扰限制和测量无线电干扰的方法。从此开始了对电磁干扰及其控制技术的世界性的有组织的研究。在后来的两三年内，发展了测量无线电干扰的基本方法和频率从 160 kHz 到 1605 kHz 的测试设备。在这一时期重要的里程碑包括：

- 1940 年，在美国公布了一个关于测量无线电噪声方法的报告；
- 1934 年到 1939 年，CISPR 会议录和报告 RI 1-8 的发表提供了关于测量接收机的设计、场测量等的资料；
- 规定了频段 0.15~18 MHz 的无线电噪声和场强仪；
- 对架空电力传输线附近的无线电广播场强和无线电噪声场强进行了实际测量；
- 在 160~1605 kHz 的频率范围内，发展了测量来自电气设备的传导无线电噪声的步骤；
- 设计并受到限制的制造用于上述测量的测量接收机、无线电噪声场强仪和其它测试设备。

1.3.2 第二次世界大战及其以后的 25 年

第二次世界大战给人们提供了认识和控制无线电噪声的新动力。第二次世界大战期间，在 CISPR 支持下的技术工作完全停止。

第二次世界大战期间，军方对使用电信和雷达设备有广泛兴趣，并对无线电干扰以及比正常无线电广播频率更高的频段产生了兴趣。20世纪40年代，军方的这些兴趣导致了军标的研究及对直到20 MHz的电磁干扰进行可靠测量的测试设备的开发。20世纪50年代，频率提高到30 MHz。20世纪60年代，频率提高到1000 MHz。一开始，军方执行的标准就非常严格。在航空和航天系统、卫星技术中，电磁干扰的概念和消除这样的干扰之有效步骤具有最重要的意义，并由此导致了許多实际面向技术的工作，然而，技术工作的成果长期处于保密状态。

第二次世界大战后，CISPR会议恢复。当时美国、加拿大和澳大利亚参加了CISPR的审议。CISPR论坛成为达成无线电干扰测量方法之协议及为此目的所使用的测量设备的技术集会。随着更高频率的使用，越来越多的来自亚洲和世界上其它洲的国家以及几个国际组织也开始参加CISPR会议。由于日益增加的国际参与和技术领域的扩展，CISPR会议成为发展电磁干扰国际协议和国际合作的重要论坛，更高频率使用的测量技术和详细的实验方案在这一论坛上得到了发展。涉及高达1000 MHz频率的精确测量步骤细节在这些会议上得到了讨论和支持。

第二次世界大战后期，随着无线电通信非军事应用的日益增加，在制造各种电信产品的过程中，电磁干扰问题和执行一些设计原理的需求变得更明显。涉及干扰机理及其效应的几种主要技术研究、测量技术、使电磁干扰最小化的设计步骤，在包括美国和欧洲的许多国家成为研究的热点问题。在这一时期，为了估计几种电气和电子设备及系统发射的无线电噪声，人们做了许多实际测量。在CISPR会议上，作为CISPR审议的部分技术背景、无线电和电视、电力输电线、家用仪器、汽车和工业科学医疗(industrial/scientific/medical)设备发射的电磁噪声获得详细的测量、报道和广泛讨论。起初，着重达成了测量步骤和测量方法的协议，但留下了更困难的问题。诸如美国的FCC(The Federal Communications Commission)和英国的BSI(The British Standards Institution)这样的国家制定规章的机构，开始颁布适用他们各自国家的干扰控制极限。

为了解决电磁干扰问题，保证设备和系统的可靠性，20世纪40年代初，提出了电磁兼容性的概念。1944年，德国电气工程师协会制订了世界上第一个电磁兼容性规范VDE-0878，1945年，美国颁布了美国最早的军用规范JAN-I-225。

1.3.3 20世纪60年代后

20世纪60年代后，电气与电子工程技术迅速发展，其中包括数字计算机、信息技术、测试设备、电信、半导体技术的发展。在所有这些技术领域内，电磁噪声和克服电磁干扰引起的问题引起人们的高度重视，导致了电磁噪声领域的世界范围的许多技术研究。

虽然电磁干扰问题由来已久，但电磁兼容这个新兴的综合性边缘学科却是近代形成的。美国IEEE学报Transactions RFI分册于1964年改名为IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility(EMC分册)。若以此作为电磁兼容学科形成的标志，距今已40多年了。从20世纪40年代提出电磁兼容性概念，使电磁干扰问题由单纯的排除干扰逐步发展成为从理论、技术上全面控制用电设备在其电磁环境中发挥正常工作性能的系统工程，电磁兼容的理论、技术基础不断深化，研究内容不断发展，涉及范围不断扩大。

CISPR审议产生了CISPR第16号出版物。这是一本把该领域的各种测量程序和电磁

干扰推荐极限合并在一起的独立的出版物。 CISPR 的审议还产生了包括无线电及电视接收机、工业科学医疗设备、汽车、荧光灯的电磁噪声及其测量的出版物。在 20 世纪 80 年代，CISPR 出版了包括信息技术设备的第 22 号出版物。

军方对电磁噪声的兴趣在电磁干扰和测量及控制电磁干扰技术等领域也产生了许多成果。在认识电磁干扰、实现电磁兼容技术的过程中，几种重要进展是在该领域美国军方所做工作的直接结果。由于军事和商业的原因，个别产品的许多技术活动仍然处于保密状态。已经发布的重要军事文件包括涉及 EMI 技术的定义和测量单位的 MIL - STD - 463 以及最新版本 MIL - STD - 461、MIL - STD - 462 虽然有几个国家的军方利用大量的资料形成并发布了他们自己的标准以限制电磁干扰，然而美国军方所发布的标准继续在这一领域起着示范作用。除了基本的军事标准 MIL - STD - 461/462/463 外，美国军方也发布了几个其它标准，这些标准涉及系统电磁兼容和诸如雷达、飞行器电源、航天系统、海军平台、移动通信等各种设备的设计和运行要求。

在 20 世纪 80 年代，数字技术包括数字技术在工业自动化方面的应用，在世界范围内的发展影响了与电磁噪声相关问题的研究。数字设备和系统易于对电磁噪声敏感，因为这些数字设备和系统不能区分脉冲信号和瞬时噪声，电磁噪声导致它们故障频发。数字电路和设备产生大量的电磁噪声基本上是在数字设备中使用的非常短的脉冲上升时间所引起的宽带噪声。用在数字电路和数字设备中的时钟频率也产生电磁噪声。数字电子设备广泛使用了固态器件和集成电路。固态器件和集成电路易于被瞬态电磁噪声所损坏。因此，为了保护敏感的半导体器件不受电磁环境的损坏，采用特殊设计和工程方法是必须的。电磁兼容领域在过去的 20 年中受到了相当的注意，在世界范围内，有关这一领域的许多论文已经发表，关于电磁兼容技术的讨论继续支配着许多国内和国际会议。

几个国家把特别的注意力集中于用公式表示各种电气和电子设备发射的电磁噪声之允许极限以及这些设备和仪器出售之前它们必须经受得住的抗扰极限。诸如美国的 FCC (The Federal Communications Commission)、德国的 FTZ (Fernmelde Technisches Zentralamt)、英国的 BSI (British Standards Institution)、日本的 VCCI (Voluntary Control Council for Interference) 和其它国家的类似协会，颁布了控制电磁噪声发射和抗扰性技术要求的执行标准。政府内的专门机构，诸如美国的 NASA (The National Aeronautics and Space Administration, 国家航空和航天管理局)、NTIA (The National Telecommunication and Information Agency, 国家电信和情报局) 以及其它国家的类似组织，发布了控制电磁辐射和电磁抗扰性的执行标准。诸如 ICAO (The International Civil Aviation Organization, 国际民用航空组织) IMCO (The International Maritime Consultative Organization, 国际海事协商组织) 这样一些国际组织，也把相当的注意力集中于电磁噪声和电磁噪声允许的极限。

随着欧洲自由贸易区 The European Free Trade Area 的出现，在 20 世纪 80 年代，欧洲国家特别注意发展控制电磁噪声发射和电磁噪声抗扰性极限的共同执行标准。为了使欧洲的工厂能够在全欧洲出售他们的产品，统一的方法和相同的标准是必须的。在欧洲经济共同体 The European Economic Community) 内，欧洲电气产品标准委员会 The European Standards Committee for Electrical Products (CENELEC - Comite European de Normalization Electrotechniques) 在 1973 年成立，它负责制定设备的电磁噪声和执行极限的已协

调的欧洲标准，这些标准涉及无线电接收机、电视机、信息技术设备、工业科学医疗设备等等。

产品电磁兼容性达标认证已由一个国家范围发展到一个地区或一个贸易联盟采取统一行动。从 1996 年 1 月 1 日起，欧洲共同体 12 个国家和欧洲自由贸易联盟的北欧 6 国共同宣布实行电磁兼容许可证制度，使得电磁兼容认证与电工电子产品安全认证处于同等重要的地位。

1.3.4 中国电磁兼容发展概况

我国由于过去的工业基础比较薄弱，电磁环境危害尚未充分暴露，对电磁兼容认识不足，因此，对电磁兼容理论和技术的研究起步较晚，与国际间的差距较大。我国第一个干扰标准是 1966 年由原第一机械工业部制定的部级标准 JB-854-66《船用电气设备工业无线电干扰端子电压测量方法与允许值》。直到 20 世纪 80 年代初，才有组织、系统地研究并制订国家级和行业级的电磁兼容性标准和规范。1981 年颁布了第一个航空工业部较为完整的标准 HB5662-81 即《飞机设备电磁兼容性要求和测试方法》。此后在标准和规范的研究与制定方面有了较大进展。截止 1999 年 8 月底，现行的 EMC 国家标准共计 76 个，其中强制性标准 29 个。

20 世纪 80 年代以来，国内电磁兼容学术组织纷纷成立，学术活动频繁开展。1984 年，中国通信学会、中国电子学会、中国铁道学会和中国电机工程学会在重庆召开了第一届全国性电磁兼容性学术会议，此次会议录用论文 49 篇。1992 年 5 月，中国电子学会和中国通信学会在北京成功地举办了“第一届北京国际电磁兼容学术会议（EMC'92/Beijing）”。此次会议录用论文 173 篇，这标志着我国电磁兼容学科的迅速发展并参与世界交流。

20 世纪 90 年代以来，随着国民经济和高新科技产业的迅速发展，在航空、航天、通信、电子、军事等部门，电磁兼容技术受到格外重视，并投入了较大的财力和人力，建立了一批电磁兼容试验和测试中心，引进了许多现代化的电磁干扰和敏感度自动测试系统和试验设备。一些军种、部门、研究所及大学陆续建立了电磁兼容性实验研究室，电子、电气设备研究、设计及制造单位也都纷纷配备了电磁兼容性设计、测试人员，电磁兼容性工程设计和预测分析在实际的科研工作中得到了长足的发展。

电磁污染作为环境污染的一种，其危害性已日益引起我国政府的重视。国家环境保护局于 1997 年 3 月 25 日发布实施《电磁辐射环境保护管理办法》。《电磁辐射环境保护管理办法》规定的电磁辐射包括信息传递中的电磁波发射，工业、科学、医疗应用中的电磁辐射，高压送变电中产生的电磁辐射。国家出入境检验检疫局的 1999 年一检认联[1998]122 号文件颁布了“关于对六种进口商品实施电磁兼容强制检测的通知”，通知规定对计算机、显示器、打印机、开关电源、电视机、音响设备等六种进口商品，自 1999 年 1 月 1 日起强制执行电磁兼容检测。上述六种进口商品自 2000 年 1 月 1 日起必须获得国家出入境检验检疫局签发的进口商品安全质量许可证并贴有安全认证标志后方能进口、销售。

国内部分高等院校相继开设了电磁兼容原理、技术和设计课程，翻译和编写了一批教材。从近几年的本科生、研究生的就业情况看，我国急需大批电磁兼容工程师。

1.4 电磁兼容学科的研究内容

电磁兼容(EMC)是自然科学和工程学的一个分支。在某种意义上,它与设备的设计和工作有关。它既要使得设备免受某种程度的电磁干扰,同时又要求设备产生的干扰保持在规定的极限之内。EMC的范围很广,它实际上包括了所有由电源供电的设备。实际上,所有工程系统都含有电源调整和信息处理单元,因而都属于 EMC 之内的设备。EMC 涉及的频率范围由 DC 至光波。

电磁兼容性的研究是围绕构成电磁干扰的三要素(电磁干扰源、干扰耦合途径和敏感设备)进行的,其研究内容包括:电磁干扰产生的机理、电磁骚扰源的发射特性以及如何抑制电磁骚扰源的发射;电磁干扰以何种方式通过什么途径耦合(或传输),以及如何切断电磁干扰的传输途径;敏感设备对电磁骚扰产生何种响应,以及如何提高敏感设备的抗干扰能力。

从总体考虑,EMC 的研究内容涉及电磁干扰源的干扰特性、敏感设备的抗扰性、传输途径的传输函数、电磁兼容性控制技术、电磁兼容性分析和预测、电磁兼容性设计、频谱工程、EMC 标准和规范、EMC 试验和测量等等。

1. 电磁干扰特性及其传播理论

为了抑制电磁干扰,首先必须了解电磁干扰的特性和它的传播机理。对于电磁干扰源的研究,包括电磁骚扰源的频域和时域特性,产生的机理以及抑制措施等,对于电磁骚扰传输特性的研究,包括对传导电磁骚扰传输特性和辐射电磁骚扰传播特性的研究。例如,根据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;根据干扰信号的时间特性可知其为连续波、间歇波,还是瞬态波,以便采取不同的措施加以抑制。因此,对电磁干扰特性及其传播理论的研究是电磁兼容学科最基本的任务之一。

2. 电磁危害及电磁频谱利用和管理

人为的电磁污染已成为人类社会发展的最大公害。电磁能危害的主要表现为射频辐射、核电磁脉冲放电和静电放电对人体健康的危害,以及对电引爆装置和燃油系统的破坏,对电子元器件及其电路功能的损害。

在关注电磁能危害的同时,人们还清醒地认识到,人为的电磁频谱污染问题也已相当严重。电磁频谱是一种有限的自然资源,而电磁频谱被占用的频谱范围和数量日益扩张,同时频谱利用方法的进展远慢于频谱需求的增加,以至使电磁兼容问题出现许多实施方面的困难,不得不由专门的国际电信联盟机构来加以管理。在中国境内,中国无线电管理委员会负责分配和协调无线电频段。有效管理、保护和合理地利用电磁频谱也是电磁兼容学科研究的一项必要内容。

3. 电磁兼容性的工程分析和电磁兼容性控制技术

电子设备和系统的结构日益复杂,技术更加密集,频谱占用拥挤。在实际工程中,电磁干扰的耦合和传输很少以单一的基本耦合形态发生,而是多种基本耦合形态的组合,表现为综合性的典型耦合模式。例如,两根平行导线间的电磁耦合实质上是电容性耦合和电

感性耦合的组合；电磁场对导线的感应耦合并传输到导线终端的耦合模式，实质上是空间辐射耦合和传输线传导两种基本形态的组合。这些典型的耦合模式在实际工程分析中通常作为一种固定的工程模式直接用于分析更复杂的电磁干扰问题，从而使电磁兼容工程分析的理论更加成熟。因此，分析和研究典型耦合模式成为电磁兼容研究中快速识别干扰机理的捷径。

电磁兼容性技术在不断发展。工程实践中被广泛采用的滤波、屏蔽、接地、搭接和合理布局等抑制电磁干扰的技术措施都是有效的。但是，随着设备和系统的集成化、数字化和信息处理的高速化，以上措施的采用往往会与成本、质量、功能要求产生矛盾，必须权衡利弊研究出最合理的措施来满足电磁兼容性要求。另外，新的导电材料、新的屏蔽材料以及新的工艺方法的出现，使得电磁兼容控制技术不断向前发展，新的抑制电磁干扰的措施不断涌现，因此，电磁兼容控制技术始终是电磁兼容学科中最活跃的研究课题。

4. 电磁兼容性设计理论和设计方法

任何一项工程设计，最起码和最主要的是对费效比的考虑，当然它也是电磁兼容设计的一项重要指标。在一个产品从设计到投产的过程中，可以分为设计、试制和投产三个阶段。若在产品设计的初始阶段解决电磁干扰问题，投资最少，控制干扰的措施最容易实现。如果到产品投产后发现电磁干扰问题再去解决它，成本就会大大上升。因此，费效比的综合分析是电磁兼容设计研究的一部分。

电磁兼容性设计不同于设备和系统的功能设计，它往往是在功能设计方案基础上进行的。电磁兼容工程师必须和系统工程师密切配合，反复协调，把电磁兼容性设计作为系统设计的一部分，达到电磁兼容性系统设计的目的。

5. 电磁兼容性测量和试验技术

电磁兼容性的测量和试验研究是至关重要的，它贯穿于电磁兼容性分析、建模、产品开发、产品检验、干扰诊断等各个阶段，主要研究测量设备、测量方法、测量场所和数据处理方法。电磁干扰特性和电磁环境复杂，电磁干扰信号的频率带宽范围宽广，用电设备和系统占用的空间有限，所有这些都迫使对设备和系统的电磁兼容性测量和试验项目增多，进而促进了测量技术的提高和测量设备的革新。在电磁兼容性试验中，对设备进行敏感度测量时，需要多种不同类型的模拟信号源及其装置来模拟产生传导和辐射干扰信号，因此推动了试验装置的研究开发，促进了测量和试验设备的自动化程度的日益提高，高精度的电磁干扰及电磁敏感度自动测量系统的研制、开发并应用于工程实践。这些都是电磁兼容学科研究的重要内容。

6. 电磁兼容性标准、规范与工程管理

电磁兼容性标准、规范是电磁兼容性设计和试验的主要依据。通过制定和实施标准与规范来控制用电设备和系统的电磁发射和电磁敏感度，从而降低设备和系统相互干扰的可能性。标准规定的测试方法和极限值要求必须合理，符合国家经济发展综合实力和工业发展水平，这样才能促进产品质量提高和技术进步，否则会造成人力、物力和时间的浪费。为此，制定标准和规范时必须进行大量的实验和数据分析研究。

为了保证设备和系统在全寿命期内有效而经济地实现电磁兼容性要求，必须实施电磁兼容性管理。电磁兼容性管理的基本职能是计划、组织、监督、控制和指导。管理的对象是

研制、生产和使用过程中与电磁兼容性有关的全部活动。因此，电磁兼容性管理要有全面的计划，从工程管理的高层次抓起，建立工程管理协调网络和工作程序，确立各个研制阶段的电磁兼容性目标，突出重点，加强评审，提高工作的有效性。

7. 电磁兼容性预测和分析

电磁兼容性分析和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，能够对潜在的电磁干扰进行定量的估计和模拟，避免采取过高的抑制措施，造成不必要的浪费；同时也可以避免设备和系统建成后才发现不兼容的难题。因为在设备和系统建成后修改设计，重新调整布局，要花费很大的代价，有时也未必能够彻底解决不兼容问题。因此，在设备和系统设计的最初阶段就进行电磁兼容性分析和预测是十分必要的。

电磁兼容性分析和预测的方法是，采用计算机数字仿真技术，将各种电磁干扰特性、传输函数和电磁敏感度特性全部都用数学模型描述并编制成计算机程序，然后根据预测对象的具体状态，运行预测程序，以便获得潜在的电磁干扰预测结果。这种预测方法在世界许多发达国家已普遍采用，实践证明它是行之有效的方法。因此，研究预测数学模型、建立输入参数数据库、提高预测准确度等已成为电磁兼容学科关于预测和分析技术深入发展的基本内容。

8. 信息设备电磁泄漏及防护技术

随着科学技术的发展，计算机系统已广泛应用于机要信息的存储和数据处理。当计算机或其它机要电子设备工作时，机密信息可通过设备泄漏的电磁场以辐射方式发射出去，也可能通过电源线、地线、信号线等以传导方式耦合出去。因此，在一定距离内，往往不需要采用特殊设备，便可以清晰、稳定地接收到这些机要设备所发射的机要信息的内容，造成信息技术设备所处理的机要信息严重泄漏。为了防止信息技术设备的电磁泄漏，美国政府规定，对国防电子产品、机要电子信息设备，从研制、生产、测试、验收到监护，都要严格接受保密设计规范的指导，必须满足经美国国家安全局确认的瞬态电磁脉冲辐射标准 (Transient Electromagnetic Pulse Emanation Standard)，以限制电磁信息泄漏，保证机要信息的安全保密。如何解决信息技术设备的电磁泄漏问题，目前已成为一项专门技术，这项技术称为防电磁泄漏技术，即所谓的 TEMPEST 技术。TEMPEST 是 Transient Electromagnetic Pulse Emanation Standard 的缩写。TEMPEST 技术的任务是，检测、评价和控制那些危及工作任务安全的信息技术设备的非功能性传导发射和辐射发射，以防止窃听，泄密机要信息。

TEMPEST 技术和电磁兼容性技术都是研究抑制电磁发射技术措施的，两者有许多共同的概念和技术，它们都属于电磁兼容学科的研究范围，但是在有些方面这两者存在着本质上的差别，TEMPEST 技术与电磁兼容性技术相比，所要求的控制电磁泄漏技术和标准更高，所以它还有许多特别的研究内容。

9. 环境电磁脉冲及其防护

电磁脉冲 (EMP) 是十分严重的电磁干扰源。其频谱覆盖范围宽广，可以从甚低频到几百 MHz；场强很大，电场强度可达 40 kV/m 或更高；作用范围很广，可达数千 km。受电磁脉冲作用的架空天线、输电线、电缆线、各种屏蔽壳体都会被电磁脉冲感应，产生强大的脉冲射频电流。这种射频脉冲电流如进入设备内部将产生严重的电磁干扰，甚至使设备

遭到严重破坏。电磁脉冲可对卫星、航天飞机、宇宙飞船、导弹武器、雷达、广播通信、电力和电子设备或系统造成严重影响，所以，电磁脉冲及其防护已成为近年电磁兼容学科的一个重要研究内容。

10. 系统内与系统间的电磁兼容性

一个系统之内与若干系统之间的电磁兼容性问题往往十分复杂。这种复杂性表现在：干扰源可能同时也是敏感设备；传播的途径往往是多通道的；干扰源与敏感设备不只一对等等。这就需要对系统内与系统间的电磁兼容性问题进行分析与预测。

1.5 电磁兼容学科的特点

电磁兼容学科是一门新兴的综合性交叉学科。它虽然有独立的理论体系，但由于它的形成还处于发展和完善的过程中，因此它的理论体系还存在一些不够严密和系统的地方。此外，它涉及的基础知识覆盖面宽广。对于初学者，电磁兼容理论和技术具有一定的难度。读者只有对电磁兼容学科的特点有清楚的认识，才能减少“入门”的障碍。

1 电磁兼容学科的理论体系以电磁场理论为基础

电磁兼容学科是一门新兴的综合性交叉学科，其核心仍然是电磁场与电磁波。大部分电磁干扰源产生的电磁干扰，往往以电磁场的形态出现。分析这样的电磁干扰源的干扰特性，预测其对敏感设备的潜在威胁，探索控制干扰的措施，都要采用电磁场理论的方法和结论。电磁兼容性仿真、电磁兼容性测量和试验、电磁扰的数值分析方法在电磁兼容性工程中的广泛应用也离不开电磁场理论的支持。所以，电磁兼容原理和技术的基础是电磁场理论。

2. 电磁兼容学科是一门新兴的综合性交叉学科

电磁兼容学科与很多学科互相渗透、结合。它不仅直接应用和涉及数学、电磁场理论、电工原理、电子技术、通信理论、材料科学、计算机与控制理论、核物理学、电磁测量、信号分析、自动控制、生物医学、材料及工艺、机械结构等知识，而且与舰船、飞机、卫星、雷达、广播通信、导弹武器、车辆、宇宙飞船、电力和电子仪器等密切相关。它是在无线电抗干扰技术的基础上，经过扩展、延伸和系统化所形成的一门新兴学科，也是电力、电子和其他相关从业工程师必须掌握的基础知识和技术。

3. 计量单位的特殊性

在电磁兼容领域，无论是标准、规范，还是测量、试验方法，广泛采用分贝（dB）作单位。分贝本身是一个无量纲的比值。经常听人们谈到场强或电压有多少分贝，这显然是不严格的。对不同的物理量，如果规定其基准参考值，就赋予了该物理量的分贝值。电工、电子学科通常采用 W、V、A 及其相应导出单位分别依次表示功率、电压、电流，而电磁兼容学科广泛采用 dBW、dBV、dBA 作单位分别依次表示功率、电压、电流的相对大小。电磁兼容领域采用的这些特殊计量单位的定义、换算及其导出单位将在后续内容中介绍。

4. 大量引用无线电技术的概念和术语

电磁干扰起初仅在无线电技术中比较突出。随着电报、电话、广播电视、通信等技术