

电磁兼容性工程设计手册



陈 穷 主编
蒋全兴 周开基 王素英 副主编

国防工业出版社

电磁兼容性工程设计手册

主编 陈穷

副主编 蒋全兴 周开基 王素英

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

内容简介

本书共分 6 篇 57 章,主要包括电磁兼容性(EMC)概论,工程管理,电磁干扰特性与效应,抗干扰元器件选用,微电路 EMC 设计,典型干扰抑制电路,电源、EMI 滤波器、电子设备结构 EMC 设计,微电路 EMC 设计,天线集合电磁兼容性,电线电缆的分类与布局,静电、雷电、射频辐射、核电磁脉冲及电爆分系统防护设计,系统设计,频谱工程,C³I 系统的电磁兼容性,TEMPEST 及相关技术,电磁兼容性分析与预测,试验与测量,电磁干扰诊断等。

本书适合从事军用设备、分系统、系统的研制与试验人员阅读,对从事舰船、飞机、车辆、卫星、导弹等总体电磁兼容性研究、设计及工程管理人员特别有指导作用。本书对于从事民用产品研制与开发的工程技术人员亦有较大参考价值。

电磁兼容性工程设计手册

主编 陈穷 副主编 蒋全兴 周开基 王素英

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

*

787×1092 毫米 16 开本 印张 86 1/4 2018 千字

1993 年 10 月第一版 1993 年 10 月第一次印刷 印数:00001—5000 册

7-118-01153-3/TN·184

定价:86.00 元 3.00 元

《电磁兼容性工程设计手册》

编辑委员会

顾问	邓佑生	冯汝明			
主任	黄宁				
副主任	孔宪仑	武九丁			
秘书长	李谊				
主编	陈穷				
副主编	蒋全兴	周开基	王素英		
常务编委	王桂华				
委员	(以姓氏笔划为序)				
	文仲然	王桂华	王素英	韦锦松	曲长云
	刘云江	刘利华	吕仁清	孙业长	齐全尚
	李坚	李凯华	陈穷	周开基	贺云汉
	柳光福	蒋全兴			
责任编辑	杜豪年	宋桂珍	肖志力	冯立中	荀建华

《电磁兼容性工程设计手册》

撰稿人

第一篇 电磁兼容性概论	陈 穷	王桂华
第二篇 电磁兼容性管理	文仲然	齐全尚
第三篇 电磁干扰特性和效应		
第一章 概述		李 坚
第二章 电磁干扰与敏感性		李 坚
第三章 静电特性与效应		王素英
第四章 雷电特性与效应		刘利华
第五章 核电磁脉冲特性与效应		贺云汉
第六章 射频辐射的危害性		曲长云
第四篇 电磁兼容性设计		
第一章 元器件选用		韦锦松
第二章 设备电源的电磁兼容性设计		韦锦松
第三章 电磁干扰滤波器设计		柳光福
第四章 天线集合的电磁兼容性设计		周开基
第五章 电线电缆的分类与布局		李 坚
第六章 搭接、接大地、接地	吕仁清	蒋全兴
第七章 屏蔽	蒋全兴	吕仁清
第八章 微电路电磁兼容性设计		王素英
第九章 典型电磁干扰抑制电路		柳光福
第十章 电爆分系统电磁兼容性设计		曲长云
第十一章 静电防护		王素英
第十二章 雷电保护		刘利华
第十三章 电磁辐射对人员和燃油危害的防护设计		齐全尚
第十四章 核电磁脉冲防护与加固		贺云汉
第十五章 系统电磁兼容性设计		齐全尚
第十六章 频谱工程		刘云江
第十七章 C ³ I 系统的电磁兼容性		刘云江
第十八章 TEMPEST 及其有关技术		刘云江
第五篇 电磁兼容性分析与预测		
第一章 基本原理	周开基	李 坚
第二章 幅度筛选		周开基

第三章	频率筛选		周开基
第四章	详细预测	周开基	李 坚
第五章	性能预测		周开基
第六章	系统间电磁干扰预测与分析		周开基
第七章	系统内电磁干扰预测与分析		李 坚
第八章	共场地天线性能数模法预测与分析		周开基
第九章	天线近场数模法预测与分析		周开基
第十章	电磁兼容性预测技术的应用		周开基
第十一章	电磁兼容性数据库		李 坚
第六篇	电磁兼容性试验与测量		
第一章	设备和分系统电磁发射和敏感度测量		曲长云
第二章	频谱特性的测量		孙业长
第三章	滤波器测量		柳光福
第四章	接大地电阻与搭接电阻测量	贺云汉	吕仁清
第五章	屏蔽效能测量		蒋全兴
第六章	电磁环境测量		吕仁清
第七章	天线干扰耦合测量		齐全尚
第八章	电线电缆耦合测量		李凯华
第九章	静电放电测量		柳光福
第十章	射频辐射对电爆分系统和燃油危害的测量		王素英
第十一章	雷电放电敏感度测量		曲长云
第十二章	核电磁脉冲敏感度测量		刘利华
第十三章	系统电磁兼容性试验		曲长云
第十四章	电磁干扰诊断		周开基
附录			李凯华
			武九丁

前 言

科学技术的发展使越来越多的电气和电子设备进入社会的各个角落,电子技术已渗透到现代军队战斗力的各个方面。在飞机、舰船、导弹、车辆等系统的有限空间内,电气和电子设备的密度急剧增加,设备的发射功率越来越大,接收机灵敏度越来越高,无线电频谱日益拥挤,致使有限空间和战区的电磁环境日趋恶化。

电磁干扰严重影响着武器装备战术技术性能的有效发挥,危及人员、燃油和弹药的安全,甚至直接影响到部队的作战指挥能力。由于电磁干扰而在军事上酿成严重后果的事例屡见不鲜。在时间、空间频谱资源有限的条件下,如何使处于同一电磁环境的众多电气电子设备和系统不产生相互干扰,并正常运行,这就是电磁兼容性需要解决的关键问题。

电磁兼容性是第二次世界大战后提出的概念,60年代以来,电磁兼容性受到许多国家的关注,各工业发达国家和军事集团投入大量人力物力,建立专门机构,深入开展研究,使系统对恶劣多变的电磁环境的适应能力不断得到改善。目前电磁兼容性已成为检验武器装备系统基本特性的依据之一。

电磁兼容性技术的发展,使其迅速形成一门新兴的综合性的应用学科,它以电气和电子科学的基本理论为基础,关注并解决各种电磁污染所涉及的理论与技术课题。尤其在高技术领域中,诸如新型材料、微电子技术、高性能计算机系统、信息网络技术、隐形技术、电磁导弹、核电磁脉冲等领域中,涉及到许多电磁兼容性新课题。预料未来21世纪,电磁兼容性技术将会获得更加令人瞩目的发展。

国内外的研究和发展表明,对于电磁兼容性必须从武器装备研制的初期——方案论证阶段开始考虑,并贯彻于研制过程的各个阶段,而电磁兼容性设计是实现系统电磁兼容性的关键环节。有资料报导,若在产品开始研制时进行电磁兼容性设计,大约90%的传导和辐射干扰可得到控制。我国电磁兼容性工作起步较晚,对于电磁兼容性设计尚无系统、成熟的经验,有关电磁兼容性设计的资料非常缺乏,直接影响到电磁兼容性工程设计工作的开展。

在国防科工委领导的关怀和支持下,军用标准化中心组织一部分专家,经过三年的辛勤劳动和创造性的工作,编写了《电磁兼容性工程设计手册》。本书吸收了国内外电磁兼容性技术的最新成果和经验,注重实用性和科学性,内容丰富,文图并茂,反映了90年代初期的先进技术水平,是一本不可多得的电磁兼容性设计指南。本书的问世,希望能对从事电磁兼容性工程设计的科技人员及其他有关的科学技术工作者提供有益的帮助。

本书的最终统稿工作,由蒋全兴、陈穷、王桂华负责。

本书承蒙国防科工委科技委顾问陈芳允学部委员、北京邮电学院高攸纲教授、北方交通大学张林昌教授、航空航天部一院李一鸣研究员在百忙之中予以审阅,提出了很多宝贵的意见和建议,谨在此一并表示衷心的感谢。

本书涉及内容非常广泛,由于编者水平所限,不当之处在所难免,恳请读者不吝指正。

《电磁兼容性工程设计手册》编辑委员会

目 录

第一篇 电磁兼容性概论

第一章 电磁兼容性对系统效能的影响·····	3.2 电磁干扰抑制技术概要 ····· (15)
····· (1)	第四章 电磁兼容性设计程序····· (18)
1.1 引言····· (1)	4.1 引言 ····· (18)
1.2 对精度的影响····· (2)	4.2 一般防护设计程序 ····· (18)
1.3 对安全性的影响····· (2)	4.3 系统设计程序 ····· (20)
1.4 对设计准则的影响····· (2)	4.4 电磁兼容性验收准则 ····· (23)
1.5 对可靠性的影响····· (2)	第五章 电磁兼容性系统设计的检查内容····· (25)
1.6 对质量保证的影响····· (3)	····· (25)
1.7 电磁兼容性与环境控制的关系 ····· (3)	5.1 引言 ····· (25)
····· (3)	5.2 电磁兼容性大纲的管理控制要求 ····· (25)
1.8 电磁兼容性的效/费权衡 ····· (3)	····· (25)
第二章 电磁兼容性研究的基本内容 ··· (4)	5.3 电磁兼容性大纲的文件和资料要求 ····· (25)
2.1 引言····· (4)	····· (25)
2.2 电磁兼容性研究的范围····· (4)	5.4 电磁兼容性检验/证书要求····· (25)
2.3 电磁兼容性工程管理····· (7)	5.5 设备及其特性的分类 ····· (26)
2.4 频谱利用与管理····· (8)	5.6 系统适用性、工作环境和特殊考虑····· (26)
2.5 电磁能的危害 ····· (10)	····· (26)
2.6 系统电磁兼容性研究 ····· (11)	5.7 系统分析 ····· (27)
2.7 电磁兼容性分析与预测 ····· (11)	5.8 系统规范 ····· (28)
2.8 电磁兼容性标准、规范和手册····· (12)	5.9 电磁兼容性基本设计参量 ····· (29)
····· (12)	5.10 电磁兼容性工程技术检查要领····· (29)
第三章 电磁干扰抑制技术····· (14)	····· (29)
3.1 引言 ····· (14)	

第二篇 电磁兼容性管理

第一章 电磁兼容性管理的内容和方法·····	1.1 引言 ····· (33)
····· (33)	1.2 电磁兼容性管理的内容 ····· (34)

1.3 电磁兼容性管理的方法	(35)	3.1 电磁兼容性大纲	(40)
第二章 工程阶段中的电磁兼容性工作内容	(36)	3.2 电磁兼容性控制计划	(40)
2.1 工程阶段的划分	(36)	3.3 电磁兼容性技术组	(42)
2.2 论证阶段	(36)	3.4 工程频谱管理	(42)
2.3 方案阶段	(37)	3.5 电磁环境考虑	(45)
2.4 工程研制阶段	(38)	3.6 电磁兼容性分析与预测	(46)
2.5 定型阶段	(38)	3.7 电磁兼容性试验	(48)
2.6 生产和使用阶段	(39)	3.8 标准的应用和剪裁	(49)
第三章 电磁兼容性管理的关键内容		3.9 技术评审	(50)
.....	(40)	3.10 电磁兼容性培训.....	(51)

第三篇 电磁干扰特性和效应

第一章 概述	(53)	3.4.2 器件翻转.....	(122)
1.1 定义	(53)	3.4.3 失效机理.....	(122)
1.2 电磁干扰性质	(53)	3.4.4 对ESD敏感的器件	(124)
1.3 系统内和系统间电磁干扰	(54)	3.5 火箭飞行过程中静电充电的机理	(126)
1.3.1 系统间电磁干扰	(54)	3.5.1 大气电场引起感应电荷.....	(127)
1.3.2 系统内电磁干扰	(56)	3.5.2 火箭发动机的静电充电作用.....	(127)
第二章 电磁干扰与敏感性	(58)	3.6 火箭飞行过程中静电放电的机理	(128)
2.1 引言	(58)	3.6.1 电晕放电.....	(128)
2.2 电磁干扰源	(58)	3.6.2 电弧放电.....	(128)
2.2.1 电磁干扰和干扰源的分类	(58)	3.6.3 表面电流放电.....	(129)
2.2.2 自然干扰源	(59)	3.7 飞行器静电放电特性.....	(130)
2.2.3 人为干扰源	(65)	3.7.1 沉积静电的影响(P-静电的影响)	(130)
2.3 敏感性	(82)	3.7.2 山特·爱尔莫火花.....	(130)
2.3.1 电磁干扰敏感性评定标准	(82)	3.7.3 摩擦起电.....	(130)
2.3.2 电磁干扰敏感机理	(90)	3.7.4 静电放电.....	(130)
2.4 电磁干扰耦合.....	(101)	3.7.5 交叉场梯度.....	(131)
2.4.1 传导耦合.....	(102)	3.8 飞机燃油系统的静电效应.....	(131)
2.4.2 辐射耦合.....	(104)	第四章 雷电特性与效应	(133)
第三章 静电特性与效应	(114)	4.1 引言.....	(133)
3.1 引言.....	(114)	4.2 自然雷电的电特性.....	(133)
3.2 术语.....	(114)	4.2.1 雷电放电类型.....	(134)
3.3 静电起因及静电效应.....	(115)		
3.4 静电敏感特性.....	(121)		
3.4.1 ESD失效类型	(121)		

4.2.2 雷电过程.....	(136)	5.3.6 传导的电磁脉冲.....	(167)
4.2.3 雷电性能数据.....	(141)	5.4 电气系统的敏感性.....	(171)
4.2.4 电闪频谱.....	(141)	5.4.1 工作失灵.....	(171)
4.2.5 大气和大地中电场表达式.....	(142)	5.4.2 功能损坏.....	(172)
4.2.6 雷暴区与电闪密度.....	(144)	5.4.3 相对灵敏度.....	(172)
4.3 效应.....	(144)	5.4.4 损坏阈值.....	(174)
4.3.1 机械和热效应.....	(144)	5.4.5 电缆的损坏.....	(175)
4.3.2 电效应.....	(146)	5.4.6 电路敏感性分析.....	(175)
4.3.3 对人员的影响.....	(148)	第六章 射频辐射的危害性	(177)
4.3.4 对飞行器的影响.....	(148)	6.1 引言.....	(177)
第五章 核电磁脉冲特性与效应	(151)	6.2 射频辐射对人体的危害.....	(177)
5.1 引言.....	(151)	6.2.1 射频辐射对人体的危害机理.....	(177)
5.2 EMP 源与 EMP 环境.....	(151)	6.2.2 对生物的危害性.....	(181)
5.2.1 EMP 产生的机理.....	(151)	6.2.3 射频辐射对人体危害标准.....	(185)
5.2.2 均匀大气层核爆炸产生的 EMP.....	(151)	6.3 射频辐射对军械系统电爆装置的危害.....	(191)
5.2.3 地面与近地面爆炸产生的 EMP.....	(153)	6.3.1 概述.....	(191)
5.2.4 高空爆炸的 EMP.....	(154)	6.3.2 电爆管类型及起爆原理.....	(191)
5.2.5 电磁脉冲与雷电冲击的比较.....	(161)	6.3.3 危害电爆装置的潜在干扰源.....	(194)
5.2.6 NEMP 特性综述.....	(161)	6.3.4 安全距离.....	(194)
5.2.7 内电磁脉冲(IEMP).....	(161)	6.3.5 安全系数.....	(195)
5.2.8 系统电磁脉冲(SGEMP).....	(162)	6.4 射频辐射对燃油的危害.....	(196)
5.3 核电磁脉冲在电气系统中的感应.....	(163)	6.4.1 燃烧的物理性能.....	(196)
5.3.1 概述.....	(163)	6.4.2 燃料特性.....	(198)
5.3.2 电磁脉冲在电性小的导体中的感应.....	(163)	6.5 射频辐射对元器件和设备的危害.....	(200)
5.3.3 EMP 在较大结构物中的感应.....	(167)	6.5.1 危害性.....	(200)
5.3.4 EMP 通过屏蔽和机壳的耦合.....	(167)	6.5.2 电磁危害性的控制.....	(201)
5.3.5 EMP 通过缝隙和孔洞的耦合.....	(167)	6.5.3 保护设备免遭电磁辐射危害的方法.....	(202)
		6.5.4 干扰功率传输和转换.....	(203)

第四篇 电磁兼容性设计

第一章 元器件选用	(205)	1.1.2.1 瓷介电容器.....	(205)
1.1 电容器.....	(205)	1.1.2.2 金属化纸介电容器.....	(206)
1.1.1 引言.....	(205)	1.1.2.3 涤纶电容器.....	(206)
1.1.2 电容器选择.....	(205)	1.1.2.4 云母电容器.....	(206)

1.1.2.5 薄膜电容器	(206)	1.6.1 连接器中的交扰	(248)
1.1.2.6 玻璃釉电容器	(206)	1.6.2 特性阻抗和失配	(249)
1.1.2.7 电解电容器	(206)	1.6.3 接触阻抗和插入损耗	(251)
1.1.3 应用考虑	(207)	1.6.4 转移阻抗与屏蔽效能	(252)
1.2 电阻器	(212)	1.6.5 浮地连接器	(252)
1.2.1 引言	(212)	1.6.6 滤波器插脚连接器和压敏电阻插脚连接器	(252)
1.2.2 电阻器选择	(212)	1.6.7 同轴连接器	(253)
1.2.2.1 合成电阻器	(212)	1.7 电缆	(253)
1.2.2.2 薄膜电阻器	(213)	1.7.1 同轴电缆与屏蔽双绞线的比较	(253)
1.2.2.3 线绕电阻器	(213)	1.7.2 编织屏蔽	(254)
1.2.2.4 可变电阻器	(214)	1.7.3 引出端的效应	(254)
1.2.2.5 固定薄膜电阻网络	(214)	1.7.4 带状电缆	(255)
1.2.2.6 敏感电阻器	(214)	1.7.5 各种电缆形状的磁屏蔽效能	(256)
1.2.2.7 各种电阻器的电流噪声、电压系数、阻值、功率范围和温度系数	(216)	1.8 模拟和逻辑有源器件	(257)
1.2.3 应用考虑	(217)	1.8.1 敏感度门限值的确定	(257)
1.3 磁性元件	(221)	1.8.2 晶体管噪声和电磁干扰情况	(265)
1.3.1 电感器	(221)	1.8.3 模拟器件	(269)
1.3.1.1 电感器参数	(222)	1.8.4 逻辑器件	(275)
1.3.1.2 电感器应用考虑	(223)	1.8.5 电力电子半导体器件	(275)
1.3.1.3 有关电感器的电磁干扰问题	(224)	1.8.6 微电子器件的静电放电(ESD)敏感度	(281)
1.3.2 变压器和磁耦合元件	(225)	1.8.7 电子管	(282)
1.3.2.1 电源变压器	(225)	1.9 光纤光缆	(284)
1.3.2.2 信号和脉冲变压器	(229)	1.9.1 光纤光缆类型	(285)
1.3.2.3 抗干扰变压器	(231)	1.9.2 光纤尺寸	(285)
1.3.2.4 隔离变压器	(231)	1.9.3 光纤应用的一般电磁干扰防护措施	(286)
1.3.2.5 中和变压器	(232)	1.9.4 在数字光纤系统中的元件布置	(286)
1.3.2.6 铁氧体珠	(234)	1.9.5 光纤适配器	(291)
1.4 继电器	(236)	1.9.6 光纤传输系统的防辐射	(291)
1.4.1 电磁继电器	(236)	1.10 印制电路板	(291)
1.4.2 固态继电器	(239)	1.10.1 单面板	(291)
1.4.3 应用考虑	(243)	1.10.1.1 印制电路的阻抗	(291)
1.5 开关	(245)	1.10.1.2 线路板布线	(294)
1.5.1 辉光和电弧现象	(245)	1.10.2 双面板	(295)
1.5.2 开关的动态过程	(246)	1.10.3 多层板	(296)
1.5.3 开关自身触点的保护	(248)	第二章 设备电源的电磁兼容性设计	(298)
1.5.4 减少感性负载的开关瞬态	(248)		
1.5.5 保护器件的选择	(248)		
1.6 连接器	(248)		

2.1 引言.....	(298)	3.2.5 开关电源的噪声等效电路和 EMI 滤波器	(361)
2.2 电源及其变换.....	(301)	3.2.6 EMI 滤波器应用举例	(366)
2.2.1 选择准则.....	(301)	3.2.7 电源 EMI 滤波器的技术参数	(374)
2.2.2 电源变换方法.....	(302)	3.2.8 交流三相供电电源 EMI 滤波器 ...	(379)
2.2.3 无工频变压器开关电源.....	(304)	3.2.9 电源 EMI 滤波器的安装及标识 ...	(379)
2.3 交流—直流整流所产生的电磁干扰	(311)	3.2.10 电源 EMI 滤波器的网络结构和外形特点	(385)
2.3.1 基本的整流器.....	(311)	3.3 损耗线 EMI 滤波器	(393)
2.3.2 其他整流器的电磁干扰.....	(319)	3.3.1 损耗线 EMI 滤波器的插入损耗 ...	(393)
2.3.3 减少整流器谐波的方法.....	(320)	3.3.2 损耗线 EMI 滤波器的结构 ;.....	(395)
2.4 来自开关变换的电磁干扰.....	(322)	3.3.3 损耗线 EMI 滤波器的安装	(396)
2.4.1 电网的传导差模干扰.....	(323)	3.3.4 电缆滤波器.....	(397)
2.4.2 输出导线上的纹波.....	(329)	3.3.5 滤波连接器.....	(397)
2.4.3 内部辐射干扰的抑制.....	(329)	3.3.6 损耗线 EMI 滤波器与电源 EMI 滤波器的 组合应用	(397)
2.4.3.1 快(软)恢复二极管的应用	(329)	3.4 数字信号线滤波器.....	(397)
2.4.3.2 晶体管上升和下降时间的控制	(329)	3.4.1 影响数字系统的 EMI 信号	(397)
2.4.3.3 机械结构抑制技术和高频滤波	(329)	3.4.2 数字信号线滤波器.....	(399)
2.4.3.4 变压器和电感器的 EMI 抑制技术	(332)	3.4.3 磁性滤波.....	(401)
2.4.4 未来低干扰设计的两个主要改进	(332)	3.5 印制电路板 EMI 滤波器	(403)
2.5 元器件和电路设计考虑.....	(332)	3.5.1 印制电路板 EMI 滤波器	(403)
2.5.1 半导体开关器件.....	(332)	3.5.2 三引出端电容器.....	(404)
2.5.2 电容器.....	(336)	3.6 特种 EMI 滤波器	(406)
2.5.3 电感器.....	(338)	3.6.1 计算机房用 EMI 滤波器	(406)
2.5.4 变压器.....	(339)	3.6.1.1 计算机房电源 EMI 滤波器	(406)
2.5.5 铁氧体和铁氧体磁珠.....	(341)	3.6.1.2 信号线滤波器	(406)
2.5.6 导体.....	(342)	3.6.1.3 控制线滤波器	(408)
2.5.7 电阻器.....	(343)	3.6.2 EMP 滤波器	(408)
2.5.8 机械触点的保护.....	(343)	3.7 反射 EMI 滤波器	(409)
2.5.9 滤波器.....	(343)	3.8 专用滤波器.....	(410)
2.5.10 屏蔽	(344)	3.8.1 发射机滤波器.....	(411)
第三章 电磁干扰滤波器设计	(345)	3.8.2 接收机滤波器.....	(413)
3.1 引言.....	(345)	3.8.3 专用滤波器的主要技术参数.....	(415)
3.2 电源 EMI 滤波器	(345)	第四章 天线集合的电磁兼容性设计.....	(418)
3.2.1 电磁环境.....	(347)	4.1 引言.....	(418)
3.2.2 共模和差模干扰信号.....	(347)	4.2 天线集合的合理布置.....	(418)
3.2.3 电源 EMI 滤波器的网络结构	(347)	4.2.1 确定带有天线的电子设备清单.....	(419)
3.2.4 插入损耗.....	(353)		

4.2.2 确定天线的位置.....	(420)	5.5.1.1 I类电路——电源和控制电路.....	(440)
4.2.3 天线布置性能判据.....	(420)	5.5.1.2 II类电路——高电平信号电路.....	(440)
4.2.4 缩尺模型法.....	(420)	5.5.1.3 III类电路——低电平信号电路.....	(440)
4.2.5 数学模型法.....	(420)	5.5.1.4 IV类电路——电引爆装置.....	(440)
4.3 天线集合的EMI控制.....	(421)	5.5.1.5 V类电路.....	(441)
4.3.1 天线—天线耦合干扰及其控制.....	(421)	5.5.2 屏蔽.....	(441)
4.3.2 天线—设备耦合干扰及其控制.....	(421)	5.5.3 屏蔽端接和屏蔽接地.....	(441)
4.3.3 天线—电缆耦合及其控制.....	(421)	5.5.4 电路隔离.....	(442)
4.3.4 天线—船体耦合及其控制.....	(421)	5.5.4.1 最小间距.....	(442)
4.4 天线的选型.....	(422)	5.5.4.2 连接器插针分配.....	(442)
4.4.1 减少天线数量.....	(422)	5.5.4.3 电引爆装置.....	(442)
4.4.1.1 宽带天线.....	(422)	5.5.4.4 天线电缆.....	(442)
4.4.1.2 有源天线.....	(422)	5.6 舰船布线.....	(443)
4.4.1.3 相控阵天线.....	(423)	5.6.1 分类和说明.....	(443)
4.4.2 共体天线.....	(423)	5.6.1.1 一类电缆——电磁发射电缆(E).....	(443)
第五章 电线电缆的分类与布局.....	(424)	5.6.1.2 二类电缆——电磁敏感电缆(S).....	(443)
5.1 引言.....	(424)	5.6.1.3 三类电缆——既有电磁发射又敏感的电 缆(ES).....	(443)
5.2 线间电磁耦合现象.....	(424)	5.6.1.4 四类电缆——中性电缆(N).....	(443)
5.2.1 低频耦合.....	(424)	5.6.1.5 五类电缆——专用电缆(X).....	(443)
5.2.2 高频耦合.....	(429)	5.6.1.6 多芯电缆.....	(443)
5.3 一般设计要求.....	(430)	5.6.2 最小间距.....	(443)
5.3.1 分类.....	(430)	5.6.2.1 电缆间距一般要求.....	(443)
5.3.2 最小间距.....	(432)	5.6.2.2 特殊电缆敷设间距要求.....	(443)
5.3.3 电缆的选用.....	(432)	5.6.3 电缆选用.....	(444)
5.3.4 电缆和连接器.....	(433)	5.6.4 电缆屏蔽层接地.....	(444)
5.3.5 屏蔽层接地.....	(436)	第六章 搭接、接大地、接地.....	(446)
5.3.6 安装控制.....	(437)	6.1 引言.....	(446)
5.3.7 电缆标识.....	(438)	6.2 搭接.....	(446)
5.4 飞机布线.....	(438)	6.2.1 搭接目的.....	(446)
5.4.1 分类和说明.....	(438)	6.2.2 搭接电阻.....	(446)
5.4.1.1 电气负载供电线(I类).....	(438)	6.2.3 直接搭接.....	(447)
5.4.1.2 电子负载供电线(II类).....	(438)	6.2.4 间接搭接.....	(453)
5.4.1.3 敏感电路(IV类).....	(438)	6.2.5 搭接表面处理.....	(460)
5.4.1.4 隔离线(V类).....	(438)	6.2.6 腐蚀电位序和搭接金属的相容性.....	(460)
5.4.1.5 分系统互连线(VI类).....	(438)	6.2.7 搭接方法.....	(463)
5.4.2 最小间距.....	(439)	6.2.8 搭接设计指南.....	(466)
5.4.3 屏蔽、屏蔽层接地和扭绞要求.....	(439)		
5.5 航天器布线.....	(440)		
5.5.1 分类和说明.....	(440)		

6.2.9 典型搭接结构.....	(466)	7.4 磁场屏蔽.....	(531)
6.3 接大地.....	(477)	7.4.1 单层屏蔽效能的计算.....	(532)
6.3.1 接大地的目的.....	(477)	7.4.2 双层磁屏蔽效能的计算.....	(533)
6.3.2 接地电阻要求.....	(477)	7.4.3 磁屏蔽体的结构.....	(535)
6.3.2.1 接地电阻	(477)	7.4.4 磁屏蔽体的热处理.....	(535)
6.3.2.2 电气线路和电气设备的接地电阻要求	(478)	7.4.5 磁屏蔽体的设计要点.....	(537)
6.3.2.3 通信电子设备的接地电阻要求	(478)	7.5 电磁屏蔽.....	(537)
6.3.2.4 飞机安全电气接地电阻要求	(478)	7.5.1 实心型屏蔽.....	(537)
6.3.2.5 雷电保护接地电阻要求	(478)	7.5.2 非实心型屏蔽.....	(549)
6.3.3 土壤电阻率.....	(478)	7.5.2.1 缝隙的屏蔽	(550)
6.3.4 土壤电阻率的测量.....	(479)	7.5.2.2 通风孔的屏蔽	(553)
6.3.5 大地电极的类型.....	(483)	7.5.2.3 截止波导通风窗屏蔽效能估算	(560)
6.3.6 电极的接地电阻.....	(485)	7.5.2.4 截止波导通风窗的设计	(561)
6.3.7 电极的瞬态阻抗.....	(492)	7.5.2.5 表头孔的屏蔽	(562)
6.3.8 减小电极接地电阻的措施.....	(492)	7.5.2.6 调控轴的屏蔽	(564)
6.4 接地(信号地).....	(498)	7.5.2.7 开关、指示灯的屏蔽	(565)
6.4.1 电子系统和设备接地目的.....	(498)	7.5.2.8 显示器的屏蔽	(566)
6.4.2 地线的阻抗.....	(498)	7.5.2.9 信号线在机箱出入处的屏蔽(电缆线连接器的屏蔽).....	(567)
6.4.3 电子设备(或系统)接地类型.....	(500)	7.5.2.10 电源线的处理	(570)
6.4.4 单元电路的接地.....	(511)	7.5.2.11 保险丝座的屏蔽	(570)
6.4.5 多级电路的接地.....	(512)	7.5.2.12 非实心型屏蔽体屏蔽效能计算	(570)
6.4.6 按地线性质分类数设的复杂电子设备的接地.....	(513)	7.6 电磁屏蔽设计导则.....	(571)
6.4.7 信号电路屏蔽罩的接地.....	(514)	7.7 屏蔽材料.....	(573)
6.4.8 地线中的干扰.....	(516)	7.7.1 常用金属材料的相对电导率和相对磁导率及其屏蔽性能.....	(573)
6.4.9 减小地线干扰的措施.....	(519)	7.7.2 导电衬垫.....	(575)
6.5 舰船设备接地要求.....	(523)	7.7.3 屏蔽用金属网.....	(583)
6.5.1 金属船的接地系统.....	(523)	7.7.4 穿孔薄金属板.....	(588)
6.5.2 典型数字计算机的接地系统(单点接地).....	(523)	7.7.5 导电薄膜与透明导电玻璃、导电塑料.....	(589)
6.5.3 非金属船的接地系统.....	(524)	7.7.6 屏蔽喷涂料.....	(591)
第七章 屏蔽	(525)	7.7.7 导电布、导电纤维与导电纸	(591)
7.1 引言.....	(525)	7.7.8 导电胶和导电充填胶.....	(592)
7.2 屏蔽效能.....	(525)	7.7.9 导电润滑脂.....	(592)
7.3 电场屏蔽.....	(526)	7.7.10 导电橡胶	(593)
7.3.1 电场屏蔽机理.....	(526)	7.7.11 常用磁屏蔽材料	(593)
7.3.2 电场屏蔽设计要求.....	(527)	7.8 屏蔽室设计.....	(599)
7.3.3 电场屏蔽的典型结构.....	(528)	7.8.1 屏蔽室的种类.....	(599)

7.8.2	屏蔽室壁板的结构形式	(599)	8.5.5.3	底板	(635)
7.8.3	屏蔽室关键部分的结构	(600)	8.5.5.4	互连电缆	(636)
7.8.4	屏蔽室的谐振	(602)	8.5.5.5	屏蔽电缆	(637)
7.8.5	屏蔽室的接地	(604)	8.5.6	共模辐射	(637)
7.9	电波暗室	(604)	8.5.7	共模辐射的控制	(639)
7.10	舰船屏蔽舱室	(605)	8.5.7.1	共模电流和共模电压	(639)
7.10.1	屏蔽舱室的一般要求	(605)	8.5.7.2	电缆的去耦和屏蔽	(639)
7.10.2	屏蔽舱室的结构设计要求	(606)	8.5.7.3	共模扼流圈	(641)
7.11	方舱	(606)	8.5.7.4	共模电流的测量	(641)
第八章	微电路电磁兼容性设计	(608)	8.6	逻辑器件	(642)
8.1	引言	(608)	8.6.1	逻辑电路的噪声抗扰度	(644)
8.2	数字微电路与模拟微电路的关系	(613)	8.6.1.1	交流噪声容限	(645)
8.3	数字电路的噪声干扰	(614)	8.6.1.2	噪声能量抗扰度	(646)
8.3.1	数字逻辑噪声	(614)	8.6.1.3	供电电源抗扰度和接地噪声	(649)
8.3.2	内部噪声源	(615)	8.6.1.4	逻辑动态电阻与电磁干扰的关系	(650)
8.3.3	数字电路接地噪声	(617)	8.6.1.5	电磁干扰对逻辑特性的影响	(652)
8.4	减小数字电路的噪声	(617)	8.6.2	逻辑器件对带外电磁干扰的敏感度	(652)
8.4.1	减小电感	(618)	8.6.3	噪声发射	(654)
8.4.2	实际数字电路接地系统	(619)	8.6.4	降低逻辑芯片中的电磁干扰	(660)
8.4.3	减小环路面积	(620)	8.6.5	总线驱动器和接收器	(662)
8.4.4	电源配电系统	(621)	8.6.6	驱动器/接收器电磁干扰的改善	(664)
8.4.5	电源去耦	(621)	8.6.7	微器件与其电磁干扰的影响因素	(665)
8.4.6	大容量去耦电容	(622)	第九章	典型电磁干扰抑制电路	(669)
8.4.7	去耦电容的类型和数值	(622)	9.1	引言	(669)
8.4.8	去耦电容器的布局	(623)	9.2	感性负载瞬态抑制电路	(669)
8.4.9	选择去耦方法	(624)	9.2.1	瞬态过程	(669)
8.4.10	噪声电压设计目标	(625)	9.2.2	感性负载的瞬态抑制	(671)
8.4.11	噪声电压测量与控制	(626)	9.2.2.1	并联电阻	(672)
8.4.12	无用输入端的处理	(627)	9.2.2.2	压敏电阻电路	(672)
8.4.13	逻辑族	(627)	9.2.2.3	稳压管对电路	(675)
8.5	数字电路的辐射	(627)	9.2.2.4	R-C 网络	(675)
8.5.1	集成电路差模辐射	(628)	9.2.2.5	二极管电路	(679)
8.5.2	环面积—控制差模辐射	(629)	9.2.2.6	二极管与稳压管串接电路	(679)
8.5.3	环电流—控制差模辐射	(630)	9.2.2.7	耦合线圈电路	(680)
8.5.4	傅里叶级数	(630)	9.2.2.8	受控晶体三级管电路	(682)
8.5.5	印制电路板差模辐射的控制	(632)	9.2.2.9	受控可控硅电路	(682)
8.5.5.1	电路板布线	(632)	9.2.2.10	小结	(682)
8.5.5.2	多层板	(634)			

9.2.3 开关触点保护网络·····	(686)	9.5.3.2 门控噪声限幅器·····	(727)
9.2.3.1 电容器电路·····	(686)	9.5.4 光耦合器与光缆·····	(727)
9.2.3.2 R-C 保护网络·····	(687)	9.5.4.1 光耦合器·····	(728)
9.2.3.3 R-C 保护网络·····	(688)	9.5.4.2 光缆和光缆通信·····	(731)
9.2.3.4 小结与举例·····	(688)	第十章 电爆分系统电磁兼容性设计·····	(734)
9.3 去耦电路·····	(690)	10.1 引言·····	(734)
9.3.1 电源去耦·····	(690)	10.2 电爆装置元件选择·····	(734)
9.3.1.1 汇流条和电源馈线·····	(690)	10.3 电爆分系统防射频危害设计·····	(735)
9.3.1.2 并接电容器·····	(691)	10.3.1 电气要求·····	(735)
9.3.1.3 R-C 去耦电路·····	(693)	10.3.2 电源·····	(735)
9.3.1.4 L-C 去耦电路·····	(695)	10.3.3 布线·····	(735)
9.3.2 放大器去耦·····	(698)	10.3.4 导线分类·····	(736)
9.3.2.1 低频放大器的级间去耦·····	(698)	10.3.5 屏蔽·····	(736)
9.3.2.2 调谐放大器的级间去耦·····	(698)	10.3.6 屏蔽帽·····	(736)
9.3.2.3 射极跟随器·····	(700)	10.3.7 电缆·····	(736)
9.3.2.4 VHF 和 UHF 放大器去耦电路·····	(701)	10.3.8 绝缘电阻·····	(736)
9.3.2.5 微波放大器去耦电路·····	(701)	10.3.9 点火后的短路保护·····	(736)
9.4 平衡电路·····	(702)	10.3.10 点火线路·····	(736)
9.4.1 平衡电路·····	(703)	10.3.11 连接器(插头座)·····	(737)
9.4.2 共模抑制比·····	(705)	10.3.12 开关·····	(737)
9.4.3 四芯电缆平衡结构降低容性耦合·····	(707)	10.3.13 机械要求·····	(738)
9.4.4 扭绞线平衡结构减小感性耦合·····	(709)	10.3.14 电引爆器设计要求·····	(738)
9.4.5 差分放大器·····	(710)	10.3.15 爆、不爆和解保、保险装置·····	(738)
9.4.6 平衡混频器·····	(714)	10.3.16 环境要求·····	(739)
9.4.6.1 单端混频器·····	(714)	10.4 预防电磁辐射危害的标准·····	(739)
9.4.6.2 单平衡混频器·····	(716)	10.5 防护措施·····	(741)
9.4.6.3 双平衡混频器·····	(718)	10.6 电爆分系统发火线路设计举例·····	(744)
9.4.6.4 数字锁相环用作混频器·····	(718)	第十一章 静电防护·····	(753)
9.4.7 平衡调制电路·····	(719)	11.1 引言·····	(753)
9.4.8 平衡放大器·····	(721)	11.2 静电防护材料·····	(753)
9.4.8.1 乙、丙类放大器分析·····	(721)	11.2.1 ESD 防护材料分类·····	(753)
9.4.8.2 锁相环倍频器·····	(721)	11.2.2 ESD 防护材料的主要性能·····	(754)
9.4.8.3 推挽放大电路·····	(722)	11.2.3 成型的 ESD 防护材料·····	(754)
9.5 特殊噪声抑制电路·····	(723)	11.2.4 局部抗静电剂·····	(756)
9.5.1 噪声消隐器·····	(723)	11.3 ESD 防护设备·····	(757)
9.5.2 噪声抵消器·····	(724)	11.3.1 电离器·····	(757)
9.5.3 噪声限幅器·····	(726)		
9.5.3.1 峰值限幅器·····	(726)		

11.3.2 静电探测器	(757)	12.6.5 发动机和电爆管	(788)
11.3.3 防护地板	(758)	12.7 设备保护考虑	(788)
11.3.4 静电传感器和报警器	(758)	12.7.1 危险估计	(788)
11.3.5 瞬态抑制器	(758)	12.7.2 保护设计	(789)
11.3.6 人体接地和带	(758)	12.7.3 过电压保护装置	(789)
11.3.7 工作人员的服装	(759)	12.7.4 其他措施	(793)
11.3.8 接地工作台	(759)	第十三章 电磁辐射对人员和燃油危害的防	
11.3.9 分流棒、线夹、导电泡沫材料	(760)	护设计	(796)
11.3.10 电气设备、工具、烙铁、焊料盒、波峰焊设		13.1 引言	(796)
备	(760)	13.2 电磁辐射危害性分析预测	(796)
11.3.11 试验设备	(760)	13.2.1 辐射危害场特性参数	(796)
11.3.12 温箱	(760)	13.2.2 辐射危害场强度的确定	(797)
11.3.13 喷雾、清洗、油漆和喷砂设备	(760)	13.3 电磁辐射对人员危害的防护设计	(802)
11.4 相对湿度	(760)	13.3.1 电磁辐射危害防护准则	(802)
11.5 接地考虑	(761)	13.3.2 电磁辐射危害限值的确定	(802)
11.6 保护网络设计	(763)	13.3.3 辐射危害防护设计	(803)
11.7 信息技术设备设计中ESD防护	(764)	13.3.4 对人员灼伤危害的防护设计	(806)
11.8 飞行器的ESD防护	(775)	13.4 电磁辐射对燃油危害的防护设计	(806)
11.9 火箭的ESD防护	(776)	13.4.1 防护设计原理	(806)
11.10 燃油的ESD防护	(779)	13.4.2 燃油防射频危害的设计	(807)
第十二章 雷电保护	(780)	第十四章 核电磁脉冲防护与加固	(811)
12.1 引言	(780)	14.1 引言	(811)
12.2 基本的保护要求	(780)	14.2 屏蔽	(812)
12.3 吸引面积	(780)	14.2.1 不连接(孔洞、缝隙)效应与防护技术	(812)
12.3.1 高度低于100m的结构物	(780)	14.2.2 贯穿导体	(813)
12.3.2 保护的圆锥区	(782)	14.3 设备的位置	(813)
12.4 雷电路径考虑	(783)	14.4 滤波器	(813)
12.5 飞机雷电防护考虑	(783)	14.5 终端保护装置	(814)
12.5.1 雷电感应电压	(783)	14.5.1 火花放电器与气体放电器	(814)
12.5.2 决定感应电压大小和类型的因素	(784)	14.5.2 变阻器	(816)
12.5.3 几个特殊问题	(785)	14.5.3 半导体	(816)
12.5.4 设计的一般考虑	(786)	14.5.4 火花隙放电器和滤波器混合装置	(817)
12.6 火箭、导弹雷电防护考虑	(787)	14.5.5 设计注意事项	(817)
12.6.1 发射时气象条件	(787)	14.6 网络加固	(818)
12.6.2 发射场地	(787)	14.7 回避法	(818)
12.6.3 箭(弹)体结构	(787)		
12.6.4 箭(弹)上仪器	(788)		