- 国家“十一五”出版规划重点图书
- 空间飞行器设计专业系列教材
- 航天一线专家学术专著

航天器电磁兼容技术

SPACECRAFT EMC TECHNOLOGY

陈淑凤　编著

中国科学技术出版社

·北 京·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目(CIP)数据

航天器电磁兼容技术/陈淑凤编著. —北京:中国科学技术出版社,2007.1
(空间飞行器设计专业系列教材)
ISBN 978-7-5046-4498-5

Ⅰ.航… Ⅱ.陈… Ⅲ.航天器-电磁兼容性-高等学校-教材 Ⅳ.V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 063125 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081
电话:010-62103208 传真:010-62183872
http://www.kjpbooks.com.cn
科学普及出版社发行部发行
北京长宁印刷有限公司印刷
*
开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:22.5 字数:500 千字
2007 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 2 次印刷
印数:1501—3000 册 定价:48.00 元

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内 容 提 要

本书从电磁兼容的原理和基本概念出发，通过列举大量工程例证，并结合作者多年来从事电磁兼容工作积累的工程经验及部分科研成果，阐述了航天器电磁兼容的设计思想、设计技术、分析预测技术、试验技术和电磁兼容管理等相关内容，努力做到深入浅出。

本书可供飞行器设计专业教学使用，也可供相关专业中高级科研人员和工程技术人员参考。

作 者 简 介

陈淑凤 1942 年生，研究员。1966 年毕业于中国科学技术大学无线电物理专业。在航天领域先后从事卫星天线设计、微波测量和电磁兼容技术研究等工作。现为中国空间技术研究院神舟学院硕士生导师。

责任编辑 崔 玲
封面设计 莱 瑞
责任校对 林 华
责任印制 王 沛

前　言

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，各种用电设备或系统在公共电磁环境中共存，而不至于引起性能降级的一门学科。该学科以电磁场理论为依据，以近代统计学和计算机为手段，以试验为基础，涉及电波传播、电磁耦合、信号分析、频谱利用、电磁测量、材料学等许多技术领域，是一门理论基础广泛、工程实践性极强的综合性学科。

特别是近些年来，电磁兼容领域科学技术人员进一步探讨电磁环境对人类及生物的危害，将电磁兼容概念渗透到生物医学和生态学领域，研究对象已不仅限定于电子设备间，开始涉及人类自身。因此，一些国内外学者也把电磁兼容学称作“电磁环境学”。

航天器系统构造复杂，内部空间狭小，仪器设备密集，电源分系统布局特殊，系统内电缆间、设备间、电缆与设备间等各种耦合干扰现象几乎随处可见。航天器的地面设备、地面支持设备以及航天器研制、发射、运行的地面和空间电磁环境也很复杂，要使航天器能在整个寿命期内都能正常工作，必须实施电磁兼容管理，认真研究电磁兼容技术，实现机、电、热、电磁兼容一体化设计，严格电磁兼容测试，并在有条件的情况下进行电磁兼容分析预测，这是保证航天器的安全性、可靠性的关键所在。航天器研制需要电磁兼容技术，电磁兼容技术是航天领域的支撑技术之一。

作为一名酷爱航天事业的老兵，基于对电磁兼容专业的

需要全本请访问 www.ertongbook.com

执著,把多年来从事电磁兼容工作的体会、理解和实践经验,连同部分科研成果编撰成册,为培养新一代航天人尽微薄之力,我感到骄傲。说句心里话,我们这一代人牺牲了很多个人的东西,勤勤恳恳,艰苦创业,实现了中国人自己搞卫星的梦想。我衷心祝愿年轻人创造出航天事业的新辉煌。

谨以此书献给九泉下我的父母。感谢他们给了我生命,给了我进大学学习的机会,特别是他们艰苦奋斗、勇往直前、不断进取的精神是我一生学习的榜样,并激励我完成写书的使命。

感谢张华研究员为此书编写提供了许多有价值的工程资料;感谢李晓辉在本书编写过程中做了大量具体工作并参与了第 4 章的编写,还有李慧祥参与了第 11 章的编写;感谢提供电磁兼容案例的所有朋友;感谢薛梦麟提供部分电磁兼容软件应用介绍;尤其感谢晏振乾研究员对全书进行了技术校对。

另外,感谢中国空间技术研究院研究生部全体老师对本书的编写和出版给予的大力支持,感谢飞行器设计专业教研组的各位教授和电磁兼容实验室同事们给予的帮助。

由于本人水平有限,时间仓促,本书不妥之处,敬请批评指正。

作　者

2005 年 12 月

目　　录

第 1 章　绪论 …… 1
1.1　电磁兼容学科发展历史 …… 1
1.2　电磁兼容学科的研究对象和研究内容 …… 2
1.3　EMC 领域的学术组织和学术活动 …… 4
1.4　EMC 技术在航天领域的应用 …… 5
1.5　EMC 技术发展前景 …… 7
第 2 章　电磁兼容技术基础 …… 9
2.1　缩写词含义 …… 9
2.2　常用名词术语解释 …… 10
2.2.1　EMC 名词术语 …… 10
2.2.2　EMI 名词术语 …… 12
2.2.3　耦合路径术语 …… 15
2.2.4　电磁敏感度术语 …… 16
2.2.5　其他相关术语 …… 17
2.3　EMC 测量基础知识 …… 18
2.3.1　测量值单位 …… 18
2.3.2　测量接收机检波方式 …… 20
2.3.3　频域测量带宽选择 …… 21
2.3.4　测量接收机灵敏度 …… 22
2.3.5　测量接收机过载问题 …… 23
2.3.6　测量准确度 …… 23
2.3.7　天线因子 …… 24
2.3.8　电磁环境电平 …… 27
第 3 章　EMC 标准 …… 30
3.1　EMC 标准的起源与发展 …… 30
3.1.1　EMC 标准分类 …… 30
3.1.2　军标测量与民标测量的不同 …… 31
3.2　对 EMC 标准的理解和认识 …… 32

3.2.1 标准权威性 …… 32
3.2.2 标准可裁剪性 …… 32
3.2.3 EMC 测量标准 …… 33
3.3 航天器 EMC 相关标准介绍 …… 36
3.3.1 国军标 GJB151A/152A 简介 …… 37
3.3.2 GJB3590－99《航天系统电磁兼容性要求》 …… 38
3.3.3 国际标准 ISO14302－2002 …… 38
第 4 章 EMC 预测分析技术 …… 40
4.1 EMC 预测分析的概念 …… 40
4.2 EMC 预测分析的原理 …… 41
4.2.1 电磁干扰三要素 …… 41
4.2.2 电磁干扰分析 …… 42
4.3 EMC 预测分析的数学方法 …… 44
4.3.1 解析法 …… 44
4.3.2 近似法 …… 45
4.3.3 数值法 …… 47
4.4 EMC 预测分析软件 …… 50
4.4.1 EMC 2000 …… 50
4.4.2 ADF－EMS …… 51
4.4.3 EMC Analyzer …… 52
4.4.4 电磁辐射发射预测分析应用软件 …… 53
4.5 EMC 预测分析的工程应用 …… 54
4.5.1 航天器系统频率预测分析原理 …… 55
4.5.2 接收机受扰分析举例 …… 57
4.5.3 航天器系统 EMI 预测分析 …… 64
4.5.4 共模干扰分析 …… 70
4.5.5 DC/DC 模块干扰机理分析 …… 80
第 5 章 EMC 基本设计技术 …… 85
5.1 接地、搭接技术 …… 85
5.1.1 接地的基本概念 …… 85
5.1.2 搭接的基本概念 …… 87
5.1.3 公共阻抗干扰 …… 88
5.1.4 地环路干扰 …… 89

5.1.5 接地、搭接技术要点 …… 90
5.2 布局、布线技术 …… 91
5.2.1 线间电磁耦合现象 …… 91
5.2.2 设备和电路板的分区隔离 …… 91
5.2.3 电路板布线 …… 94
5.2.4 隔离技术应用举例 …… 95
5.2.5 电缆布线分类 …… 96
5.2.6 布局、布线技术要点 …… 97
5.3 屏蔽技术 …… 98
5.3.1 屏蔽效能 …… 98
5.3.2 屏蔽的不连续性 …… 101
5.3.3 密封衬垫 …… 102
5.3.4 电缆屏蔽 …… 104
5.3.5 屏蔽技术要点 …… 106
5.4 滤波技术 …… 107
5.4.1 电源线滤波器 …… 107
5.4.2 共模滤波 …… 109
5.4.3 共模抑制比 …… 112
5.4.4 电源 EMI 滤波器 …… 112
5.4.5 滤波技术要点 …… 113
5.5 静电放电防护设计 …… 114
5.5.1 静电放电发生机理 …… 114
5.5.2 静电放电危害 …… 114
5.5.3 静电放电防护措施 …… 116
5.6 EMC 加固举例 …… 117
5.6.1 某星载子系统 EMC 加固 …… 118
5.6.2 接口电路 EMC 分析 …… 125
第 6 章 EMC 试验技术 …… 131
6.1 概述 …… 131
6.1.1 EMC 试验技术发展概况 …… 131
6.1.2 EMC 试验的重要地位 …… 135
6.2 EMC 测试场地要求 …… 136
6.2.1 标准 EMC 实验室建设 …… 137

6.2.2 标准 EMC 实验室验收 …… 144
6.2.3 横电磁波传输小室 …… 154
6.2.4 开阔试验场地 …… 158
6.2.5 混响室 …… 162
6.3 EMI 测量设备 …… 164
6.3.1 测试接收机 …… 164
6.3.2 电磁干扰测试附件 …… 167
6.3.3 测试系统及测试软件 …… 174
6.4 EMS 测量设备 …… 175
6.4.1 模拟干扰源 …… 175
6.4.2 功率放大器 …… 180
6.4.3 功率计 …… 182
6.4.4 大功率定向耦合器 …… 183
6.4.5 附件 …… 184
6.5 EMC 测量方法 …… 186
6.5.1 传导发射测试 …… 186
6.5.2 辐射发射测试 …… 188
6.5.3 传导敏感度测试 …… 190
6.5.4 辐射敏感度测试 …… 190
6.6 EMC 测量结果误差分析 …… 191
6.6.1 与测量误差相关的基本概念 …… 192
6.6.2 GJB151A/152A 为提高测量结果可信度所做的努力 …… 194
6.6.3 电磁兼容测量结果准确度分析 …… 195
6.6.4 电磁兼容测量不确定度来源分析 …… 196
6.6.5 关于提高电磁兼容测量准确度的几点建议 …… 196
6.7 EMC 预测试技术 …… 198
6.7.1 EMC 预测试在产品研制过程中的重要性 …… 198
6.7.2 EMC 预测试设备 …… 200
6.7.3 EMC 预测试方法 …… 202
6.7.4 EMC 预测试实例 …… 204
6.7.5 EMC 加固辅助测试实例 …… 208
第 7 章 星载设备 EMC 设计 …… 211
7.1 星载设备 EMC 设计要求 …… 211

7.1.1 EMC 指标分类 …… 211
7.1.2 EMC 设计依据 …… 217
7.2 星载设备 EMC 设计实施 …… 219
7.2.1 电路板级 EMC 设计 …… 219
7.2.2 设备内部接地 …… 224
7.2.3 机箱壳体抑制 …… 226
7.2.4 时钟电路的电磁兼容设计 …… 226
7.2.5 瞬态抑制电路工程设计 …… 226
7.2.6 平衡电路工程设计 …… 230
7.2.7 去耦电路工程设计 …… 232
7.3 开关电源 EMC 设计 …… 233
7.3.1 开关电源干扰分析 …… 233
7.3.2 开关电源的干扰抑制措施 …… 234
7.4 高频设备 EMC 设计 …… 240
7.4.1 高频电路 EMI 现象分析 …… 240
7.4.2 高频设备 EMC 设计方法 …… 242
7.4.3 空间微放电现象抑制措施 …… 243
7.4.4 无源互调干扰现象分析 …… 245
7.4.5 UHF 大功率多工器设计 …… 249
7.4.6 天线集合 EMC 设计 …… 251
第 8 章 星载设备 EMC 试验验证 …… 254
8.1 星载设备 EMC 测量要求 …… 254
8.1.1 星载设备 EMC 测量项目 …… 254
8.1.2 星载设备 EMC 测试注意事项 …… 255
8.2 星载设备 EMC 测量方法 …… 256
8.2.1 CE101 传导发射测量 …… 256
8.2.2 CE102 传导发射测量 …… 257
8.2.3 CE106 传导发射测量 …… 259
8.2.4 CE107 传导发射测量 …… 261
8.2.5 CS101 传导敏感度测量 …… 262
8.2.6 CS106 传导敏感度测量 …… 263
8.2.7 CS114 传导敏感度测量 …… 264
8.2.8 CS115 传导敏感度测量 …… 266

需要全本请访问 www.ertongbook.com

8.2.9 CS116 传导敏感度测量 …… 269
8.2.10 RE101 辐射发射测量 …… 271
8.2.11 RE102 辐射发射测量 …… 272
8.2.12 RS101 磁场辐射敏感度测量 …… 273
8.2.13 RS103 辐射敏感度测试 …… 275
8.2.14 微波无源组件电磁泄漏评估 …… 276
8.3 EMC 设计建议和改进措施 …… 277
8.3.1 与 CE101/CE102 相关的传导发射抑制措施 …… 278
8.3.2 与 CE107 相关的瞬态传导发射抑制措施 …… 282
8.3.3 与 RE102 相关的辐射发射措施 …… 283
8.3.4 关于传导敏感度达标的考虑 (CS101) …… 284
8.3.5 关于瞬态传导敏感度达标的考虑 (CS106) …… 286
8.3.6 关于辐射敏感度 (RS103) 达标的考虑 …… 287
8.4 无源互调产物测试 …… 287
8.5 空间微放电现象测试 …… 289
8.6 EMC 试验结果评价 …… 291
第 9 章 航天器系统级 EMC 设计 …… 294
9.1 系统级 EMC 设计任务分析 …… 294
9.2 系统级 EMC 设计原则和设计程序 …… 296
9.2.1 系统级 EMC 设计原则 …… 296
9.2.2 系统级 EMC 设计程序 …… 299
9.3 系统级 EMC 设计要求 …… 300
9.4 系统级 EMC 设计内容 …… 302
9.4.1 频率配置 …… 303
9.4.2 建立航天器接地网络图 …… 304
9.4.3 航天器电源分系统的 EMC 设计 …… 305
9.4.4 航天器内布局、布线 …… 307
9.4.5 航天器的剩磁要求 …… 308
9.4.6 计算机软件抗干扰设计 …… 308
9.4.7 电爆装置的 EMC 设计 …… 309
9.4.8 机构、结构 EMC 设计 …… 310
9.4.9 测通分系统 EMC 设计 …… 310
9.4.10 天线集合兼容性设计 …… 310

9.4.11 其他问题 …… 311
9.5 系统间 EMC 设计 …… 312
第 10 章 航天器系统级 EMC 试验验证 …… 314
10.1 系统级 EMC 试验的必要性 …… 314
10.2 系统级 EMC 试验要求 …… 315
10.2.1 系统级 EMC 试验的目的和标准 …… 315
10.2.2 EMC 测试大纲和测试细则 …… 316
10.2.3 EMC 试验队伍及工作模式 …… 317
10.3 系统内 EMC 试验内容 …… 318
10.3.1 系统总装过程中的接地电阻和搭接电阻测试…… 319
10.3.2 系统电源特性测量…… 320
10.3.3 系统自兼容试验…… 320
10.3.4 天线耦合度测量…… 321
10.4 系统间 EMC 试验 …… 325
10.4.1 星箭间 EMC 试验 …… 325
10.4.2 航天器与发射场间 EMC 试验 …… 326
10.4.3 EMC 试验数据分析 …… 327
10.4.4 航天器与环境场间电磁兼容试验举例…… 328
第 11 章 电磁兼容管理 …… 329
11.1 实施 EMC 管理的必要性 …… 329
11.2 EMC 管理内容和方法 …… 330
11.3 EMC 实验室管理 …… 331
11.4 EMC 技术组和 EMC 培训 …… 333
11.5 航天器 EMC 管理状况和相关标准介绍 …… 334
参考文献 …… 337
后记 …… 339

总　　序

我国航天技术走过了 40 多年的光荣历程，正面临着 21 世纪更加蓬勃发展的形势，需要人才，需要知识。

空间飞行器即航天器，包括卫星、飞船、空间站、深空探测器等等。空间飞行器设计专业是航天技术领域的一门主要学科，它所涵盖的知识面很宽，涉及光、机、电、热和系统工程等，是一门多学科交叉综合和工程性很强的新型学科。

本丛书是根据空间飞行器设计专业培养研究生的课程教学需求，同时考虑到空间技术领域的在职中、高级技术人员研究生水平进修的需要而编写的。因此，本丛书全面讲授空间飞行器设计专业领域的基础理论和系统的专门知识，在内容上具有足够的纵深度和宽广度、前沿性和前瞻性。

本丛书的作者都是从事了几十年航天工程的高级设计师和研究员，他们把自己丰富的知识和经验很好地融入到这套丛书中，理论与实践密切结合，使本丛书具有很高的学术水平和工程实用价值。

本丛书将陆续出版。它的出版是非常值得祝贺的，相信它不仅是一套不错的研究生教材，能够为培养高级航天技术人才服务；同时又是一套优秀的学术专著，将对我国航天科学与技术的发展做出贡献。



2001 年 9 月

第1章 绪 论

电磁兼容(Electromagnetic Compatibility 以下简称 EMC)是研究在有限的空间、有限的时间、有限的频谱资源条件下,各种用电设备或系统在公共电磁环境中共存,而不至于引起性能降级的一门学科。该学科以电磁场理论为依据,以近代统计学和计算机为手段,以试验为基础,涉及电波传播、电磁耦合、信号分析、频谱利用、电磁测量、材料学等许多技术领域。电磁兼容是一门理论基础广泛、工程实践性极强的综合性学科。广义的 EMC 还涉及雷电防护及电磁辐射对人身的影响等。

本章将介绍 EMC 学科发展历史,EMC 学科研究对象和研究内容,EMC 领域的学术组织和学术活动,EMC 技术在航天领域的应用,EMC 技术发展前景。

1.1 电磁兼容学科发展历史

问津 EMC 学科历史,需要追溯到 19 世纪。众所周知,1864 年麦克斯韦发表著名的 Maxwell 方程,预言电磁波的存在。1866 年第一台发电机发电,人为的电磁污染开始出现。随着电气化运输业的发展,人们发现在一根通信线与不对称强电线间也存在严重干扰问题。看来无线电技术的发展给人类带来了享受,同时也打破自然界原始的电磁兼容状态。1881 年英国著名科学家希维赛德发表第一篇题为“论无线电干扰”的文章,电磁干扰问题就被正式提出来了。1887 年德国的电气工程师协会成立了干扰问题研究委员会,1889 年英国邮政部门开始研究通信中的干扰问题。电磁干扰问题的研究提到议事日程。20 世纪初,各种电气工程和电子设备飞速发展,这些设备在人类活动各个领域的应用产生了巨大影响 然而一些设备在工作的同时也产生一些无用的电磁能量,使得周围环境的电磁场强度增加,无形中对另一些设备造成干扰。人们越来越关心电磁干扰问题, 1904 年国际电工委员会(简称 IEC)成立。1934 年国际无线电干扰专业委员会(简称 CISPR)成立。IEC 和 CISPR 是典型的有代表性的国际组织,其目的是促进电气、电子及有关技术领域的所有标准化问题和其他有关问题上的技术合作。从那时起,开始了对电磁干扰问题进行世界性有组织地研究。

第二次世界大战中,电磁兼容技术直接用于武器装备,通过对武器装备研制

使用过程中遇到的电磁干扰问题的研究，促进了 EMC 技术的进步，电磁干扰研究走向工程化。1944 年德国制定了第一部 EMC 规范 VDE0878，1945 年美国制定了第一部 EMC 军标 JAN－1－225。理论研究、技术发展和工程应用使得 EMC 学科成为电子学中独立的一个分支。

20 世纪六七十年代，开始举办世界性的电磁兼容学术年会，国际期刊 IEEE EMC 分册发行。EMC 技术研究掀起热潮。到了 80 年代计算机技术广泛应用，数值算法开始用于 EMC 分析预测技术研究。近 60 年来，随着电子技术的迅猛发展，EMC 技术经历了问题解决法、标准规范法和系统设计法阶段，并逐步走向成熟。

所谓问题解决法是指电子设备按电性能指标进行设计、研制、生产完成后，或在实际应用中，或安装在系统中发现一些问题，经过分析，找到产生原因，采取措施使问题得以解决。这种方法的缺点是待发现问题再着手解决，势必带来时间上的延误和经济上的损失。

人们在研究电子系统电磁兼容性的过程中，逐步认识到要使一些设备共存于一个有限空间，必须对这些电子设备进行某种约定。人们开始在实践中总结经验，编制各种 EMC 标准。这些标准规定了各种电磁干扰应该控制在某些限制线内，同时也规定了一些敏感设备必须具备一定的抗干扰能力。所有这些约定均应通过标准规定的试验验证。这个阶段称作标准规范法阶段。该阶段的所有 EMC 活动都是在 EMC 标准指导下进行。

系统设计法是指在进行系统设计时，对其自身的和周围的电磁环境进行预估。在此基础上选择适用的 EMC 标准，并能根据产品的应用范围对所选用的 EMC 标准进行科学的剪裁。这些特殊要求一般以专业技术文件形式给出。这样可以防止过设计和欠设计。系统设计法主张 EMC 设计与电性能等功能设计同步进行，以求得系统的综合性能价格比实现最佳。

1.2 电磁兼容学科的研究对象和研究内容

EMC 学科是研究有限空间、有限时间、有限频谱资源条件下，各种用电设备或系统可以共存，并不致引起性能降低的一门科学，该学科是以电磁场理论为依据，以近代统计学和计算机为手段，以试验为基础，涉及电波传播、电磁耦合、信号处理、频率利用、电磁测量、材料学、生物医学等许多技术领域的综合性系统工程。其应用范围不限于传统的用电设备、设施，包括核辐射在内的环境污染等一系列生态环境问题也在引起关注。

20世纪80年代,生物学学科工作者,也开始重视电磁环境对人类及生物的影响,开始研究物理学规律与生物学规律的高层次统一,把电生理和电磁生物效应的局部小环境问题放到电磁兼容领域中去认识。他们认为人体是最精妙复杂的电磁兼容系统。在皮肤包围的有限空间内,各器官有序地工作,而不相干扰。一旦这种平衡状态被破坏,则会出现各式各样的生理功能下降,甚至会出现病态。医疗设备在心电、脑电测量过程中信号的提取和干扰的消除,涉及电磁骚扰问题。核磁成像、电疗磁疗、微波治疗及心脏起搏器等技术,就是利用外部电磁场与人体相互作用实施诊断治疗。电磁生物效应的研究已成为电磁兼容学科的重要内容。有时也称电磁兼容学科为环境电磁学。本书所涉及的内容仍限定于电子设备和系统遇到的电磁干扰问题。

电磁兼容技术包括EMC设计技术、EMC试验技术,EMC分析预测技术和EMC管理技术。EMC管理所以作为一项技术,是因为EMC技术涉及参与工程的全体人员和研制程序全过程的各个环节。远远不是某些人理解的局限于建设一个规范的EMC试验室和引进一套规范的EMC测试设备就能解决问题的。

加强EMC组织管理,提高全体人员的EMC意识,牢固树立系统完整性和单机一体化设计观念,采取一整套组织措施和技术措施,实施综合治理方案,将EMC理论认真应用于实际工程中,才能取得更大实效。

EMC学科研究的最终目标,是为了降低人为的和自然界的电磁干扰,减少其危害,提高设备和系统的抗干扰能力,实现设备和系统的电磁兼容,最大限度地发挥设备和系统的效能。

EMC研究的领域非常广泛,概括起来包括以下内容:

电磁干扰源特性研究;

电磁干扰传输特性研究;

电磁敏感度特性研究;

电磁兼容标准与规范研究;

电磁频谱测量与管理技术研究;

电磁干扰抑制技术研究;

电磁兼容测量与实验技术研究;

电磁兼容分析与预测技术研究;

电磁危害效应研究;

电磁兼容工程管理研究;

电磁兼容教育与培训研究等等。

有人称EMC设计为非功能性设计,是指它一般不做主动设计,而辅以电性

需要全本请访问 www.ertongbook.com