



51 单片机案例笔记

陈志旺 主 编



● 详尽剖析了22个典型案例

● 免费提供案例源程序 下载网址: www.cmpbook.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



51 单片机案例笔记

陈志旺 主编

庞双杰 弓洪玮 马巨海 赵 鹏 等参编



机械工业出版社

本书以 51 系列单片机的原理及应用技术为内容,以自制的 51 仿真板为实践平台,精选了 22 个案例,介绍了 51 单片机的结构与原理、嵌入式系统开发流程、指令系统与程序设计、中断系统、定时/计数器、串行口、接口扩展、常用传感器等内容。本书结构安排简洁合理、主干清晰、层次分明、逻辑严谨、循序渐进,具有良好的可读性和操作性。

本书可作为单片机初学者的入门教程,也可作为高等院校机电工程、自动化、仪表测控等相关专业的单片机课程的课外读物,也可作为广大工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

51 单片机案例笔记 / 陈志旺主编. —北京:机械工业出版社, 2015.4
ISBN 978-7-111-49736-3

I. ① 5… II. ① 陈… III. ① 单片微型计算机—基本知识 IV. ① TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 057763 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:时 静 责任校对:张艳霞

责任编辑:汤 枫

责任印制:李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2015 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18.75 印张·459 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-49736-3

定价:49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网:www.golden-book.com

前言



在移动互联时代，嵌入式系统的作用日益凸显，而单片机被称为嵌入式系统的灵魂。虽然日新月异的科技发展使单片机的电子元器件密度越来越大、功能越来越强，但是初学者理想的入门单片机还是 51 系列。不仅因为 51 单片机曾经创造的辉煌，以至于现在许多电子产品还在使用 51 单片机，还因为当前主流的单片机常用的功能如串口、定时/计数器、中断等，8051 都具有。近年来，尽管 ARM 处理器凭借其低功耗等优势占领了移动处理器为主的嵌入式处理器大部分市场，但 51 单片机与之相比，开发环境、开发语言、硬件结构更简单，更适合初学者入门，而且在 51 单片机的基础上再学习 ARM 单片机会更有效率，因此本书仍以 51 系列单片机为例进行讲解。

《单片机原理及应用》在本质上是一门实践课，内容跨度大，知识点多，技能要求高，在有限的时间内难以充分掌握所有相关知识点，故在学习时，可选择少数应用实例，具体其需求，从上到下完成整个系统的分析设计，然后从下向上自行搭建整个系统，并在实践中领悟基本原理，准确掌握基本概念，培养和锻炼实际系统开发的技能，并最终设计和实现一个简单的小型嵌入式系统。本书在内容选材上精挑细选，尤其在案例枚举时，更是择优挑选、精益求精。所选的案例具有普适性和典型性。好的案例，可以以一当十，读者略加变通便能举一反三。另外，与其他案例书不同的是，不仅“精选案例”，而且还“深度解析”（即“笔记”部分的内容），这部分是与案例有关的精析内容，强调的是理解学习而不是机械记忆学习。

本书所应用的开发平台为编者开发的 51 单片机仿真板，经过燕山大学自动化系多年的生产实习应用，积累了许多经验，书中的许多内容就是来源于此。本书选用仿真板作为实践平台也体现了“实践是检验是否掌握单片机的唯一方法”这一理念。

另外针对初学者，本书强调“汇编语言”的基础作用，因为汇编语言直接与硬件相关，会对单片机的硬件学习有促进作用。因此本书的第 4 个案例，揭示了汇编语言指令与 51 单片机硬件的联系，这也是编者教学的独特心得。每个案例的软件代码还将汇编程序和 C 语言程序对比列出，便于读者学习。

本书结构安排简洁合理、主干清晰、层次分明、逻辑严谨、循序渐进，具有良好的可读性。编者始终贯彻启发性原则，用通俗易懂的语言叙述深奥的原理和复杂的术语，通过精选的案例说明概念，运用形象思维帮助学生建立感性认识，深入浅出地说明问题。

本书案例 4~18 和附录由燕山大学陈志旺编写，案例 19~22 由秦皇岛职业技术学院庞双杰编写，案例 2 由燕山大学弓洪纬编写，案例 3 由燕山大学马巨海编写，案例 1 由秦皇岛市第十五中学高级教师赵鹏编写，研究生陈林、张博强、陈晓、贺韶东、韩松、王泉策、李恒锐、王盼盼、高宁宁、王馨、徐少伟、常伯慧、张兴明、刘为宏、郝彬参与了本书部分程序的编写和书稿的校对工作，全书由陈志旺统稿。书中引用了一些网上文献，无法一一注明出处，在此向原作者表示感谢！

目 录

前言

案例 1 解剖手机	1
1.1 案例任务	1
1.2 案例要点	1
1.3 案例设计	5
1.4 案例笔记	7
1.4.1 电子信息技术知识体系	7
1.4.2 嵌入式系统开发原则	8
案例 2 原理图和 PCB 图的绘制	11
2.1 案例任务	11
2.2 案例要点	11
2.3 案例设计	12
2.3.1 原理图绘制步骤	12
2.3.2 PCB 图绘制步骤	13
2.4 案例笔记	15
2.4.1 识读原理图的方法	15
2.4.2 识读 PCB 图的方法	16
2.4.3 框图、原理图、PCB 图、实物图的关系	17
2.4.4 51 单片机的芯片封装	18
2.4.5 如何保护电路设计的知识产权	21
案例 3 焊接与调试	22
3.1 案例任务	22
3.2 案例要点	22
3.3 案例设计	23
3.3.1 仿真板上的电气元件	23
3.3.2 仿真板焊接步骤	26
3.3.3 仿真板调试步骤	27
3.4 案例笔记	29
3.4.1 电源符号	29
3.4.2 接地的分类	29
3.4.3 干扰基础知识	30
3.4.4 如何判断集成电路的好坏	32
3.4.5 电气设备维修的十项原则	35
3.4.6 0Ω电阻	36
案例 4 指令系统的学习	37

4.1 案例任务	37
4.2 案例要点	37
4.3 案例设计	40
4.4 案例笔记	46
4.4.1 Keil C 的辅助调试功能	46
4.4.2 51 单片机中缩写的中英文速记	50
4.4.3 51 存储器总结	54
4.4.4 寻址方式总结	55
4.4.5 PSW 总结	55
4.4.6 有关 DPTR 的指令总结	56
4.4.7 控制转移指令总结	56
案例 5 程序的结构：分支和循环	58
5.1 案例任务	58
5.2 案例要点	58
5.3 案例设计	59
5.4 案例笔记	62
5.4.1 程序设计的方法	62
5.4.2 汇编语言常见错误总结	62
5.4.3 延时程序延时时间计算	63
案例 6 程序的效率	65
6.1 案例任务	65
6.2 案例要点	65
6.3 案例设计	66
6.4 案例笔记	69
6.4.1 汇编语言与 C 语言	69
6.4.2 C 语言常见错误总结	70
案例 7 流水灯	72
7.1 案例任务	72
7.2 案例要点	72
7.3 案例设计	73
7.3.1 硬件电路	73
7.3.2 软件代码	73
7.4 案例笔记	76
7.4.1 51 流水灯电路在 C51 学习中的应用	76
7.4.2 C51 双向口和准双向口	80
7.4.3 单片机端口驱动能力详解	80
7.4.4 LED 结构及发光原理	82
案例 8 输出模拟量的 I/O 端口	84
8.1 案例任务	84



8.2	案例要点	84
8.3	案例设计	84
8.3.1	硬件电路	84
8.3.2	软件代码	85
8.4	案例笔记: 51PWM 与平均电压	87
案例 9	蜂鸣器	88
9.1	案例任务	88
9.2	案例要点	88
9.3	案例设计	89
9.3.1	硬件电路	89
9.3.2	软件代码	89
9.4	案例笔记	91
9.4.1	51 蜂鸣器结构及发声原理	91
9.4.2	8051 晶体管驱动负载的技巧	92
9.4.3	开关晶体管使用误区	93
案例 10	并口的扩展	95
10.1	案例任务	95
10.2	案例要点	95
10.3	案例设计	97
10.3.1	硬件电路	97
10.3.2	软件代码	97
10.4	案例笔记	98
10.4.1	8255 各工作方式总结	98
10.4.2	微机扩展 I/O 接口的基础知识	99
10.4.3	I/O 接口的数据传送方式	100
10.4.4	可编程芯片总体要求	101
案例 11	方式可控的流水灯	102
11.1	案例任务	102
11.2	案例要点	102
11.3	案例设计	102
11.3.1	硬件电路	102
11.3.2	软件代码	103
11.4	案例笔记: 分支结构的常见错误	104
案例 12	数字显示器	107
12.1	案例任务	107
12.2	案例要点	107
12.3	案例设计	107
12.3.1	硬件电路	107
12.3.2	软件代码	108

12.4 案例笔记: 51 LED 显示码便于移植的解决方法	109
案例 13 行列键盘	112
13.1 案例任务	112
13.2 案例要点	112
13.3 案例设计	113
13.3.1 硬件电路	113
13.3.2 软件代码	114
13.4 案例笔记: C51 精炼的判键程序	121
案例 14 中断	124
14.1 案例任务	124
14.2 案例要点	124
14.3 案例设计	126
14.3.1 硬件电路	126
14.3.2 软件代码	127
14.4 案例笔记	130
14.4.1 利用 51 单片机的中断系统实现三级以上中断嵌套	130
14.4.2 中断与调用子程序的区别	131
案例 15 计数器	132
15.1 案例任务	132
15.2 案例要点	132
15.3 案例设计	134
15.3.1 硬件电路	134
15.3.2 软件代码	134
15.4 案例笔记: 定时/计数器四种工作方式总结	137
案例 16 定时秒表	139
16.1 案例任务	139
16.2 案例要点	139
16.3 案例设计	139
16.3.1 硬件电路	139
16.3.2 软件代码	140
16.4 案例笔记	145
16.4.1 51 单片机定时计数器工作方式总结	145
16.4.2 C51 精确延时	147
16.4.3 中断与定时/计数器综合应用	149
16.4.4 实用技巧之扩展中断源	149
案例 17 频率显示器	150
17.1 案例任务	150
17.2 案例要点	150
17.3 案例设计	151

17.3.1	硬件电路	151
17.3.2	软件代码	151
17.4	案例笔记	155
17.4.1	频率的测量方法	155
17.4.2	利用门控制位 GATE 测量脉冲宽度	156
案例 18	电压监控器	157
18.1	案例任务	157
18.2	案例要点	157
18.3	案例设计	158
18.3.1	硬件电路	158
18.3.2	软件代码	158
18.4	案例笔记	168
18.4.1	逐次逼近式 A-D 转换	168
18.4.2	A-D 转换器选择原则	169
案例 19	温度监控器	170
19.1	案例任务	170
19.2	案例要点	170
19.3	案例设计	170
19.3.1	硬件电路	170
19.3.2	软件代码	171
19.4	案例笔记	178
19.4.1	单总线	178
19.4.2	DS18B20 总结	181
案例 20	数字电子钟	184
20.1	案例任务	184
20.2	案例要点	184
20.3	案例设计	184
20.3.1	硬件电路	184
20.3.2	软件代码	184
20.4	案例笔记	219
20.4.1	如何阅读英文的芯片数据手册	219
20.4.2	DS1302 总结	221
案例 21	串行通信	224
21.1	案例任务	224
21.2	案例要点	224
21.3	案例设计	226
21.3.1	硬件电路	226
21.3.2	软件代码	226
21.4	案例笔记	233

21.4.1 SPI、I ² C、UART 三种串行总线协议的区别	233
21.4.2 串口四种工作方式总结	234
案例 22 数字计算器	235
22.1 案例任务	235
22.2 案例要点	235
22.3 案例设计	236
22.3.1 硬件电路	236
22.3.2 软件代码	237
22.4 案例笔记：电子产品设计步骤	282
附录 51 单片机实验板原理图	286
参考文献	287



案例1



解剖手机



1.1 案例任务

拆卸家里废弃的手机等嵌入式系统产品，找到其中的单片机，从互联网上了解一下此款单片机的功能及组成；在手机主板上找到相关外设芯片，识别其封装，找到其型号，并从互联网上了解其功能；找到主板上的电阻、电容、电感等电路元件，识别其封装，尽量通过其型号信息或万用表获知其电气参数；通过主板了解 PCB 布线的相关技巧。

1.2 案例要点

(1) 计算机系统组成

计算机系统由计算机、外设、软件等组成。

(2) 冯·诺依曼体系结构

计算机系统由硬件系统和软件系统两大部分组成。美籍匈牙利科学家冯·诺依曼（von Neumann）结构奠定了现代计算机的基本结构。

1) 采用二进制形式表示数据和指令。

2) 采用存储程序方式。这是冯·诺依曼思想的核心内容。它意味着事先编制程序，并将程序（包含指令和数据）存入主存储器中，计算机在运行程序时就能自动地、连续地从存储器中依次取出指令并执行。这是计算机能高速自动运行的基础。

3) 由运算器、存储器、控制器、输入接口和输出接口五大部件组成计算机系统，并规定了这五部分的基本功能。

(3) 电子产品拆卸、组装、维修相关知识

(4) 元器件封装形式的识别

(5) 电子产品常用元器件的识别

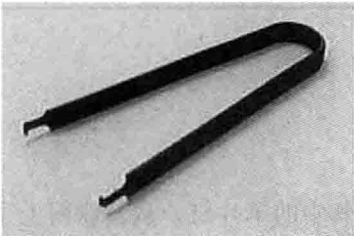
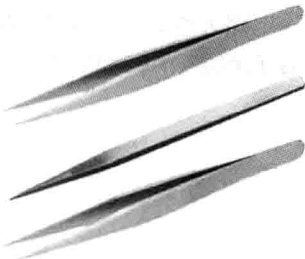
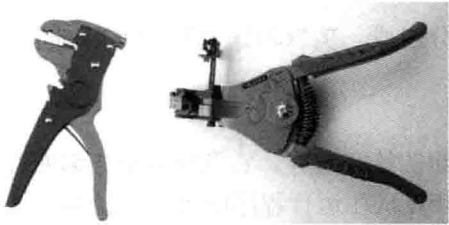
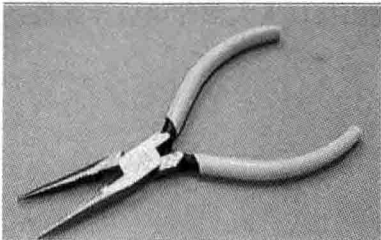
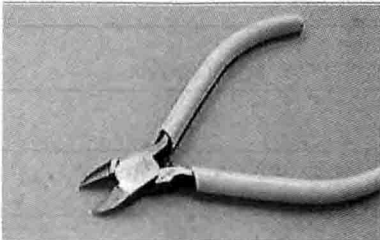
1) 基本工具：电子产品制作基本工具见表 1-1。

表 1-1 电子产品制作基本工具

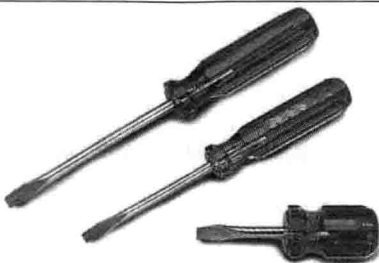
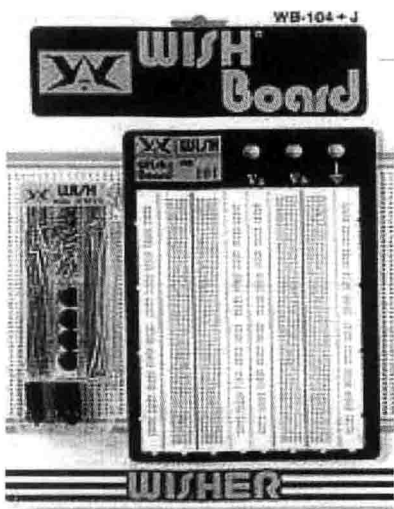
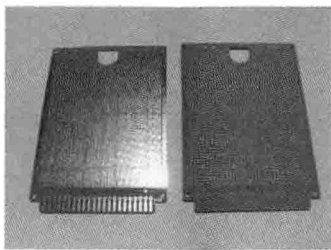
机械加工	基本：螺钉旋具、镊子、剪刀、裁纸刀、尖嘴钳、电钻 扩展：螺钉旋具套装、防静电镊子、刻刀、锉刀、台钳、手锯、斜口钳、剥线钳
材料粘贴	基本：电工胶布、透明胶、双面胶、502 快干胶 扩展：白乳胶、补鞋胶、万能胶
电路焊接	基本：电烙铁、烙铁架、焊锡丝、焊锡膏、吸锡器、空心针、高温海绵 扩展：助焊工具、焊接台、调温烙铁焊台
测量调试	基本：钢尺、卷尺、数字万用表 扩展：感应电笔、电子秤、舵机测试器

2) 常用电路焊接工具：电工常用工具图示及功能见表 1-2。

表 1-2 电工常用工具图示及功能

实 物 图	简 介
 IC 拔取夹	用于将集成电路芯片从芯片座上取下而不弄弯引脚
 镊子	用于贴片元件或螺钉的取用、夹持导线和元件，在焊接时夹持器件兼有散热作用。注意不可夹酸性药品；用完后必须使其保持清洁
 剥线钳	用来剥掉细缆导线外部的绝缘层
 尖嘴钳	用来取代手指折弯细金属丝，用来在狭窄的空间夹持螺母或其他小零件等，还可以用刀口剪断较硬的电线或细金属丝，但不能用于剪断较粗的金属丝，以防止将尖嘴钳损坏
 偏口钳	用来剪断较粗的电线或细金属丝，修剪焊接后多余的线头，拧掉导线外层的绝缘皮等

(续)

实 物 图	简 介
 一字螺钉旋具	用来拧转螺钉以迫其就位的工具。选用一字螺钉旋具时，要注意螺钉旋具的刀口宽窄要与螺钉的一字槽相适应，既不能过长，也不能过厚，但也不能太薄。当刀口尺寸过长时，容易损坏安装件（对沉头螺钉）；当刀口的尺寸厚度超过螺钉的一字槽厚度时，可能会损坏螺钉槽
 十字螺钉旋具	用螺钉旋具进行紧固和拆卸螺钉时，推压和旋转应同时进行，但在推压和旋转时不能用力过猛，以免损坏螺钉槽口
 WB-104+J 免焊万用电路板（面包板）	俗称面包板，内部是由一些长条形的磷青铜片组成，水平由 25 个插孔组成，而垂直线则是每 5 个插孔为一组，各插孔间可视需求，以 0.6mm 的单心线加以连接组合
 万用电路板	和免焊万用电路板作用类似，但元件连接需焊接

(续)

实 物 图

简 介



手电钻

手电钻主要用来在金属板、电路板或机壳上打孔



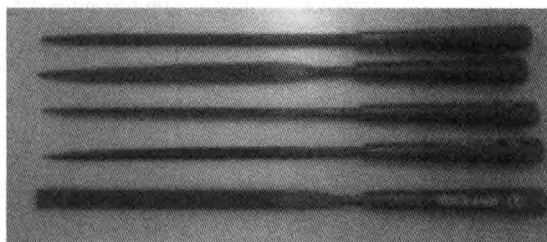
钻头

和手电钻配合使用，根据钻孔大小可选不同规格



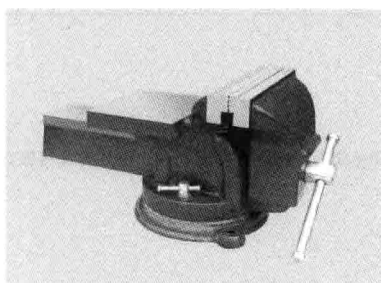
钢锯

用于精度不高、较硬材料的切割



锉刀

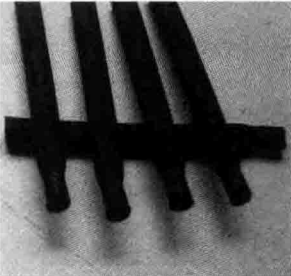
可用来锉平机壳开孔、金属板或绝缘板的毛边以及锉掉电烙铁头上的氧化物等



小型台虎钳

用来夹紧各种加工件，以便割锯、锉削和打孔等

(续)

实 物 图	简 介
 热熔胶枪	热熔胶枪是一种专门用来加热熔化热熔胶棒的专用工具。热熔胶枪内部采用居里点$\geq 280^{\circ}\text{C}$的 PTC 陶瓷发热元件，并配设紧固导热结构，当热熔胶棒在加热腔中被迅速加热熔化为胶浆后，用手扣动扳机，即从喷嘴中挤出胶浆，供直接粘固用
 绝缘套管	使导线焊接部绝缘
 铜柱	电路板支撑用

►► 1.3 案例设计

进行拆卸前首先要从互联网上搜集手机的相关资料，越全面越好，图 1-1 所示为 iPhone 5 的器件清单图。

图 1-2 所示为 iPhone 5 主板正视图，图中含有 iPhone 5 的“大脑”A6 处理器，其放大图如图 1-3 所示。A6 处理器的 CPU 性能和显卡性能均为 A5 的两倍，但是核心面积却缩小了 22%。配备 A6 处理器的 iPhone 5 应用加载速度非常快，例如，Page 加载速度达到之前的 2.1 倍，Keynote 加载速度也有之前的 1.7 倍。A6 处理器对摄像头拍照性能也有提升，A6 具有下一代 ISP、空间降噪、智能过滤、更好的低光照表现和更快的图像捕捉能力，拍照速度比 iPhone 4S 提升 40%。

iPhone 5 主板的背视图如图 1-4 所示，从中可以看到 Nand Flash 存储器，其型号和参数为海力士 H2JTDG2MBR 128 GB。

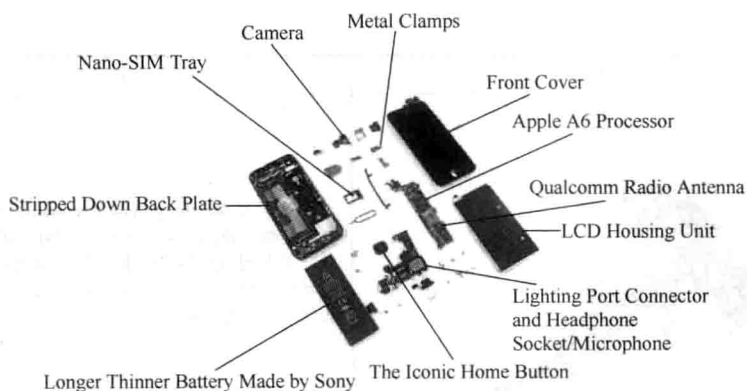


图 1-1 iPhone 5 器件清单

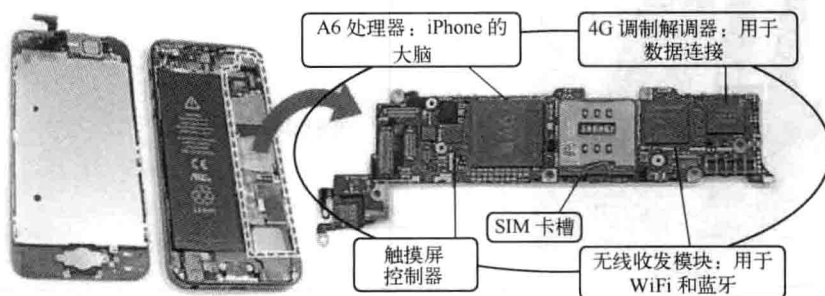


图 1-2 iPhone 5 主板正视图

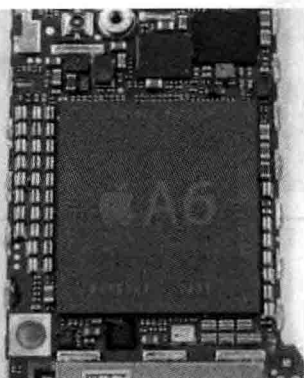


图 1-3 A6 处理器

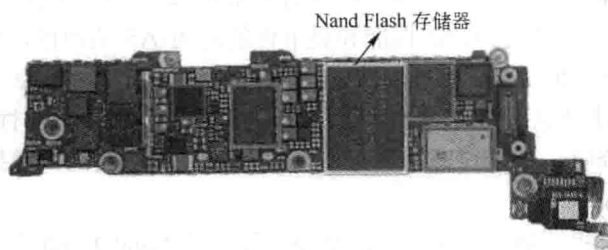


图 1-4 iPhone 5 主板背视图

拆机前要进行如下准备工作:

1) 在手机内部的印制电路板上, 由于镶嵌着不同生产厂商和不同型号的集成芯片, 另外印制电路板上还有一些新型的元器件, 所有这些芯片和元器件上都要传输一些弱电流信号, 因此若手机还要使用, 就不要在强磁场高电压下进行维修操作, 以免遭大电流冲击, 损坏元器件。

2) 确认手机螺钉型号, 准备专用的螺钉旋具; 准备一个小的镊子和撬棒; 准备一个取卡针; 保持工作台面整洁, 拆下的零部件要用一个专用的容器装好, 避免散失。

3) 拆机前建议佩戴好防静电手腕、接地线、防静电垫, 避免因静电而造成手机内部电路的损坏, 同时保证双手干燥。

4) 拆机前确认手机已经完全关机。拆卸前应先取下电池、SIM 卡后再进行拆卸工作。

5) 对手机中的重要信息进行备份。

拆机过程中, 要注意如下事项:

1) 在拆卸或者安装手机时, 一定要按照一定的前后顺序进行操作, 取放的芯片、元器件也要按一定的顺序排放, 以免混淆或者丢失。

2) 对于不易拆卸的手机, 应先研究一下手机的外壳, 看清手机壳的配合方式, 然后再拆卸手机。

3) 有些手机的固定螺钉十分隐蔽, 如诺基亚 8810 手机推拉盖下有两颗螺钉, 三星 N188 手机后壳防尘罩下的螺钉, 拆卸前应仔细查找, 在没有全部拆卸螺钉的情况下不要强行打开机壳, 以免对机壳造成不可修复的损伤。将手机中的相关固定螺钉全部取出 (部分螺钉较隐蔽, 要细心查找), 某些机器还要把天线或其他配件取下。

4) 取下主板的过程中, 要留意是否有主板与外壳相连接的排线, 如果有, 须先撬开排线头, 然后再取外壳, 以免损坏排线。

5) 显示屏为易损器件, 要轻取轻放, 不能用力过大。

6) 准备一部数码相机或者拍照清晰度较高的手机, 用来记录拆机细节, 方便重新安装手机时参考。

在拆卸中若出现螺钉滑丝, 可在螺钉旋具上垫一些东西 (如双面胶、布料等), 可以增加螺钉旋具与螺母间的摩擦力; 若螺母是露出外面的, 可以用尖嘴钳夹紧螺钉后, 旋出螺钉。

▶▶ 1.4 案例笔记

▶▶▶ 1.4.1 电子信息技术知识体系

可以把电子信息科学技术的知识架构类比于生物系统, 如图 1-5 所示。生物系统从基本的原子、分子形成蛋白质、细胞器、细胞、组织、器官、系统到个体的人, 在不同的层次上形成不同的生物, 有低等生物和高等生物、植物和动物, 每一层次各自独立又相互联系, 有着从低到高的递进关系, 低层次生物的进化决定了高层次生物的特性和发展。电子信息科学技术的知识体系与此类似。电子信息学科从基础物理发展而来, 从电磁场和电荷载体的相互作用开始, 到电势 (电流、电压) 和电路之间的相互关系; 从电路里分化出逻辑电路, 从电