

嵌入式系统教学系列丛书

MP3 播放器与 CD 盘设计

——自己动手打造心仪的个性 MP3

博创科技 编著



清华大学出版社



嵌入式系统教学系列丛书
高等院校教材

MP3 播放器与 U 盘设计

——自己动手打造心仪的个性 MP3

博创科技 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书第一篇主要结合硬件电路设计与制作的全过程,以设计制作一个 MP3 播放器(具有 U 盘功能)的全过程为线索,向读者展示硬件电路设计的流程与方法,电路调试的方法与思路等。第二篇主要结合 AT89C51SN1 芯片的 MP3 程序设计过程,阐述 C51 在单片机程序设计中的应用。第三篇主要讲述 U 盘海量存储设备系统设计与调试等知识。

阅读本书要求读者具有单片机基础知识,并会使用 C 语言进行程序设计。本书适合于工科大学本科高年级及低年级研究生作为教材及参考资料。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

MP3 播放器与 U 盘设计——自己动手打造心仪的个性 MP3/博创科技编著. —北京:清华大学出版社, 2004

(嵌入式系统教学系列丛书)

ISBN 7-302-08434-3

I. M… II. 博… III. 音乐-应用软件, MP3-程序设计 IV. TN912.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 028797 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:钟志芳

文稿编辑:肖 丽

封面设计:秦 铭

版式设计:郑轶文

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:21.5 字数:468 千字

版 次:2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-08434-3/TP·6063

印 数:1~5000

定 价:32.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704。

走进嵌入式技术的春天（从书序）

——北京博创兴业科技有限公司策划

如果说在过去历史进程中，钢铁、石化等是支撑物质社会发展的重要资源的话，那么未
在来历史进程中，计算机芯片、软件将成为支撑知识社会的发展的另一种重要资源。其中嵌
入式技术作为这一资源在信息、网络与服务等支撑发展中最重要实用技术之一，已经开始
广泛应用于移动通信、消费电子、无线网络、工业控制和军事国防等社会生活的各个领域。
由于嵌入式技术的深入发展和广泛应用，引起社会对掌握嵌入式技术人才的巨大需求，嵌入
式软硬件工程师将成为未来最为热门的职业之一。无论是在公司企业，还是在高等院校，“研
究嵌入式、学习嵌入式、使用嵌入式”正在成为一种趋势。

嵌入式技术在教学领域还是一个新生的事物。在过去教学实践中，我们发现它具有很强
的综合性与实践性，目前还没有统一的教学体系和内容规范，也没有合适的教材、教学参考
用书和教学实验用书，这在一定程度上限制了高校、职业培训、公司对嵌入式技术的深入学
习、使用和研究，也影响了高校开设嵌入式技术方面的课程，阻碍了对掌握嵌入式技术的工
程师和技术人员等社会急需人才的培养。

为了探讨嵌入式技术的体系结构，研究嵌入式技术教育模式，加快嵌入式技术人才的培
养，推进嵌入式技术的应用与发展，北京博创兴业科技有限公司、清华大学出版社联合策划
推出了这套“嵌入式系统教学系列丛书”。北京博创兴业科技有限公司是国内最早专门从事
嵌入式技术教学产品与服务的高新技术企业，于 2002 年推出了 UP-NETARM 系列嵌入式系统
教学平台和配套的教材、教案和课程设计指导书，初步形成了博创科技嵌入式教学解决方案。
该套方案先后在清华大学、北京航空航天大学、南开大学、南京大学、北京交通大学等国内
30 多所高校进行了应用推广，取得了较好的应用效果。清华大学出版社是国内最有影响的出
版社之一，近年来成功策划和出版了一系列计算机和软件方面的专业教材，取得了较好的社
会经济效益。

这套“嵌入式系统教学系列丛书”以目前最为流行的 ARM 嵌入式微处理器、 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 实时
操作系统、嵌入式 Linux 作为主要内容，从基本理论、设计方法、实用技术、工程实践等不
同角度对嵌入式芯片与软件技术进行了深入阐述，丛书作者都是长期从事过嵌入式系统教学
与应用研究工作的一线教师与博士，他们有着丰富的嵌入式教学实践与研发经验。该系列丛
书从知识内容看，它包括了单片机与微机原理、操作系统与软件开发、计算机接口技术与应
用等方面的知识，是一套很好的高校教材和工程技术人员参考资料；从技术领域看，它涉及
微电子、计算机、软件工程、智能控制等技术，可以形成一个很有发展前途的多学科交叉融
合的研究方向；从教学体系看，它包括主教材、配套的课程实验指导书、课程设计指导书、
毕业设计指导书及若干本教辅助用书，提供了一种教学与实践相结合的创新教学模式。因此，
这套教材既可以作为高等院校与职业技术学校计算机、软件工程专业的嵌入式系统专业课程

的教材使用，又可以作为电子工程、工业自动化、仪器仪表与机电工程等专业大三、大四学生的基础平台课和硕士研究生的选修课的教材。与此同时，也可以作为广大从事嵌入式技术相关工作的工程技术人员的参考书。

随着 21 世纪高新技术的迅猛发展，嵌入式技术将越来越广泛地应用于社会生活的各个方面。我们相信这套“嵌入式系统教学系列丛书”对于加快培养社会急需的嵌入式技术人才将起到积极的促进作用。让我们一起走进嵌入式技术高速发展的春天，为中国新型工业化发展做出自己的一点贡献。

王田苗
于北航大学逸夫馆
2004 年 6 月

淡泊以明志 宁静以致远

如果您对于硬件电路制作产生了一些兴趣，正想着手学习硬件电路，那么，我为您有机会拿起这本书感到欣慰，因为，籍此您可能就迈进了硬件电路设计与制作的殿堂。

当大学教育越来越普及的时候，人们却发现大学里学到的东西越来越无法完全适应当今社会一日千里的发展需要。学校教育的内容有其周期性和相对稳定性，因此，为了增加对社会需求的适应能力，需要改变观念，提高自身学习的能力，以跟得上时代飞速发展的需要。

如果您已经意识到这种变化，并开始规划自己的学习生活，那我再次为您庆幸。社会发展如滚滚前进的车轮，永远也不会停息，只有那些及时调整自己的步伐、紧随时代脉搏的人，才能成为时代的宠儿。

但您可能仍在苦苦寻找，寻找机会、寻找条件、寻找方法、寻找途径……这种寻找过程可能是让人沮丧的，但坚持走下去的人，必然可以得到一片湛蓝的天空。

古人云：“非淡泊无以明志，非宁静无以致远”。当人们越来越心浮气躁的时候，古人的教导如一汪清泉，淙淙流入我们的心田，滋润着我们的灵魂。滴水可以穿石，并不是因为每一滴水有多么大的能量，而是凭其多年如一日坚韧不拔的毅力。如果有滴水的精神，心中的理想便可以一步一步地实现。

本书绝不是您步入硬件电路设计殿堂的捷径，但它却是一个路标，是正在探索之人在黑暗中看到的一抹亮光，希望它可以帮您引进大门，剩下的路需要您用“滴水”的精神自己去走，相信您终将到达目标。

在本书写作过程中，许多人为之付出了努力：程国钢、张斌参与了最初的 MP3 功能定义和方案选定过程。王立威完成了 MP3 解码及音频部分的代码编写。邹丹成为本书的第一个读者和使用者，在此过程中，她提出了许多中肯的意见，并将自己的体会反映出来，形成了良好的反馈。在 2003 年暑假，邹莹、李伟、周星、董超、王庆、吴晓倩、费根袁参加了 MP3 制作培训，进一步提出了书中存在的问题，并协助完成了部分初期的校稿工作。李伟、邹莹、费根袁还协助完成了本书后期制作过程中的一些工作。本稿得以成书出版，更得益于许多编辑人员的辛勤付出。

编者在此向他们表达诚挚的谢意！

博创科技 王晓君

2003 年 7 月

使用指南

要想掌握某种技能，最好的方法就是实践，亲身体会一下调试与开发的过程，就会对许多环节有更加真实的体验，理论学习中的不确信感将彻底被打破，进而建立起一种实用性的技能。

本学习平台就是一个让读者亲自参与、亲自动手实践的平台。以大家经常接触，但又不太了解其内部“秘密”的 MP3 和 U 盘为对象，深入解析，让读者一览无遗，在兴趣的激发中促进学习的积极性，最后能够充分体验成就感与自豪感。

伴随着全书 3 部分的内容，读者将逐步经历整个 MP3 开发过程。笔者以亲身开发经历为基础，将此开发过程中的重点与难点提炼出来加以介绍和分析。读者可以自己设计电路板，也可以使用提供的电路板，并自购元器件（有条件的地方可以统一购买），在 3 个部分内容的引导下，自己焊接元件，自己进行调试，自己编写程序，一步步地完成 MP3 与 U 盘的制作。

以下是使用本书的推荐步骤和方法：

1. 学习用 Protel 进行电路设计。按照功能定义、方案选定、电路原理图设计、采购元件、硬件电路板设计的流程，自己动手，实践各个环节，掌握了这些环节以后，就在一定程度上具备了自己解决问题的能力。在原理图和印制电路板设计过程中，可以参考配套网站上（www.up-tech.com）中的相关内容，但电路印制电路板设计完成以后，暂不制板。有关内容见“硬件电路设计与制作”篇中的第 1~5 章。

2. 进行电路板焊接和调试。使用本书所配印制电路板，自己购买元件，按照“硬件电路设计与制作”篇中的第 7 章的详细步骤进行电路板焊接和调试。调试过程中直接使用配套网站上（www.up-tech.com）中提供的各种调试时需要的固件程序，暂不关心这些固件的程序是如何写就的。

3. 理解源程序。MP3+U 盘调试完成以后，对整个调试开发环境就应该很熟悉了。接下来，阅读本书“C51 程序设计”篇的有关内容，并阅读附录中对 Keil C 编译器、Source Insight 源码阅读软件的介绍，阅读配套网站上（www.up-tech.com）调试过程所用固件对应的 C 源程序，并结合源码中的注释，理解 MP3 源程序设计的方法。

4. 进行个性化设计与调整。到此，读者对于硬件电路设计与制作过程中的软件、硬件电路设计与制作有了相当了解了。此时，可以将自己原先设计的印制电路图进行必要的个性化设计与调整，自己制作 MP3 播放器的印制电路板，根据所做调整，在原有调试所需固件的基础上，进行相应的修改，重复电路调试过程，以便提高和融会贯通。电路板加工可以参考“硬件电路设计与制作”篇中的第 6 章内容。

5. 进行 USB 通信的学习，了解 USB 有关概念。先学习“USB 海量存储设备（U 盘）设计”篇中第 14~17 章的内容，建立起 USB 通信的概念。

6. 了解设计一个 USB 海量存储设备所需的知识，进一步加深对 USB 通信的理解。阅读

“USB 海量存储设备（U 盘）设计”篇中第 18~20 章的内容。

7. 用 C 语言编程实现 U 盘的固件编写，掌握 USB 通信的调试方法。阅读“USB 海量存储设备（U 盘）设计”篇中第 21 章、第 22 章的有关内容。

经过上面的步骤，读者可以循序渐进地掌握整个 MP3 的开发过程。如果读者对这些步骤中前面的内容已经很熟悉，则可以直接进入到自己所希望的步骤中来。在使用过程中，遇到任何问题，可以访问 www.up-tech.com 网站上与此书配套的论坛，本书中用到的实例都可以在网站上注册后下载，还可以与众多学习者一起讨论学习。

目 录

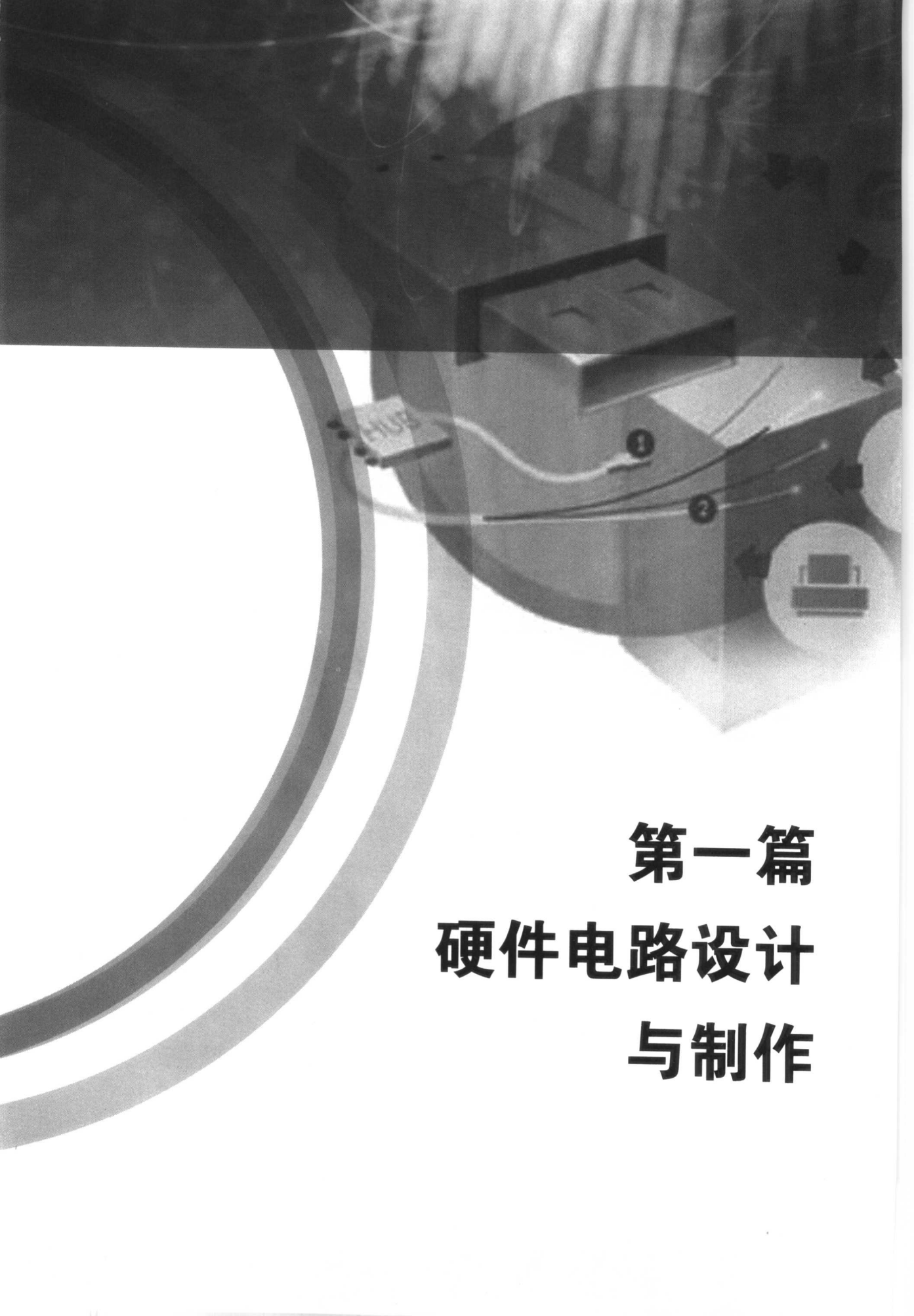
第一篇 硬件电路设计与制作	1
第 1 章 功能定义	5
第 2 章 方案选定	10
第 3 章 电路原理图设计	16
3.1 电路设计基本知识	16
3.1.1 Protel 基本操作	17
3.1.2 Protel DDB 文件的组成	26
3.1.3 Protel 中各种文件之间的关系	28
3.2 建立自己的库	30
3.2.1 原理图库定义	30
3.2.2 元件封装库定义	37
3.3 原理图层次设计	45
3.4 MP3 原理图设计	50
3.4.1 如何进行原理图设计	50
3.4.2 AT89C51SND1 最小系统设计	50
第 4 章 采购元件	62
4.1 生成元件清单	62
4.2 购买元件	63
第 5 章 印制电路板设计	68
5.1 PCB 设计的基本流程	68
5.2 元件布置	72
5.2.1 元件分类	72
5.2.2 确定电路板外形	74
5.2.3 布置元件	76
5.3 手动布线	83
5.4 自动布线	87
5.5 设计结果检查及调整	92
第 6 章 电路板加工	98
6.1 电路板加工的基本概念	98

6.2	电路板加工中的注意事项	99
6.3	实验电路板的使用	100
第 7 章	电路焊接与硬件调试	101
7.1	电路焊接基本知识	101
7.1.1	焊接必备工具	101
7.1.2	元件焊接基本方法	104
7.2	电路板调试	106
7.2.1	焊接与调试方案的制定	107
7.2.2	电源系统调试	108
7.2.3	单片机最小系统调试	118
7.2.4	外围接口设备调试	125
7.2.5	U 盘功能调试	128
7.2.6	D/A 转换及音频放大电路调试	130
7.2.7	MP3 功能与 U 盘功能的整合	131
	小结	132
第二篇	C51 程序设计	135
第 8 章	C51 程序设计基本概念	139
8.1	机器语言、汇编语言与高级语言	139
8.2	程序的编译与链接	140
8.3	单片机固件执行过程	140
8.4	单任务与多任务	141
8.5	单片机程序与 PC 软件	141
8.6	C51 程序设计基本流程	142
第 9 章	C51 程序设计初步	143
9.1	数据类型	143
9.1.1	数据的存储方式	143
9.1.2	特殊功能寄存器	144
9.1.3	位寻址	145
9.2	运算符	146
9.2.1	赋值运算符与关系运算符	146
9.2.2	增量与减量运算符: ++、--	146
9.2.3	逻辑运算符	147
9.2.4	位运算符	147
9.2.5	复合赋值运算符	149
9.2.6	条件运算符	149
9.2.7	指针与地址运算符	150

9.3 语句	150
9.3.1 C51 语句的种类	150
9.3.2 程序结构语句	151
第 10 章 C 精华：函数与指针	154
10.1 函数	154
10.1.1 声明与定义	154
10.1.2 函数的调用形式	155
10.1.3 函数的参数与函数的返回值	155
10.1.4 实际参数的传递方式	156
10.2 数组与指针	157
10.2.1 数组	157
10.2.2 指针	157
10.2.3 数组的指针	159
10.2.4 指针的地址计算	159
第 11 章 C51 程序设计中的技巧	160
11.1 模块化思想	160
11.2 结构化程序设计	160
11.3 软硬件接口的技巧	161
11.4 程序结构与框架	162
11.5 及时备份	164
11.6 C51 程序设计中常见陷阱	165
第 12 章 硬件接口程序设计与调试	166
12.1 程序调试方法	166
12.2 程序调试的步骤	166
12.3 键盘调试	167
12.4 Flash 接口调试	168
第 13 章 MP3 程序设计过程	172
13.1 MP3 播放器部分的设计	172
13.2 MP3 与 U 盘功能的整合	174
13.3 MP3 功能按钮设计	175
小结	178
第三篇 USB 海量存储设备（U 盘）设计	179
第 14 章 无处不在的 USB	183
14.1 包罗万象的 USB 设备	183
14.2 USB 何德何能	184

14.3	设备的连接方式	186
第 15 章	计算机通信基本概念	188
15.1	串行通信	188
15.2	并行通信	190
第 16 章	USB 通信基本原理	192
16.1	通用串行总线	192
16.2	信号在 USB 总线上的传递	193
16.3	USB 通信的完全实现	196
第 17 章	USB 通信数据流模型	199
17.1	总线构成	199
17.2	USB 通信流	202
17.3	传输类型	203
17.4	数据转换与封装	206
第 18 章	USB Mass Storage、Bulk_Only 与 SCSI	209
18.1	USB Mass Storage 协议	209
18.1.1	设备描述符	210
18.1.2	配置描述符	210
18.1.3	接口描述符	211
18.1.4	端点描述符	212
18.1.5	传输协议和命令块规范	213
18.2	Bulk_Only 传输协议	214
18.3	SCSI 指令集	215
第 19 章	Flash 存储与文件系统	219
19.1	Flash 存储器	219
19.1.1	Flash 盘的 FAT 结构	219
19.1.2	Flash 的读写	220
19.2	FAT16 文件系统	221
19.2.1	FAT 文件系统结构	221
19.2.2	硬盘结构	224
第 20 章	海量存储设备设计流程	227
20.1	系统结构、功能定义	227
20.2	USB 接口芯片的选择	227
20.3	与 USB 接口和 MCU 的接口电路	228
20.4	固件编程	230
20.5	设备调试	230
20.6	PC 端驱动程序开发	231

20.7 系统联合调试	232
第 21 章 USB 设备的 C 语言程序设计	233
21.1 U 盘固件程序结构框架	233
21.2 接口芯片初始化编程	235
21.2.1 时钟设置和控制器使能	236
21.2.2 端点设置	239
21.3 设备配置阶段程序设计	241
21.4 批量传输阶段 (Bulk_Only) 程序设计	248
21.4.1 Bulk_Out 端点数据处理	248
21.4.2 Bulk_In 端点状态处理	249
21.5 SCSI 命令集处理	250
21.5.1 SCSI 命令集处理	250
21.5.2 读 U 盘处理	252
21.5.3 写 U 盘处理	255
第 22 章 USB 通信的调试方法	260
22.1 USB 调试的特点	260
22.2 USB 调试手段	260
22.2.1 串口	260
22.2.2 BusHound	261
22.3 U 盘的调试步骤	262
步骤 1 测试开发环境	262
步骤 2 测试 USB 寄存器读写与 USB 通信中断产生	263
步骤 3 建立 USB 标准请求处理框架	266
步骤 4 处理各 USB 标准请求	267
步骤 5 建立 Bulk_Out 端点数据处理框架	270
步骤 6 处理各 SCSI 请求	271
小结	277
附录 I AT89C51SND1 开发环境介绍	279
附录 II Keil 51 编译环境介绍	291
附录 III 串口调试助手	297
附录 IV Source Insight 使用简介	301
附录 V 主要寄存器功能介绍	307
附录 VI MP3 套件介绍与使用指南	312
附录 VII 实验指导	315
参考文献	327

The background features a grayscale abstract design. On the left, there are several concentric, thick curved lines. On the right, there is a faint, stylized image of a circuit board with a USB connector and some components. A circular inset on the right contains a small icon of a printer. The overall aesthetic is technical and modern.

第一篇 硬件电路设计 与制作

导 读

能够自己设计与制作硬件电路，并编写软件程序，实现自己所构思的功能，是许多工科大学生梦寐以求的。但是，大多数人没有机会接触到这种氛围与环境，对这个过程仍然有几分神秘感。

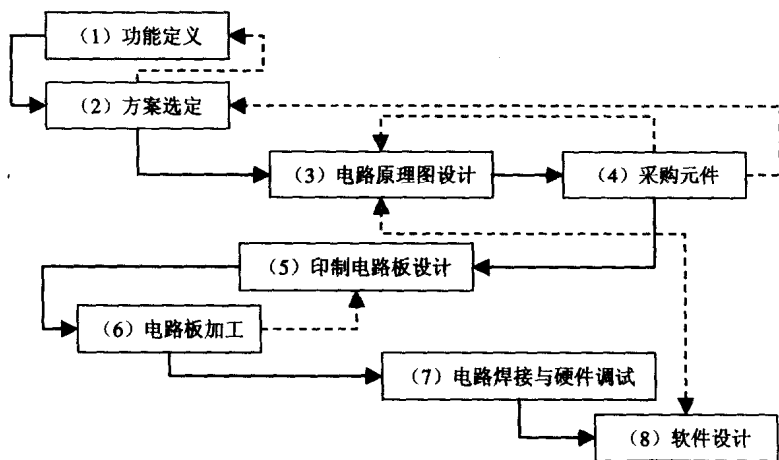
本篇的内容就是要“揭密”硬件电路设计与制作的全过程。即使以前完全没有制作过硬件电路，在阅读本书之后，也会对硬件电路的设计与制作过程有完全的了解和认识。如果下一次决定将构思变成现实时，读者就知道如何着手去做了。因为，从一无所知到深谙其中之道，只有一步之遥。

在阅读此书之前，读者应该已经具备了《微机组成原理》课程和《数字电路》课程的基本知识。注意，这里所谓具备了这两门课程的基本知识，不需要通晓这两门课的内容。

本书以设计制作一个 MP3 播放器（具有 U 盘功能）的全过程为线索，向读者展示这其中的“酸甜苦辣”。在介绍开发流程的过程中，MP3 的制作过程逐渐展开，至全书结尾，MP3 硬件电路的制作过程也结束了。

但是，本书不是一个大而全的设计参考手册，而是一个小而精的设计思路指引，在这其中所涉及到的知识，只介绍与设计 MP3 有关的内容。如在硬件电路的制作中，使用的软件 Protel 功能强大，但本书并不主要介绍这个软件，有关这个软件的内容的学习，可阅读这方面的书籍。而对于设计制作 MP3 所需要的知识，读者也不必去参考别的书籍，因为本书在设计过程中会介绍用到的基本功能。

要进行以单片机为核心的数字电路设计与制作，一般按照下列流程进行：



(1) 功能定义

功能定义过程中，要明白自己到底想做什么。一个结合自己知识积累情况和实力的切实可行的想法是项目得以实施的关键。如果目标过高将会由于条件受限而无法实现。

（2）方案选定

明白了功能以后，就要列出实现功能可能的几种方案。方案的内容一般是什么芯片实现什么功能，以及这些芯片之间如何接口等。对这些方案进行对比分析，综合考虑其价格、可参考设计等内容来取舍，最后选定一种方案实施。

功能定义与方案选定过程是紧密联系的，因为芯片是特定的，某些芯片可能具有比原定义功能更多的功能，这时可以考虑更改功能定义，充分利用芯片潜能增加功能。有些功能的存在芯片无法满足要求或成本成倍增加，则考虑暂时去掉这些功能。上面流程图中的虚线箭头反映了这种关系和影响。

（3）电路原理图设计

根据方案选定的结果，将所选择芯片的各信号引脚以一定的规律与自己的设计考虑连接起来。一般使用 Protel 电路图制作软件。电路原理图设计与软件设计之间有一个双向箭头，意指在进行电路原理图设计时一定要充分考虑到将来进行软件设计时的一些需要。例如，要给软件保留哪些输出接口，软件体系结构对硬件电路的设计有无特殊要求。

（4）采购元件

电路原理图设计完成之后，就可通过各种途径购买元件了。对于常用元件，北京地区可到中关村中发（知春）电子市场购买。对于一些北京市场上没有的芯片，要通过互联网查询，并通过邮购、特快专递等方式购买。

（5）印制电路板设计

元件购买齐全之后，就要根据元件的封装情况来设计印制电路板。因为印制电路板不同于导线连接的电路，修改起来非常麻烦，并增加了电路工作的不可靠性，因此，要尽量确保印制电路板上的元件封装正确，最好将印制电路板以真实比例打印出来，然后将元件放置在打印出来的图上进行核对。

（6）电路板加工

电路板加工一般请专门的厂商进行。设计者将印制电路板图通过电子邮件发送给某个电路板制作商，并可根据需要决定制作周期，一般从 1~10 天不等，当然，加工越快，价格越高，工艺质量相对越差。北京地区在中发（知春）电子市场，有许多电路板制作厂商，可通过有经验人士介绍一家信誉好、质量稳定的厂商。

（7）电路焊接与硬件调试

经过数天，电路板制作完成后，只要配置有基本的焊接工具，就可以进行电路焊接。因为无法确保电路按设计正常工作，所以焊接过程也是硬件调试过程。按照一定的顺序，对各个功能模块的元件依次焊接，并依次进行测试。必要时，可能还需要割线、飞线，直至调通硬件。如果出现大的原则性错误，例如弄错封装型式，则需要重新制板。

（8）软件设计

硬件调试通过以后，就开始调试软件了。在这个过程中，可以不再关心硬件的细节。参考设计过程中的电路原理图以及所用芯片的相关资料，再编写硬件电路的软件程序。硬件电路设计与软件程序编写必须相辅相成、相得益彰，才能使设计的功能顺利实现。

按照设计流程的 7 个步骤本篇分为 7 章，每个步骤用 1 章来介绍。软件设计的内容，分为 MP3 和 U 盘两个部分。MP3 功能部分的软件设计将在第二篇“C51 程序设计”中进行介绍，U 盘的软件设计在第三篇“USB 海量存储设备（U 盘）设计”中介绍。