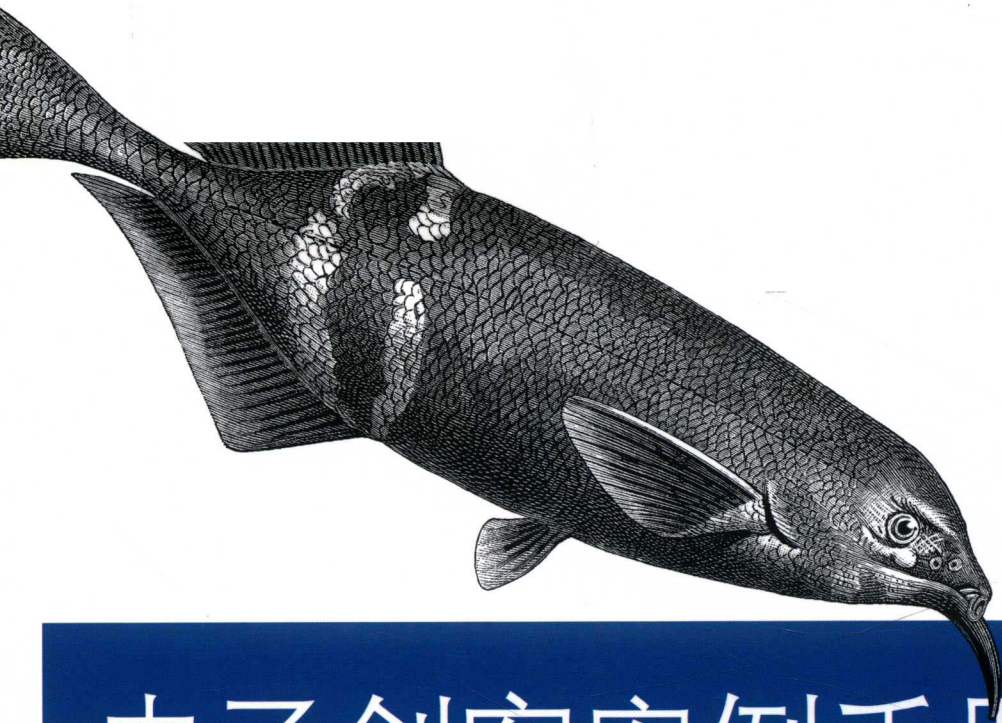


O'REILLY®

嵌入式系统经典丛书



# 电子创客案例手册

Arduino和Raspberry Pi

电子制作实战

Electronics Cookbook:

Practical Electronic Recipes with Arduino and Raspberry Pi

[美] Simon Monk 著

王诚成 孙晶 孙海文 译



清华大学出版社

丛书

# 电子创客案例手册

Arduino 和 Raspberry Pi 电子制作实战

[美] Simon Monk 著

王诚成 孙晶 孙海文 译



清华大学出版社

北京

Simon Monk

Electronics Cookbook: Practical Electronic Recipes with Arduino and Raspberry Pi

EISBN: 978-1-491-95340-2

Copyright © 2017 by O' Reilly Media, Inc.

Simplified Chinese edition, jointly published by O' Reilly Media, Inc. and Tsinghua University Press, 2018. Authorized translation of the English edition, 2017 O' Reilly Media Inc., the owner of all rights to publish and sell the same.

All rights reserved, including the rights of reproduction in whole or in part in any form.

本书之英文原版由 O' Reilly Media Inc. 于 2017 年出版。

本中文简体翻译版由 O' Reilly Media Inc. 授权清华大学出版社于 2018 年出版发行。

版权所有, 未经书面许可, 本书的任何部分和全部不得以任何形式复制。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2017-6588

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

电子创客案例手册 Arduino 和 Raspberry Pi 电子制作实战 / (美) 西蒙·蒙克 (Simon Monk) 著; 王诚成, 孙晶, 孙海文 译. —北京: 清华大学出版社, 2018

(嵌入式系统经典丛书)

书名原文: Electronics Cookbook: Practical Electronic Recipes with Arduino and Raspberry Pi

ISBN 978-7-302-49424-9

I. ①电… II. ①西… ②王… ③孙… ④孙… III. ①电子器件—制作—手册 IV. ①TN-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 015138 号

责任编辑: 王 军 韩宏志

封面设计: Karen Montgomery 张 健

版式设计: 思创景点

责任校对: 曹 阳

责任印制: 李红英

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 邮 编: 100084

社总机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者: 清华大学印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 178mm×233mm 印 张: 24.5 字 数: 465千字

版 次: 2018年4月第1版 印 次: 2018年4月第1次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 79.80元

产品编号: 074687-01

# 译者序

近年来，随着微电子技术的飞速发展，各类小型化硬件系统开发平台如雨后春笋般涌现，Arduino 与 Raspberry Pi 无疑是其中的佼佼者，目前广泛应用于电子产品的开发设计、实验教学等领域，吸引了众多电子爱好者在此基础上进行 DIY 设计与开发。

要使用 Arduino 或 Raspberry Pi 等硬件平台开发电子产品，设计者必须掌握电子工程专业的基础知识。本书列举一系列实用案例，介绍众多经典电子专业书籍中没有涉及的电子技术。主要内容包括基本的电路理论知识、数字电路与模拟电路设计中最常见的电子元器件的相关介绍、元器件与 Arduino 或 Raspberry Pi 等硬件平台相结合的实际应用案例，以及如何构建项目和如何使用测试设备等。通过这些实用的案例，你将深刻理解相关知识，并能运用这些知识解决实际问题。

本书作者 Simon Monk 具有极其丰富的电子设计实践经验，著有 Raspberry Pi Cookbook、Programming Arduino 和 Hacking Electronics 等著名书籍，对于电子产品的设计与开发具有独到的见解。

本书内容全面、案例丰富，面向使用 Arduino 或 Raspberry Pi 等硬件平台进行电子设计的初学者；是大专院校计算机、电子工程、微电子与半导体专业师生，以及硬件系统工程师和数字电路 / 模拟电路设计者的理想参考用书。

本书在翻译与出版过程中，得到了清华大学出版社编辑们的鼎力支持与帮助。他们的工作细致入微，没有他们的正确引导，本书不可能成功付梓，在此表示衷心感谢！本书全部章节由王诚成、孙晶、孙海文翻译，参与本书翻译的还有王鑫、陈青华、董庆超、庞威，

在此一并表示感谢。

译者是原著者与译文读者之间的桥梁和纽带。在翻译过程中，译者本着“诚惶诚恐”的态度，力求达到“信、达、雅”的境界，但鉴于译者水平有限，错误和失误在所难免，如有任何意见和建议，请读者朋友不吝指正。

最后，希望读者通过阅读本书能早日设计出优秀的电子产品，领略理论与实践相结合之美！

# 前言

本书中有关电子学的内容借鉴了备受推崇的 O' Reilly Cookbook 的制作实践，并分为许多案例。这些案例可以提高读者阅读本书的自由程度，遵循这些案例可以学习相关的理论基础知识并解决实际问题。

电子学十分复杂，科目广泛，不可能在一本书中涵盖所有内容，但我尽可能在本书中收录了我与其他电子产品制作者、爱好者和开发者交谈时最常出现的案例。

## 本书读者对象

如果你身处电子行业或者想要进入电子行业，那么本书可以帮助你从爱好中获得更多知识。本书有很多设计和测试案例，无论你的专业知识水准如何，都可以按照案例进行实践和设计。

## 撰写本书的原因

这本书已经构思一段时间了。最初的理念源于 Tim O' Reilly 本人。这个想法就是为了填补 Arduino Cookbook、Raspberry Pi Cookbook 和重量级电子教科书之间的书籍在市场上的空白。

换句话说，本书旨在涵盖经典电子书籍没有涉及的更多电子技术综合实践和通常被忽视的微控制器外围电路使用实践。主要内容包括构造各种类型的电源，使用合适的晶体管进行开关控制，使用模拟和数字电路，构造项目和模型，以及使用测试设备等。

# 当今的电子技术

像 Arduino 和 Raspberry Pi 这样的开发板吸引了新生代的电子产品制作者、业余爱好者和开发者进入电子世界。当前，元器件和工具的成本都很低，而且接触的人比以往任何时候都多。Hackspaces 和 Fab labs 就有使用工具实现个人项目的电子工作站。

详细的设计方案等信息的免费获取，意味着你可以根据自己的需要从别人的案例中学习甚至进行修改。

许多人刚开始将电子产品设计作为一种业余爱好，去接受电子工程的正规教育，或者直接从事产品设计，成为一名开发者和创业者。毕竟，如果你有一台电脑、一些工具和元器件，就可以构建一个工程样机，然后找到一个制造商，所有这些都是众筹的帮助下进行的。进入电子行业的门槛处于历史最低水平。

## 本书内容安排

作为一本创客案例书籍，你可以查阅并使用其中的任何案例，而不是按顺序阅读这本书。如果你参考的案例依赖于其他案例中的一些知识或技能，那么其中会有一个链接指向该先决条件的案例。

这些案例是按章节安排的，第 1 ~ 6 章提供了相对基础的案例，主要是关于不同种类元器件的理论知识（案例的基本材料）。这些章节是：

- 第 1 章：“原理”。该章的案例提供了一些理论上你无法避免的概念，如欧姆定律和能量守恒定律。
- 第 2 章：“电阻”。解释了最常见的电子元器件，并提供了它们的一些用途案例。
- 第 3 章：“电容与电感”。在该章你将找到解释这些元器件如何工作的案例，如何识别它们，以及如何使用它们。
- 第 4 章：“二极管”。在该章中你会找到解释二极管的案例，适用于不同类型的二极管，包括齐纳二极管、光电二极管和发光二极管。
- 第 5 章：“晶体管 and 集成电路”。该章主要包含了使用晶体管的基本案例，以及在不同的环境下使用不同类型的晶体管的指南。引入了集成电路，但是你会发现个别的集成电路案例分散在书的其他章节中。
- 第 6 章：“开关与继电器”。介绍常见但经常被忽略的器件。

下一部分中的章节介绍如何将第一部分中介绍的组件应用于各种各样的案例中，这些案例涵盖了你可能想要设计的电子产品。

- 第 7 章：“电源”。无论你的项目产品是什么，都需要进行供电。可在该章中找到传统电源设计和开关模式电源 (Switched Mode Power Supplies, SMPS) 以及更独特的高压电源的案例。
- 第 8 章：“电池”。该章包含了选择电池的案例，以及用于充电电池 (包括 LiPo 电池) 和自动电池备份的实用电路。
- 第 9 章：“太阳能”。该章提供了使用太阳能板为项目供电的案例，包括为 Arduino 和 Raspberry Pi 提供太阳能。
- 第 10 章：“Arduino 和 Raspberry Pi”。目前，大多数电子产品制作者的项目都使用诸如 Arduino 或 Raspberry Pi 的开发板。案例中引入了这种开发板及其控制外部电路的相关内容。
- 第 11 章：“开关”。章名“开关”是动词，不是名词，该章提供了一些诀窍，告诉你如何使用晶体管、机电式继电器和固态继电器通过 Arduino 或 Raspberry Pi 来开启和关断被控对象。
- 第 12 章：“传感器”。该章提供了使用许多不同类型传感器的案例，包括如何使用 Arduino 和 Raspberry Pi 来控制它们。
- 第 13 章：“电机”。该章提供了使用 Arduino 和 Raspberry Pi 驱动不同类型的电机的案例 (直流、步进和伺服)，并介绍了如何控制电机速度和方向。
- 第 14 章：“LED 和显示器”。除了通过 Arduino 或 Raspberry Pi 控制标准 LED 的案例之外，该章还提供了使用各种类型的发光二极管和各种显示器的使用案例，包括 OLED 图形显示器、可寻址的 LED 条 (NeoPixels) 和 LCD 显示器。
- 第 15 章：“数字集成电路”。该章包含一些数字集成电路的案例，尽管受微控制器出现的影响，但仍在电路设计中广泛使用。
- 第 16 章：“模拟电路”。在该章中，你将找到各种有用的模拟电路设计案例，从简单的滤波器到一系列振荡器和定时器设计。
- 第 17 章：“运算放大器”。属于模拟电路器件，该章提供了直接放大、滤波设计、缓冲和比较器等各种案例。
- 第 18 章：“音频”。该章提供了通过麦克风播放从 Arduino 或 Raspberry Pi 中发出并通过功率放大器 (模拟和数字) 放大的声音信号的案例。
- 第 19 章：“无线电”。该章提供一些关于 FM 发射器和接收器的有趣案例，比如怎样完成从一个 Arduino 到另一个 Arduino 的数据发送。

本书的最后一部分包含构建和使用工具的方法。

- 第 20 章：“构建”。该章提供了构建“无焊”原型和将其变为更持久焊接形式的案例。该章还提供了下直插和贴片元件焊接的案例。
- 第 21 章：“工具”。包括台式电源、万用表、示波器以及虚拟仪器的使用，都在这一章案例中进行描述。

附录列出了书中使用的所有部件及有帮助的供应商，并提供了包括 Arduino 和 Raspberry Pi 在内的器件引脚说明。

## 网络资源

对于电子发烧友来说，有许多很好的资源可用。

如果你正在寻找项目创意，那么像 Hackaday 和 Instructables 这样的网站是很好的灵感来源。

当你想要寻求项目帮助时，你经常期望得到很多经验丰富的、有知识的人的建议，而这些人会在下面的论坛上发表意见。记住在提问之前先搜索一下论坛，以防这个问题之前已经存在（通常是这样）并能清晰地解释你的疑问，否则“专家”会对你不耐烦。

- <http://forum.arduino.cc>
- <https://www.raspberrypi.org/forums>
- <http://www.eevblog.com/forum>
- <http://electronics.stackexchange.com>

## 本书中的约定

本书使用以下排版约定。

### 斜体

表示新的术语、网站链接、电子邮件地址、文件名和文件扩展名。

### 等宽字体

用于程序清单。



该图标表示提示或建议



该图标表示警告或注意

## 使用代码示例

可通过 [https://github.com/simonmonk/electronics\\_cookbook](https://github.com/simonmonk/electronics_cookbook) 下载本书的辅助材料(代码示例、练习等)。另外,也可扫描封底二维码来下载。

本书旨在帮助你完成工作。一般来说,本书案例中的代码可以在你的程序和文档中直接使用。除非复制大量代码,否则你不需要与我们联系。例如,编写一个从本书中使用了几段代码的程序不需要得到许可。出售或分销 O'Reilly 图书案例的 CD-ROM 是需要许可的。通过引用本书和引用示例代码来回答某个问题并不需要得到许可,但从本书中将大量示例代码复制到你的产品的文档中需要得到许可。

版权所有说明,通常包括标题、作者、出版商和 ISBN。例如,“Electronics Cookbook by Simon Monk (O'Reilly).Copyright 2017, 978-1-491-95340-2.”

如果你觉得你使用的代码示例超出了合理使用或许可的权限,请发送邮件与我们联系:

[permissions@oreilly.com](mailto:permissions@oreilly.com)。

## 致谢

感谢 Duncan Amos、David Whale 和 Mike Bassett,感谢他们对这本书的技术评论,以及他们提供的许多有用的建议,使这本书的质量更上一层楼。

我还想感谢 Afroman 许可本书使用了他很棒的 FM 发射器设计;以及 Digi-Key 电子公司的朋友们完成了部分代码方面的帮助。

与 O'Reilly 的专业人员一起工作是一件很愉快的事情,尤其是 Jeff Bleiel、Heather Scherer 和 Brian Jepson。

# 目 录

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>第 1 章 原理</b> ..... | <b>1</b>  |
| 1.0 引言 .....          | 1         |
| 1.1 电流的物理意义 .....     | 1         |
| 1.2 电压的物理意义 .....     | 2         |
| 1.3 电压、电流、电阻的计算 ..... | 3         |
| 1.4 电路中节点电流的计算 .....  | 5         |
| 1.5 电路中支路电压的计算 .....  | 6         |
| 1.6 功率的物理意义 .....     | 7         |
| 1.7 交流电 .....         | 7         |
| <b>第 2 章 电阻</b> ..... | <b>11</b> |
| 2.0 引言 .....          | 11        |
| 2.1 阅读电阻封装 .....      | 11        |
| 2.2 查找电阻标称值 .....     | 13        |
| 2.3 选择可变电阻 .....      | 14        |
| 2.4 串联电阻 .....        | 15        |
| 2.5 并联电阻 .....        | 16        |
| 2.6 分压至可测范围 .....     | 18        |
| 2.7 电阻的合理选择 .....     | 19        |
| 2.8 光敏电阻的测量 .....     | 20        |
| 2.9 热敏电阻的测量 .....     | 21        |
| 2.10 选择合理的导线 .....    | 22        |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>第 3 章 电容与电感</b> .....        | <b>27</b> |
| 3.0 引言 .....                    | 27        |
| 3.1 储能器件 .....                  | 27        |
| 3.2 识别电容类型 .....                | 31        |
| 3.3 阅读电容封装 .....                | 32        |
| 3.4 并联电容 .....                  | 33        |
| 3.5 串联电容 .....                  | 34        |
| 3.6 大能量的储存 .....                | 34        |
| 3.7 计算电容中的储能 .....              | 35        |
| 3.8 电流大小的缓冲和方向的改变 .....         | 36        |
| 3.9 变换交流电电压 .....               | 37        |
| <b>第 4 章 二极管</b> .....          | <b>41</b> |
| 4.0 引言 .....                    | 41        |
| 4.1 电流的单向导通性 .....              | 41        |
| 4.2 识别二极管类型 .....               | 43        |
| 4.3 齐纳二极管 .....                 | 44        |
| 4.4 发光二极管 .....                 | 46        |
| 4.5 检测光 .....                   | 47        |
| <b>第 5 章 晶体管 and 集成电路</b> ..... | <b>49</b> |
| 5.0 引言 .....                    | 49        |
| 5.1 放大电流 .....                  | 50        |
| 5.2 用小电流控制开关电流 .....            | 53        |
| 5.3 有效开关高电流负载 .....             | 54        |
| 5.4 超高压开关 .....                 | 56        |
| 5.5 选择正确的晶体管 .....              | 57        |
| 5.6 交流电流开关 .....                | 59        |
| 5.7 使用晶体管测量光强 .....             | 60        |
| 5.8 光电耦合隔离器 .....               | 61        |
| 5.9 认识集成电路 .....                | 63        |
| <b>第 6 章 开关与继电器</b> .....       | <b>65</b> |
| 6.0 引言 .....                    | 65        |
| 6.1 机电开关 .....                  | 65        |
| 6.2 识别开关的类型 .....               | 66        |
| 6.3 磁力开关 .....                  | 69        |
| 6.4 重识继电器 .....                 | 69        |
| <b>第 7 章 电源</b> .....           | <b>71</b> |
| 7.0 引言 .....                    | 71        |
| 7.1 交流转交流 .....                 | 71        |

|               |                               |            |
|---------------|-------------------------------|------------|
| 7.2           | 将交流转换为直流(简易)                  | 73         |
| 7.3           | 纹波较小的交流转直流                    | 74         |
| 7.4           | 交流转稳压直流                       | 76         |
| 7.5           | 交流转可变直流                       | 78         |
| 7.6           | 电池的稳压输出                       | 79         |
| 7.7           | 制作恒流电源                        | 80         |
| 7.8           | 高效调节直流电压                      | 81         |
| 7.9           | 直流低压转直流高压                     | 82         |
| 7.10          | DC/AC 转换                      | 83         |
| 7.11          | 110V 或 220V 交流供电              | 85         |
| 7.12          | 倍增电压                          | 87         |
| 7.13          | 450V 高压供电                     | 88         |
| 7.14          | 更高电压(>1kV) 供电                 | 90         |
| 7.15          | 超高压供电(固态特斯拉线圈)                | 91         |
| 7.16          | 熔断保险丝                         | 93         |
| 7.17          | 极性保护                          | 94         |
| <b>第 8 章</b>  | <b>电池</b>                     | <b>97</b>  |
| 8.0           | 引言                            | 97         |
| 8.1           | 估算电池寿命                        | 97         |
| 8.2           | 选择不可充电电池                      | 99         |
| 8.3           | 选择可充电电池                       | 100        |
| 8.4           | 涓流充电                          | 101        |
| 8.5           | 自动备用电池                        | 103        |
| 8.6           | 锂聚合物电池充电                      | 104        |
| 8.7           | 用“焦耳小偷”获得所有电量                 | 105        |
| <b>第 9 章</b>  | <b>太阳能</b>                    | <b>109</b> |
| 9.0           | 引言                            | 109        |
| 9.1           | 太阳能供电                         | 109        |
| 9.2           | 太阳能电池板的选择                     | 111        |
| 9.3           | 测量太阳能电池板的实际输出功率               | 113        |
| 9.4           | 太阳能驱动 Arduino                 | 115        |
| 9.5           | 太阳能驱动 Raspberry Pi            | 117        |
| <b>第 10 章</b> | <b>Arduino 和 Raspberry Pi</b> | <b>119</b> |
| 10.0          | 引言                            | 119        |
| 10.1          | Arduino 简介                    | 119        |
| 10.2          | 下载与使用本书的 Arduino 例程           | 122        |
| 10.3          | Raspberry Pi 简介               | 123        |
| 10.4          | 下载与使用 Python 例程               | 125        |

|               |                                |            |
|---------------|--------------------------------|------------|
| 10.5          | Raspberry Pi 启动时运行程序           | 126        |
| 10.6          | 探索 Arduino 和 Raspberry Pi 的替代品 | 126        |
| 10.7          | 端口设置                           | 128        |
| 10.8          | Arduino 数字输出控制操作               | 131        |
| 10.9          | Raspberry Pi 数字输出控制操作          | 132        |
| 10.10         | Arduino 数字输入控制操作               | 133        |
| 10.11         | Raspberry Pi 数字输入控制操作          | 136        |
| 10.12         | Arduino 的模拟输入读取操作              | 137        |
| 10.13         | Arduino 的模拟输出生成操作              | 138        |
| 10.14         | Raspberry Pi 的模拟输出生成操作         | 141        |
| 10.15         | Raspberry Pi 的 I2C 总线设置        | 143        |
| 10.16         | Raspberry Pi 的 SPI 总线设置        | 145        |
| 10.17         | 电压转换                           | 146        |
| <b>第 11 章</b> | <b>开关</b>                      | <b>149</b> |
| 11.0          | 引言                             | 149        |
| 11.1          | Pi 或 Arduino 的功率驱动电路           | 149        |
| 11.2          | 高端功率驱动电路                       | 151        |
| 11.3          | 大功率驱动电路                        | 153        |
| 11.4          | 高端驱动的大功率驱动电路                   | 155        |
| 11.5          | BJT 和 MOSFET 的选择               | 156        |
| 11.6          | 使用 Arduino 驱动负载                | 157        |
| 11.7          | Raspberry Pi 驱动负载              | 160        |
| 11.8          | 可翻转驱动电路                        | 162        |
| 11.9          | GPIO 控制继电器                     | 163        |
| 11.10         | GPIO 控制固态继电器                   | 165        |
| 11.11         | 集电极开路输出的连接                     | 166        |
| <b>第 12 章</b> | <b>传感器</b>                     | <b>169</b> |
| 12.0          | 引言                             | 169        |
| 12.1          | 将开关连接到 Arduino 或 Raspberry Pi  | 169        |
| 12.2          | 检测旋转位置                         | 174        |
| 12.3          | 检测来自电阻式传感器的模拟输入                | 178        |
| 12.4          | 将模拟输入加载到 Raspberry Pi          | 180        |
| 12.5          | 不用 ADC 将电阻式传感器连接到 Raspberry Pi | 181        |
| 12.6          | 测量光强度                          | 182        |
| 12.7          | 用 Arduino 或 Raspberry Pi 测量温度  | 183        |
| 12.8          | 使用不带 ADC 的 Raspberry Pi 测量温度   | 185        |
| 12.9          | 使用电位器测量旋转位置                    | 186        |
| 12.10         | 用模拟芯片测量温度                      | 188        |

|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 12.11         | 用数字芯片测量温度 .....          | 190        |
| 12.12         | 测量湿度 .....               | 193        |
| 12.13         | 测量距离 .....               | 195        |
| <b>第 13 章</b> | <b>电机 .....</b>          | <b>199</b> |
| 13.0          | 引言 .....                 | 199        |
| 13.1          | 直流电机的驱动 .....            | 199        |
| 13.2          | 测量直流电机的转速 .....          | 200        |
| 13.3          | 控制直流电机的方向 .....          | 202        |
| 13.4          | 将电机设置到精确位置 .....         | 206        |
| 13.5          | 使电机按精确的步数转动 .....        | 210        |
| 13.6          | 选择更简易步进电机 .....          | 215        |
| <b>第 14 章</b> | <b>LED 和显示器 .....</b>    | <b>219</b> |
| 14.0          | 引言 .....                 | 219        |
| 14.1          | 驱动普通 LED .....           | 219        |
| 14.2          | 驱动大功率 LED .....          | 221        |
| 14.3          | 驱动多个 LED .....           | 224        |
| 14.4          | 同时开关多个 LED .....         | 225        |
| 14.5          | 7 段数码管显示 .....           | 225        |
| 14.6          | 控制多个 LED .....           | 228        |
| 14.7          | 改变 RGB LED 的颜色 .....     | 232        |
| 14.8          | 连接到可寻址 LED 条 .....       | 236        |
| 14.9          | 使用 I2C 7 段 LED 显示 .....  | 239        |
| 14.10         | 在 OLED 显示屏上显示图形或文字 ..... | 241        |
| 14.11         | 使用字母、数字 LCD 显示文本 .....   | 243        |
| <b>第 15 章</b> | <b>数字集成电路 .....</b>      | <b>247</b> |
| 15.0          | 引言 .....                 | 247        |
| 15.1          | 保护集成电路免受电气噪声的影响 .....    | 247        |
| 15.2          | 组合逻辑器件认知 .....           | 248        |
| 15.3          | GPIO 的扩展 .....           | 249        |
| 15.4          | 构建逻辑门电路 .....            | 253        |
| 15.5          | 数字分频器 .....              | 254        |
| 15.6          | 连接十进制计数器 .....           | 255        |
| <b>第 16 章</b> | <b>模拟电路 .....</b>        | <b>259</b> |
| 16.0          | 引言 .....                 | 259        |
| 16.1          | 滤除高频 ( 简易 ) .....        | 259        |
| 16.2          | 构建一个振荡器 .....            | 262        |
| 16.3          | 连续的闪烁 LED .....          | 263        |
| 16.4          | 避免从输入到输出的降压 .....        | 264        |

|               |                               |            |
|---------------|-------------------------------|------------|
| 16.5          | 构建低成本振荡器                      | 266        |
| 16.6          | 构建可变占空比振荡器                    | 267        |
| 16.7          | 制作单次定时器                       | 269        |
| 16.8          | 控制电机转速                        | 270        |
| 16.9          | 对模拟信号进行 PWM                   | 272        |
| 16.10         | 制作压控振荡器                       | 274        |
| 16.11         | 理解分贝测量                        | 275        |
| <b>第 17 章</b> | <b>运算放大器</b>                  | <b>279</b> |
| 17.0          | 引言                            | 279        |
| 17.1          | 选择运算放大器                       | 280        |
| 17.2          | 运算放大器的供电(分支供电)                | 282        |
| 17.3          | 运算放大器的供电(单电源)                 | 283        |
| 17.4          | 制作反相放大器                       | 283        |
| 17.5          | 制作同相放大器                       | 285        |
| 17.6          | 信号缓冲                          | 286        |
| 17.7          | 降低高频振幅                        | 288        |
| 17.8          | 滤除低频                          | 291        |
| 17.9          | 滤除高、低频                        | 292        |
| 17.10         | 比较两个电压                        | 294        |
| <b>第 18 章</b> | <b>音频</b>                     | <b>297</b> |
| 18.0          | 引言                            | 297        |
| 18.1          | 在 Arduino 上播放声音               | 298        |
| 18.2          | 用 Raspberry Pi 播放声音           | 300        |
| 18.3          | 驻极体麦克风的使用                     | 301        |
| 18.4          | 制作一个 1W 的功率放大器                | 304        |
| 18.5          | 制作一个 10W 的功率放大器               | 306        |
| <b>第 19 章</b> | <b>无线电</b>                    | <b>309</b> |
| 19.0          | 引言                            | 309        |
| 19.1          | 制作 FM 收音机发射机                  | 313        |
| 19.2          | 使用 Raspberry Pi 设计一个软件 FM 发射机 | 314        |
| 19.3          | 制作一个基于 Arduino 控制的 FM 收音机     | 315        |
| 19.4          | 通过无线电发送数字数据                   | 317        |
| <b>第 20 章</b> | <b>构建</b>                     | <b>321</b> |
| 20.0          | 引言                            | 321        |
| 20.1          | 创建临时电路                        | 321        |
| 20.2          | 创建永久性电路                       | 326        |
| 20.3          | 自制电路板                         | 329        |
| 20.4          | 探究通孔焊接                        | 331        |

|               |                              |            |
|---------------|------------------------------|------------|
| 20.5          | 探究表贴焊接 .....                 | 332        |
| 20.6          | 元器件脱焊 .....                  | 336        |
| 20.7          | 不破坏元器件的焊接 .....              | 337        |
| <b>第 21 章</b> | <b>工具 .....</b>              | <b>339</b> |
| 21.0          | 引言 .....                     | 339        |
| 21.1          | 使用实验室电源 .....                | 339        |
| 21.2          | 测量直流电压 .....                 | 340        |
| 21.3          | 测量交流电压 .....                 | 342        |
| 21.4          | 测量电流 .....                   | 342        |
| 21.5          | 测量导通性 .....                  | 343        |
| 21.6          | 测量电阻、电容、电感 .....             | 344        |
| 21.7          | 放电电容 .....                   | 345        |
| 21.8          | 测量高电压 .....                  | 346        |
| 21.9          | 使用示波器 .....                  | 349        |
| 21.10         | 使用函数生成器 .....                | 350        |
| 21.11         | 仿真 .....                     | 352        |
| 21.12         | 安全用电 .....                   | 354        |
| <b>附录 A</b>   | <b>零部件与供应商 .....</b>         | <b>357</b> |
| <b>附录 B</b>   | <b>Arduino 引脚 .....</b>      | <b>367</b> |
| <b>附录 C</b>   | <b>Raspberry Pi 引脚 .....</b> | <b>369</b> |
| <b>附录 D</b>   | <b>单位与单位前缀 .....</b>         | <b>371</b> |
|               | <b>后记 .....</b>              | <b>373</b> |