

爱上机器人

Robot:
making on your time

Apress®

机器人制作

晋级攻略

[美]David Cook 著
宫广骅 译

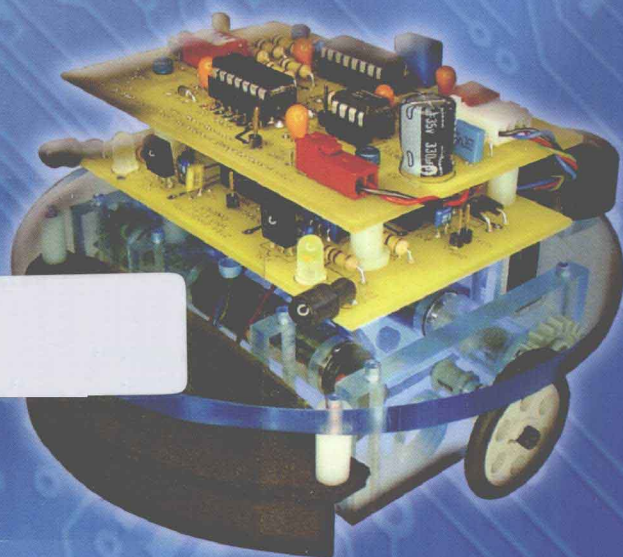
Intermediate Robot Building (Second Edition)



《爱上机器人——机器人制作晋级攻略》是《爱上机器人——机器人制作入门攻略》的进阶版，本书可以助你将机器人制作的水平提升到更高阶段。



想制作一个自动躲避障碍的机器人吗？想设计一个无需遥控的对战机器人吗？通过这本书中一步步的指导，你很快就能学会制作它们的方法。



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

爱上机器人

Robot:
making on your time

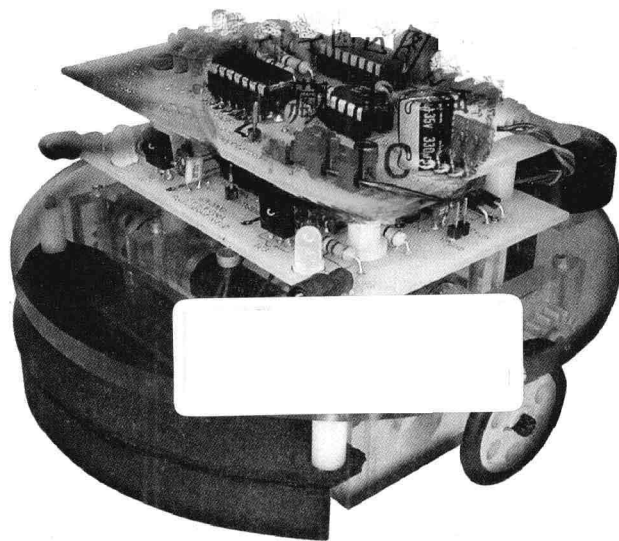
Apress®

机器人制作

晋级攻略

Intermediate Robot Building (Second Edition)

[美] David Cook 著
宫广骅 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

机器人制作晋级攻略 / (美) 库克 (Cook, D.) 著 ;
宫广骅译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013. 4
(爱上机器人)
ISBN 978-7-115-31003-3

I. ①机… II. ①库… ②宫… III. ①机器人—制作
IV. ①TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第025071号

版权声明

Intermediate Robot Building (2nd Edition) By David Cook, ISBN: 978-1-4302-2754-0. Original English language edition published by Apress Media. Copyright 2010 by Apress Media. Simplified Chinese-language edition copyright©2013 by Post & Telecom Press all right reserved.

内 容 提 要

《爱上机器人—机器人制作晋级攻略》是《爱上机器人—机器人制作入门攻略》的进阶手册, 主要面向对机器人制作专业知识有一定了解的读者, 主要介绍以模块的形式制作机器人的方法, 在本书各个制作环节的过程中, 你还可以学到机械制造、电子、微型控制器等方面的知识。

爱上机器人

机器人制作晋级攻略

-
- ◆ 著 [美] David Cook
 - ◆ 译 宫广骅
 - 责任编辑 宁 茜
 - 执行编辑 马 涵
 - ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 25.5
字数: 561 千字 2013 年 4 月第 1 版
印数: 1-4 000 册 2013 年 4 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2012-5775 号

ISBN 978-7-115-31003-3

定价: 79.00 元

读者服务热线: (010)67132837 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

本书谨致以留心观察生活中身边的事物，并且致力于探索其潜在价值的人们。

致谢

一位作者在写一本书的时候，所需要的支持是非常大的。想象一下当我们写一个博客或者一篇论文的时候，所需要的支持力度是怎么样的。然后把这样的支持乘以数百倍就是写一本书时的支持量。

负责本书英文版的是 Apress 出版社的一个出色的团队，这个团队同样为《爱上机器人——机器人制作入门攻略》一书的英文版进行了编辑工作。

- Ralph Moore 为我修正了之前书写不甚规范的拼写和语法错误。
- April Milne 和 Jerry Votta 杰出的艺术和设计能力使得本书的图表更加具有吸引力且更加易读，无论是在印制页上阅读还是在电子设备上阅读本书都能达到同样的效果。
- Steve Anglin（助理编辑主任）和 Jim Markham（协调编辑）让这本书能够顺利出版。对于一位作者来说，在工作、家庭生活和不可预料的事情当中，拖延书稿和出版是经常发生的，但是 Jim 和 Steve 明白要创建一个好的产品需要耐心和鼓励以及细心的平衡，而这些对于出版物在一个合理的时间范围内得以完成是非常必要的。

谢谢大家！

感谢技术编辑

几乎没有作者有足够好的运气能够遇到他们可以足够信任来彻底通读草稿、发现错误并且提出改进意见的技术编辑。对于这本书来说，我很幸运能够遇到三位非常出色的技术编辑：Tom Gavin（第一版）、Don Kerste 和 Scott Preston。

在工作中得到的支持

这一段话完全是为了让我的好朋友和老板 Stacey Kacek 能够得到一个本书的副本。我会把这一页打开，然后对她说：“看，Stacey！这里有你的名字。”今年，我比人生以往任何时候都深切地认识到我能够在 SmartSingal 这个优秀的地方工作是多么的幸运，在这里，周围都是令我尊敬和关心的人，如 Trung Le、Jon Kishkunas、Nasser Amer、Tom Zehner、Bob Daley 以及整个研发团队。另一个“Tom”在几年前离开了软件开发行业，这样他就能追求更高的能够为他人治病的称号——祝你好运，O'Toole！

在业界得到的支持

在业余机器人这一领域，有几位爱好者需要在这里特别提一下。首先是 Cheryl 和 Dave Hrynkiw。我认为在机器人这一领域，他们所做的工作超过其他所有的研究所和作者加起来的工作量。他们已经将廉价有趣的项目在公众中推广开来。通过他们的公司 Solarbotics，他们引进了独

特的部件（齿轮电动机、太阳能电池等），并且使得这些部件有一个稳定的供货源，而不是像以前机器人的制造者们靠零星的部件供应救济得以开展工作。Dave 偶尔会去北美洲考察机器人的项目，并且会进行授课。我很好奇他的工作究竟可以接触到多少处于刚刚起步阶段的制造者呢？

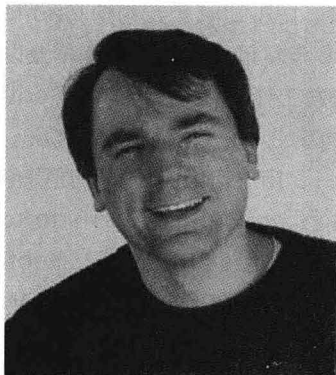
在业余机器人领域，一些其他值得一提的爱好者包括 Jake Mendelssohn、Pete Miles、Dale Heatherington、Jim Frye、Roger Arrick、Dave Lavery、Gordon McComb、Mark Tilden 和 Bill Harrison。我有机会能够和这些人中的一些进行交流，但是对这其中的很多人，我仅仅是远远地景仰他们，并且从他们的工作中有所受益。由于这些人中只有一小部分因他们对于公众的贡献而得到酬劳，所以我觉得在这里他们有必要再被提及，以被大家进一步承认。

家人给予我的支持

制作机器人是一项非常昂贵的爱好。正如任何一位机器人制造者所知，你需要一种非常具有同情心的态度去忽略价值上千美元或者上万美元（1 美元约为 6.3 元人民币）的机器人部件和工具。

我想要感谢家人所作出的牺牲，特别是我的妻子瑞秋。她带着孩子们（James、Sam）去公园、图书馆和郊区朋友的别墅中游玩，目的是在周末为我提供一个安静的工作环境来完成此书。当我细致地解释清楚每一个“神奇的”新发现时，她会致以非常迷人的微笑和点头。她接受了地下室的磨粉机，还有用来加工的数卡车的塑料和金属。亲爱的，我爱你。

关于作者

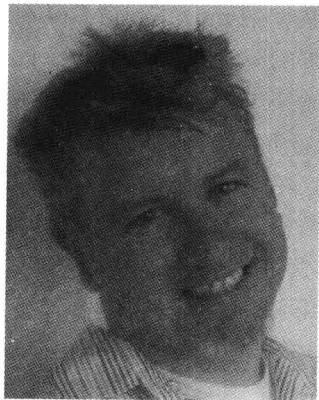


David Cook 开办了一个人气很高的网站 www.RobotRoom.com，他和各位读者分享其制作机器人的经验已有十余年的时间。他的两本书均由 Apress 出版。和其他的狂热爱好者一样，David 的灵感来源于美国宇航局登陆火星的旅行者计划。

在白天的时候，David 的工作是软件开发。他的职业生涯是从为早期苹果公司的麦金托什计算机编写了一些获得奖项的计算机游戏开始的。接下来，他创建并且运营了摩托罗拉公司为警官、急救医师和消防员研发的公共安全应用程序。

目前，David 在 SmartSignal 公司做开发经理。SmartSignal 公司生产的是预测分析软件，这款软件可以侦听分布于全球的很多发电厂中的感应器。这款应用程序能够在问题发生之前预警发电厂的工作人员。通过这款软件，David 和整个 SmartSignal 的团队防止了停电事故的发生，降低了发电厂的运营成本，同时提高了他们的工作效率（这对环境是很有好处的）。

关于技术审阅者



Scott Preston 和他的妻子 Emily、女儿 Lilu 和宠物狗 Castle 居住在美国俄亥俄州的哥伦布市。1996 年从俄亥俄州立大学毕业以来，Scott 一直从事网络应用程序的研发工作。在 2006 年，Scott 辞去了顾问的工作，开始专注于自己的事业——佩里斯顿研究所。Scott 同时也是 Java 社区、俄亥俄 Java 用户组织的成员，是哥伦布机器人协会的创建者。他的第一本书《The Definitive Guide to Building Java Robots》在 2005 年由 Apress 出版发行。Scott 与他人合著的《Real-World-Ajax》一书在 2006 年由 SYSCON Media 出版发行。Scott 继续在他的地下室里面建造更加先进的机器人，而且他会在 www.scottsbots.com 这一网站上发表作品介绍，与大家进行互动讨论。

引言

机器人制作者们，大家好！

数年以来，我制作出了很多自制的机器人（这其中有一些只有制作者才会喜欢）。但是，在每一代后继的机器人中，我试图通过试验新技术、新特点或者新部件（每时每刻都在心中思考这些事情，这是一项非常令人享受的爱好）来逐渐延伸我在电子学、机械学、机械制造、软件和艺术方面的知识。

在极少的情况下，我最新的机器人会完全由新技术制造而成。相反的是，每一个机器人都是在技术上向前迈进一小步，它会从一系列经过反复调试而制成的模块中进行一点小小的改进。用一种独立而完备的方式来说，本书通过追踪一款单一机器人的发展阶段来跟踪这一潮流，这种机器人叫作迂回式机器人，从毫无目的的建模直到技术至善至美。

我的方法是深入探索研究一个特定的部件或者物体，而不是粗浅地研究整个设计方案的表面。这种专注于模块和部件的方法使得你可以由需要的部件制造出你的具有个性化的机器人，而非总是一模一样地复制我已经做出的机器人。

现在，我邀请你进入我的实验室（一直走过客厅，在厨房处左转），我们可以就机器人的制作秘籍这一话题进行友好的交流。

本书预期的读者

本书预期的读者为专业知识水平较高的青少年。我们非常鼓励全家都动员起来进行机器人的制作。大人对于小孩子的监督总是必要的，因为有时候只有技巧娴熟的成年人才会成功完成机器人制作的一些任务。

使用本书的前提条件

本书的读者应该具备电子学和软件开发的基本知识。在本书中通篇都是机器人的不同模块和版本。所有的读者都应该能够制造出第一版的迂回式机器人（在本书的第13章中有详细介绍）。最后，你在获得实践的知识和进一步增强技能的同时，制造更先进版本的机器人就会成为可能。

阅读本书所需的电子学和机械知识

本书的读者必须对以下的知识非常熟悉。

- 到哪里能够买到电子和材料方面的部件，例如，从零售店、邮件订单和互联网上买到相应部件。
- 安全规定（在引言的后面部分会有总结）。
- 计量单位的前缀，特别是兆、千、毫、微、纳和皮，以及与它们有关的缩写和符号。
- 用万用表测试直流电压、直流电流、电阻、二极管和晶体管。

- 电压和电流的区别。
- 常用工具，例如，剥线器、剪线钳、针鼻钳、螺丝刀、起皱工具和拧电路分接头的工具。
- 电气工具，例如，变速旋转工具（Dremel® <http://www.dremel.com/>），电钻和钻床。
- 砂纸、胶水、颜料和老虎钳。
- 跳线、测试线、布线和面包板。
- 市售电池（特别是 9V 电池）。
- 开关、电阻、电位计和光电阻。
- 发光二极管和二极管。
- 基本的双极型（NPN 型 / PNP 型）晶体管。
- 普通的双线直流齿轮电动机（永磁体的电刷）。
- 阅读简单的原理图和布线图。
- 焊接和焊接设备，例如焊接线、烙铁、助熔剂、海绵、助握器和解焊灯泡。
- 起皱连接头和热缩管。
- 螺丝刀、螺母、垫圈和垫片。

在《爱上机器人——机器人制作入门攻略》一书中详细介绍了前面列出的各个物品。我特别推荐你们去购买我的第一本书，或者至少仔细地图书馆阅读一下。本书假定你已具备初学者一书中给出的相关知识。

本书的通篇都在进行对于三明治式芯片机器人的大量比较。三明治式机器人是在《爱上机器人——机器人制作入门攻略》一书中介绍的能沿着直线前进的机器人。在网上可以找到三明治式机器人的详细介绍、图片和视频，网址为 <http://www.robotroom.com/Sandwich.html>（注意大小写）。所以你不必跑出去买第一本书就能够理解三明治式芯片机器人的相应参考资料了。

阅读本书所需的软件开发知识

本书的读者应该非常精通个人计算机以及软件编程。本书中介绍的更为高级的机器人使用了大量的微控制器，这样就无需提供一步一步的编程指令。因此，要么你必须了解如何编写程序并且运用一款你所选择的微控制器，你必须购买在本书的专题中介绍的一款预编程的版本，要么你必须准备好获取与本书内容独立的必要微控制器编程指导。

虽然对于软件部分的所需知识是很重要的，但是这并不妨碍本书仍然专注于机器人这一领域。对于计算机和软件开发来说，有大量的学习材料可供选择。至于微控制器，有很多书籍，也包括其他可以直接从微控制器生产商那里得到的资料和工具。换句话说，如果我在本书中写了足够多关于微控制器的内容，那么这就是一本关于微控制器的书，而不是一本关于机器人的书了。

这本书试图不偏向任何一种操作系统、程序设计语言和微控制器类型。我个人使用 Atmel AVR 8 位微控制器 <http://www.Atmel.com/>，在 ImageCraft ICCV7 编译器 <http://www.imagecraft.com> 环境中采用 C 语言进行软件开发。然而，很多系列的微控制器以及嵌入式开发者

的忠诚稳固程度使得所有的例程均独立于器件的算法成为必要。也就是说，你可使用你喜欢的任何一台计算机，任何一种程序设计语言或者是芯片器件来开展工作。

最好还要有机器人制造的经验

因为本书探究的是有趣的部件、特点和算法，所以如果你已经在这一领域有一定的经验，并且自信已经做出过至少一款简单的机器人会更好。制作出在《爱上机器人——机器人制作入门攻略》一书中介绍的沿直线行进的三明治式芯片机器人就是个很不错的开端。同时，也有很多有趣的机器人工具包，例如 Parallax 公司的 Penguin 系列、Scribber 系列、Boe-Bot 系列 <http://www.parallax.com/> 或者 Mark III 系列 <http://www.junun.org/MarkIII/Store.jsp>

如果你对自己说：“是的，我成功地制造出一款简单的机器人。现在我想制造出一款更好的机器人，或者从头开始制造一款机器人。”那么这本书就是为你而写的。

LEGO 的心灵风暴系列会对你更有用吗？

如果你年纪比较小，同时在金钱的预算方面不是特别充足，空闲时间也少到可以忽略不计，或者甚至根本没有碰过电钻和烙铁，那么我极力推荐你从 LEGO® 公司的心灵风暴系列™（<http://mindstorms.lego.com/>）开始做起。LEGO 机器人工具包是非常友好的，而且会让你很快地制造出机器人。我手工制造的机器人在足够多的比赛中输给了史蒂夫·海森普拉格为我做的 LEGO 系列机器人，因为 LEGO 工具包在高级制造者手中能够发挥出更出色的性能。

BEAM 系列机器人会对你更有用吗？

另外一个很流行的机器人分支是基于完全不对机器人进行编程而发展的。BEAM 系列的机器人通常电路结构很简单，产生的行为却很复杂。大多数，但不是全部的 BEAM 系列机器人是太阳能驱动的。大多数，但不是全部的 BEAM 系列机器人是很小的，外形非常像昆虫。你可以在一个周末的时间里，以最小的花费很轻松地制造出一款有趣的 BEAM 系列机器人，同时还无需使用微控制器。

花几分钟（或者几个小时，乃至几天）浏览一下 <http://www.solarbotics.com/> 和 <http://www.solarbotics.net/> 来体验一下 BEAM 系列机器人的世界。Solarbotics 也有许多家中使用的非 BEAM 系列部件的存货。

如果你想制造一款 BEAM 系列的机器人，那么我极力推荐你阅读由戴夫·海林基夫和马克·H·蒂尔顿编著的《Jankbots, Bugbots & Bots》（均为机器人系列名称）一书（McGraw-Hill/Osborne, 2002 年出版）。事实上，即使你已经决定不想制造一款 BEAM 系列的机器人，你都

可以阅读这本书。这本书非常棒。

本书不会介绍远程控制的世纪大决战

这本书不是关于毁灭性机器人或者远程控制机器人的。与此正相反，这本书关注的是午餐盒大小的自动（自动控制）机器人，而且特别强调其半智能性的行为。然而，如果你愿意的话，你也可以将在这本书中给出的模块和秘籍用于机械怪兽身上，使其能够在它们的同类中脱颖而出。

本书的悬浮栏

只要有可能，我都会在书中介绍所提到的工具和部件，同时也会列出零售商、部件编号和大致价格的列表。本书不会偏向于任何一个特定的供货商或者部件。

价格是以美元为单位给出的。始终记得价格是会上下浮动的，而且当本书出版之后，可能这些部件编号在市场上面就已买不到了。

安全规定

不要搞混这些规定。

● 机器人的制造包括了电气电源、电源工具、点燃器件电源和化学品的使用。这其中任何一样都会使你致残或者致死。一定，一定，一定要仔细阅读并且遵守生产商的指导和实验室 / 机械车间的规定。由于我的指导是宽泛的，所以如果生产商的特定指导与我的指导相冲突，那么以他们的指导为准。

- 任何时候，成年人都必须监督小孩子的行为。
- 当工具或者部件不用的时候，把它们锁起来。
- 阅读并且保留产品的标签和材料安全数据手册（MSDS, Material Safety Data Sheets）。
- 佩戴安全护目镜。
- 穿着靴子和长裤，小心长袖衣物（如舞厅的礼服），因为袖子可能会卷入电机，或者碰到烙铁。
- 佩戴除尘面罩，并且保证有足够的通风。
- 避免使用铅制的焊料，使用锡—银焊料或者其他不含铅的替代品。
- 避免使用汞和镉。
- 使用低电压和市售的电池，而不是使用家用的供电线。
- 使用断路器，保险丝和带漏电保护器的插座。
- 不要剪断或者屏蔽三线插头中的地线，而且，不要把极化的双线插头剪短。

- 永远不要用双手触摸有电的电路。
- 在制造危险机器人或者带武器的机器人时一定要小心。
- 带有部件的大功率电动机就像武器一样。
- 保持工作区域照明良好、环境清洁、无杂物。
- 保持休息好的状态，保持警惕。疲劳可能会导致很严重的事故。

你只有一双眼睛，你只有一套健全的手指。一定要非常小心地保护它们。显然，你非常聪明，能够读懂这些文章和书籍来制造更好的机器人。因此，让我向你确认下面这一点：在安全的工作环境中完成的工作总是比急匆匆或者无视健康情况制造出的部件性能好很多。

最好使用公制计量系统

我在本书中会尽可能地使用公制计量系统。然而，每当部件事实上是以经验单位（译者注：英制单位）制造出来的时候，我就会使用经验计算系统（译者注：英制计量系统）。例如，如果它的确是一根 1/2 英寸棒子的话，我就不会将它描述成一根 12.7mm 的棒子。当然，不可否认的是，在本书混用计量系统的结果就会导致以下奇怪的句子：“在距离工件边缘 2.6cm 处钻一个 1/2 英寸的孔。”

获得更新，看看时下最新的是什么

我拥有一个网站：<http://www.robotroom.com/IRBGoodies.html>（注意大小写）有空的时候请访问这一网站来获得本书的更新、源代码、印制电路板（PCB, Printed Circuit Board）的文件和一个部件的清单。在 Robot Room 的根结点下，你也可以找到其他种类的机器人，还有到达很多与机器人有关的俱乐部和网站的链接。

目 录

第 1 章 组装一个调制信号的机器人	1
1.1 制造模块	1
1.1.1 拼装嘟嘟机器人, 或者不拼装	1
1.1.2 章节的排布	2
1.2 要适应机械学的内容	3
1.2.1 储备你自己的机械车间	3
1.2.2 观察一个小型的铣床	4
■ 1.2.2.1 使用铣床	5
■ 1.2.2.2 承认对铣床的偏爱	7
1.3 把所有部件组装起来	7
1.3.1 把机械的部分进行分组	7
1.3.2 把独立电子元件模块进行分组	8
1.3.3 拼装机器人并且完成测试	8
1.4 把部件和技术应用于其他机器人	8
第 2 章 比较两种类型的家用电动机连接器以及避免常见的错误	10
2.1 比较两种家用连接器的技术	11
2.1.1 测试望远镜管子式连接器	11
2.1.2 与稳固圆棒式连接器相对比	12
2.2 识别在连接器的钻孔中的期待结果, 还有常见的错误及其后果	13
2.2.1 把固定螺丝的孔洞与电动机连接杆的孔洞连接起来	14
2.2.2 排列孔洞的角度和孔洞的中心	14
■ 2.2.2.1 接受孔洞和连接器机身的平行偏移	14
■ 2.2.2.2 避免出现孔洞自身之间的平行偏差	15
■ 2.2.2.3 避免出现孔洞自身之间的角度偏差	16
■ 2.2.2.4 重新回顾望远镜管子的优点	17

2.3 准备好制造一个稳固圆棒的连接器	17
第 3 章 为连接器制造配件以及在稳固圆棒上面钻孔	18
3.0 为钻出位于中心的孔洞提供机械方面的提示	18
3.1 收集工具和部件	18
3.2 为连接器准备好不同长度的稳固圆棒	19
3.2.1 测量电动机和十字轴	19
3.2.2 为连接器的机身选择一个稳固的圆棒	19
■ 3.2.2.1 计算连接器的长度	20
■ 3.2.2.2 计算连接器的直径	20
■ 3.2.2.3 选择连接器的材料	20
3.2.3 把稳固圆棒切割成连接器尺寸大小的部件	21
3.2.4 打磨连接器机身部件的两端	22
3.2.5 把这些圆棒放置在一边	24
3.3 制造一个连接器配件	24
3.3.1 切割连接器配件块	25
3.3.2 钻出连接器配件固定螺丝孔	27
3.3.3 用螺丝攻加工连接器配件固定螺丝的孔洞	27
3.3.4 在连接器配件中钻出连接器圆棒的孔洞	28
■ 3.3.4.1 选择钻头	28
■ 3.3.4.2 解决深度问题	30
■ 3.3.4.3 钻孔	31
3.4 把金钱准备好	33
3.4.1 把过紧的装配变大	33
3.4.2 给连接器配件添加一个固定螺丝	34
3.4.3 重新定位连接器的配件	34
3.5 在电动机连接杆和 LEGO 公司生产的十字轴连接器中钻孔	34
3.5.1 更换钻头, 而不要更换连接器圆棒	37
3.5.2 进行最后的一步: 打磨端面	37
3.6 到目前为止, 检查一下连接器	37
第 4 章 完成稳固圆棒电动机连接器的加工	39
4.0 包括用螺丝攻加工孔洞和选择固定螺丝	39

4.1 安装连接器的固定螺丝	39
4.1.1 确定连接器固定螺丝的位置	39
4.1.2 钻出连接器固定螺丝的孔洞	40
4.1.3 用螺丝攻对连接器固定螺丝孔洞进行加工	41
■ 4.1.3.1 选择一种底部样式的螺丝攻	41
■ 4.1.3.2 与一个锥形样式的螺丝攻进行对比	42
■ 4.1.3.3 使用螺丝攻的技巧	42
4.1.4 选择固定螺丝	43
4.2 添加 LEGO 公司生产的十字轴	44
4.3 总结	46
第 5 章 在轮子内部制造一个电动机	47
5.0 包括制造压缩式相扑机器人的完美技术，机械加工圆形的部件（包括制 造家用的轮子），使用阶梯形材料块，与不带螺纹的孔洞匹配，而且要 使用直径非常大的钻头	47
5.1 遇到危险：前面有弯曲的连接杆	48
5.1.1 用轴承进行合适的驱动	48
■ 5.1.1.1 防止颠簸和跌落	48
■ 5.1.1.2 更换侧向的连接器	49
■ 5.1.1.3 在没有支承的情况下发生弯折	49
5.2 制造一个轮毂适配型的连接器	49
5.2.1 把电动机连接杆外部的直径与 LEGO 公司生产的轮子内径匹配起来	50
5.2.2 仅仅是从连接器的圆棒开始	51
5.2.3 制造内部和外部的轮毂匹配型圆盘	52
■ 5.2.3.1 选择一个形状	52
■ 5.2.3.2 确定尺寸	52
■ 5.2.3.3 选择原材料	53
■ 5.2.3.4 把原材料薄片切割成合适的尺寸	54
■ 5.2.3.5 在直径中心的孔洞中钻好 1/4 英寸的孔洞	54
■ 5.2.3.6 再问一次，为什么要测量出尺寸超过所需要的金属薄片呢？	55
■ 5.2.3.7 用旋转平台钻出孔洞	56
■ 5.2.3.8 在圆盘中钻出螺丝孔	59
■ 5.2.3.9 完成轮毂匹配型圆盘的内部和外部加工	61

5.2.4 去掉 LEGO 公司生产的轮毂中心	63
■ 5.2.4.1 在加工的过程中紧固轮毂	64
■ 5.2.4.2 选择一个 Silver&Deming 型号的钻头	64
■ 5.2.4.3 把轮毂中心的部分钻掉	64
■ 5.2.4.4 把轮毂中心的剩余部分打磨掉	65
5.2.5 匹配部件, 然后把它们黏接在一起	66
■ 5.2.5.1 把外部的圆盘与轮毂进行匹配, 然后黏接	66
■ 5.2.5.2 把内部的圆盘与圆棒进行匹配, 然后黏接	66
■ 5.2.5.3 等待胶水干燥	67
5.3 总结	67
第 6 章 理解电子实验过程中的标准和设置	69
6.0 包括阅读电路图, 使用一个墙壁嵌入式电源, 磨毛发光二极管, 理解硬 按钮的反弹和理解表面贴装技术	69
6.1 阅读电路图	69
6.1.1 连接导线	70
6.1.2 设计部件	70
■ 6.1.2.1 标记字母的分配	70
■ 6.1.2.2 标记数字的分配	71
6.1.3 标记部件	71
■ 6.1.3.1 标记电阻	72
■ 6.1.3.2 标记电容	73
■ 6.1.3.3 标记发光二极管和红外线发光二极管	75
■ 6.1.3.4 标记其他部件	76
6.1.4 标明电源	76
■ 6.1.4.1 简化正极电源电压的标记	76
■ 6.1.4.2 把接地点用符号表示从而简化布线	77
6.2 使用无焊接的面包板	78
6.2.1 挑选一个无焊接的面包板	78
6.2.2 搭建好一个无焊接的面包板以与照片匹配	79
■ 6.2.2.1 为无焊接的面包板上电	80
■ 6.2.2.2 选择一个交流电源适配器	80
■ 6.2.2.3 添加一些方便的设施	81
6.3 了解示波器上面的曲线	82