

邹澎 马力 周晓萍 编著

电磁兼容

原理、技术和应用

(第2版)

清华大学出版社



邹澎 马力 周晓萍 编著

电磁兼容

原理、技术和应用

(第2版)



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍电磁干扰、电磁兼容的原理、技术和应用。内容全面,既包括经典的基础理论,也包括近几年新的研究成果;既有对电磁兼容问题的理论分析、计算,也有电磁兼容测量、电磁兼容认证、抗干扰技术和电磁兼容设计等实用技术;并对通信系统的电磁兼容、计算机系统的电磁兼容、雷电及防雷技术等做了专题研究。本书兼顾了科学性、系统性和适用性。

作者长期从事电磁兼容技术的研究,具有丰富的实践经验,对书中的内容介绍得深入浅出、实用可行。书中有大量的实例,帮助读者理解和掌握电磁干扰和电磁兼容计算、电磁兼容测量、抗干扰技术和电磁兼容设计的具体方法。作者紧紧围绕基本概念、基本方法的教学,精选了大量的例题和习题。

本书既可以作为电子信息类、电工类、通信、检测技术、仪器仪表等专业研究生、本科高年级学生的教材,也可以作为从事电磁兼容测试、分析、设计的科研和工程技术人员的参考书或相关行业的培训教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容原理、技术和应用/邹澎,马力,周晓萍编著.--2版.--北京:清华大学出版社,2014
ISBN 978-7-302-36207-4

I. ①电… II. ①邹… ②马… ③周… III. ①电磁兼容性 IV. ①TN03

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第076263号

责任编辑:文 怡

封面设计:邹 澎

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:保定市中华美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:25.75 字 数:627千字

版 次:2007年7月第1版 2014年8月第2版 印 次:2014年8月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:45.00元

产品编号:058948-01

序

自从 20 世纪 30 年代人们开始关注无线电干扰(RFI)以来,至今已过了 70 多年。在 1964 年,跨国电气与电子工程师学会(IEEE)学报的无线电干扰分册(Transaction on RFI)改名为电磁兼容分册(Transaction on EMC),可以认为是标志着电磁兼容技术领域的正式诞生。发展至今,我们不仅可以将其视为一个技术领域,也可以认为电磁兼容已经形成了一门科学。

可以认为下列定义对电磁兼容做了比较好的诠释:“电磁兼容是研究在有限的空间、有限的时间、有限的频谱资源条件下,各种用电设备与系统(广义的还包括生物体)可以共存,并不致引起性能降低的一门科学。”

在民用环境与军用环境中,电磁兼容的重要性都是不容忽视的。虽然它与军事上的电子对抗都是研究干扰与抗干扰的问题,但在电磁兼容领域中,干扰源与被干扰双方都是不希望干扰存在的,因而其根本理念与研究方法就与电子对抗存在着原则区别。

为了传播电磁兼容知识、推动我国电磁兼容事业的发展,以适应经济建设的需要,编写电磁兼容科技书籍是十分必要的。但是不论是理论基础还是应用技术,也不论是数学分析还是实验研究,电磁兼容涉及的范围都非常广泛。因而写一本面面俱到,包罗万象的电磁兼容书籍几乎是不可能的,而且也是不现实的。邹澎教授编著的《电磁兼容原理、技术和应用》一书,具有以下特点:

第一,内容比较广泛。正像本书书名那样,从原理、技术、应用三个层面由浅入深地阐述,从而避免了有些电磁兼容书籍中原理与应用脱节的现象,使读者能够由浅入深地了解原理,从理论到实践地去处理具体问题。这一点对于像电磁兼容那样需要特别重视经验的领域尤为重要。

第二,本书在理论与应用方面更侧重于通信(包括广播)业务。在常见的电磁兼容书籍中,研究的对象以电器为多,而本书则对通信给予了较多的篇幅。例如,在第 3 章“电磁敏感性”中重点讲述了接收机的电磁敏感性问题等。对通信方面的侧重弥补了其他有关书籍这方面的不足。

第三,对电磁兼容测量予以重视。电磁兼容测量的频率范围宽,从 0Hz 至数十 GHz,甚至高达 300GHz;测量的参数广,例如电压、电流、电场、磁场、功率、空间的功率密度,功率谱密度以及阻抗参数等;量值的动态范围大,例如:电压低至 μV 级,磁感应强度在 $10^{-1} \sim 10^{-2} \mu\text{T}$ 级,而高端如闪电的电磁脉冲可达 10^4V/m 。再者,在电磁兼容领域,测量对于最后的确认起着主导的作用。本书作为一本全面论述电磁兼容的书籍,不但安排四分之一的篇幅于测量,并且对强场测量给予了充分的关注。这对当前普遍关注的电磁环境问题以有力的支撑。

第四,本书最后三章针对三个专题进行了重点研究。包括通信系统、计算机系统以及防雷。通过专题研究,读者不仅对这三个专题本身的电磁兼容问题有了更深入的了解,也有利于电磁兼容原理的深入学习。

纵览全书可见,本书具有基础重、内容广、实用性强的特点,特为之推荐。

张林昌

2006年11月 于北京交通大学

第 2 版前言

本书的第 1 版是 2007 年 7 月出版的,七年以来,电磁兼容的理论和技術又取得了长足的进步,作者也收到一些使用本书的教师和读者提出的宝贵意见和建议,在此基础上出版了本书的第 2 版。

本书第 2 版所作的更新主要包括:

(1) 更新了引用的标准。电磁兼容技术的依据是国家标准,几年以来许多国家标准都进行了更新,本书在引用国家标准时,内容上也作了相应的更新。

(2) 补充了一些新的内容,例如:电磁波极化特性的应用(2.3.5 节),转移阻抗(2.4.1 节),系统匹配(5.2.3 节),吸波尖劈的阻抗匹配(5.2.4 节),共模电压和差模电压的测试(5.3.2 节),近区电场和近区磁场的反射损耗(6.1.3 节),滤波连接器(6.2.3 节),数字滤波技术简介(6.2.6 节),常用元器件的非理想特性(7.4.1 节),关注 PCB 板上返回电流路径的连续性(7.4.2 节),常用的调制方法及主要特性(6.5.2 节)等十几处。

本书第 2 版的修订由邹澎、马力完成。

作者

2014 年 6 月

第 1 版前言

随着科学技术的发展,越来越多的电子、电气设备进入了人们生活和生产的各个领域,这些设备在正常运行的同时也向外辐射电磁能量,可能对其他设备产生不良的影响,甚至造成严重的危害,这就是电磁干扰。据统计,全世界空间电磁能量平均每年增长 7%~14%,在有限的空间和有限的频率资源条件下,由于各种电子、电气设备的数量与日俱增,使用的密集程度越来越大,电磁干扰的严重性也就越来越突出。采用一定的技术手段,使同一电磁环境中的各种电子、电气设备都能正常工作,并且不干扰其他设备的正常工作,这就是电磁兼容(Electromagnetic Compatibility, EMC)。电磁兼容是一门迅速发展的交叉学科,涉及的理论基础包括电磁场与电磁波理论、天线与电波传播、电路理论、材料科学、生物医学等,涉及的技术领域包括电子信息、通信、广播电视、计算机和信息设备、航空航天、交通、机车、舰船、电力、军事、科学仪器、医疗设备、家用电器等。

本书介绍电磁干扰、电磁兼容的原理、技术和应用,内容比较全面。全书共分 10 章:第 1 章序言,包括电磁能的广泛应用、电磁辐射的危害、电磁兼容。第 2 章电磁干扰,包括电磁骚扰源、骚扰信号的特性、骚扰信号的传播。第 3 章电磁敏感性,包括电磁敏感性概述、接收机的电磁敏感性。第 4 章电磁兼容,包括电磁兼容性概述、电磁兼容研究机构、电磁兼容标准和规范、电磁兼容的实施、电磁兼容认证、电磁辐射环境影响评价。第 5 章电磁兼容测量,包括常用测量仪器、传导骚扰测量、辐射骚扰测量、静态(准静态)电磁场的测量、电磁敏感性测量。第 6 章抗干扰技术,包括屏蔽技术、滤波技术、接地和搭接技术、其他抗干扰技术简介、频谱管理与频谱技术的应用。第 7 章电磁兼容设计,包括一些元器件产生的骚扰及控制、电路的骚扰及控制、电路的布局和配线、抑制传导骚扰的措施、抑制辐射骚扰的措施。第 8 章专题研究一:通信系统的电磁兼容,包括系统内的电磁兼容、系统间的电磁兼容。第 9 章专题研究二:计算机系统的电磁兼容,包括计算机系统的电磁泄漏、TEMPEST 技术、计算机机房的电磁兼容设计。第 10 章专题研究三:雷电及防雷技术,包括雷电形成的物理过程、雷电参数、雷电的危害、雷电电磁脉冲的传播途径、雷电的防护。

本书稿作为讲义已在研究生、本科高年级教学中使用多年,作者长期从事电磁兼容技术的研究,具有丰富的实践经验,对教材中的内容介绍深入浅出、实用可行。教材中有大量的实例帮助学生理解和掌握电磁干扰和电磁兼容计算、电磁兼容测量、抗干扰技术和电磁兼容设计的具体方法。书中还紧紧围绕基本概念、基本方法的教学精选了大量的例题、习题。

周晓萍编写了第 9 章,刘黎刚编写了部分习题,其余章节由邹澎编写。本书的编写得到我国著名电磁兼容技术专家、北京交通大学张林昌教授的指导和帮助,并为本书撰写了序,在此表示衷心的感谢。

本书既可以作为电子信息类、电工类、通信、检测技术、仪器仪表等专业研究生或本科高

年级学生的教材,也可以作为从事电磁兼容测试、分析、设计的科研和工程技术人员的参考书或相关行业的培训教材。

由于电磁兼容学科内容丰富,涉及的领域非常广泛,相关的理论和技术发展得很快,而作者水平有限,读者若发现本书中有错误和不当之处,恳请指出或提出修正的意见,请发到以下邮箱: zzuzp@zzu.edu.cn。

作 者

2007年3月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电磁能的广泛应用	1
1.2 电磁辐射的危害	1
1.3 电磁兼容性概述	4
习题	8
第 2 章 电磁干扰	9
2.1 电磁干扰概述	9
2.1.1 电磁骚扰和电磁干扰的定义	9
2.1.2 电磁骚扰的分类	9
2.1.3 产生电磁干扰的 3 个要素	10
2.1.4 系统内部的干扰和系统之间的干扰	10
2.2 电磁骚扰源	11
2.2.1 常见的电磁骚扰源	11
2.2.2 传导骚扰源	13
2.2.3 辐射骚扰源	13
2.2.4 反射骚扰	16
2.3 骚扰信号的特性	17
2.3.1 频谱	17
2.3.2 带宽和波形	23
2.3.3 时域分析和频域分析	24
2.3.4 幅度和出现率	25
2.3.5 极化特性	25
2.3.6 共模骚扰和差模骚扰	29
2.3.7 近区场骚扰和远区场骚扰(对辐射骚扰)	30
2.4 骚扰信号的传播	32
2.4.1 传导骚扰的传播	32
2.4.2 辐射骚扰的传播	44
2.4.3 电磁骚扰耦合模型	49
2.4.4 电磁骚扰的预测计算	50
习题	62

第3章 电磁敏感性	65
3.1 概述	65
3.2 接收机的电磁敏感性	66
3.2.1 骚扰信号的侵入	66
3.2.2 接收机对骚扰信号的响应和骚扰信号的危害	67
3.2.3 电磁敏感性评定标准	70
习题	73
第4章 电磁兼容	75
4.1 概述	75
4.2 电磁兼容研究机构	76
4.3 电磁兼容标准和规范	78
4.4 电磁兼容的实施	79
4.5 电磁兼容认证	80
4.6 电磁辐射环境影响评价	85
习题	89
第5章 电磁兼容测量	90
5.1 概述	90
5.1.1 电磁兼容测量内容	90
5.1.2 标准化试验	91
5.1.3 常用单位及换算	91
5.2 常用测量仪器	92
5.2.1 频谱分析仪	92
5.2.2 干扰场强测量仪	95
5.2.3 天线和测量探头	100
5.2.4 测试场地	109
5.3 传导骚扰的测量	116
5.3.1 测量设备	116
5.3.2 测量方法	119
5.4 辐射骚扰的测量	125
5.4.1 远区辐射骚扰的测量	125
5.4.2 近区场的测量	132
5.4.3 传输线辐射的测量	136
5.4.4 市区一般电磁环境监测	137
5.5 静态(准静态)电、磁场的测量	142
5.5.1 工频电场的测量	142
5.5.2 静电场的测量	146

5.5.3	恒定磁场的测量	150
5.6	电磁敏感度的测量	154
5.6.1	传导敏感度的测量	154
5.6.2	辐射敏感度的测量	162
5.6.3	静电放电抗扰度的测量	167
习题		169
第6章	抗干扰技术	172
6.1	屏蔽技术	172
6.1.1	静电屏蔽	172
6.1.2	磁场屏蔽	173
6.1.3	电磁屏蔽	174
6.1.4	屏蔽效果的测量	183
6.2	滤波技术	190
6.2.1	电磁干扰(EMI)滤波器	190
6.2.2	反射式滤波器	191
6.2.3	损耗滤波器	201
6.2.4	有源滤波器	204
6.2.5	应用举例:电源滤波器	205
6.2.6	数字滤波技术简介	207
6.3	接地和搭接技术	215
6.3.1	接地的作用和分类	215
6.3.2	几种常用的接地方法	216
6.3.3	接地电极和接地电阻	219
6.3.4	接地技术的应用	221
6.3.5	搭接技术	229
6.4	其他抗干扰技术简介	236
6.5	频谱管理与频谱技术的应用	238
6.5.1	频谱管理	238
6.5.2	频谱的有效利用和频谱技术的应用	240
6.5.3	无线电监测	243
习题		244
第7章	电磁兼容设计简介	248
7.1	概述	248
7.2	一些元器件产生的骚扰及控制	248
7.2.1	电感器	248
7.2.2	变压器	251
7.2.3	开关和继电器	252

7.2.4	小型电动机	254
7.2.5	逻辑电路器件	255
7.3	电路的骚扰及控制	255
7.3.1	电源的骚扰及控制	255
7.3.2	线路板上的共模辐射和差模辐射	257
7.3.3	单元电路的骚扰及控制	257
7.4	电路的布局和配线	259
7.4.1	常用元器件的非理想特性	259
7.4.2	元器件的布局	260
7.4.3	印制电路板的布线	264
7.4.4	多层印制电路板	275
7.5	抑制传导骚扰的措施	277
7.6	抑制辐射骚扰的措施	278
	习题	283
第8章	专题研究一：通信系统的电磁兼容	284
8.1	通信系统内的 EMC	284
8.1.1	蜂窝移动通信系统	284
8.1.2	移动通信系统中的干扰	284
8.1.3	移动通信系统的兼容准则	287
8.1.4	保证移动通信网系统内电磁兼容的几种方法	288
8.2	系统间的电磁兼容	291
8.2.1	强电线路的骚扰	291
8.2.2	通信系统中的其他抗干扰技术	305
	习题	307
第9章	专题研究二：计算机系统的电磁兼容	309
9.1	概述	309
9.2	计算机的电磁泄漏	310
9.2.1	主板的电路结构	310
9.2.2	主板上信号的产生、走向和辐射分析	312
9.2.3	主板上芯片和总线的辐射测量	314
9.2.4	计算机电磁泄漏的防护措施	314
9.3	TEMPEST 技术	316
9.3.1	TEMPEST 技术概述	316
9.3.2	TEMPEST 技术标准	317
9.3.3	TEMPEST 产品	318
9.3.4	TEMPEST 测试与 TEMPEST ATTACK	319
9.3.5	防御 TEMPEST ATTACK 的对策	322

9.4 计算机机房的电磁兼容设计	326
习题	328
第 10 章 专题研究三：雷电及防雷技术	329
10.1 雷电的形成	329
10.2 雷电参数	332
10.3 雷电的危害	336
10.4 雷电电磁脉冲的传播途径	338
10.5 雷电的防护	340
10.5.1 雷电防护的原理	340
10.5.2 防雷器件	343
10.5.3 防雷技术	353
习题	371
附录 1 电磁兼容国家标准目录	372
附录 2 电磁辐射建设项目和设备名录	381
附录 3 用 GTEM Cell 测量辐射发射	382
附录 4 利用三维 FDTD 法计算 GTEM Cell 内场的分布	388
参考文献	391
索引	392

1.1 电磁能的广泛应用

随着科学技术的发展,越来越多的电子、电气设备进入了人们生活和生产的各个领域,例如:

- (1) 通信: 电话、电报、传真、无线通信(移动通信)、微波通信、光纤通信、卫星通信等。
- (2) 广播电视: 中波广播、短波广播、调频广播、电视广播、数字广播等。
- (3) 家用电器: 各种家用电器都要利用电磁能量,例如电磁炉、微波炉、遥控玩具等。
- (4) 生物医学: 灭菌(食品、流动票券、饲料等)、诊断(CT 等)、理疗(高频、微波)、手术(激光手术刀、微波手术刀)等。
- (5) 工业应用: 电解(电解铝、生产电石等)、电镀、加热或烘干(微波或红外)、高频炉、电炉(炼钢等)、灭虫(木材、卷烟等)、遥控、遥测、遥感等。
- (6) 农业应用: 灭虫(种子等)、育苗、磁化水等。
- (7) 电磁检测: 防盗、探测文物、无损检测、测厚、测湿、测温、测速等。
- (8) 雷达: 导航(航空、航海)、气象预报、交通管制等。
- (9) 军事应用: 雷达、电子对抗(电子干扰、反干扰)、激光武器、电磁武器等。
- (10) 射电天文学: 天文观测等。

这些设备在正常运行的同时也向外辐射电磁能量,可能对其他设备产生不良的影响,甚至造成严重的危害,这就是电磁干扰。据统计,全世界空间电磁能量平均每年增长 7%~14%,在有限的空间和有限的频率资源条件下,由于各种电子、电气设备的数量与日俱增,使用的密集程度越来越大,电磁干扰的严重性也就越来越突出。

1.2 电磁辐射的危害

电磁能的广泛应用一方面推动了社会的进步,丰富了人类的物质文化生活,同时也使空间各种频率的电磁辐射越来越强,对人类造成了危害。例如可能干扰广播、电视、通信信号的接收;可能干扰电子仪器、设备的正常工作,造成信息失误、控制失灵等事故;可能引燃一些易燃易爆物质,引起爆炸和火灾;较强的电磁辐射对人体的健康有很大的影响。电磁辐射造成危害的例子很多,下面仅举几例供参考。

例 1-1 美国研制的 B1 轰炸机电子设备之间的电磁干扰。

B1 轰炸机的机头上装有大量的电子设备,分离试验时这些设备都符合技术标准,把这些设备装上机头再测试,许多设备的性能大幅度下降。经过专家们大量的试验和分析,发现是由于这些设备之间相互的电磁干扰造成的。

例 1-2 民兵 I 导弹的飞行故障。

1962 年,民兵 I 导弹进行实弹飞行试验,前两次都失败了,故障现象相似,都是在第 I

级发动机关机前炸毁了,一个高度为 7.6km,另一个高度为 21.8km,炸毁前,用于制导的计算机都受到了脉冲干扰。经过分析和试验,发现故障是由于导弹飞行到一定高度时,在相互绝缘的弹头和弹体之间发生了静电放电,使导弹提前爆炸。

例 1-3 广州白云机场导航系统受到的严重干扰。

2002 年 1 月 20 日,广州白云机场由于附近无线寻呼台发射机群信号的干扰(互调、带外辐射),迫使导航系统关闭通信扇面,导致大量的飞机在空中盘旋等待,使 90 多架航班延误,6000 多名旅客滞留机场。美国航空无线电委员会(RTCA)也曾在一份文件中提到,一位旅客在飞机上使用调频收音机使飞机导航系统的指示偏离 10° 以上。

例 1-4 英国谢菲尔德号导弹驱逐舰的惨剧。

1982 年英阿马岛战争中,英国谢菲尔德号导弹驱逐舰上的雷达和通信系统互相干扰,为了确保通信不受干扰而暂时关闭了本舰雷达,导致没有及时发现来袭的飞鱼导弹,造成舰毁人亡的后果。

例 1-5 电磁辐射对人体的影响。

1) 生物体对电磁辐射能量的吸收

电磁辐射可以分为电离辐射和非电离辐射。电磁辐射的量子能量

$$\omega = hf \quad (1-2-1)$$

其中, $h=6.62 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$, 是普朗克常数; f 是频率(Hz)。如果电磁辐射的频率 $f > 3 \times 10^{15} \text{Hz}$, 量子的能量可以使原子和分子电离,称为电离辐射,例如 X 射线辐射、 γ 射线辐射。如果电磁辐射的频率 $f < 3 \times 10^{15} \text{Hz}$, 量子的能量不能使原子和分子电离,称为非电离辐射。电磁骚扰和电磁污染一般属于非电离辐射。

生物体单位时间内、单位质量吸收的电磁辐射能量(W/kg)称为比吸收率(specific energy absorption rate, SAR)

$$\text{SAR} = \frac{p}{\rho} = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (1-2-2)$$

其中, p 是功率密度,即单位时间内、单位体积吸收的电磁辐射能量; ρ 是生物体的密度; σ 是生物体的电导率; E 是生物体内电场强度的振幅。吸收辐射场能量,会引起体温(或局部体温)升高。为了更好地计量人体全身或人体局部器官吸收的电磁辐射能量,还需要分别计算人体全身平均的比吸收率和人体局部器官的比吸收率。

当辐射频率与生物体(或某些器官,例如眼睛、大脑等)的固有频率谐振时,吸收最强,称为谐振吸收。人体固有谐振频率的范围为 $30 \sim 3000 \text{MHz}$, 一般成年人的谐振吸收频率约为 400MHz 。

2) 电磁辐射对人体的影响

目前,一般认为电磁辐射对人体的影响包括 3 个方面。

(1) 热效应

生物体是由分子组成的,没有电磁辐射场时,由于热运动,分子的排列是杂乱无章的。在电场作用下分子将产生取向运动,在高频电磁场的作用下,分子反复取向运动时会因为相互之间的碰撞、摩擦而产生热量。

辐射功能密度 $S > 10 \text{mW/cm}^2$ ($E > 110 \text{V/m}$) 时,人体吸收的辐射能转化为热量,超过人体体温调节能力时,会引起人体(或局部组织)体温明显升高,或引起生理功能紊乱(人的体

温每升高一度,基础代谢增加 5%~14%,组织中的氧的需求量增加 50%~100%)。热效应首先损伤对热比较敏感的器官,例如眼睛、大脑、男性生殖器等。

例如:眼睛的晶状体含有较多的水分,能够吸收较多的微波能量,但血管又较少,不易带走过量的热。在微波照射下,可能眼的表层组织角膜还没有出现伤害,而晶状体已出现水肿。在大强度、长时间作用下会造成晶状体混浊,严重的($S > 100 \text{mW/cm}^2$)将导致白内障。

$S < 10 \text{mW/cm}^2$ 时,不会引起体温明显升高,但可能使体内局部小范围出现显著的能量吸收(谐振吸收),引起生理功能的障碍。

(2) 非热效应

$S < 1 \text{mW/cm}^2$ ($E < 61.4 \text{V/m}$),人体吸收的辐射能转化为热量,没有超过人体体温调节能力,长时间照射也不会引起体温明显的升高,但会出现烦躁、头晕、疲劳、食欲不振、失眠、记忆力减退、脱发、白血球升高、植物神经功能紊乱、脑电图和心电图的变化等症状。这些一般称为电磁辐射的非热效应,这些症状在脱离辐射源后一般是可以逐渐恢复的。

(3) 三致作用(致癌、致畸、致突变作用)

这是电磁辐射的远期效应,在国内外已经引起重视,但尚无一致的意见。一些研究者的实验表明:长时间的电磁辐射可能诱发癌症,也可能引起染色体的畸变,具有致畸、致突变作用。

(4) 决定电磁辐射对生物体影响程度的几个因素

- 场强:场强越大,影响越大。
- 频率:在谐振吸收频率处,影响最大。一般是频率升高,影响增大,微波段影响最大。
- 作用时间:电磁辐射对生物体的影响具有积累作用,作用时间越长,影响越大。
- 与辐射源的距离 r :对于偶极子天线,在天线近区 $E \propto 1/r^3$,在天线远区 $E \propto 1/r$,辐射场强随距离的增大迅速衰减,影响减小。
- 环境温度和湿度:温度高、湿度大,生物体不易散热,电磁辐射的影响增大。
- 辐射特性:脉冲波比连续波的影响大。
- 与人体状况的不同而有所差异,人身体条件以及性别、年龄不同,电磁辐射对机体的影响也不相同。

(5) 电磁辐射防护限值

电磁辐射防护限值分为职业辐射限值(每天 8 小时工作时间内照射允许的电磁辐射限值)和公众辐射限值(一天 24 小时内连续照射允许的电磁辐射限值),公众辐射限值比职业辐射限值更严格一些,是职业辐射限值的 1/5。国家标准《电磁辐射防护规定》(GB 8702—88)中规定的公众辐射限值如表 1-1 所示。

表 1-1 公众辐射限值

频率范围(MHz)	电场强度(V/m)	磁场强度(A/m)	功率密度(W/m^2)
0.1~3	40	0.1	40
3~30	$67/f^{1/2}$	$0.17/f^{1/2}$	$12/f$
30~3000	12	0.032	0.4
3000~15000	$0.22 f^{1/2}$	$0.001 f^{1/2}$	$f/7500$
15000~30000	27	0.073	2

公众辐射限值是指在一天 24 小时内,电磁辐射场量在任意连续 6 分钟内的平均值应符合表中的要求,全身平均的比吸收率(SAR)应小于 0.02W/kg 。

1.3 电磁兼容性概述

1. 电磁兼容的定义

采用一定的技术手段,使同一电磁环境中的各种电子、电气设备都能正常工作,并且不干扰其他设备的正常工作,这就是电磁兼容(Electromagnetic Compatibility, EMC)。在国家标准 GB/T4365—1995 中对电磁兼容严格的定义是:设备或系统在其电磁环境中能正常工作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。

2. 电磁兼容学科的发展

1934 年,英国的研究人员详细分析了 1000 多个无线电骚扰产生的故障,发现这些无线电骚扰来自电动机、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骚扰。人们开始有这样的认识:无线电骚扰问题的国际合作是必要的,因为无线电传输没有地理和国家边界。此外电动机、开关等仪器和设备很可能离开制造国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(International Electro-technical Commission, IEC)和国际广播联盟(International Union of Broad-casting)携手合作,在 20 世纪 30 年代,提出了无线电骚扰的技术问题。1933 年,国际无线电干扰特别委员会 CISPR(Comite International Special des Perturbations Radioelectriques)成立。CISPR 的第一次会议于 1934 年 6 月在法国巴黎召开,CISPR 起初提出的两个重要问题就是可以接受的无线电骚扰限值和测量无线电骚扰的方法,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。

第二次世界大战后,CISPR 恢复工作,越来越多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。随着无线电通信应用的日益增加,在制造各种电信产品的过程中,解决电磁干扰问题的需求变得更加迫切,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。诸如美国的 FCC(Federal Communications Commission)和英国的 BSI(British Standards Institution)开始颁布适用他们各自国家的干扰控制限值。

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,人们提出了电磁兼容性的概念。1944 年,德国电气工程师协会制定了世界上第一个电磁兼容性规范 VDE-0878,1945 年,美国颁布了最早的军用电磁兼容规范 JAN-I-225。

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形成得却比较晚。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 50 年了。从 20 世纪 40 年代提出电磁兼容性概念,使电磁兼容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