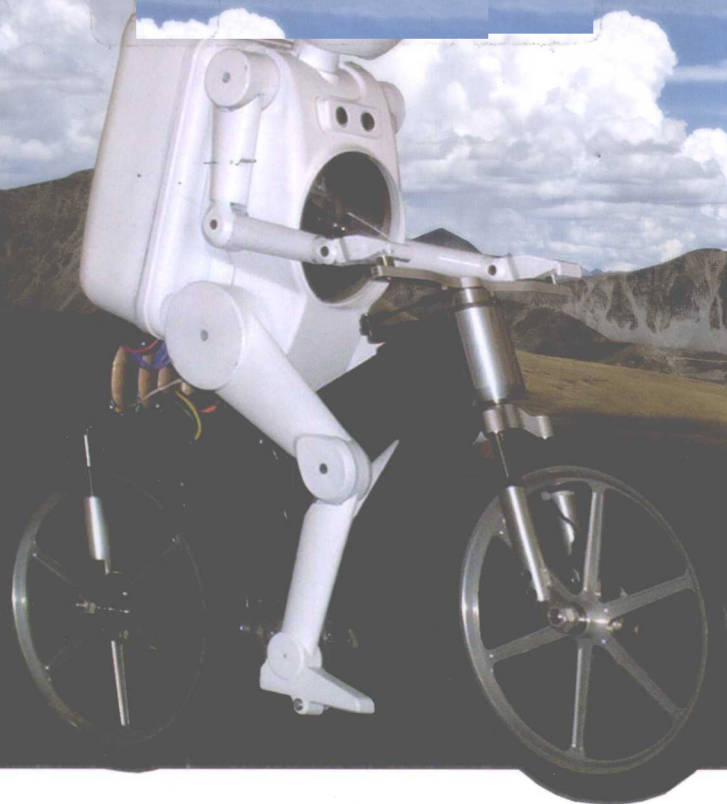




机器人DIY系列

双足步行机器人 *DIY*

〔日〕坂本范行 著
崔素莲 译



 科学出版社
www.sciencep.com

机器人DIY系列

双足步行机器人DIY

[日] 坂本范行 著
崔素莲 译

科学出版社

北京

图字: 01-2010-1271号

内 容 简 介

本书是“机器人DIY系列”之一,介绍了如何用价格低廉的齿轮箱和电机来制作双足步行机器人,并在有限的条件下使其逐渐成长、功能更加完善。按照机器人的成长过程,本书分为6章:脚擦地步行,直线前进,直线前进、直线后退,直线前进、后退和转弯,用微机自动控制,制作接近于人的双足步行机器人。此外,“实验·理解”栏中的简单实验有助于理解双足步行机器人的重心、支撑区、静步行、动步行等基本理论知识。

本书可供机器人爱好者阅读,也可用作工科院校相关专业师生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

双足步行机器人DIY/(日)坂本范行著;崔素莲译.—北京:科学出版社,2010

(机器人DIY系列)

ISBN 978-7-03-028774-8

I.双… II.①坂…②崔… III.机器人—研究 IV.TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第165507号

责任编辑:喻永光 杨凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:郝恩誉

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年9月第一版 开本: B5(720×1000)

2010年9月第一次印刷 印张: 11 1/2

印数: 1—4 000 字数: 215 000

定价: 28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

要了解双足步行机器人的步行原理，最好的办法是做一个这样的机器人并让它动一动。但双足步行机器人集材料、构造、原动力、传感器、控制、步行原理和现代技术之大成，对从零开始的初学者来说要越过很多障碍。从这点来看，联杆结构的机器人可以把很多步行机能委托给联杆结构，对于初学者来说更实际。

本书的目的不是制作参加比赛的机器人，而是以制作结构简单的双足步行机器人来理解双足步行的理论基础。因此，动作优美的切比雪夫联杆结构和平行杠杆组合而成的脚，可以用价格低廉的齿轮箱和电机来制作，并作为本书的基本硬件。对初次制作者来说，如果能做到加工正确，即使是一张塑料板，通过变形也可成为双足步行机器人，从而能体会到步行的乐趣。另外，为了使初学者能根据自身情况进行双足步行的实验，本书采取了在每个阶段都让机器人成长的形式。最后，虽然采用了微机控制，但传感器和电机末端的前置放大器是自制的，这正是目前作为双足步行机器人标准的伺服电机原理。由于脚的动作依靠联杆，所以用自制的伺服电机也可进行控制，对于想了解按程序步行的双足步行机器人的人来说，一定要试一试。

在每章的“实验·理解”栏里，虽然都是些简单的实验，但同时也与双足步行机器人密切相关。特别是第2章的重心实验和第6章的动步行实验，请一定要“实验·理解”一下。

另外，在制作中特别要注意安全。当尺寸对不上时，即使多次重做，也不要因心急而碰伤。

当看着自己辛辛苦苦制作出的机器人时，一定会充满爱意、不由自主地想起个名字吧？用这样的机器人一边进行着各种实验，一边思考着步行的结构原理，从此便踏入了双足步行机器人的世界里。

最后，对在本书执笔之际给予大力协作的ohmsha的各位，在此深表谢意。

坂本范行

如何阅读本书

本书以在第1章中制作的双足步行机器人为基础，然后按照后续每章使机器人成长的。因此，可以在每章中停下来休息片刻，在欣赏机器人步行实验的同时，也可以学习双足步行的基本原理。

第1章

参考人的双足步行，分析步行的原理，制作双足步行的机器人。把抬脚，向前迈步这样的动作，通过1个电机和连杆结构实现。虽说是简单的机器人，但可以在实验中看到机器人边左右转动身体边双足行走的样子。

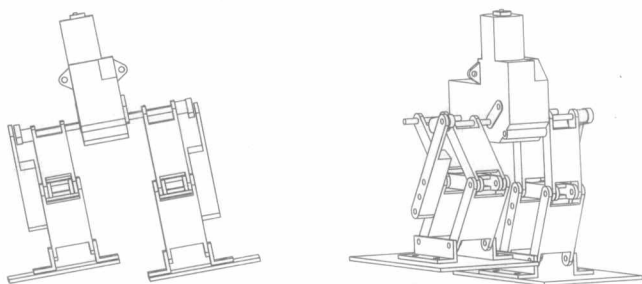


图1 在第1章中制作的双足步行机器人边左右转动身体边双足行走

在第1章中制作的脚，可一直用到第5章，故以后每章不必从脚开始制作。

第2章

增加重心移动的结构。力求简单，不增加电机，而是想办法在连杆结构上使重心移动。实现了能抬脚，向前迈步的步行基本功能，并切实感受到了改善后的直线前进。

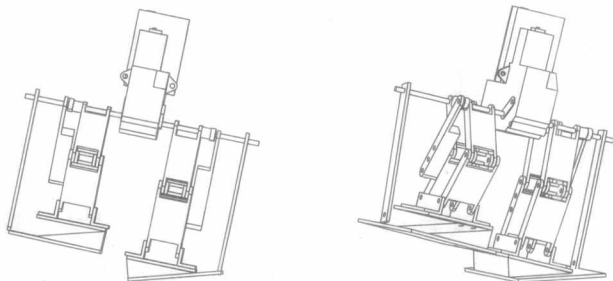


图2 在第2章中制作的双足步行机器人在直线前进上得到了改善

第3章

为了使重心移动，增加了一个电机，也可进行遥控了。重心移动采用了使上身倾斜的方法，在实验中可以看到把重心放到一只脚上的各种样子。

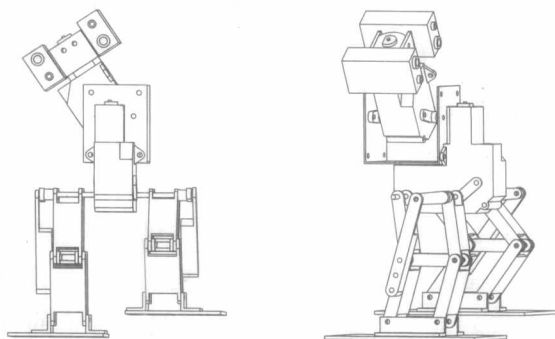


图3 在第3章中制作的双足步行机器人的重心移动可以进行遥控

第4章

从第3章的实验结果可以看出，机器人似乎可以转弯。所以，一边进行前进和后退，一边进行左右转弯的实验，使机器人成长为能够前进、后退和转弯的双足步行机器人。

第5章

搭载微机。在制作上，有电子零件的焊接和程序调试等等，难度稍微高一些，但机器人成长为能按程序行走的双足步行机器人了。

电机和旋转传感器的组装也力求在制作上简单化，所以其原理比较容易理解。

第6章

对本田ASIMO那样高难度的双足步行机器人及市场上销售的昂贵双足步行机器人所采用的稍高水平双足步行理论的基础部分进行了简要说明，对于想挑战各种机器人的制作者来说可以参考。

试验·理解

每章根据需要设有“试验·理解”，虽然尽是些用厚纸做人形的简单实验，但如果要学习双足步行机器人理论的话，一定会有重心、支撑区、静步行和动步行这样的基本知识，通过这样的实验可以对这些知识加以理解。

目 录

第1章 脚擦地步行

1.1 人的步行分析	2
1.2 脚的结构	3
1.2.1 切比雪夫连杆结构	3
1.2.2 传递动力的电机齿轮箱	5
1.3 基础脚的制作	6
1.3.1 材料及加工方法	6
1.3.2 制作要点	9
1.4 脚擦地步行实验	32
实验·理解	34
形状和强度	34
连杆结构	35

第2章 直线前进

2.1 从脚擦地步行中脱离	38
2.2 用简单的方法移动重心	39
2.2.1 在双脚上增加杠杆使重心移动	40
2.2.2 设法进行可靠的重心移动	41
2.3 制作增加的杠杆	42
2.4 直线前进的双足步行实验	48
实验·理解	50
重 心	50

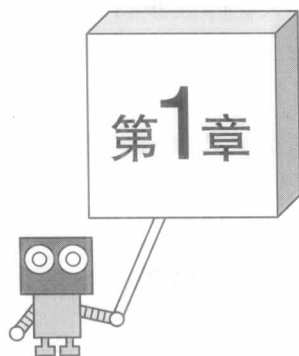
第3章 直线前进、直线后退

3.1 前进、后退的遥控	54
3.1.1 用遥控控制电机的转动方向	54
3.1.2 曲柄齿轮箱的减速比	55
3.1.3 后退时的重心移动	56
3.2 制作增加的曲柄齿轮箱	58
3.3 直线前进、直线后退的双足步行实验	73

实验·理解	79
减速比和转矩的实验	79
第4章 直线前进、后退和转弯	
4.1 重心移动使转弯变为可能	82
4.2 脚的加工	85
4.3 转弯实验	85
第5章 用微机自动控制	
5.1 微机的作用	92
5.1.1 用微机控制	92
5.1.2 控制电机的转动	92
5.1.3 用传感器检测电机的转动位置	93
5.1.4 对脚部电机和重心倾斜电机的控制	93
5.2 微机的搭载	94
5.2.1 微机的选定	94
5.2.2 使用H8微机	94
5.3 电机末端前置放大器和旋转传感器的设计	95
5.3.1 电机末端前置放大器的设计	95
5.3.2 旋转传感器的设计	98
5.4 旋转传感器扩展线路板、电机末级前置放大器的制作	99
5.4.1 焊接方法	100
5.4.2 旋转传感器的制作	101
5.4.3 制作程序写入用的电缆线	108
5.4.4 扩展线路板的制作	109
5.4.5 制作电机末级前置放大器	116
5.4.6 把制作的线路板装入机器人	121
5.5 程 序	124
5.5.1 程序的编写	124
5.5.2 程序的输入	133
5.5.3 程序的执行	139
5.6 用微机自动控制进行步行实验	153
实验·理解	156
点亮LED	156

第6章 制作接近于人的双足步行机器人

6.1 联杆结构的界限	160
6.2 增加能自由活动的关节	161
6.2.1 关节数和电机的配置方法	161
6.2.2 各关节的动作方法	162
6.3 用陀螺仪传感器控制姿势	163
6.4 静步行和动步行	165
实验·理解	169
动步行的平衡实验	169



脚擦地步行

——电机1个——

在第1章，将要制作双足擦地步行的机器人。我们边分析人步行时的动画摄影，边思考双足步行机器人的结构。考虑到要使初学者也能制作出易控制、花费低、制作过程简单的双足步行机器人，所以在制作时减少了电机的数量，采用了联杆结构。在第1章中制作的脚，以后各章都要继续使用。每章都会让机器人成长，最终成为能直进、后退和转弯的双足步行机器人。

在第1章制作的脚，将是以后各章的基础，所以请务必正确地制作。

1.1 人的步行分析

在地球上，能用双足自由活动的生物是什么？对，是人。无论其他任何动物还是高性能的双足步行机器人，其步行都远远不及人。持续步行数百万年的人类是双足步行者的老前辈。在制作双足步行机器人之前，先让我们观察一下人的步行情况。

图1.1是把人步行时的姿势摄影后又剪辑而成的连续静止画像。为了便于理解，把步行时的动作稍微夸大了一些。

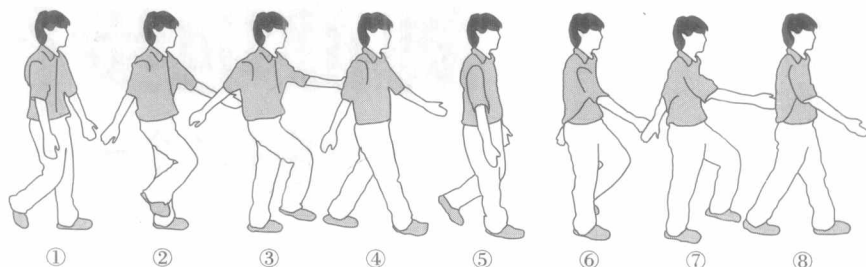


图1.1 从人的步行摄影中，捕捉的画像

仔细看一看图1.1，分析人的双足步行情况：

分析1 步行是右脚向前迈出后，左脚再向前迈出的重复进行。(①~⑧)

分析2 右脚向前迈出时，上提右脚。(②、③)
左脚向前迈出时，上提左脚。(⑥、⑦)

分析3 右脚向前迈出时，只用左脚支撑身体。(②、③)
左脚向前迈出时，只用右脚支撑身体。(⑥、⑦)

分析4 右脚迈向前方的同时，左脚留在后方。(③、④)
左脚迈向前方的同时，右脚留在后方。(⑦、⑧)

大家是如何分析的呢？我想一定能列举出很多的分析结果，比如膝盖的弯曲方法、胳膊的摆动方法、后足的蹭地方法等等。如果有时间，也可以对快走和跑步进行动画摄影，自己进行分析一定更有意思。

1.2 脚的结构

1.2.1 切比雪夫连杆结构

让我们以前节中对人的步行分析为基础考虑一下脚的结构吧。

为了让机器人实现人的步行姿势，在足部的可动部位可考虑用电机来替换。这样，膝盖上、腰上等部位也要放上电机，需要的电机数量很多，如图1.2所示；所需的费用相应也大，并且对各个电机的控制也变得复杂起来，这对初学者来说，需要越过的门槛也增多了。

为此，要理解步行原理就应尽量减少电机的数量，制作简单、费用低的双足步行机器人。

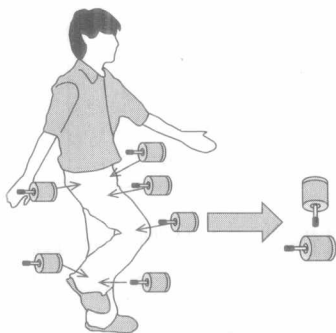


图1.2 电机的数量很多

为了能在减少电机数量的情况下实现步行动作，这里采用连杆结构。

连杆结构应用于各种产品中，比如掘土机。其中有一种名叫切比雪夫的连杆结构。也许你没有听到过此名，但在《机器人竞赛杂志》No.57 (ohmsha发行)《用LEGO MINDSTORMS制作(技术上篇)》中便使用了由切比雪夫连杆结构和平行连杆组合后的结构，我想一定有不少人看到过吧？在双足步行机器人格斗竞技大会ROBO-ONE第一次大会上获胜的机器人“TA-17”的脚，也使用了这种结构。

这种结构如图1.3所示。深色部分为切比雪夫连杆结构，浅色部分是平行连杆结构。因各杆都是连杆，所以又称为“节”。切比雪夫连杆结构是由原动节、静止节、中间节、延长中间节及从动节组成，原动节的转动可使中间节、延长中间节、从动节进行规定的动作。如果把原动节的长度比作1，其他

各节的长度则见表1.1。

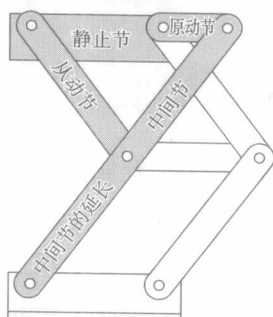


图1.3 切比雪夫连杆结构

表1.1 切比雪夫连杆结构各节的长度比

原动节	1
静止节	2
从动节	2.5
中间节	2.5
延长中间节	2.5

如果把图1.3的结构用作机器人的脚，则切比雪夫连杆结构（深色部分）负责把脚抬起并向前迈出的动作，而平行杠杆结构（白色部分）则使脚面与地面保持平行。这种结构的动作情况可用图1.4来表示。

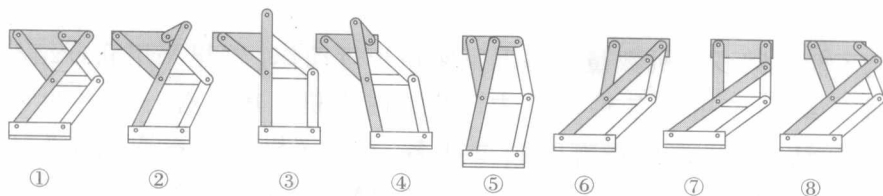


图1.4 切比雪夫连杆结构与平行杠杆结构组合的动作

和图1.3比一比便明白，由于原动节的转动，使中间节、延长中间节、从动节按规定的动作运作。再者，想必大家一定注意到了，平行杠杆部分使和延长中间节相连接脚面与地面保持平行。与图1.1中右脚的动作对应起来看一看。

图1.4的①~④是脚向前迈出的动作，⑤是脚着地的动作，⑥~⑧则是脚落在后边时的样子。

在本书中制作的双足步行机器人的脚将采用切比雪夫连杆结构，在双脚上配置切比雪夫连杆结构后的形象如图1.5所示。使原动节转动，其他节（杠杆）就可按规定的动作运作，做出图1.4那样的步行动作。

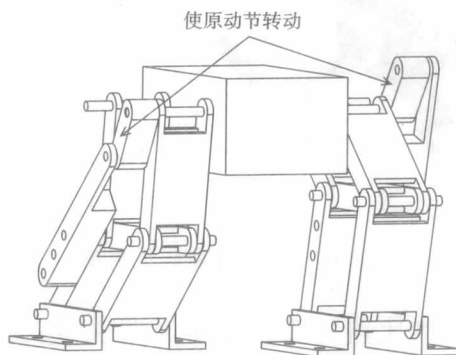


图1.5 两脚的切比雪夫连杆结构

1.2.2 传递动力的电机齿轮箱

我们来确定图1.5中切比雪夫连杆结构中，使原动节转动的原动力。

通常把发生动力的装置称为往复运动汽缸，但这里用直流电机作为使原动节转动的原动力。在往复运动汽缸中还有气压缸和油压缸等等，其对运动的机器人来说是不可缺少的要素。

直流电机也是被经常使用的动力，但如果直接使用的话，转速过快，一般用齿轮进行减速。

本书中的机器人用田宫的4速曲柄齿轮箱作为减速齿轮。此齿轮箱的减速比可以从126:1的高转速到5402:1的高力矩低转速进行4种选择，非常方便。另外，这种齿轮箱附带有曲柄杆，可以作为切比雪夫结构的原动节使用，如图1.6所示。

在此处，用于原动节的曲柄结构可以把转动变成往复直线运动，也可反过来把往复直线运动变成转动，是经常被使用的一种结构。本书中要制作的双足步行机器人，需要把原动节的转动变成中间节的往复运动。

在第1章中使用于脚的减速齿轮，其减速比为441:1，请参考组装说明书，按4速曲柄齿轮箱的B型进行组装。

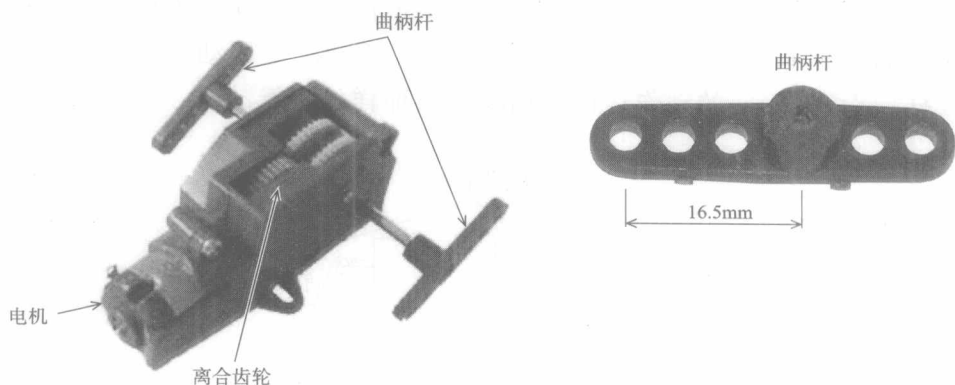


图1.6 田宫4速曲柄齿轮箱

在说明图1.3所示切比雪夫连杆结构时曾说过,原动节、固定节、从动节、中间节、延长中间节的各个长度之间都存在一定的关系。

本书中的机器人,把4速曲柄齿轮箱所附带的曲柄杆用于切比雪夫连杆结构的原动节。测定一下,它的长度为16.5mm。原动节的长度一旦确定,其他节(杠杆)的长度便能确定下来,机器人脚的尺寸也可确定下来。

本书中制作的双足步行机器人的各节(杠杆)的长度见表1.2,请再次和图1.3~图1.5比较。

表1.2 本书中制作的双足步行机器人的各节的长度

切比雪夫连杆结构中各节的长度比		本书中的机器人所使用的长度	
原动节	1	原动节	16.5mm
静止节	2	静止节	33mm
从动节	2.5	从动节	41.25mm
中间节	2.5	中间节	41.25mm
延长中间节	2.5	延长中间节	41.25mm

1.3 基础脚的制作

1.3.1 材料及加工方法

确定脚的结构后便是加工制作,首先要确定使用何种材料。在第1章制作脚时所需要的材料见表1.3。笔者当初使用的是丙烯材料,但丙烯材料脆性大、不易加工,开孔时经常因材料破裂而失败。后来使用了名为ABS的材

料,它是塑料的一种,易加工、价格适中,也有足够的机械强度,手感比丙烯柔软。也许你会有些不安,但请放心使用:若是一张平板,很容易弯曲;但做成立体结构的话,就有足够的强度,完全可以用作脚的材料(请参考图1.7及“实验·理解:形状和强度”)。使用ABS材料的最大理由还是易于加工,如果实在需要提高强度的话,也可以使用一部分铝。金属!请不要吃惊,只是很薄的铝片,不难加工。

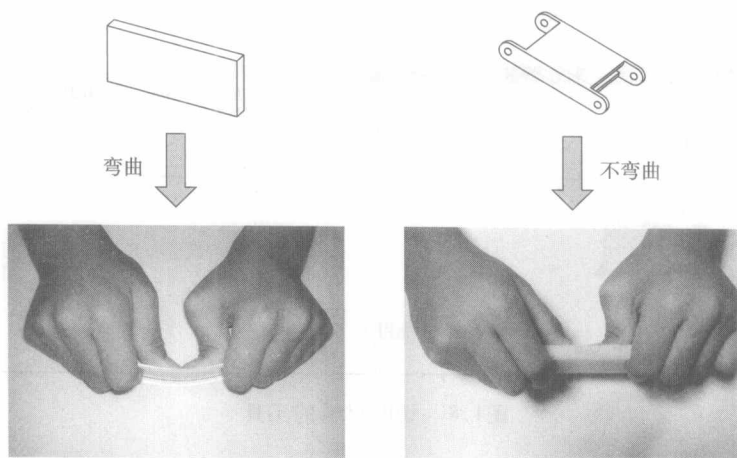


图1.7 在形状上想办法增加强度

表1.3 在第1章制作脚时所需要的材料

品名	规格	数量	购买地点	单价/日元
ABS板	330×245, 厚2.0mm	1	东急HANDS	546
方形铝管	1m, 10×10×1.0 (A6063)	1	东急HANDS	620
角铝	1m, 12×12×1.2 (A6063)	1	东急HANDS	370
支撑柱	φ3.1×22	2	铃商	10
M3螺钉	M3×30	16	商店	5
M3螺钉	M3×12	10	商店	5
M3螺母	M3	28	商店	5
垫片	M3	8	商店	5
ABS粘接剂		1	东急HANDS	203
田宫齿轮箱	4速曲柄齿轮箱	1	模型店	570
黄铜圆杆	φ3×300mm	1	商店	100
带开关的电池盒	3号×2节	1	秋月电子通商	60

其次是加工方法。如果是在工业职业高中或大学的工学部,制作器械和测量工具齐全,本书的机器人可精确、短时间地制作出来。然而,本书的目的就是在不具备制作环境的业余条件下也要能制作出双足步行机器人。因此,让我们

用商店里能买到的工具来制作双足步行机器人,如图1.8~1.10所示。



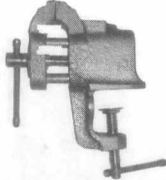
 <p>■塑料切断刀</p>	<p>用塑料切断刀切断ABS。 直线切断时要使用尺子。 尺子可以是铝制的,也可以是钢制的。</p>
 <p>■锉</p>	<p>用锉去切断后的毛刺。 按曲线加工ABS时,先用剪钳剪去带有角度的部位,再用锉锉平。</p>
 <p>■虎钳(台式虎钳)</p>	<p>虎钳是剪断铝材和开孔时是必不可少的工具。因为加工的铝材较薄,可购买较便宜的虎钳。</p>

图1.8 切断材料的工具

 <p>■电钻·底盘铰刀</p>	<p>用电钻在ABS和铝材料上开孔。 使用的钻头直径为3mm、3.2mm、4mm、6mm、8mm,使用时注意不要碰伤。另外,开6mm以上的孔时,用底盘铰刀(3~10mm)比较安全。</p>
 <p>■中心打孔机</p>	<p>为了使孔的位置准确,开孔前可用此工具在开孔处打上记号。 把中心打孔机的尖端对准要打孔的位置,再用锤子打上记号。</p>
 <p>■自动打孔机</p>	<p>自动打孔机比中心打孔机的价格高,但使用方便。</p>

图1.9 用于打孔的工具