

*P*IC Microcontrollers An Introduction to
Microelectronics, Third Edition

PIC微控制器设计

(原书第3版)

[英] 马丁 P. 贝茨 (Martin P. Bates) 著 许辉 赵春光 等译



机械工业出版社
China Machine Press

PIC Microcontrollers
An Introduction to Microelectronics, Third Edition

PIC微控制器设计

(原书第3版)



[英] 马丁 P. 贝茨 (Martin P. Bates) 著 许辉 赵春光 等译



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

PIC 微控制器设计 (原书第 3 版) / (英) 贝茨 (Bates, M. P.) 著; 许辉等译. —北京: 机械工业出版社, 2016.5

(电子电气工程师技术丛书)

书名原文: PIC Microcontrollers: An Introduction to Microelectronics, Third Edition

ISBN 978-7-111-53390-0

I. P… II. ① 贝… ② 许… III. 单片微型计算机—微控制器—设计 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 065391 号

本书版权登记号: 图字: 01-2013-8824

PIC Microcontrollers: An Introduction to Microelectronics, Third Edition

Martin P. Bates

ISBN: 978-0-08-096911-4

Copyright © 2011 by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2016 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Printed in China by China Machine Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授权机械工业出版社在中国大陆境内独家出版和发行。本版仅限在中国境内 (不包括香港特别行政区、澳门特别行政区及台湾地区) 出版及标价销售。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

本书系统介绍基于 PIC 单片机设计微控制系统的基本方法。首先重点介绍 PIC 16F84A 芯片的基本结构和编程技术; 其次介绍如何使用免费的 PIC 单片机开发软件 MPLAB IDE, 以及 Proteus VSM 交互式电子设计软件, 开发自己的应用程序并对功能进行仿真; 最后重点介绍基本接口、电动机驱动、温度控制和一般控制系统的设计方法, 并提供相应的完整代码示例。本书可作为电类专业微处理器课程的本科生教材, 还可作为微控制器爱好者和专业工程师的参考书籍。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 殷虹

印刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版次: 2016 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm × 240mm 1/16

印张: 23

书号: ISBN 978-7-111-53390-0

定价: 89.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

在现代工业环境中，随着微控制器的高速发展，带动了工业自动化和控制领域的迅速发展。由于中国及亚洲其他地区主要制造工厂自动化程度的提高，新的控制技术被广泛用于增强性能、提高效率、降低成本，因此微控制器的应用对降低制造成本和提升产品性能都有着举足轻重的影响。

要想进行控制设备的开发，首先，必须掌握数字电路、模拟电路和微控制器的相关知识；其次，各方面经验的积累也非常关键，包括硬件设计、软件设计，以及如何让两者巧妙地结合，以实现协同工作。此外，若要确保设计的项目能在实际工作环境中正常运行，需要考虑的问题就更多，如实际应用环境的特点、突发问题的应急方式、各种因素的干扰等。因此，只有通过全方面的考虑才能将微控制器的应用开发推进到一个新的阶段。

而本书从实际的设计应用出发，以 Microchip 公司的 PIC 16 系列微控制器为例，详细讲解了微控制器的体系结构和设计方法，在内容编排上，从综合性、设计性、实用性的角度，以从基础层面向提高应用层面逐渐深化的方式进行编写，初学者可以边学边用，从而掌握相关知识，提高自主学习和解决问题的能力。同时本书为初学者、工程师和爱好者提供大量可亲自动手制作的工程实践应用范例，这些范例介绍详尽，考虑问题全面系统，具有非常强的实用价值。

全书内容安排从浅入深，在内容组织上包括三部分，第一部分主要介绍微处理器系统的构造；第二部分重点介绍 PIC 16F84A 芯片的基本结构和编程技术，及相关的 PIC 单片机开发软件 MPLAB IDE、交互式电子设计软件 Proteus VSM，全面展示了 PIC 系列产品及相关的编程工具，并详细地介绍了为成功创建新项目所涉及的开发设计技巧；第三部分重点介绍了基本接口、电动机驱动、温度控制和一般控制系统的设计方法，针对每个系统都给出了工程实例讲解，并配以文字、框图、电路图、源程序等资料，对程序执行过程也进行了详细讲解。

正是本书的独特性，我们决定将其翻译并奉献给读者。希望能为涉及微控制器学习的电子类本科生提供学习和参考教材，也为从事微控制应用的工程师和其他电子爱好者提供帮助。

本书由许辉、赵春光翻译，张亚斌、莫鸿华、王晶参加了部分译校工作。由于时间紧张和译者水平有限，难免存在偏差和失误，诚恳希望读者批评指正。

第3版序 Preface to the Third Edition

本书第1版重点讨论了芯片 PIC 16F84A, 该芯片广泛应用于教育领域, 并深受电子爱好者喜欢。现在这款芯片已被速度更快、更便宜、更复杂、更强大的芯片取代。这就造成了一个两难的状况: 是仍然使用这款实际上过时的芯片还是换用另一款当前更为复杂的芯片呢? 本书兼顾了两方面, 由于 16F84A 相对简单, 所以本书前几章仍使用它, 然后再换用功能更丰富的芯片, 如 16F690。同时, 充分利用现在可用的仿真软件的功能, 如可提供动画演示电路和用户友好的单片机程序调试。

本书中所有要点通过简单的例子来说明, 这些例子可以从技术支持网站 www.picmicros.org.uk 下载。可以修改、重新编译, 并使用从 www.microchip.com 免费下载的 Microchip 的 MPLAB IDE 开发系统测试程序源代码。这个网站还提供了在本书中使用的许多技术参考文献和数据手册。原理图绘制和仿真软件可从 Labcenter Electronics 公司的网站 www.labcenter.com 下载。演示版本是可用的, 而创建并测试自己的应用程序还需要许可证。包括 16F84A 在内的低成本封装包目前可供免费使用。

因为本书针对初学者, 所以有经验的读者可跳过那些已经熟悉的章节。一些理论性内容已移至附录, 以留出空间来增加应用及实例。这些应用及实例都是在校大学生或单片机爱好者主要学习的内容。不过, 我希望更有经验的读者会发现一些例子更有用, 并且看到一些技术的优点, 尤其是交互式仿真, 这些可以提升各阶层专业电子设计工程师的应用开发经验, 并提高他们的工作效率。

——Martin Bates

Introduction to the Third Edition 第3版前言

微控制器是目前许多电子产品的核心。手机、微波炉、数字电视、信用卡、互联网和其他许多现有的技术都依靠这些小而不显眼的设备，使这一切成为可能。

本书尝试向初学者介绍这种无处不在而又复杂的技术。从标准的 PC 开始，讲述基本概念和术语：微处理器系统、存储器、输入和输出以及一般的数字系统概念。然后，我们将继续学习 PIC 微控制器（MCU）。在小规模的工业应用市场上它占主导地位，其制造商为 Microchip Technology 公司。

我们将从研究一个商业上不再重要，但比较简单，且拥有少量高级功能的芯片 PIC 16F84A 开始。它是第一个具有闪存程序存储器和记忆棒的小型微控制器之一，这些功能使得它可以很容易重新编程，因此它非常适合学习者和电子产品爱好者使用。我们将学习如何连接此芯片和在芯片上编程，并且设计简单的应用，如输出让 LED 闪烁。此外，还会介绍仿真软件使得设计过程更容易、更有趣。然后，我们将继续介绍 PIC 16F690 芯片，它是 PIC 领域中功能较多，最具代表性的产品。在实际应用（如汽车发动机控制或通信系统）中，使用的许多单片机都比较强大，但操作原理是一样的。其他类型的控制技术将与本书介绍的微控制器进行比较分析。

本书采用的大部分例子都与电动机控制有关，因为电动机控制是一个非常常见的应用程序（磁盘驱动器、洗衣机、输送机等）。小型直流电动机价格低廉，通过一个简单的电流驱动接口可以很容易地连接到 PIC 芯片上。电动机的响应可能很复杂，但是很容易被观察到，这都表明它是与实时系统控制相关的问题。电动机还提供了一个与更多工程领域的链接，如机电一体化、机器人、数控机床和工业系统，这些知识对该学科的学生和工程师都非常有用。

区分微处理器和微控制器最大的问题是要充分理解它们的工作原理，需要同时了解两者的硬件和软件。因此，我们要围绕这个主题，从不同角度了解系统，直到建立一个合理的认知水平。本书包括基本的硬件设计、接口、程序开发、调试、测试，并使用一系列简单的例子进行分析。数字系统、数字化的原则和微处理器的系统概念，以及系统设计练习，这些基本概念会在附录中介绍，以供不具备这种必要背景的读者参考。附录 E 介绍了使用 Proteus

VSM 电子设计套件进行设计的整个过程。

在每章开始有个该章重点,以使该章的内容一目了然。在每章最后列出一组问题,用于学生的自我评估和正式测试(答案在本书末),根据需要,建议实践活动可以演变为实际评估。本书的风格可供写实际评估技术报告的学生作为一个模型借鉴。应用程序开发的各个阶段应清楚地标明以下情况:规范、设计、实现和测试。

每章的内容既兼顾了整本书的连续性,又允许每个章节可以独立阅读。因此在章节之间会有少量重复内容,这有助于读者学习。主体总是庞大而复杂,因此在这类书里到底应该包含什么总是很难决定。我的原则是始终保持简单,我希望我的选择将帮助读者开始了解微控制器的奇妙世界,对开发的实际应用有合理的理解,进而可以从事微控制器的设计和应用。然而,对微控制器的理解是任何电气工程师必不可少的基础,因为该技术是现在大多数电子产品和工业系统的核心。

Contents 目录

译者序	
第3版序	
第3版前言	

第一部分 入门

第1章 计算机系统	2
1.1 个人计算机系统	3
1.2 文字处理器的操作	7
1.3 微处理器系统	9
1.4 微控制器的应用	12
第2章 微控制器的操作	20
2.1 微控制器的架构	21
2.2 程序操作	25
第3章 简单的PIC应用	35
3.1 硬件设计	36
3.2 程序执行	39
3.3 程序BIN1	41
3.4 汇编语言	43

第4章 PIC程序开发	49
4.1 程序开发	50
4.2 程序设计	52
4.3 程序编辑	53
4.4 程序结构	57
4.5 程序分析	58
4.6 程序汇编	62
4.7 程序仿真	65
4.8 程序下载	68
4.9 程序测试	71

第二部分 PIC微控制器

第5章 PIC架构	74
5.1 框图	76
5.2 程序执行	77
5.3 文件寄存器的设置	78
第6章 编程技术	86
6.1 程序时序图	87

6.2 硬件计数 / 定时器	88	第 9 章 程序调试	148
6.3 中断	92	9.1 语法错误	149
6.4 寄存器操作	98	9.2 逻辑错误	151
6.5 特殊功能	105	9.3 测试计划	157
6.6 汇编伪指令	107	9.4 交互式调试	159
6.7 伪指令	112	9.5 硬件测试	163
6.8 数值类型	112	第 10 章 硬件原型设计	165
6.9 数据表	114	10.1 硬件设计	166
第 7 章 PIC 开发系统	117	10.2 硬件结构	167
7.1 在线编程	118	10.3 Dizi84 板的设计	172
7.2 PICkit2 演示系统	119	10.4 Dizi84 板的应用	176
7.3 PIC 16F690 芯片	120	第 11 章 PIC 电动机应用	192
7.4 测试程序	121	11.1 电动机控制	193
7.5 模拟输入	123	11.2 电动机应用板 MOT2	194
7.6 仿真测试	124	11.3 电动机控制方法	197
7.7 硬件测试	125	11.4 MOT2 的测试程序	198
7.8 其他 PIC 演示套件	125	11.5 闭环速度控制	203
7.9 在线调试	127	11.6 电动机控制模块	209
7.10 在线仿真	129		
第三部分 PIC 应用		第四部分 微控制器系统	
第 8 章 应用设计	132	第 12 章 更多的 PIC 微控制器	216
8.1 设计规范	133	12.1 共同特征	218
8.2 硬件设计	135	12.2 器件选择	222
8.3 软件设计	137	12.3 外设接口	227
8.4 程序实现	142	12.4 串口	230

第 13 章 更多的 PIC 应用..... 236

13.1 TEMCON2 温度控制器..... 237

13.2 简化的温度控制器.....252

13.3 PIC 的 C 语言编程..... 254

第 14 章 更多的控制系统..... 259

14.1 其他微控制器..... 260

14.2 微处理器系统..... 262

14.3 控制技术..... 266

14.4 控制系统设计..... 273

第五部分 附录

附录 A 二进制数..... 278

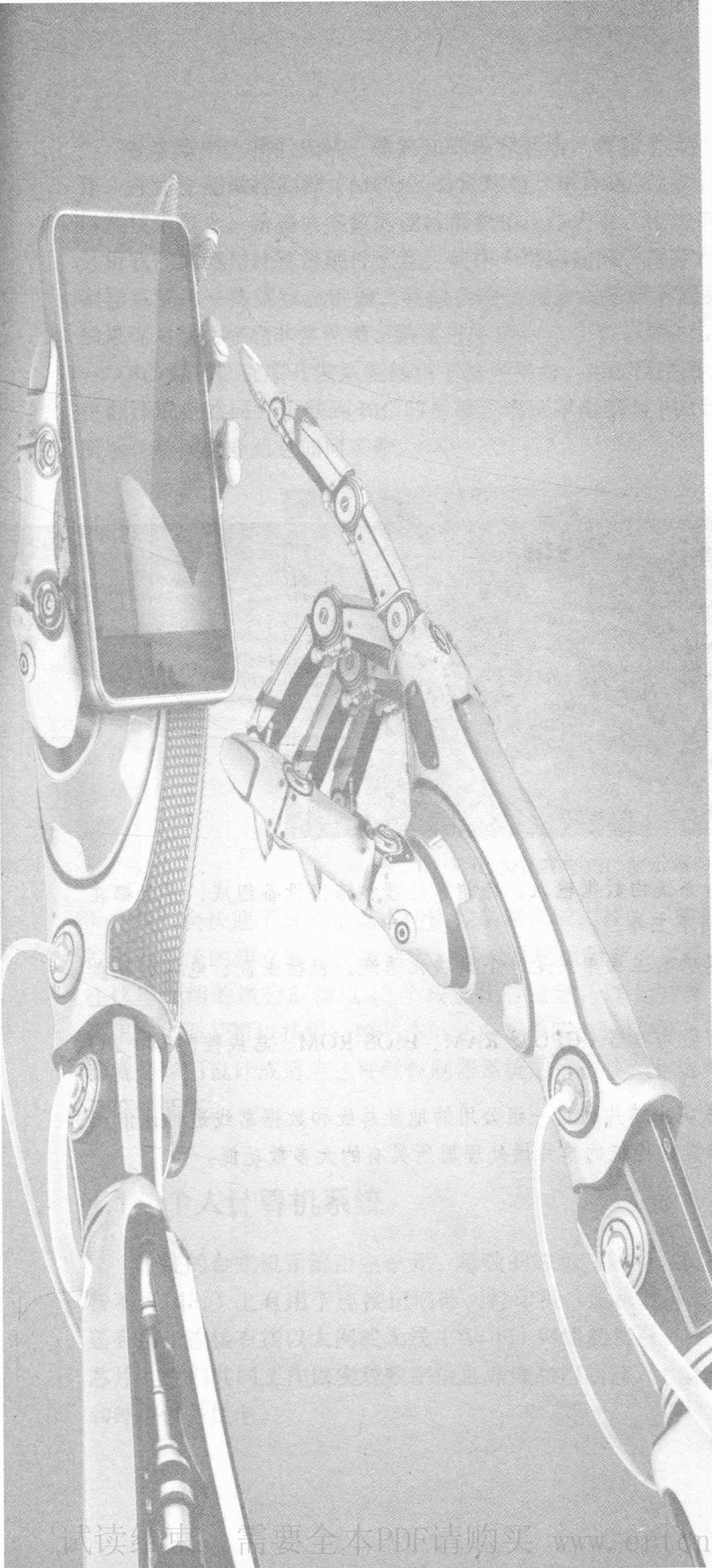
附录 B 微电子器件..... 290

附录 C 数字系统..... 305

附录 D Dizi84 演示板..... 317

附录 E Dizi690 演示板..... 334

习题参考答案..... 350



Part 1 第一部分

入 门

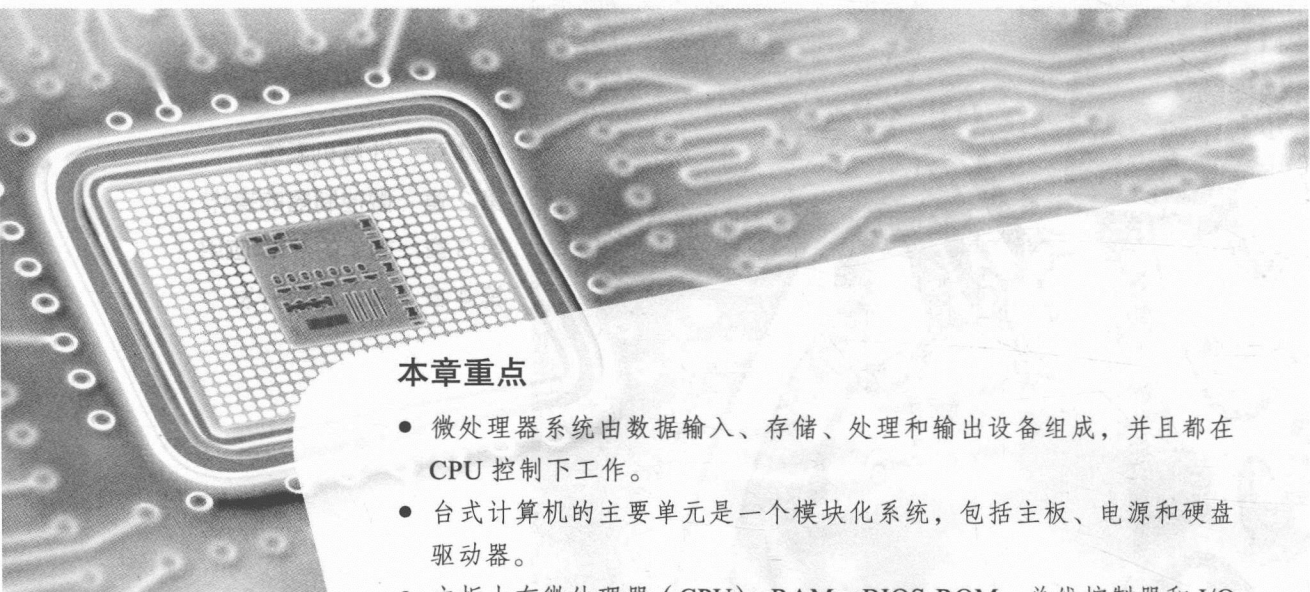
第 1 章 计算机系统

第 2 章 微控制器的操作

第 3 章 简单的 PIC 应用

第 4 章 PIC 程序开发

计算机系统



本章重点

- 微处理器系统由数据输入、存储、处理和输出设备组成，并且都在 CPU 控制下工作。
- 台式计算机的主要单元是一个模块化系统，包括主板、电源和硬盘驱动器。
- 主板上微处理器（CPU）、RAM、BIOS ROM、总线控制器和 I/O 接口。
- CPU 与系统主芯片通过一组公用的地址总线 and 数据总线进行通信。
- 微控制器提供传统的单片微处理器所具有的大多数功能。

在本章中，我们先从一些熟知的内容开始，观察个人计算机（PC）如何进行文字处理工作，并建立起微控制器（MCU，通常称为“单片机”，本书中也会经常这样使用）中用到的一些技术概念。希望大多数的读者都熟悉这些内容，也知道如何使用这些功能。本书会通过分析软件如何与计算机硬件交互，使用户可以访问、保存和处理文档，从中引出基本的微控制器系统的一些观点。例如，我们会明白为什么需要不同类型的存储器来支持系统的操作。如果你对 these 概念非常熟悉，请跳过本章。

PC 为 PIC 程序开发系统提供了硬件平台。PIC 程序用文字编辑器编写，通过 PC，把程序翻译成机器码并下载到 PIC 芯片里。笔记本电脑与 PIC 演示系统的硬件连接方式如图 1.1 所示，后面会介绍它如何工作。

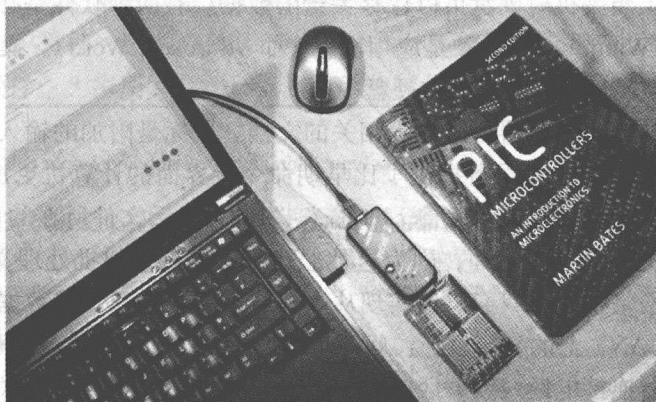


图 1.1 笔记本电脑与 PIC 演示系统的连接

我们会快速了解一个基本的微控制器系统，首先了解微控制器系统如何建立和工作，微控制器系统的建立和工作类似于计算机系统里简单的微处理器，然后比较两者之间的不同。在这里介绍的微控制器以 12 个按键代替键盘，以七段数码管代替显示器，存储器也比 PC 小很多，但是可以执行一些基本的任务。事实上，这样会更加灵活，用在 PC 上的 Intel 处理器就是专门设计成适应这种微控制器系统的。微控制器也可以在各种各样的电路中使用，并且价格低廉。

1.1 个人计算机系统

传统的台式机系统由主单元、单独的键盘、鼠标和显示器组成。主单元（当无线外围设备不可用时）上有用于连接记忆棒、打印机、显示器等设备的通用串行总线（USB）接口，还有用于连接有线以太网或无线（Wi-Fi）网络的接口。主单元里的电路板（主板）上有一组芯片，它们共同工作以实现数字信息处理和输入/输出设备。电源则为主单元里的主板和外围设备供电。

笔记本电脑与台式机有类似的组件，只是前者集成了显示器和键盘，因而比较紧凑。而平板电脑有触摸显示屏但没有键盘，相比则更加紧凑。微处理器与微控制器系统之间的区别类似于台式机与触摸屏的游戏机或移动电话之间的区别。设备和应用是类似的，只是在规模和复杂程度上不同。

框图（见图 1.2a）是展示计算机系统的简化形式，我们从中可以分辨出其主要组件，并知道它们是如何连接在一起。例如，硬盘驱动器和网络部分的数据流是双向的，其表示数据可存储到硬盘或服务器，或者从硬盘或服务器中检索出数据送到系统。微控制器的内部架构在其数据手册中可以看到。

任何一个微处理器或微控制器系统必须有在硬件上运行的软件。在台式机里，软件存储在主单元的硬盘里，当关机时硬盘可以保存大量的数据。有两种软件是必需的：一种是操作系统（如 Microsoft Windows），一种是应用软件（如 Microsoft Word）。操作系统和应用软件产生的数据，如文档文件，都会存储在硬盘中。

键盘用来输入数据，显示器用来显示相关的文档。鼠标是附加的输入设备，可控制选择菜单或单击符号和按钮。这些设备提供了比早期命令行界面的计算机更加友好的人机界面。早期的计算机开始时需要输入文本命令，如输入“dir”显示文件所在的目录（文件夹）。网络专家目前仍使用这种形式的界面，因为这种形式可以通过创建批处理文件（命令列表）控制系统操作。通过网络接口，我们可以实现从本地或远程服务器下载数据或应用、分享各种资源，如局域网（LAN）上的打印机、访问广域网（WAN，通常是互联网）等活动。在家中可以通过调制解调器连接电话线或有线电视服务，再通过它们连接到互联网。这样网络浏览器（如，Microsoft Internet Explorer）就是另外一个基本的应用。

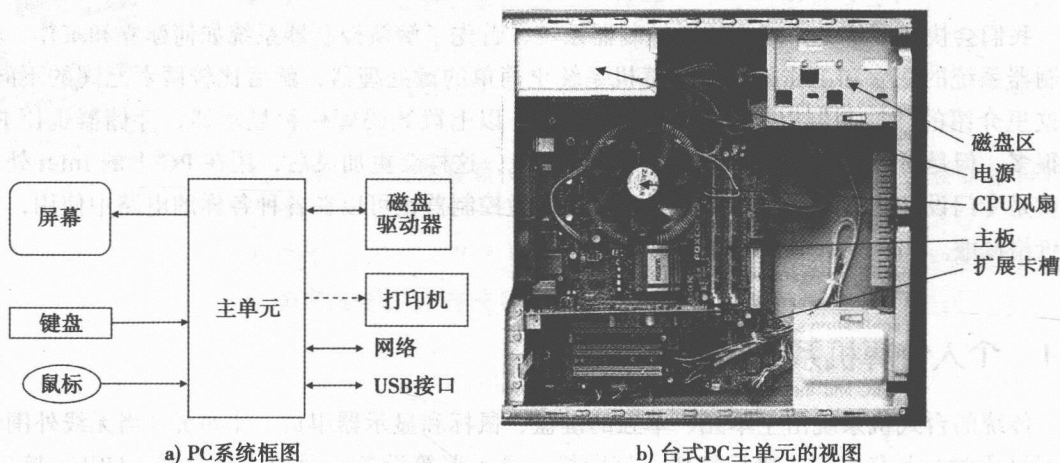


图 1.2 PC 系统

1.1.1 计算机硬件

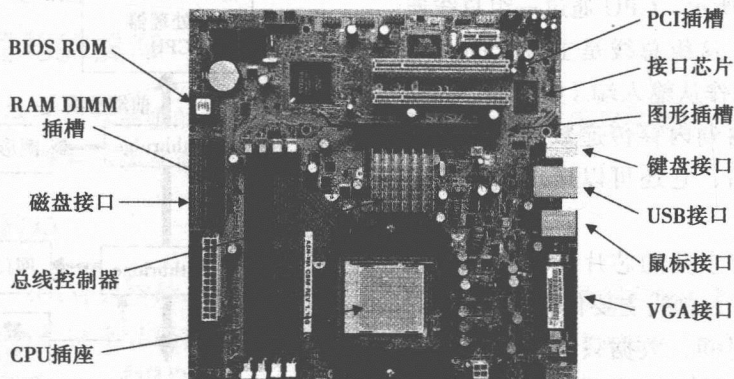
在 PC 主单元中（图 1.2b），传统的主板都有扩展卡槽，可以方便地将扩展板、内存条添

加到主板上。电源、磁盘驱动器分别安装到主单元上。键盘、鼠标接口集成在主板上。在旧的设计中,扩展板上有接口电路,这些接口电路使主板可以连接硬盘和外围设备,如显示器、打印机。如今,这些设备越来越多地集成到主板上。外围设备目前则通过 USB 或无线方式连接到主板上。

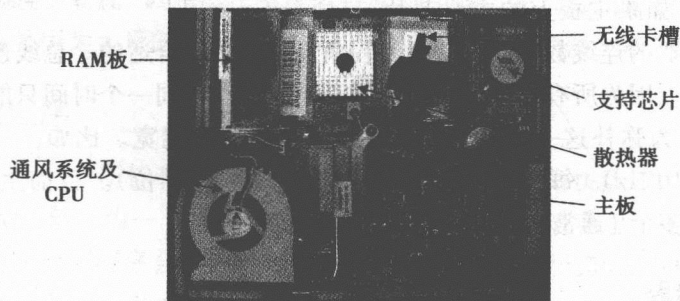
台式 PC 是一个模块化的系统,它允许将不同的硬件组装在一起来满足个人用户的需求,硬件组件可来自不同的专业设备供应商,当子系统(如磁盘驱动器和键盘)出现问题时能够很容易被更换,而且能够轻松地升级硬件(如配置更大的内存芯片)以使 PC 架构更好地适配工业应用。这样,可以加固 PC(把 PC 放入一个坚固的箱体)以用于工厂使用。这种模块化架构是台式 PC 硬件能够胜出的一个原因,作为一个通用处理器平台,PC 一直以这样的基本架构应用多年。笔记本电脑是其主要的替代者,但笔记本电脑不能十分灵活地升级硬件,因而往往会被淘汰。另外一个胜出的原因是微软操作系统的主导地位,微软操作系统结合基于英特尔芯片的硬件,为家用、商用和工业计算机提供了一个标准平台。

1.1.2 计算机主板

典型计算机主板的主要特征如图 1.3 所示。系统的核心是微处理器,一种芯片,也叫中央处理单元(CPU)。CPU 控制系统中所有的组件,在它做任何有用的事情之前必须先访问



a) 桌面计算机主板



b) 笔记本电脑主板

图 1.3 计算机主板

内存中相应的程序。在任何时候，被执行的程序模块都要由操作系统和应用软件两者提供，两者会根据需要从硬盘下载到随机存取内存（RAM）中。而程序由一系列机器代码指令（二进制码）组成，CPU 会依照次序执行。

英特尔 CPU 芯片自 20 世纪 80 年代 PC 问世以来经历了持续快速的发展。英特尔处理器属于复杂指令集计算机（CISC）芯片，这意味着它们有相对大量的指令，可以在许多不同方面应用。这使得它们很强大，但与带有较小指令集的处理器的相比，速度较慢，后者属于精简指令集计算机（RISC）芯片，PIC 微控制器芯片就是这类芯片。

CPU 需要内存和输入/输出设备以便读入数据，存储数据，再输出数据。主要的内存模块由 RAM 芯片构成，通常安装在双列直插内存模块（DIMM）上。输入/输出（I/O）接口硬件（如键盘、鼠标、USB 等，最好是无线的）尽可能安装在主板上，但附加的外围接口板可以装在扩展卡插槽里，这样使得主板可以连接额外的磁盘驱动器和其他专用外设，这些外设传统上采用 PCI 总线连接，总线上的并行数据是 32 位宽。

所有这些组件通过一对总线控制器芯片连接在一起，这对芯片处理 CPU 和系统之间并行数据传输。northbridge 提供了 RAM 和图形（屏幕）界面间的快速访问，而它的合作伙伴 southbridge 则处理较慢的外围设备，如磁盘驱动器、网络和 PCI 总线。由框图（见图 1.4）可知主板如何与这些组件相互连接在一起。

如框图 1.4 所示，CPU 通过一组总线连接到外围接口。这组总线是主板上的一组连接线，共同工作从输入端（如键盘）到处理器，从处理器到内存传递数据。当数据被处理和保存后，它还可以送出到外围设备，如显示器。

总线将所有主要的芯片连接在一个系统里，但是，因为总线主要作为共享连接，所以在同一个时间，数据只能从一个外围接口或内存位置接收进去或发送出来。这样的安排是因为，如果主板上的主要芯片

都单独连接，所需要的连线数量巨大，从工程角度来看是不合适的。总线连接的缺点是，减缓了程序执行速度，因为所有数据传输使用同一组总线，在同一个时间只能有一个数据字可以出现在总线上。为弥补这一缺点，总线总是设计得尽可能宽。比如，一个 64 位的总线，工作在 100MHz（ 10^8Hz ），每秒钟可以传输 6.4GB（ 6.4×10^9 位）。目前生产的英特尔 CPU 在一个芯片上使用多个（通常 4 个）64 位内核以提高性能。

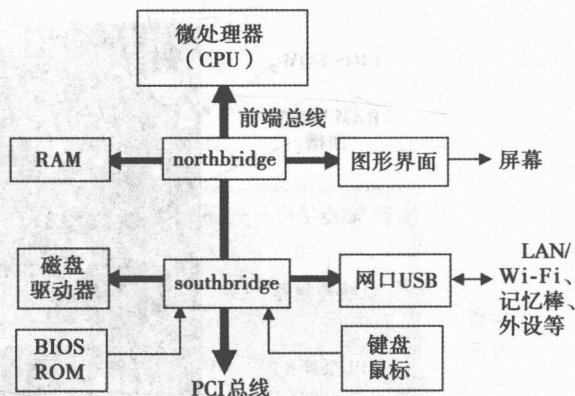


图 1.4 计算机主板框图

1.1.3 PC 存储器

在 PC 系统中有两种主要类型的存储器。主要的内存模块是 RAM，它用来存储从输入端

口送进来的数据和 CPU 处理后的数据。由于访问 RAM 中的数据更快，所以操作系统和应用程序会被从磁盘中复制到 RAM 中来执行。遗憾的是，RAM 存储是易失性的，这意味着当 PC 关机时数据 and 应用程序会丢失，每一次计算机重新启动时必须再次加载数据。

这意味着需要一种只读存储器 (ROM)，它是非易失性的，在计算机重新启动时可以使得系统自动开始工作。基本输入 / 输出系统 (BIOS) ROM 芯片就是这种存储器，其内部包含足够的代码去检查系统硬件，并从磁盘加载主要的操作系统软件，同时里面也包括一些基本的硬件控制例程，这样键盘和显示器可在主系统加载前使用。

硬盘是非易失性、可读写的存储设备，它由表面覆盖有磁性记录材料的金属盘、读 / 写磁头、电动机和控制硬件组成。它可为操作系统、应用程序和用户文件提供大容量的数据存储。应用程序存储在磁盘中，然后根据需要选择加载到内存里。因为磁盘是读写设备，用户文件存储在里面，所以安装应用程序和更新软件变得十分容易。标准硬盘驱动可以保存 1TB (10^{12} 字节) 的数据。

PC 系统变化越来越快，越来越复杂，这个描述很可能已经在某些方面过时。然而，微处理器系统操作与最早建立的数字计算机的基本原理是一样的，这些原理也适用于微控制器，正如我们后面将会看到的一样。

1.2 文字处理器的操作

为了理解 PC 微处理器系统的操作，我们将看看文字处理应用程序如何使用硬件和软件资源。这将帮助我们理解发生在微控制器中的相同基本流程。

1.2.1 启动计算机

当 PC 开机时，RAM 是空的。操作系统、应用软件和用户文件都存储在硬盘上，所以当使用应用程序时，运行文字处理程序所需要的元素必须被转移到 RAM 中，以便能够快速访问。BIOS 引导系统开始工作。它检查硬件是否工作正常，从硬盘加载 (复制) 主操作系统软件 (如 Windows) 到 RAM 中，然后操作系统软件接管工作。正如你可能已经注意到的，这都需要一些时间；这是因为大量的数据需要传输，而访问硬盘驱动器又相对缓慢。

1.2.2 启动应用程序

Windows 显示一个包含图标和菜单的初始屏幕，允许通过单击快捷键选择应用程序。然后 Windows 把这个动作转换为一个操作系统命令，命令运行存储在磁盘上的可执行文件 (如 WINWORD.EXE 等)。应用程序会从磁盘传送到 RAM 中，并配置与其大小相适的可用内存。文字处理过程可在屏幕上显示出来，可以创建一个新的文档文件，或由用户将已存在的文档由从磁盘中加载进来。