

21世纪国家级工程训练中心创新实践规划教材



慧鱼创意机器人 设计与实践教程

(第二版)

曲凌 编著

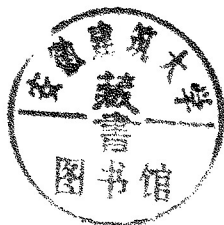


上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

21世纪国家级工程训练中心创新实践规划教材

慧鱼创意机器人设计与实践教程

(第二版)



曲凌 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书以慧鱼构件为基础,系统介绍创意机器人制作所涉及的基础知识、主要构件组成、机器人机构的设计、控制程序开发环境 ROBO Pro 的使用和 PLC 控制等问题,并配以相应的练习题和一些作品实例。读者通过阅读本书,可从零基础开始,达到最终能够设计和动手制作出功能各异、形象生动的各类创意机器人。

本书在编写过程中,以德国慧鱼公司的基础产品作为主要控制对象,结合大、中学校创新实践课程改革,强调自主创意、动手实践、机电控制、传感器等多项技术综合,具有一定的先进性、启发性和实用性。

本书可作为使用慧鱼教具教学的高等院校机器人设计与制作等选修课教材,也可作为喜欢制作简易机器人却没有任何理论和实践基础的各界爱好者的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

慧鱼创意机器人设计与实践教程/曲凌编著. —2版. —上海:上海交通大学出版社,2015
ISBN 978-7-313-11841-7

I. 慧... II. 曲... III. 机器人—制作—教材 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 175163 号

慧鱼创意机器人设计与实践教程

(第 2 版)

编 著:曲 凌

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:太仓印刷厂有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

字 数:217 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版 2015 年 5 月第 2 版

书 号:ISBN 978-7-313-11841-1/TP

定 价:29.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:11.75

印 次:2015 年 5 月第 2 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-53522925

前言

近年来,机器人学作为一门结合机械、电子、计算机技术等多门学科知识的新兴学科,受到越来越多的学生欢迎。很多人在理论上都表现出对机器人的浓厚兴趣,但是当真的要动手制作时,却经常发现无处下手,相关教材或者是理论太深,或者是制作过程繁琐,本书是在创新实践的基础上,对于如何引导新手接触机器人这一领域所做的一些探索。

对于从未制作过机器人的读者来说,如果所有涉及的材料全部要自己动手,从头开始加工制作,恐怕并不是一件容易的事情。而要想在这种制作的环境下,迅速地理顺机器人复杂的组成结构,熟练地通过各种方法,设计出既富有创造力和想象力又合理美观的作品,更是难上加难。另外,机器人作为机电高度结合的产物,即使有深厚的机械基础,如果对于电路设计以及控制程序的开发环境一窍不通,同样意味着作品无法实现,制作起点太高,往往是在体会到成就感之前,就已经放弃了,这也是很多人想做却始终无法开始做的原因。

为了想办法降低初学者的入门门槛,使之通过简单的学习,就可以很容易的作出机器人成品来,体验到作品完成时的喜悦,这里走了一条捷径,使用慧鱼教具作为辅助,读者只需要掌握慧鱼零件的特点,熟悉组装和搭建的规则,就可以利用慧鱼各种构件成品材料,熟练搭建各种机器人模型。另外,通过学习与之相配套的开发环境 ROBO Pro,掌握其流程框图式的编程原理和技巧,按照提出的要求编写出相应的控制程序,就能够让机器人作品实现设定的动作。

使用慧鱼构件,不仅仅是为了通俗易懂,降低机器人制作的起点,同时也提供了一种特殊的学习模式:在任务驱动下一边动手制作,一边学习相关知识。机器人制作的过程,也是一个不断思考的过程,从对零件外形和特点的学习到典型机构的设计,从零件组合的技巧到特殊功能的实现,从功能模块的选择到逻辑顺序的安排,每时每刻都会出现新的问题,而且都不是脱离实际的抽象问题,明确的目标激励人们主动地去找答案、解决难题,制作者也掌握了相关知识点,最后既得到满意的作品又学到足够的知识,这种快乐的学习方法,也正是本书所追求的效果。

轻松完成第一个机器人作品,让更多的人体会到动手制作的快乐!

本书由四部分组成:第一部分,简述机器人的基础知识;第二部分,讲解慧鱼机器人结构制作相关知识;第三部分,介绍开发环境和控制程序的编写方法;第四部分,主要是慧鱼机器人制作的练习题和其他控制方式的扩展。各部分的内容相对

独立,读者可根据自己的需要有选择地阅读。

在机器人构造的讲解以及作品示范中,本书选择慧鱼(Fischertechnik)主要是基于以下几点考虑:

1. 简易性

慧鱼构件中已经包括很多组装机械结构的零件,如齿轮、转轴、链条等,都可以直接使用,不需要花费大量的时间和精力单独制作。采用这些构件完全可以从零开始设计并搭建各种机构,另外其自带的可编程控制软件,极大方便了读者体验机器人从设计、制作到程序编写、调试的全过程。

2. 灵活性

慧鱼构件种类繁多,可以反复拆装,无限扩充,其组合方式灵活,利于创新。

3. 牢固性

慧鱼构件质量和制造工艺比较高,是为了工程人员设计和布置厂房而开发的拼装模型,每个零件都有相互固定用的衔接点,因此该构件擅长各种机器人尤其是工业自动化机器的组装,并且搭建的框架结构具有极高的稳固性。

4. 产品的系统性

慧鱼构件是按照产品主题进行分类的,每一类都有不同的侧重点,在制作的同时亦可以系统地学习该领域内的知识,例如,机器人组合包主要包括编程实验、移动、工业、气动、仿生等几大类,本书以最具代表性的实验、移动和气动机器人系列为主,介绍慧鱼机器人基本的组成和制作过程。

通过本书的学习,不仅要学会跟着本书进行机器人的设计和制作,更重要的是培养一种创新意识,学会工程设计和发明方法,要通过自己的创意将各种零件组装起来。

当然,机器人的结构制作不只局限于慧鱼构件,也可以使用乐高(LEGO)组件或购买散装元件甚至自己加工零件制作机器人。不论采用何种方式,关键是要自己去发现和创造,超越本书中所给的范围,向更高难度挑战。

本书在编写的过程中,感谢何应达和季珉杰为书中的实验做了增补和论证,此外得到北京中教仪人工智能科技有限公司的授权,参考并引用了慧鱼搭建手册和ROBO Pro 操作手册等慧鱼产品的资料,由于作者水平有限,书中存在的不足之处,恳请读者给予批评和指正。

编 者

2014年4月

目 录

第 1 章 机器人基础	1
1.1 机器人名字的由来	1
1.2 什么是机器人	1
1.3 机器人的发展	2
1.4 机器人的主要用途	3
第 2 章 初识慧鱼机器人	6
2.1 慧鱼简介	6
2.2 基本构件	6
2.3 主要电气元件	10
2.4 主要气动元件	14
2.5 控制器	16
2.6 遥控装置	21
第 3 章 机构设计	25
3.1 零件的装配	25
3.2 传动机构	29
3.3 机构与动作	37
3.4 导线的制作	41
3.5 基本走线方法	42
第 4 章 ROBO Pro	43
4.1 ROBO Pro 的安装	43
4.2 安装 USB 驱动程序	44
4.3 常用菜单命令	46
第 5 章 快速入门	51
5.1 快速元件测试	51
5.2 组建机器人模型	56
5.3 新建控制程序文件	58
5.4 功能模块	59

5.5	连接线	61
5.6	程序的调试及下载	62
5.7	熟悉和使用软件编程	64
第6章	模块组	79
6.1	编程模块	79
6.2	操作模块	103
6.3	TX 显示屏模块	106
6.4	自我测试	107
第7章	实验练习题	113
7.1	实验机器人	113
7.2	移动机器人	131
7.3	气动机器人	140
7.4	机器人综合运用	148
第8章	机器人的作品实例	150
8.1	慧鱼立体仓库设计与制作	150
8.2	机器人的 PLC 控制	154
附录1	慧鱼机械模型	160
附录2	确定机器人设计的主题	166
附录3	作品自评标准	169
附录4	ROBO TX 控制器设置菜单	170
附录5	ROBO Pro 常见错误信息	174
附录6	蓝牙连接 ROBO TX	176
参考文献		179

第1章 机器人基础

说起机器人,脑海中首先闪现的是什么景象呢?钢筋铁骨的人形机械?而实际上,要制作机器人,首先对机器人要有一个正确的概念,机器人的存在状态可并不一定是人形的。通过对本章的阅读,读者将会对机器人家族有一个更广的定义,基于这种全新的理解,了解机器人的发展状况以及主要应用领域,同时为机器人制作提供一些参考主题。

1.1 机器人名字的由来

“robot”这个词,也就是通常我们说的机器人,由捷克文 robota 转变而来,来源于1920年捷克剧作家雷尔·查培克(Karel Capak)写的一出名为《洛萨姆万能机器人公司》(Rossums Universal Robots)的幻想剧,剧中描述了一个能制造类人机器人的公司,该公司出售这种类人机器,把它们当做奴隶服务于人类,它们本来被设定为按照主人的指令工作,但最终却失控,反过来变成人类的威胁,在这里首次出现了 robot 这个词,意指“用人手创造的劳动者”。

从此,各国都援引此词的读音——“罗伯特”来称呼这种由人制造出来的能执行某种指令的自动机器,我国则采用该词的意译——“机器人”。

由于我们把它称为机器人,再加上科幻小说和电影中接触到的它大多非常接近人的形象,因此许多人会误解为机器人应该就是一种类人的自动机器,至少要有人的形状。实际上在生活中出现的机器人长得并不一样,大部分机器人家族的成员,例如,很多工业机器人甚至一点像“人”的结构都没有,但是它们也是机器人。

对于机器人这个专用名词,不能只是从字面上来理解,要深入本质分析它的构成和运行原理。

1.2 什么是机器人

机器人的定义,每个人的理解均有所不同,例如,英国伦敦大学斯林(Meredith Thring)教授就认为机器人至少有一只手和一个臂;能自行推动和自行转向;有配套的动力系统和控制系统;有能容纳一定数量指令的存储器;有各种传感器能识别对象和环境。日本早稻田大学加藤一郎教授则认为机器人要由有意识的头脑、工

作的手、移动的脚步、接受感觉的各种传感器这几个要素组成。

从这些定义也可以看出,大部分人对于机器人的理解还是基于“人”这个结构的,要求它具备与人接近的功能,但实际上,生活中使用的大部分机器人并不符合这一概念。

例如,目前我们技术上最成熟、应用最广泛的工业机器人,让人第一眼望去,往往都无法将它们和“人”联系起来。随着机器人在各国的发展,为了方便国际间的交流,国际标准化组织于1983年12月着手组织专门委员会来制定有关机器人的技术标准,1988年ISO给工业机器人下了一个统一的定义:“是一种能自动控制,可重复编程,多功能、多自由度的操作机。”目前国际上大多遵循ISO的定义。

到目前为止,机器人仍未有一个统一而清晰的概念,为了便于理解机器人的各组成部分,我们可以用人的主要功能类比机器人,如表1-1所示。

表 1-1 机器人主要功能

功能	人	机 器 人
身体支撑	骨骼	机械结构,如连杆和关节(实现相对运动的部位)
提供动力	肌肉	电动(交、直流电机)、气动(气缸)、液压(液压缸)等驱动装置
任务操作	手脚	末端执行器、车轮
感知环境	感觉器官	传感器,如触动、光电、温度、角度、感觉、接近、图像、语音识别等
智能计算	大脑	控制系统,包括硬件(控制器)以及软件(编程开发环境)
信息表达	嘴	灯、喇叭、发光二极管等输出元件

但机器人终究不是人,它并不一定要有人的形态,也不要求必须具备表1-1中列出的所有组成部分,它是一种机械和电子相结合的自动化机器,为实现某些功能,可以根据人类的需要编写相应程序,我们在学习和制作机器人的时候,要首先明白这一点。

1.3 机器人的发展

从机器人技术的发展水平来看,机器人主要经历了简单可编程机器人、低级智能机器人和高级智能机器人三代。

1.3.1 简单可编程机器人

简单可编程机器人是第一代的机器人,能根据人们设定好的程序按照一定的顺序和路径实现73B0动作。若要更改机器人的动作,只需重新编写控制程序即可。目前大部分工业机器人都属于这类,它能分担人类的部分工作,但是它只是按照人预定的指令动作,不会感知所处的环境,更不会因为环境的变化而随时做出

反应。

1.3.2 低级智能机器人

低级智能机器人是第二代的机器人,相比较第一代的机器人,它增加了一些用于感知环境的感觉装置,因此也可以称作感觉机器人。第二代的机器人可以感知到环境的简单信息,并可根据某些参数的变化进行一些分析计算,改变自身的行动。这一代的机器人已经具备了一定的自适应能力,一旦外界环境有变化,也可以做出某些反应,极大地提高了机器人的灵活性。

1.3.3 高级智能机器人

高级智能机器人是第三代的机器人,它不但具有第二代基本的感知设备和自适应能力,还能够识别工作对象和所处的环境,并根据人的指令和自身的判断结果自动确定当前环境下相应的动作。

目前对此类机器人反应能力的研究,主要集中在如下三方面:

- (1) 对环境的感觉能力。
- (2) 对环境的作用能力。
- (3) 对环境、作业的思考能力。

这类机器人不但具有各种超强能力,如计算能力、体力、耐力等,还结合了人类灵活的反应能力和智慧。相信通过我们的不懈努力,这种人类所幻想的会自主学习的“万能机器人”最终会成为现实,到那时,也许如何好好利用它们将是人类面临的又一问题。

1.4 机器人的主要用途

机器人目前正广泛地应用于日常生活、空间探索、军事应用和工业生产等各个领域,随着科学技术的发展,自动化程度不断加深,应用的范围也在不断地扩大。在实验、采矿、冶金、农业、林业、畜牧业、纺织、食品制造等各个行业,我们看到了越来越多的机器人的身影。

1.4.1 日常生活领域

在生活领域,机器人主要用来提高人们的生活水平,丰富日常文化和娱乐生活。进入21世纪,随着科学的进步和技术的成熟,机器人家族将有更大的发展。

这里介绍几种生活领域中常见的机器人。

家政服务机器人:可以辅助甚至是代替人类从事打扫房间、做饭、倒垃圾、家庭

看护等家务工作。

导游机器人:在旅游业中具有发展潜力,例如,能识别障碍和自主规划路径,可以记住大量导游词,讲解精确到位,重复性强,“体力”充沛,能代替导游 24 小时工作。

表演机器人:这类机器人主要用于丰富人们的娱乐生活。通过设定程序,让各式各样的机器人表演各种可看性强的动作。例如,吹笛子机器人、弹电子琴机器人等。

教学机器人:可以在教学领域中使用,通过对一系列的动作指令的学习,让学生自主编程,控制机器人实现某些预定的动作或者创意动作,巩固所学知识,在实践中体会对机器人的控制。

机器人宠物:例如,1977 年日本索尼公司推出的机器人小猫,不仅能自动躲避障碍,还可以将猫的各种动作,如伸懒腰、趴下、玩球等,模仿得惟妙惟肖,很适合那些喜欢玩宠物却又不懂得如何养宠物的人。

仿人形机器人:日本在这方面的研究很多,除了仿制人的外形,还可模仿人的动作、表情。比较典型的有索尼公司的 SDX-3X、本田公司的 ASIMO 和早稻田大学的 WABOT 等。2010 年世博会法国馆中展出的 NAO,也引起了很多人的关注。

1.4.2 空间探索领域

机器人用于空间探索,也是人们进行机器人研究的主要目的之一。这里的空间探索不仅是狭义上的对宇宙的开发,还包括其他任何对人类危险的环境或者是人类无法到达的地方,只要是人类想了解的,都是探索的目标。无疑机器人将成为辅助人们了解空间的有力工具。

星球探测车:可以探测太空中星球的气候及地质方面的数据,例如,美国 Rocky 火星探测车和我国的登月探测车玉兔。整个宇宙空间一直是人们想要探索的地方,但是那里的条件却不适合人类的生存,要想在那种恶劣的环境下进行各种研究,任务自然落在了能从事这种作业的机器人身上。这种机器人不光在体积、重量和能耗等方面有限制,还需要考虑适应高温、射线、失重等各种未知环境。

水下机器人:是一种可在水下移动能代替或辅助人完成各种水下作业的装置。主要用于水下搜索、拍摄、测量未知海域等工作。为了完成水下的任务,对于水下机器人的能源供给、耐压性、耐腐蚀等技术都有很高的要求。

管道机器人:可以在管道内行走,用来检查或维修管道。大部分管道或者是孔径太小,或者是里面的环境不适合人类生存,这时便需要由机器人来辅助完成各种作业。相似的还有隧道机器人等。

1.4.3 军事应用领域

军事保卫对国家的稳定发展至关重要,可以看到很多先进的特种机器人在军事上的应用。例如:

反恐防暴机器人:通常为遥控的移动机器人,有可旋转的或多个自由度的机械手,根据人的指令,进行相应的抓捕犯人、排除爆炸物等工作。

侦察机器人:可执行各种任务,如自主跟踪其他车辆越过各种障碍,深入敌方防线,收集声音、影像等有用的战斗情报,接收或破解敌方的通信并对其造成干扰和破坏等。

扫雷机器人:为了减少人员的伤亡,扫雷机器人用来代替士兵完成扫雷的任务。这种机器人通常要能适应各种复杂的地形,能到达任何步兵可到达的地方。

自主式车辆:为地面军用机器人的一种,要求有很高的灵活性,对各种意外的情况都要能尽快地适应,并且做出适当的反应。由于不需要与控制台进行频繁的指令交换,行动中就不容易被敌人干扰和破解。

机器人军团:将不同功能的机器人进行分工,组成军团。如后勤、侦察、甚至是在各种险恶环境中进行活动。

1.4.4 工业生产领域

工业生产也是目前最广泛使用机器人的领域,因为机器人的出现,将人类从枯燥重复的、繁重的生产劳动中解放出来。工业上甚至有些生产环境是有害健康的、危及性命的,工业机器人替代人类成为这里的主要劳动力,也是将来的发展趋势。现在已经有多种机器人站上了这生产的第一线,例如:

装配机器人:这类机器人主要应用于大规模电子产品制造过程中,例如,装配流水线上用于装配芯片和各种元器件的机械手,动作精准、效率高,是加工电路板的主力军。

分拣机器人:根据物件在大小、重量、厚度或颜色等方面的不同,将它们区分开来,分类放置到合适位置。使用该机器人可以大大减少工人的工作量,并提高分拣效率和分拣精度。

搬运机器人:例如,光电或电磁导引的自动小车 AGV(autonomous guided vehicle),可以在无人车间或自动仓库内移动,自动搬运工件或物品。

喷涂机器人:已经广泛用于汽车、家电和各种塑料制品外表的喷涂作业。由于喷涂过程中的雾状漆料对人体有害,喷涂环境不易改进,大量使用机器人可以更好地改善劳动条件、降低劳动成本。

焊接机器人:包括弧焊接机器人和点焊接机器人,在汽车、通用机械等很多行业都有应用,可保质保量地完成生产加工任务。

第2章 初识慧鱼机器人

本书采用慧鱼教具辅助机器人制作。本章将介绍慧鱼的特点和慧鱼的各种基本构件,使读者对慧鱼的组成有初步的了解,为开始动手设计和制作机器人奠定基础。

2.1 慧鱼简介

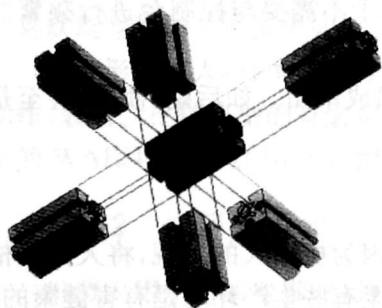


图 2-1 慧鱼创意组合模型

1964年,慧鱼公司的创始人 Artur Fischer 博士从他的专利——六面拼接体开始,发明了“慧鱼创意组合模型”(见图 2-1)。该模型是工程技术型模型,能够展示科学原理和技术过程,为工厂研究设计工业自动化机器提供模拟、示范。

采用慧鱼构件进行机器人创意制作,主要经历如下 4 个阶段:

(1) 培养手感阶段。在这一阶段中,能熟悉慧鱼的各种构件,掌握结构特点并锻炼用双手熟练拆装。

(2) 模仿阶段。在这一阶段中,使用搭建手册来辅助,按照手册上的顺序制作标准慧鱼机器人模型,学习各种经典的机构组合方式。

(3) 改进阶段。在这一阶段,通过积累的慧鱼组合经验,在标准机器人的基础上进行改进,使之更简化或者能实现更多的动作,从而制作出不同的机器人,培养想象力和创造力。

(4) 创新阶段。在前三个阶段的基础上,将所有知识综合运用,摆脱搭建手册的约束,创造出具有新的机构和功能的机器人。

下面,就从认识慧鱼构件出发,开始机器人设计与制作的第一步。

2.2 基本构件

慧鱼机器人采用模块组合技术,其主要特点是通过大量的结构和功能各异的零件为搭建的基本单元进行机构拼装,其中基本构件主要用于支撑、固定和连接,

是制作慧鱼机器人身体最基础最常用的零部件。基本构件采用燕尾槽插接的方式连接,可多次拆装,为了能组合成各种结构模型,慧鱼已开发出 1 000 余种零件,以下是为实现特定的功能而经常使用的 10 种类型:

1. 六面拼接体

六面拼接体主要用于支撑和固定机器人框架(见图 2-2),可以从六个面进行拼装,主要根据不同长度进行种类细分,有的拼接体中间开孔,如图 2-3 所示,常用于与轴类零件组装。



图 2-2 六面拼接体

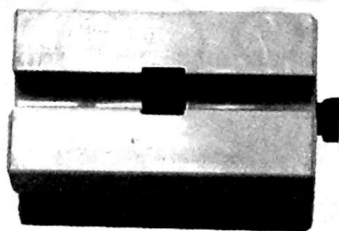


图 2-3 带孔的六面拼接体

2. 板型构件

板主要用来平滑表面、制作平台和外形装饰,板的厚度比较薄,呈片状,种类可根据不同长度和宽度进行细分,如图 2-4 所示。

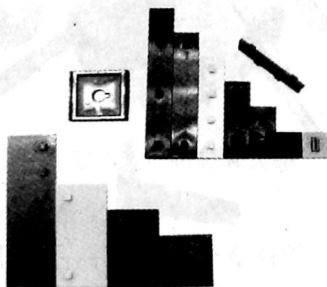


图 2-4 板型构件



图 2-5 块型构件

3. 块型构件

块比板稍厚,能实现多个面的拼装,主要用于固定和小型机器人框架搭建,如图 2-5 所示,组合使用不同薄厚、大小和角度的块,能制作出特殊的外形效果。

4. 轮型构件

轮主要用做滑轮和轮毂(见图 2-6),可根据直径和材质来细分,此外,有些轮结构所具有的特殊外形还可以用来实现特别的功能,如图 2-7 所示的轮型构件,如果配合接触式开关,就可以记录轴转动的圈数。



图 2-6 轮型构件

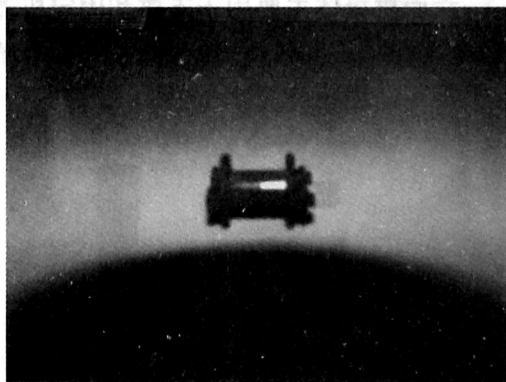


图 2-7 带计数功能的轮型构件

5. 轴

轴主要用来连接各种运动部件,主体结构是断面为圆形的细长杆,棒状(见图 2-8),可根据不同长度进行细分。此外,还有一种固定了小齿轮的轴以及蜗杆,如图 2-9 所示,常用于与电机的减速齿轮箱配套使用,是传递动力时必不可少的构件。

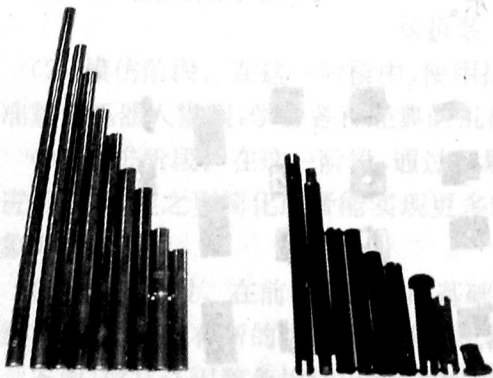


图 2-8 轴

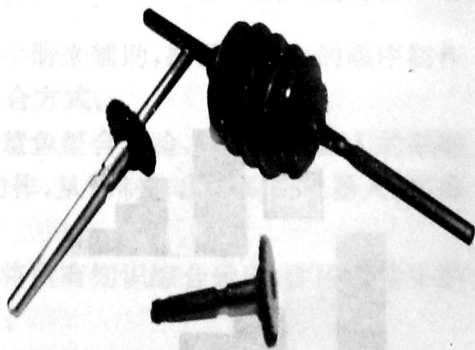


图 2-9 带齿轮的轴

6. 轴套与紧固件

轴套与紧固件都是内孔为圆形的零件,轴套是可以套在轴上自由活动的短圆柱,挡圈可以紧固在轴上,防止装在轴上的其他零件窜动(见图 2-10)。慧鱼构件中,还有一种特殊的紧固件,如图 2-11 所示,左列与右列的零件成对使用,带内外

螺纹,通过旋转紧扣在轴上,可以将自身或齿轮等基础构件固定在轴上,随轴转动,安装时一定要注意旋紧,否则会有打滑的现象出现。



图 2-10 轴套与紧固件

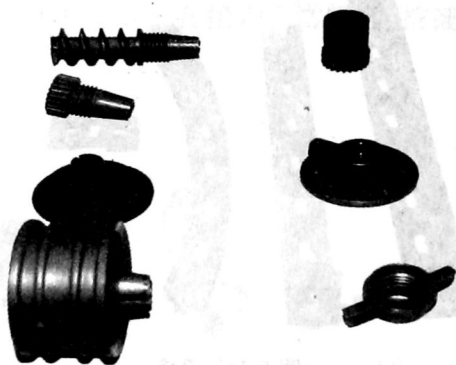


图 2-11 成对使用的紧固件

7. 齿轮和齿条

齿轮主要用于传动,可以用来改变轴的方向或改变轴转动的速度,主要根据模数和直径来细分(见图 2-12),相同模数不同直径的齿轮可以相互啮合。与齿轮相对应使用的齿条有两类,其常用的啮合方式如图 2-13 所示。

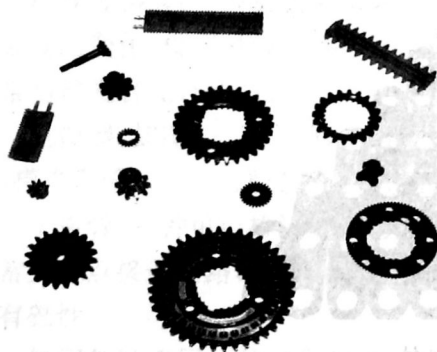


图 2-12 齿轮和齿条

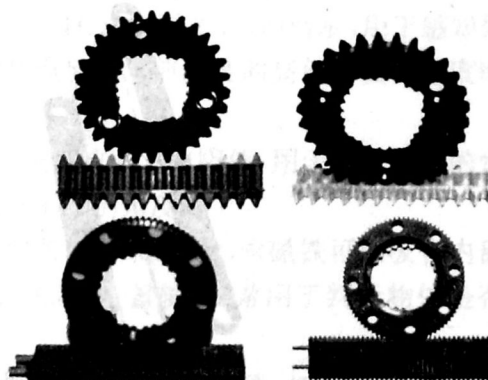


图 2-13 齿轮齿条的两种啮合方式

8. 孔条

孔条是一种中间分布有均匀装配孔的条状构件(见图 2-14),经常用来支撑轴和连接杆件,或用做弧形造型和装饰,如负重较轻,也可用作支撑柱承担六面拼接体的工作,使用范围广泛。

9. 连接件

连接件的个体通常比较小,在结构制作中起衔接和加固的作用,如图 2-15 所示,可以连接六面拼接体、块、轴等不同的慧鱼构件,有固定连接和活动连接两种,

可用于轴的延长、关节活动和构件固定。

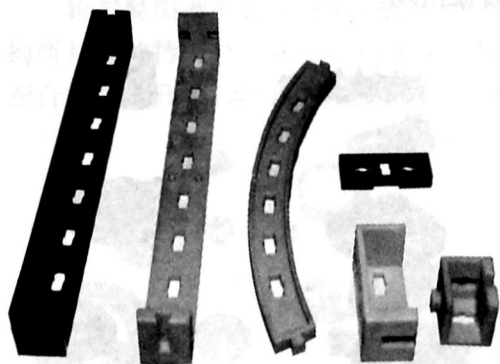


图 2-14 孔条

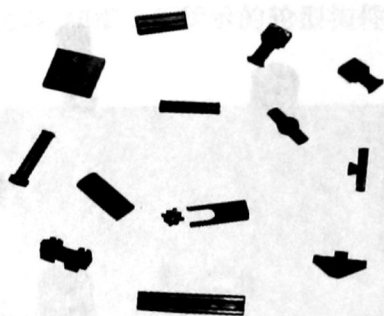


图 2-15 连接件

10. 连杆件

连杆件为细条状,有均匀分布装配孔和仅在两端存在装配孔两种,如图 2-16 所示,可根据不同长度进行细分,主要用来实现各种机构,如连杆机构、凸轮机构等,以活动连接最为普遍,有时也可搭成三脚架用来稳固结构。

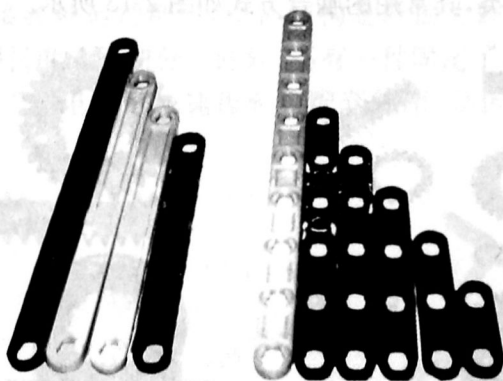


图 2-16 连杆件

2.3 主要电气元件

常用的电气元件包括 9V 双向直流电机、开关、光电传感器、温度传感器、干簧管、发光器件、电磁铁、可调直流变压器等。

1. 传感器

通过传感器,机器人可以进行感知,从而做出反应,这对机器人起着至关重要的作用,下面介绍几种慧鱼构件中常用的传感器。