

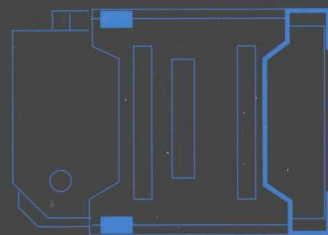
手机结构设计

- 深度剖析手机结构设计流程和产品规划
- 规划、设计、验证、转产和维护，各阶段环环相扣
- 配合有限元分析实例，提高“一次做对”的可能性
- 作者多年经验倾囊相授，讲述“做什么”和“怎么做”

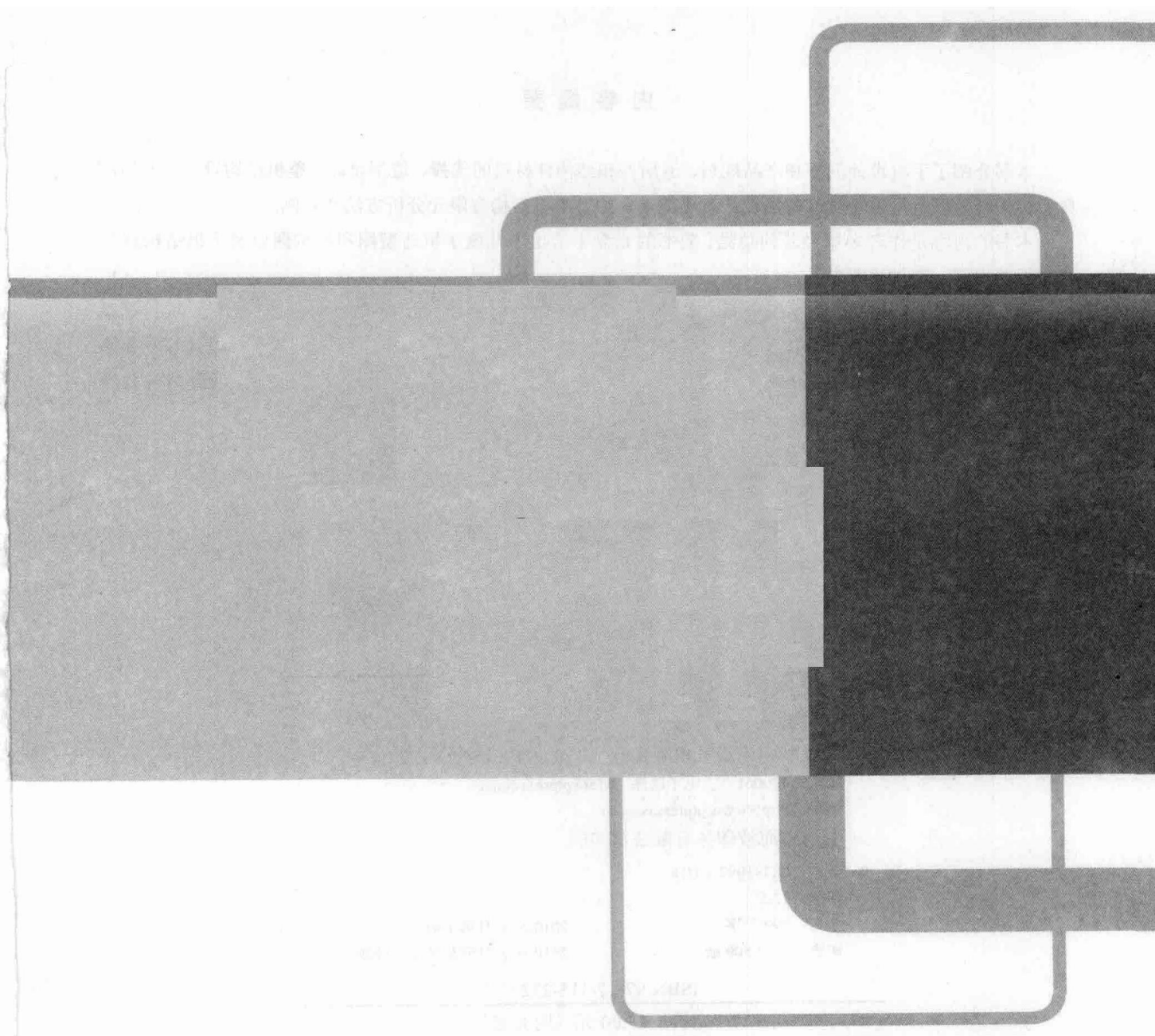
马宁伟 祖景平 著



本书光盘提供了部分手机造型图、结构图以及有限元分析实例，部分U3D结构图可三维观看，立体直观



手机结构设计



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

手机结构设计 / 马宁伟, 祖景平著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.8
ISBN 978-7-115-23257-1

I. ①手… II. ①马… ②祖… III. ①移动通信—携带电话机—结构设计 IV. ①TN929.53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第108238号

内 容 提 要

本书介绍了手机设计流程和产品规划、通用件和结构件材料的选择、造型设计、整机结构设计、零部件典型结构设计以及电磁兼容性与热设计, 还特别介绍了手机结构有限元分析方法和实例。

本书的内容是作者多年经验的总结。随书的光盘中给出了几款手机造型图和结构图以及手机结构有限元分析的实例, 可供读者参考。

本书理论与实际相结合, 系统全面, 实用性强, 可作为手机结构设计、造型设计、结构工艺、项目管理等中高级技术人员的工作指导书; 也可作为高等院校结构设计、机电一体化、结构工艺、工业设计等专业师生的参考书。本书介绍的很多设计知识和技能并不局限于手机结构, 在做其他电子产品的结构设计时也有借鉴和参考价值。

手机结构设计

- ◆ 著 马宁伟 祖景平
责任编辑 韦毅
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.5
字数: 290千字
印数: 1—3 500册
- 2010年8月第1版
2010年8月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-23257-1

定价: 45.00元 (附光盘)

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

推荐序一

电子产品的结构设计是保障电子产品质量、充分满足使用者要求的十分重要的技术工作，在电子产品的开发过程中起到举足轻重的作用，涉及多个学科的知识结构。成为一个优秀的结构设计师，需要具备全面的知识和丰富的实践设计经验。《手机结构设计》作为一本专门阐述手机产品结构设计的图书，在国内还很少见。该书出自两位有多年结构设计经验的工程师之手，对从事手机结构设计和相关设计工作的工程技术人员有很大的借鉴和参考作用。

该书章节安排合理、逻辑清晰、系统全面、实用性强。作为在高校工作的老师，我觉得此书对提高学生的设计能力有很好的指导作用，可以作为相关专业本科、硕士研究生的实践指导书、岗前培训教材，也可以作为机电一体化等专业教学、实践环节的参考书。

薛澄岐 教授
东南大学 机械工程学院

推荐序二

回想 2005 年 10 月 12 日，我去深圳出差，在从机场前往市区的路上，接到了前领导马工的一个电话，马工嘱咐我为他的新著《设计与生存》撰写一篇“推荐序”，这让我感到诚惶诚恐。今天同样是我出差到深圳在去市区的路上接到马工的电话，他让我给《手机结构设计》写一篇“推荐序”，我仍然感到诚惶诚恐，只能以晚辈身份提出一些见解和大家分享。

马工的技术和管理都是非常专业的，从他几十年的结构设计和研发管理经验中，就能看出这本书的技术分量。相信此书对读者是物有所值的，也希望读者能将书中的知识运用在实际结构设计中。

我从 2005 年开始转行做手机研发，到现在也有 5 个年头了。我入行之后设计的手机已经有几十款进入了量产，产量达几百万台。在这几年中，我基本上是在实践中摸索对手机产品的认识。关于手机设计实践的书籍，包括硬件、软件、结构方面的，均很少。

目前手机是市场的热点产品，但很多简单的、低质的结构设计给手机行业带来很大的冲击，希望本书能给手机结构设计师提供高水平结构设计的借鉴，以帮助他们设计出优质的产品，提供给消费者。

此书通篇采用实践与理论相结合的写作方法，如建立有限元分析模型和案例、卡扣设计、音腔设计、产品的实验和测试方法等，这些内容可以让结构工程师非常好地掌握实际设计技巧。

余勤科 首席运营官
上海夏永通讯技术有限公司

推荐序三

《手机结构设计》一书写得实用、深入浅出。手机设计流程和产品规划通常是很少在技术书中论述的，而这些恰恰是产品设计的重要内容。此书系统地论述了手机结构领域的各个侧面，其中热设计和电磁兼容性设计是手机设计中容易忽略的重要内容。相信此书对新入行的工程师有很好的指导作用。

李德新 副理

华宇科技（南京）有限公司机构设计处

自荐序

当今，人们多在为生存忙碌，静心读书已成为一种奢侈，更何况是写书。对 IT 工程师来说，更是如此。然先贤有言：“立功、立言、立德”，中国传统文化就是那样地有穿透力，在你不经意之间，已渗透你的心间，并顽强表达出来，这就是本书的写作背景。

传播有思想的技术是写作这本书的一个目标。设计师与匠人的区别就是：前者是想好了再做，后者是边做边想。基于此，与一般技术书不同，本书专门用了一章的篇幅写了“设计流程和产品规划”的内容（第 2 章），同时在后续的各章中也贯彻了这种思路。

诚如薛澄岐教授所言，结构设计是多学科的结合。这个专业大部分的理论知识比较成熟，也许容易掌握，然而，怎样选择适当的理论知识解决实际发生的产品问题是个难点。本书在这方面做了介绍，如“卡扣设计”提供了一个从材料特性到力学计算、从零件设计到制造工艺的案例（6.1.4 节）。

结构设计采用有限元分析可以在制造之前发现很多设计问题，可以提高“一次做对”的可能性。本书从理论到实际提供了很好的案例，并且随着有限元分析软件的成熟和发展，可以为结构设计师提供更多的帮助。

“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行”。结构设计是面向实物、面向工程制造的专业，在中国台湾，这个专业被称为“黑手”——这是因为做这行，要经常接触机械零件，所以会弄黑了手。可是，这是必要的，只有经常接触实物，感知实物，才能真正成为一个优秀的结构工程师，所以在造型设计和整机结构设计两章（第 4 章和第 5 章）的开始都分别介绍了一些这方面的内容，而这些正是在计算机面前成长的一代工程师特别需要了解的内容。

尺寸精度的选取是结构设计的基础，也是结构设计的核心技术之一。尺寸精度与加工方法的关系、尺寸精度与制造成本的关系、尺寸精度与产品的功能和寿命关系，对这些内容的掌握非一日之功。本书在整机结构设计一章（第 5 章）介绍了其中部分内容，希望引起读者足够的重视。

本书采用了开放式架构，书中既有“授人以鱼”的内容，也有“授人以渔”的内容。例如造型设计中的效果图，也许其造型过几年会落后，但其中介绍的利用多种软件、快速设计效果图的方法是有长期生命力的。有些语言，看似只是一句简单的话，也许看看还不以为然，实则是我们多年的经验积累。例如“量产以后，改错不改进”，这样的语言只有你在业

手机结构设计

界深潜多年，才会有所共鸣。做工程师的人一定要有慧根，要有悟性，才能设计出有市场价值和技术价值的产品。

尽信书不如无书。读透一本书，汲取书中有用的知识和技术，找出书中的不足和错误，并能够提出自己的看法，这样就真正提高了自己，具备了职场竞争的技术优势。

马宁伟

中兴通讯 南京研发中心

前言

什么是结构？对单一零件来说，结构就是零件的材料和形状，其中材料包含了零件的内在结构，形状则体现了零件的外在特征；对两个和两个以上零件来说，还要包括它们之间的连接方式；对整机来说，还要考虑零部件的布局。所以简单地说：材料、形状、连接布局就是结构。所谓“连接”是指零件之间的装配方法，其中包括螺纹连接、卡扣连接、黏接、铆接、齿轮连接、传动轴连接、焊接、缠绕、包覆等。

什么是设计？设计就是设想和计算，再用工程图纸表达出来，或者用参数化的电子文档表达出来，提交制造，实现产品的生产。任何一门工程专业，没有充分的数学计算，都不会逼近科学的本质，结构设计也是如此。只有经过了必需的数学计算，才能走近科学，做出一个专业化的结构设计。

电子产品结构（mechanical structure of electronic product）与纯机械结构的不同之处，还在于要考虑产品结构的电磁屏蔽、散热和噪声三大问题。

手机结构设计包括手机的产品规划、整机的布局设计、零部件连接设计、零件设计、电磁屏蔽、散热、环境防护设计以及结构材料、标准件和通用件的选择。广义的手机结构设计还包括手机的造型设计。

手机结构设计是手机研发中主要的设计工作。手机作为电子产品中市场产量很大、更新换代极快的消费类电子产品，对设计的进度要求比一般产品更快，对设计的质量要求也更高，所以产品设计不仅要讨论技术，还需要研究设计方法和流程。

踏入一个行业最难的是入门。当下教育方法和教材与企业产品设计的脱节，造成刚出大学校门的工科本科生、研究生在面对实际的设计工作时往往不知如何下手。本书按实际产品设计的流程和内容来论述，对初入行的人来说是很好的入门书，同时对有一定设计年限的工程师来说也有梳理知识、开阔视野、发现不足和总结提高的作用。

本书具体回答了手机结构设计“做什么”和“怎么做”的问题，内容包括概述、设计流程和产品规划、通用件和材料、造型设计、整机结构设计、零部件结构设计、结构有限元分析基础、结构有限元分析实例、电磁兼容性和热设计、制造技术和结构测试，共 11 章。

作者长期在国企、外企一流企业从事设计和技术管理工作，依据实际经验还特别介绍了一些设计思想和设计诀窍，例如面向用户的设计（DFU，Design for User）和面向制造的设计（DFM，Design for Manufacture）的思想以及如何“一次做对”的方法。

本书第 7~8 章及第 8 章附录由祖景平撰写，其余各章由马宁伟撰写，全书由马宁伟统

稿。初稿经 3 位业内资深工程师余勤科、李德新和庄玉娟审读，他们对书稿的内容编排、原稿中的错误提出了很好的改进建议。在此对参考文献作者、本书审稿者和出版社致以诚挚的谢意。

本书可作为手机结构设计、造型设计、结构工艺、项目管理和生产技术管理等中高级技术人员的工作指导书，也可供结构设计、机电一体化、结构工艺、工业设计等本科和硕士的师生作为毕业设计和毕业论文的参考书。本书的很多设计技术和技能并不局限于手机结构，在设计其他电子产品的结构时也有借鉴和参考价值。

作 者

光盘说明

限于图书的篇幅，本书部分图片无法清晰显示。为方便读者直观读取，本书专门配备一张光盘，其中收录了 3 款手机造型图、第 5 章和第 6 章的部分手机结构图（包括翻盖手机和直板手机）以及手机结构有限元分析实例。其中 JPG 文件可用一般的图片浏览器打开，如 Photoshop。光盘中的 U3D PDF 文件可使用“Adobe reader 8”以上的版本打开，左键单击打开的图形，PDF 软件的三维操作图标会出现在屏幕左上方，选择要操作的图标（如旋转、透明等）即可观察视图。其余的 PDF 文件可使用 Adobe reader 打开。

doi:10.1371/journal.pone.0142040.g002

3.2	自制结构件材料	28
3.2.1	外壳材料	28
3.2.2	表面装饰材料	30
3.2.3	印制板材料	31
第4章	手机造型设计	33
4.1	造型设计基础	33
4.1.1	造型设计的基本原理	33
4.1.2	造型与心理需求	34
4.1.3	颜色和色标	35
4.1.4	视觉和触觉	37
4.1.5	照度和亮度	39
4.1.6	造型与成本的平衡	40
4.2	设计案例和分析	41
4.2.1	一款翻盖手机的造型	41
4.2.2	一款超薄滑盖手机的造型	42
4.2.3	一款直板手机的造型	43
4.2.4	造型设计工作输出	44
4.3	造型设计软件选择	44
4.3.1	效果图设计软件	44
4.3.2	三维实体设计软件	45
4.4	造型设计评价	47
4.4.1	美学符合度	47
4.4.2	人机工程学符合度	48
4.4.3	外观质地和制造精度	48
4.4.4	可制造性	48
第5章	手机整机结构设计	49
5.1	结构设计基础	49
5.1.1	尺寸和公差	49
5.1.2	重量和力	54
5.1.3	刚度和强度	56
5.2	装配图设计	58
5.2.1	准备工作	59
5.2.2	装配图设计要点	60
5.2.3	装配图的修改方法	62
5.2.4	装配图设计实例	62
5.3	印制板组件结构设计	66
5.3.1	印制板选用	66
5.3.2	印制板组件单元划分	67
5.3.3	接插件的选择和布局	67

手机结构设计

5.3.4	印制板拼板图	68
5.3.5	FPCB 的设计	70
5.4	按键组件设计	71
5.4.1	机械按键的设计	71
5.4.2	触摸屏按键简介	73
第 6 章	手机零部件典型结构设计	75
6.1	卡扣连接	75
6.1.1	几个重要材料参数	76
6.1.2	悬臂卡扣的计算公式	77
6.1.3	悬臂卡扣的计算实例	80
6.1.4	手机卡扣设计实例	80
6.2	自攻螺钉连接	81
6.2.1	自攻螺钉的种类和特点	81
6.2.2	自攻螺钉连接设计	83
6.2.3	自攻螺钉连接强度	85
6.3	其他常用结构	87
6.3.1	翻盖手机的铰链结构	87
6.3.2	手机振动功能的设计	89
6.3.3	扬声器的结构设计	89
6.3.4	塑料零件结构设计要素和实例	91
6.3.5	铝、镁、钛合金零件结构设计要素	94
第 7 章	手机结构有限元分析基础	96
7.1	手机结构有限元分析概述	96
7.1.1	有限元分析的必要性	96
7.1.2	有限元分析现况	98
7.2	手机结构有限元分析软件的选择	99
7.2.1	有限元分析的前后处理软件	99
7.2.2	有限元分析的求解软件	100
7.3	手机结构有限元分析的内容	102
7.3.1	有限元分析的依据	102
7.3.2	有限元分析软件可解决的问题	102
7.4	结构有限元分析在手机设计中的应用	103
7.4.1	在手机设计流程中的应用	103
7.4.2	实例简介	104
第 8 章	手机结构有限元分析实例	107
8.1	手机自由跌落有限元分析	107
8.1.1	自由跌落有限元分析依据	108
8.1.2	前处理过程	108
8.1.3	有限元分析	113

8.1.4 后处理过程	114
8.2 手机冲击有限元分析	118
8.2.1 冲击有限元分析依据	118
8.2.2 有限元模拟手机冲击试验的方法	118
8.2.3 手机冲击有限元分析实例	119
第9章 手机电磁兼容性和热设计	122
9.1 手机的电磁兼容性设计	122
9.1.1 手机 EMC/ESD 标准	122
9.1.2 接地设计	125
9.1.3 屏蔽设计	125
9.1.4 ESD 防护设计	125
9.2 手机热设计	126
9.2.1 热设计的关键参数	126
9.2.2 热设计的流程	128
9.2.3 手机热设计实例	129
第10章 手机结构件制造技术	132
10.1 手机样机制作	132
10.1.1 数控加工	132
10.1.2 立体光刻	133
10.1.3 选择性激光烧结	133
10.1.4 小批量快速成型	134
10.1.5 样机制作成本	134
10.2 模具制造	135
10.2.1 模具种类	135
10.2.2 模具工艺要点	137
10.2.3 模具制造的流程和时间	139
10.2.4 模具制造成本	140
10.3 表面装饰工艺	140
10.3.1 涂覆	140
10.3.2 真空镀膜和电镀	141
10.3.3 模内装饰注塑	141
10.3.4 按键表面处理	142
10.3.5 拉丝工艺	143
10.3.6 不导电真空镀膜	143
第11章 手机结构测试	145
11.1 材料的简易识别	145
11.1.1 塑料的简易识别	145
11.1.2 不锈钢和不锈钢铁的简易识别	147
11.1.3 铝合金、镁合金和钛合金的简易识别	148

手机结构设计

11.2	材料成分的分析	148
11.2.1	材料成分的光谱分析	149
11.2.2	材料成分的化学分析	152
11.2.3	光谱和化学分析的优缺点比较	152
11.3	尺寸测量	153
11.3.1	测量仪器和工具	153
11.3.2	零件尺寸测量	157
11.3.3	样机装配和检查表	158
11.3.4	关键装配尺寸测量	160
11.4	可靠性测试	161
11.4.1	环境试验	161
11.4.2	机械应力试验	164
附录 1	手机自由跌落有限元分析 k 文件	166
附录 2	手机冲击模拟分析的 inp 文件	175
参考文献		181

表格索引

表 2-1	手机结构设计流程	13
表 2-2	一款手机产品的结构规格	19
表 3-1	手机常用接插件	24
表 3-2	手机中与结构相关的专用器件	26
表 3-3	各类手机常用外壳材料	28
表 3-4	手机所用环氧树脂玻璃布覆铜箔层压板（刚性板）的最低性能要求	32
表 4-1	手持式产品可视字符的大小	38
表 4-2	人对颜色的感觉	38
表 4-3	电子产品颜色的一些特定使用情况	38
表 4-4	在不同温度时物体表面给人的感觉	39
表 4-5	环境温度为 10℃ 时不同材质给人的感觉	39
表 4-6	实际情况下的照度和光强示例	40
表 5-1	尺寸和参照物	49
表 5-2	基本尺寸标准公差表	50
表 5-3	尺寸精度与加工方法和应用	50
表 5-4	表面粗糙度 (R_a) 与加工方法和应用	51
表 5-5	常见材料的密度	54
表 5-6	常见物体的重量和参照物	55
表 5-7	不同状态下常人的施力值	55
表 5-8	直径为 10mm 的孔和轴装配力与配合间隙（配合长度 20mm）	56
表 5-9	一款直板手机的零件明细表	65
表 6-1	拜耳公司几种塑料的正割模数 (E_s)	76
表 6-2	常用塑料瞬时许用应变 (ε_{pm})	77
表 6-3	塑料摩擦系数 (μ)	77
表 6-4	悬臂的许用挠度、挠曲力的计算公式	78
表 6-5	GB 5280—2002 的自攻螺钉螺纹（部分）	82
表 6-6	自攻螺钉螺纹底孔推荐值	84
表 6-7	自攻螺钉的旋合长度和支柱外径	84
表 6-8	压电扬声器推荐安装预留空间高度的参考数据	91
表 6-9	手机前、后壳的材料和壁厚	91
表 6-10	塑料件结构要素设计	92
表 6-11	铝、镁、钛合金零件上的孔径与孔深度	94

表 6-12	式 (6-6) 中 C 值的选取	95
表 9-1	传导杂散骚扰限值 (专用模式)	123
表 9-2	传导杂散骚扰限值 (空闲模式)	123
表 9-3	传导连续杂散骚扰限值 (DC 输入/输出接口)	123
表 9-4	DC 电源端口瞬态传导骚扰限值	124
表 9-5	辐射杂散骚扰限值 (专用模式)	124
表 9-6	辐射杂散骚扰限值 (空闲模式)	124
表 9-7	辐射连续骚扰限值 (30MHz~1GHz)	124
表 9-8	辐射连续骚扰限值 (1~6GHz)	124
表 9-9	散热方式的选择	127
表 9-10	常见材料的导热系数	128
表 10-1	模具制造的主要流程和时间	139
表 10-2	一套手机模具的制造成本	139
表 11-1	塑料的简易识别方法	146
表 11-2	不锈钢和不锈钢铁的识别方法	148
表 11-3	镁合金、钛合金和铝合金的简易识别方法	148
表 11-4	手持式光谱分析仪 (XL2t-700) 技术规格	149
表 11-5	台式光谱仪 (M2500 型) 技术规格	151
表 11-6	光谱分析和化学分析的优缺点比较	153
表 11-7	一款三维坐标测量仪的规格	154
表 11-8	几款三维扫描影像仪的规格	155
表 11-9	一款便携式粗糙度测量仪的规格	156
表 11-10	手机样机装配结构检查表 (checklist)	158
表 11-11	温度冲击试验机的规格	162
表 11-12	振动试验加速度谱密度 (ASD)	162
表 11-13	一款振动试验机的规格	163
表 11-14	盐雾试验条件	163