

**ELECTRONIC
ENGINEER**

XIDIAN UNIVERSITY PRESS

Engineerings Electromagnetic Compatibility

工程电磁兼容

路宏敏 编著

*Specially Designed
for Engineers and Technicians of Electronics*



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

工程电磁兼容

路宏敏 编著

西安电子科技大学出版社

2003

内 容 简 介

本书从电磁兼容性的基本原理出发,充分考虑其工程应用背景,系统地介绍了电磁兼容的基础知识,控制电磁兼容性的策略和方法,抑制电磁干扰的相关技术。书中既有理论分析与基本原理阐述,又有预测示例和工程应用。全书内容丰富,深入浅出,具有较强的实用性和可读性。

本书适合电子工程、电气工程、无线电和通信工程、仪器和测试技术等专业的师生使用,也可供涉及电磁兼容性工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程电磁兼容/路宏敏编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2003.5

ISBN 7-5606-1226-1

I. 电… II. 路… III. 电磁兼容性 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 021809 号

责任编辑 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8242885 8201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安兰翔印刷厂

版 次 2003年5月第1版 2003年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 12.625

字 数 291千字

印 数 1~4 000册

定 价 19.00元

ISBN 7-5606-1226-1/TN·0220

XDUP 1497001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

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和国防建设中。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。然而,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,影响其它设备、系统和生物体,导致电磁环境日趋复杂,造成了“电磁污染”,形成电磁骚扰。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、电子设备和系统的效能发生不允许的永久性下降。严重时还可能摧毁电气、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)。

电磁兼容学科是一门新兴的综合性交叉学科,与很多学科互相渗透、结合,其核心仍然是电磁场与电磁波。它起源于解决实际无线电干扰问题,并在处理用电设备或系统的电磁兼容性过程中获得了发展。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,是自然科学和工程学的一个交叉学科,其理论基础宽广,工程实践综合性强,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。

我国的电磁兼容性研究与国外科学技术发达的国家相比,起步晚,差距较大。加入 WTO 后,国产用电设备要站稳国内市场,进入国际市场,就必须符合相关 EMC 标准。为了适应市场要求和科学技术的发展,提高我国科技和产品的竞争能力,就必须对电子工程技术人员进行电磁兼容技术培训,对在校大学生、研究生进行电磁兼容性理论和技术的教育,加强电磁兼容性技术研究。这就是本书的编写目的。

本书是作者近年来在电子、航空航天、兵器工业等部门为部分工程技术人员举办电磁兼容性原理、技术和应用培训班,以及在西安电子科技大学讲授“电磁兼容”课程的讲稿基础上形成的。书中总结了作者从事电磁兼容性科学研究的部分成果和讲授“电磁兼容”课程的教学经验,吸收了国内、国外许多学者、专家的研究成果和资料。全书共分九章。第一章以实例介绍了电磁干扰与电磁污染的危害,引入了电磁兼容性的概念,叙述了电磁兼容学科的发展历

史、研究内容和学科特点。第二章系统概述了电磁兼容的基础知识。第三章着重介绍电磁骚扰的耦合与传输理论。第四章论述控制电磁兼容性的策略和准则。第五章详细地介绍了电磁屏蔽的基本理论、分类和评价屏蔽效果的技术指标,叙述了计算屏蔽效能的电磁场方法和电路方法,并提出了几种规则形状屏蔽体的屏蔽效能计算公式;通过对屏蔽的平面波模型的分析,说明影响屏蔽效能的主要因素;最后介绍了孔隙的电磁泄漏及抑制电磁泄漏的工程措施。第六章从接地的概念出发,阐述了接地的分类、导体阻抗的频率特性、地回路干扰的成因;介绍了屏蔽体接地的原理和方法;指出了抑制电磁干扰的接地点选择技术;分析了抑制地回路干扰的几种常用技术措施。第七章详细地介绍了搭接的一般概念,叙述了搭接的有效性及其影响因素,并涉及到搭接实施的关键问题 and 处理方法;最后介绍搭接的设计、典型搭接举例和搭接质量的测量方法。第八章从滤波器件的应用角度出发,着重介绍滤波器件的类型、特性、工作原理、应用场合、选用、安装等内容。第九章分析传输线上任意位置处的集总激励源注入到连接于传输线两端负载上的干扰电压和干扰电流;利用传输线理论建立高频传导干扰的模型;以矩阵表示传导干扰的负载响应,给出计算实例。

本书可作为高等院校有关专业的硕士研究生、高年级大学生的教材,也可作为电气、电子等相关专业的工程技术人员的培训教材或参考书。

在本书的编写过程中,西安电子科技大学博士生导师王家礼教授对本书进行了全面审阅,西安电子科技大学前任校长、博士生导师梁昌洪教授对作者的编写工作给予了指导,西安交通大学博士生导师傅君眉教授对本书的内容也提出了许多宝贵意见和建议,西安电子科技大学电子工程学院电信系的朱满座、王新稳、赵永久副教授和西安电子科技大学硕士研究生李晓辉、周力、夏昌明、陈常杰、杜娟、刘宁艳、吴聪达、肖壮等参加了本书的编写工作,西安电子科技大学出版社的云立实副编审也提出了不少建设性意见,在此一并表示诚挚的感谢。

由于电磁兼容学科内容丰富,发展迅速,涉及面广,加之编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编 者

2003年3月于西安

目 录

第一章 电磁兼容绪论	1
1.1 电磁干扰与电磁污染的危害案例	2
1.2 电磁兼容的含义	7
1.2.1 电磁干扰与电磁骚扰	7
1.2.2 电磁兼容的含义	8
1.2.3 系统电磁兼容性	9
1.3 电磁兼容学科的发展历史透视	9
1.3.1 第二次世界大战前	9
1.3.2 第二次世界大战及其以后的 25 年	10
1.3.3 20 世纪 60 年代后	11
1.3.4 中国电磁兼容发展概况	13
1.4 电磁兼容学科的研究内容	14
1.5 电磁兼容学科的特点	17
第二章 电磁兼容基本概念	19
2.1 基本电磁兼容术语	20
2.1.1 一般术语	20
2.1.2 噪声与干扰术语	20
2.1.3 发射术语	22
2.1.4 电磁兼容性术语	23
2.1.5 相关术语之间的关系	26
2.2 造成电磁干扰的条件	26
2.2.1 电磁干扰三要素	26
2.2.2 敏感设备	28
2.3 测量单位及换算关系	30
2.3.1 功率	30
2.3.2 电压	31
2.3.3 电流	31
2.3.4 功率密度	32
2.3.5 电场强度、磁场强度	32
2.4 电磁骚扰源	33
2.4.1 电磁骚扰源的分类	33
2.4.2 自然电磁骚扰源	34
2.4.3 人为电磁骚扰源	35
2.5 电磁骚扰的性质	37

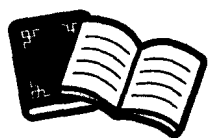
2.5.1	频谱宽度	37
2.5.2	幅度或电平	37
2.5.3	波形	37
2.5.4	出现率	38
2.5.5	辐射骚扰的极化特性	38
2.5.6	辐射骚扰的方向特性	38
2.5.7	天线有效面积	38
2.6	电磁环境	38
2.6.1	环境的电磁现象	39
2.6.2	端口的概念	40
2.6.3	环境分类与设备位置	41
第三章	电磁骚扰的耦合与传输理论	43
3.1	电磁骚扰的耦合途径	44
3.2	传导耦合的基本原理	45
3.2.1	电路性耦合	45
3.2.2	电容性耦合	47
3.2.3	电感性耦合	50
3.3	电磁辐射的基本理论	54
3.3.1	电磁辐射的物理概念	54
3.3.2	基本振子电磁场分布的一般表示式	55
3.3.3	近区场与远区场	57
3.3.4	近区和远区的转换区	59
3.3.5	高阻抗场和低阻抗场	60
3.4	近场的阻抗	61
3.4.1	电基本振子近场的波阻抗	61
3.4.2	磁基本振子近场的波阻抗	62
3.5	辐射耦合	64
3.5.1	导体的天线效应	64
3.5.2	辐射耦合方式	65
第四章	电磁兼容性控制	67
4.1	分析和解决电磁兼容性问题的方法	68
4.1.1	问题解决方法	68
4.1.2	规范法	69
4.1.3	系统法	69
4.2	电磁骚扰的抑制策略	70
4.3	空间分离	71
4.4	时间分隔	71
4.5	频率划分和管制	72
4.5.1	频谱管制	72
4.5.2	滤波	73
4.5.3	频率调制	73
4.5.4	数字传输	73
4.5.5	光电传输	74

4.6 电气隔离	74
第五章 屏蔽理论及其应用	75
5.1 电磁屏蔽原理	76
5.1.1 电磁屏蔽的类型	76
5.1.2 静电屏蔽	76
5.1.3 交变电场的屏蔽	77
5.1.4 低频磁场的屏蔽	78
5.1.5 高频磁场的屏蔽	80
5.1.6 电磁屏蔽	82
5.2 屏蔽效能	83
5.2.1 屏蔽效能的表示	83
5.2.2 屏蔽效能的计算方法	83
5.3 无限长磁性材料圆柱腔的静磁屏蔽效能	84
5.3.1 圆柱腔内的静磁场	84
5.3.2 圆柱腔的静磁屏蔽效能分析	86
5.3.3 圆柱腔的静磁屏蔽效能计算实例	86
5.4 低频磁屏蔽效能的近似计算	87
5.4.1 矩形截面屏蔽盒的低频磁屏蔽效能	87
5.4.2 圆柱形及球形壳体低频磁屏蔽效能的近似计算	88
5.5 计算屏蔽效能的电路方法	89
5.5.1 低频屏蔽问题的定性讨论	90
5.5.2 屏蔽的电路方法	91
5.6 屏蔽的平面波模型	97
5.6.1 导体平板的屏蔽效能	97
5.6.2 平面波模型推广到非理想屏蔽结构	100
5.6.3 屏蔽效能计算的解析法	101
5.7 孔缝电磁泄漏	104
5.7.1 金属板缝隙的电磁泄漏	105
5.7.2 金属板孔隙的电磁泄漏	106
5.7.3 截止波导管的屏蔽效能	108
5.7.4 孔阵的电磁屏蔽效能	109
5.7.5 通风窗孔的屏蔽效能	111
5.8 抑制电磁泄漏的工程措施	113
第六章 接地技术及其应用	117
6.1 接地及其分类	118
6.1.1 接地的概念	118
6.1.2 接地的要求	118
6.1.3 接地的分类	119
6.2 安全接地	119
6.2.1 设备安全接地	119
6.2.2 接零保护接地	120
6.2.3 防雷接地	121
6.2.4 安全接地的有效性	121

6.3 导体阻抗的频率特性	122
6.3.1 直流电阻与交流电阻关系的广义描述	122
6.3.2 导体电感	123
6.3.3 搭接条的选择	124
6.4 信号接地	125
6.4.1 单点接地	126
6.4.2 多点接地	127
6.4.3 混合接地	128
6.4.4 悬浮接地	129
6.5 屏蔽体接地	129
6.5.1 放大器屏蔽盒的接地	129
6.5.2 电缆屏蔽层的接地	130
6.5.3 电缆屏蔽层的一端接地与两端接地	132
6.6 地回路干扰	134
6.6.1 接地公共阻抗产生的干扰	134
6.6.2 地电流与地电压的形成	135
6.7 接地点选择	136
6.7.1 放大器与信号源的接地点选择	136
6.7.2 多级电路接地点的选择	137
6.7.3 谐振回路接地点的选择	138
6.8 地回路干扰的抑制措施	138
6.8.1 隔离变压器	139
6.8.2 纵向扼流圈	140
6.8.3 光电耦合器	142
6.8.4 差分平衡电路	143
第七章 搭接技术及其应用	145
7.1 搭接的一般概念	146
7.2 搭接的有效性	148
7.3 搭接的实施	150
7.3.1 搭接的电化学腐蚀原理	150
7.3.2 搭接表面的清理和防腐涂覆	150
7.3.3 搭接的加工方法	151
7.4 搭接的设计	151
7.5 搭接质量的测试	155
第八章 滤波技术及其应用	157
8.1 滤波器的类型	158
8.1.1 滤波器的工作原理	158
8.1.2 滤波器的类型	158
8.1.3 EMI 滤波器的特点	159
8.2 滤波器的特性	159
8.3 反射式滤波器	161
8.4 吸收式滤波器	164
8.5 电源线滤波器	168

8.5.1 共模干扰和差模干扰	168
8.5.2 电源线滤波器的网络结构	169
8.6 滤波器的安装	171
第九章 传导干扰的传输线响应	173
9.1 传导干扰的集总激励源和分布激励源	174
9.2 传输线模和天线模的响应	175
9.2.1 双导体与多导体传输线	175
9.2.2 传输线模和天线模的响应	176
9.3 均匀传输线段的等效二端口网络表示	177
9.3.1 双导体传输线的电报方程解	178
9.3.2 双导体传输线的等效两端口网络表示	178
9.4 集总电磁干扰源激励的传导干扰响应	179
9.4.1 任意位置激励的传导干扰响应	179
9.4.2 加载传输线的电压反射系数	180
9.4.3 传输线上任意点的集总电磁干扰源产生的传导响应	181
9.4.4 电压源激励的传输线响应计算实例	183
9.5 传导干扰的负载响应及其矩阵表示	184
9.5.1 有限长传输线端接负载的传导干扰响应	184
9.5.2 负载响应的矩阵表示	184
9.5.3 负载频域电压响应的计算实例	185
9.6 传导干扰的传输线模型验证	186
参考文献	188

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——载人飞船发射后,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——载人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。从区域看,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电话机请求帮助时,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中常用的一种新型通信工具。随着科学技术的发展和生活水平的提高, 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, 使用手机越频繁的人, 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,还可能引发早老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有的“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：长期使用手机的人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危

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