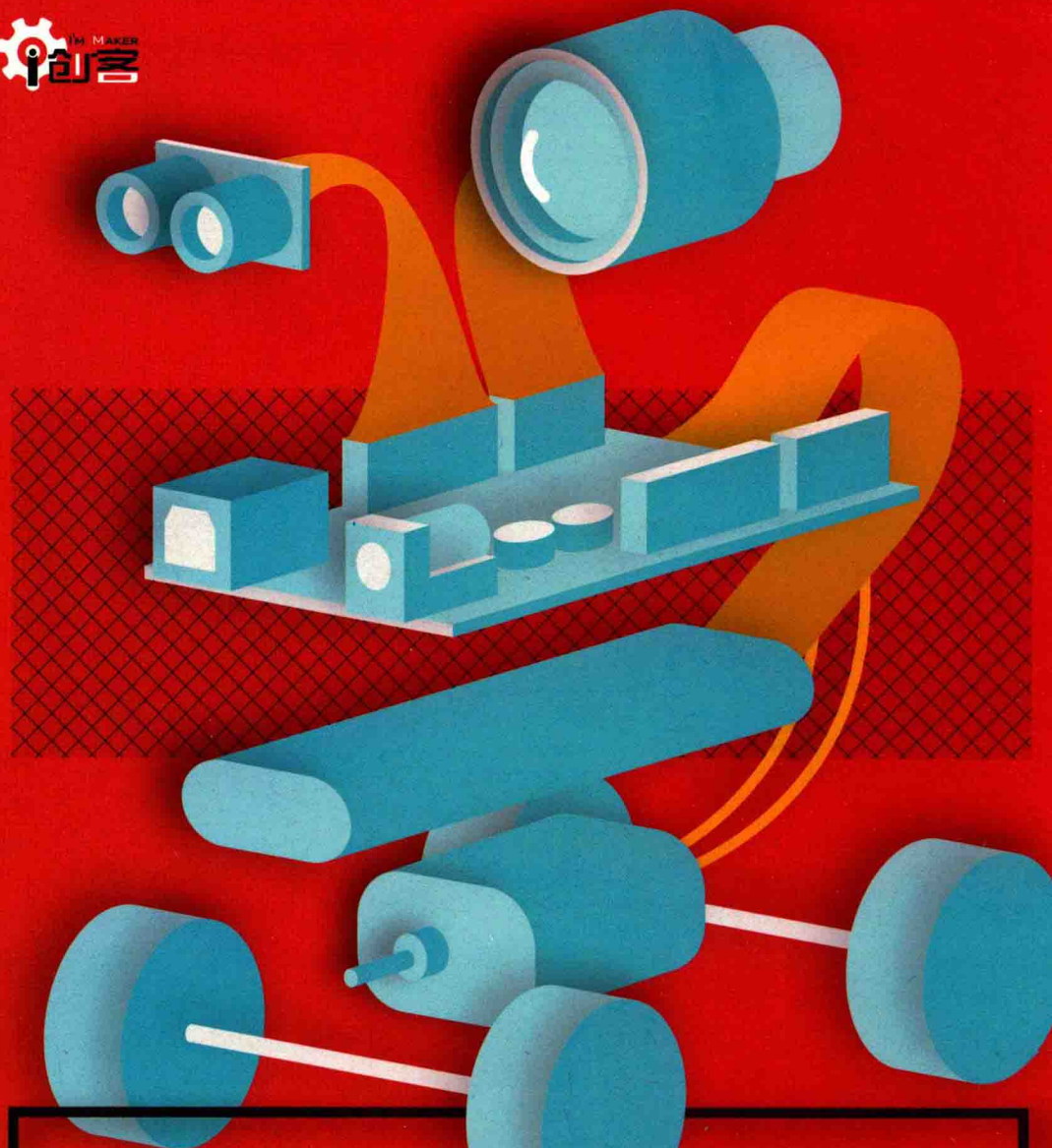
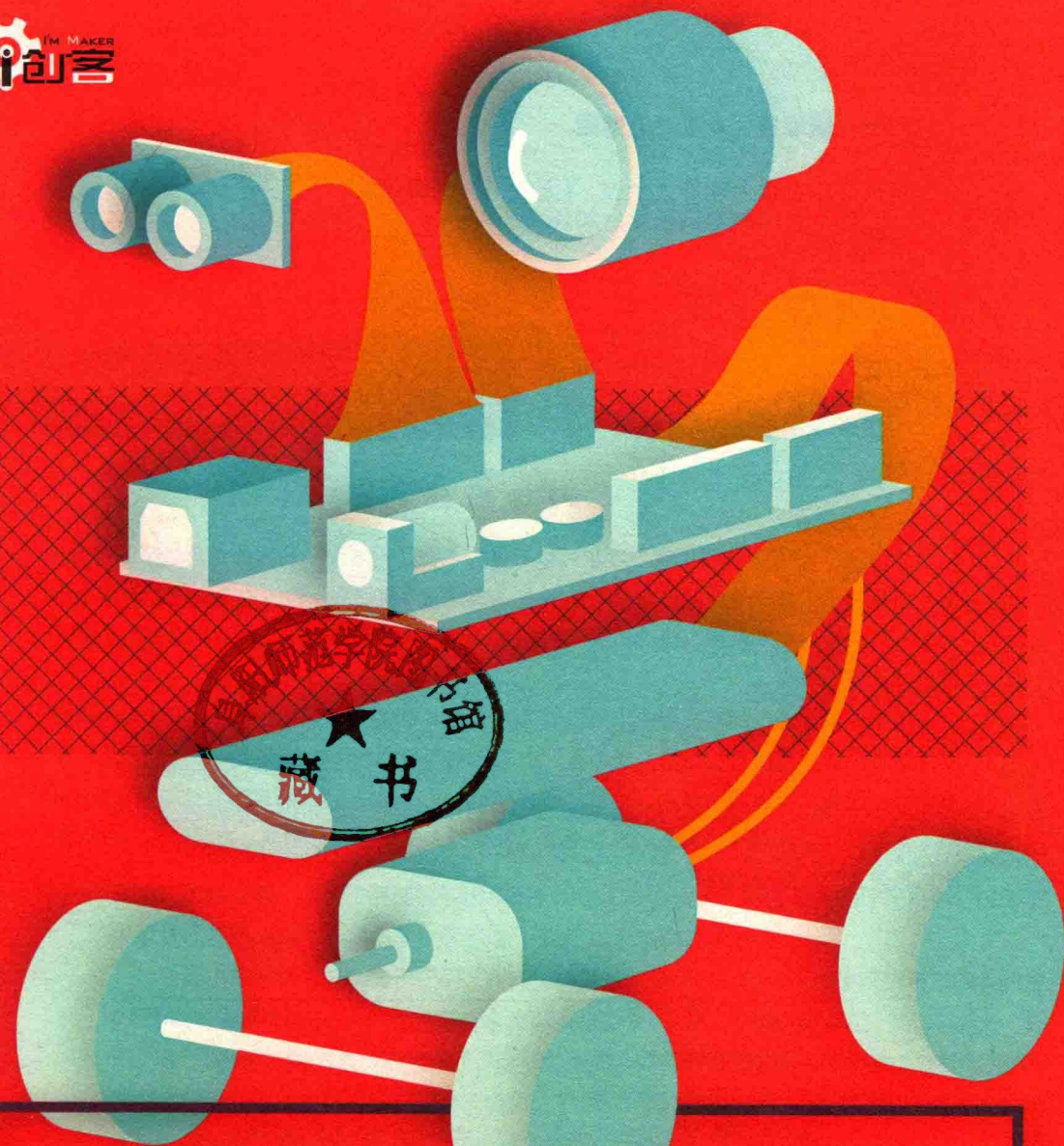




智能小车机器人 制作大全

——《无线电》编辑部 编



智能小车机器人 制作大全

《无线电》编辑部 编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

智能小车机器人制作大全 / 《无线电》编辑部编

— 北京 : 人民邮电出版社, 2015.8

(i创客)

ISBN 978-7-115-39467-5

I. ①智… II. ①无… III. ①智能机器人—制作
IV. ①TP242.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第114830号

内 容 提 要

“i创客”谐音为“爱创客”，也可以解读为“我是创客”。创客的奇思妙想和丰富成果，充分展示了大众创业、万众创新的活力。这种活力和创造，将会成为中国经济未来增长的不熄引擎。本系列图书将为读者介绍创意作品、弘扬创客文化，帮助读者把心中的各种创意转变为现实。

本书汇集了多位创客在智能小车机器人方面的丰硕成果，不仅为刚接触机器人制作的初学者提供了详尽的入门教程，还为有一定基础和经验的制作者提供了从基础到高级，覆盖循迹、避障、跟随、走迷宫、绘图、语音控制、无线遥控、Wi-Fi视频监控等全方位功能的丰富实例。通过阅读这本书，你会全面了解智能小车机器人的构成，在设计与制作智能小车机器人方面获得思路和灵感。

◆ 编 《无线电》编辑部

责任编辑 周 明

责任印制 周昇亮

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京瑞禾彩色印刷有限公司印刷

◆ 开本: 690×970 1/16

印张: 10.75

2015年8月第1版

字数: 223千字

2015年8月北京第1次印刷

定价: 45.00元

读者服务热线: (010)81055339 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

前言 感受智能小车的魅力

◇臧海波

在众多智能化机器人项目中，智能小车可以称得上是一项最早走出实验室的实用发明。智能小车涉及的领域很多，对自动化控制和机器人技术的推广和普及功不可没。从生产制造业的无人搬运车，到特种行业的灾难救援、排爆灭火机器人，再到军事领域的侦察和防御机器人以及航天领域的星球表面探测器，处处可以见到智能小车的身影。

车辆作为一种简单有效的运载工具，兼顾机动性和灵活性，是制作可移动式机器人的首选。把控制电路和传感器安装到小车上，用电机驱动车轮或履带，它就从一辆普通的小车变成了一个智能小车机器人，简称智能小车。车轮让机器人可以自由移动，底盘可以搭载各种设备。结构简单、造价不高的智能小车是一个学习、实验人工智能技术的理想平台，吸引了大量爱好者参与其中。“小车”两字也几乎成了自动化专业的代名词。

智能小车的迷人之处在于它的“智能”理解起来有很大弹性，这就使玩家有了很大的发挥空间。小到平时玩的无线电遥控车模，大到在电气化铁路上驰骋的动车组，都可以算作“智能小车”，只是控制方式上有全人工和半自动的区别。因为小车的结构和驱动方法比较简单，爱好者可以从底层硬件入手，循序渐进研究到高级的程序控制部分。最开始可以先用开关和逻辑电路制作一辆初级的越障碍小车，然后在这个基础上，让它搭载更多的传感器，实现测速、测距、定位、数据和图像采集等高级功能。最后，利用车载电脑对信息加以分析汇总，实现预设模式下的自主运行。更高级的智能小车还可以利用无线数据链实现远程监控、遥控作业或多个单位协同工作。

本书收录了多位机器人爱好者、玩家和创客最近几年发表的精彩文章，内容涵盖智能小车从原理到应用的各个方面，是一本不可多得的参考书。希望每一位读者都可以集思广益、博采众长，在书中收获科技带给我们的财富。

CONTENTS

目录

第1章 智能小车机器人制作入门

01	从车轮开始的智能小车制作之旅	2
1.1	车轮和履带	3
1.2	车轮的种类及选购	4
02	为小车选择合适的电机	7
2.1	直流电机的结构与参数	7
2.2	电机的减速机构	9
2.3	电机轴	10
03	电机驱动电路	13
3.1	舵机与驱动电路	13
3.2	步进电机与驱动电路	13
3.3	直流电机与驱动电路	15
04	供电系统——电池	20
4.1	碳锌电池	20
4.2	碱性电池	21
4.3	镍镉电池	21
4.4	镍氢电池	21
4.5	锂电池和锂离子電池	22
4.6	铅酸電池	23
05	车架与主控制器	25
5.1	车架	25

5.2	主控制器	26
-----	------	----

06	让机器小车运动起来	29
-----------	-----------	----

07	给小车一双“眼睛”	33
-----------	-----------	----

7.1	避障原理分析	33
-----	--------	----

7.1.1	探测	33
-------	----	----

7.1.2	处理	34
-------	----	----

7.2	选择与自制简易避障传感器	34
-----	--------------	----

7.2.1	触须开关	35
-------	------	----

7.2.2	简易红外避障传感器	36
-------	-----------	----

08	智能小车的速度控制	38
-----------	-----------	----

8.1	最简单的调速方法	38
-----	----------	----

8.2	PWM 调速	38
-----	--------	----

09	让你的小车会听话	41
-----------	----------	----

9.1	模型遥控器	41
-----	-------	----

9.2	红外遥控器	42
-----	-------	----

9.3	用手机蓝牙功能遥控机器小车	43
-----	---------------	----

10	让小车看得到、听得见	47
-----------	------------	----

11	小车制作总结篇	51
-----------	---------	----

第2章 智能小车机器人基础实例

12	模块化循迹智能小车	54
-----------	-----------	----



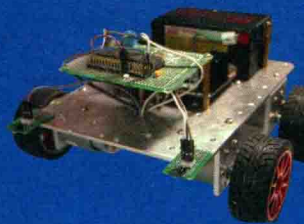
第3章 智能小车机器人高级实例

19.4	Wii 手柄与 Arduino 控制器的硬件接口方法.....	88	24.1	材料准备	114
19.5	任天堂 Wii 手柄遥控慧鱼车程序	89	24.2	硬件连接	115
20	利用体感手柄遥控的乐高星战车.....	92	24.3	捕获步进电机信号控制直流电机.....	117
20.1	乐高星战车的结构组成.....	92	25	智能全向移动平台自制攻略... 120	
20.2	Arduino 电控部件介绍	93	25.1	兵马未动, 粮草先行	120
20.3	乐高星战车的程序设计	95	25.2	从纸上谈兵到躬行实践	122
20.4	结束语	97	25.3	调试	123
21	蓝牙遥控小车制作教程.....	98	25.4	前景展望	124
21.1	软件部分	98	26	蓝牙遥控版智能全向移动平台.....	125
21.1.1	烧写 Arduino 程序	98	26.1	躬行“硬”功夫	125
21.1.2	Processing 上位机程序	99	26.2	躬行“软”功夫	126
21.2	硬件部分	99	26.2.1	单片机功能模块设置	126
21.2.1	电机驱动板	100	26.2.2	蓝牙模块以及手机端的 使用	127
21.2.2	蓝牙模块	100	26.2.3	运动控制篇	129
21.2.3	电源模块	100	26.3	结束语	130
21.2.4	电池	100	27	开启树莓派机器人制作之旅... 131	
21.2.5	开关思想	101	27.1	硬件搭建篇	131
21.2.6	四驱车车体	101	27.2	Python 库配置篇	132
21.2.7	成品多角度展示	101	27.3	Python GPIO 调试篇	133
21.2.8	组装教程	101	27.4	Python UART 调试篇	134
21.3	无线控制实现过程	102	27.5	机器人控制	135
22	基于 Arduino 的 Wi-Fi 视频监控小车	103	第 4 章 智能小车机器人设计与制作完整方案		
22.1	小车的制作过程	103	28	百元包邮开源蓝牙遥控小车... 138	
22.2	路由器的设置方法	105	28.1	概况介绍	138
23	Wi-Fi 视频小车 DIY 手记 ... 109		28.1.1	技术要点	138
24	用网络摄像头快速搭建 Wi-Fi 视频监控小车	114	28.1.2	PWM 调速	139

28.1.3 制作装配.....	139	29.2 小车.....	151
28.1.4 驱动结构.....	140	29.3 传感器	152
28.1.5 电源的选择	141	29.4 主控板	153
28.1.6 下载程序.....	141	29.5 电机驱动.....	154
28.1.7 操作与调试.....	142	29.6 系统总装.....	155
28.1.8 竞技比赛.....	144	29.7 程序模块.....	156
28.2 深入研讨	144	29.8 显示模块.....	159
28.2.1 电路介绍.....	145	29.9 自制模块.....	161
28.2.2 软件介绍.....	146		

29 模块化智能小车制作全攻略... 150

29.1 成品模块	150
-----------------	-----



第 1 章

智能小车机器人制作入门

- 01 从车轮开始的智能小车制作之旅
- 02 为小车选择合适的电机
- 03 电机驱动电路
- 04 供电系统——电池
- 05 车架与主控制器
- 06 让机器小车运动起来
- 07 给小车一双“眼睛”
- 08 智能小车的速度控制
- 09 让你的小车会听话
- 10 让小车看得到、听得见
- 11 小车制作总结篇



从车轮开始的智能小车制作之旅

◇温正伟

我国的玉兔月球车成功登陆月球，每个中国人都激动万分，机器人爱好者们对于类似月球车这样的智能机器小车的关注就会更多了，制作一台自己的智能机器人小车容易吗？

从小看着科幻电影长大，电影里各种各样的机器人或机器小车都是我的最爱。比如电影《星球大战》里的 R2-D2（见图 1.1），那台聪明的机器人有可爱的外观、灵活的机动性，深受广大星战迷和机器人爱好者的喜爱。一直以来我都有着一个想法，就是制作一台机器小车，可以让它在家里四处自主游走，可以当作电子宠物玩具，陪家里的小朋友玩耍，同时也可以作为学习机器人技术的一个小平台。



■ 图 1.1 《星球大战》里的 R2-D2

多年前，我做过一些 BEAM 机器人，也做过一台机器小车，但是限于当时的条件和技术水平，做得不是太好，电脑还留存着当时车子半成品的照片（见图 1.2），现在自己的编程水平、电路制作水平已经有了很大的提高，而且购买元件比多年前方便太多了，所以我准备再做一台小车，实现自己从小的梦想。我将与各位读者朋友一起分享制作的过程，共同感受制作的乐趣和快乐。



■ 图 1.2 多年前的小车作品

制作一台小车并不难，只要几个轮子、几个电机组装起来就成了，但是要做成智能机器小车起码要有两件必备之物——微控制器、传感器，这样它才有自己的大脑和感观。所以我对要制作的这台小车有如下构想：4 只电机驱动 4 个轮子，拥有一个 32 位的 ARM 芯片做微处理器，安装光敏、温度、红外或超声波传感器，人机界面使用点阵 LED 或 LCD 显

示屏,以后还可以加装无线数传、USB等接口。而它的智能则是体现在软件方面,先实现最初级的自主避障,然后再慢慢加入更多的智能化程序,让其真正具有“智能”。

我们就从小车自下到上的第一个部件——车轮来开始小车制作之旅吧。

1.1 车轮和履带

任何一种车,无不例外地都有轮子或履带。所以制作一台小车时,最先应该考虑它要选用什么样的轮子。选择车轮要考虑的问题很多,比如小车的尺寸、重量、电机的功率、所要求的速度,甚至所制作的机器人是运行在什么地形都需要考虑。笔者所用到的是车轮,限于篇幅,履带的选择就不详细介绍了。

在选择一个车轮的时候,最直观的就是它的大小,它的大小反映在直径上,车轮的直径大小直接影响到机器人的速度和作用到接触面的力矩大小。在电机转速相同的情况下,车轮的直径越大,速度就越大,但是所得到的转矩就会越小,这样会使负载能力变小。这种情况就像生活中骑自行车一样,你用同样的速度去踩脚踏,轮子大的自行车会跑得比轮子小的自行车快,但是你会感觉需要更大的力量去踩。转矩就是在距离转轴中心的某个给定位置上测得的电机(驱动装置)的切向牵引力,这个力的大小会和距离成反比关系。具体的公式我们会在电机部分再进一步探讨。

对于计算圆周的公式,我们都不会陌生, $D=\pi d$, D 是圆周长, d 是直径, π 是圆周率。得知轮子的直径后,我们就可以用以上的公式求得它转一圈所走的距离,直径 d 越大,距离 D 就越大,成正比关系。所以在同样的转速情况下,直径大的轮子走的距离

多,也就是速度快。求得 D 后,我们可以再把它乘以转速(单位为 r/min),就可以得到这个轮子的速度。对于履带速度则是计算它的驱动链轮的速度。



■ 图1.3 轮胎受力后,与地面的摩擦力会发生变化

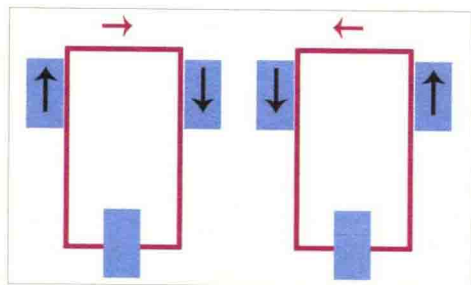
图1.3演示了轮胎在受力作用下发生形变,与地面接触面积增大,与地面的摩擦力也增大。可以试想一下,如果骑在一辆充气不足的自行车上,会比充足气时难行得多。一般来说,机器小车的总重量越大,车轮所受的重力就越大,形变也越大。车轮的材料和形状各种各样,机器人越重,越需要选用更牢固的车轮或履带。

小型的智能小车重量一般在1kg左右,可以选用塑料泡沫车轮,如果重量增加到2~5kg,就要使用中空的轮胎,重量再大的可以选用实心橡胶轮胎或是充气的轮胎。同样材质的轮子,不一样的尺寸,承重量也是不一样的。履带其实也算一种特殊的轮胎,所以可以用以上的原则去选购不同的履带。

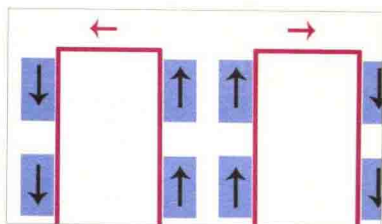
机器小车运行在不同的环境中,选用的轮子也要相应地做出不同的选择。室内一般都是平整、光滑的地板,可以选用平滑的轮胎,以增大轮子和地板之间的接触面积。但是如果在平坦的路面上有小颗粒的杂物,如在室外的平坦路面时,选用平滑的轮胎则会

影响其性能，甚至打滑，同样如果光滑的地板有水也会如此，所以在这样的环境下要选择一些有花纹或凹槽的轮胎，以增加其对地面的摩擦力，同时也可以起到排水、排屑的作用。轮子的宽度越大，接触面积也越大，所能提供的牵引力也相对会大。在沙石地运行时，则要使用宽大的轮子或履带，这样才不会像使用窄小轮子那样陷到沙石里。

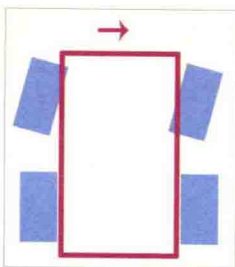
要让小车行驶，只有前后转动是不行的，还必须要有转向。转向的方法有很多种。通常使用以下几种方式：(1) 如图 1.4 所示，双轮驱动加一个万向轮，转向是靠两个驱动电机正向、反向运行的，万向轮不在固定的状态。这种方法比较简单，只需要在两个主动轮的基础上加一个万向轮，不过这种方式只适合于平坦路面，要是路面凹凸不平，万向轮起不到很好的作用，而且其转向也不太精准，仅适用于小型室内机器人。(2) 如图 1.5 所示，四轮直接驱动，需要 4 个电机同时正转、反转，此方法会使用更多的电机，动力会更强劲，转向也会更灵活、准确，同时也会需要更多的驱动电路和电能。(3) 图 1.6 所示则是使用类似汽车的转向机构，结构相对比较复杂，稍大一点的机体还需要有减速箱，在业余条件下可以使用成品的遥控汽车车体改装。履带的转向方式和前两种相似。



■ 图 1.4 双轮驱动加万向轮



■ 图 1.5 四轮直接驱动



■ 图 1.6 类似汽车的转向机构

1.2 车轮的种类及选购

图 1.7 所示是几种大小不一的遥控车轮，轮胎面有光滑的，也有带凹槽纹路的。市面上的 RC 遥控车模用的轮子直径一般为 2 ~ 16cm，各种材质和纹路的都有，价格不等，几元到几十元都有。要根据自己的想要做的小车大小选择合适的轮框和轮胎，轮框的材质一般有塑料和合金的，轮胎的材质一般有塑料或橡胶的。



■ 图 1.7 几种大小不一的遥控车轮

图 1.8 所示是玩具飞机的轮子，尺寸规格也有很多种，轮框同样也会有合金的和塑料的可供选择，而轮胎则多为有一定刚度的软质材料，塑料泡沫的或橡胶的都有。但它的轴孔相对较小，用在车子上通常是需要改装的。



■ 图 1.8 玩具飞机的轮子

型机器人时可以使用。



■ 图 1.9 常用来制作小推车的轮子

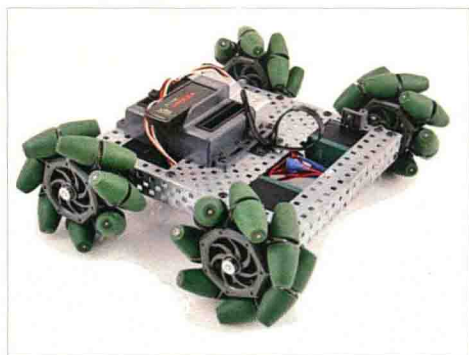


■ 图 1.10 充气轮胎

图 1.9 所示的轮子通常是用来制作小推车的车轮，轮胎材料通常是实心的橡胶或塑料，可以承受很大的重量，只适合平坦路面。图 1.10 所示是充气轮胎，直径一般都在 10cm 以上，这种轮子有很高的承重性，也能应付各种不一样的路面环境，所以各种用途的车都会用到，用于小推车、小型机动车、汽车、自行车等的各种型号规格的轮子都可以在市面上购买到，在制作体积和重量很大的机器小车时需要使用到。图 1.11 和图 1.12 中的轮子是两个全方位车轮，它们可以在前、后、左、右各个方向转动，但是价格昂贵，驱动时需要 4 个轮子，才能有作用。图 1.13 所示的是普通万向轮，规格繁多、价格便宜，在市面上很容易购买到，而且安装方法也极为简单，通常是制作三轮智能机器小车的首选。球形万向轮多为金属材质的，只适用于平坦路面，有很小的尺寸，制作微



■ 图 1.11 一种全方位车轮



■ 图 1.12 全方位车轮驱动时需要 4 个轮子



■ 图 1.13 球形万向轮（左）与普通万向轮（右）

我将要制作的智能机器小车大约长 20cm、宽 15cm，按这个比例选择了直径为 6.5cm 的模型车用的塑料轮子，如图 1.14 所示，轮胎为中空式的，有凹槽纹路，可以适应室内或平坦路面。下一节将探讨电机和轮子的连接方式以及电机的选用技巧。



■ 图 1.14 我选择的轮子



◇温正伟

02

为小车选择合适的电机

在选择好轮子之后，就需要选择与之相匹配的电机。制作一个智能小车最为基本的问题就是选择什么样的电机来做动力源，选择一个合适的电机会让制作更为顺利，机器人性能更好，这就会涉及功率、尺寸、转速、连接方式等因素。例如，在选择电机时功率选小了，可能会造成整个机器人安装好后，电机无法负载其重量，最后不得不重新制作电机驱动部分。如果转速选小了，则会让小车运行起来太慢。

能用于机器人制作的电机种类很多，而制作智能小车通常会选用直流电机、减速电机、舵机以及步进电机。因为本制作主要使用的是直流电机，限于篇幅只介绍直流电机。

2.1 直流电机的结构与参数

直流电机可以说是最便宜、最常见的电机种类，它的尺寸种类繁多，有小到能装到手机里的，也有大到能驱动大客车的。在业余条件下，制作智能小车一般选用有刷直流电机，无刷直流电机虽然效率高、性能好，但是价格贵，控制器制作复杂，一般不会选用。

有刷直流电机的基本结构如图 2.1 所示，由定子、转子以及电刷组成，工作原理也很简单。小型有刷直流电机的定子一般是由两块 U 形或一块环形永磁体组成，固定在外壳，并提供磁场，中心是转子，转子上有奇数对的线圈绕组，每一绕组与转子轴上的金属换

向器相连，而金属换向器又与外壳上的一对电刷相接触，如图 2.2 所示。在电机运转的某一时刻，只有两组绕组 A、C 会通过电刷得电，绕组通电后产生磁场，而这时它会和一块永磁体排斥，而与另一块永磁体吸引，绕组便会带动整个转子转动，转到下一位置，这时换向器让其中一组绕组失电，而 B 组这时会得电，也就是说电刷会轮流让每组绕组得电，使得电机内的磁场力得不到平衡，不停地旋转。



■ 图 2.1 拆开的有刷直流电机



■ 图 2.2 换向器连接示意图

有刷直流电机的工作电压范围比较宽，通常小型的有刷直流电机，额定工作电压一般有 3V、6V、9V、12V、24V 等，工作电压越大，电机的体积也会越大，也会有同样体积的电机而有不同工作电压的型号选择。电机工作电压的选定一般会依据所使用的电源电压去选择，制作小型的智能小车时，电源使用的只能是电池组，电压一般在 3 ~ 12V，主控板使用的电压通常是 5V（也有 3.3V），这需要电池组稳压后得到，所以电池组一般会选择使用 9V 或 12V，那么选择电机时最好也选用这些电压，这样不需要为电机提供额外的工作电压。还有更好的办法，就是单独为电机提供一组专用的电池作为工作电源，这也是一种避免控制电路受电机影响的常用方法，不过多一组电池也会增加小车的重量，加重电机的负载。

在一定范围内，直流电机输入电压低于或高于额定的工作电压也是可以正常运转的，只是输出转矩和速度都会有所下降，也就是机械输出功率和输入电压会成正比例关系。一般来说，直流电机的输入电压不要低于额定工作电压的一半，不要高于额定工作电压的 1.2 倍。要输出同样的功率，12V 的电机所需要的电流是 24V 电机的 2 倍，这在选择时也是需要注意的。

在选定直流电机的工作电压后，还需要选择电流，电机的供应商一般会给出一个电机的空载电流，这是指电机没有带负载空转工作时的电流，而电机实际工作中还会遇到一个堵转电流，也就是说电机在遇到障碍不能转动时产生的电流。这个堵转电流，电机供应商一般不会给出，如果需要测量，可以在电机空转时用工具夹住输出轴，使其堵转，这时测得的电流就是堵转电流，要注意堵

转的时间不应过长，以免电机发热损坏。直流电机带载工作时的需求电流和连续工作时间，是确定电池容量大小的关键，一般会用直流电机堵转电流的 20% ~ 50% 来作为工作需求电流计算。

要衡量一只直流电机是否“强劲”，通常可以看它的转矩参数。转矩就是距轴心一定半径距离上所输出的切向力。转矩的单位为牛顿·米（N·m）。如果一个电机的输出转矩为 1N·m，也就相当于在轴心上安装一个半径 1m 的大圆盘，而电机带着圆盘的边缘挂着 0.1kg 重物顺利旋转。小型直流电机在没有加装减速装置时转矩都较小，负载力低，除了要制作要求速度的格斗、竞速机器小车外，一般不会直接使用没有减速装置的直流电机。

国内供应商一般会为了方便爱好者把转矩单位牛顿·米（N·m）转化成千克力·厘米（kgf·cm）。 $9.8\text{N} \cdot \text{m} = 1\text{kgf} \cdot \text{m}$ ，知道这个公式就可以自由转化所需要的单位。转矩是和距离成反比的，距离轴心越远得到的转矩就越小，所以这在选取电机或轮子大小时都需要考虑，轮子越大，所得到的切向力越小，负载能力也就越小。

转速带来的速度可能是智能小车给人最直观的印象，它也是直流电机选择的一项关键指标。供应商通常会给出一个以 r/min 为数据，也就是“转/每分钟”，小型直流电机在没有安装减速装置时的最高转速一般会在 5000 ~ 20000r/min，使用公式 $V_r = V_m D \pi / 60$ ，就可以计算出电机带动轮子时的速度。 V_r 为机器人的速度， V_m 是电机的转速， D 为轮子直径， D 乘上圆周率则是轮子的周长。我们来计算一下，一个 10000 转的直流电机带动一只直径 4cm

的轮子，所能产生的速度是多少—— $10000 \times 0.04 \times 3.14/60 = 20.9\text{m/s}$ ，也就是说，这时机器人的速度会达到 20.9m/s 。

这个速度对于一个运行在室内的智能机器小车来说太快了，一般运行在室内的机器小车速度在 $0.1 \sim 0.5\text{m/s}$ ，所以在选择电机和轮子时也可以此为参考。使用降低电压的方法或使用 PWM 方式调速都可以让电机在不附加机械装置的情况下得以减速，但這些方式都会导致输出转矩下降，甚至会让电机无法带载。那么，要想在不减少转矩的情况下进行减速，就要使用到机械式的减速装置，可以使用齿轮、蜗轮、蜗杆、皮带等组成减速器。一般最常用的是齿轮组减速器。

2.2 电机的减速机构

市场上最容易购买到的减速直流电机是带有齿轮减速器的减速直流电机，一般装配有行星齿轮组或直齿齿轮组。行星齿轮组结构紧凑，占用空间小，输出力矩大，但是噪声相对直齿齿轮组要大，而且市场上直齿直流减速电机的种类也较多，各种输出比率的都有，所以选择直齿减速电机方便一些。

典型的行星齿轮组结构如图 2.3 所示，其实它是十分容易分辨的，它的最外圈有一个环形的内齿。齿轮组的材质一般会有金属和塑料两种，金属齿轮组输出力矩可以做到很大，负载性能好，而且寿命比塑料的会长很多，当然价格也高很多。

如果你的机器小车将会重于 1kg ，最好选用金属齿的减速电机，小型的迷宫小车或循线小车本身重量轻，可以使用塑料齿的减速电机，能大大减少制作成本。减速电机齿

轮组如果经常使用，需要定期加润滑油，使它不至于过快磨损，同时也可以减少噪声，提高电机效率。图 2.4 所示是一种多级金属直齿直流减速电机的拆解图，图 2.5 所示则是塑料直齿减速电机和大小不一的金属直齿减速电机。



■ 图 2.3 典型的行星齿轮组结构



■ 图 2.4 多级金属直齿直流减速电机的拆解图



■ 图 2.5 塑料直齿减速电机和大小不一的金属直齿减速电机