

普通高中课程标准实验教科书·通用技术(选修3)

简易机器人制作

教师教学用书

河南省基础教育教学研究室
河南科学技术出版社

组编

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

总 主 编：傅水根

本册主编：刘 荣

编写人员：刘 荣 李大寨 王巍 于靖军 毕树生 周 强

责任编辑：李晓慧

美术编辑：黎隆安

责任校对：马晓灿

普通高中课程标准实验教科书·通用技术(选修3)

简易机器人制作教师教学用书

河南省基础教育教学研究室 组编
河南科学技术出版社

★

河南科学技术出版社出版发行
(郑州市经五路66号)

邮政编码：450002 电话：(0371) 65737028

河南新华印刷集团有限公司印刷

全国新华书店经销

★

开本：787 mm×1 092 mm 1/16 印张：8.25 字数：216 千字

2005年9月第1版 2016年1月第3次印刷

ISBN 978-7-5349-3406-3

定价：12.40 元

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

目 录

《简易机器人制作》简介	(1)
第一章 走近机器人	(13)
第一节 机器人世界	(14)
一、教学目标	(14)
二、结构分析	(14)
三、教学建议与说明	(14)
四、参考资料	(16)
第二节 机器人的结构特征与简易机器人平台	(18)
一、教学目标	(18)
二、结构分析	(18)
三、教学建议与说明	(19)
四、参考资料	(20)
第三节 简易机器人设计	(23)
一、教学目标	(23)
二、结构分析	(23)
三、教学建议与说明	(23)
四、参考资料	(25)
第二章 简易机器人的大脑——单片机	(29)
第一节 什么是单片机	(29)
一、教学目标	(29)
二、结构分析	(30)
三、教学建议与说明	(30)
四、参考资料	(32)
第二节 单片机的基本原理	(34)
一、教学目标	(34)
二、结构分析	(34)
三、教学建议与说明	(35)
四、参考资料	(38)
第三节 单片机的开发环境	(40)
一、教学目标	(40)
二、结构分析	(40)
三、教学建议与说明	(40)
四、参考资料	(41)

第四节	图形化语言编程	(42)
一、	教学目标	(42)
二、	结构分析	(42)
三、	教学建议与说明	(43)
四、	参考资料	(46)
第五节	C 语言编程	(56)
一、	教学目标	(56)
二、	结构分析	(56)
三、	教学建议与说明	(57)
四、	参考资料	(67)
第三章	简易机器人的控制系统	(71)
第一节	简易机器人控制系统的组成	(71)
一、	教学目标	(71)
二、	结构分析	(72)
三、	教学建议与说明	(72)
四、	参考资料	(74)
第二节	简易机器人常用传感器	(78)
一、	教学目标	(78)
二、	结构分析	(78)
三、	教学建议与说明	(79)
四、	参考资料	(81)
第三节	简易机器人常用输出元件	(82)
一、	教学目标	(82)
二、	结构分析	(82)
三、	教学建议与说明	(82)
四、	参考资料	(84)
第四章	简易机器人的机械系统	(90)
第一节	机械系统的组成	(91)
一、	教学目标	(91)
二、	结构分析	(91)
三、	教学建议与说明	(91)
四、	参考资料	(92)
第二节	齿轮传动机构	(93)
一、	教学目标	(93)
二、	结构分析	(93)
三、	教学建议与说明	(93)
四、	参考资料	(95)
第三节	平面连杆传动机构	(98)
一、	教学目标	(98)

二、结构分析	(98)
三、教学建议与说明	(99)
四、参考资料	(99)
第四节 简易机器人机械系统的设计与制作	(101)
一、教学目标	(101)
二、结构分析	(101)
三、教学建议与说明	(102)
四、参考资料	(108)
第五章 简易机器人的制作与编程	(112)
第一节 高台灭火机器人的制作与编程	(112)
一、教学目标	(112)
二、结构分析	(113)
三、教学建议与说明	(113)
四、参考资料	(114)
第二节 巡线运球机器人的制作与编程	(116)
一、教学目标	(116)
二、结构分析	(116)
三、教学建议与说明	(117)
四、参考资料	(118)
第六章 机器人的反馈控制（选学）	(122)
一、教学目标	(122)
二、结构分析	(122)
三、教学建议与说明	(122)
四、参考资料	(124)

《简易机器人制作》简介

根据中华人民共和国教育部制定的《普通高中技术课程标准（实验）》，我们编写了普通高中课程标准实验教科书·通用技术（选修3）《简易机器人制作》，供高中学生使用。为了使大家更好地理解和使用该教材，现将该教材有关的编写情况做以下说明。

一、编写指导思想和原则

作为通用技术教材的选修模块，《简易机器人制作》与必修模块《技术与设计1》《技术与设计2》及其他选修模块一样，都遵循共同的编写指导思想和原则。

（一）基本理念

（1）关注全体学生的发展，构建比较适合社会发展要求的知识体系，着力提高学生的技术素养。

（2）加强学生实践能力的培养，注重学生创造潜能的开发。

（3）立足科学、技术、社会的视野，加强人文素养的教育和审美情趣的培养。

（4）紧密联系学生的生活实际，努力反映具有时代特色的先进技术和先进文化。

（5）丰富学生的学习过程，倡导学习方式的多样化，培养学生的团队精神。

（二）编写原则

（1）全面反映通用技术课程的基本理念。

（2）承接和体现必修模块《技术与设计》中讲述的技术设计原则与方法，将这些原则与方法在《简易机器人制作》的授课内容中予以具体体现。

（3）具有科学性和先进性。做到科学理论、技术原理、范例、数据等准确可靠，体现出当今先进的技术知识。

（4）注重对学生的安全教育，教材中使用的教具以及组织的活动都符合安全规范。

（5）具有较强的适应性。教材考虑到全国各地技术课程的教学现状和条件存在的差异。

（6）除了重视借助计算机提供的学习平台之外，还需要选择设计合理、价格低廉、运行可靠、通用性强的简易机器人平台，依托这样的平台来展开制作和教学活动。

（7）实践活动由简单到综合，符合学生的知识结构和认识规律，以及事物发展的螺旋式上升规律。

（三） 教学目标

（1）了解单片机的基本知识。

•知识性目标：知道单片机的特点及应用，了解单片机的基本组成及工作过程，会识别单片机集成电路的引脚，了解单片机的编程语言，掌握一种单片机常用的编程指令。

•技能性目标：学会用指令编制简单的控制程序，能根据试运行的结果对程序进行修改，能操作单片机编程器将编写的程序烧结固化。

（2）了解机械传动的基本知识。

•知识性目标：知道一般机械的组成，了解常见的机械传动方式，了解常见齿轮传动的特点、形式和应用，了解常见的连杆机构的结构及其应用。

•技能性目标：会计算简单的齿轮传动比，能按照装配图样安装简单的齿轮装置并进行调试，能设计和制作简单的连杆装置，能设计简单的电动机械并进行安装调试。

（3）能设计与制作由单片机和传动机械等组成的简易自动控制机器人或者自动控制系统。

•知识性目标：能设计和制作一个由传感器、单片机、继电器、电动机和传动机械等组成的简易机器人或者简单的自动控制系统，并能通过试验完成2~3个规定的动作。

二、 知识体系的构建

《简易机器人制作》选修模块的基本内容涉及简易机器人的设计及制作技术。

（一） 总体框架

本书内容共分为六章：“走近机器人”“简易机器人的大脑——单片机”“简易机器人的控制系统”“简易机器人的机械系统”“简易机器人的制作与编程”“机器人的反馈控制（选学）”。其中，前五章是《简易机器人制作》的基本内容，要求同学们必须学习掌握；第六章属于提高篇，由教师有选择性地安排有兴趣进一步深造的同学选学。

教材的内容安排遵循了“项目牵引”的方针。

技术类课程学习不是就技术学技术，而是以项目实施的形式，完成一件或者若干件制作，形成制成品来达到教学的目标。本书在第一章就开宗明义地向同学们提出了本课程最终应该完成的简易机器人制作项目，给予课程学习任务明确的定位，让同学们在学习的过程中始终瞄准这些目标。后面各章的内容均以既定项目为主线，将任务分解为一系列的技术过程或者技术环节，分别围绕如何配置机器人的传感器和输出元件，怎样设计制作机器人的机械系统，以及如何针对任务编写控制程序展开。

项目牵引的方式，也便于教师和学生双方共同具体地评价学习效果。

在教学活动的安排方面则遵循“以操作为主题”的原则。因为技能的获取是以每一位同学的亲身实践和个体经验为基础的，任何间接经验都无法代替通过熟练劳动与操作所掌握的技能，以及由此而产生的情感体验。本教材注意操作的难度由浅入深、任务由简到繁。这种安排使本教材的内容主干明确、脉络清晰，起到纲举目张的效果，便于学生领会项目设计的全过程，加深对课程的理解和认知。

具体内容和学时分配见附表。

（二） 具体内容的处理

教材编写的直接依据是课程标准。课程标准中关于《简易机器人制作》的课程设计思路如下：

《简易机器人制作》是基于计算机技术的学习平台、将机械传动与单片机的应用有机组合

的选修模块。该模块给学生提供了运用当代先进技术和先进思想方法进行设计、制作，以解决实际问题的机会。在具体内容的安排方面，本教材包括以下六章：

1. 走近机器人

以“走近机器人”作为本章的题目，意在从授课伊始，就给予学生贴近现实生活的感觉，和机器人产生亲近感。

进入本章，首先是给机器人正名，通过列举机器人在现实生活中的实际应用，如产品制造、大众服务和极限作业等，说明实用机器人并不是很多人头脑中的“超人”，而只是人类认识和改造自然的一种工具，并给出了机器人的定义。

在此基础上，进一步引出简易机器人的概念，比较了实用机器人与简易机器人在结构和功能上的异同，说明它们之间并没有本质的差别，同学们完全可以通过简易机器人制作活动掌握机器人的一些基本知识，为日后的进一步学习打下基础。在“实践活动”中，本教材安排制作一个简易机器人小车，它既是后续知识学习的载体，也使同学们在课程一开始就对机器人有一个初步的感性认识，激发他们的学习兴趣和求知欲望。

在第三节中给出了机器人设计制作的步骤，它较好地体现了与“技术与设计”模块的知识呼应。最后提出两个机器人制作项目，它们是本课程的主线，教材后面的内容都将围绕它们展开。同学们在课程结束时将通过比赛的形式检验完成项目的情况，这无疑会增加他们学习的目的性和趣味性。

本章的内容，由远及近地介绍了机器人的概念、教材所涉及的机器人，以及学生们所面对的学习任务。学习过这一章之后，同学们应该对对象和任务有清晰的了解。

2. 简易机器人的大脑——单片机

教材从本章开始进入主体知识讲授。其之所以在这里首先介绍基于单片机的控制器，不仅因为它是简易机器人的核心装置，而且因为后续章节中的实验及活动几乎都涉及利用该控制器编程来实现。

本章从人的行为由大脑控制引入机器人控制器的概念。通过对PC机的介绍，让学生通俗地理解单片机实际上就是一个简化了的计算机。电冰箱、电话、自动售货机等例子使学生直观了解单片机实际上就存在于我们的日常生活中。

通过PC机的键盘、鼠标、硬盘等的介绍引申出单片机的内部结构如微处理器、内存、输入、输出等概念，并通过MP3、数码相机等数码产品加深学生对程序存储器的理解。通过一道算术题的运算过程深入浅出地介绍了单片机的工作过程。

本章从我们日常生活中常用的文字编辑软件引入计算机编程环境的概念；通过大家熟悉的软件流程图，介绍了图形化编程软件的概念和使用方法；软件编程中常用的顺序、循环、选择三种结构分别对应三个灯泡以不同方式点亮的例子，使学生体会到编程的乐趣。

C语言是目前国际上流行的编程语言，这部分的学习结合简易机器人的一些声、光、电部件，如LED、蜂鸣器、电机、传感器等，使程序与实际机器人的行为相结合，这样，学生在学习C语言时不会觉得枯燥。

这一章对于高中同学来说可能比较陌生，内容比较抽象，在课程标准中对单片机学习的具体要求是，“知道单片机的特点及应用，知道单片机的基本组成及工作过程，知道单片机集成电路引脚的功能”，而课程内容的重点应该放在“掌握一种单片机常用的编程指令”上。所以无论是讲授图形化编程还是C语言编程，为了加深理解，教材都结合每一种的程序结构设计了具体的操作实验，体现了技术领域的学习以操作为基础的特点。

3. 简易机器人的控制系统

人除了大脑，还必须具有五官和四肢，这和机器人控制系统有类似之处。本章从水钟的工作原理引入机器人控制系统中输入与输出的概念。本章有关系统的概念注意到了与通用技术课程《技术与设计 2》内容的传承与扩展。本章以一个现实的机器人控制系统为例，让学生动手测量各种输入输出接口信号流向，便于形象地理解控制系统的概念。

传感器是系统的一种典型输入，也是机器人控制系统必备的输入元件，从出租汽车的计费器和关门、开门检测引入传感器的概念，使学生理解传感器的重要性。从人的五官与机器人的传感器对应关系入手，系统介绍了简易机器人常用的几种传感器。教材在第一章已经搭建好的机器人小车，以及在第二章图形化编程语言的基础上设计了机器人巡线行走、机器人寻光等几个实验，要求同学们通过具体的实验操作学以致用，深刻理解传感器的作用。

从彩电、微波炉等家用电器将电能转换为其他类型能量的应用实例出发，引申出机器人输出器件实际是一种能量转换器件。通过对手机上的信号指示灯、蜂鸣器等的介绍使学生对 LED、蜂鸣器等输出元件有所了解。

本章在讲解每一种传感器和输出元件时，几乎都配合设计了一个需要编程的小实验。通过这些实验，既可加深同学们对所学元器件的认识，也能进一步锻炼他们的编程能力。另外，所设计的大多数实验并不是孤立的，它们都与完成教材提出的机器人制作项目的最终任务有关。例如，在介绍光电判读者时，利用它配合机器人小车的巡线实验，是机器人巡线运球必要的功能之一；在介绍电磁继电器时，实践活动是用接触传感器控制继电器的通断，进而控制电机的启停，这一功能将用在第一章提出的两个项目的机器人机械臂的升降控制中。有了这里的实验铺垫，同学们最终完成机器人制作项目应该是水到渠成。

4. 简易机器人的机械系统

本章对照人的运动系统介绍了机器人机械系统的组成部分，通过“手表机芯”“雨伞”“电风扇”“自行车”等生活用品，使同学们去辨识“齿轮传动”“连杆传动”“柔性传动”的概念、类型及特点，使枯燥乏味的理论介绍变得通俗易懂。

本章设计了大量的实践活动，还鼓励学生自己设计和制作“风扇”“毛巾架”等，并对其做出评价，这样既可充分发挥同学们的聪明才智，也锻炼了他们的动手能力。

系统是由相互影响和相互关联的各部分组成的具有一定功能的整体。为了加深对这一概念的理解，本章第四节以“灭火升降台”“抓球机械手”为目标，要求学生从机械系统的角度将机械部分设计并组装起来。为了与《技术与设计 1》和《技术与设计 2》的内容呼应，教材以高台灭火机器人机械系统设计方案为例，讨论了系统方案设计时需要一一细化的问题，例如设计要求的制定，总体方案的确定原则及方法，诸多方案的权衡选择、考虑因素、技术细节、实现途径及机器人的组装顺序等。

5. 简易机器人的制作与编程

前面各章介绍了简易机器人的基本知识，这一章将利用这些知识完成第一章中提出的两个简易机器人制作项目。每个项目的完成都分为硬件拼装和软件编程两部分，虽然其中大部分内容在前面各章都有涉及，但是通过本章教学将上升到一个新的层次，是对前面所学知识的全面综合和提高，需要面对机器人具体的任务和功能实现知识的整合和迁移、转化与应用，以及技术的创造与实践。总之，过去主要是“知”，这一章则更强调“行”；过去主要是“理解”，这一章则更强调“实践”。例如，在拼装巡线运球机器人时，并不是将已有的机器人小车和抓球机械手简单组合，而是需要考虑整个机器人所有动作的协调性和连续性，赋予各个接口正确

的定义，分配信号流动的时序，调整结构重心，检查配线连接的正确与否，等等。

在控制软件上更注重向同学们讲解面向对象（任务）的编程思想和技巧，即如何将任务划分为模块、子模块，然后根据模块定义具体函数。同学们根据教材上介绍的程序，基本上可以完成项目要求的作业任务。需要指出的是，在内容安排上，教材并非让同学们全盘照抄已给出的程序清单，在一些地方，如巡线运球中的抓球与放球、高台灭火中的左转避障和右转避障，都留出学生创新和思考的余地，学生既可以仿照其中一种情况，独立编写出另一种情况的程序，也允许做其他的增删和修改。在最后的“本章小结”中，还提供了两个评价表，用于自我考评项目完成情况。

为了顺利地完成任务，也许还需要仰仗一些操作技术层面上的小窍门，这很集中地体现了通用技术课程标准的探究性、参与性、实践性，是对学生学习态度、技能与方法、情感、态度与价值观的一次集中检验。

6. 机器人的反馈控制（选学）

本章属选学内容，是为那些完成了本课程基本任务，还希望继续深入的同学们提供的。

前面各章机器人控制所采用的都是比较简单的顺序控制或响应控制，是开环的，本章将介绍稍微复杂一些的闭环控制技术。问题的引入是机器人小车上常见的行程控制，本章也是为解决这个问题而展开的。《技术与设计 2》中提出了对闭环控制系统基本组成和工作过程的内容要求，本章是对该要求的呼应。

编码器作为信号反馈的一种典型传感器，是本章的重点内容。文中介绍了一种简单的、适合于同学们自己动手制作的简易编码器，而且该编码器可以方便地与已有简易机器人小车接口，实现它的行程控制。另外，在“小资料”中还借助同学们常用的鼠标说明编码器的应用，也便于他们了解实用编码器的结构。

（三） 其他

1. 准备知识

《简易机器人制作》除了用到很多物理、化学、生物、数学等基础理论知识外，作为前期的基础知识准备还需要从通用技术《技术与设计 1》和《技术与设计 2》获取对技术的理解，对设计过程各项活动的一般性了解，掌握（或初步掌握）结构、流程、系统、控制的基本思想与方法，能够使用常用的规范技术语言表达设计方案，学会从技术、环境、经济、文化等角度综合评价设计。此外本课程还与信息技术课程中的《算法与程序设计》《网络技术应用》《数据管理技术》《人工智能初步》等选修模块，以及通用技术课程中的《电子控制技术》模块的有关内容有关。

2. 教具平台

通用技术课程适合采用“以学生为中心”的教学模式，在教学过程中教师的作用是组织者、指导者、帮助者和促进者。教师应该利用情境、协作、互动等环境要素，充分发挥和调动学生的主动性、积极性和创新精神。《简易机器人制作》是一门特别注重同学们动手实践的课程，因此必须配有相应的教具，让同学们能够边学边做。事实上，只要课程标准要求讲授单片机的常用编程指令和编程语言，就势必涉及特定的单片机指令系统和软件编程环境。本教材选择了浙江爱科星科技有限公司生产的“ACTION 智能教育机器人开发系统”作为配套的简易机器人教具，其理由是这一款简易机器人平台不但符合课程标准的要求，而且适应面比较广，对不同版本教材的兼容性较好。在授课中，建议以 3 ~ 5 人为一组学习本课程，为每组同学配备一套机器人教具。

3. 教室与实验室建设

在课堂教学过程中，除了拼装操作外，还有大量的为机器人编程的工作，因此建议在配有计算机的专用机器人教室中开设此课。如有必要，也可对原有计算机教室进行适当改造，增加让同学们实施机器人组装、测试等的工作场地。显然计算机平台是必不可少的，有条件的还可以将多台计算机联网，构成网络教学的环境（图 0.1），这样也有利于学生熟悉开放性的学习方式。

实验还需要有一定的场地。本教材的第一章给出了构建两个实验场地的建议图。此外作业工具、教具平台也需要一定的场地存放，以便得到妥善的保管。

4. 教学手段

如果有条件，教师在讲授课堂教学内容，比如背景知识、机器人的搭建过程、场地准备等时，最好通过大屏幕向同学们播放，建议在教室中配备多媒体播放设备，由教师准备好多媒体授课课件。

5. 学业成绩的评价

反思以往对成绩的评价，主要存在的问题是过分关注对结果的评价，而忽视了对过程的评价；过分关注评价的结果，而忽视了评价过程本身的意义；评价的内容过分关注学业成绩，而忽视了综合素质和全面发展的评价；评价的主体单一，忽视了多元化，等等。

通用技术课程将学生的学业评价看成与教学活动同等重要的过程。教师在对学生进行《简易机器人制作》的学业评价时，应该注意以下几点：

(1) 过程评价与结果评价相结合。技术学习的一个重要特点是应该在学习过程中不断地体验和反思。在技术实践活动中由于目标设定的合理性和技术手段的完善性等因素的影响，不一定保证每一次活动的成功，但是不成功不等于没有价值，指导教师可以结合《简易机器人制作》每一章、每个阶段的教学与实践活动，小结学生学习活动的得失，归纳成功的经验，查找失利的原因是源于方案的合理性、技术的可行性、手段的完善性、器件的可靠性、程序的严密性，抑或其他细节，让学生从过程评价中加深对技能、方法、经验的独特体验。评价应该既指出优点，也指出不足，并向同学提出具体、合理和切实的改进建议。

由于本教材给出了两个综合性的简易机器人制作项目，因此结果评价应该比较容易进行。在评价前，要确定评价方式，制订评价规范，这样就既注意了质性层面，也兼顾到量化评价所依据的客观尺度和数据信息。

(2) 全面评价与单项评价相结合。所谓全面评价，就是在评价的内容上要从知识与技能，过程与方法，情感、态度与价值观等方面，多维度、立体化地进行考查。

根据认知心理学，知识分为陈述性知识和程序性知识两类。前者也称说明性知识，指事实性、描述性的信息，能被叙述出来；后者指如何进行认知活动的知识，即“如何做”的知识。在通用技术中更多的是涉及程序性知识。

在评价时，教师可以从理解、记忆和应用水平上来考查学生的陈述性知识掌握的程度，而实际操作、方法和规定用来考查学生的程序性知识。

技能的考查则是依据教材实验要求考评学生的模仿水平、编程技术、技术语言的运用、拼装操作的熟练程度，以及在系统测试、调试中的技巧，发现问题、解决问题的能力，等等。

对过程与方法的评价，需要考查学生在信息的筛选、知识的运用、方案的制订、模型的制作等技术活动的过程中的具体表现、领会水平和体验的深度。评价过程与方法的灵魂在于考查学生在处理技术问题时所表现出来的灵感，对经验的提升、方法的融合、利弊的权衡、设计的

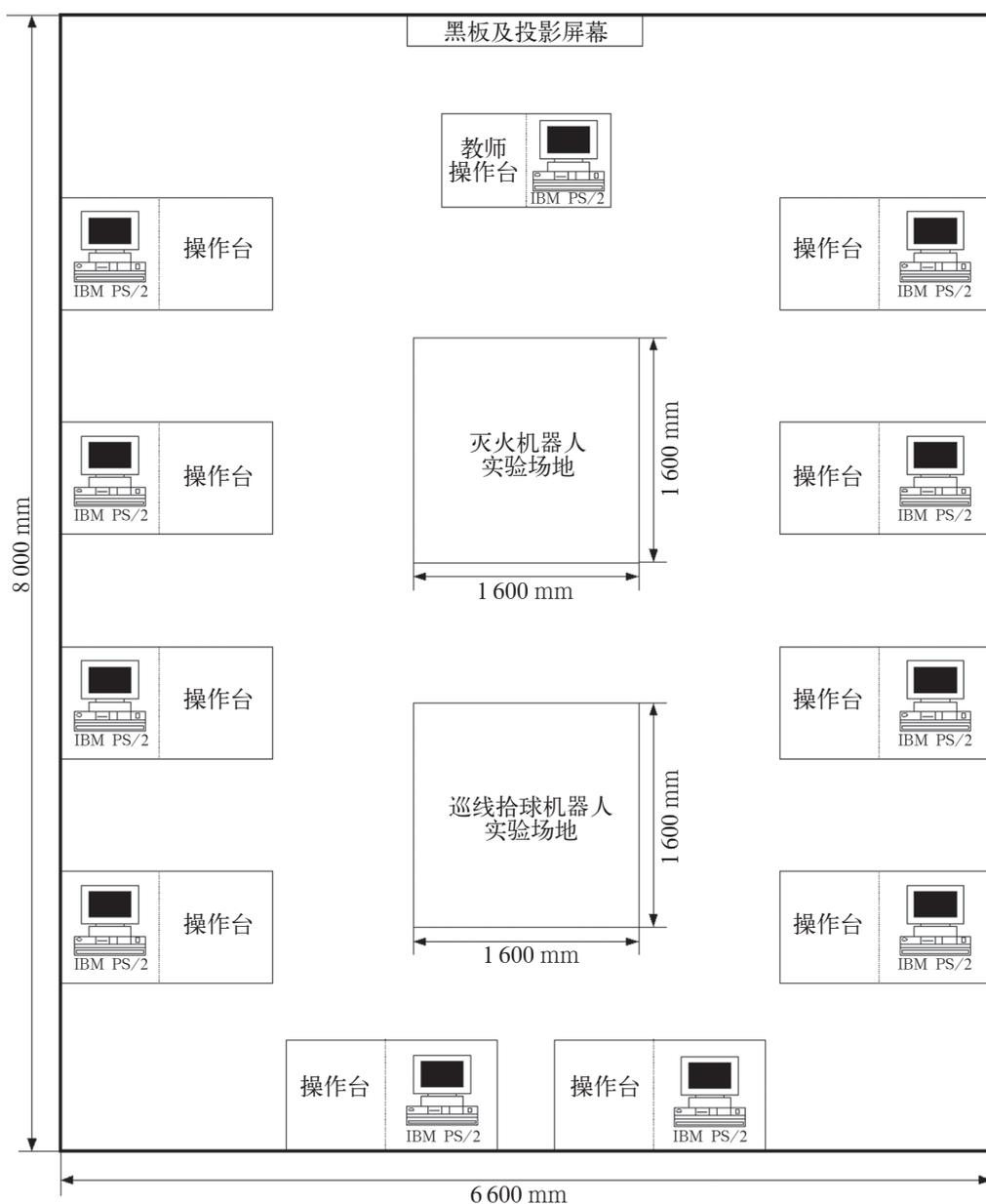


图 0.1 实验室配置

创意、技能的突破等，需要教师与学生共同捕捉、记录和挖掘这些闪光点。

情感、态度与价值观方面的评价是对学生参与技术活动的精神层面的分析和考查。例如兴趣和激情，时间、感情和精力的投入，克服困难的毅力和团结互助精神等。有兴趣才会萌发对制作任务的新鲜感和亲近感；有激情才会迸发出创新的灵感；有时间、感情和精力的投入才会把制作变成一种持之以恒的探索……对技术活动的情感、态度与价值观进行评价，重要的一条是可操作性，有些可以量化，有些则要模糊一点，总的原则是防止片面的评价挫伤学生对技术学习实践的热情。

(3) 评价主体多元化、方式多样化。改变由教师单一评价学生的传统局面，鼓励学生、

家长以及校外机构等参与评价。多主体评价的好处是显而易见的，尤其是学生的自我评价、自我激励，以及在评价过程中与他人的交流，有助于学生正确地认识自我。

需要指出的是，教师在评价中仍然具有不可替代的组织、引导作用。评价主体多元化、方式多样化对教师的要求更高了，而非相反。

三、教材特色

《简易机器人制作》在遵循通用技术课程教材共同的编写指导思想和原则的同时，结合简易机器人的教学实际，形成了如下一些特色。

（一）以项目引导学习过程

教材内容从始至终都围绕第一章提出的两个简易机器人制作项目展开，给予课程学习任务明确的定位，让同学们在学习的过程中始终瞄准这两个目标。后续各章的内容均以项目为主线，将任务分解为一系列的技术过程或技术环节。同学们在实施这两个项目的过程中学习相关的知识和技能。项目完成后教师不妨以演示或者比赛的形式组织学生在场地上展示自己的学习成果，以报告会的形式交流研讨学习中的体会，不仅寓教于乐，还有竞争气息。这种教学形式符合青年学生的兴趣爱好，也是国际上近来推崇的教育方法。

（二）注重对学生动手实践能力的培养

通用技术类课程的目标是培养和提高学生的技术素养，即“利用、管理、评价和理解技术的能力”。为此，需要教学模式方面的革新，突出体验与探究，倡导创新精神，强化技术意识、技术理解、技术设计和技术操作，注重程序与方法，以及结构与控制。《简易机器人制作》课程正好体现了这种核心理念。本教材以项目为主线，将动手制作活动贯穿全书，从第一章机器人小车制作到最后一章的高台灭火机器人和巡线运球机器人的制作，设计了大量的操作和实验，由浅入深、由简到繁地一步步培养学生的兴趣，在整个教学活动中不断刺激学生自己动手这一兴奋点，保持他们的学习兴致。

（三）多学科的视野

机器人技术涵盖了多门学科的知识，很多都涉及比较深的专业理论，考虑到高中学生的知识水平，教材中将很多理论问题进行了具体化、通俗化处理，使它们更容易被理解。例如，在讲单片机的操作过程时，教材把这段专业性很强的内容用一个具体算式的操作进行了简要说明；在单片机与PC机进行对比时，将它们的区别比喻成自己下厨与上餐馆吃饭的关系；在讲连杆传动机构时，每一种机构类型都配合了相应的实例。尽管简易机器人“简易”，但是其可取之处在于“麻雀虽小，五脏俱全”，是一个十分难得的综合教学平台，非常适合中学阶段培养学生的知识整合和迁移能力、知识转化和应用能力，打下这样的基础，对日后掌握现代科学知识和技能很有帮助。

（四）教学内容的可操作性强

教材中机器人的制作步骤清晰，程序流程及说明完善，可操作性强。教师和学生不仅可以按照书中描述的制作步骤和程序清单，按部就班地完成教材规定的基本任务，也留有进一步发挥创造欲望的余地和拓展思维的空间，有助于学生创造潜能的发挥。另外，还有专门的机器人教具与本教材配套。

（五）适应不同层次学生的需求

本教材主要针对高中学生，但考虑到不同地区、不同学校学生水平的差异，在内容安排上做到难易搭配。例如，教材中介绍的编程软件有图形化语言和C语言。图形化语言类似于程

序流程图，简单易学，适合于初学编程的同学使用；C语言能满足课程标准的要求，学习这种语言也符合当今编程语言潮流，适合有一定编程基础的同学使用。另外，教材还为能力突出的学生安排了第六章的选学内容，进一步学习机器人的高级控制方法。

（六）多元化的教学互动

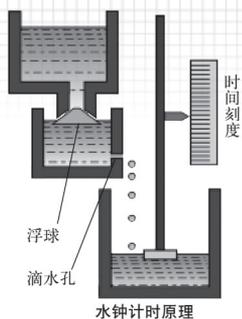
制作是一种典型的互动，其间包括教师与学生，学生与学生，人与工具、教具以及环境的互动。教材中编者精心设计了几种不同风格的栏目，包括“学习导航”“现象与问题”“探究尝试”“小资料”“实践活动”“阅读材料”“新视窗”“活动延伸”等，也是互动。这些栏目不断调动学生的思维，拓展其认知空间，培养锻炼其动手能力，以及提出问题、解决问题、探索未知世界的科研能力。有关栏目示例如下：

第一节 简易机器人控制系统的组成



学习导航

1. 简易机器人的控制系统由哪几部分组成？
2. 简易机器人控制板是怎样与传感器连接的？
3. 简易机器人是怎样与电机连接的？



现象与问题

在中东地区,人们曾将左图所示的液面自动调节系统用于计时。这种计时系统又叫水钟,曾经一直使用到17世纪。

讨论:

1. 试说明水钟的工作原理。
2. 说明水钟中的浮球如何通过液面反馈来自动保持计时的准确性。



小资料

C语言的历史

C语言是在20世纪70年代初问世的,1978年由美国的贝尔实验室正式推出。同时,由B.W.Kernighan和D.M.Ritchie合著了著名的《THE C PROGRAMMING LANGUAGE》一书,通常简称为《K&R》。但是,在《K&R》中并没有定义一个完整的标准C语言,后来美国国家标准协会(American National Standards Institute)在《K&R》基础上制定了一个C语言标准,于1983年发表,通常称之为ANSI C。

早期的C语言主要是用于UNIX系统(一种计算机操作系统)。由于C语言的强大功能和各方面的优点逐渐为人们认识,到了20世纪80年代,C语言开始进入其他操作系统,并很快在各类大、中、小型计算机和微型计算机上得到了广泛的应用,成为当代最优秀的程序设计语言之一。

目前最流行的C语言有以下几种:Microsoft C、Borland Turbo C和AT&T C。这些C语言版本不仅包含了ANSI C的标准,而且还各自做了一些扩充,使之更加方便、完美。



实践活动

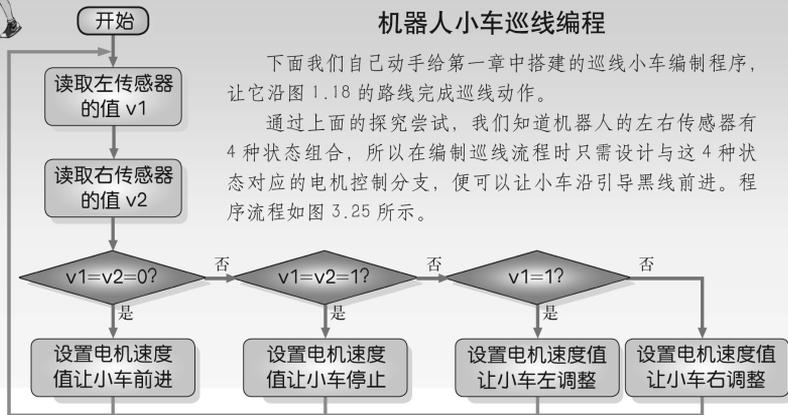


图 3.25 巡线程序流程图



活动延伸

1. 上网或查找有关书籍，找出人类给机器人下的各种定义，总结一下这些定义的异同。你们自己能给机器人一个定义吗？
2. 军用机器人是目前各国都在大力发展的一类特种机器人，请查找有关资料，了解现有军用机器人有哪些类别，它们都有哪种代表性的机器人。根据现代战争的特点，你能提出今后需要开发哪些军用机器人吗？



探究尝试

在第一章我们已经观察了机器人小车沿黑色引导线前进的表演，机器人上用到了两个光电判读器，它们对应黑线和白色场地的读取值分别为“1”和“0”。请问，左右传感器共有几种状态组合？它们分别对应机器人什么状态（与黑线的关系）？完成表 3.4。

表 3.4 机器人与传感器状态对应关系

传感器状态		机器人状态
左	右	

新视窗·知识外延

对射式光电判读器

对射式光电判读器的发光元件和接收元件是相对放置的（图 3.24），两者中间有一个空隙，根据空隙间是否有障碍遮挡，输出不同的电平。

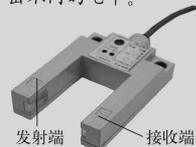


图 3.24 对射式光电判读器



机器人的历史

人类对机器人的幻想和追求已有几千年的历史，如我国东汉时期的指南车和三国时期的木牛流马，欧洲 18 世纪的各种自动玩偶等。但真正意义上的机器人诞生于 20 世纪。表 1.1 是现代机器人发展的大事年表。

表 1.1 现代机器人发展大事年表

年代	主要事件
1920	捷克作家查别克在科幻剧本《罗萨姆的万能机器人公司》中将机器人正式命名为 Robot，意为“奴隶机器”
1940	科幻作家阿西莫夫提出了著名的“机器人三原则”作为机器人设计的准则，以防止机器人伤害人类
1947	美国阿尔贡研究所开发了遥控机械手，用于原子能实验室中的操作
1954	美国人戴沃尔提出了工业机器人的概念，并申请了专利
1962	实用化工业机器人在美国问世
1980	工业机器人在日本开始广泛应用，被称为“机器人元年”
1997	IBM 的计算机“深蓝”以微弱优势战胜了国际象棋特级大师卡斯帕罗夫
2000	日本索尼公司推出“爱宝”机器狗，本田公司推出第一台商业化人形机器人“阿西莫”
2050	科学家们希望推出一支能够战胜人类足球世界杯冠军的机器人足球队



本章小结

机器人的机械系统由驱动装置、传动装置、执行机构和机体四大部分组成，其中驱动装置提供动力，传动装置用于传递动力和运动或者改变运动的形式，执行机构完成特定的作业任务，机体则承载了各组成部分。

机器人机械系统中，传动装置既可以把单一运动变化成多种运动方式，也可以改变输出力及力矩的大小和方向，因此其结构形式比较复杂，设计和制作最富有创意。齿轮传动、连杆传动、链传动等是日常生活中常见的传动形式。

单独使用齿轮几乎没有实际的用处。一般至少需要两个齿轮方可完成运动或力传递。一对相互啮合齿轮的角速度之比称为传动比。如果一对齿轮或一个轮系的传动比大于 1，该系统被称为减速系统；若传动比小于 1，则称为加速系统。齿轮有一个有趣的现象：加速系统中速度提高而输出力矩会减小，速度降低则输出力矩会增大。

连杆机构由若干个刚性杆件通过转动关节、移动关节连接而成。如果构件上每个点的运动平面相互平行，则称为平面连杆机构。连杆机构的特点是重量轻，可完成长距离的运动及力的传递，能实现转动、摆动、滑动等运动形式的相互转换。

本章搭建了灭火升降台及抓球机械手两套机器人机械系统，其设计制作流程包括：

- ①明确任务与要求；
- ②方案制订与论证；
- ③搭建与制作；
- ④调试。

附表

《简易机器人制作》教学参考学时数

教学内容	参考学时数
第一章 走近机器人	3
第一节 机器人世界	0.5
第二节 机器人的结构特征与简易机器人平台	1.5
第三节 简易机器人设计	1
第二章 简易机器人的大脑——单片机	10
第一节 什么是单片机	0.5
第二节 单片机的基本原理	1
第三节 单片机的开发环境	0.5
第四节 图形化语言编程	4
第五节 C 语言编程	4
第三章 简易机器人的控制系统	8
第一节 简易机器人控制系统的组成	1
第二节 简易机器人常用传感器	4
第三节 简易机器人常用输出元件	3
第四章 简易机器人的机械系统	7
第一节 机械系统的组成	1
第二节 齿轮传动机构	1.5
第三节 平面连杆传动机构	1.5
第四节 简易机器人机械系统的设计与制作	3
第五章 简易机器人的制作与编程	8
第一节 高台灭火机器人的制作与编程	4
第二节 巡线运球机器人的制作与编程	4
第六章 机器人的反馈控制（选学）	选学内容

第一章 走近机器人

本章提示

机器人从诞生至今半个多世纪,为人类社会的发展做出了巨大的贡献,也逐渐为大众所知,成为现代高科技的标志。但相当多的人对机器人的了解还停留在科幻和朦胧的阶段,甚至存有各种误解。对于许多高中学生来说,他们中多数人可能是通过本课程才第一次真正接触机器人。作为《简易机器人制作》教材的第一章,使同学们对机器人有一个客观正确的认识,并激发他们学习机器人的兴趣是十分重要的。因此,本章首先要回答的问题是“到底什么是机器人?真正实用的机器人是什么样?”其次,“为什么要学习简易机器人的制作?简易机器人与实用机器人有何区别和联系?”最后一个是“本课程将制作什么机器人?如何制作出自己的简易机器人?”

以上三方面的问题分别为是什么?为什么?怎样做?它们被安排在本章的三个小节中逐步展开讲授。第一节“机器人世界”对机器人的发展及应用进行了概述,并探讨了如何理解机器人的定义;第二节“机器人的结构特征与简易机器人平台”给出了一般机器人的结构组成,并由此引入简易机器人的概念;第三节“简易机器人设计”介绍了简易机器人的设计制作流程,并提出同学们要完成的机器人制作项目。显然本章能起到将同学们带“入门”的作用,同时其中制作的简易机器人小车和提出的制作项目也是后续各章学习的基础和主线,因此学好本章内容非常重要。在具体内容处理上有以下几点需要说明:

(1) 机器人的定义不是本课程的重点,因此不要求死记硬背;重要的是要求学生能结合机器人的应用及结构特征理解定义的内涵。

(2) 开展简易机器人制作活动的方式和途径很多,本教材介绍了四种方法,但是重点放在选用零件拼装法。拼装法的优点是能在一个共同的集成平台上既锻炼同学们系统控制和编程的能力,又提供他们学习机械传动、装配等方面的条件,真正体现出机器人机电一体的特征。专家们普遍认为,机器人创新设计的生命力集中体现在机械方面,拼装法恰恰能为此提供极其适宜的平台。这一点不仅符合课程标准的要求,更重要的是有利于培养同学们的综合创新能力。

(3) 本章安排的实践活动,要求搭建一台简易机器人小车。尽管同学们暂时对小车所涉及的技术尚无法深入理解,但这样做的目的的一方面是让同学们一开始就动手接触机器人,有利于萌发他们的学习兴趣;另一方面,机器人小车也是后面讲授控制器编程,以及传感器和输出元件的使用时必要的移动载体。这个活动需要教师精心指导,给同学必要的帮助,引导同学完成第一步作业,这对日后树立完成任务的信心很重要。

(4) 书中给出的两项机器人制作项目是经过精心设计而成的,它们基本上涵盖了本课程课程标准要求学习的全部知识和技术内容,所以建议在课堂教学中采用。可以将学生划分为

3 ~ 5 人一个小组，视同学的具体能力水平，要求共同完成其中的一个项目，或者每人选择其中的一个项目独立完成均可。有条件的学校，教师也可以根据具体情况选用书后附录一中列出的机器人项目，或者自己设计一些其他项目。

第一节 机器人世界

一、教学目标

- (1) 了解目前实用机器人的研究和应用现状，知道机器人的分类。
- (2) 认识机器人是人类改造自然的一种工具，理解机器人的定义。

二、结构分析

学习机器人，首先应该对研究学习的对象有一个客观、科学的认识。为了消除多数同学原来的“机器人是超人”的误解，本节一开始就从真实机器人在现实生产生活中的应用入手，为研究对象正名。在“现象与问题”中教材还列举人们耳熟能详的自动吸尘机器人来加强学生对机器人的感性认识。

在正文中以图文并重的形式分三类介绍了机器人的应用，它们是目前机器人作业最典型的三个方面，即工业机器人、服务机器人和极限作业机器人。工业机器人提高了产品质量和作业效率，将工人从繁重的体力劳动中解放出来，丰富了人类的物质生活；服务机器人直接服务于人类生活的各方面，提升了人类的生活品质；极限作业机器人则能完成人类力所不及的事，扩展了人类的活动空间。这三类机器人诞生于不同的发展阶段，工业机器人在 20 世纪 80 ~ 90 年代得到普及，服务机器人和极限作业机器人在 20 世纪 90 年代才崭露头角，21 世纪初叶，得到长足的进步。

在得到对机器人的感性认识，了解了它们的用途之后，教材对机器人的概念进行了归纳，把它们定位成人类认识自然和改造自然而发明创造的工具中的一类，就如同大家身边常见的虎钳、自行车、汽车一样，机器人的结构和功能也是人类为了某种目的而创造和赋予的。这种定位，纠正了机器人是“超人”、是具有人形的机器的误解，消除了同学们对机器人的神秘感，增加了与它们的亲近感，这对增强学习和驾驭机器人的信心很有好处。

本节正文最后给出了机器人的一种定义，它是我国著名科学家蒋新松院士提出的。理解该定义时应注意两点：首先，机器人是一种机器，是由人制造出来为人类工作的，这与前面机器人是一种工具的论断相吻合；其次，机器人具有智能，它能根据任务或环境的变化修改执行的动作，这是机器人与一般机器的主要区别。课文中也提及机器人的其他几种定义，它们是世人在机器人发展的不同时期，或针对不同的机器人范畴所给出的。其实机器人没有统一定义的根本原因还是在于它的智能，因为它涉及对人的研究，而现在人类对自身的认识还相当肤浅。因此死记硬背机器人的定义不可取，倒是理解它的精髓更重要。

三、教学建议与说明

本节是课程的第一堂课，事前很多同学可能对机器人知之甚少，甚至有误解，教师可以先让同学们说说心目中的机器人是什么，这样既可以了解他们有关机器人知识的基础，也能活跃课堂气氛。在总结的时候，教师再给同学们展示几个影视媒体中塑造的机器人形象，然后指出

实用生活中应用的机器人与媒体中塑造的机器人无论在外形还是功能上都存在很大的差别，并解释产生差别的原因：一方面是人类目前在很多技术上还达不到期望的水平，另一方面人类研制开发机器人有其特定的、具体的应用背景，因此既无必要、也不可能完全模仿人体的造型。

课本中列举了实用机器人在几个方面的应用，教师不必在课堂上逐个展开讲解，可以让同学们自己阅读，甚至上网查找、收集资料，然后采用课堂讨论的形式让每个小组（或者个人）介绍他们关于每一类机器人应用方法的心得，举出有说服力的例子。还可以补充提问：在课本列举的几类应用之外，还有哪些应用领域？讨论时要鼓励同学发挥想象力，有条件的学校还可以放映一些机器人的录像资料。教师在讨论结束后，可以结合小资料“机器人的分类”进行总结。

本节的阅读材料中列出了机器人发展过程中一些比较重要的标志性事件，考虑到篇幅的限制，课文没有对这些事件做详细介绍。教师在教学过程中可以挑选其中1~2个比较有趣的事件进行说明，如Robot一词的由来，其余事件可以让同学们课后查阅相关的资料。

在探究尝试中讨论深海机器人开发的技术难点时，可以提示同学：深海机器人就是一台无人驾驶的潜艇。

●教材第4页“探究尝试”的处理参考意见如下：

类别	技术难点	解决办法
空间机器人	①真空 ②克服地心引力 ③位置和姿态的控制	①气密技术 ②多级火箭 ③现代控制技术
水下机器人	①水压大，每下潜10米就增加约101千帕 ②与水面指挥中心联络通信 ③运动阻力大，消耗能源多，无法使用太阳能电池 ④位置与姿态控制 ⑤探测	①水密封技术 ②无线电波在水中衰减太快，唯有用水声通信技术，传输极限距离10千米 ③高效电池 ④现代控制技术 ⑤最好的微光摄像机在最佳的水质中的视距仅十几米

同学们只要能够回答出两项关键技术即可。

●对教材第5页“活动延伸”的实施建议：

1. 在科学界，给某个科学名词给出明确的定义往往非常重要，然而对机器人至今还没有一个统一的、严格的定义。但从另一个角度看，这种情况更有利于中学生解放思想，发挥他们的创新能力。因此，教师在课堂上也只需对课文给出的定义稍做讲解即可，不用深入分析，只需说明机器人是一种智能化的机器，智能化主要体现在可编程上。至于目前上网或在专著上可能找到的机器人定义大致有后面参考资料列举的几种。

2. 学生们大都对军用机器人抱有兴趣，互联网上有很多资料，例如无人侦察飞机、无人下潜器、野外机器人、两栖机器人、防爆机器人、排雷机器人等，具体代表型号可以有很多答案。

四、参考资料

工业机器人

如今，各种机器人产品已是琳琅满目，但人类最早涉足的实用机器人当属工业机器人。工业机器人的概念是由美国人戴沃尔（George Devol）于1954年提出的，之后他创办的公司Unimation于1962年推出了世界上第一台实用化工业机器人，并在通用汽车公司首先使用。如同任何一项技术创新一样，当时工业机器人的出现也有相应的技术背景和社会需求。计算机的诞生及控制技术的发展为机器人研制提供了技术保证。社会需要主要指当时工业化生产的迅猛发展以及原子能的开发利用，正是这些需要促进了工业机器人的诞生与成长。

工业机器人经历了20世纪60~70年代的研究发展阶段，到20世纪80~90年代步入了成熟期。现在，工业机器人广泛应用于汽车、摩托车、家电产品等的生产制造，主要从事焊接、喷漆、切割、装配、搬运、包装等作业。据国际机器人联合会（<http://www.ifr.org>）发布的数据，中国已经是全球最大的机器人市场，2014年中国市场的机器人销量同比增长54%，预计2016年底中国安装的工业机器人数量将居世界之首。

工业机器人的应用极大地提高了生产的效率，可以说已成为一个国家或地区工业化程度的标志。日本是生产和使用工业机器人最多的国家，素有“机器人王国”的美誉。在日本有很多世界著名的工业机器人生产公司，如FUNUC、安川、日立、神户制钢等。

美国虽然是现代机器人的诞生地，但机器人产业的发展却远不如日本，甚至还落后于欧洲。有学者认为其中部分原因是美国有些工人不欢迎机器人，害怕机器人抢了他们的工作岗位，美国国会曾经一度抵制机器人的应用，从而抑制了机器人的发展。其实，机器人是否会抢人的饭碗这一话题由来已久，英国一位著名的政治家针对这一问题说过这样一段话：“日本机器人的数量居世界首位，而失业人口最少；英国机器人数量在发达国家中最少，而失业人口居高不下。”这也从另一个侧面说明了机器人不会对人构成威胁。不过，美国在机器人研究方面仍然居于世界领先水平。

机器人的定义

除了教材中给出的中国科学家为机器人下的定义外，世界上对机器人的描述还有多种。在早期的科幻书中多从拟人的角度对机器人进行阐述，如“机器人是一种看上去像人的机器”，“机器人是一种能干的、但无感知的人”，“机器人是一种没有自我思维的、机械式工作的人，特别指那些只能自动响应别人命令的人”，等等。应该说，十分拟人化的机器人定义既有局限性，也无必要。

在实用化的机器人出现后，正式的、比较有代表性的几种机器人定义如下：

在1967年日本召开的第一届机器人学术会议上，提出了两个有代表性的定义。一是日本学者森政弘与合田周平提出的：“机器人是一种具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械半人性、自动性、奴隶性等七个特征的柔性机器。”另一个是加藤一郎提出的，他把具有如下三个条件的机器称为机器人：

- (1) 具有脑、手、脚等三要素的个体；
- (2) 具有非接触传感器（用眼、耳接受远方信息）和接触传感器；
- (3) 具有平衡觉和固有觉的传感器。

1980年美国机器人研究中心（RIA）给机器人的定义是：“机器人是一种可编程的多功能操作臂。针对不同的作业任务编制相应的运动程序，操作臂就能执行搬运材料、零部件、工具或特殊设备的工作。”

1988年法国的埃斯皮奥将机器人定义为：“机器人学是指设计能根据传感器信息实现预先规划好的作业系统，并以此系统的使用方法作为研究对象。”

1987年国际标准化组织对工业机器人进行了定义：“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能，能完成各种作业的可编程操作机。”

机器人一词的由来

1920年捷克作家卡雷尔·卡佩克(Karel Capek)发表了科幻剧本《罗萨姆的万能机器人》(Rossum's Universal Robots)。在该剧中，机器人按照其主人的命令默默地工作，没有感觉和感情，以呆板的方式从事繁重的劳动。后来，罗萨姆公司取得了成功，使机器人具有了感情，导致机器人的应用部门迅速增加。在工厂和家务劳动中，机器人成了必不可少的成员。机器人发觉人类十分自私和不公正，终于造反了，机器人的体能和智能都非常优异，因此消灭了人类。

但是机器人忽略了一件重要的事情：不知道如何制造自己。因此它们很快就会面临自我灭绝的境地，认识到这一可悲的后果后，它们开始寻找人类的幸存者，但没有结果。最后，事情有了转机：一对感知能力优于其他机器人的男女机器人相爱了，它们能够繁衍后代，于是机器人进化为人类，世界又起死回生了。

在剧本中，卡佩克把捷克语“Robota”写成了“Robot”。“Robota”在捷克语中是奴隶的意思。该剧预告了机器人的发展对人类社会的悲剧性影响，引起了大家的广泛关注，被当成了机器人一词的起源。

机器人技术发展的三代

实用机器人的发展已经经历了半个多世纪，但根据其所用的控制技术科学家们又把它们划分为三代：

第一代称为“示教再现型机器人”。这种机器人上没有感知外界环境信息的外部传感器，只是在每个运动关节上安装了检测关节位移的编码器或电位计。机器人在工作前通常需要操作员手把手地为它示教一遍需要执行的动作，一旦机器人内部的控制器将这些动作记录下来，编制成为自己的控制程序，以后就允许按程序重复性地执行同一动作，除非操作员重新教它一组新的动作。这种机器人适合于周围环境结构比较确定的场合，在相对固定的生产线上作业的工业机器人大多数都属于这种类型。

第二代是“感知型机器人”。这种机器人具有简单的外部传感装置，如视觉、力觉，并能根据这些传感器的信息做出相应的反应，如停止作业、避障、报警等。目前正在使用或研制中的特种机器人很多都属于这一代。教材本节“现象与问题”中提及的自动吸尘机器人，在它身体的周围安装了一种与蝙蝠探物原理类似的超声传感器，只要超声传感器探测到运动前方不远的有物体存在，机器人就会绕开行走，从而实现对地面的自动清扫；在教材图1.4所示的清洁机器人上安装了一种光电测障传感器，它发射一种红外光，并靠检测光线反射回来的时间来判断玻璃面上是否有凸起的窗框，从而提醒机器人避开；教材图1.5所示的火星探测机器人和图1.7中的防爆机器人则使用摄像机观察周围环境的情况，依靠视觉实现避障和寻找操作目标。这些都是第二代机器人的例子。

第三代是“智能型机器人”，它是人工智能技术与机器人技术完美结合的典范。这种机器人的特点是运动自由度多，智能化程度高，不仅具有视觉、听觉、触觉等感知能力，还有一定的逻辑思维和学习能力，能根据接收到的指令和环境信息进行推理、判断和综合决策，因此智能机器人能在未知的非结构化环境中完成复杂的工作，几乎可以和人类媲美。由于智能机器人需要极其复杂的硬件条件和智能控制技术，目前世界上还没有真正实用的智能型机器人，但它

将是机器人科学家们不断追求的目标。同学们都听说过足球机器人，学者们计划在 2050 年研制成一队足球机器人与人类举行一场世界杯足球的比赛，既然它们能与足球明星同场竞技，在体力、灵活性、协调性、默契与配合，以及环境适应性等方面均能与人媲美，把它们称为“智能型机器人”似不为过。

第二节 机器人的结构特征与简易机器人平台

一、教学目标

- (1) 了解机器人的结构组成和特征。
- (2) 认识简易机器人与实用机器人的关系。
- (3) 经历简易机器人小车的制作过程，体会制作乐趣。

二、结构分析

在上一节中，学生们与机器人进行了初次接触，对真实机器人有了初步的、概念性的认识。那么机器人这种工具与其他工具有什么不同呢？这正是本节首先要回答的问题。课文由表及里，先介绍了机器人的结构组成，即机械结构、驱动装置、传感器、控制器、动力源。其实单从构成机器人的五大部分来看，它与其他机电设备区别不大，但正如随后总结段落中所指出的：机器人是一种可编程的机器。这一点才是关键区别，它也与前面机器人定义中智能的概念相呼应，正是控制程序给了机器人智能。

教材随后通过实用机器人与简易机器人的比较引出了本课程将要研究的对象。教材中采用将两类机器人列表（教材表 1.2）的形式进行对比，简洁清晰。表中的比较项目一栏主要按机器人结构的几大部分划分，这样既承接了前面讲述的机器人结构组成，又可以顺理成章地得出比较的结论，即简易机器人是实用机器人的缩影，它具有机器人的所有结构组成，因而从机器人技术知识层面上说，简易机器人与实用机器人是没有什么差别的。

本节第二部分介绍了如何配合课堂教学开展简易机器人的制作活动。同学们自己动手组装机器人，并给机器人编写任务程序，最终让它动起来，完成设定的任务，是本课程主要的目标。实施这一点离不开与教材密切配套的教具及编程软件环境。教材中介绍了四种简易机器人制作途径，权衡起来，第二种只能作为其他三种途径的辅助方式；第三种的制作和改装难度较大，适用于课外科技活动，不适合课堂教学；第四种只能练习编程，创作的空间小，不符合课程标准的要求。因此，本教材重点介绍了零件拼装法，选择浙江爱科星科技有限公司的“ACTION 智能教育机器人开发系统”作为讲述本课程机器人知识点以及开展制作活动的平台。

本节最后在“实践活动”中让同学们尝试搭建一个能沿地面黑线运动的机器人小车，在系统的知识讲授前就先动手制作似乎有悖于传统的“先理论，后实践”的教学模式，这样安排主要基于以下三点考虑：第一，充分体现本课程的特点，要让机器人制作的活动自始至终贯穿在整个课堂教学中；第二，要提前激发起同学们学习本课程的兴趣，而不是等他们对理论知识学习厌倦之后才“亡羊补牢”；第三，为课程后面章节内容的学习打下基础，通过亲手搭建机器人，可以熟悉后面将要学到的控制器、传感器及机械结构。这里搭建的小车将是以后很多移动试验的运行载体。

三、教学建议与说明

教材在介绍机器人的结构组成时，由于篇幅的限制，仅用了教材图 1.8 的工业机器人进行对照说明，使得有的结构部分示意不是很明确，如传感器、动力源等。为弥补这一不足，教师在授课时可以多选用几幅其他机器人的图片，甚至服务机器人的图片。此外介绍每一个结构部分时还可选用一些单独的特写图片，如单独的伺服电机、汽缸、编码器、摄像头等。讲解完机器人的各个组成部分后，教师应当强调一下机器人控制程序的重要性，并向学生明确强调机器人的可编程性是它与其他机电设备的最主要区别，正是程序的变化赋予机器人生命。我们可以对照本节开始“现象与问题”部分提及的自动售货机进行说明。自动售货机结构与机器人类似，也具有五大部分结构，但在机器出厂后它的控制程序几乎无须改动，因此不能算是一台真正意义上的机器人。

●对教材第 7 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

将机器人的结构组成与人体进行比照，题目可以通过教师发问，组织同学们进行讨论，逐项总结出答案来。通过这一互动过程，能够加深学生对机器人结构的理解。

机器人	机械结构	驱动装置	传感器	控制器	动力源
人体	四肢、躯体、骨骼	肌肉	五官及皮肤	大脑及神经系统	消化及代谢器官

该节的下一个内容进入实用机器人与简易机器人的比较。“实用机器人”这个名词在机器人术语中并不常见，这里引用来与简易机器人作为对照，是为了更好地给简易机器人的特性进行界定。在课本中的实用机器人专指那些正在各个领域服役的机器人。讲解时教师可以拿来一个组装好的简易机器人，对照教材表 1.2 中的各项进行解说。以高台灭火机器人为例，对照教材第 108 页图 5.1，其机械结构是移动车体和升降台，驱动装置是驱动车轮和升降台的小型直流电机，传感器包括光电传感器和光敏传感器等，控制器为车体与升降台之间的方形盒，其中有单片机控制板以及机器人的动力源——8 节 5 号电池，同时说明它虽然较实用机器人简单，但也“五脏俱全”。这样做既生动形象，又能使同学们对简易机器人与实用机器人的区别心中有数。

关于简易机器人制作的理念和方法，讲解时不需要对教材涉及的几种途径做过多的说明。在这里倒是可以参照厂家提供的使用说明书针对与教材配套的简易机器人教具做一个介绍，如它的组成、用法等。

机器人小车搭建应是本节的重点。因为属于初次接触机器人的制作，姑且允许在模仿水平上对同学们的操作提出要求，在搭建过程中速度不是主要的，能按教材所示的步骤完整地制作出机器人小车并能正常运行即可。教师要发挥引导作用，适时地为学生排忧解难，给予鼓励，通过这个操作过程，让同学们体验零件拼装的要领，初步认识控制器结构的连接方法，以及与电机和传感器的插接方法，掌握操作机器人的正确步骤（上电→启动→停止），初步树立起独立操作完成任务的信心。

机器人小车搭建完后，同学们可以立即将机器人拿到实验场地上运行。因此要求教师事先就将机器人巡线的程序下载到控制器中。实验对场地要求比较简单，只需一条 25 mm 左右宽的引导线即可，用彩色胶带制作最容易。颜色也不一定要白底黑线，只要深浅搭配适当，保证

机器人上的光电传感器能区分它们就行。

机器人小车运行起来，同学们初次品尝到成功的果实，会产生一种前所未有的成就感，这样情感、态度和价值观就被有机地渗透到教学过程中。

●对教材第 11 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 巡线机器人在工厂中一般用于远距离自动搬运零部件，即通常所说的自动引导小车 (AGV)。它们也可以用在仓库、超市中的仓储物流作业。

2. 改变电机电源极性的目的在于改变电机输出轴的转向。其他改变驱动轮转向的方法还有：①在电机输出齿轮与车轴齿轮之间再加一个中介齿轮，利用外齿轮啮合改变转向的原理；②通过改变程序中电机速度参数的正负符号实现电机输出轴转向改变。

3. 笔在地面上画出的应是一条与引导黑线走向一致的蛇形曲线轨迹。这是因为控制程序设定只有当两个传感器都位于黑线正上方时机器人才直线前进，一旦某个传感器偏离黑线，机器人就会朝相反方向转弯，使该传感器回到黑线上来（例如当左侧传感器偏离黑线，机器人就会右转），而这个转弯又可能导致另一侧传感器偏离引导黑线，又引发下一轮纠偏，这样不断循环的结果致使机器人出现连续的蛇形转弯运动，但是轨迹的总体走向应该与引导黑线一致。

四、参考资料

机器人的机械结构

从模仿人类的观点看，机器人应由实现操作的机械手和完成行走的移动机构两部分组成。而现在单独的机械手和移动机构也被称为机器人，特别是把后者称为移动机器人。移动机器人的机构形式在教材第四章第四节的阅读材料中进行了讨论，下面主要介绍机械手的结构。

如图 1.1 所示，机械手可分为手臂和末端执行器两大部分。末端执行器是所有固定于手臂末端工具的总称，它们直接作用于任务对象，例如用于抓握物件的夹持器或手爪、用于搬运玻璃等平板型物体的吸盘装置、用于喷漆的喷枪和用于焊接的焊枪等。

机械手臂的基本结构是由刚性杆件通过关节连接而成的运动链。关节根据运动形态可分为转动关节和平移关节（图 1.2），通常机器人关节的运动自由度为 1。

手臂的作用是将末端执行器运送至空间特定的位置（三维空间中的 X 、 Y 、 Z 坐标）和姿态（绕三个坐标轴的转角）。通常，实现定位功能的是臂体（有时也叫手臂），而姿态调整则交给手腕实现，但在有的手臂上二者的运动并非完全独立。

在三维空间中实现定位功能的手臂一般需要三个自由度。若考虑用转动和平移关节进行组合，可以得到四种典型的机器人运动形态，即直角坐标型机器人、球坐标型机器人、圆柱坐标型机器人和关节型机器人（图 1.3）。

直角坐标型机器人是用三个沿 X 、 Y 、 Z 轴运动的平移关节构成的，结构简单，精度高，坐标计算和控制也较简单。但这种机器人的运动范围较小，且难以实现高速动作。

圆柱坐标型机器人是由一个转动关节和两个平移关节组合而成的，在空间的运动范围呈圆柱形；球坐标型机器人则由两个转动关节和一个平移关节组成，在空间的运动范围呈球形。这两种机器人由于都有中心回转自由度，所以它们的动作范围较大，坐标计算也较简单。世界上最初的实用化工业机器人“Versatran”和“Unimate”分别采用的是圆柱坐标型和球坐标型。

关节型机器人的三个自由度都是由转动关节实现的，可以看作仿人的手臂。这种结构的空间运动范围最大，对于实现空间任意位置和姿态最为有效，对作业任务的适应性很强，但缺点是坐标计算和控制比较复杂，且难以达到高精度。

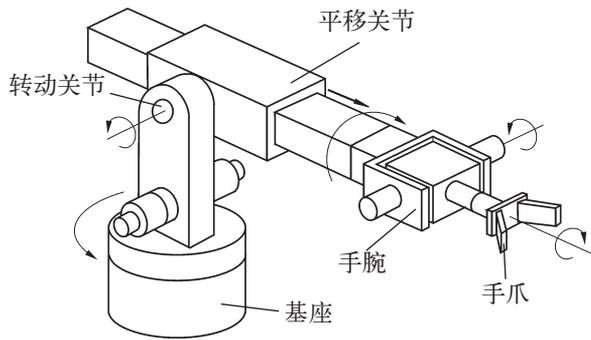


图 1.1 机械手的结构

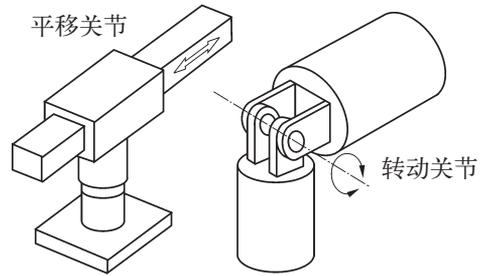
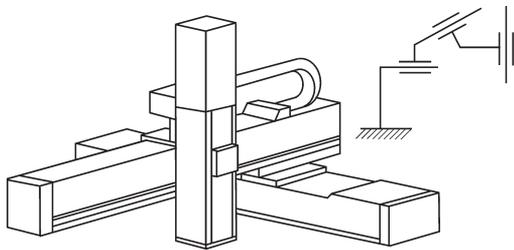
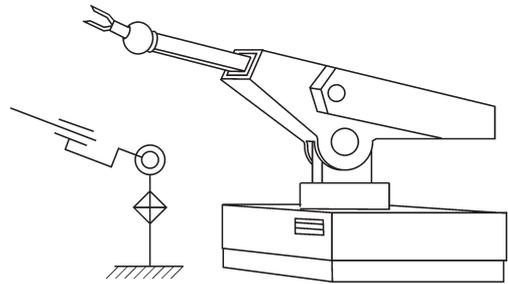


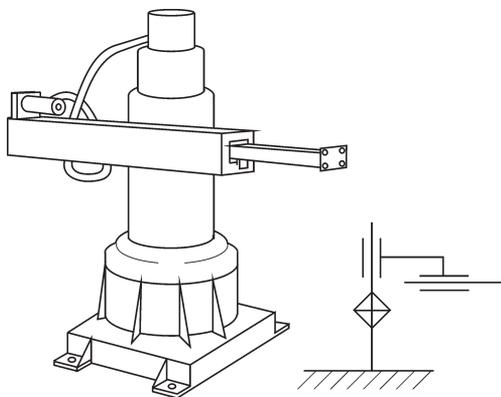
图 1.2 机械手上的关节形式



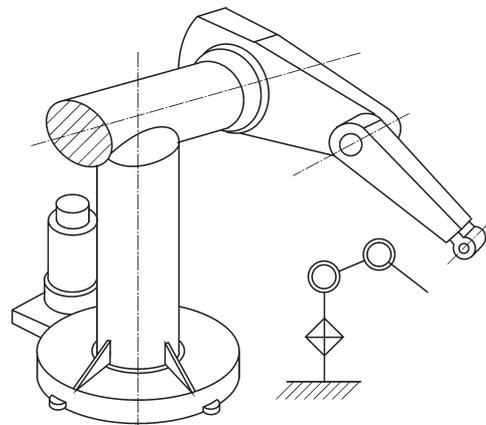
(a) 直角坐标型机器人



(b) 球坐标型机器人



(c) 圆柱坐标型机器人



(d) 关节型机器人

图 1.3 典型机械手形态

机器人的驱动装置与动力源

机器人的驱动装置相当于人的肌肉，使机器人的关节产生运动。目前在机器人上使用较多

的驱动装置有三种，即电动驱动器、液压驱动器和气动驱动器。

电动驱动器主要指传统的电动机（以下简称电机），也包括压电驱动器、静电驱动器等新型驱动装置。电机是目前大多数机器人采用的驱动器，主要原因是它的能源获取方便、结构紧凑简单、品种多样、控制方法灵活。电机是利用电磁原理将电能转换为动能，根据电源的不同分为交流（AC）电机和直流（DC）电机，根据控制方式又可分为伺服电机和步进电机。

液压驱动器是指由高压油驱动的液压缸或液压电机，前者输出移动，后者输出转动。但为了实现液压驱动器的动作，必须有配套的油泵、油箱、过滤器、液压控制阀等元件，因此整个系统较为复杂，维护比较麻烦。而且由于驱动的油压很高（一般达到 6.86 MPa），对液压元件的密封性要求比较高，否则容易造成漏油和污染。液压驱动的优点是输出力大、传力刚性好，因此响应快、精度高、载荷大的场合往往采用液压驱动器。

气动驱动器与液压驱动器的驱动方式和系统构成类似，不同之处在于所用的驱动介质不是液压油而是压缩空气。压缩空气的压力较低（一般为 0.588 MPa），而且不必担心泄漏问题，也没有污染，且具有本质防爆性，适用于防火防爆的某些特殊应用场合。气压驱动的缺点是气体具有可压缩性，负载力小，刚性较差，难以实现精确的速度和位置控制。

根据驱动装置的不同，可把机器人上所用的动力源相应地分为三大类：电动力源、液压力源和气压动力源。液压力源和气压动力源的变化相对较少，只需油泵或空气压缩机再加上一些用于过滤和储能的元器件即可。需要说明的是，油泵和空气压缩机也都是由电机驱动的，但这些电机使用的是来自发电厂的商业电源。商业电源一般称作一次动力源，机器人上使用的称为二次动力源。

电源是机器人必备的能源。除了使用电动驱动器需要电动力源外，机器人所用的控制器、传感器等都需要电源。机器人的电源可分为交流电源和直流电源。直流电源可以通过交流电源整流后获得，或者由电池组提供。

对于需要较大范围运动的移动机器人，采用电池供电是较理想的，这样避免了机器人拖带大量的电缆，或者油管和气管，例如工厂自动化系统中使用的自动引导搬运车（AGV）几乎都是采用电池做动力源。实用机器人上使用的电池通常是能反复充放电的蓄电池。现在比较成熟的蓄电池种类有铅酸电池、镍镉电池、锂电池。在太空中作业的机器人使用的是太阳能蓄电池。

另一种用于给野外移动机器人提供动力的装置是发动机。普通电池的质量几乎与可能储存的能量成正比，而发动机的质量几乎与输出功率成正比。因此，要求长时间运转的移动机器人最好采用发动机做动力源。但发动机排出的废气会造成污染，所以在原子能发电厂、工厂等室内环境作业的机器人一般很少采用发动机。

简易机器人一般都选用电机驱动，由于它需要在一定的空间中移动运行，用电缆供电显然不方便，因此多数采用电池供电。

第三节 简易机器人设计

一、教学目标

- (1) 了解简易机器人的设计和制作步骤，加深对《技术与设计 1》中讲述的一般设计方法的理解。
- (2) 提出本课程的简易机器人设计任务。
- (3) 尝试根据任务要求制订简易机器人的制作方案。

二、结构分析

本章前两节介绍了有关机器人的基本概念和入门知识，从本节开始进入课程内容的正题。首先，对简易机器人的设计制作流程进行描述，它让同学们从宏观上把握制作一个简易机器人需要经历的过程和步骤，在以后的制作活动中做到心中有数、按部就班、有章可循。过程的描述采用了漫画情境的形式，活泼生动，符合同学们的审美情趣。

接下来的内容基本上按照教科书中给出的设计与制作流程展开。第一步是设计任务的提出。本教材提出了两个机器人制作项目，一个是高台灭火，另一个是巡线运球。每个项目都描述了任务目标、场地要求、运行规则，把整个制作过程建立在一个比较规范的平台之上，也便于师生具体操作。从形式上看，两个项目都采用了学生比较喜爱的竞赛方式，要求他们最后将各自制作好的机器人同场演示，同场竞技，增加了教学过程的趣味性和刺激性。这也是为什么在本章最后的“阅读材料”中要介绍一些国内外的机器人赛事的道理。

项目的要求和规则描述比较简单，主要是为了给同学们留出较大的自由创新空间。虽然在后面的章节中逐步给出两个项目各自的机器人结构形式和控制程序，但只是为了体现简易机器人制作的完整过程，同学们完全可以发挥自己的想象力，设计出不同的机器人来更好地完成这些任务。当然，也不排除教师根据课程标准的要求向同学布置其他制作项目，改换成其他运行场地。

第二步是根据设计任务进行功能分解并制订设计方案。课文中仅以高台灭火机器人为例进行了说明，教材表 1.3 列出一个表格，在分解功能的基础上讨论了解决的办法、需要考虑的细节以及最后确定的具体方案，论证了方案的合理性和可行性。这个表格示范了如何通过标准、规范的技术语言进行交流，比较简单的设计与制作项目均可举一反三，在“活动延伸”中希望同学们仿照此例制订巡线运球机器人的设计方案，教材第五章的表 5.4 给出了它的一种设计方案。

教材并没有对机器人的方案制订过程做详细的论述，仅根据“过河”的任务以列表的方式给出了“造桥”的答案，至于如何具体实现“造桥”的细节，给同学们留出今后学习的目标，引导同学们有针对性地、带着问题继续探索。教材和教师将在以后的章节中陆续介绍相关内容，引领同学们逐渐开启一扇扇解决问题的的大门。

三、教学建议与说明

机器人既然是一种工具，是一种特殊的工程系统，它的设计与制作也应当遵循一般的工程方法。老师在讲述机器人的制作流程时可以先回顾在《技术与设计 1》模块中学到的基本设计方法。例如，在河南科学技术出版社出版的《技术与设计 1》第三章介绍了工程设计的一般过程，

包括“发现与明确问题、制订设计方案、模型或原型的制作、设计优化、产品使用说明”等几个步骤。机器人制作流程实际是上述过程的一种具体化，对应关系如下表：

一般设计过程	机器人设计制作流程
发现与明确问题	任务提出
	分解功能
制订设计方案	方案制订和论证
模型或原型的制作	制作
	编程
	将程序下载到机器人控制器
设计优化	调试并改进
产品使用说明	

教材选择的两个机器人项目具有较强的综合性，包含了机械、控制、传感器、编程等方面的知识，所涉及的技术内容基本上涵盖了课程标准的要求。在实施时可以将3~5位同学编成一组，先各自准备，然后在组内展开讨论。建议有条件的学校尽可能让每一个小组均能同时完成上述两个项目，组内同学之间可以分工协作，教师可以根据实际情况让同学独立选择其中的一项任务完成。在介绍项目时，教师可以配合一段教具附带的机器人运行演示录像进行解说，这样比课本上的图文显得更形象生动，同学们更容易理解。项目的具体要求和规则可以让同学们自己阅读。

●对教材第14页“探究尝试”的处理参考意见如下：

本节的“探究尝试”栏目要针对两个机器人项目探讨完成任务的动作序列以及需要的传感器。在看完机器人演示录像后，同学们应该能试着总结出各自的答案（参考答案见图1.4和图1.5）。根据机器人的动作序列，合并其中的同类项，就能得到机器人应具备的功能。因此，该“探究尝试”实际上是后面的方案制订的铺垫工作。教师在引导同学们探讨两项机器人的动作顺序后，就可以接着对教材表1.3中高台灭火机器人的方案设计进行讲解，说明针对不同的功能可以有哪些解决办法，为什么选择现在的方案，教师可以根据该表的内容进行一些发挥。以如何实现“自动寻找火源”功能为例，火源具有的物理特征是发光发热，因此要识别它可以采用光敏或热敏传感器，而且两种传感器在技术复杂程度和造价方面也都差不多。采用光识别的优点是光线传播速度快、方向性好，但容易受环境光（阳光、灯光等）的影响；热在空气中传播速度较慢，方向性不是很好，而且环境中各种热源的干扰也很强。通过比较，我们选择光敏传感器，它能根据光线强弱输出不同的电压信号，而且将两个传感器并排放置在机器人前方的一左一右，比较它们的输出就能确定光源的方向。

●对教材第15页“活动延伸”的实施建议：

活动延伸希望同学们仿照教材表1.3的例子制订巡线运球机器人的设计方案，教材第五章的表5.4给出了它的一种答案。

●对教材第15页“阅读材料”的说明：

本章“阅读材料”旨在通过介绍各国方兴未艾的机器人赛事进一步提升同学们学习机器人的热情，扩大眼界。“阅读材料”的内容可以交给同学们自己去读，并上网查阅相关比赛的资料。如果当地学校也组织类似的学生机器人比赛，老师可以较详细地对它们进行介绍，鼓励有

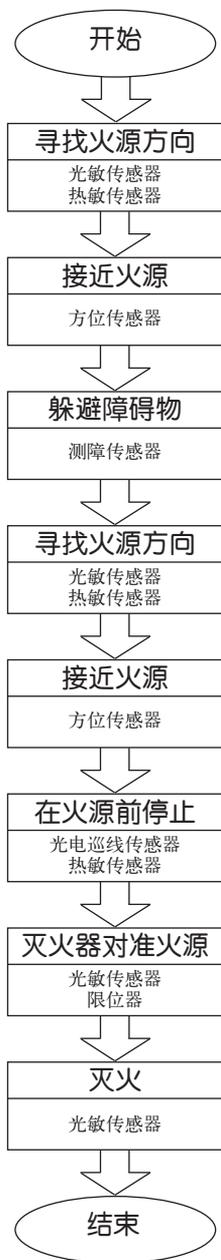


图 1.4 高台灭火机器人

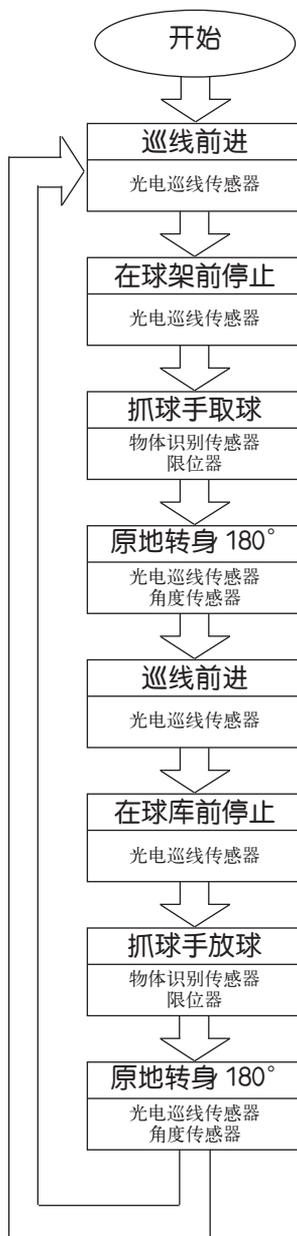


图 1.5 巡线运球机器人

兴趣的同学参加。

四、参考资料

移动机器人的分类

在机器人发展的初期（20 世纪 60 ~ 70 年代），迅速普及并实用化的工业机器人给人的

印象是机器人只是固定不动的自动机械手，广泛开展移动功能的研究和开发是进入 20 世纪 80 年代以后的事。现在作为移动机器人而开发试制的类型归纳起来可列出以下几种：

- (1) 机械手附加移动功能。
- (2) 检查测量装置附加移动功能。
- (3) 工厂中的自动引导搬运车 (AGV)。
- (4) 具有识别环境、回避障碍物、规划路径等功能的移动机械。
- (5) 具有特殊移动形态和方式的移动机械，如步行式机器人、蠕动式机器人、跳跃式机器人等。
- (6) 具有特殊移动路径和能力的移动机械，如全方位移动车、可重构车等。
- (7) 能在特殊环境下移动的机械，如野外机器人、壁面机器人、水下机器人等。

移动机器人的形态因移动环境不同而有很大差别。移动机器人一般的移动环境可按构成环境的物质及相态 (固、液、气) 来分类，如图 1.6 所示。图中，圆的重叠部分表示三个相态的交界面。目前，实用化的移动机器人大多是在固体和流体 (主要是气体，少量是液体) 的界面上移动，其他环境对机器人而言可认为是特殊环境。

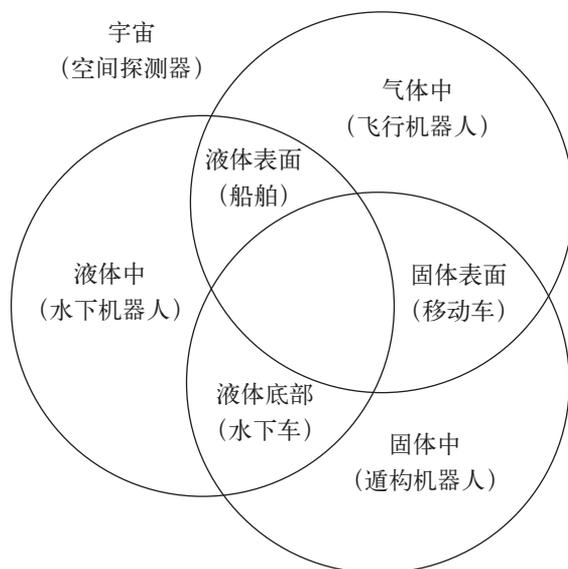


图 1.6 移动机器人的环境分类

适合于不同环境，移动机器人将具有各种形态。对于地面移动机器人，它们主要有车轮形、履带形、腿脚形以及躯干形四种。车轮形和履带形都是生物界中没有的形态，前者在平地移动的效率很高，后者适合于不平地面的移动。

腿脚形和躯干形是生物体中常见的形态，蚯蚓、蛇、毛虫等都属于躯干形移动。对于机器人，腿脚形多用于凹凸表面的移动，而躯干形多用于管道等有限空间内的移动。

决定移动机器人行动范围大小的主要因素在于机器人是否需要经常从外界进行控制和补充能源。根据这种情况分类，移动机器人有无缆自主型与有缆型两种。

移动机器人的大小也是由环境决定的，它们按尺度可分为四类：与人大小相仿的 (1 m 左

右)为中型机器人, 10 cm 左右的是小型机器人, 1 cm 以下为微型机器人, 比中型大的是大型机器人。

地震救援机器人

据专家研究, 地震发生 72 h 之后找到生还者的可能性已经不大。在 1995 年的日本“阪神”大地震中, 90% 以上的死者是因为被埋在倒塌的建筑物下面未能及时获救而死亡的。因为大型工业机械不适用于震区的挖掘工作, 而人工挖掘的速度又太慢。为了避免在今后的灾难中发生类似情况, 各国科学家开始向机器人求助, 研制地震救援机器人。

地震救援机器人属于移动机器人的一种, 但与其他移动机器人的主要不同在于它要在地震后的废墟里运动, 因此其移动机构的设计至关重要。

到目前为止, 比较接近实用的地震救援机器人有如下几种: 图 1.7 是一种车轮驱动机器人, 虽然它的每个车轮轴都有一定的变形能力(类似火星车), 但它适应地形变化的能力仍然有限。图 1.8 是一种可变形机器人, 躯体分成三节, 每一节实际上是一个双履带驱动的车体, 它适应崎岖地形的能力较强, 也不怕翻倒。



图 1.7 轮式地震救援机器人



图 1.8 可变形履带式地震救援机器人

图 1.9 的蜘蛛形机器人有四条腿, 每条都能灵巧地变形, 适合在废墟上行走。图 1.10 是蛇形机器人, 它可以随意弯曲和卷曲以适应各种废墟地形, 还可以通过很狭小的废墟缝隙。

地震救援机器人只是一种移动载体, 必须搭载相应的救援设备, 生命探测器就是其中主要设备之一。常用的探测器有三种: 光学生命探测仪、热红外生命探测仪和声波振动生命探测仪。光学生命探测仪是利用光反射进行生命探测的, 俗名“蛇眼”。仪器的主体非常柔韧, 像通下水道用的蛇皮管, 能在瓦砾堆中自由扭动。仪器前面有细小的探头, 可深入极微小的缝隙探测, 类似摄像仪器, 通过无线电信号将信息传送回来, 救援队员从观察器中就可以把瓦砾深处的情况看得清清楚楚。

热红外生命探测仪具有夜视功能, 它的原理是通过感知温度差异来判断不同的目标, 因此在黑暗中也能照常工作。这种仪器有点像现在商场门口测体温的仪器, 只是个头比后者大多了, 而且带有图像显示器。

声波振动生命探测仪靠的是识别被困者发出的声音。人类有两个耳朵, 这种仪器却有 3 ~

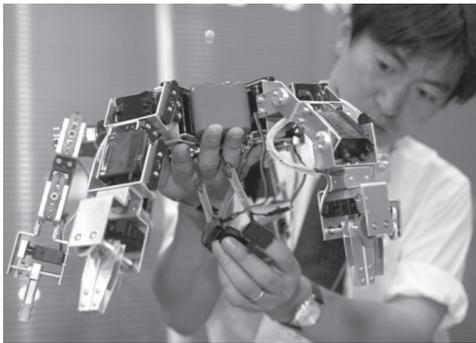


图 1.9 蜘蛛形地震救援机器人



图 1.10 蛇形地震救援机器人

6个“耳朵”，它们的专用术语称为“拾振器”，也叫振动传感器，能根据各个“耳朵”接收到的声音的先后差异（很微小）来判断幸存者的具体位置。说话的声音对它来说最容易识别，因为设计者充分研究了人的发声频率。如果幸存者已经不能说话，只要用手指轻轻敲击，发出微小的声响，也能够被它接收到。

第二章 简易机器人的大脑——单片机

本章提示

人的行为由大脑控制，机器人也是如此，机器人的大脑就是控制计算机或控制器。对简易机器人而言，它的控制器主要以单片机为核心，因此本章内容将主要围绕单片机来展开。

任何控制计算机都包含硬件和软件两部分，本章也将从这两方面对单片机进行介绍。首先介绍单片机的概念、结构及工作原理，这是硬件部分；其次介绍单片机的编程环境和编程语言，这是软件部分。硬件是物质条件，软件则赋予单片机生命。本章共分五节，在具体内容处理上需注意以下几点：

(1) 根据课程标准的要求，本章应该是本教材的重点，然而它涉及的内容又同时是教师讲授和学生理解的难点，因此教师在授课时不一定全部照讲，允许对内容进行适当取舍。有关单片机的概念和原理介绍不要求很深入，重点应让学生了解单片机使用层面的相关知识，尤其着重培养他们的软件编程能力。

(2) 单片机的种类很多，功能上也有些差别，而且通常无法单独使用，必须与其他外围电路共同构成一个完整的控制器，才能对机器人履行控制功能。涉及单片机知识，一般无法避开特定的款式和型号，本教材选择 ATmega16 单片机，以及以它为核心构成的 RoCon 简易机器人专用控制器为例来介绍单片机的使用和编程。

(3) 谈到单片机编程的方法，也是林林总总，有的要涉及很深的硬件知识。简易机器人单片机的编程要适合中学生的接受水平，因此教材选用了一种与 RoCon 控制器配套的集成化 ROYA 软件环境，其操作和我们常用的微软 Word 文字编辑软件类似，非常简便，初学者也很容易学习使用。

(4) ROYA 软件环境提供两种编程语言，即图形化编程和 C 语言编程。图形化语言编程类似于绘制程序流程图，采用模块化操作，更容易理解和使用，比较适合初学编程的同学；C 语言是目前世界上最为流行、使用最广泛的编程语言，ROYA 提供一种简易 C 语言的编程方式，一方面是为了便于学生初步了解 C 语言，也为他们日后进入更高层次的软件编程打下基础。C 语言部分内容较多，概念也多，适合有一定软件基础的同学学习使用。为此，教材在安排上也是先讲图形化语言，再讲 C 语言。

第一节 什么是单片机

一、教学目标

(1) 学习单片机的概念，了解单片机就是集成在单个芯片上的简单计算机，它具有我们

通常在个人计算机（PC 机）主板上看到的一些基本配置，如 CPU、RAM、ROM、I/O 等。

(2) 初步认识简易机器人的 RoCon 控制器，了解它的结构与配置。

(3) 了解单片机的主要特点与应用情况。

二、 结构分析

本节主要是介绍单片机的概念和特点,但开篇就提出单片机可能给读者生硬和突兀的感觉。在第一章我们曾介绍过机器人的组成,其中包括机器人控制器,而单片机正是简易机器人控制器的核心芯片,因此从控制器引出单片机顺理成章。本章绪言有关机器人“大脑”的论述,以及本节“现象与问题”中拟人机器人的“背包”,都是对机器人控制器的提示(其实拟人机器人的背包里除了控制器就是电池)。

本节正文先对机器人控制器应具备的基本功能进行了归纳,指出这些功能是普通计算机和单片机都应该具备的,还通过列表强调了用普通计算机和单片机作为机器人控制器的异同,引出单片机的概念,同时注意到单片机的局限性。

教材图 2.1 展示出的单片机只是一块块芯片,同学们很难与第一章接触过的控制器联系起来。因此教材又从单片机回到机器人控制器,简要介绍单片机的用法。但这里不再是泛泛地介绍,而是选用了教材中使用的基于 ATmega16 单片机的 RoCon 简易机器人实际控制器进行典型案例分析。讲述这个控制器不仅可以使同学们了解单片机的一种应用实例,也为后续学习做好准备。

有了单片机的基本概念后,本节第二部分给出了单片机的特点。这部分实际上是对前面 PC 机与单片机比较的进一步归纳和总结,使单片机的特点更为明确。单片机是本教材的重点内容,值得多花费一些笔墨。

在介绍单片机的应用时,教材并没有把它们直接罗列出来,而是将其放到“探究尝试”中。“探究尝试”的第一个作业是让同学们自己去探寻单片机的日常应用,填充表格中的空格,这样更有助于加深他们的知识。

三、 教学建议与说明

为了引出单片机的概念,应首先提出机器人控制器。为此,教师可以先回顾第一章中介绍过的机器人结构组成,指出其中的控制器就是机器人的大脑,它负责指挥协调机器人的所有动作。接着讲解机器人控制器应该具有的基本功能。在课堂上,教师需要进一步解释机器人控制器为什么需要这些功能:可编程功能是为了使机器人更容易应对不同的任务,例如机器人巡线运球和高台灭火显然不能使用同一个控制程序;分析和计算功能是为了实现机器人精确的控制,例如机械臂关节位置的精确控制,需要控制器计算关节传感器的反馈信号;信号的输入输出功能是为了整个系统胜任复杂的任务,“输入”是指接收传感器的信号,“输出”则是向外发出运动信号。

实际上,常用计算机就具备上述三项功能,其中可编程功能和分析、计算功能是计算机的强项,常见的 BASIC、FORTRAN、C 语言等能编写各种复杂的分析计算程序,信号的输入输出功能分别对应于鼠标和显示器。正因为计算机具备这些功能,实用机器人一般采用计算机作为它们的控制器。机器人专用控制器不过是一种经特殊制造的计算机,基本功能与普通计算机差别不大,只是运动控制能力更强大。

那么单片机是什么呢?教材图 2.1 告诉大家,单片机其实是一块单芯片的计算机。如果教师在课堂上展示一些单片机的实物效果就更好。它集成了普通计算机上的 CPU、存储器及各

种 I/O 口, 也具备控制器的基本功能, 因此也可以用作机器人的控制器。教材表 2.1 给出基于 PC 机的控制器与基于单片机的控制器的区别, 应该向学生指出, 它们之间最主要的区别是单片机尺寸小、结构简单、功能不够强大, 因而价格更低廉, 更适合于简易机器人。教材以去高级餐厅就餐来比喻 PC 机控制器的复杂性, 它一般由专业厂家设计开发, 用户要做的事情只是选用; 而单片机结构功能相对简单, 用户可以根据需要自己设计制作, 就像自己买菜做饭一样。

教材的下一个知识点转到用单片机如何构建控制器上。首先是要在品种繁多的单片机中选择合适的型号, 其次必须设计一些与之配合的外围电路, 以便完成机器人的具体控制任务。教材以 RoCon 机器人控制器为例进行了具体说明。授课时教师可以打开 RoCon 控制器的上盖, 向同学们指出控制板上单片机、I/O 接口等元器件的相应部位, 使他们对 RoCon 控制器有一个感性认识, 初步了解它的结构, 为日后的学习打下基础。

本书总结了 8 条“单片机的特点”, 其中 6 条优点, 2 条不足。因为有些内容涉及后面的单片机硬件和编程知识, 因此教师不必在这里做详细的讲解, 留待学生在后续内容学习中加深理解。教师需要说明的一点是, 优点和不足是互相制约的, 这是微处理器芯片发展的一对矛盾, 减小芯片体积, 则相应的 I/O 引脚和内部功能模块就要减少; 提高芯片速度, 则芯片的功耗就要增加, 在技术教育中要贯彻权衡和选择的理念。

●教材第 19 页“现象与问题”的参考答案:

1. 机器人背后的背包的最可能用途是安放机器人的电源(电池)和控制系统。因为以目前的科技水平, 用在拟人机器人上的电池不可能体积很小, 机器人持续行走消耗的能量很大, 必须有高效能的电池为机器人提供动力; 另外, 机器人控制器的体积也不会很小, 需要容纳在背包内。

2. 这是一个仁者见仁、智者见智的问题, 没有统一答案, 教师可以组织学生在课外就这个问题进行辩论。

●对教材第 22 页“探究尝试”的处理参考意见如下:

该“探究尝试”主要是让学生了解单片机的应用, 通过学生自己的调查, 明白单片机在我们生活中的重要作用, 激发学生的求知欲。这部分内容可以让学生在课后完成。

1. 教材中列举了单片机的七个应用领域, 教师还可以引导学生再列举出一些其他领域, 如玩具、医疗卫生、环境保护、军事、航空航天等。就上述七个领域而言, 有以下应用实例:

家用电器领域——电冰箱、遥控电视机、摄像机、DVD、音响设备、数码照相机、全自动洗衣机、空调、微波炉、电饭煲、热水器、万年历、智能充电器、各种报警器等。

办公领域——电话机、复印机、传真机等。

商业设备——自动售货机、自动柜员机、电子收款机、电子秤、智能卡等。

电信设备——电话机、手机、对讲机、无线电台、调制解调器、通话计费器、电话密码锁、来电显示器等。

仪器仪表领域——多功能万用电表、智能温度计、智能测力仪、智能血压计、示波器等。

工业控制领域——数控机床、智能机器人、可编程控制器、电机控制器、温度控制器、智能传感器等。

农业领域——恒温蔬菜大棚、自动灌溉系统、智能节水系统、智能水情检测系统等。

2. 教师可以引导学生从前面列举的例子中选择一个进行分析, 例如电子秤, 它的作用是称量置于秤盘上的物品的重量, 用数码管或液晶显示屏显示出重量的数值或换算成物品的价格。

它的输入信号有重量信号（力信号），还有一些从控制面板的键盘输入的信号；输出信号就是各种显示值。单片机把欲称量的物品通过力传感器采集进来，同时也把控制面板上的一些参数读取进来，通过运算，将结果输出到显示屏。单片机十分胜任这种采集信号、运算处理、输出信号的任务。

●对教材第 22 页“活动延伸”的实施建议：

“活动延伸”中给学生留的作业属于开放性的问题，教师可以要求有条件的学生拆开一个智能玩具，看看里面的电路芯片，记下型号，然后上网查找这些芯片的资料。

同学们提交的“活动延伸”的答案可能很分散，因为是他们各自的体验，只要能促进对单片机的了解，各种答案均可。

四、参考资料

单片机和微控制器

今天，人类生活环境和工作中有越来越多的称之为单片机的小电脑在提供服务，而人们往往意识不到。比如，当我们用遥控器操控电视机或 VCD 享受其丰富的功能时，单片机在接收遥控命令；手机中亦有单片机的身影；就连一度令许多青少年痴迷的电子宠物，也是单片机在起作用。

时下，家用电器和办公设备的智能化、遥控化、模糊控制化成为一种潮流，它们完善的功能无一不是靠单片机来实现的。如果我们不具备单片机方面的知识，对这些电器设备的日常保养和故障维修会束手无策。

一个装有专用软件的单片机，配上一个液晶显示屏和几个小按钮，再装入一个小塑料壳，便可构成一个妙趣无穷的电子宠物，造价不过 10 元，但市场售价竟高达 120 ~ 180 元。理由在于它属于高科技产品，技术含量高，其中的软件凝集着开发者的聪明智慧。

近年来，随着微电子技术的迅速发展，单片机技术的发展速度十分惊人，它已成为计算机领域一个独特而又重要的分支。它的应用领域也日益广泛，特别是在电信、家用电器、工业控制、仪器仪表、汽车电子系统等领域的智能化方面，扮演着越来越重要的角色。

单片机加上高性能的控制软件，会引发传统控制技术的巨大变革。换言之，单片机的应用是对传统控制技术的一场革命。因此，学习单片机的原理，掌握单片机的应用技术，具有非常重要的意义。

在电子世界领域，20 世纪属于无线电时代，21 世纪被称为以计算机技术为核心的智能化现代电子时代。现代电子系统的核心是嵌入式计算机应用系统（简称嵌入式系统，embedded system），单片机就是最典型、最广泛、最普及的嵌入式系统。

20 世纪 80 年代 PC 机的出现推动了计算机革命。而计算机产业革命最重要的标志是计算机嵌入式系统的诞生。近代电子计算机是为了满足大量的科学计算和数值处理的需要而诞生的。在一段时间内，电子计算机都是以海量数值计算为主要发展目标。但是将逻辑运算、处理、控制嵌入非计算机产品中的计算机系统表现出更大的应用前景。如果把处理海量数据的计算机系统称为通用计算机系统，那么嵌入控制对象中的计算机系统就称为嵌入式计算机，两者的技术发展方向不同，前者体现在海量数据存储、吞吐、高速数据处理分析和传输上；而后者要求在受控对象的环境中可靠运行，对外部物理参量的高速采集、逻辑分析处理和对外部受控目标的快速控制等。例如早期人们将通用计算机加上数据采集单元、输出驱动电路构成一个热处理炉的温控系统，显然，这样的通用计算机系统不可能为大多数电子系统接受，而要使通用计算机

系统满足嵌入式应用要求，又必然影响高速数值处理的速度。为了解决计算机技术发展的矛盾，20 世纪 70 年代，半导体专家另辟蹊径，按照电子系统的计算机嵌入式应用的特殊要求，将一个微型计算机基本系统集成在一个芯片上，形成了早期的单片机（single chip microcomputer）。单片机问世后，通用计算机和嵌入式计算机这两个分支开始分道扬镳，但是各自均在特定的专业方向上飞速发展。

嵌入式系统源于计算机的嵌入式应用，早期嵌入式系统是将通用计算机改装后嵌入被测对象体系中，如舰船的自动驾驶仪、轮机监测系统等。嵌入式系统首先是一个计算机系统；其次它被嵌入对象体系中，在对象体系中实现被控对象要求的数据采集、分析处理、状态显示、输出控制等功能。由于嵌入在对象体系中，嵌入式系统的计算机没有计算机的独立形态及功能。但是单片机则完全按照嵌入式系统要求设计，早期因为将电子计算机中的全部特征器件都集成到单个芯片上，所以俗称单片机；随着单片机的控制功能和外围接口功能的不断增强，尤其是控制功能的增强，国际上已经将单片机正名为微控制器（MCU, microcontroller unit）。

目前，电子元器件产业除了微处理器、嵌入式系统器件产业外，大多数是围绕现代电子系统配套的元器件产业，如在人机交互方面的按键、键盘控制器，LED/LCD 显示器，LED/LCD 驱动器，语音集成单元；在数据采集方面的数字传感器、数字电位器、数/模转换器、信号调理模块等；在伺服驱动控制方面的功率驱动器、数/模转换器、固态继电器、变频控制单元等；在通信方面的各种总线驱动器、电平转换器等；在信息存储方面的 EEPROM、FLASH 存储器、NV-SRAM 非易失性存储器等。在 21 世纪，只有从事嵌入式应用系统的人才能真正进入计算机系统的内部软、硬件体系中，才能真正领会计算机智能化的本质。从学习单片机入手是当今培养计算机应用软、硬件人才的最经济实用、最简便可行的途径。

智能玩具、简易机器人是单片机应用的又一个新天地，既涉及硬件制作，又与软件相关，同学们在学习制作的过程中既动脑，又动手。初级水平的入门者可开发简单的智能玩具和简易机器人，用高级语言或图形化语言编程；中级水平者可以开发一些智能控制器，如电脑鼠、智能车、人形机器人等，用高级语言或汇编语言编程；高级水平者可开发工业控制单元、网络通信等。

通用运动控制技术发展概述

运动控制起源于早期的伺服控制（servomechanism）。简单地说，运动控制就是对机械运动部件的位置、速度等进行实时控制管理，使其按照预期的运动轨迹和规定的运动参数运动。早期的运动控制技术主要伴随数控（CNC）技术、机器人技术（robotics）和工厂自动化技术而发展。此阶段，它们实际上只是独立运行的专用控制器，往往无须另外的处理器和操作系统支持，即可独立完成运动控制功能、工艺技术要求和人机交互。这类控制器可以称作独立运行（stand-alone）运动控制器。这类控制器往往针对专门的数控机械和其他自动化设备而设计，并根据应用行业的工艺要求设计了相关的功能，用户只需按照协议要求编写应用加工代码文件，利用 RS232 或者 DNC 方式传输到控制器，控制器即可完成相关的动作。这类控制器不能离开特定的工艺要求跨行业应用，通用性不强。

1987 年，美国空军在美国政府资助下发表了著名的“NGC（下一代控制器）研究计划”，提出了开放体系结构控制器的概念。

通用运动控制技术作为自动化技术的一个重要分支，20 世纪 90 年代在发达国家（例如美国）进入快速发展的阶段。

目前，通用运动控制器从结构上主要分为如下三大类：

1. 基于计算机标准总线的运动控制器

它是把具有开放体系结构、独立于计算机的运动控制器与计算机整合起来。这种运动控制器大都采用 DSP 或微机芯片作为 CPU，可完成运动规划、高速实时插补、伺服滤波控制和伺服驱动、外部 I/O 之间的标准化通用接口功能，它开放的函数库可供用户根据不同的需求，在 DOS 或 Windows 等平台下自行开发应用软件，组成各种控制系统。如美国 Deltatau 公司的 PMAC 多轴运动控制器等。目前这种运动控制器是市场上的主流产品。

2. Soft 型开放式运动控制器

它的运动控制软件全部装在计算机中，提供给用户最大的灵活性，而硬件部分仅是计算机、伺服驱动和外部 I/O 之间的标准化通用接口，就像计算机中可以安装各种品牌的声卡、CDROM 和相应的驱动程序一样。用户可以在 Windows 平台或其他操作系统的支持下，利用开放的运动控制内核，开发所需的控制功能，构成各种类型的高性能运动控制系统，从而得到更多的选择和灵活性。基于 Soft 型开放式运动控制器的典型产品有美国 MDSI 公司的 Open CNC、德国 PA (Power Automation) 公司的 PA8000NT、美国 Soft SERVO 公司的基于网络的运动控制器等。Soft 型开放式运动控制的特点是成本相对较低，能够给予系统集成商和开发商更加个性化的开发平台。

3. 嵌入式结构的运动控制器

这种运动控制器是把计算机嵌入运动控制器的一种产品，能够独立运行。运动控制器与计算机之间的通信依然靠计算机总线，实质上是基于总线结构的运动控制器的一种变种。这种产品采用了更加可靠的总线连接方式（采用针式连接器），更加适合工业应用。在使用中，采用工业以太网、RS485、SERCOS、Profibus 等现场网络通信接口连接上级计算机或控制面板。嵌入式的运动控制器也可配置软盘和硬盘驱动器，甚至可以通过 Internet 进行远程诊断，如美国 ADEPT 公司的 Smart Controller，固高科技公司的 GU 嵌入式运动控制平台系列产品等。

第二节 单片机的基本原理

一、教学目标

- (1) 了解单片机的基本结构和组成。
- (2) 初步理解单片机的工作原理。对单片机如何通过内部总线在 CPU、存储器和 I/O 口之间传递指令和数据有一个基本认识。
- (3) 认识单片机的引脚。

二、结构分析

本节内容是上一节的延伸，在初步认识了单片机的特点和应用后，本节将进入它的内部进行探究。

本节“现象与问题”首先让同学们思考计算机主板上的主要部件，在第 25 页的“探究尝试”中也让学生讨论 PC 机上各种存储器的用途，目的都是让他们对计算机和单片机的内部结构有一个对比性认识。

本节正文第一部分对单片机内部结构中三个主要部分——CPU、存储器和 I/O 口的种类

及各自功能进行了简单描述，通过展示 163×156 简单算式在单片机中运行的流程，形象化地说明单片机的工作原理。事实上，单片机的结构和工作原理所涉及的硬件知识很深，在大学里专门设了一门课程“微机原理”进行讲解。本教材只用较少的篇幅和比较通俗的语言对它们进行简介，教师让同学们对其中的一些主要概念有初步的了解即可，不必陷入烦琐的硬件电路和逻辑关系中。

单片机应用的最终目的是能控制外部设备，而单片机内部电路与外部设备的连接桥梁就是引脚。本节正文第二部分对单片机的引脚进行了讲解。单片机的种类很多，各种单片机的引脚布置和功能又有差别，教材仅以 RoCon 控制器上采用的 ATmega16 单片机为例进行了说明。教师可以按照本节第 29 页“实践活动”的安排，让同学们亲自识别并测量 RoCon 控制器上单片机的各种引脚，这样便于增加他们对单片机引脚和控制器结构的感性认识。

三、教学建议与说明

从第一节单片机的特点和应用，可以很自然地过渡到本节的内容上来。本节的“现象与问题”主要是为了将 PC 机与单片机进行比较，课堂上不一定探讨，教师可以让同学们课后自己研究。

1. 关于单片机的基本结构及工作原理

这部分内容涉及的硬件知识较深，专业名词也较多，如果讲得太深，不仅要占用大量课时，而且学生很难理解。课程标准对这部分内容的要求仅仅是“知道”，因此教师在讲授时要掌握好尺度，不要超过课程标准要求的深度，内容可以适当取舍，讲授方式以图示（形象教学）加上简单说明即可。

可以借助教材图 2.4 对单片机结构加以讲解。但是该图所示的单片机结构是一般性的，其中最主要的部分应是 CPU、存储器（包括 RAM、ROM）、输入输出接口（包括并行 I/O、串行 I/O、ADC、中断逻辑、定时器 / 计数器）。各部分的功能如下：

CPU 有两个主要功能，一是负责类似加、减、乘、除之类的数字和逻辑运算，它们由 CPU 中的运算器完成。另一功能是负责指挥协调单片机中所有操作和数据流通，例如，什么时候从存储器里的哪个位置取出数据放到运算器中参与运算，或者什么时候从哪个 I/O 口读入信号放到存储器的某个位置，这部分工作是由 CPU 中的逻辑控制器完成的。

单片机中存储器的功能是保存单片机要处理的所有数据和操作指令，其中保存数据的又称为数据存储器，保存操作指令的又称为程序存储器。具体来说，学生们编写的控制程序将下载并保存在程序存储器中，而每次程序运行过程中产生的一些中间状态和数据则保存在数据存储器中。程序下载后一般不会频繁修改，需要长时间保留，所以程序存储器通常采用只读存储器（ROM），而中间状态和数据则在每次程序运行中临时被写入数据存储器，而且每次写入的位置均不确定，因此数据存储器通常是随机存储器（RAM）。

单片机中存储器的分类与普通计算机基本类似，这样就解答了 25 页“探究尝试”的问题。该“探究尝试”要求学生了解各种程序分别放置在何种存储器中，目的是让学生更加深入理解单片机中 RAM 和 ROM 的作用。一般地，在 PC 机中，运行程序分为系统程序（操作系统）、应用程序（如 Word、Excel 等应用软件）和基本输入输出系统程序（BIOS）。系统程序和应用程序存储在计算机的硬盘上，计算机启动后，CPU 把需要运行的程序从硬盘上移植到 RAM 中，所以系统程序和应用程序是在 RAM 中运行的。而 BIOS 一般存储在计算机主板的 ROM 中或 EPROM 中，计算机启动后首先运行 ROM 或 EPROM 中的 BIOS 程序，然后把硬盘中的系统程序移植到 RAM 中，按需要运行 RAM 中的程序。

单片机内的 I/O 口是内部信号与外部信息的中转站。由于单片机是一个控制芯片，它必须和外部设备连接后才能起作用，所以 I/O 口是单片机一个重要的组成部分。单片机的 I/O 口按传送数据的方式分为并行 I/O 口、串行 I/O 和特殊 I/O 口。并行 I/O 口指单片机在一个操作指令中一次可以同时传输多位数据，一般为 8 位或 16 位二进制数，类似 PC 机上的并口。串行 I/O 口的数据线较少，最简单的只有 2 条数据线，最多也就 4 根数据线，传送数据时在单根数据线上进行，一位一位依次传送，类似 PC 机的串口。特殊 I/O 口是指像单片机内部计数器 / 定时器的特殊模块的输入输出，例如单片机内部的计数器可以测量外部输入脉冲的个数和频率，内部 A/D 转换器可以把外部模拟信号转换成数字信号，有的单片机内部还集成了能控制电机速度的 PWM 输出模块。

单片机工作原理重点讲解单片机中 CPU、存储器和 I/O 口之间的联系。联系分两种：一种是物理信息上的联系，它是由内部总线来实现的；另一种是逻辑上的联系，即单片机工作时它们之间的协调关系。单片机的工作过程涉及的软硬件知识都很多、很深，不必要求学生深入了解，讲课时仅以教材图 2.5 为参考，把教材上的计算例子简述一下就可以了。不过要注意，例子中的指令采用的是汇编语言。

2. 关于单片机的引脚

引脚的作用很容易理解，单片机的 I/O 口实际上是由它内部的一些微电路组成的，这些微电路信号需由类似于一般电路的导线引出才能实现与外部电路的连接，这些导线在单片机上就是引脚。

本教材以 AVR 单片机 ATmega16 为例来介绍单片机的引脚。实际上，所有单片机的引脚都差不多，理解一种单片机的引脚功能后，其他类型单片机引脚的功能也很容易理解。单片机引脚功能涉及较强的专业知识，学生不易理解，所以课程标准的要求也仅仅限于“知道”。讲授方式简述如下：

引脚是单片机与外部设备联系的桥梁，所以掌握引脚的使用方法很重要。但对一般用户来说，只要了解引脚的基本特性即可，并不需要深入理解内部结构。

单片机引脚的基本特性包括两个方面：一个方面是引脚的功能是可编程的，即一根引脚线可以赋予多种功能；另一个方面是引脚的物理特性，包括能输出或吸收多大的电流，能承受多大电压，内部是否有上拉电阻等。

按作用分类，单片机引脚可分为电源引脚、控制引脚、通用 I/O 引脚。例如 ATmega16 的电源引脚是 5、6、10、11、12，控制引脚是 7 (Reset)、8 (晶振输入)、9 (晶振输出)，其余都是 I/O 引脚。

教材第 28 页有关单片机引脚的“小资料”介绍了上拉电阻的概念。上拉电阻是单片机引脚特性中一个比较重要的概念，有的单片机引脚内部没有上拉电阻，有的内部有上拉电阻，应用前要区分不同的情况才能正确地与外部设备连接。该“小资料”以晶体三极管为例来说明上拉电阻的概念，而实际上单片机内部使用的是 MOS (一种半导体) 管，但输入输出的结构是相同的。上拉电阻在单片机引脚中起到两个作用，一个是可以提供较大输出电流，另一个是若干个没有上拉电阻的引脚可以连接在一起，实现“线与”的功能。教师在讲述上拉电阻概念时，可以图 2.1 为例来简单说明上拉电阻的概念和作用。

图 2.1 中，虚线框中的电阻就是晶体管的上拉电阻，如果单片机内部不带上拉电阻，无论在单片机内部控制端施加何种信号，外部引脚都不会有输出，如果在这种情况下和外部设备连接，那么外部必须连接上拉电阻。此时用户当然就可以选择外部上拉电阻的大小，从而控制输

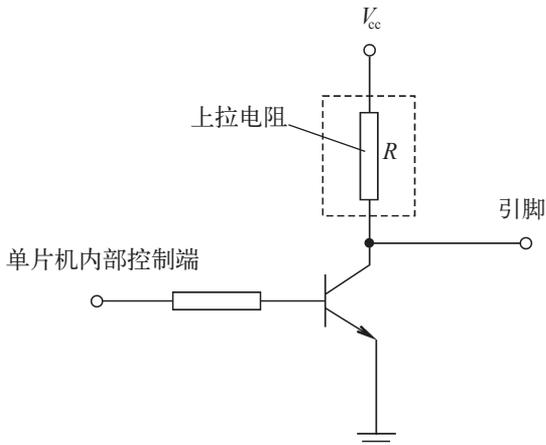


图 2.1 上拉电阻原理

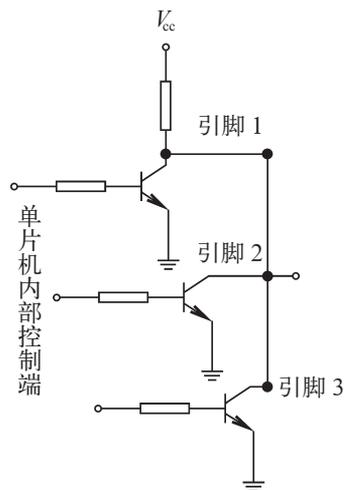


图 2.2 “线与”原理

出电流的大小，只要不超过单片机引脚的最大电流即可，这是单片机内部不带上拉电阻的引脚的优点之一。另外，如果若干个引脚内部均无上拉电阻，当它们都作为输出引脚使用时，可以实现“线与”的功能（图 2.2），即所有输出引脚都为“1”，则公共连接点的输出为“1”；如果其中有一个引脚输出为“0”，则公共连接点的输出为“0”。

表 2.1 上拉电阻的“探究尝试”答案

A 点电平	B 点电平	C 点电平	D 点电平	输入	输出	内部上拉电阻
1	X	0	0	是	否	有效
0	X	0	0	是	否	无效
0	0	1	1	否	0	无效
0	1	0	1	否	1	无效

●对教材第 29 页“探究尝试”的处理参考意见见表 2.1：

●对教材第 29 页“实践活动”的处理参考意见如下：

这部分要求学生动手测量。教师应该提醒学生测量前必须关闭电源，否则测量时会损坏控制电路板。

●对教材第 29 页“活动延伸”的实施建议如下：

1. 第一个活动是辨认计算机的并行口和串行口，并标示出这两种接口中各个引脚的功能。这部分的答案可以参考本节“参考资料”中关于计算机串行口和并行口的介绍。

2. 第二个活动是如何使用三极管并了解上拉电阻的作用，有条件的学校可以由教师在实验板上演示这个实验电路，电源可以采用三节 5 号电池（电压 4.5V）。参考答案如下：

(1) 将开关 K 接地，用万用表测量三极管集电极和发射极之间的电压 $U_0 = \underline{5} \text{V}$ ，应该属于 高 电平。

(2) 将开关 K 接 5V，用万用表测量三极管集电极和发射极之间的电压 $U_0 = \underline{0.1} \text{V}$ ，应该属于 低 电平。

如果去掉 R_0 （此电路中的上拉电阻），重复（1）、（2）中的实验，从实验中可以发现，

不管开关输入如何变化，输出电压始终为 0V。

注意，如果采用 4.5V 的电池，高电平应该是 4.5V。

四、参考资料

AVR 系列单片机简介

AVR 单片机是 1997 年由 ATMEL 公司研制出的增强型、内置 Flash 的 RISC (reduced instruction set CPU) 精简指令集高速 8 位单片机。AVR 的单片机可以广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器等各个领域。

可靠性、功能、速度、功耗和价位一直是衡量单片机性能的重要指标，也是单片机占领市场、赖以生存的必要条件。

早期单片机的工艺及设计水平不高，功耗大，抗干扰性能差，所以在应用中往往采取稳妥的方案：即采用较高的分频系数对时钟分频，加长指令周期，减缓执行速度。CMOS 单片机虽然采用提高时钟频率和缩小分频系数等措施，但问题并未彻底解决（例如 MCS-51 以及 MCS-51 兼容的系列单片机）。此间虽有某些精简指令集单片机 (RISC) 问世，但仍沿袭对时钟分频的做法。

AVR 单片机打破这种旧的设计格局，废除了机器周期，抛弃复杂指令计算机 (CISC) 追求指令完备的做法，采用精简指令集，以字作为指令长度单位，将内容丰富的操作数与操作码安排在一字之中（指令集中大多数的单周期指令均如此），取指周期短，又可以预取指令，故执行指令的速度大大提高。当然这种速度上的升跃，是以高可靠性为后盾的。

AVR 单片机硬件结构采取 8 位机与 16 位机的折中策略，即局部寄存器存堆（32 个寄存器文件）和单体高速输入 / 输出（即输入捕获寄存器、输出比较匹配寄存器及相应控制逻辑），结果指令执行的速度得到提高，增强了功能，减少了对外设管理的开销，简化了硬件结构，降低了成本。故 AVR 单片机在软 / 硬件开销、速度、性能和成本等诸多方面取得了优化平衡，是一款高性价比的单片机。

AVR 单片机内嵌高质量的 Flash 程序存储器，擦写方便，支持 ISP 和 IAP，便于产品的调试、开发、生产和更新。它还内嵌长寿命的 EEPROM，可长期保存关键数据，避免断电丢失。片内大容量的 RAM 不仅能满足一般场合的使用，还支持高级语言开发系统程序，并可像 MCS-51 单片机那样扩展外部 RAM。

AVR 单片机的 I/O 线全部带有可设置的上拉电阻，可单独设定为输入 / 输出或高阻输入，驱动能力强（可省去功率驱动器），I/O 口资源灵活，功能强大。

AVR 单片机片内具备多种独立的时钟分频器，分别供 URAT、I2C、SPI 使用。其中与 8/16 位定时器配合的预分频器多达 10 位，可通过软件设定分频系数，提供多种档次的定时时间。AVR 单片机以定时器 / 计数器（单）双向计数形成三角波，经与输出比较匹配寄存器匹配后生成占空比可变、频率可变、相位可变方波的设计方法（即脉宽调制输出 PWM），更是其独到的特点。

增强性的高速同 / 异步串口，具有硬件产生校验码、硬件检测和校验纠错、两级接收缓冲、波特率自动调整定位（接收时）、屏蔽数据帧等功能，提高了通信的可靠性，方便程序编写，更便于组成分布式网络和实现多机通信系统的复杂应用。它的串口功能大大超过 MCS-51/96 单片机的串口，加之 AVR 单片机速度快，中断服务时间短，故可实现高波特率通信。

面向字节的高速硬件串行接口 TWI、SPI。TWI 与 I2C 接口兼容，具备 ACK 信号硬件发送与识别、地址识别、总线仲裁等功能，能实现主 / 从机的收 / 发全部四种组合的多机通信。

SPI 支持主 / 从机等四种组合的多机通信。

AVR 单片机有自动上电复位电路、独立看门狗电路、低电压检测电路 BOD、多个复位源（自动上下电复位、外部复位、看门狗复位、BOD 复位），可设置的启动后延时运行程序，增强了嵌入式系统的可靠性。

AVR 单片机具有多种省电休眠模式，可宽电压运行（2.7 ~ 5 V），抗干扰能力强，可减少一般 8 位机中的软件的抗干扰设计工作量和硬件的使用量。

AVR 单片机集多种器件（包括 Flash 程序存储器、看门狗、EEPROM、同 / 异步串行口、TWI、SPI、A/D 模数转换器、定时器 / 计数器等）和多种功能（增强可靠性的复位系统、降低功耗抗干扰的休眠模式、门类齐全的中断系统、输入捕获和比较匹配输出等多样化功能的定时器 / 计数器、替换功能的 I/O 端口等）于一身，充分体现了单片机技术的“片自为战”和向“片上系统 SoC”过渡的发展方向。

综上所述，AVR 单片机博采众长，又具独特技术，为 8 位机中性能最好的机型之一。

AVR 单片机系列齐全，可适用于各种不同场合的要求。它有三个档次：

(1) 低档 Tiny 系列 AVR 单片机：主要有 Tiny11/12/13/15/26/28 等。

(2) 中档 AT90S 系列 AVR 单片机：主要有 AT90S1200/2313/8515/8535 等（正在淘汰或转型到 mega 中）。

(3) 高档 ATmega 系列 AVR 单片机：主要有 ATmega8/16/32/64/128（存储容量为 8/16/32/64/128 KB）以及 ATmega8515/8535 等。

单片机若干概念详解

单片机是把 CPU、存储器、输入 / 输出设备集成在一个芯片上的集成电路，也称为微控制器。

CPU 由运算器和逻辑控制器组成。运算器就好像是一个由电子线路构成的算盘，图 2.3 是它的示意图，它的主要功能是进行加、减、乘、除等算术运算，除此之外，还可以进行逻辑运算。

人们习惯于十进制数的运算。考虑到方便性和经济性，计算机通常采用二进制数。二进制数以 2 为基数来计数，也就是“逢 2 进 1”。在二进制数中，只有 0 和 1 两个数字，1 和 0 可以用来表示电压的高低或者脉冲的有无，而电压和脉冲在电子线路中很容易实现。二进制的运算规律非常简单，例如加法： $0 + 0 = 0$ ， $0 + 1 = 1$ ， $1 + 0 = 1$ ， $1 + 1 = 10$ ，最后一个加式中等号右边的 1 表示向上一位进位。又如乘法： $0 \times 0 = 0$ ， $0 \times 1 = 0$ ， $1 \times 0 = 0$ ， $1 \times 1 = 1$ 。正是由于二进制数运算规律简单，在电子线路中容易实现，因此在计算机中都采用二进制数。

二进制数和十进制数一样，运算数的位数越多，计算的精度越高。理论上讲，数的位数可以任意多，但是位数越多，所需要的电子器件也越多，目前计算机运算器的长度一般是 8 位、16 位、32 位或 64 位。

逻辑控制器是单片机中发号施令的部件，有的书中也称为控制器。为了把这个概念与本教材中机器人的控制器加以区分，本书沿用逻辑控制器的名称。逻辑控制器操纵单片机中的各个部件有条不紊地运转工作，更具体地讲，它的任务是从内存中取

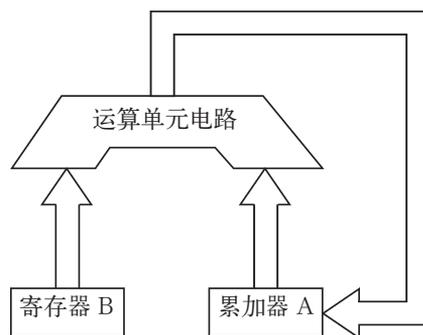


图 2.3 运算器结构示意图

出解题步骤加以分析，然后执行某种操作。

运算器只能完成加减乘除四则运算及其他一些辅助操作，对于比较复杂的算题，单片机在运算前必须化解成一步一步的简单的加减乘除等基本操作来执行，每一个基本操作叫作一条指令，解算某一问题的一串指令序列，叫作该问题的计算程序，简称程序。例如求解 $y=ax+b-c$ ，在横格纸上列出了它的解题步骤，每一步只完成一种基本操作，所以就是一条指令，而整个解题步骤构成一个简单的程序。

注意：不论是数据还是解题步骤，在存放到存储器前，它们全已变成 0 或 1 表示的二进制数码，因此，存储器存储的内容全部都是 0 或 1 表示的二进制数码，那么大批的 0、1 数码在存储器中是如何保存的呢？

目前多数采用半导体器件来担当此任务。众所周知，一个半导体触发器有 0 和 1 两个状态，可以记忆一个二进制代码，一个数假定用 8 位二进制代码来表示，就需要 16 个触发器来保存这些代码。通常，在存储器中把保存一个数的 8 个触发器称为一个存储单元。存储器是由许多存储单元组成的，每个存储单元都有编号，称为地址。向存储器中存数或者从存储器中取数，都要按给定的地址来寻找所选定的存储单元，这相当于上面的横格纸上每一行写一个数一样。

存储器所有存储单元的总数称为存储器的存储容量，通常用单位“K”来表示，如 64K、128K 等，1K 表示 1024 个存储单元，64K 就是 64×1024 个存储单元。存储容量越大，说明单片机记忆的信息越多。

第三节 单片机的开发环境

一、教学目标

- (1) 了解单片机程序的一般开发流程。
- (2) 熟悉与 RoCon 控制器配套的 ROYA 集成软件开发环境的功能与用法。

二、结构分析

在讲授单片机的硬件之后，本节开始进入单片机软件的介绍。本节内容比较简单，概念和方法也易于掌握。正文内容分为两部分，第一部分介绍了单片机程序一般的开发流程，包括编写源程序、程序编译、调试、仿真、下载等步骤。该过程适合于几乎所有的单片机程序开发，但对不同的单片机，各个步骤的具体实现方法不同。

第二部分内容实际上是第一部分的具体化，它讲解了一种特定单片机程序开发环境的使用方法。该开发环境名为 ROYA。事实上，所有的特定的单片机都有与之匹配的特定的软件开发环境。ROYA 是一种集成化的单片机开发环境，它是专门针对 RoCon 控制器以及《简易机器人制作》的具体要求研发的，它可以完成从源程序录入到程序下载的所有操作，而且也是一种基于 Windows 的应用软件，用法上与其他 Windows 软件类似。为了相互对照，教师可以根据本节“现象与问题”的要求让同学们对文字编辑软件进行若干讨论。

三、教学建议与说明

在第一章，教材曾经阐述过一个观点：机器人的重要特征之一是“可编程”。机器人是由控制器指挥的，而单片机又是控制器的核心，因此给机器人编程就是给单片机编程。课程标准

要求同学“了解一种单片机编程语言，掌握一种单片机常用的编程指令”“学会用编程指令编制简单控制的程序”。教师和学生要在“掌握”和“学会”上下功夫。本节的任务是对单片机编程流程的总体认识和建立编程环境的概念。

1. 关于单片机的开发流程

从未接触过计算机编程的学生在理解这部分内容时会感觉比较抽象。这种情况下，教师可以将这部分内容一带而过，直接进入 ROYA 开发环境的介绍，通过实例讲解让同学们体会单片机编程的实际过程。

如果同学们已经具备某些编程基础知识，那么教师可以让他们回顾一下曾经体验过的计算机编程步骤。其实，单片机编程的前三步与普通计算机编程步骤相同，区别在于单片机编写的程序不在计算机上运行，而是需要下载到单片机所在的控制器中。

需要说明的是，教材第 32 页单片机开发流程的第 4 步和第 6 步不是必需的。事实上，大多数单片机开发环境中并没有专门的程序模拟功能，但有此功能可以使开发环境锦上添花，增加程序调试的方便性，用户在把程序下载到单片机前即可大致地查找程序语言中可能潜在的问题，避免了频繁地将不成熟的程序下载到单片机中，导致不停地修改。需要说明的是，ROYA 就有程序模拟功能。至于第 6 步把单片机从控制器取下后再下载程序是一种比较老的方式，最新的单片机程序下载都采用在控制器上直接下载的方式。

2. 关于 ROYA 开发环境

ROYA 是一种专为 RoCon 控制器编程服务的软件集成开发环境，它是基于 Windows 操作系统开发的应用软件，与其他 Windows 应用软件（如 Microsoft 的 Word 文字编辑软件、Excel 表格）的用法相似。根据经验，学习这类应用软件的操作使用方法最好结合一个编程实例进行，让同学们自己动手。当然这个例子只是为了让同学们熟悉 ROYA 的使用，所以难度不必很大。例如建议模仿本章第四节实验 1 的亮灯程序，但仅让一个灯亮。通过该程序，让同学们熟悉 ROYA 开发环境中程序输入、编辑、编译、模拟和程序下载等功能。

注意：向 RoCon 控制器下载程序时，一般通过串口，控制器的 ISP 口（在线编程口）则用于直接对单片机内部进行编程。使用 ISP 下载后，ROYA 软件开发环境将不能使用，如果想重新使用 ROYA 开发环境，则必须要生产 RoCon 控制器的厂家对单片机内部进行重新配置。

ROYA 开发环境的详细安装和使用方法可以参考《ROYA 软件开发环境使用手册》。

四、参考资料

计算机软件

计算机软件是指能指挥计算机工作的程序和程序运行时所需的数据，以及与这些程序和数据库有关的文字说明和图表资料，其中文字说明和图表资料又称为文档。计算机软件分为系统软件与应用软件二类。

(1) 系统软件。系统软件是计算机系统必备的软件，主要功能是管理、控制、维护计算机资源，以及开发应用。系统软件包括操作系统、各种语言处理程序、系统支撑和服务程序、数据库管理系统等。

(2) 应用软件。应用软件是为解决某个实际问题而由用户自己编写的程序，可分为用户程序和应用软件包。

操作系统

操作系统是方便用户管理和控制计算机系统资源的系统软件，是最重要、最基本的系统软

件，可以将它视为计算机硬件的第一级扩充。

1. 操作系统基本功能

操作系统可进行 CPU 管理、存储管理、输入 / 输出设备管理、文件管理、作业管理。

2. 操作系统分类

操作系统分为批处理操作系统、分时操作系统、实时操作系统、网络操作系统和分布式操作系统。

(1) 批处理操作系统。批处理系统又分为单道批处理系统和多道批处理系统。

单道批处理系统是采用脱机输入输出技术，将一批作业按序输入外存储器中，主机在监督程序控制下逐个读入内存，对作业自动地、一个接一个地进行处理。

多道批处理系统是在计算机内存中同时存放几道相互独立的程序，它们分时共用一台计算机，即多道程序轮流地使用部件，交替执行。

(2) 分时操作系统。分时操作系统是把计算机的系统资源（尤其是 CPU 时间）进行时间上的分割，每个时间段称为一个时间片，每个用户依次轮流使用时间片，实现多个用户分享同一台主机的操作系统。分时系统的基本特征：多路性、独立性、交互性、及时性。

(3) 实时操作系统。实时操作系统是对随机发生的外部事件做出及时响应和处理的操作系统。实时系统用于控制实时过程，主要包括实时过程控制和实时信息处理两种系统。其特点是及时性、高可靠性、有限的交互能力。实时系统一般都是专用系统，为专门的应用而设计。

(4) 网络操作系统。网络操作系统使网络上各计算机能方便而有效地共享网络资源，为网络用户提供所需的各种服务软件和有关协议的集合，其作用是让网络上各计算机方便、有效地共享网络资源。网络操作系统应具有以下功能：高效、可靠的网络通信，对网络中共享资源的有效管理，提供电子邮件、文件传输、远程登录等服务，网络安全管理和交互操作。

(5) 分布式操作系统。分布式系统以计算机网络为基础，它的基本特征是处理上的分布，即功能和任务的分布。分布式操作系统的所有系统任务可在系统中任何处理机上运行，自动实现全系统范围内的任务分配并自动调度各处理机的工作负载。

第四节 图形化语言编程

一、 教学目标

(1) 熟悉图形化语言编程环境，掌握图形化编程中各个图形化控制模块的功能以及模块的属性设置。

(2) 学习程序中顺序、循环、选择三种程序结构，通过教材中的三个编程实例，学会用图形化语言实现三种程序结构。

二、 结构分析

本节内容是第三节的深入，具体介绍如何使用图形化语言编程。

引言部分简要介绍了图形化语言的特点，并回顾了第三节介绍的图形化语言编程界面。

正文内容分为两个部分。

第一部分介绍 ROYA 图形化控制模块的基本结构和模块类型，通过教材图 2.15 可以从宏

观上了解 ROYA 图形化语言所具有的控制模块，为后面讲授具体用法打下基础。

第二部分介绍三个编程实例，它们分别对应程序中顺序、循环、选择三种典型结构。这三个程序在安排上并不是独立的，而是互相关联，逐渐深入。第一个程序是以顺序方式依次点亮 RoCon 控制器上的 8 个 LED；第二个程序则是在第一个的基础上让 8 个 LED 循环地依次点亮；第三个程序又在第二个的基础上加入一个判断接触传感器状态的分支，一旦接触传感器触发，程序选择退出循环。教材中对每个程序都比较详细地介绍了编程方法，同学们照此方法就能完成上述编程任务。本节中所有程序示例的实施都很方便，仅仅在 RoCon 控制器上就能实现，暂时无须与机器人打交道，这样便于同学们集中精力处理编程问题，同时熟悉一下控制器的输出器件。

为了检验同学们对图形化语言编程方法的掌握情况，在本节“活动延伸”中安排了为门铃编程的作业。该作业中涵盖了本节所学的主要内容，如图形化编程和顺序、循环、选择三种程序结构。通过该“活动延伸”的锻炼，同学们可以进一步熟悉图形化语言的编程。

三、教学建议与说明

图形化语言编程与绘制程序流程图有相似之处，同学们在《技术与设计 2》中学习过流程框图的绘制方法，因此教师在课堂上可以先回顾一下相关的内容，然后结合图形化编程界面给同学们介绍图形化编程的方法。课程标准要求学生“了解一种单片机编程语言，掌握一种单片机常用的编程指令”，“学会用编程指令编制简单控制的程序”，这一节是学习的重点，应该在“掌握”和“学会”上下功夫。

1. 关于“图形化控制模块”

进入图形化编程界面后，显示屏左侧出现控制模块区。该区域包含了所有的机器人功能控制模块。事实上，图形化语言编程的操作很简单，就是用鼠标从该区域选中需要的模块，把它们拖入程序编辑区，然后再把它们连接成有一定逻辑关系的程序链。

由于同学们对图形化编程还很不熟悉，一上来就要求深入理解这部分内容会比较困难，因此建议教师仅对照图形化编程界面或教材图 2.15 对各模块集做功能性的简单介绍即可。ROYA 图形化语言开发环境提供五种功能控制模块集，它们的功能是：

(1) 运动控制模块集——控制机器人小车的运动模式，如前进、后退和转弯，其实是在一个模块中同时控制两个电机的转动。

(2) 输入输出控制模块集——针对与 RoCon 控制器相连的单个输入输出设备，如电机、传感器等实施控制，事实上，选中此模块集中的两个电机模块，也能实现运动模块集中各模块的功能。

(3) 运算控制模块集——用于实现程序中变量的算术和逻辑运算。

(4) 结构控制模块集——用于程序中构造典型的程序结构，包括选择和循环，后面的编程实例将对它们详细介绍。

(5) 过程控制模块集——用于用户自定义控制模块。

教师可以让同学们结合后续的应用实例逐渐体会各模块的具体用法，也可以参考《ROYA 软件开发环境使用手册》深入学习。

2. 关于“图形化语言编程实例”

教材中列举的三个图形化编程实例之间存在相互关联，因此必须按顺序逐个进行讲授。

【实验 1】顺序点亮 8 个 LED

实验 1 展示的是顺序程序结构。顺序结构是程序中最基本的结构，它要求程序按先后次序逐个处理一串事件，这和我们每天定时上课是一个道理。实验 1 要求按顺序依次点亮 RoCon 控制板上的 8 个 LED（发光二极管）。教师首先可通过图 2.4 所示的流程图向同学说明顺序点亮的具体过程。接着，按教材上的第一至第六步，对照教材图 2.18 ~ 图 2.21 在计算机上演示点亮前两个灯的编程方法。需要说明的是，发光二极管属于一种开关量输出设备，要用开关量模块设置属性，如果开关常量设置为“1”，则 LED 点亮；如果开关常量设置为“0”，则 LED 熄灭。RoCon 控制器上有 16 个开关量控制通道（编号为 0 ~ 15），通道 8 ~ 15 对应于控制板上的 8 个 LED，它们只能被设置成输出方式。编程演示结束后，就要求同学们自己完成后续的程序编写，同学们的完成情况很容易检测，看一看 LED 的发光顺序就行了。

●对教材第 38 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 单片机程序运行速度很快，每条指令的运行时间都在微秒级，这意味着点亮 LED 的程

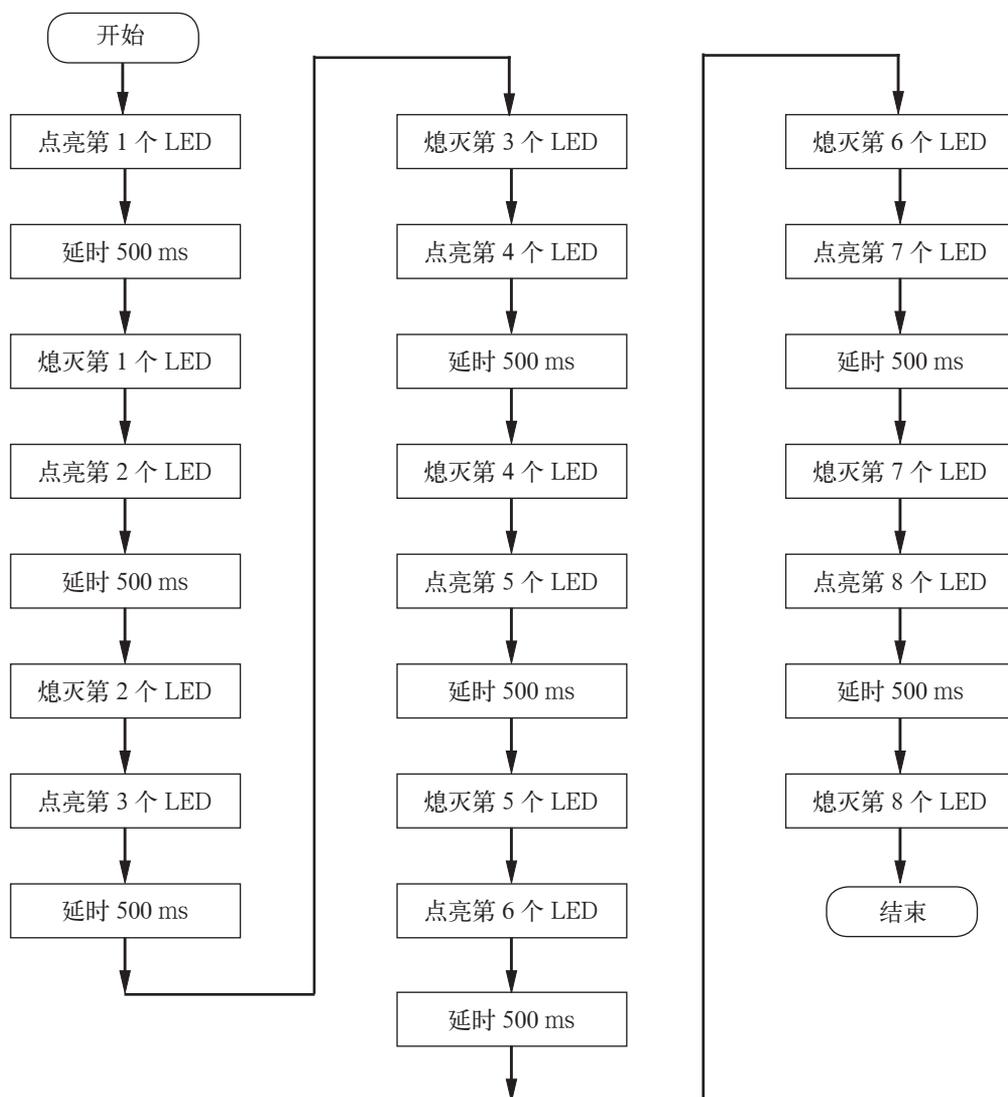


图 2.4 顺序点亮 8 个 LED 程序流程图

序模块在单片机中只需要几微秒的运行时间，如果点亮LED后又立刻运行熄灭LED的程序模块，则LED的发光仅仅能够维持几微秒的时间，人眼几乎观察不到，因此，需要在程序上加“延时”模块。该问题可以让同学们自己编程验证。

2. 同学们可以用秒表测定“延时”模块延时5 000 ms时间是否准确。

3. 同学可以结合自己按课表上课、按学号领教材、按照顺序进行化学反应等日常生活中的例子理解顺序控制的概念。

【实验2】LED循环点亮发光

实验2展示了如何在图形化程序中编写循环结构。循环结构也是在编程中非常有用的一种结构，可以使程序得以简化。授课开始可以让同学们思考一下，如果我们想让实验1中顺序点亮8个LED的过程重复10遍，是否也需要把前面的程序重复写10遍呢？这个问题就引出循环在程序中的作用，即实验2要完成的任务。

在ROYA图形化编程环境的结构控制集中我们能找到一种循环模块（参考教材图2.16），它包括“循环”和“循环结束”两个方块，两个方块之间就是循环体。只要把需要循环运行的程序段放入其中，再设置好循环属性，程序运行后就能按设定的顺序循环执行。循环模块的属性分为无限循环、有限循环两种类型。为完成实验2的任务，只需将实验1的程序段放入循环模块中，并将其属性设置为无限循环即可。

在ROYA图形化编程环境中，除了循环模块外还有两个模块（“跳出循环”和“继续循环”）也能用于循环控制，但这两个模块必须置于某个循环模块之中才有用。实验2中仅演示了循环模块的使用方法，“跳出循环”模块的作用是当程序执行到该模块时停止继续循环，直接跳转到“循环结束”块下面的模块去执行，实验3中展示其用法。“继续循环”模块的作用是当程序执行到它时，不再执行循环体下面的模块，而是跳转到“循环”块去重新开始新一轮的循环，当然循环的计数也会自动加1。在完成了实验2的任务后，可以让学生尝试在循环体中任意位置加入一个“继续循环”模块，观察程序执行的现象。

●对教材第39页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 在ROYA图形化编程环境中，至少有两种方法能让LED循环发光10次。一种方法是按顺序结构编程，重复10遍；另一种方法是按循环结构编程，循环次数设置为10次。

2. 如果在循环体内任何位置加入“跳出循环”模块，则程序将保持在运行“跳出循环”模块之前的状态，添加的具体位置不同，LED显示的位数和状态也不相同。

以上问题探讨完毕后，可以让同学们编程加以验证。

【实验3】LED受控发光

实验3展示了如何在程序中编写选择结构。选择结构俗称分支结构，程序运行至此，便根据不同的条件分别进入不同的分支程序。正是由于有了选择结构，机器人才能根据不同的外部环境反馈做出相对应的反应，也就是说机器人才具有智能。

实验3依然以RoCon控制板上的8个LED为控制对象，它是在实验2循环点亮8个LED的基础上，根据接触传感器的状态来控制LED的点亮方式。因此在实验前必须先将一个接触传感器接到控制器的传感器输入通道0（参照教材图2.2）。

控制程序的编写见教材图2.26，它需要在实验2程序的基础上，位于“循环”块和第1个LED的开关量模块之间，插入三个模块。第一个模块是针对接触传感器的开关量模块，属性设置见教材图2.27，其中使用了变量v1，v1代表开关量传感器输入信号的状态，当然这个变量只可能有两个值（0或1）。第二个模块就是实现分支的选择模块，其属性设置见教材图

2.28, 输入变量设为 v1, 表明将它的分支条件设定成判断前面接触传感器的状态, 看它是否等于常数 0。如果 v1=1, 表示接触传感器未闭合, 程序继续运行, 8 个 LED 按顺序点亮、熄灭; 如果 v1=0, 表示接触传感器闭合, 程序“跳出循环”, 8 个 LED 将保持某一种状态不变(取决于接触传感器闭合的时间)。

仔细阅读实验 3 的要求, 如果把实验 1 的整个程序作为一个“过程”(该“过程”的名称命名为“过程 1”, 至于“过程”的使用方法请参考本节参考资料中关于“过程模块”的描述), 于是教材图 2.26 的程序中, “选择”模块后面的操作, 即控制 8 个 LED 顺序点亮、熄灭的语句被“过程 1”代替, 实验 3 的程序就会变得很简洁。程序中的开关量表示外部接触传感器输入信号是开关量, 教材图 2.28 给出了选择结构的属性设置界面, 图中要求程序判断 v1 的值是 0 还是 1。选择结构编程时, 必须使用变量, 以该变量的内容作为判断的条件, 决定程序转向哪一个分支。分支条件的判断依据“大于、小于、大于或等于、小于或等于、等于”五种条件, 教材的例子选用“等于”条件, 即变量 v1 的值如果等于某个确定的值, 那么再决定程序的流向。另外四种分支条件一般用于模拟量的控制, 模拟量控制的例子可以参考教材第三章的内容(光敏传感器部分)。

●对教材第 41 页“探究尝试”的处理参考意见如下:

1. 实验 3 中接触传感器的状态采用查询方式, 所以当程序运行到 LED 显示段时, 按下接触传感器并不影响 LED 的点亮熄灭, 只有当第 8 个 LED 熄灭后, 如果此时程序检测到接触传感器按下, 则 LED 全部熄灭, 再也不会点亮。

2. 如果采用查询方式, 那么程序容易理解, 但每次循环都必须查询一次接触传感器的状态, 比较浪费时间, 程序不能马上处理接触传感器按下的动作。如果采用中断方式, 程序不易理解, 编程复杂一些, 但主程序结构比较简单, 程序响应速度快, 能立即处理接触传感器按下的动作。

3. 程序如图 2.5 所示, 程序中以“过程 1”代表 8 个 LED 顺序点亮熄灭, 以“过程 2”代表 8 个 LED 全部熄灭。假设接触传感器连接在通道 0, 有关的控制模块属性设置见图 2.6 和图 2.7。

●对教材第 42 页“活动延伸”的实施建议:

“活动延伸”要求有能力的同学完成一个课外作业, 编制一套家用门铃控制系统, 用 RoCon 控制器上的蜂鸣器模仿门铃, 用两个接触开关模仿门铃按钮和门的开关状态。

可以按如下方式编程: 假设两个接触传感器分别连接到 RoCon 控制器的通道 0 和通道 1, 通道 0 的信号表示门铃按钮, 通道 1 的信号表示门的开关状态(门开时状态为 0, 门关时状态为 1)。编制这个程序可以采用中断或查询两种编程方法中的一种, 图 2.8 举中断方式编制的例子, 图 2.9 ~ 图 2.17 是程序中各个模块的属性设置内容。

该“活动延伸”的例子还可以采用查询方式编程, 相应的流程图如图 2.18 所示。

图 2.19 是经查询方式编程后的图形化程序, 由于程序较长, 只显示了程序的主要部分。各个控制模块的属性可以参照图 2.9 ~ 图 2.17 的属性设置。

四、参考资料

程序流程图

在“现象与问题”中, 可以组织学生讨论程序流程图的特点, 并设想是否从程序流程图就能自动生成程序, 从讨论中引申出图形化编程的概念, 图形化编程实质上就是一种程序流程图, 这也是本节正文要介绍的内容。教材第 34 页的“现象与问题”中, 要求同学们针对程序流程



图 2.5 实验 3 程序中使用“开关量中断”模块



图 2.6 “循环”模块属性设置界面



图 2.7 “开关量中断”模块属性设置

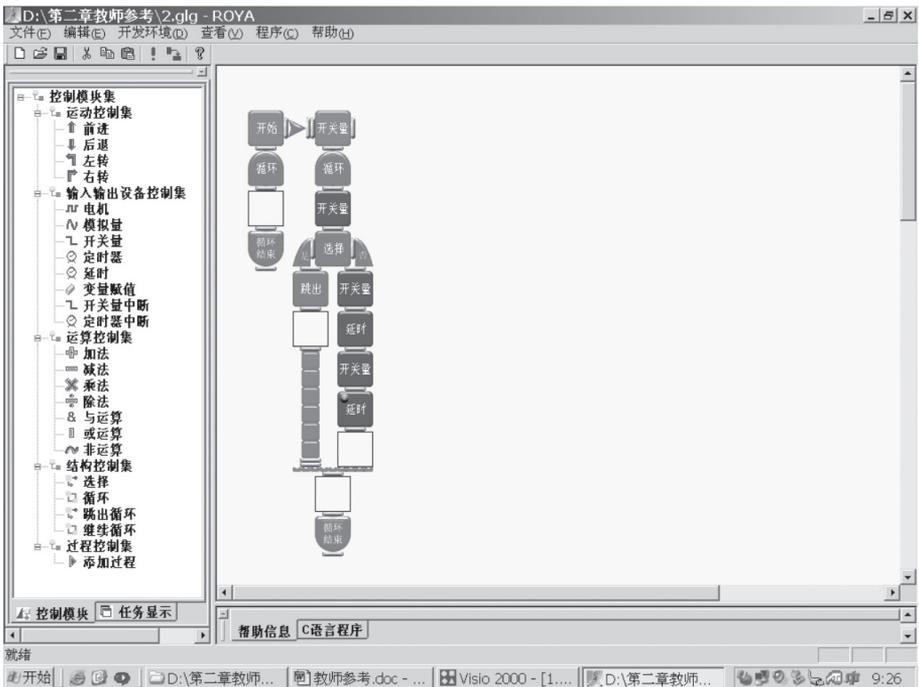


图 2.8 门铃控制系统程序（中断方式）

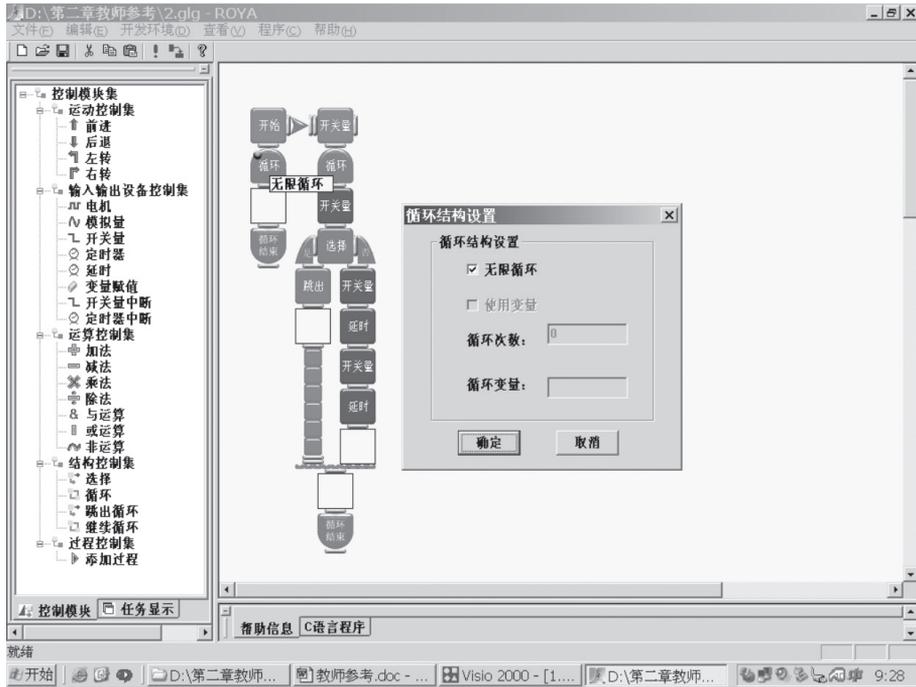


图 2.9 主程序循环体属性设置（无限循环）界面

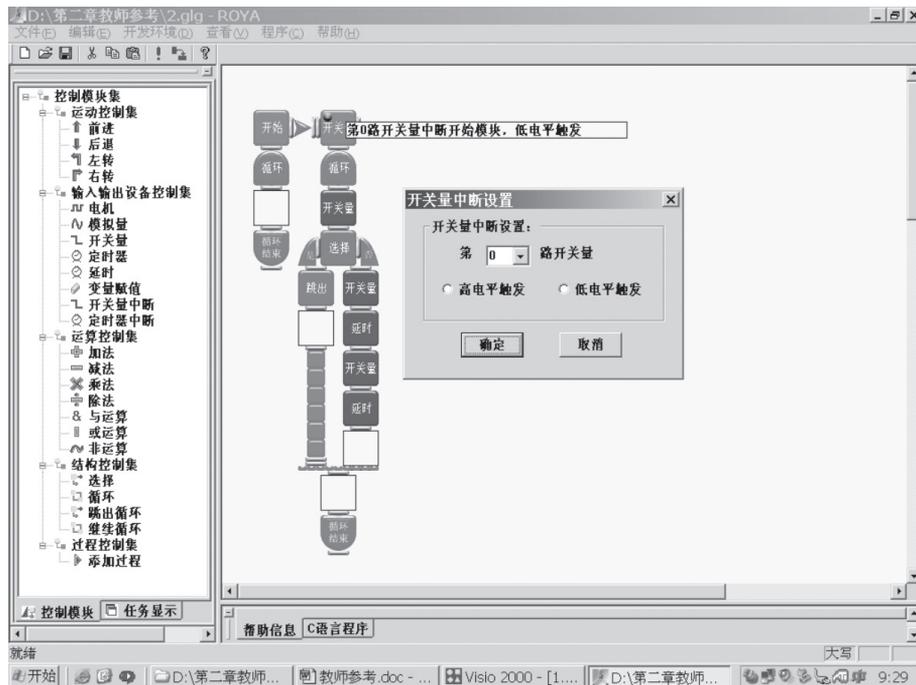


图 2.10 “开关量中断”模块属性设置界面

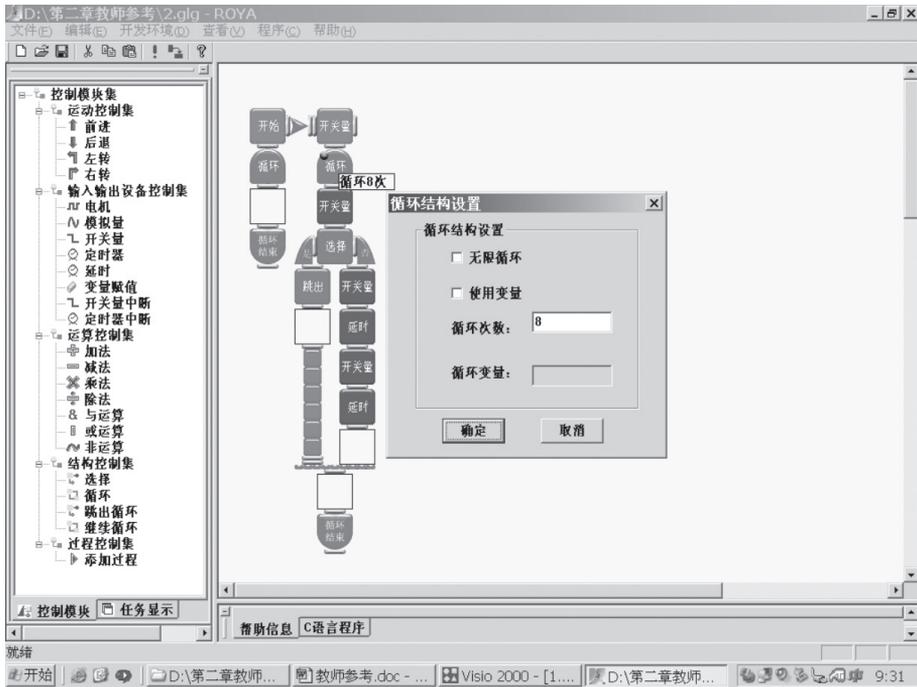


图 2.11 中断程序中循环体的属性设置界面（循环次数设置为 8）

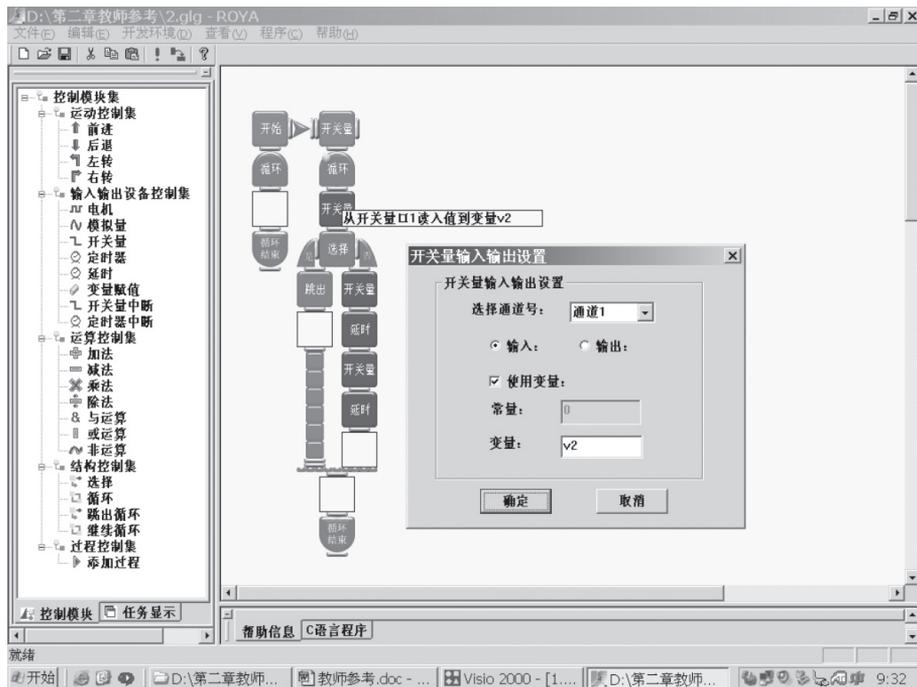


图 2.12 位于“通道 1”的开关量属性设置界面（门的状态）

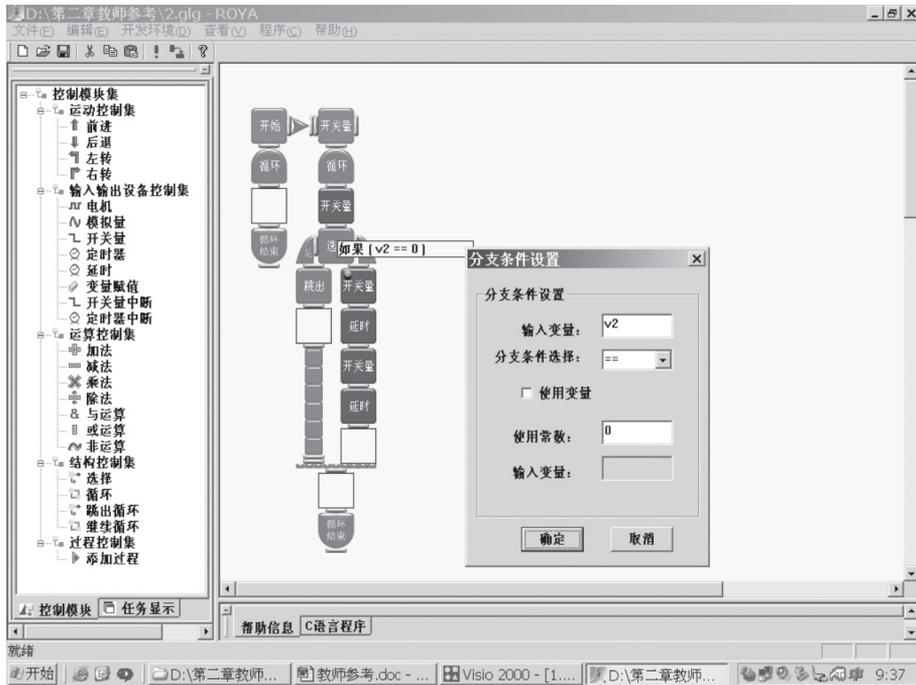


图 2.13 中断程序中“选择”模块属性设置界面

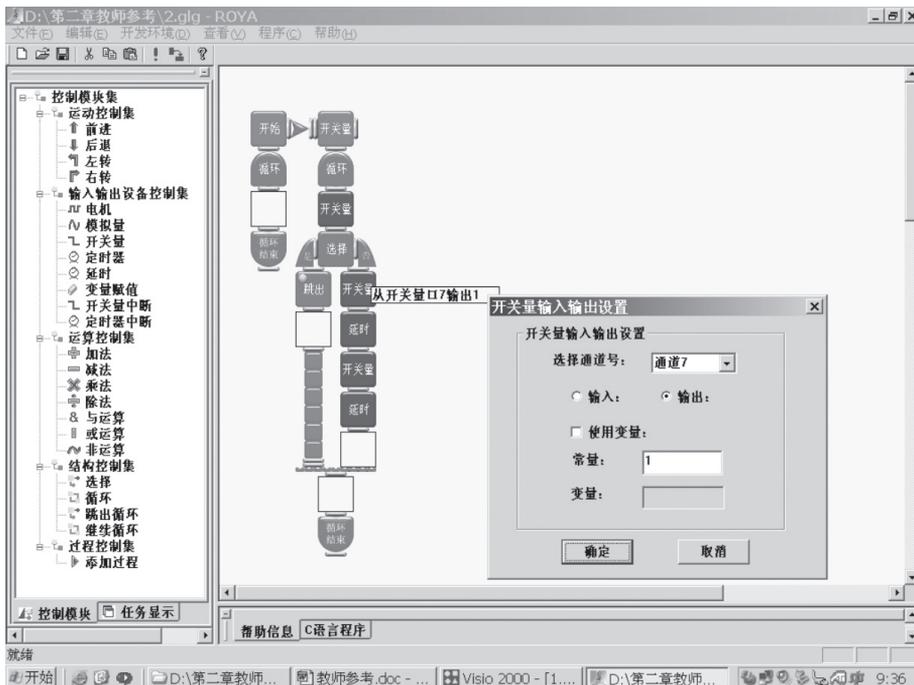


图 2.14 启动蜂鸣器（通道 7）属性设置界面

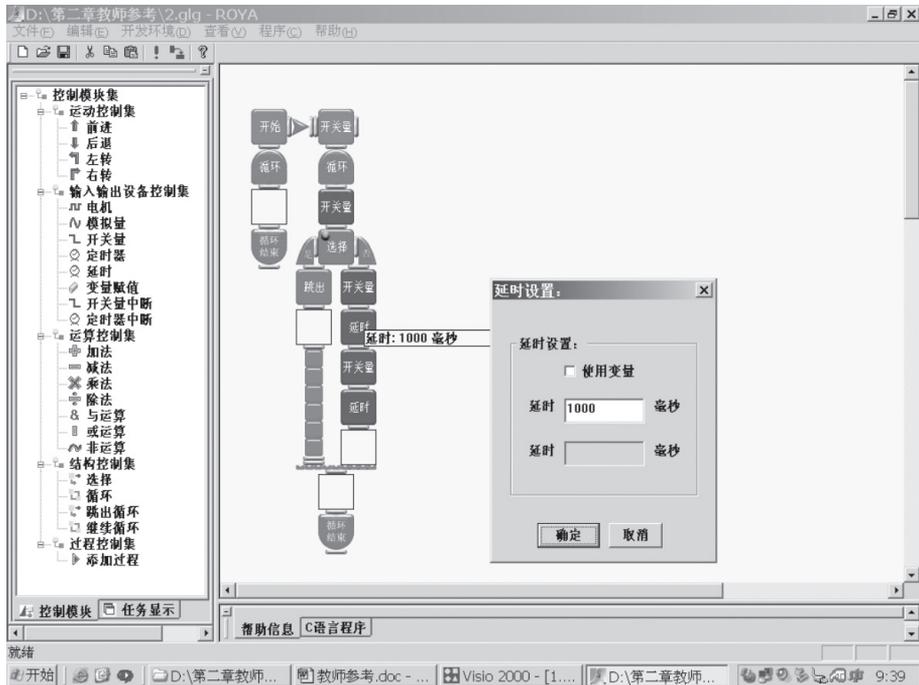


图 2.15 “延时”属性设置界面 (延时 1 s)

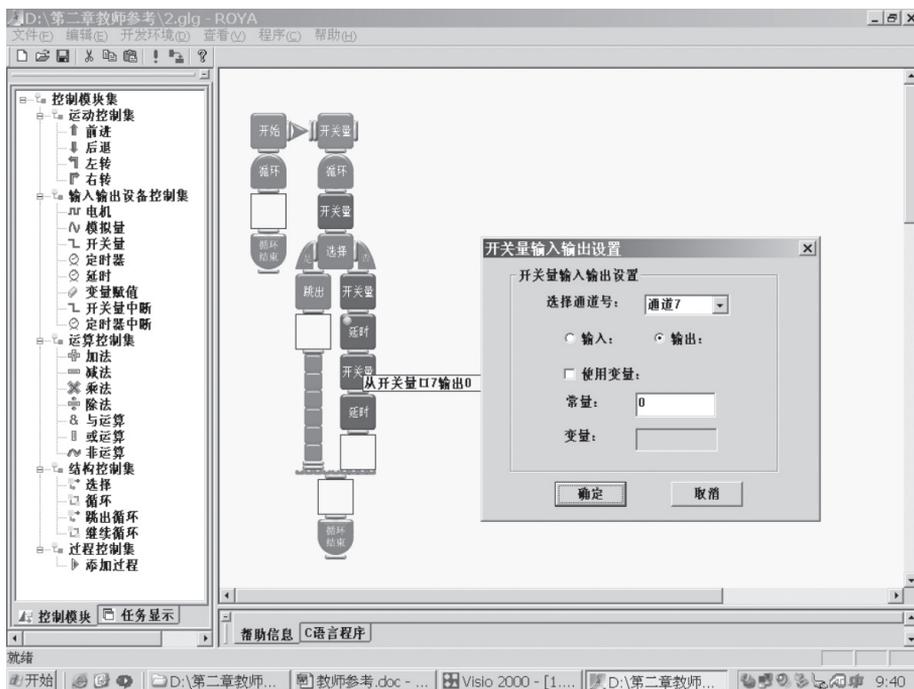


图 2.16 关闭蜂鸣器 (通道 7) 属性设置界面

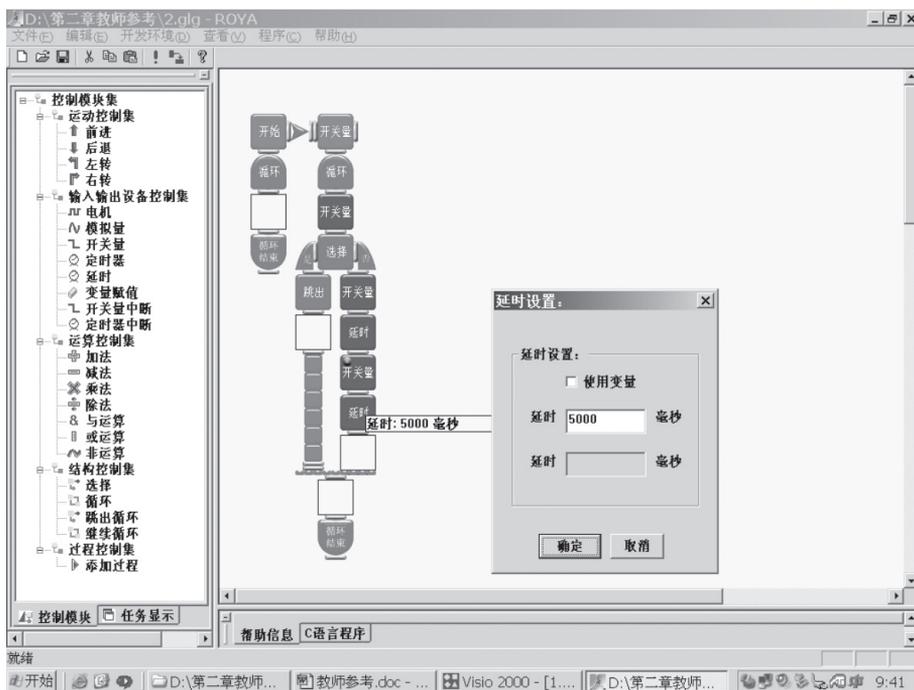


图 2.17 “延时”属性设置界面 (延时 5 s)

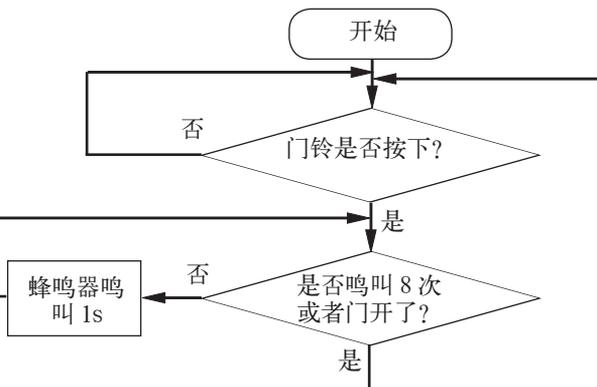


图 2.18 “活动延伸”中查询方式编程的程序流程图

图进行讨论。所谓程序流程图，也叫程序框图，通过流程线将各种框连接起来，它是计算机程序设计常用的一种工具，流程图常用的符号框图见图 2.20。

流程图中各个框图代表的意义如下：

- 起止框：一个算法的开始或结束；
- 输入输出框：数据的输入或输出；
- 处理框：要处理的内容；
- 条件判断框：框中的内容为条件；

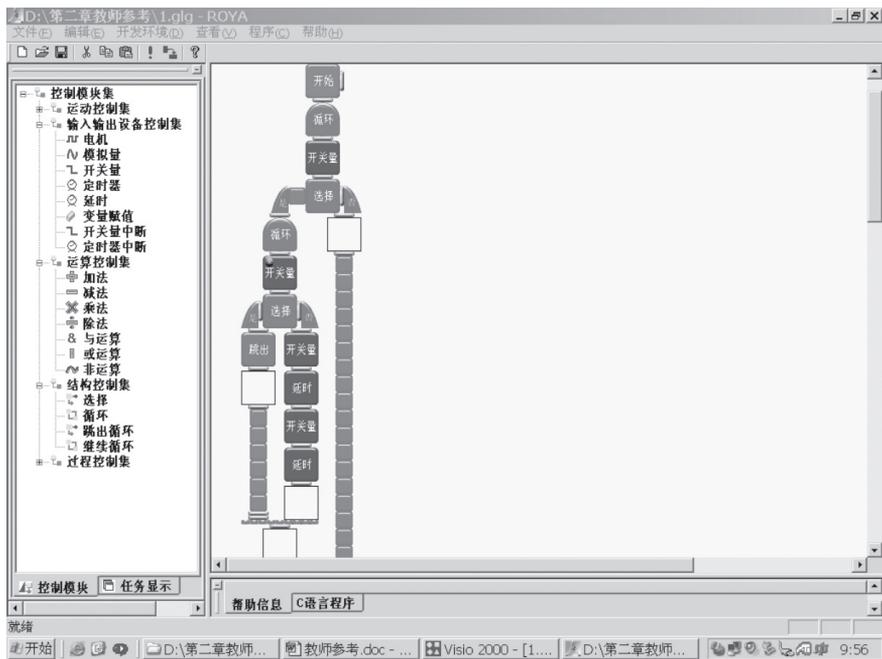


图 2.19 采用查询方式编制的门铃控制程序

循环框（上）：循环的上界（循环入口）；
 循环框（下）：循环的下界（循环出口）；
 流程线：程序的流向。

把要解决的问题转化为流程图是一个很好的编程习惯。经验告诉我们，在做一件事情之前，如果有详细的规划，进展就会很顺利，流程图就是一种编程规划。

程序流程图的主要特点是简单易学，容易理解，符合人们平时的逻辑思维习惯，这就是讨论问题中的第一个问题答案。

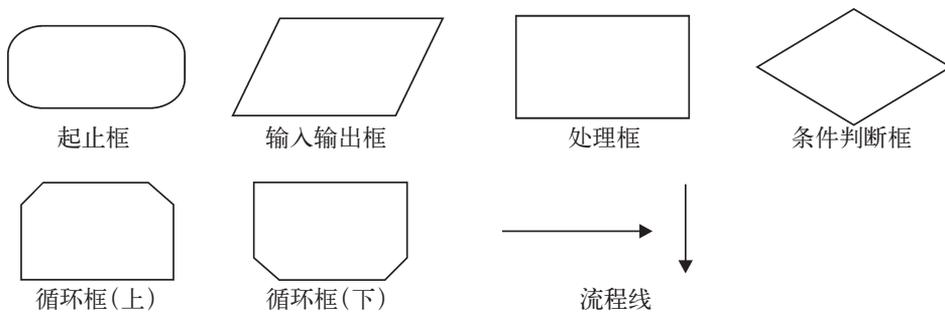


图 2.20 程序流程图中的框图

图形化语言编制的程序实际上是一种程序流程图，因此，在“现象与问题”中第二题的答案是肯定的。

计算机语言的发展历程

计算机语言也叫程序语言（program language），是人与计算机交流和沟通的工具。

早期计算机都直接采用机器语言，即用“0”和“1”为指令代码来编写程序，难写难读，编程效率极低。为了方便编程，随即出现了汇编语言。汇编语言虽然提高了效率，但仍然不够直观简便。1954年起，计算机界逐步开发出一批高级语言，采用英文词汇、符号和数字，遵照一定的规则来编写程序。高级语言诞生后，软件业得到突飞猛进的发展。

1953年12月，IBM公司程序师约翰·巴科斯(J.Backus)写了一份备忘录，建议为IBM704设计一种全新的程序设计语言。巴科斯曾在“选择顺序控制计算机(SSEC)”上工作过3年，深深体会到编写程序的困难性。他说，“每个人都看到程序设计有多昂贵，租借机器要花费好几百万，而程序设计的费用却只会多不会少”。

巴科斯的目的是设计一种用于科学计算的“公式翻译语言(formula translator)”。他带领一个13人小组，包括有经验的程序员和刚从学校毕业的青年人，在IBM704计算机上设计出编译器软件，于1954年完成了第一种计算机高级语言——FORTRAN语言。1957年，西屋电气公司幸运地成为FORTRAN的第一个商业用户，巴科斯给了他们一套存储着语言编译器的穿孔卡片。以后，不同版本的FORTRAN纷纷面世，1966年，美国统一了它的标准，称为FORTRAN 66语言。50多年过去了，FORTRAN仍然是科学计算选用的语言之一，巴科斯因此摘取了1977年度“图灵奖”。

FORTRAN广泛运用的时候，还没有一种可用于商业计算的语言。美国国防部注意到这种情况，1959年5月，五角大楼委托格雷斯·霍波博士领导一个委员会，开始设计面向商业的通用语言(common business oriented language)，即COBOL语言。COBOL最重要的特征是语法与英文很接近，不懂计算机的人也能看懂程序；编译器只需做少许修改，就能运行于任何类型的计算机。委员会一个成员害怕这种语言的命运不会太长久，特地为它制作了一个小小的墓碑。然而，COBOL语言却存活下来。1963年，美国国家标准局将它进行了标准化。用COBOL编写的软件要比其他语言多得多。

1958年，一个国际商业和学术计算机科学家组成的委员会在瑞士苏黎世开会，探讨如何改进FORTRAN，设计一种标准化的计算机语言。巴科斯也参加了这个委员会。1960年，该委员会在1958年设计的基础上，定义了一种新的语言版本——国际代数语言ALGOL 60，首次引进了局部变量和递归的概念。ALGOL语言没有被广泛运用，但它演变为其他程序语言的概念基础。

20世纪60年代中期，美国达特默斯学院的约翰·凯梅尼(J.Kemeny)和托马斯·卡茨(T.Kurtz)认为，FORTRAN那样的语言都是为专业人员设计的，他们希望为无编程经验的人提供一种简单的语言，特别希望那些非计算机专业的学生也能通过这种语言学会使用计算机。于是，他们在简化FORTRAN的基础上，研制出一种“初学者通用符号指令代码”(beginners all purpose symbolic instruction code)，简称BASIC。由于BASIC语言易学易用，它很快就成为最流行的计算机语言之一，几乎所有小型计算机和个人计算机都在使用它。经过不断改进后，它一直沿用至今，出现了QBASIC、VB等新一代BASIC版本。

1967年，麻省理工学院人工智能实验室的希摩尔·帕伯特(S.Papert)，为孩子设计出一种叫LOGO的计算机语言。帕伯特曾与著名瑞士心理学家皮亚杰一起学习，他发明的LOGO最初是个绘图程序，能控制一个“海龟”图标在屏幕上描绘爬行路径的轨迹，从而完成各种图形的绘制。帕伯特希望孩子不要机械地记忆事实，强调创造性的探索。他说：“人们总喜欢讲学习，但是，你可以看到，学校的多数课程是记忆一些数据和科学事实，却很少着眼于真正意义上的学习与思考。”他用LOGO语言启发孩子们学会学习，在马萨诸塞州列克星敦，一些

孩子用 LOGO 语言设计出真正的程序，使 LOGO 语言成为一种热门的计算机教学语言。

1971 年，瑞士联邦技术学院的尼克劳斯·沃尔斯 (N.Wirth) 教授发明了另一种简单明晰的计算机语言，这就是以帕斯卡的名字命名的 PASCAL 语言。PASCAL 语言语法严谨，层次分明，程序易写，具有很强的可读性，是第一个结构化的编程语言。它一出世就受到广泛欢迎，迅速从欧洲传到美国。沃尔斯一生还写了大量有关程序设计、算法和数据结构的著作，因此，他获得了 1984 年度的“图灵奖”。

1983 年度的“图灵奖”授予了 AT&T 贝尔实验室的两位科学家邓尼斯·里奇 (D. Ritchie) 和他的合作者肯·汤姆森 (K.Thompson)，以表彰他们共同发明著名的计算机 C 语言。C 语言是当今软件工程师最宠爱的语言之一。

里奇最初的贡献是开发了 UNIX 操作系统软件。他说：“这里有一个小故事。他们答应为贝尔实验室开发一个文字处理软件，购买一台小型计算机 PDP-11/20，从而争取到 10 万美元经费。可是当机器购回来后，他俩却把它用来编写 UNIX 系统软件。”UNIX 很快有了大量追随者，在工程师和科学家中间引起巨大反响，推动了工作站计算机和网络的成长。1970 年，作为 UNIX 的一项“副产品”，里奇和汤姆森合作完成了 C 语言的开发，这是因为研制 C 语言的初衷是为了用它编写 UNIX。这种语言结合了汇编语言和高级语言的优点，大受程序设计师的青睐。

1983 年，贝尔实验室另一研究人员比加尼·斯楚士舒普 (B.Stroustrup)，把 C 语言扩展成一种面向对象的程序设计语言 C++。如今，数以百万计的程序员用它来编写各种数据处理、实时控制、系统仿真和网络通信等软件。斯楚士舒普说：“过去所有的编程语言对网络编程实在太慢，所以我开发了 C++，以便快速实现自己的想法，也容易写出更好的软件。”1995 年，《BYTE》杂志将他列入“计算机工业 20 个最有影响力的人”。

第五节 C 语言编程

一、教学目标

- (1) 了解 C 语言开发环境的界面操作功能。
- (2) 知道 C 语言语法的基本内容，并能用 ROYA C 语言编程。

二、结构分析

本节首先在“现象与问题”中说明 C 语言是一种目前十分流行的编程语言，然后进入正文部分。正文分为三部分，分别介绍 C 语言开发环境、C 语言基本语法和 C 语言的程序结构。最后在“活动延伸”中要求学生编制 3 个 C 语言应用程序，通过这个活动延伸，学生能把前面所学的内容融会贯通。在正文中穿插了若干“实践活动”和“探究尝试”的内容，便于学生循序渐进地学习 C 语言的基础知识。

本节是第二章的学习重点，也是本教材中比较难以掌握的部分。本节重点在正文的第二部分“C 语言的基本语法”和第三部分“C 语言的程序结构”。C 语言的基本语法包括编译预处理、函数、数据与数据类型，以及运算符、表达式等 C 语言中很重要的概念。C 语言的程序结构中介绍了 C 语言循环结构中的 for 语句、while 语句、do-while 语句，同时也介绍了 C 语言

选择结构中的 if 语句和 if - else 语句。学生能学会这些语句的应用和编程就基本上达到了要求。

三、教学建议与说明

1. 关于“现象与问题”

本节的“现象与问题”以身边经常见到社会招聘广告为引导。软件业是一个新兴产业，程序员是一个热门的职业。软件编程语言很多，但从招聘广告中我们会发现，需求最多的还是精通 C、VC、VB 和网络程序开发的程序员。“现象与问题”中提出了三个问题供学生讨论，前两个问题没有固定的答案，大家可以以各种方式查找答案；最后一个问题也是一个仁者见仁、智者见智的问题。一般地，作为一个程序开发人员，应该掌握 8086 微控制器（基于 Intel CPU 8086 系列）的汇编语言和 C 语言，了解 8086CPU 的汇编语言就了解了 PC 机的内部结构，而了解了 C 语言后再掌握别的高级语言就比较容易了。

2. 关于 ROYA C 开发环境

ROYA C 语言开发环境和 ROYA 图形化语言开发环境类似，例如菜单栏、工具栏、代码编辑区和信息提示区等都差不多，仅仅是图形化模块区和控制函数区中的内容不同。用户在使用控制函数区中的控制函数时，双击选中的某一个控制函数，该函数就将出现在代码编辑区，和图形化模块的操作一样，这个操作和标准 C 语言是不同的。当然用户也可以在代码编辑区逐个输入字符函数，这样就和标准 C 语言操作一样了。

单击“设置串口通道”下拉菜单，会弹出如教材图 2.32 所示的对话框，表示用户可以选择使用 PC 机上的哪一个串行口。标准 PC 机上配置两个串行口，在使用串口时用户需要确认自己选用哪一个。

3. 关于 C 语言的基本语法

基本语法中介绍了编译预处理、函数、数据类型、运算符与表达式等概念和使用方法，这部分内容较多，概念也较多，教师在讲授这一部分时应该多结合实际例子给学生演示各种概念，并且指导学生按教材中的“实践活动”和“探究尝试”动手编制和调试程序，手脑并用，就能比较快地理解 C 语言的语法。

(1) 编译预处理。ROYA C 中的编译预处理命令有两种，分别是“文件包含(include)”预处理命令和“宏定义(define)”预处理命令。编译预处理是一种特殊命令，编译系统在编译程序之前先对它们进行处理，然后把处理结果和源程序进行通常的编译处理。

“文件包含”预处理就是把另一个文件包含到用户目前正在编写的程序中，两个文件一起参加编译，合成一个目标文件，并在一起运行。程序清单 2.1 的文件“file.ic”中包含了一个文件“robio.ic”（注意，ROYA C 语言的文件扩展名都是*.ic，标准 C 语言文件扩展名是*.c）。在 robio 中实际上没有任何内容，只是为了说明文件包含的概念而再加了一条语句，教师在讲授时可以在文件中输入一些语句，如：

```
int MotorCon=80;
int SensorCon=1;
```

然后把这个内容作为文件“robio.ic”保存，那么在文件 file.ic 中就可以直接使用控制量 MotorCon 和 SensorCon 了，而不需要在 file.ic 中再重新定义赋值。在 ROYA C 编程环境中，被包含的文件内容将直接加到源程序后，这与标准 C 处理方法有些不同。

“文件包含”预处理命令在本教材中使用的机会不多，一般在编制大型程序时才有使用的

必要，因此教师如果觉得这个概念学生不易理解，可以不做详细介绍或忽略不讲。

另一种预处理命令是“宏定义”，教材中介绍得很清楚，教师讲授时可以把 a、b、time 等变量用宏定义定义成常量，再运行程序，看结果如何。例如可以按下面的例子修改：

```
# define NUM 3
# define a 10
# define b 30
# define time 5000
void main(void)
{
    int speed;
    speed=a+b;
    Forward(speed,time);
}
```

按教材中的程序清单输入程序时，第一列的数字 1, 5, 10, …都是程序行序号，是为了便于学生阅读而特意标注的，学生在输入程序时不应该输入这些行号。

在教材第 45 页中的“实践活动”中，要求学生总结哪些程序行的末尾有“;”，哪些程序行末尾没有“;”。C 语言的初学者在输入程序代码时经常犯的错误就是分不清程序行末尾何时应该加“;”，教师应该在学习 C 语言时告诉学生这些细节。

(2) 函数。一般来说，应将一个较大的程序划分为若干个程序模块，每一个模块用来实现某个特定的功能。所有高级语言中都有子程序这个概念，即可以用子程序来实现模块的功能。在 C 语言中，子程序的作用实际上由函数来完成。一个 C 语言程序可由一个主函数和若干个函数构成。由主函数调用其他函数，其他函数之间还可以互相调用。同一个函数可以被一个或多个函数任意调用多次。函数是 C 语言中最重要的概念之一，整个 C 程序就是函数的集合。在程序设计中，常将一些常用的功能模块编写成函数，放在函数库中公用，它们也被称为库函数。ROYA C 中的功能函数区中的功能函数也就是库函数。

教材中简单介绍了函数的概念，举例说明如何构造函数和使用函数。教材的程序清单 2.2 列举了一个带参数函数的例子，注意，函数体中的语句 Motor (1,0-x) 不能写成 Motor (1, -x)。函数也可以不带参数，例如让机器人始终以速度 80 行走，可以构造如下的函数，该函数就不带参数：

```
void MotRun( )
{
    Motor(0,80);
    Motor(1,-80);
}
```

与图形化语言中电机速度的设置方法一样，ROYA C 语言中的电机速度值也是一个相对值，即相对于全速的百分比，Motor (0,80) 表示 0 号电机以全速的 80% 运行。

(3) 数据和数据类型。程序的运行，实际上就是对各种数据的识别和处理。计算机中的数据又分为常量和变量。所谓常量，就是在程序运行过程中其值不能被改变的量。所谓变量，

就是在程序运行过程中其值可以改变的量。常量和变量存放在计算机的内存单元中，它们的值不同，占用的内存单元多少也不一样，数据在内存中是以字节为单位存放的，一个字节存放 8 位二进制数。数据占用的字节数越多，计算机处理这个数据花费的时间也越多。早期计算机中 CPU 的运行速度较慢，内存的存储量也有限，因此数据占用的内存大小对计算机运行程序的速度有非常重要的影响，所以，在设计程序时，必须精确区分数据在内存中所占有的内存的大小，提高计算机的运行效率。一般把程序中要处理的数据分成不同的类型，每个类型规定使用的内存单元的最大数量，这就是为什么要对数据分类的原因。

标准 C 语言的数据类型很多，不易掌握，对简易机器人编程来说，多数的数据类型都暂时用不上，因此，在 ROYA C 仅提供两种数据类型，即整型和字符型。编程时，在使用每一个变量前，必须定义该变量的类型，便于计算机给它分配内存。整型变量分配两个字节（16 位）的内存，最高位为符号位，因此整型变量的数值可以是 $-32768 \sim 32767$ 的任何数；字符型变量分配一个字节（8 位），字符型变量只能是正整数，因此它的数值可以取 $0 \sim 255$ 的任何值。

所谓字符型变量，指可以用单个字符来代表一个整数值，例如，在程序中定义一个字符型变量 VL，可以使用下面的语句给它赋值：

```
char VL;  
VL = 'a';
```

这两条语句的含义是把字符 a 代表的 ASCII 码赋给变量 VL，a 的 ASCII 码是 97，因此 VL 中的内容就是 97。

在给简易机器人编程的时候，基本上不使用字符型变量，所有变量均可以定义为整型变量。注意，在 ROYA C 中不支持小数点的运算，如果在程序中输入小数，程序运行将会出错。

(4) 运算符、表达式及规则。ROYA C 支持的运算符和表达式有四种，分别是赋值运算符和赋值表达式、算术运算符和算术表达式、关系运算符和关系表达式、逻辑运算符和逻辑表达式，另外还有一种自增减运算符。

赋值符号“=”就是赋值运算符，它的作用是将一个数据赋给一个变量。例如“a=3”的作用是执行一次赋值操作（或称赋值运算），把常量 3 赋给变量 a。也可以将一个表达式的值赋给一个变量，由赋值运算符将一个变量和一个表达式连接起来的式子称为“赋值表达式”，例如“b=c+3”，把表达式 c+3 赋给变量 b。一般地，赋值表达式就是把“=”右边的表达式的值赋给“=”左边的变量。在程序中，把赋值表达式末尾加“;”，赋值表达式就变成赋值语句。在简易机器人编程中，赋值语句要经常用到。在 ROYA C 中，赋值表达式两端的数据类型必须匹配，否则程序将会出错。

ROYA C 支持的算术运算符有五种，分别为加（+）、减（-）、乘（*）、除（/）和模（%）运算符，这五种运算符和括号具有优先级顺序，括号的优先级最高，乘、除、模的次之，加、减优先级最低。在表达式求值时，按运算符的优先级级别高低次序执行，例如先乘除后加减。举式子 $a - b * c$ 来说明。b 的左侧为减号，右侧为乘号，乘号的优先级高于减号，因此，该式相当于 $a - (b * c)$ 。如果一个运算对象两侧的运算符优先级相同，如 $a - b + c$ ，则按规定的“结合方向”的原则处理。ROYA C 规定了各种运算符的结合方向（结合性），算术运算符的结合方向为“自左至右”，即先左后右，因此 b 先与减号结合，执行 $a - b$ 的运算，再执行加 c 的运算。自左至右的结合方向又称“左结合性”，即运算对象先与左面的运算符结合。ROYA C 中只支持整数运算。

ROYA C 支持的关系运算符有六种。关系运算是两个数互相比，比较的结果有真、

假两种，分别用二进制数“1”和“0”来表示。ROYA C 语言规定，所有非零的数值都为真，只有0表示假。教师在讲授时，应该特别强调赋值运算符“=”和关系运算符“==”的区别，初学者最容易把这两者搞混。“=”是赋值运算，而“==”是关系运算，例如 $a = b$ ，含义是测试 a 和 b 是否相等，又如 $c = a = b$ ，因为赋值运算符的优先级低于关系运算符的优先级，所以先执行 $a = b$ ，相当于 $c = (a = b)$ ，如果 a 和 b 相等，则表示这个比较结果是真(“1”)，那么 c 的值为 1。关系运算符也具有左结合性，如 $a=b>c>d$ ，等价于 $a=[(b>c)>d]$ 。关系运算符是 ROYA C 中的重要概念，为了使 学生掌握这部分内容，教材安排了一个“实践活动”。

•教材第 49 页“实践活动”的答案如下：

若 $a=4, b=3, c=1$ ，则

1. $a>b$ 的值为，则“真”，其表达式的值为 1。
2. $b+c<a$ 的值为“假”表达式值为 0。
3. $(a>b) == c$ 的值为“真”，表达式则值为 1。
4. $d=a>b$ ，d 的值为 1。
5. $f = (a>b) > c$ ，由于关系运算符的结合性为左结合，故 $a>b$ 值为 1，而 $1>c$ 值为 0，故 f 值为 0。

ROYA C 支持三种逻辑运算符：与 (&&)、或 (||)、非 (!)。“&&”和“||”是双目运算符，要求有两个运算数，如 $a&& b$ 、 $a|| b$ 、“!”是单目运算符，只要求有一个运算数，如 $!a$ 。表 2.5 是逻辑运算的“真值表”，它表示当 a 和 b 的值为不同组合时，各种逻辑运算所得到的值。

按照表 2.2 的定义，可以很容易地完成关于逻辑运算符的“实践活动”。

表 2.5 逻辑运算的“真值表”

a	b	!a	!b	a&&b	a b
真	真	假	假	真	真
真	假	假	真	假	真
假	真	真	假	假	真
假	假	真	真	假	假

•教材第 50 页“实践活动”的答案如下：

ROYA C 支持自增、自减运算符，其作用是使变量的值自动增 1 或减 1。使用自增、自

若 $a=4, b=5$ ，则

1. $c = (b>a)$ 为假，即 c 的值为 0，因为 $b>a$ 为真。
2. $d = (b>a) || (b>a)$ 为真，即 d 的值为 1，因为 $b>a$ 为真，两者相或也为真。
3. $e = (b>a) \&\& (b>a)$ 为真，即 e 的值为 1，因为 $b>a$ 为真，两者相与也为真。

减运算符应注意以下两点：

①自增、自减运算符只能用于变量，而不能用于常量或表达式，如 $5++$ 或 $(a+b)++$ 都是不合法的。

② ++、--的结合方向是“自右至左”。前面已经提到，算术运算符的结合方向为“自左至右”，如果有 $-i++$ ，那么应该读成 i 的左面是负号运算符，右面是自加运算符。如果 i 的原值等于 3，若按左结合性，相当于 $(-i)++$ ，而 $(-i)++$ 是不合法的，因为对表达式不能进行自加减运算。负号运算符和“++”运算符具有相同的优先级，而结合方向自右至左（右结合性），即它相当于 $-(i++)$ 。为了让学生学习如何在程序中使用自增、自减运算符，教材中安排了一个“实践活动”。

•教材第 51 页“实践活动”的答案如下：

$m = 9, n = 10。$

(5)C 语言的程序结构。与其他高级语言一样，ROYA C 也有三种基本程序结构，即顺序、选择和循环。已经证明，使用上述三种程序结构的组合构成的程序能处理任何复杂的问题。前面所有程序例子都是顺序结构，所以关于顺序结构这里不再重述。

ROYA C 图形化编程环境中已经介绍了循环的概念，图形化编程语言提供了三种控制程序循环的控制模块。在 ROYA C 语言中，提供了三种循环语句：for 语句、while 语句和 do - while 语句。这三种语句功能相似，但在具体使用时还是有些区别的。

① for 语句。C 语言中的 for 语句使用最为灵活，也较难掌握，如果能熟练使用 for 语句，就掌握了 ROYA C 语言中的循环结构。for 语句的一般形式和执行过程教材上已经介绍得很详细，可以用图 2.21 所示的流程来解释 for 语句的执行过程。

for 语句最简单的应用形式（也是最容易理解的形式）如下：

for (循环变量赋值；循环条件；循环变量增量) 语句

例 1：用 for 语句求 $\sum_{n=1}^{100} n。$

```
void main (void)
{
    int j;
    int sum=0;
    for ( j=1;j<=100;j++) sum=sum+j;
}
```

可以看出 for 语句使用时简单方便。

使用 for 语句时，应注意下面几点：

(a) for 语句一般形式中的“表达式 1”可以省略，此时应在 for 语句前给循环变量赋初值。省略表达式 1 时，注意其后的分号不能省略，如：

```
for( ; j<=100;j++) sum=sum+j;
```

执行时，跳过“求解表达式 1”这一步，其他不变。

(b) 表达式 2 也可以省略，即不判断循环条件，循环无终止地进行下去。

(c) 表达式 3 也可以省略，但此时程序设计者应该另外设法保证循环能正常结束，如：

```
for (j=1;j<=100; )
{
    sum=sum+j;
```

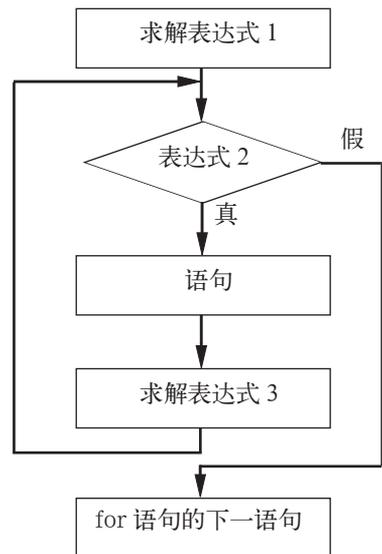


图 2.21 for 语句执行流程图

```
j++;  
}
```

本例把 j++ 的操作不放在 for 语句的表达式 3 的位置处，而作为循环体的一部分，效果是一样的，都能使循环正常结束。

(d) 三个表达式都可省略，如：

```
for ( ; ; ) 语句
```

即不设初值，不判断条件（认为表达式 2 为真），循环变量不增值。无终止地执行循环体。

(e) 表达式 1 可以是设置循环变量初值的赋值表达式，也可以是与循环变量无关的其他表达式，如：

```
for (sum=0; j<=100; j++) sum=sum+j;
```

表达式 3 也类似。

(f) 表达式 2 一般是关系表达式（如 j<=100）或逻辑表达式（如 a<b&&x>y），但也可以是数值表达式，只要其值为非零，就执行循环体，如：

```
for (j=1; 5 ; j++) sum=sum+j;
```

这个语句和 for (j=1; ; j++) 语句的效果是一样的。

明白了上面关于 for 语句的使用方法后，就能够比较容易地读懂教材第 51 页的程序清单 2.5 中的内容。关于程序清单 2.5 中的左转函数的使用，教材专门安排了一个“探究尝试”（教材第 52 页左上方），目的是让学生使用 ROYA C 中的函数动手编程。

●对教材第 52 页“探究尝试”（左上方）的处理参考意见如下：

1. 确定机器人左转角度有两种方法，即分别改变机器人的左转速度和左转时间都可以达到左转一个角度的目的。

2. 如果让机器人原地左转 180°，可以使用 ROYA C 中的电机运动函数，让机器人左右驱动电机按同样的速度旋转，程序如下：

```
void main(void)  
{  
    Motor (0, 100) ;  
    Motor (1, 100) ;  
    Delay (1500) ;  
}
```

在教材第 52 页下方，还安排了第二个“探究尝试”，目的是让学生掌握 for 语句的使用方法。

●对教材第 52 页下方“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 程序清单 2.6 和程序清单 2.5 中 for 语句的区别：程序清单 2.5 中的 for 语句中没有表达式，程序是一个无限循环；程序清单 2.6 中的 for 语句表达式齐全，该程序表示机器人走 20 次四边形后就停止运动。

2. 该程序表示机器人走 20 次四边形。

3. 如果把程序中 for (j=0; j<20; j+1) 改为 for (j=2; j<22; j+1)，程序运行时结果是相同的，因为程序循环的次数没有变化，还是 20 次，只是判断条件和起始条件同步增加了。

4. 如果把程序中 for (j=0; j<20; j+1) 改为 for (j=2; j<= 22; j+1)，机器人将走 21 次四边形，因为程序循环条件增加了一次。

② while 语句。它也是 ROYA C 中一个重要的循环语句。while 的循环结构比较简单，

其一般形式如下：

while (表达式) 语句

当表达式为非 0 值时执行 while 语句中的内嵌语句，其流程图见图 2.22，特点是先判断表达式，后执行语句。

可以用 while 语句对例 1 编程。

例 2：用 while 语句求 $100 \sum_{n=1}^{100} n$ 。

```
void main(void)
{
    int j;
    sum=0;
    while(j<=100)
    {
        sum=sum+j;
        j=j+1;
    }
}
```

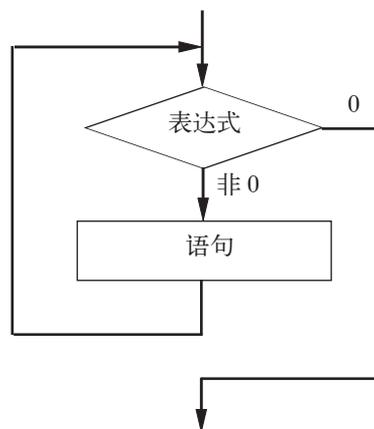


图 2.22 while 语句执行流程

可以看出，while 语句比使用 for 语句所需的程序代码多，但 while 语句的程序容易理解。

使用 while 语句需要注意以下两点：

(a) 如果循环体内包含一个以上的语句，应该用 { } 括起来，以复合语句的形式出现。否则，while 语句的范围只到 while 后面第一个分号处。例如本例中 while 语句中如无 { }，则 while 语句的范围只到 “sum=sum+j;”。

(b) 在循环体中应该有使循环结束的语句。例如，在本例中循环结束的条件是 “j>100”，因此在循环体中应该有使 j 增值以最终导致 j>100 的语句，程序中的 “j=j+1” 就是为了达到此目的而引入的，如果无此语句，则 j 的值始终不改变，循环永不结束。

③ Do-while 语句。do-while 语句和 while 语句有点类似，while 语句是先判断表达式，然后根据表达式的值决定程序是否执行循环体。而 do-while 语句先执行一遍循环体中的程序，然后再判断表达式的值来决定程序是否继续循环，其一般形式是：

```
do 语句
while (表达式) ;
```

do-while 的执行过程如下：先执行一次指定的循环体内的内嵌语句，然后判断表达式，如果表达式的值为非 0 (“真”)，返回重新执行该语句，如此反复，直到表达式的值等于 0 为止结束循环，执行的流程见图 2.23。

我们也可以使用 do-while 语句来处理例 2 中的问题。

例 3：用 for 语句求 $\sum_{n=1}^{100} n$ 。

```
void main(void)
{
```

```

int j=1;
sum=0;
do
{
    sum=sum+j;
    j=j+1;
}
while(j<=100);

```

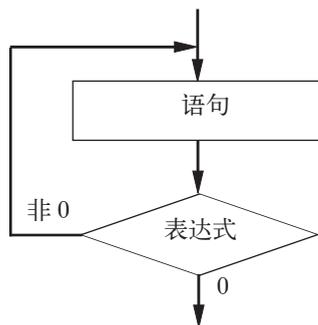


图 2.23 do-while 语句执行流程图

由此我们可以看到，对同一个问题，既可以用 while 语句处理，也可以用 do-while 语句来编制程序处理；同样，do-while 结构可以转换成 while 结构，二者完全等价。

在教材第 53 页中，安排了一个“探究尝试”，目的是让学生用 while 和 do-while 语句编写程序，培养学生的动手能力。

•教材第 53 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 用 while 语句实现程序清单 2.6 的程序，改写结果如下：

```

void main(void)
{

    int j=0;

    while(j<20)
    {
        Forward(50,5000);
        TurnLeft(50,1500);
        j=j+1;
    }

}

```

2. 由用 do-while 语句改写程序清单 2.7，改写结果如下：

```

void main(void)
{
do
{
    Forward(50,5000);
    TurnLeft(50,1500);
}
while(1);

}

```

④ ROYA C 语言也支持选择程序结构，选择结构用两种语句实现，分别是 if 语句和 if - else 语句。

if 语句格式为:

```
if (表达式) 语句
```

if - else 语句格式为:

```
if(表达式) 语句 1  
else 语句 2
```

使用选择结构时应注意下面几点:

(a) 两种形式的 if 语句在 if 后面都有“表达式”，一般为逻辑表达式或关系表达式。例如 if(a==b&& x==y); 系统对表达式的值进行判断，若为 0，按“假”处理，若为非 0，按“真”处理，执行指定的语句。假如有下面的语句:

```
if(3) Forward(80,2000);
```

它也是合法的，执行该语句的结果是机器人向前运动 2 s，因为表达式的值为 3，按“真”处理。由此可见，表达式的类型不限于逻辑表达式，也可以是任意数值类型。

(b) if - else 语句中，在每个 else 前面有一个分号，整个语句结束处有一分号。例如:

```
if(x>0)  
Forward(80,2000);  
else  
TurnLeft(50,1000);
```

(c) 在 if 和 else 后面允许只含有一个内嵌操作语句（如上例），也可以有多个操作语句，此时可用“{ }”将几个语句括起来成为一个复合语句。如:

```
if(x>0)  
{  
Forward(80,2000);  
TurnLeft(50,1000);  
}  
else  
{  
Forward(80,2000);  
TurnRight(50,1000);  
}
```

注意在“{ }”后面不用再加分号，因为“{ }”内是一个完整的复合语句，故无须再附加分号。

教材中举出接触传感器的开、关两个状态来控制 LED 的点亮和熄灭的例子，用来演示程序的选择结构。程序中使用了 ROYA C 语言中的开关量输入函数 SwitchI(n) 和开关量输出函数 SwitchO(n,m)。这两个函数与 ROYA 图形化语言中的开关量模块类似，如果开关闭合，读入的开关量值为 0；如果开关断开，读入的开关量值为 1。SwitchI() 函数中括号里的参数是输入的传感器通道号；SwitchO(n,m) 的函数参数有两个，n 代表输出的通道号，m 代表输出值。

•对教材第 54 页“实践活动”的处理参考意见如下:

该“实践活动”的目的是让学生知道如何用选择结构编程。实际上，程序 2.8 和程序 2.9 的运行结果是相同的，因此可以得出结论：这表示在这种情形下，if 和 if - else 结构是可以互换的。但并不是在任何情况下二者都能互换，互换成立的条件是只有两种选择情形，即“非此即彼”。如果有两种以上的选择情形，就不能互换，只能连续使用 if 语句做判断。

●对教材第 55 页“活动延伸”的实施建议如下:

1. 查找 ANSI C 语言教程, 完成下面有关数据类型的表格:

数据类型	所占位数	数的范围
int	16	- 32 768 ~ 32 767
short int	16	- 32 768 ~ 32 767
long int	32	- 2 147 483 648 ~ 2 147 483 647
unsigned int	16	0 ~ 65 535
unsigned short	16	0 ~ 65 535
unsigned long	32	0 ~ 4 294 967 295
float	32	$10^{-38} \sim 10^{38}$
double	64	$10^{-308} \sim 10^{308}$

2. 用 C 语言编写 LED 显示程序。

(1) 让 8 个 LED 轮流显示程序:

```
void main(void)
{
    int j;
    while(1) // 无限循环, 循环点亮熄灭 LED
    for(j=8;j<16;j++) //8 个 LED 循环点亮熄灭
    {
        Switch0(j, 1); // 点亮第 j 个 LED
        Delay(500);
        Switch0(j, 0) // 熄灭第 j 个 LED
        Delay(500);
    }
}
```

(2) 以 4 个 LED 为一组轮流显示:

```
void main(void)
{
    int j;
    int i;
    for(;;) // 无限循环, 循环点亮熄灭四组 LED
    {
        for(i=8;i<12;i++) // 点亮 LED 低四位, 熄灭高四位 LED
        {
            Switch0(i, 1);
            j=i+4;
            Switch0(j, 0);
        }
        Delay(500);
    }
}
```

```

for(i=8;i<12;i++)    // 熄灭低四位 LED, 点亮高四位 LED
{
Switch0(i, 0);
j=i+4;
Switch0(j, 1);
}
Delay(500);

}
}

```

(3) 以 4 个 LED 为一组交叉显示:

```

void main(void)
{
int j;
int i;
for(;;)    // 无限循环, 循环点亮熄灭四组 LED
{
for(i=8;i<16;i = i+2)    // 点亮偶数位 LED, 熄灭奇数位 LED
{
Switch0(i, 1);
j=i+1;
Switch0(j, 0);
}
Delay(500);
for(i=8;i<12;i = i+2)    // 熄灭偶数位 LED, 点亮奇数位 LED
{
Switch0(i, 0);
j=i+1;
Switch0(j, 1);
}
Delay(500);

}
}

```

四、参考资料

C 语言中的“文件包含 (# include)”预处理命令

所谓“文件包含”处理是指一个源文件可以将另外一个源文件的全部内容包含进来, 即将另外的文件包含到本文件之中。C 语言提供了 # include 命令用来实现“文件包含”的操作。其一般形式为:

#include “文件名”

图 2.24 表示“文件包含”的含义。图 2.24(a) 为文件 file1.c, 它有一个 #include “file2.c” 命令, 然后还有其他内容 (以 A 表示)。图 2.24(b) 表示另一文件 file2.c, 它的文件内容以 B 表示。在编译预处理时, 要对 #include 命令进行“文件包含”处理。处理的方法是将 file2.c 的全部内容复制插入到 #include “file2.c” 命令处, 于是 file2.c 被包含到 file1.c 中, 得到图 2.24(c) 所示的结果。在接着往下的编译中, 将“包含”以后的 file1.c [图 2.24 (c)] 作为一个源文件单位进行编译。

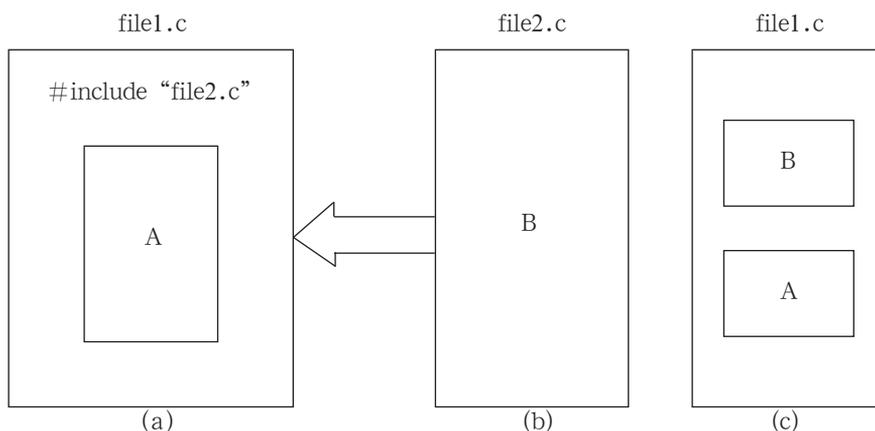


图 2.24 “文件包含”预处理命令示意图

“文件包含”命令是很有用的, 它可节省程序设计人员的许多重复劳动。例如, 某单位的人员往往使用一组固定的符合常量 (如 $g=9.81$, $\pi = 3.1415$, $e=2.718$, $c=\dots$), 可以把这些常量组合成一个文件, 然后各人都可用 #include 命令将这些符号常量包含到自己所写的源文件中。这样每个人就不必再重复定义这些符合常量。相当于工业上的标准零件拿来就用。

关于 C 语言中“函数”的补充说明

(1) 一个源程序由一个或多个函数组成, 一个源文件是一个编译单位, 即以源文件为单位进行编译, 而不是以函数为单位进行编译。

(2) 一个 C 语言程序由一个或多个源文件组成。对较大的程序, 一般不希望全放在一个文件中, 而将函数和其他内容 (如预定义) 分别放到若干个源文件中, 再由若干源文件组成一个 C 程序, 这样可以分别编写、分别编译, 提高调试效率。一个源文件可以为多个 C 程序公用。

(3) C 程序的执行从 main 函数开始, 在调用其他函数后流程回到 main 函数, 在 main 函数中结束整个程序的运行。main 函数是系统定义的。

(4) 所有函数都是平行的, 即在定义函数时是互相独立的, 一个函数并不从属于另一个函数, 即函数不能嵌套定义, 但可以互相调用, 但不能调用 main 函数。

(5) 从用户使用的角度看, 函数有两种:

① 标准函数, 即库函数。它们由系统提供, 用户不必自己定义, 可以直接使用它们。应该

说明，每个系统提供的库函数的数量和功能不同，当然有一些基本的函数是公用的。

②用户自己定义的函数，以解决用户的专门需要。

(6) 从函数的形式看分为两类：

①无参函数。就是说函数不带参数。在调用无参函数时，主调函数并不将数据传送给被调用函数，一般用来指定一组操作。无参函数可以带回或不带回函数值，但一般以不带回函数值的居多。

②有参函数。在调用函数时，在主调函数和被调用函数之间有参数传递，也就是说，主调函数可以将数据传给被调用函数使用，被调用函数中的数据也可以带回来供主调函数使用。

(7) 有参函数定义的一般形式：

类型标识符 函数名 (形式参数表列)

```
{  
    说明部分  
    语句  
}
```

例如：

```
int max(int x, int y)  
{  
    int z ;  
    if(x>y)  
        z=x;  
    else  
        z=y;  
    return (z);  
}
```

这是一个求 x 和 y 二者中大者的函数， x 和 y 为形式参数，从主调函数的实际参数把参数值传递给被调用函数中的形式参数 x 和 y 。函数参数表列中的 $\text{int } x$ 和 $\text{int } y$ 是对形式参数作类型说明，指定 x 和 y 为整型。 $\{ \}$ 内是函数体，它包括说明部分和语句部分。请注意， $\text{int } z$ 必须写在 $\{ \}$ 内，而不能写在 $\{ \}$ 外。在函数体的语句中求出 z 的值（为 x 和 y 中大者）， return 语句的作用是将 z 的值作为函数值带回到主调函数中。 return 后面的括弧中的值作为函数带回的值（或称函数返回值）。在函数定义时已指定 max 函数为整型，在函数体中定义 z 为整型，二者是一致的，将 z 作为函数 max 的值带回调用函数。

C 语言中的常量、变量

在程序运行过程中，其值不能被改变的量称为常量。常量区分为不同的类型，如 12 、 0 、 -3 等为整型常量， 4.5 、 -1.23 为实型常量，‘a’ ‘b’ 为字符常量等。常量一般从其字面形式即可判别，也可以用一个标识符代表一个常量（用 $\#define$ 语句定义）。

在程序运行中，其值可以改变的量称为变量。一个变量应该有一个名字，在内存中占据一定的存储单元，在该存储单元中存放变量的值。应注意区分变量名与变量值这两个不同的概念。

第三章 简易机器人的控制系统

本章提示

机器人之所以能够根据变化的外界环境做出不同的反应,除了拥有功能强大的“大脑”——单片机和灵活的“思维”——控制软件外,还必须具备获知环境变化和执行相应动作的能力。为机器人提供环境变化信号的元件称为输入元件或传感器;执行单片机输出结果,并产生相应动作的元件称为输出元件。传感器和输出元件对于机器人就如同感觉器官和肌肉对于人的作用。单片机只有与各种传感器和输出元件配合才能构成完整的机器人控制系统。

在上一章,教材扼要地谈及简易机器人的控制系统概念,对 RoCon 控制器、接触传感器以及驱动电机的使用有了初步认识。本章将分三节对简易机器人的控制系统进行更为全面深入的介绍,分别讲解机器人控制器、传感器和输出元件。

第一节对简易机器人控制系统的组成进行了简单描述,重点介绍了 RoCon 控制器的接口电路,包括电源处理、输入/输出接口、通信及编程接口等,目的是为了使学生理解单片机只有在接口电路的帮助下才能从外界获得信息,输出有效的功率信号。

第二节旨在使学生认识简易机器人常用传感器的种类和使用方法,同时对简单传感器的内部电路也做了介绍。因为传感器的内部电路与单片机接口电路类似,了解传感器电路有利于进一步加深对单片机接口电路的理解。

第三节通过介绍一些典型输出元件的控制方法,使学生了解机器人能够完成什么任务,控制器怎样才能把运算的结果以可见的形式表达出来。尤其是电机的驱动方式,在单片机控制系统的应用中是非常有代表性的例子。

本章内容同样本着将理论融入实践中的原则,对制作所涉及的每个元件都给出了相应的实践活动建议,通过实践使学生对复杂的电路和控制原理有感性认识,同时也启发学生利用已有的元器件实现新功能的创新意识。学完本章之后,学生应该对机器人控制系统的各个构成单元有一个清晰的整体认识,了解机器人“感知—运算—反应”的工作过程,掌握典型输入/输出元件的工作原理和使用方法。

第一节 简易机器人控制系统的组成

一、教学目标

- (1) 了解简易机器人控制系统的组成,以及各组成部分之间的信号传递关系。
- (2) 进一步熟悉 RoCon 控制器的结构,了解控制器上的输入接口与单片机的连接形式,

以及输入接口电路的作用。

(3) 知道几种典型小功率输出元件与单片机的接口电路。

二、结构分析

要学习机器人的控制系统，首先必须对控制系统的组成有一个宏观的认识。因此本节第一部分介绍了简易机器人控制系统的体系结构，包括输入部分、控制器和输出部分，并通过教材图 3.1 简要分析了各组成部分之间的关系。

控制器是控制系统的核心，它负责接收输入部分的信号，再给输出部分发出指令。因此接下来首先以 RoCon 机器人控制器为例对它的输入 / 输出接口电路进行了详细介绍，并概述了电源稳压电路和通信编程接口。

本节安排了三个“探究尝试”，都是针对 RoCon 控制器接口电路的。通过对控制器电路的测试和有关问题的探究，加深同学们对控制器结构的熟悉以及对基本概念的理解。

三、教学建议与说明

根据课程标准的要求，以单片机为核心的控制系统、输入输出元件属于应该“了解”和“知道”的内容，本章的重点是通过实验和测试掌握简单的技能。

(1) “简易机器人的控制系统”。教师讲授时可以将之与《技术与设计 2》有关系统的内容呼应。教师可以先从本章引言部分关于人和机器人的比较中引出现代机器人控制系统的组成。然后再回顾第二章中同学们做过的用接触传感器控制 LED 的实验，说明简易机器人的控制系统也包括传感器、控制器和输出元件。

在讲解控制系统中各组成部分的关系时，要明确控制器的核心地位，因为读取传感器输入信号和驱动输出设备都是由它指挥完成的，具体而言是其中的程序完成的，从而再次与第一章机器人的特征描述相呼应。

(2) “控制器 RoCon 接口电路”。这一小节的内容涉及控制器电路板的细节。建议在讲解每一个小单元时，要结合相应的“探究尝试”，对照实际的控制器进行说明和测量，增强学生对单片机外围电路的感性认识和操作技能。

教材中的图 3.1 是为了示意机器人控制系统的组成，其图文与实际电路并不一一对应，准确的控制器结构细节可参考教材图 2.2。

在介绍电源时，要说明稳压芯片的作用，它将 8 节 5 号电池提供的 12 V 电压分别转换为 +5 V 和 +7.5 V 提供给控制电路和驱动电机使用。然后可以在断电状态下，分别测量稳压芯片输入端与电池输入端的连接、稳压芯片 +5 V 输出端与单片机 V_{cc} 引脚的连接、+7.5 V 输出端与红色电源指示灯的连接等。

按接口电路的不同，输入接口分为两类：按钮开关输入接口电路和三线制传感器输入接口电路。其中，按钮开关接口电路和按钮本身都位于控制器电路板上，所谓“输入”是针对单片机引脚而言。传感器输入接口之所以采用三根线，是因为有的传感器需要单独的供电线，这样三根线中的电源线 V_{cc} 就可满足要求。可以利用万用表分别按照教材图 3.3 和图 3.4 的指示，测量按钮开关和传感器输入插座引脚与单片机引脚的连接情况，使学生了解按钮和传感器将信号输入单片机中的物理机制。

按照所处的位置分，输出元件有两类：一类被直接安装在电路板上，如 LED、蜂鸣器；一类需要通过输出接口插座与电路板连接，如电机和继电器接口电路。按照输出接口电路的构成原理又可以将输出元件分为两类：一类是所需驱动电流很小的输出元件，能直接与单片机引脚

连接，例如教材图 3.5 中的 LED（扩展 I/O 口与单片机 I/O 口等同），因此其接口电路非常简单；另一类是所需驱动电流较大的输出元件，必须通过功率放大元件（如三极管或功率放大芯片）才能与单片机 I/O 口连接，例如教材图 3.5 中的蜂鸣器和教材图 3.6 中的继电器，都是通过三极管后再间接地与单片机连接。

电机的控制电路较为复杂，将在本章第三节中详细介绍。本节只需让同学们知道 RoCon 控制器有两种驱动电机的方法即可：一种是通过控制继电器，另一种是通过 PWM 芯片驱动。

通信和编程接口的作用和区别在教材第 59 页“探究尝试”的答案中做了详细说明。需要注意的是，不要在电路板通电的情况下用手接触“在线编程口”的引脚，因为人体静电有可能造成单片机内部预装程序的错误。教材图 3.8 中的串行接口电路是为了使学生知道标准 RS-232 串行通信口的电压范围是 $\pm 12\text{ V}$ ，而单片机串行通信引脚的电压范围则是 $0 \sim 5\text{ V}$ 。由于 PC 的串行口采用标准 RS-232 串行口，所以在控制器电路板上配置了串行通信接口电路，以实现单片机与 PC 机之间的电平转换。

•教材第 59 页“现象与问题”的参考答案如下：

1. 水钟由三个水箱构成，上层水箱起到向中间水箱补充水的作用，中间水箱是能以恒定流速输出水流的装置，下层水箱起到把接收到的水的容积变换成刻度指示的功能。整个水钟系统准确计时的关键就在于中间水箱如何保持输出水流的流速恒定。

2. 中间水箱底部滴水孔处水的流速与中间水箱的液面高度直接相关：液面高度高，则流速快；液面高度低，则流速慢。而中间水箱的液面高度又与底部的水流量和上层水箱补充水的流量之差有关。如果流出的水量大于流入的水量，则液面高度降低；反之，液面高度升高。更进一步，上层水箱补充水的流速与上层水箱的泄流口面积大小有关，而上层水箱的泄流口面积又由浮球的高度决定。如果浮球高度增加，则泄流口面积的变小，造成中间水箱的流入水量小于流出水量，从而使水位和浮球高度降低，直到流入和流出水量相等；反之，如果浮球高度降低，则泄流口面积变大，造成中间水箱的流入水量大于流出水量，从而使水位和浮球高度升高，直到流入和流出水量相等。因此，浮球通过反馈液面高度，使中间水箱的水位高度在很小的范围内变化，进而使计时具有一定的准确性。

•对教材第 59 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 一般来说，单片机所需的电源电压与电机的额定运行电压并不相等，例如 RoCon 控制器所用的单片机所需供电电压是 $+5\text{ V}$ ，而它控制的电机的运行电压则是 $+7.5\text{ V}$ 。所以，控制系统中单片机与电机应分开供电。

2. 传感器采用的三根线中一根是传感器的电源线，一根是传感器的地线，一根是传感器连接到单片机引脚的信号线。

3. 电路板上的输出元件有 LED、蜂鸣器和继电器。

4. 电路板上与 PC 机的通信接口电路有两个，一个是“在线编程口”即“ISP”口，一个是 RS-232 通信接口。其中“ISP”口是利用 PC 机给单片机烧写底层程序用的，在教材的实践中没有使用；而 RS-232 通信接口是单片机与 PC 机通信用的，教材中的所有编程工作都是通过这个接口进行的。两者不能混用，原因在第二章已经做了一些解释。通过“ISP”口烧写的程序必须是在通用编译环境下编写的汇编语言或单片机 C 语言，难度较高。实际上，为了对 ROYA 软件环境下编制的“图形化语言”和“ROYA C 语言”进行解释和执行，RoCon 控制器的单片机中事先已经被烧入了原始程序（并非没有程序的“裸机”），该原始程序可以通过 RS-232 通信接口从 PC 机读取下载的机器人控制程序。

5. 利用专门的启动、停止开关控制机器人的启停显然便于调试操作。例如，当机器人中写入了巡线程序后，可以先将机器人正确地放置到试验场地中后，再启动机器人运行；否则，一旦程序下载完，机器人就会无规律地乱动。另外，在需要修改机器人程序的时候，机器人的电源开关应该处于接通状态，此时利用停止按钮，可以保证在写入程序时机器人处于停止状态。

6. 控制器单片机中应有输入信号读取、信号分析和处理、运算结果输出等程序，它们分别负责从输入元件读取环境信息、根据编程者的思路对信息进行逻辑运算和处理、将运算完的结果输出到输出元件获得正确的动作。

●对教材第 61 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 教材图 3.3 中电阻 R 起上拉电阻的作用。
2. 电路板上的启动和停止按钮分别接到单片机的 RESET 引脚。

●对教材第 63 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 教材图 3.6 中的三极管 T_2 起到放大驱动电流的作用，为继电器线圈提供足够的驱动电流。 V 是 +5 V 控制电源， V_m 是 +7.5 V 电机供电电源。

2. 单片机 I/O 口电平与电机转向的关系见下表：

单片机 I/O 口电平		电机状态 (转向)
a	b	
0	0	停止
0	1	逆时针运转
1	0	停止
1	1	顺时针运转

四、参考资料

LM2575-5.0 稳压芯片简介

简易机器人控制器电路板中有两个独立的稳压电路，其中一路利用 LM2575-5.0 稳压芯片为单片机提供 5 V 稳压电源。

LM2575 系列可调集成电路是一种带开关控制的降压稳压芯片，它能够输出具有良好线性的电压，输出电流可达 1 A。不同型号的 LM2575 可以输出 3.3 V、5 V、12 V、15 V 等固定电压，也能输出可调电压。

由于 LM2575 稳压芯片具有效率高、所需外部元件少、输出电压线性度好、无须散热片（或需要很小的散热片）等优点，所以它得到了越来越广泛的应用，正在逐步取代三端稳压芯片。

LM2575 系列稳压芯片的主要特征如下：

- (1) 具有 3 V、5 V、12 V、15 V 和可调输出型号；
- (2) 输出电压可调范围为 1.23 ~ 37 V；
- (3) 保证 1 A 的输出电流；
- (4) 输入电压最高可达 40 V 或 60 V；
- (5) 只需要 4 个外部元件；
- (6) 高效率；
- (7) 具有热保护和电流极限保护功能。

图 3.1 是 LM2575-5.0 表面贴装稳压芯片的引脚图。图 3.2 是利用 LM2575-5.0 构成稳

压电源的典型电路。简易机器人控制器中的单片机供电电源正是采用了此电路。其中的1脚与电池的正极相连，2脚通过一个电感与单片机的 V_{CC} 引脚相连。可以在断电情况下利用万用表的通断挡对上述引脚的连接情况进行测试。

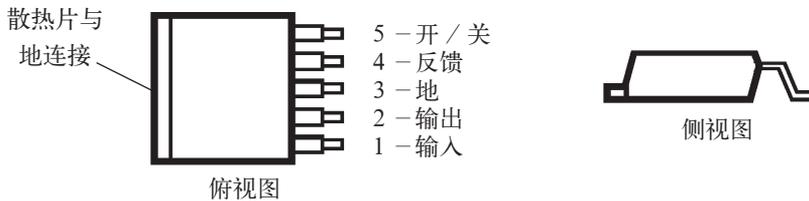


图 3.1 LM2575-5.0 表面贴装稳压芯片的引脚图

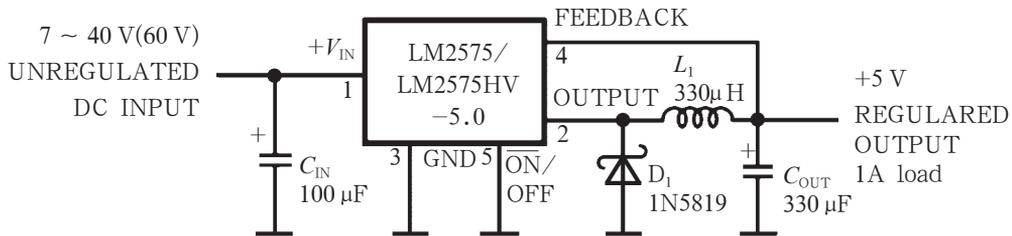


图 3.2 LM2575-5.0 的典型应用电路

晶体管原理

晶体管也是一种半导体，有放大信号的作用和对电流流动的开关（ON/OFF）作用。在机器人中主要是利用它的开关特性来控制电机。当然，计算机中的 CPU 也是基于这种开关特性工作的。图 3.3 为两种晶体管的外形。

根据工作原理，晶体管可分为双极型和单极型。一般情况下，双极型晶体管就称为晶体管，而单极型晶体管则称为 FET（field effect transistor，即场效应晶体管）。晶体管根据其构造有 npn 型和 pnp 型两种，两者中电流流动的方向相反。图 3.4 的表示符号中，指向发射极的箭头方向就是电流流动的方向。

为了让晶体管工作，其基本电路应该如图 3.5 所示与两个电池相连接。但实际上一般总是设法使用一个电池来达到同样的目的。

FET 动作时，电流不流入栅极（又称门极），随着向栅极所施加电压的变化，漏极电流变化。如果漏极电流来自于空穴的移动则称为 p 沟道型，如果漏极电流来自于电子移动则称为 n 沟道型。沟道有如水道，就是电流的通道。图 3.6、

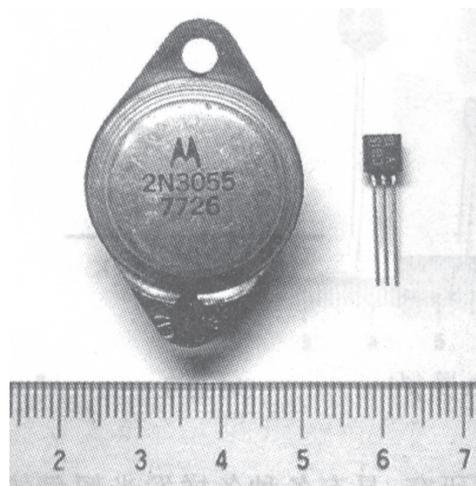


图 3.3 晶体管的外形

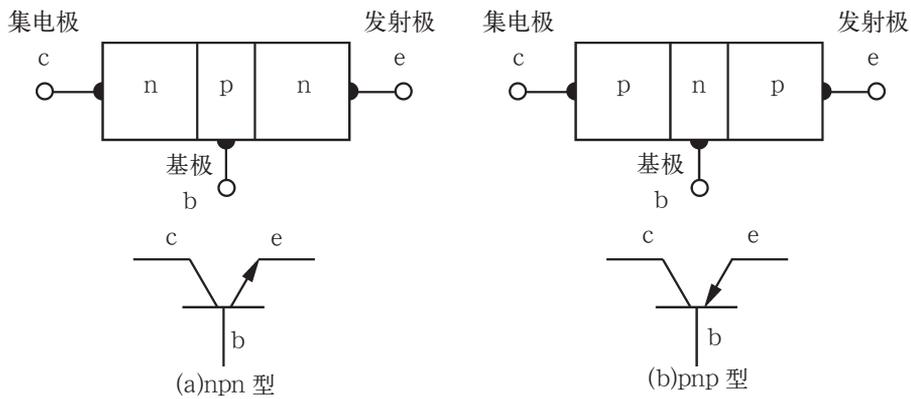


图 3.4 晶体管的构造及表示符号

图 3.7 是面结型 FET 的构造和表示符号。

在面结型 FET 中，p 型半导体与 n 型半导体结合，在 pn 结处施加反向电压即可进行门控制。此外，还有一种用氧化膜对门起到绝缘作用的 MOS 型 FET（金属氧化物半导体场效应晶体管）。由于氧化膜非常薄、抗静电能力弱，所以在保管时应该用铝箔包装起来，最好插入导电泡沫中保存。

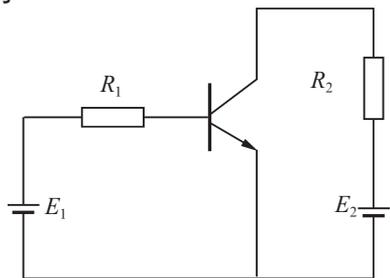


图 3.5 晶体管的基本电路

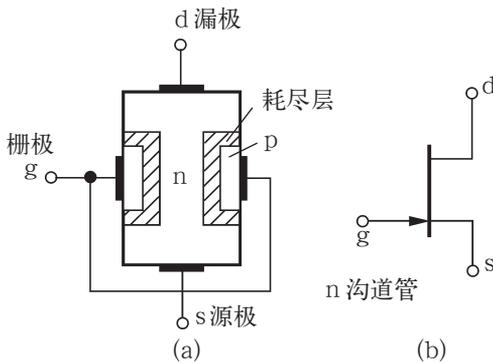


图 3.6 n 沟道面结型场效应管

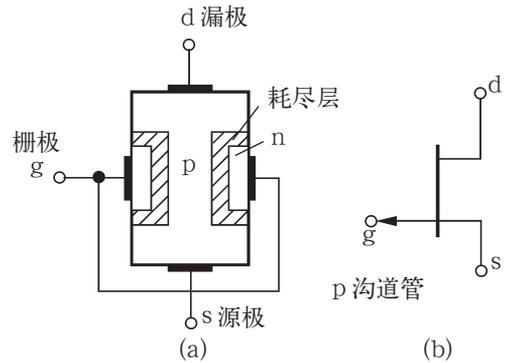


图 3.7 p 沟道面结型场效应管

专题栏

双极型晶体管与单极型晶体管

双极型晶体管携带电流的载流子包括电子和空穴两类，而 FET 仅有一种载流子。这便是双极型晶体管与单极型晶体管名词的由来。“晶体管”的英文 transistor 由 transfer+resistor 组成，即导电的电阻之意。从另外的观点来看晶体管，也可以认为是一种通过基极电流（门电压）的变化来改变集电极与发射极（漏极—源极）之间的电阻的器件。

根据工作特性, FET可分为耗尽型和增强型, 而兼有两者特性的FET叫作耗尽型+增强型。

图 3.8 所示的耗尽型 FET 即使不施加门电压也有漏电流流过, 所以, 若向门施加反向电压, 就将控制漏电流 (I_d) 减少的比例 (面结型就是这种类型)。增强型 FET 向门施加电压时, 漏极与源极之间就会产生沟道, 而有漏电流流过, 于是, 向门施加正向电压可以控制漏电流增加的比例 (这种情形通常是 CMOS 型)。

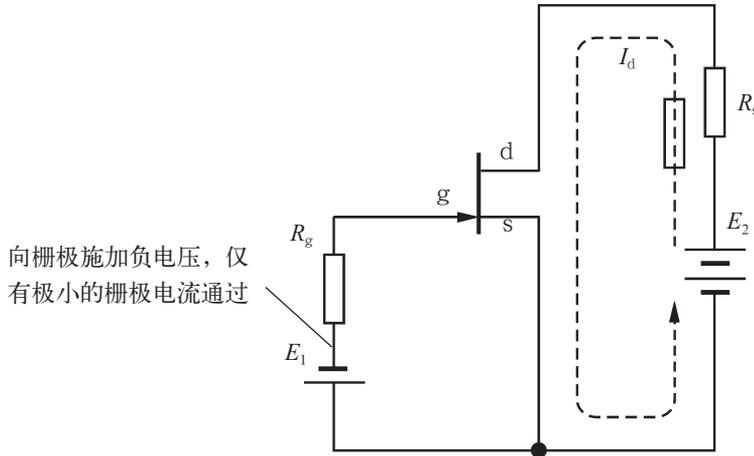


图 3.8 面结型 FET 的基本电路

晶体管具有放大作用和开关作用。

(1) 放大作用。晶体管具有对电流 (或电压) 信号的放大作用。在图 3.9 中, 若稍稍改变晶体管的基极电流 I_b , 集电极电流 I_c 的变化将表现为该变化的 h_{FE} (晶体管的电流的放大倍数) 倍。

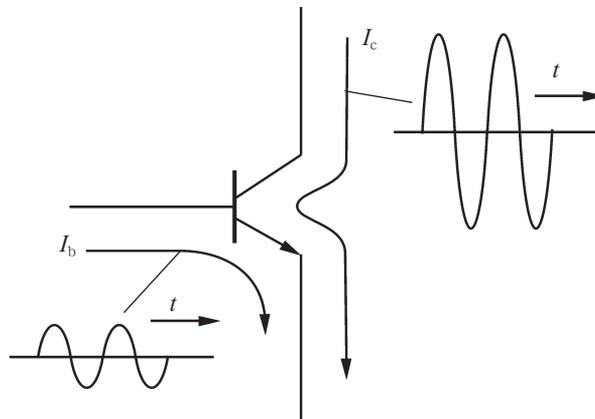


图 3.9 晶体管的放大作用

(2) 开关作用。在机器人中重点是利用晶体管的开关作用来控制电机的起停 (ON/OFF)。开关只有 ON/OFF 动作, 在晶体管上实现这一功能, 即让集电极与发射极之间像开关一样导通或切断。如图 3.10 所示, 在让基极电流 I_b 充分大而达到饱和状态的情况下, 集电

极与发射极之间的电阻降低，于是晶体管处于 ON 的状态（导通）。反之，基极电流 I_b 为 0 时，在集电极与发射极之间电流不流动，晶体管处于 OFF 状态（不导通）。若基极电流达到一半大小，那么晶体管的工作可能不稳定，这是要注意的地方。

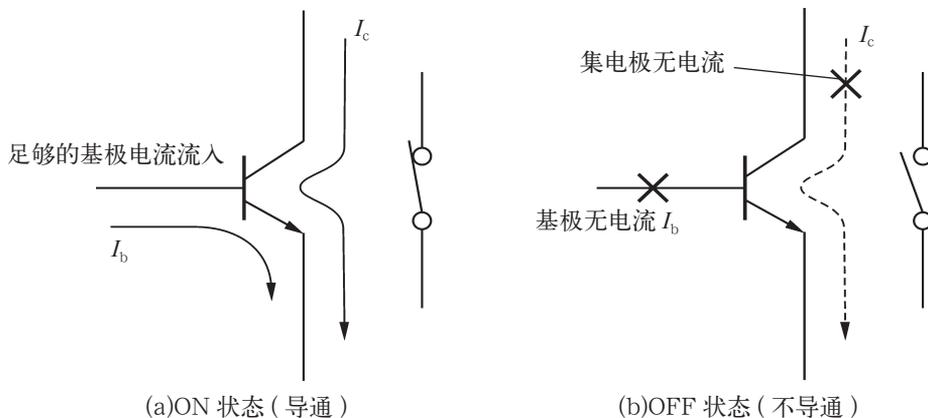


图 3.10 晶体管的开关作用

采用 FET 的开关电路与晶体管的原理相同，控制门电压即可以使漏电流达到饱和或为零。最新的 MOS 型 FET 的开关电阻已经做得非常小了，因此开关动作造成的能耗极小。

第二节 简易机器人常用传感器

一、教学目标

- (1) 了解传感器的基本结构、功能及分类。
- (2) 了解简易机器人常用传感器的使用方法、工作原理和内部电路。
- (3) 能根据需要为简易机器人选择合适的传感器。

二、结构分析

在第一节了解了机器人控制系统的组成以及简易机器人控制器的结构后，本节将对系统中的另一部分——输入传感器进行介绍。

本节一开始首先通过传感器与人体感官对应关系的比照，再次说明了传感器对机器人的重要性。然后介绍了传感器的基本结构和多样性，说明传感器是一种将外界各种物理信息转化为电信号的器件。

接下来，本节较详细地介绍了简易机器人常用的四种传感器：接触传感器、光敏传感器、光电判读器和红外测障传感器。对每一种传感器，分别就它们的应用场合、工作原理、敏感元件、转换元件和接口电路等逐一进行了分析。对应于每种传感器，还在相应的“实践活动”中安排了功能演示实验，这样不仅使学生能更深切地领会所学的传感器知识，而且通过动脑和动手，更能激发其学习热情。从教材的篇幅安排还可以看出四个“实践活动”占了本节较大的篇

幅，其中不仅给出了传感器的连接图示、试验程序流程图、图形化程序实例，还把编程环境中的参数设置对话框也列了出来。目的是为了引导学生进一步熟悉编程环境和编程语言的使用，在将硬件与软件结合的过程中少走弯路，增加信心。

本节的“活动延伸”和“阅读材料”分别介绍了光敏传感器在日常生活中的应用——自动路灯开关、电视红外遥控器和光电判读器的电路原理，这样，学生就能认识到机器人传感器作为检测元件，实际上在我们的身边已经得到了广泛的应用。因此，在为简易机器人选配传感器时，可以启发学生充分利用已有的工业和民用传感器，实现预期的功能。在使用已有传感器时，可以参考本小节介绍的各种传感器内部电路，设计与简易机器人控制器匹配的传感器接口电路。

三、教学建议与说明

在介绍具体的传感器之前，有必要使学生通过教材图 3.9 掌握传感器的基本概念，即传感器是将外界电量或非电量的物理信号转换成机器人控制器可以读取的电信号的一种电子器件。因为不同的传感器其工作原理和内部结构变化很大，所以只需使学生知道传感器一般是由“敏感元件”“转换元件”和“接口电路”三部分组成即可，无须对表 3.1 中各种传感器的工作原理进行分析。但是，应当针对表 3.1 的内容强调传感器种类的多样性和重要性。

在介绍四种简易机器人常用传感器时，可以采用相似的讲解模式，即介绍完每种传感器的功能和基本原理后，紧接着让学生完成“实践活动”中的实验。在这一节里需要在学生头脑中建立起一种概念，即当传感器接入机器人控制器时必须注意电压、电流的匹配问题，还要注意编程时的定义问题（变量或函数名称、通道编号、取值范围等）。

接触传感器是简易机器人传感器中工作原理和结构最为简单的一种。它实际上是一个靠弹簧复位的机械开关。为了提高灵敏性，它被设计成能够在微小触动下也能发生动作的开关器件。教材图 3.12 就是简易机器人所用接触传感器的内部原理图。连接在接触传感器插头上的三根线分别就是图中的“ V_{cc} ”“输出”和“地”。

在讲解时，教师应当强调接触传感器与普通开关的区别就在于其灵敏性。可以让学生按压接触传感器的触头，利用万用表测试其“输出”和“地”线的通断情况。如果插头不易测量，可以将其插在控制器插座内，在控制器断电的情况下测试插座上“输出”和“地”的通断情况。

接触传感器对应的“实践活动”程序比较简单。在完成实验后，教师可以启发学生：想想利用接触传感器编制的这个程序在机器人运行时有什么作用？实际上，当接触传感器被用作碰撞检测时，这个程序可以使机器人及时停车。当然，控制逻辑应当反过来。

教材中用到的光敏传感器与接触传感器在输出信号的类型上完全不同。接触传感器只能输出“1”和“0”两种状态，而光敏传感器的输出信号则是连续变化的模拟量。为了对模拟量的概念获得更直观的认识，建议在“实践活动”之前，教师引导学生实践教材第 69 页“探究尝试”中的第 2 题。在实验时，可以利用蜡烛在光敏传感器前面进行“前、后、左、右、上、下”的移动，以观察光敏传感器对光线的敏感程度。在“实践活动”中，应注意充当光源的蜡烛不应太高或太低，而应与光敏传感器的高度大致相当。另外，在控制机器人调整方向时，电机的速度值不要设得太高，应该从小的值开始试（如 50），然后逐渐调大。

光电判读器实际上是自带发光源的光敏传感器，它只检测自己发出的光。工业用的光电判读器除了发射红外光外，还对光信号进行编码，以消除环境光和其他光电判读器的影响。所以，光电判读器是一种利用特殊光源进行环境检测的有源器件。而前面介绍的接触传感器和光敏传感器，其敏感元件都是无源器件。光电判读器的工作原理可参见教材图 3.29。

在教材中使用的红外测障传感器采用的是与电视红外遥控器类似的原理，其接收元件输出的信号是模拟量，但是经过传感器内部电路的处理，最后输出到单片机的是开关量。在红外测障传感器上有一个调节孔，利用小螺丝刀可以通过该孔调节传感器的测障距离。在第四个实践活动中，可以通过调节红外测障传感器的检测距离，观察简易机器人小車面向墙壁运动时的停车位置变化。

●教材第 64 页“现象与问题”的参考答案如下：

1. 汽车门框上有接触式传感器或磁感应传感器。当车门在关上和打开两种状态下，传感器输出的信号不一样，这种不同的传感器信号反映到驾驶台的指示灯上，司机就可以知道车门是否关上。

2. 在汽车的轮胎附近安装有转速传感器，能检测出车轮的转数。把转速传感器的信号连接到计价器的单片机中，再经过计算，就可以输出公里数了。

●对教材第 65 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

教材表 3.2 人的五官感觉与各种传感器的对应关系

感觉	传感器用例
视觉（眼）	光电二极管、光电三极管、Cds、CCD 图像传感器、CMOS 图像传感器
听觉（耳）	麦克风
嗅觉（鼻）	气体传感器、气味传感器
味觉（舌）	Ph 传感器
触觉（皮肤）	热敏电阻、热电偶、半导体温度传感器 触觉传感器、半导体压力传感器、应变仪、感压传感器

教材表 3.3 五官感觉以外的传感器

检测量	传感器举例
红外线	热电红外传感器、热敏红外传感器 量子红外传感器（光电二极管、光电三极管）
超声波	超声波传感器
磁性	磁性传感器、霍尔元件、磁阻元件
速度、加速度	加速度传感器、G 传感器、陀螺仪

接触传感器、光敏传感器、光电判读器和红外测障传感器可以为简易机器人提供色差识别、亮度识别、接触感知、接触或非接触避碰、台面边缘检测、内部元件行程检测等多种感知功能。详细了解这四种传感器的工作原理和使用特点，可以使学生充分发挥想象力，利用它们为简易机器人设计更多、更有趣的任务。所以，有必要在这四种传感器上多投入一些学时，通过编程测试的方法，使学生充分了解这四种传感器的特性。

●对教材第 68 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. R_1 起限流作用，否则，当开关闭合时，“ V_{cc} ”将直接与“地”短接，造成短路。 R_1 不能太大或太小，太大将影响单片机对输入高电平的读取，太小起不到限流作用。 R_1 的取值一般在 $1 \sim 10 \text{ k}\Omega$ 。

2. 控制器是通过调节电机两端的供电电压来改变速度和转向的。电压方向变化，则电机转向改变；电压平均值变化，则电机速度改变。

3. 将教材中图 3.14 的流程图改为： $v1=1$ 时，电机速度值为正； $v1=0$ 时，电机速度值为负。

●对教材第 69 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 光敏传感器可以为机器人提供光源方向信息；红外光敏传感器可以检测有无人或动物在机器人前经过；探测火源，为灭火提供信息。

2. 提示：可以利用“if”语句实现此功能。将传感器值赋给一个变量 v ，设置从 0 ~ 100 的 8 个数值，当 v 大于第 n 个数值时，就点亮 n 个 LED。8 个数值的大小可以通过试验确定。

●对教材第 71 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

传感器状态		机器人状态
左	右	
0	0	黑线在机器人正中间，或机器人远离黑线
0	1	机器人右边传感器跨上黑线
1	0	机器人左边传感器跨上黑线
1	1	机器人与黑线垂直，两个光电判读器都在黑线上方

四、参考资料

机器人传感器的分类（补充）

教材表 3.1 “传感器的分类方法”，是从传感器自身原理、能量传递方式、输出信号性质等角度来进行分类的。实际上，当传感器应用于机器人时，又可以根据传感器在机器人上的用途分为两大类：内部传感器和外部传感器。内部传感器是用来检测机器人本身内部状态的传感器，一般有速度传感器、加速度传感器、位移传感器、扭矩传感器、行程开关、姿态传感器、角度传感器等。机器人可以利用内部传感器来确定自身内部各关节的运动状态、身体的姿态、关键部件的受力状态等，所以，内部传感器直接关系到机器人运动的准确性、灵敏性和协调性。外部传感器用来为机器人提供周围环境的信息或机器人与环境相互作用时的信息，包括压力（触觉）传感器、测距传感器、温度传感器、湿度传感器、视觉传感器、亮度传感器等。依靠外部传感器机器人才能实时地检测出环境的变化，探知危险情况，了解与作业对象的互动状态，进而做出正确的反应。

当然，对某一个特定的传感器而言，随着应用场合的不同，它既有可能担当内部传感器，又能用作外部传感器。例如接触传感器，当它被用作检测机器人内部运动关节的动作行程限位时，就是内部传感器；而当它被用作探测与外界物体的碰撞或接触时，又是外部传感器。掌握了传感器的工作原理和使用特点后，同学们可以灵活使用，发挥它的最大功效。

在对教材中的四种传感器进行讲解之后，可以引导学生讨论：它们在作为内部传感器时能起到什么作用？作为外部传感器时，又能够为机器人提供哪些信息？

机器人传感器的发展趋势

智能机器人用传感器的发展有如下特点：

(1) 智能化。一个典型的复合型压力传感器，由差压、温度、静压传感器三部分组成，它具有测量、阻尼时间常数设置、零点设置等远程设置功能，且能自我诊断、调整零位异常等。

(2) 集成化。将多个传感器集成在一起，其典型代表是固体摄像器件，日本在 $270\ \mu\text{m}$ 厚的硅片上正研制包括光电阵列、信号处理、记忆、演算、驱动等部分在内的智能化视觉传感器。利用高分子有机压电材料 PVDF 分离触觉、滑觉等信号的集成传感器。

(3) 微型化。由微加工技术与传统的传感器技术结合创立了微机械传感器，开拓了微电子机械系统 (MEMS) 新领域。微型传感器是目前最为成功、最具有实用性的微机电装置。微型压力传感器及微型加速度传感器是利用微型膜片的机械形变而产生电信号输出的，另外还有微型的温度、磁场传感器等。这种微型传感器面积大小都在 $1\ \text{mm}^2$ 以下。目前在 $1\ \text{cm}^2$ 大小的硅芯片上制作有几千个压力传感器的阵列在技术上已经没有什么问题了。美国最近研制成功的微型加速度计可使火箭或飞船的制导系统质量从几千克降到几克。1991 年日本研制出微型集成式光学编码器，其原理基于衍射光的干涉。美国马里兰州的约翰霍普金斯实验室制造出一种电子药丸，它比维生素片稍大些，其中包含有硅温度计及电子线路，用来将瞬时温度值传送给记录装置。这些微传感器的发明，为制造能够进入人体器官内的智能机器人提供了坚实基础。

第三节 简易机器人常用输出元件

一、教学目标

- (1) 了解简易机器人常用的几种输出元件，掌握它们与机器人控制器的连接电路原理。
- (2) 在了解输出元件特性的基础上，能够根据实际使用的要求，为机器人选择合适的输出元件。

二、结构分析

本节介绍简易机器人控制系统中的最后一部分——输出元件。

根据所需驱动功率的不同，可以把简易机器人的输出元件分为两类：小功率元件和大功率元件。其中小功率元件允许由机器人控制器的单片机 I/O 口直接驱动，这类元件的典型代表就是各类发光二极管——LED。因为 LED 与单片机的接口电路非常简单，所以，本节首先介绍了 LED。然后，按照接口电路从简单到复杂的顺序，依次介绍了蜂鸣器、电磁继电器和电机等大功率元件与单片机的接口电路及其工作原理。

与输入传感器的讲述方法一样，教材也对同学们不太熟悉的继电器和电机调速部分分别安排了实验内容。继电器部分的实验安排在教材第 78 页的“实践活动”中，给出了利用继电器实现电机正反转开关控制的方法。电机调速实验安排在最后的“活动延伸”中，让同学们理解设定 PWM 值与电机实际速度的关系。

通过对上述输出元件的介绍，使学生基本上掌握让简易机器人发光、发声、实现电机开关动作和调速运动的方法。

三、教学建议与说明

与传感器输入一样，信号或动作的输出也是机器人必不可少的功能，由此引出本节的话题。然后按教材顺序依次讲解四种输出元器件。

LED 和蜂鸣器属于不直接对外界对象做功的输出元件，它们通常用来表现机器人内部程序的运行状态。由于在前面的章节中同学们已经尝试过编写程序控制 LED 发光或蜂鸣器发声，

因此在这里只需对它们的工作原理做简要讲解即可。当然，如果时间允许，也可以引导学生把前面章节的某些程序加以改进，用 LED 或蜂鸣器表示机器人的运动状态。例如，在机器人巡线程序中，驱动电机运行的同时，分别点亮不同的 LED，通过观察 LED 的亮灭，可以直观地分辨出机器人位于黑线的左侧或右侧。

电磁继电器是实现小电流驱动大功率器件和电气隔离的典型元件。普通小型电磁继电器的线圈只需很小的电流（20 ~ 50 mA）就可以驱动，而它的触点端却可以通过高达 5 A 的交流或直流电。通过电磁继电器，机器人控制器电路就与大电流的驱动电路隔离开来，对控制电路起到保护作用。继电器的工作原理可以通过教材的图 3.41 做简要介绍。

在 RoCon 控制器中，有两路控制继电器的输出接口，分别是电机接口 2 和电机接口 3。往这两个接口上插入继电器，再连接输出电机，就可以利用继电器输出的切换来控制电机的正反转。教材第 78 页的“实践活动”要求利用接触传感器控制继电器的通断，达到操纵电机正反转的目的。教师可以让同学们任意选择电机接口 2 或接口 3 来控制一个电机转向，接触传感器也可以从任意一个传感器接口输入，但在编程时要注意接口设置的对应关系。编程既可用图形化语言，也可以用 C 语言，由于程序本身并不难，可以让同学们都尝试一下，进行对比。

电机是简易机器人最常用的驱动元件。电机的结构和工作原理应该已经在中学物理课中做过简单的介绍，所以这里简单回顾一下即可，着重讲解电机的驱动控制以及电机与控制器连接应该注意的问题。电机的驱动可分为两种，一种是开关控制，另一种是调速控制。开关控制的原理很简单，给电机电枢施加正向电压，电机正转，施加反向电压，电机反转。在开关控制方式下，电机运行的速度值不变，只是方向变化，前面用继电器控制电机的实验就属于开关控制。调速控制是在开关控制的基础上增加对电机转速的调节，其典型应用实例是用来控制机器人小车左右轮转动的快慢，其结果既可以对小车前进的快慢调速，又可以控制转弯半径。对于一般的直流电机而言，在负载转矩一定的条件下，其运行速度与电机电枢电压成正比，因此直流电机的调速一般通过控制电枢电压来实现。教材介绍的 PWM 电机调速实际上是用数字控制的方法实现对模拟电压的调节，由于该方法用计算机控制实现简单，而且附加电流损耗低，所以在直流电机控制中得到了广泛应用。

从教材图 3.48 和图 3.49 可以看出，PWM 调速方法实际上是在调节固定周期内电机两端的平均电压。如果在一个周期内功放管处于导通状态的时间越长，则电机两端的平均电压越高，电机速度就越高；反之，平均电压越低，电机速度越低。求取一个周期内平均电压的准确值需要用到高等数学的方法，为了方便学生理解，可以用下面的简化公式 (3.1) 表达平均电压 V_a 。

$$V_a = V \frac{t_{on}}{T} \quad (3.1)$$

式中， V 为电机两端的导通电压， T 为 PWM 波形周期， t_{on} 为一个周期内的导通时间。

能够实现 H 桥 PWM 功放驱动芯片较多，其内部运行机理比较复杂，但基本原理与教材的图 3.52 一致，所以无须对某种 H 桥 PWM 集成芯片做深入讲解。

在教材第 81 页的“活动延伸”中，其所以让同学们测量机器人小车的平均速度，是因为直接测量电机转速不方便。在理论上，电机转速与机器人小车的速度之间应该呈比例关系，比

例系数与齿轮传动比和车轮大小有关。如果教师能设计出一种直接测量电机转速的方法，不妨让同学们将它们进行比较实验。另外，时间和条件允许的话，还可以让同学们用示波器观测电机输出上的电压波形，这样可以加深他们对 PWM 驱动原理的理解。

●对教材第 76 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

光的三原色是红、绿、蓝，利用同亮度的三原色光的不同组合就可以发出七种颜色的光。根据排列组合原理，三种原色的组合数量为 7 种。利用 RoCon 控制器驱动全色 LED 的接线方式参见教材中的图 3.4（但无须图中的地线）。将全色 LED 的 V_{cc} 引脚与其他任意一个引脚焊接在能与 RoCon 传感器输入插座匹配的插头上，将另外两个引脚分别焊接在另外两个同样的插头上，使 V_{cc} 与控制器的 V_{cc} 接通，红、绿、蓝引脚与单片机的三个 I/O 分别接通即可。在利用程序控制其发光时，注意将对应的传感器输入口配置为输出口，通过对不同的 I/O 口置 0，即可实现发光。

四、参考资料

步进电动机

1. 步进电动机的特点

步进电动机是一种将电脉冲信号转换成相应的角位移或直线位移的数字 / 模拟装置。步进电动机有旋转式步进电动机与直线式步进电动机两种。对于旋转式步进电动机而言，每当输入一个电脉冲后，电动机输出轴就转动一个角度，不断地输入电脉冲信号，电动机就一步一步地转动，且步进电动机转过的角度与输入脉冲个数成严格比例关系。步进电动机具有如下优点：

(1) 输出角与输入脉冲严格成比例，且在时间上同步。步进电动机的步距角不受各种干扰因素，如电压、电流、波形等的影响，转子的速度主要取决于脉冲信号的频率，总的位移量则取决于总脉冲数。

(2) 容易实现正、反转和启、停控制，启、停时间短。

(3) 输出角的精度高，无积累误差。步进电动机实际步距角与理论步距角总有一定的误差，且误差可以累加，但是当步进电动机转过一周后，总的误差又回到零。

(4) 直接用数字信号控制，与计算机接口方便。

(5) 维修方便，寿命长。

步进电动机能提供较大的低速转矩，一般可达 5 倍于相同尺寸的直流伺服电动机的连续转矩，2 倍于无刷电动机的转矩。在某些场合，可以直接驱动机器人的关节，而不需要减速装置。

2. 步进电动机的类型和工作原理

根据转矩产生方式，步进电动机可分为永磁式、可变磁阻式和混合式三种。

(1) 永磁式步进电动机的结构和原理如图 3.11 所示。永磁式步进电动机的转子用圆柱形永磁铁制作，定子上有通电绕组。定子绕组通电激磁后，与转子永磁铁产生的磁场，根据同性相斥、异性相吸的原理驱动转子转动。永磁式步进电动机属于低成本、低转速、低转矩的步进电动机，步距角大，难免诱发共振效应，低速性能差，容易失步。永磁式步进电动机广泛用于计算机外围设备和仪器仪表行业。

(2) 可变磁阻式步进电动机又称反应式步进电动机，其结构原理如图 3.12 所示。该步进电动机的转子和定子由铁芯制作，定子上绕有通电线圈。定子通电激磁与转子铁芯之间的吸引力驱动转子转动。转子在定子磁场中始终转向磁阻最小的位置。反应式步进电动机产生中等转矩，步距角 $0.9^\circ \sim 15^\circ$ 的反应式步进电动机没有永久磁铁，因此在断电时没有保持力，对电

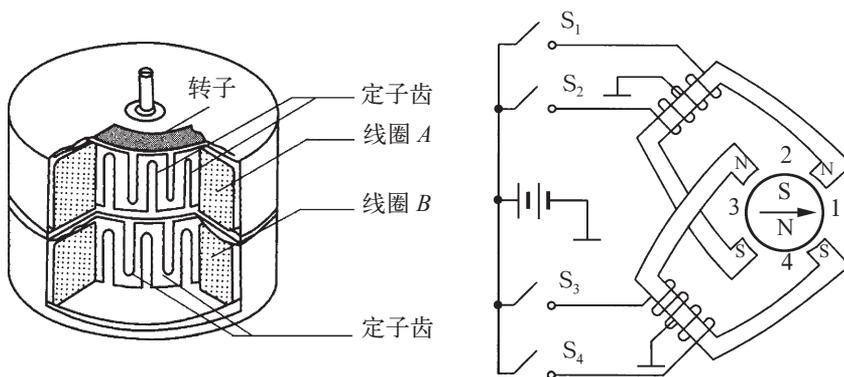


图 3.11 永磁式步进电动机的结构和原理

流的极性不敏感。但是，反应式步进电动机的制造费用低、结构简单、步距角小。随着电动机制造技术的进步，该机型成为国内最常用的步进电动机之一。

(3) 混合式步进电动机，图 3.13 所示为其轴向剖面图。定子铁芯的齿槽与磁阻式电动机相同，转子中含有一个轴向磁化的永磁体，产生单项磁场，磁路通过转子、气隙和定子闭合。由软磁材料制成的两段转子分别被永磁体磁化为 N 极和 S 极，A—A 和 B—B 剖面分别表示 S 段和 N 段转子。两段转子具有相同的齿数，但互相错开半个齿距。混合式步进电动机产生的转矩大，断电时具有保持力，步距角 $0.9^\circ \sim 15^\circ$ 。混合式步进电动机也是国内最

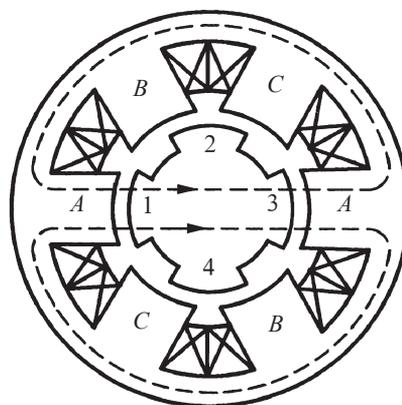


图 3.12 反应式步进电动机的结构原理

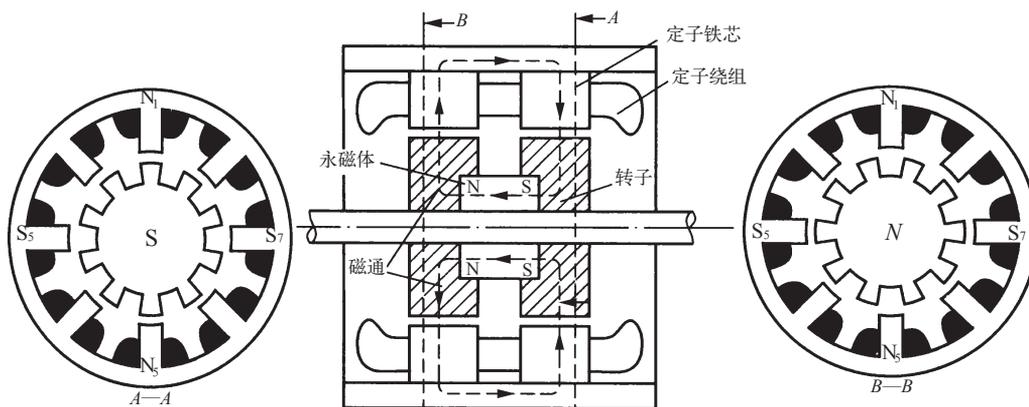


图 3.13 混合式步进电动机的轴向剖面

常用的步进电动机之一。

下面以混合式步进电动机为例，解释步进电动机的工作原理。图 3.14 所示为永磁混合式步进电动机的工作原理。定子有四个沿圆周均匀分布的齿，其上缠绕通电线圈。转子由两个极片构成，每个极片有三个齿。当绕组中不通电时，转子中的永磁体总是试图减少磁路中的磁阻，转子将趋向使磁阻最小的位置，即转子中有一个齿和定子对齐，这样的位置共有 12 个。图 3.14

(a) 中有电流通过一相绕组，在定子上产生的 N 极和 S 极吸引转子上的异性段上的齿，这样只有三个稳定的位置。当通电方式由图 (a) 切换到图 (b) 时，定子磁场转过 90° ，将吸引另一对齿，转子转过 30° ，相当于一整步。当磁场继续转过 90° ，由图 (b) 切换到图 (c)，励磁回到前一个绕组，但电流方向相反，转子再前进一步，转过 30° 。从图 (c) 切换到图 (d)，第二相绕组通电，电流方向同图 (b) 的方向正好相反，转子继续转过 30° 。按照上面的顺序，轮流通电经过 3 个循环，转子转过 12 个稳定位置，共 360° 。如果以相反的顺序激励定子绕组线圈，则电动机将反转。

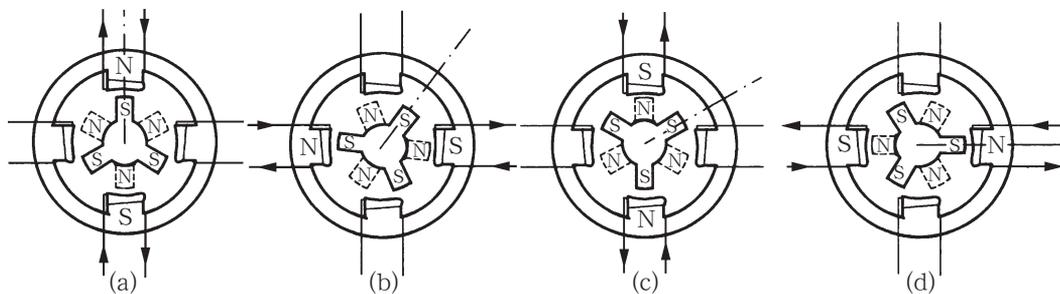


图 3.14 混合式步进电动机的工作原理

舵机

舵机是遥控模型中常用的操纵动作的动力源。舵机属于将直流电机、减速器和控制电路集成为一个整体的驱动器，所以它能够实现精确的转角定位，同时也能输出一定的驱动力。在小型简易机器人制作中，让舵机充当驱动元件是一个不错的选择。图 3.16 是一些舵机的实物照片。



图 3.16 舵机

1. 舵机的构造

舵机主要是由外壳、电路板、无核心电机、齿轮与位置检测器等构成。其工作原理是由接收机发出信号给舵机，经由电路板上的 IC 判断转动方向，再驱动无核心电机开始转动，透过减速齿轮将动力传至舵盘（输出臂），与此同时，由位置检测器送回信号，判断是否已经到达定位。位置检测器其实就是可变电阻，当舵机转动时它的电阻值随之改变，检测电阻值便可知转动的角度。一般的伺服电机是将细铜线缠绕在三极转子上，当电流流经线圈时便会产生磁场，与转子外围的磁铁产生排斥作用，进而产生转动的作用力。依据物理学原理，物体的转动惯量与质量成正比，因此要转动质量愈大的物体，所需的作用力也愈大。为求转速快、耗电小，舵机将细铜线缠绕在极薄的中空圆柱体上，形成一个质量极小的五极中空转子，并将磁铁置于圆柱体内，这就是无核心电机。图 3.17 的照片给出了舵机的内部构造。



图 3.17 舵机的内部构造

为了适合不同的工作环境，有防水及防尘设计的舵机产品；并且应不同负载的需求，舵机的齿轮又有塑胶与金属之分。金属齿轮的舵机一般用于大扭力及高速场合。较高级的舵机轴会配置滚珠轴承，转动十分轻快准确。滚珠轴承有单排及双排的区别，双排的比较好。目前新推出的 FET 舵机，主要采用 FET 驱动。FET 的内阻低，因此电流损耗比一般晶体管小。

2. 舵机的技术规格

厂商所提供的舵机规格资料，一般都会包含外形尺寸 (mm)、扭力 ($\text{kgf} \cdot \text{cm}$)（注： $\text{kgf} \cdot \text{cm}$ 为非法定计量单位，考虑到厂家技术参数如此未予改动；力矩的法定计量单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$ ，二者的换算关系为 $1\text{kgf} \cdot \text{cm} = 0.098\text{N} \cdot \text{m}$ ）、速度 ($\text{s}/60^\circ$)、测试电压 (V)、质量 (g) 等基本资料。扭力的单位是 $\text{kgf} \cdot \text{cm}$ ，意思是在舵盘半径 1 cm 处，能吊起 1 kg 重的物体，显然，这就是力矩的概念，因此舵盘的直径愈大，扭力愈小。速度的单位是 $\text{s}/60^\circ$ ，意思是舵机转动 60° 所需要的时间 (s)。

电压会直接影响舵机的性能，例如 Futaba S-9001 舵机在 4.8 V 时扭力为 $3.9\text{kgf} \cdot \text{cm}$ ，速度为 $0.22\text{s}/60^\circ$ 。对比之下，在 6.0 V 时扭力为 $5.2\text{kgf} \cdot \text{cm}$ ，速度为 $0.18\text{s}/60^\circ$ 。若无特别注明，JR 系列的舵机都是以 4.8 V 为测试电压，而 Futaba 系列则以 6.0 V 作为测试电压。“天下没有白吃的午餐”，速度快、扭力大的舵机，除了价格贵，还会伴随着高耗电的代价。因此使用高级舵机时，务必搭配高品质、高容量的镍镉电池，以便能提供稳定而充裕的电流，充分发挥舵机应有的性能。

3. 舵机的控制

舵机可以由单片机直接控制，利用单片机内部的程序，就能够控制舵机转动的角度。标准

的舵机有三条外接线，分别为电源、地、控制线，如图 3.18 所示。电源线与地线用于提供舵机内部的直流电机及控制线路所需的能源，电压通常介于 4 ~ 6 V，应尽可能地将该电源与处理系统的电源隔离（因为伺服电机会产生噪声）。甚至小伺服电机在重负载时也会拉低放大器的电压，所以整个系统电源供应的比例必须合理。

从控制线输入一个周期性的正向脉冲信号，这个周期性脉冲信号的高电平时间通常在 1 ~ 2 ms，而低电平时间应在 5 ~ 20 ms，并不很严格。随着高电平时间的变化，舵机输出臂的转角也发生相应的变化。图 3.19 表示了一个脉冲周期为 20 ms 的典型正脉冲宽度与舵机的输出臂的位置关系。

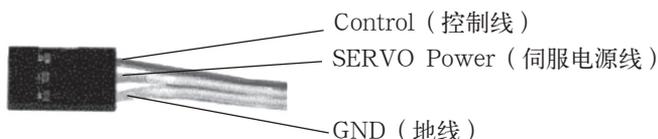


图 3.18 舵机的外接线

输入正脉冲宽度（周期为 20 ms）	伺服电机输出臂位置
<p>0.5 ms</p>	<p>≈ -90°</p>
<p>1.0 ms</p>	<p>≈ -45°</p>
<p>1.5 ms</p>	<p>≈ 0°</p>
<p>2.0 ms</p>	<p>≈ 45°</p>
<p>2.5 ms</p>	<p>≈ 90°</p>

图 3.19 正脉冲宽度与舵机输出臂位置的关系

在机器人制作过程中，可以将舵机的信号线与单片机的一个 P 口引脚连接，通过控制该引脚输出电平的周期和高电平时间，即可控制舵机输出臂转动到期望的位置。图 3.20 是 ATmega16L-8PI 单片机控制舵机的电路接线图。

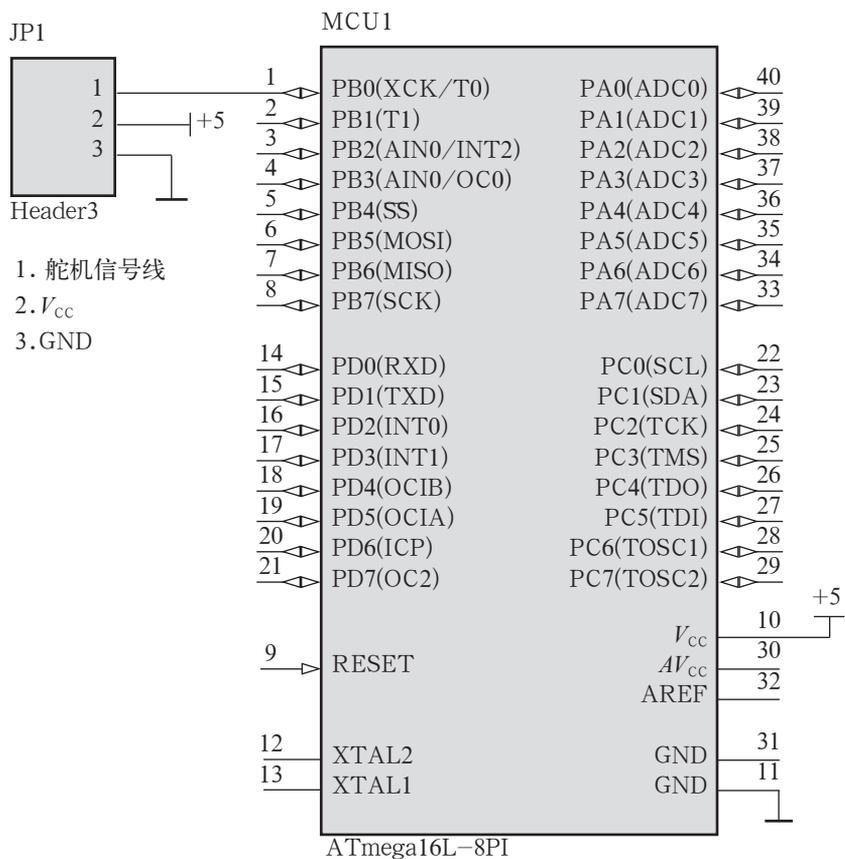


图 3.20 利用单片机控制舵机的接线图

第四章 简易机器人的机械系统

本章提示

无论是复杂的机器人还是简易的机器人，都是由机械结构、驱动装置、动力源、控制器、传感器等几部分构成的，其中机械系统（包括机械结构和驱动装置）构成了机器人的机械本体，是实现机器人运动和操作的主要载体。因此，本章是《简易机器人制作》不可缺少的重要内容。

首先，同学们需要对机器人机械系统有一个总体认识，知道它是由哪几部分组成的；然后对机械系统中的重要部分——传动装置有比较深入的了解，探讨它们的基本原理和特点；最后还要回到教材最初提出的简易机器人制作项目，用学到的机械知识设计和制作机器人的机械结构。根据上述要求，本章内容分为四节：第一节是“机械系统的组成”，对机器人的驱动装置、传动装置、执行机构和机体进行了概述。第二节和第三节分别是“齿轮传动机构”和“平面连杆传动机构”，它们是机器人机械系统中最常见的两种传动形式。第四节是“简易机器人机械系统的设计与制作”，介绍了如何搭建两个机器人项目所需的灭火升降台和抓球机械手，学以致用。

根据课程标准的要求，本章应该让同学对齿轮传动机构和平面连杆传动机构等典型传动机械的结构组成、工作原理等基础知识达到“知道”和“了解”的程度，重点是简易机器人传动装置的设计和制作，让知识与实际联系紧密，达到技能上的“能”和“会”。因此，教师在讲授这方面的内容时应注意不要过于强调传动机械的知识本身，而要注意培养学生将传动机械知识灵活应用到简易机器人的制作中。

在了解典型传动系统的基础上，教师应对本章第四节给出的两套典型的简易机器人机械系统（灭火升降台及抓球机械手）进行详细的讲解、指导和实践操作，体现教材“研究性学习”的特点。尤其要让学生熟悉系统的搭建过程及其设计制作流程，包括：明确任务与要求；方案制订与论证；搭建与制作；调试。从而将本章内容与《技术与设计1》联系起来。在对系统的调试过程中，特别是机械传动的调试，要重视工艺流程的合理安排，加强对操作要领的指导，充分发挥学生之间互帮互助的作用。

此外，在本章的教学中，还要重视与物理中力学知识和原理的结合，使学生不但知其然，而且知其所以然，促进对技术的理解，推动学科间的综合，提高学生知识和技能的综合应用能力。例如，在讲授齿轮传动机构和平面连杆机构时，都可以与物理中学过的相关力学知识和原理有机结合（在后面各节中有详细的教学建议）。

与本教材其他章节一样，本章也强调师生互动性与实践性。因此建议教师在讲授时要使基础知识与实践活动有机结合，各种概念的介绍不要停留在字面上，重点培养学生的动手能力，激发他们的学习热情，使学习过程不显得枯燥。

第一节 机械系统的组成

一、教学目标

(1) 掌握机器人机械系统的概念和组成元素，知道简易机器人在组成方面是与实用机器人系统一致的。

(2) 初步了解机器人机械系统中常见的几种传动方式及其特点。

二、结构分析

本节的教学重点是让学生从宏观上了解机器人机械系统的组成。由于教材第一章已经介绍过机器人的组成，机械系统是不可或缺的部分，而且同学们通过前三章的学习对简易机器人的结构也有了一定的认识，因此本节一开始就直接以一种简易灭火机器人图示为例，明确提出了简易机器人机械系统的四个组成部分——驱动装置、传动装置、执行装置和机体。

然后在正文部分分别对以上四个部分进行了较为详细的介绍。描述中密切结合日常生活及应用，图文并茂，以便学生加深感性认识。最后再通过“探究尝试”对日常生活中的两个典型的机械系统（电动自行车和摩托车）进行结构剖析，强化学生对机械系统组成元素的识别能力，使学生在解决问题的过程中加深对机械系统、驱动装置、传动装置、执行装置以及机体等基本概念的理解。

三、教学建议与说明

机器人除了可以用第一章介绍的按功能划分结构组成外，也可以简单地划分为机械系统和控制系统两大部分。教材第三章介绍的是机器人的控制系统，与之对应，本章将介绍机器人的机械系统，从而引出本章的话题。当然也可以从“现象与问题”中有关火星探测机器人的讨论，通过回顾第一章实用机器人的结构组成引出话题。

•教材第83页“现象与问题”的参考答案如下：

1. 由太阳能电池板接收太阳能，将其转化为电能，电能使各驱动机构运转。
2. 通过传动装置将能量转化为各种运动。
3. 机器人上各个机械部分通过控制系统保持确定位置。

总之，在组成机器人的五大部分中，控制器、传感器、动力源和驱动装置属于控制系统，而机械结构、驱动装置属于机械系统。其中驱动装置既属于控制系统，又属于机械系统，它是联系两大系统的纽带。

然后说明机器人的机械结构又可细分为传动装置、执行机构及机体。从而得出机器人的机械系统共有四部分：驱动装置、传动装置、执行机构和机体。这时，可以让同学们讨论他们熟悉的机械系统——自行车的组成，其中人蹬踏自行车的脚踏板为其提供动力，链传动是自行车的传动部分，车轮是它的执行机构，车身等是它的机体。

由于本节知识属于了解性的内容，教师在对正文部分“驱动装置”“传动装置”“执行机构”和“机体”等内容的讲授过程中，完全可以按照教材的内容和顺序来进行。

在“驱动装置”部分，要求学生知道机器人驱动器的主要三种类型：电机、汽缸和液压缸以及各自的特点及应用场合。应当指出，在简易机器人中，电机是最常使用的驱动器。

在传动装置部分，要求学生知道传动装置在机械系统中的重要作用与地位，即用来传递运动和力，但也具有改变运动的快慢、方向、形式等功能。可以列举多个日常生活的实例给学生，也可通过讨论的形式让学生说出各式各样的传动装置。

在执行机构部分，要求学生知道执行机构与传动装置的区别。执行机构用来完成特定的功能性任务，对于机器人而言，其执行机构就是机器人的末端执行器，如擦窗机器人的清洗刷、焊接机器人握持焊枪的手部、灭火机器人的升降平台和风扇、巡线运球机器人的手爪等。显然，对于不同的应用场合或任务要求，执行机构的种类和结构也不同。

在机体部分，学生要知道对于机器人而言，其机体部分就是该机器人的机架（相当于人体的躯干），它是用来承载和联结其他部分的。

●对教材第 85 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

这部分内容可以结合对正文的讲授过程进行讨论。

四、参考资料

机构与机器的发展简史

机械是人类用以转换能量和借以减轻体力劳动、提高生产率的主要工具。

自有文明史以来，人类就已发明了机器和机构。古埃及人为了建造金字塔和其他工程，发明了一些简单的机械。虽然，古埃及人并不知道滑轮和滑车，但他们已经应用了杠杆、斜面和圆滚木等。滑轮的首次出现在公元前 4000 ~ 前 3000 年。许多早期的机器设计都是直接为军事服务的（如弹射器、城墙攀登装置等），后来由军事技术发展到了民用再到土木工程。当工业革命的发明要求解决更复杂、更精密的运动控制问题时，才开始出现了现代机械的雏形。

我国 5000 年前已开始使用简单的纺织机械，晋代在连机椎和水碾中应用了凸轮原理，西汉时应用轮系传动原理制成了指南车和记里鼓车，东汉张衡发明的候风地动仪是世界上第一台地震仪。目前许多机械中仍在采用的青铜铰瓦和金属人字圆柱齿轮，在我国东汉年代的文物中就可以找到它们的原始形态。

18 世纪初以蒸汽机的出现为标志发生了第一次产业革命，人们开始设计制造各种各样的机械，例如纺织机、火车、汽轮船。19 世纪到 20 世纪初的第二次产业革命，随着内燃机的出现，促进了汽车、飞机等运输工具的出现和发展。20 世纪中后期，以机电一体化技术为代表，在机器人、航空航天、海洋舰船等领域开发出了众多高新机械产品，如火箭、卫星、宇宙飞船、空间站、航空母舰、深海探测器等。展望刚刚到来的 21 世纪，智能机械、微型机构、仿生机器的蓬勃发展，将促进材料、信息、计算机技术、自动化等领域的交叉与融合，进一步丰富和发展了机械基础学科知识。

执行机构的运动要求及其传动装置举例

机器人的执行机构又称末端执行器，是用来完成特定任务的装置。不同的任务要求决定了末端执行器的不同结构。因此，机器人末端执行器的结构形式各异，千奇百怪。但是机器人末端执行器的运动规律是有限的，归纳起来主要有表 4.1 左列给出的几种形式。要实现这样的运动规律，就要有相应的传动机构来完成。因此说执行机构总是与传动机构紧密相关的，二者有时又统称为机器人的运动执行机构。表 4.1 给出了二者的对应关系。

表 4.1 执行机构与传动机构的对应关系

对执行机构的运动要求	可供选择的常见传动机构类型
等速连续转动	平行四边形机构、齿轮传动机构、轮系等
非等速连续转动	双曲柄机构等
往复摆动	曲柄摇杆机构、双摇杆机构、摆动从动件凸轮机构、凸轮 - 齿轮组合机构等
间歇旋转运动	棘轮机构、槽轮机构、不完全齿轮机构、凸轮机构、凸轮 - 齿轮组合机构等
等速直线移动	齿轮齿条机构、移动从动件凸轮机构、螺旋机构等
往复移动	滚珠丝杠传动机构、曲柄滑块机构、移动从动件凸轮机构、连杆 - 凸轮组合机构等
平面一般运动	铰链四杆机构、曲柄滑块机构等
近似实现点的轨迹运动	各种连杆机构等
精确实现点的轨迹运动	连杆 - 凸轮组合机构等

第二节 齿轮传动机构

一、教学目标

- (1) 掌握齿轮传动的基本概念，了解常用齿轮传动的类型、特点和应用。
- (2) 会计算齿轮传动比。
- (3) 知道轮系传动的分类和作用，会计算简单的定轴轮系传动比。

二、结构分析

本节及随后的第三节都是第一节内容的延伸，它们都是机器人机械系统中传动装置的一种。本节介绍的是齿轮传动。

为了了解齿轮传动是一种常用的传动机构，本节首先在“现象与问题”中从机械式手表这一学生熟知的物件的组成及结构分析开始，引导学生了解齿轮传动的特点。

正文分为两部分，分别介绍齿轮啮合传动和轮系的知识。在第一部分中，首先对齿轮传动的相关基本概念进行了较为详细的介绍，尤其对齿轮、啮合传动、传动比以及惰轮等概念予以重点描述。然后简要介绍了齿轮传动的特点和常见类型，并在“小资料”中对各类齿轮传动的的作用进行了描述，主要是为了扩大同学们的知识面。

第二部分讲解的是由一系列齿轮组成的轮系，它是齿轮传动中更常见的形式，内容包括轮系的分类、特点与作用等，以及定轴轮系的传动比计算。

在本节的“活动延伸”中，要求同学们用拼装件搭建一套齿轮减速箱，并回答相关问题，从而达到巩固前面知识的目的。

三、教学建议与说明

在讲授本节内容的开始，首先可以通过“现象与问题”中有关机械手表的内部结构的讨论阐明齿轮传动在日常生活的广泛应用，讨论中可以让同学们举出更多的例子。

- 教材第 86 页“现象与问题”的参考答案如下：

1. 转动方向与转动速度不一样。相啮合的两齿轮转动方向相向，啮合处的线速度相同；同轴的两齿轮，转动角速度相同。

2. 秒针、分针、时针之间是由齿轮传动的。可以调整各针之间轮系的传动比，让秒针转动速度是分针的60倍，而分针的转动速度是时针的60倍，就可以形成时、分、秒的固定转速比例。

3. 实际上，秒针、分针、时针是在同一个轮系中，它们之间相互传动，并有严格的啮合关系，因此可以用一个发条为它们提供动力。

齿轮传动机构在机器人机械传动中占有重要地位，要作为重点来讲解。授课时教师可以从机器人常用驱动装置——电机的输出特性说起。一般电机是一种高转速、低转矩的驱动装置，而机器人上几乎所有的执行机构通常都需要大转矩和低转速。齿轮机构是解决上述问题的一种较常用的方法。因此，在机器人的机械系统中，齿轮传动的应用最为广泛。

齿轮传动在机器人上的主要用途有：①改变输出的转向，即两个啮合在一起的齿轮转动方向相反。②提高或者降低输出转速，对应地降低或者提高输出力矩。在绝大多数场合，简易机器人的传动系统要用到减速传动。③改变输出转轴的朝向，即改变传动的角度，如使用锥齿轮传动。④将转动转换为直线运动，如齿轮齿条传动。

1. 关于“齿轮传动的概念、特点和类型”

这部分内容中有关齿轮的概念比较多，平铺直叙式的介绍同学们比较难理解，因此建议教师在讲述过程中采用理论知识传授与实践相结合的方法，即在讲到相关概念时让同学们用拼装件搭建相应的模型予以验证。例如，有关直齿传动时相互啮合齿轮的转向、加减速、传动比等概念可以对照教材图4.5和图4.6所示的模型学习，惰轮的特点则可以通过教材图4.7所示的传动系统加以总结。

关于齿轮传动的其他类型（斜齿、锥齿、蜗轮蜗杆、齿轮齿条），也可以结合“小资料”的内容用机器人套件中的相关拼装件搭建对应的模型进行演示。但这部分内容更重要的目的是让同学们知道各种齿轮传动的应用特点，因此有条件的学校可以采用播放有关应用录像的方法。

●对教材第87页“探究尝试”的处理参考意见如下：

图4.7的传动比计算：主动轮齿数24、惰轮齿数8、从动轮齿数40。传动链中存在两对齿轮啮合：主动轮→惰轮（此时充当从动轮），惰轮（此时充当主动轮）→从动轮，因此：

$$\begin{aligned} \text{传动比} &= (\text{惰轮齿数} / \text{主动轮齿数}) \times (\text{从动轮齿数} / \text{惰轮齿数}) \\ &= (8/24) \times (40/8) \\ &= 40/24 = 5/3 \end{aligned}$$

检查计算的过程，可见主动轮转5圈，从动轮转3圈，运动被减速了。而惰轮的齿数约掉了，在物理上这表明它不对传动比的数值计算产生影响。在有惰轮的传动系统中，传动比的数值仅仅与从动轮和主动轮的齿数有关。但是惰轮起到改变了转动方向的作用。检查图4.7，从动轮与主动轮的转动方向相同，如果没有惰轮中介，那么两者转向应该相反。这就是惰轮在齿轮传动中所起的作用。

2. 关于“轮系”

轮系是由一系列齿轮啮合组成的齿轮传动链。在讲述这部分内容时，首先应说明为什么实际传动中需要轮系，可以把教材第89页“轮系作用和特点”的内容提前讲解，对应的实例则是第88页上有关钟表及汽车变速箱中的轮系。

轮系部分另一项需要讲解的是定轴轮系传动比的计算，它也是本节的重点之一。教材中只

给出了轮系传动比的定义，为了加深同学们的认识，教师可以在课堂给出一些轮系传动比计算的练习让他们完成。例如，可以结合“活动延伸”中教材图 4.11 所示的结构，计算该定轴轮系的传动比，并通过搭建实际的模型进行验证。

●对教材第 89 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

回答这个问题需要将知识拓展一些。从教材中我们得知，一对啮合齿轮的转速与齿数成反比，而作用在这两个齿轮上的扭矩却与齿数成正比。自行车的传动系统是一个基于轮系的增速系统，脚蹬是主动轮，车轮（与飞轮连接）是被动轮。在高速挡，传动比大，自行车行进的速度快；在低速挡，传动比小，行进的速度慢。假设车轮受到的摩擦阻力不变，在高速挡经轮系换算到脚蹬的扭矩大，蹬踏起来就费力；反之，在低速挡，经轮系换算到脚蹬的扭矩小，蹬踏起来就轻巧。更详细的原理可以参考本节参考资料的“齿轮传动的减速机理”。

汽车变速器换挡的原理基于汽车输出功率不变的前提，爬坡与水平行驶比较，需要克服一部分重力做功，阻力扭矩增大，当然需要换成低速挡。

●对教材第 89 页“活动延伸”的实施建议如下：

1. 减速箱共有 2 路输出。

第 1 路为齿条的直线输出，传动比 $=\frac{40}{8}=\frac{5}{1}$ 。

第 2 路为锥齿轮的旋转输出，输入旋转运动与输出旋转运动的轴心线是垂直关系。传动比计算如下：

设 8 齿、40 齿、16 齿、12 齿、24 齿的齿轮的角速度分别为 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 ，根据 $\omega_{\pm} : \omega_{\mp} = Z_2 : Z_1$ （从动齿轮数）： Z_1 （主动齿轮数），得到：

$$\omega_1 : \omega_2 = Z_2 : Z_1 = 40 : 8 = 5 : 1,$$

由于 40 齿、16 齿齿轮同轴，二者的角速度相等，故 $\omega_3 = \omega_2$ ，

$$\omega_3 : \omega_4 = Z_4 : Z_3 = 24 : 12 = 2 : 1,$$

综合上式得到：

$$\omega_{\pm} : \omega_{\mp} = \omega_1 : \omega_4 = \frac{\omega_1}{\omega_2} \frac{\omega_2}{\omega_3} \frac{\omega_3}{\omega_4} = 10。$$

2. 做这个活动的时候，电动玩具应该不难找。拆开看，它的传动机构多半是一个齿轮箱，有多级轮系传动。计算电机与轮胎传动比的方法完全可以仿照教材。需要注意的是，轮胎不是齿轮，它的转速应该和与其固连的齿轮相同。

四、参考资料

齿轮传动的减速机理

操场上常见的跷跷板反映了“杠杆原理”，这是一个与齿轮传动密切相关的基本机械原理。坐在跷跷板上的人产生一个向下的作用力 F ，它等于人的质量与他到跷跷板支点距离的乘积。这样，一个轻一些的人就可以通过增加他到支点的距离来撬起比他重很多的人。

另外，当用扳手转动螺钉上的螺母时，即产生扭矩。扳手动时，螺母产生阻力，握手柄的地方离螺母越远，需要施加的力就越小。实际上，力矩是两个参数的乘积：力与距离。增加其中一个量，就可以增加扭矩。如果熟悉杠杆，会认识到它们之间的相似性。对于杠杆，合力的大小依赖施力点和支点的距离，距离越大，力就越大。可以把齿轮当作杠杆，它的支点就在轴上，施力点在齿轮的齿上，将同样的力施加到更大的齿轮上，扭矩就增加了。

根据同样的原理，相对于齿轮中心产生的转动力（或转矩）等于其圆周上的作用力与齿轮半径的乘积。当作用力 F 施加在半径为 r 的齿轮圆周上时，它产生的转矩为 $T = F \times r$ 。

当两个大小不等的齿轮啮合在一起时，它们各自的半径就决定了转矩从驱动轮到从动轮的转换。这种传动机构的原理从“功守恒”的角度很容易理解。由基础物理学可知，功等于力与位移的乘积，而对于转动的情况（如齿轮传动），功的表达式变为转矩与角位移的乘积。如果忽略摩擦的损耗，那么功从一个齿轮传到另一个齿轮时应该既没有损耗也不会增加。

坐在跷跷板上的人会产生一个向下的作用力，它等于人的质量乘以他到支点的距离。例如，坐在左侧的人质量为 M_1 ，到支点的距离为 L_1 ，而坐在右侧的人质量为 M_2 ，到支点的距离为 L_2 。这时 $M_1 \cdot L_1 = M_2 \cdot L_2$ ，因此，即使左侧的人比右侧的人轻，他们也能在跷跷板上一起玩，这正是由于距离的放大作用。

举例说明，假设齿轮 1 的半径是齿轮 2 的 $1/3$ 。由于齿轮是圆形的，它们的圆周长也应该是 3 倍的关系，因此，小轮转 3 周，大轮才转 1 周。假设在一个给定时间内，齿轮 1 正好转了 3 圈（角位移为 1080° ），那么齿轮 2 只能转一圈（ 360° ），此时小齿轮 1 做的功就等于某个转矩 $T_{\text{small}} \times 6\pi$ ，而大轮做的功等于 $T_{\text{large}} \times 2\pi$ 。

常见齿轮传动的类型

齿轮传动就装置形式可以分为两类：

(1) 开式、半开式传动。在农业机械、建筑机械以及简易的机械设备中，有一些齿轮传动没有防尘罩或机壳，齿轮暴露在外边，这叫开式齿轮传动。这种传动不仅外界杂物极易侵入，而且润滑不良，因此工作条件不好，轮齿也容易磨损，故只适用于低速传动。如果齿轮传动装有简单的防护罩，有时还把大齿轮部分浸入油池中，则称为半开式齿轮传动。这样的工作条件虽有改善，但仍无法严密地防止外界杂物侵入，润滑条件也不算最好。

(2) 闭式传动。汽车、机床、航空发动机等所用的齿轮传动，都封闭在经过精确加工而且严密切合的箱体中，这称为闭式齿轮传动（又称为齿轮箱），与开式或半开式传动相比，它的润滑和防护等条件好，多用于重要的场合。

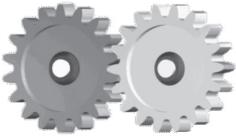
根据传递运动的两根轴线的相对位置及齿轮的几何形状，可以将齿轮传动分为若干类型，见表 4.2。其中最基本的形式是传递平行轴间运动的圆柱直齿轮传动。

轮系的分类

根据轮系传动中各齿轮几何轴线位置是否固定，轮系可分为定轴轮系与周转轮系两类。

定轴轮系指运转时，所有齿轮几何轴线的位置都固定不动的轮系。周转轮系指运转时，至少有一个齿轮的几何轴线不固定，而围绕另一齿轮的固定轴线转动的轮系。根据周转轮系所具有的自由度数目的不同，周转轮系又可分为差动轮系（自由度为 2）与行星轮系（自由度为 1）。

表 4.2 齿轮传动的分类

平面齿轮传动 (相对运动为平面运动, 传递平行轴间的运动)	直齿圆柱齿轮传动 (轮齿与轴平行)	外啮合传动 (两齿轮的转动方向相反)	
		内啮合传动 (两齿轮的转动方向相同)	

平面齿轮传动 (相对运动为平面运动, 传递平行轴间的运动)	直齿圆柱齿轮传动 (轮齿与轴平行)	齿轮齿条传动	
	斜齿圆柱齿轮传动 (轮齿与轴不平行)		
	人字齿轮传动 (轮齿呈人字形)		
空间齿轮传动 (相对运动为空间运动, 传递不平行轴间的运动)	传递相交轴运动 (锥齿轮运动)	直齿传动	
		斜齿传动	
		双曲线齿轮传动	
	传递交错轴运动	交错轴斜齿轮传动	
		蜗轮蜗杆传动	

图 4.1 所示轮系中, 齿轮 1、3 的轴线相重合, 它们均为定轴齿轮, 而齿轮 2 的转轴装在构件 H 的端部, 在构件 H 的带动下, 它可以绕齿轮 1、3 的轴线做周转。由于齿轮 2 既绕自己的轴线做自转, 又绕定轴齿轮 1、3 的轴线做公转, 犹如行星绕日运行一样, 故称其为行星轮;

带动行星轮做公转的构件 H 称为系杆或行星架；由于中心轮 1、3 和系杆 H 的回转轴线的位
置均固定且重合，通常以它们作为运动的输入或输出构件，故称其为周转轮系的基本构件。

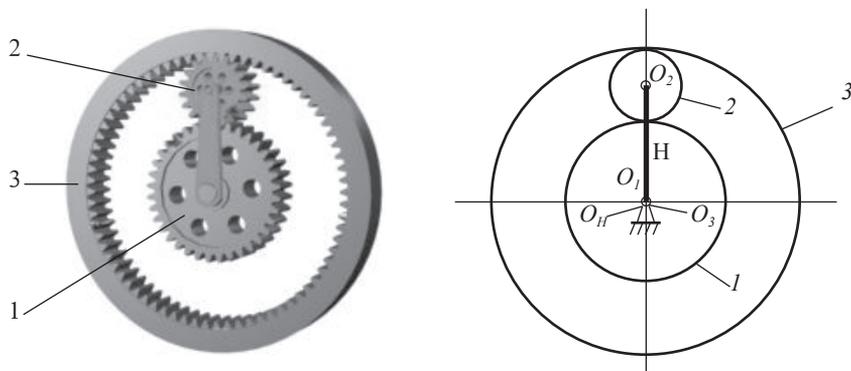


图 4.1 周转轮系及其基本组成

周转轮系中，若将中心轮 3（或 1）固定，则整个轮系的自由度为 1。这种自由度为 1 的
周转轮系称为行星轮系。为了确定该轮系的运动，只需要给定轮系中一个构件以独立的运动规
律即可。周转轮系中，若中心轮 1 和 3 均不固定，则整个轮系的自由度为 2。这种自由度为 2
的周转轮系称为差动轮系。为了使其具有确定的运动，需要两个原动件。

第三节 平面连杆传动机构

一、教学目标

- (1) 了解常用平面连杆传动机构的结构、特点及其应用场合。
- (2) 学会观察和分析生活中常见的连杆传动机构。
- (3) 初步尝试简单连杆传动机构的设计与制作。

二、结构分析

本节内容与第二节属并列关系，介绍了另一种常用的简易机器人传动机构——平面连杆机
构。

首先，通过“现象与问题”，让同学们观察分析身边常见的雨伞和摇头电风扇，引出连
杆机构的概念。在正文中随即解释了与它们对应的收放机构和驱动机构，然后拓展到连杆机构
中最常用的平面四杆机构，包括概念、组成及类型。

为了使同学们能更多地了解四杆机构的实际应用，在本节的“小资料”和“探究尝试”
中分别介绍了在机器人、汽车内燃机以及火车车轮驱动上使用的连杆机构，而且在“活动延伸”
中还让同学们亲自动手制作实用的连杆机构装置——可伸缩毛巾架。

本节“阅读材料”中简要介绍了另一种典型传动机构——柔性传动，它以带传动和链传动

为代表。这种传动在简易机器人制作中有时也会用到。

三、教学建议与说明

本节话题的引入可以从“现象与问题”的讨论开始，由雨伞和摇头电风扇抽象出来的机构简图的答案在教材的图 4.14 和图 4.15 中已经给出，可以再参考正文说明来讲授。教师甚至可以拿一把雨伞作为教具，实际演示雨伞开启和收拢的过程。通过讨论，教师最后要抽象出平面连杆机构的概念，指出其组成要素——刚性杆件和关节。

在平面连杆机构中，平面四连杆机构是最简单、最常用的一种，教学中要作为重点讲解。四杆机构各组成部分的名称可参照教材图 4.16 ~ 图 4.18。在讲述四杆机构的主要类型时，最好还能对照它们在实际机器上的应用进行分析，例如，曲柄摇杆对应摇头电风扇，曲柄滑块机构对应雨伞，平行四杆机构对应“小资料”中的工业机器人。这样不仅能加深同学们对四杆机构各种类型的印象，而且还能让他们学会辨别生活中观察到的连杆机构。

●对教材第 93 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

该“探究尝试”实际上是检验同学们对机械的分析和抽象能力。内燃机中，曲轴整周回转，通过连杆带动活塞上下往复移动。这里曲轴是连杆机构的曲柄，活塞是连杆机构的滑块，因此该机构为曲柄滑块机构，对应于教材图 4.17。而在火车车轮联动机构中，将车轮的联动机构设计成平行四杆机构，对应于教材图 4.18，以保证机车各个车轮的角速度大小相等、方向相同。

●对教材第 93 页“活动延伸”的实施建议如下：

毛巾架可以让同学们课后回家自己制作。教材中给出的原材料及尺寸仅供参考，同学们完全可以充分发挥自己的创造力制作出更实用美观的作品，然后安装在家里享用自己的劳动成果。

“阅读材料”完全可以让同学们自己阅读，由于柔性传动在自行车、手扶拖拉机等产品上经常能见到，同学们对这部分内容应该不难理解。

四、参考资料

机构运动简图

机械制图是设计工程师的语言，但设计连杆机构的最初阶段并不需要把各构件的实际结构全部绘制出来，这样既不可能，也太烦琐。工程师们认为在这个阶段，只要用简单的符号和线条代表关节和构件，按一定比例表示各构件与运动有关的尺寸及相对位置，就完全可以表达清楚设计的原理和运动的关系，这样的简明图形被称为机构运动简图。机构运动简图必须能够反映出机构的运动特性，常用简图符号见表 4.3。

铰链四杆机构中曲柄存在的条件

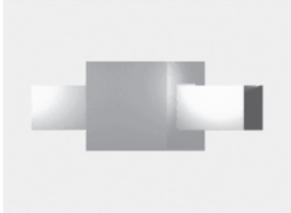
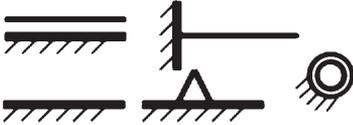
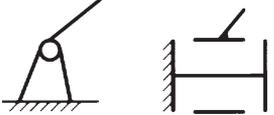
在很多机械中，通常采用电动机做连续转动的驱动装置，因此要求连杆机构中存在一个能做整周转动的曲柄。显然构件能否整周转动，决定于各构件间的相对尺寸关系。那么在什么条件下，四杆机构中才有曲柄存在呢？下面来分析铰链四杆机构中曲柄存在的条件。

在图 4.2 所示的铰链四杆机构中，设分别以 a 、 b 、 c 、 d 表示机构中各杆件的长度，且设 $a < d$ 。AB 杆若为曲柄，则转动副 A 应为周转副；为此 AB 杆应能占据整周中的任何位置；因此 AB 杆应能占据与 AD 共线的位置 AB' 及 AB'' 。而由图可见，为了使 AB 杆能够转至位置 AB' ，显然各杆件的长度应满足

$$a+d \leq b+c, \quad (4.1)$$

而为了使 AB 能够转至位置 AB'' ，各杆件的长度应满足

表 4.3 常用机构简图的符号表示

实际构件模型或名称	符号
 <p>转动关节 (铰链)</p>	
 <p>移动关节 (滑道)</p>	
<p>机架</p>	
<p>机架和活动构件通过转动副连接</p>	
<p>机架和活动构件通过移动副连接</p>	

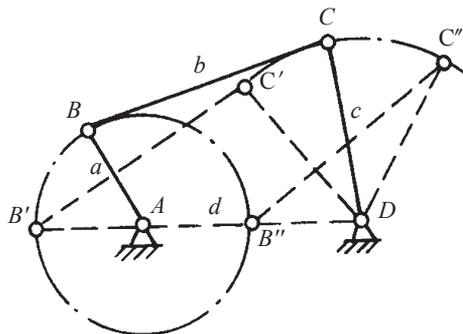


图 4.2 铰链四杆机构中曲柄存在的条件

$$b \leq (d-a)+c \text{ 或 } c \leq (d-a)+b,$$

亦即

$$a+b \leq d+c, \quad (4.2)$$

$$a+c \leq d+b, \quad (4.3)$$

将式 (4.1)、(4.2) 和 (4.3) 分别两两相加, 则得

$$a \leq c, \quad a \leq b, \quad a \leq d.$$

让学生根据以上的思路, 考虑 $a > d$ 时, 各杆件长度关系应满足的条件。最后导出

$$d \leq a, \quad d \leq b, \quad d \leq c.$$

分析以上各式, 即可得出铰链四杆存在曲柄的条件:

- (1) 连架杆和机架中必有一杆是最短杆。
- (2) 最短杆与最长杆长度之和小于或等于其他两杆长度之和。

上述两个条件必须同时满足, 否则机构中便不可能存在曲柄, 只能是双摇杆机构。当机构尺寸满足杆长条件时, 最短杆两端的转动副均为周转副; 其余转动副为摆转副。

第四节 简易机器人机械系统的设计与制作

一、教学目标

- (1) 学会根据作业任务制定简易机器人机械系统设计方案的方法。
- (2) 以“灭火升降台”和“抓球机械手”的组装为例, 体会机械传动系统的安装、调试过程, 加深对常用传动机构传动特性的认识。
- (3) 了解机器人移动载体的各种形式, 明白它们各自的特点及应用场合。

二、结构分析

本节的主要任务是在前三节内容的基础上, 综合运用相关知识, 搭建出第一章提出的高台灭火机器人和巡线运球机器人的执行装置, 即灭火升降台和抓球机械手。因此, 正文分两大部分分别对以上两个执行装置的设计组装过程进行了阐述。教学内容的展开都遵循以下路线, 首先根据具体作业任务要求对机械系统进行方案设计, 明确机械系统中执行机构、驱动装置、传动装置、机体等子系统的结构组成, 然后自下而上地组装各个子系统, 最后组合成一个整体。教材为每种执行装置的组装过程都列出了详细的步骤, 便于学生操作。

另外, 在灭火升降台的组装部分教材安排了一个用饮料瓶自制灭火风扇的“实践活动”, 它主要是为了让同学们体会亲自动手制作零部件的乐趣, 以及废物利用的方法。

考虑到灭火升降台和抓球机械手是对人类手臂动作和功能的模拟和扩展, 而移动机构对应于人类行走功能的模拟和扩展, 因此, 在本节“阅读材料”中补充了有关机器人移动载体的介绍, 而且随后的“探究尝试”和“活动延伸”也都围绕这个话题进行。虽然本课程中使用的简易机器人都采用轮式移动载体, 但让同学们了解其他形式的移动机构也是很有必要的, 有利于他们在其他创新设计中有更多的选择。

三、教学建议与说明

本节与第一章布置的两个简易机器人制作项目密切相关，在本节完成机械系统的制作、拼装后，如果再与第一章完成的移动小车组装起来，连接必要的传感器，机器人就最终成形了。授课时，首先可以与学生一起回顾一下最早提出的简易机器人的制作目标和总体设计方案，明确本节应该完成的有关机械系统制作的具体任务。

教材的安排很清楚，两个简易机器人都可以按作业功能分为移动载体+执行装置。移动载体在第一章已经搭建过，因此本节主要讨论两个机器人执行装置的设计与制作。

1. 关于“灭火升降台”

虽然在教材第一章探讨过高台灭火机器人的总体设计方案，但对灭火执行装置并未做详细的设计分析，因此这里首先讨论如何制定它的设计方案。教材中通过表 4.1 给出了一种灭火升降台的设计，可以看出该表与第一章表 1.3 在项目设置上很相似，区别仅在于表 1.3 是针对灭火机器人总体，而表 4.1 是针对灭火升降台机械系统，包括搭建机械系统所有主要组成部分时应该考虑的因素、解决问题的细节和具体的实施办法。表 1.3 和表 4.1 配合起来，向学生展示了设计方案在不同的阶段应该如何细化，做到每一个技术细节都无缺失。

在明确了灭火升降台的设计方案后，即可引导学生按教材列出的步骤制作该升降台。考虑到同学们首次组装如此复杂的运动系统，可以采取教师在讲台上逐步演示或播放组装录像，学生在台下模仿搭建的办法。搭建过程中教师要注意提醒容易出现拼接不牢的地方，以及各零件之间的相对位置关系。

组装完成后，该传动系统可以实现在电机驱动下顶部风扇平台的升降运动。可以让同学们用手慢慢地转动电机轴，看看是否达到预期的效果。更进一步，教材第 99 页的“探究尝试”中还要同学们通过编程来控制升降台的运动，具体的程序清单见后。

当然，制作结束后还需要同学们联系前面学过的知识做一些理论总结，这可以通过随后的“探究尝试”实施。

●对教材第 98 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 升降台臂采用的是平行四杆机构。生活中这种机构常用于可折叠桌椅、可伸缩门、可升降梯等。要想使台臂的上升高度更大，可以采用增大机构连杆长度的办法，或利用现有升降机构多加几级。

2. 电机的旋转运动通过锥齿轮传动机构、皮带传动机构、圆柱齿轮传动机构、齿轮齿条传动机构、平面连杆传动机构最终转化为升降台的上升和下降运动。采用皮带传动的作用一是实现远距离传动，二是对升降台电机和结构进行有效的过载保护。

●教材第 98 页“实践活动”的实施建议如下：

这个“实践活动”是小制作——灭火风扇。该活动让学生利用课外时间完成灭火风扇的设计制作。风扇对饮料瓶废物利用，事情不在花钱多少，而是体现了创意的巧妙。但是教师应该提醒同学们在操作中注意安全，不要被剪子和小刀划破手指，不要被热水烫伤手。风扇与电机轴的固定要牢靠。如果向前的排风量不够强劲，多半是风扇叶片的翻折角度与电机的旋转方向有问题，可以参考下页的“探究尝试”的讨论。

●对教材第 99 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 风扇的转向决定了风吹的方向，而转速决定了风的大小，它们对灭火都很重要。风扇叶片的翻折角度也是风向的决定因素之一，此翻折角度应与电机的旋转方向协调一致，否则吹出的风就不会朝向前面的火焰。

2. 各传感器和电机与控制器之间请按表 4.4 对应连接。

表 4.4 输入输出器件的连接

输入输出器件	安装位置	通道编号
限位开关	升降台	输入通道 3
电机	升降台	电机通道 2
	灭火风扇	电机通道 3

让电机驱动灭火风扇和升降台的 C 语言控制程序代码如下：

```

int v3;
void main( ) // 主函数
{
    Motor( 2 , 100 ) ; // 设置电机通道 2
    Delay( 1000 ) ; // 延时函数
    for( ; ; )
    {
        v3 = Switch1(3 ) ; // 从开关量口 3 通道读入
        if( v3 == 1 )
        {
            Motor( 2 , 0 ) ; // 设置电机通道 2
            break;
        }
        else
        {
            Motor( 2 , 100 ) ; // 设置电机通道 2
        }
    }
    for( ; ; )
    {
        Motor( 3 , 100 ) ; // 设置电机通道 3
        Delay( 2500 ) ; // 延时函数
        Motor( 3 , 0 ) ; // 设置电机通道 3
        Delay( 100 ) ; // 延时函数
    }
    Motor( 2 , -100 ) ; // 设置电机通道 2
    Delay( 500 ) ; // 延时函数
    for( ; ; )
    {
        v3 = Switch1(3 ) ; // 从开关量口 3 通道读入
    }
}

```

```

        if( v3 == 1 )
        {
        }
        else
        {
            Motor( 2 , 0 ) ;    // 设置电机通道 2
            break ;
        }
    }
}

```

用图形化语言编制控制程序让电机驱动风扇和升降台，可参考图 4.3。

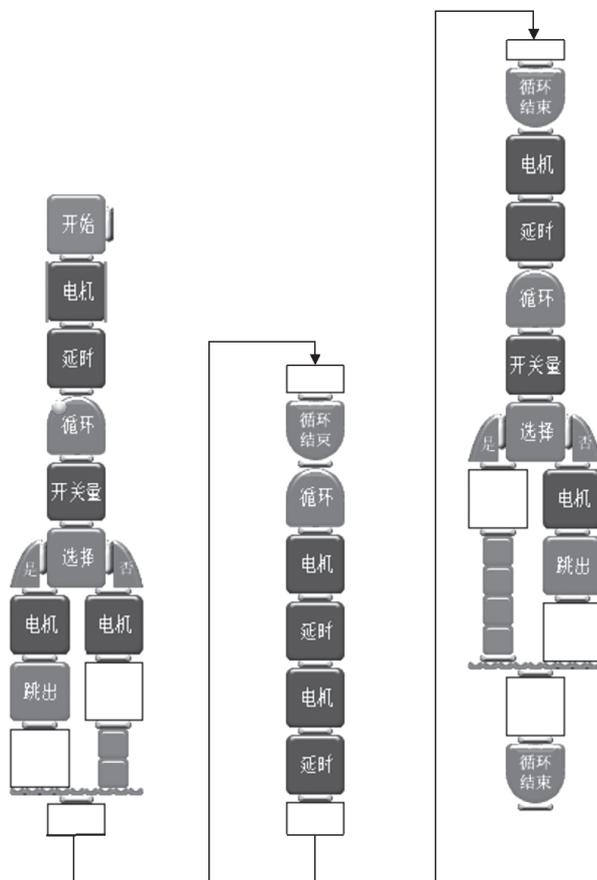


图 4.3 让电机驱动风扇和升降台对应的图形化编程语言

2. 关于“抓球机械手”

抓球机械手的设计制作过程与灭火升降台基本相同。

首先是抓球机械手的机械系统的方案设计(总体设计方案在教材第122页的表5.4中给出)。教材中没有给出参考方案,教师可以要求同学们参考灭火升降台的设计自己讨论确定。这里给出针对教材中所用机械手的参考答案(表4.5):

表 4.5 抓球机械手设计方案

主要组成	考虑因素	技术细节	具体方案
执行机构	抓球手段	手爪(手指合拢)抓球	自制手爪
	手爪的姿态要求	手爪的手指可自动实现合拢和张开	齿轮啮合传动
	升降速度	没有很明确的要求,从效率出发尽快为好	选择适当的传动机构
驱动装置	手爪驱动装置	输入电流、输出功率、输出轴转速、安装方式	直流电机适合简易机器人的特点
	升降台驱动装置		
传动装置	减速比	由电机转速和升降速度的比值计算减速比,估计减速机构的组成方式	电机→蜗轮蜗杆→齿轮对→连杆缩放机构→齿轮对
	运动方向的转换	从电机的转动转换为升降台的移动	
	传动轴距离长短	选择适当类型的传动机构	
控制装置	高度定位	通过升降位置限位来控制电机的运转和停止	行程限位开关
	手爪开合	通过升降位置限位来控制电机的运转和停止	行程限位开关
机体	支撑和可靠地连接上述各个部分,具有一定的强度和刚度		

有了设计方案后,就可以让同学们根据教材所示步骤自己搭建抓球机械手。抓球机械手自下而上由以下几部分组成:底座、电机、齿轮传动机构、手臂和手爪。组装完成后试用手分别转动两个电机的轴,检测机械手各部分是否安装牢固以及运动是否顺畅。

随后的“探究尝试”中有两个讨论题目。

●对教材第102页“探究尝试”的处理参考意见如下:

1. 电机的转动先通过同轴的蜗杆传递给蜗轮,并带动与蜗轮同轴的小齿轮,小齿轮再带动与机械臂转轴同轴的大齿轮,从而实现机械臂的上抬下放。在整个传动系统中用到了蜗轮蜗杆机构和直齿轮机构。

2. 各传感器和电机与控制器之间请按表4.6对应连接。

表 4.6 输入输出器件的连接

输入输出器件	安装位置	通道编号
限位开关	机械臂	输入通道3
电机	机械臂	电机通道2
	手爪	电机通道3

让电机驱动机械臂和手爪的C语言控制程序代码如下:

```
int v3;
void main( ) // 主函数
{
    Motor( 2 , -100 ) ; // 设置电机通道 2
    Delay( 600 ) ; // 延时函数
    Motor( 2 , 0 ) ; // 设置电机通道 2
    Motor( 3 , -50 ) ; // 设置电机通道 3
    Delay( 200 ) ; // 延时函数
    for( ; ; )
    {
        v3 = Switch1(3) ; // 从开关量口 3 通道读入
        if( v3 == 1 )
        {
            Motor( 2 , -100 ) ; // 设置电机通道 2
            Motor( 3 , 0 ) ; // 设置电机通道 3
        }
        else
        {
            Motor( 2 , 0 ) ; // 设置电机通道 2
            Motor( 3 , 50 ) ; // 设置电机通道 3
            Delay( 300 ) ; // 延时函数
            Motor( 2 , 100 ) ; // 设置电机通道 2
            Motor( 3 , 0 ) ; // 设置电机通道 3
            Delay( 800 ) ; // 延时函数
            break;
        }
    }
    for( ; ; )
    {
        v3 = Switch1(3) ; // 从开关量口 3 通道读入
        if( v3 == 1 )
        {
            Motor( 2 , 100 ) ; // 设置电机通道 2
        }
        else
        {
            Motor( 2 , 0 ) ; // 设置电机通道 2
            Motor( 3 , 0 ) ; // 设置电机通道 3
            Delay( 200 ) ; // 延时函数
        }
    }
}
```

```

        break;
    }
}
Motor( 3 , 50 );    // 设置电机通道 3
Delay( 200 );      // 延时函数
Motor( 3 , 0 );    // 设置电机通道 3
}

```

用图形化语言编制控制程序让电机驱动机械臂和手爪，可参考图 4.4。

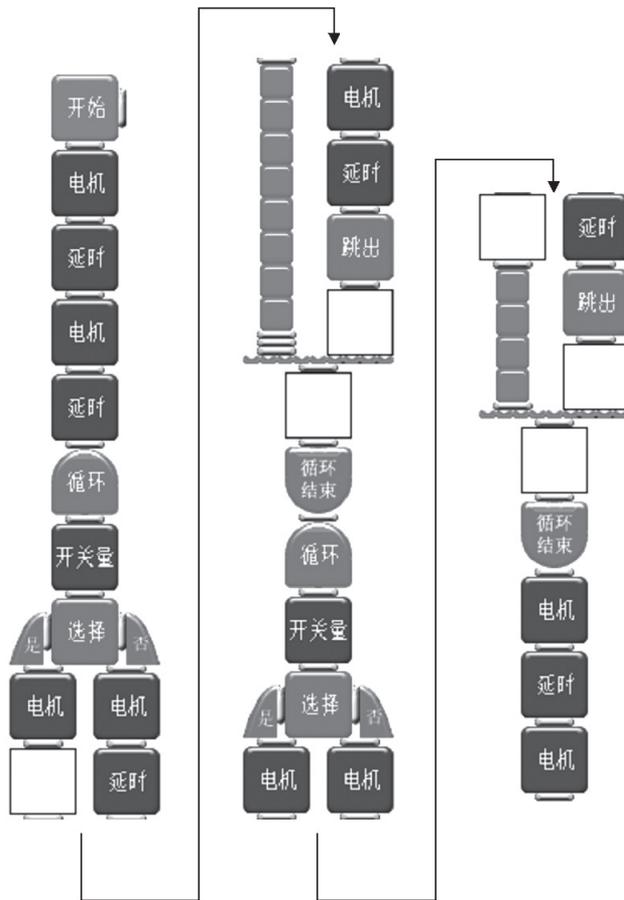


图 4.4 让电机驱动机械臂和手爪对应的图形化编程语言

3. 关于“阅读资料”——机器人移动载体

“阅读材料”中有关机器人移动载体分类及特点的论述比较详细，因此可以让同学们自己阅读，然后结合后面的“探究尝试”和“活动延伸”加深对这部分内容的理解。

●对教材第 104 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 完成下表。

移动机构形式		结构复杂性	地面适应性	稳定性	可控性
轮式	三轮	简单	不好	好	好
	四轮	简单	不好	好	好
履带式		复杂	好	好	好
足式	两足	复杂	好	差	好
	多足	复杂	好	好	差

2. 电机与车轮之间的减速比 $i = \frac{40}{8} = 5$;

电机的转动角速度 $\omega_1 = 400 \times 2\pi / 60 = 41.87(\text{rad/s})$;

车轮的转动角速度 $\omega_2 = \omega_1 / i = 41.87 / 5 = 8.37(\text{rad/s})$;

车体的线速度 $v = \omega_2 \times d / 2 = 8.37 \text{ rad/s} \times 50 \text{ mm} / 2 = 209.3 \text{ mm/s} \approx 0.2 \text{ m/s}$

所以, 小车的移动速度约为 0.2 m/s 。

四、参考资料

机械系统的运动方案设计

为了实现生产过程的机械化、自动化或实现某种动作的功能要求, 必须按这些动作和功能的要求, 设计或开发出一系列机构, 并将它们按动作过程要求组合成新的机械。机械系统的设计一方面要实现将原动机的运动和动力传递到执行构件的各个环节的设计, 也包括对这些运动和动力的操纵和控制功能的设计。在机械系统的设计中, 要充分发挥创造性思维和想象能力, 灵活应用各种设计方法和技巧, 以便设计出新颖、灵巧、高效的机械产品。机械运动方案的设计是机械产品设计的第二步, 也是决定产品质量、水平高低、性能优劣和经济效益好坏的关键环节之一。机械运动方案的设计, 是根据功能原理方案中提出的工艺动作过程及各个动作的运动规律要求, 选择相应的若干个执行机构, 并按一定的顺序把它们组合成机械运动示意图, 进行机械运动的尺度综合, 最终确定出机械运动简图。这个运动系统应能合理、可靠地完成工艺动作的要求。

机械运动方案设计大体按以下步骤进行:

第一步: 功能分析。认真研究设计任务书, 明确设计任务和要求。对设计任务进行功能分析, 明确机械系统总功能, 并将总功能进一步分解为若干个分功能。

第二步: 原理方案确定。在功能分析的基础上, 通过创新构思、搜索探求、优化筛选等选择能实现该功能的工作原理方案。

第三步: 机械运动方案的设计。为实现各功能原理进行工艺动作构思和工艺动作分解, 选择各功能原理的实现结构或机构, 进行机械运动方案的设计与评价。

第四步: 机械运动简图的尺度综合。将机械运动方案中各个执行机构, 根据工艺动作运动规律要求和运动循环图的要求进行尺度综合。机械运动简图中各机构的运动尺寸都要通过分析、计算加以确定。当然, 还应同时考虑其运动条件和动力条件, 以设计出性能良好的新机械。

第五步: 方案分析。对机械传动系统进行运动和动力分析, 考察其能否全面满足机械的运动和动力功能要求, 必要时还应进行适当的调整。运动和动力分析结果也将为机械的工作能力和结构设计提供必要数据。

第六步：方案评价。通过对众多方案的评比，最终选出最佳方案。

飞速发展的机器人灵巧手技术

机械手作为末端执行器是机器人的重要构成部件，人们最初采用单自由度夹持器完成一些简单操作，如焊接、喷漆、装配等，但是这种夹持器功能单一、缺少灵活性，只能针对特定的任务进行设计。在这种情况下，出于拟人化的想象，多关节多手指的灵巧手成为机械手的发展趋势。

灵巧手技术的发展经历了四个阶段。①早期阶段。多指手最先是从假肢开始的。1509年，人们在战争中失去一只手的年轻战士 Berlichingen 制作了弹簧驱动的假手。这只假手在战斗中发挥了重要的作用，但是在生活中却很不方便。在 Berlichingen 手之后人们又相继研究了许多假手，有些假手至今仍在使用。Childress 将这些手分为装饰型、被动型、身体驱动型和外部动力型四种，其中动力型手从 1920 年开始流行，从 20 世纪 30 年代开始得到广泛的应用。②初期阶段。Tomovic 和 Boni 于 1962 年研制成功的 Belgrade 手最初是为前南斯拉夫的一位伤寒病患者而设计的，它被认为是世界上最早的灵巧手。从 20 世纪 70 年代开始，国际上开始进行机器人多指灵巧手的系统化研究。1974 年日本研制成功的 Okada 手，可以完成将螺栓拧进螺母之类的操作，它是初期灵巧手的典型代表。③中期阶段。20 世纪 80 年代以来，灵巧手进入了一个快速发展时期，一批著名的灵巧手相继问世。如美国麻省理工学院和犹他大学 1980 年联合研制成功的 Utah/MIT 手、美国斯坦福大学研制的 Stanford/JPL 手等，这些成果奠定了灵巧手的理论基石和技术基础。④ 20 世纪 90 年代以后，以德国和意大利为代表的欧洲和美国在灵巧手方面的研究非常活跃，典型代表是意大利研制的 DIST 手和 UB 手、德国宇航中心研制的两代 DLR 手以及美国宇航局研制的 NASA 手等。利用相关领域的成果，这些灵巧手具有很高的集成化和智能化水平，标志着灵巧手的研究已经进入了一个成熟的发展阶段。

机器人灵巧手是一个高度集成化、多种感知功能、智能化的机电系统，涉及机械、电子、计算机、控制等多个学科领域。灵巧手的关键技术包括驱动、传感和操作等几个方面。由于驱动器尺寸的限制，早期和中期的灵巧手难以把驱动器放置在手指中，最普遍的驱动方式是利用“腱”把驱动器的运动和动力传递到相应关节。这种模拟人手关节驱动机理的方式可以实现手指的远距离驱动，减小系统的体积和重量，但是使手指的运动学和动力学关系复杂，影响手指的操作性能。近年来，随着微型电机和减速装置的不断出现，将驱动器集成在灵巧手本体中已经成为可能。

灵巧手完成各种智能化灵巧操作的前提是手指必须具有丰富的感知功能，关节位置和力矩

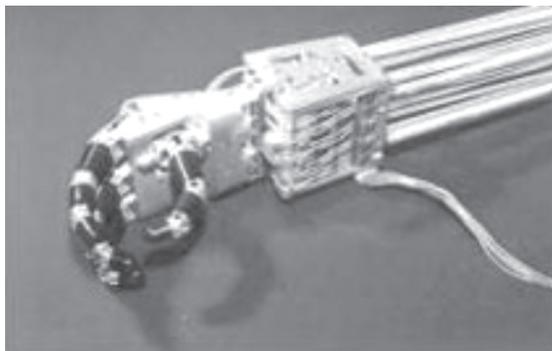


图 4.5 Utah/MIT 手



图 4.6 Stanford/JPL 手

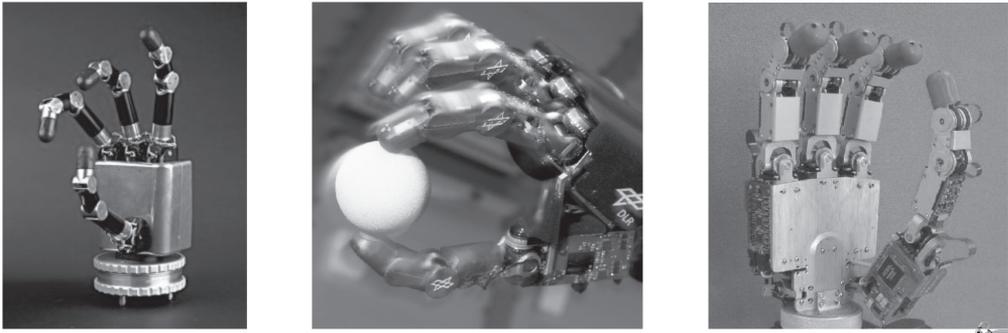


图 4.7 德国 DLR 手

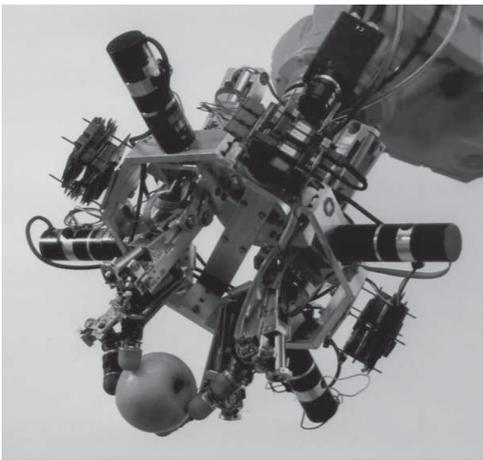


图 4.8 德国 Karlsruhe 灵巧手

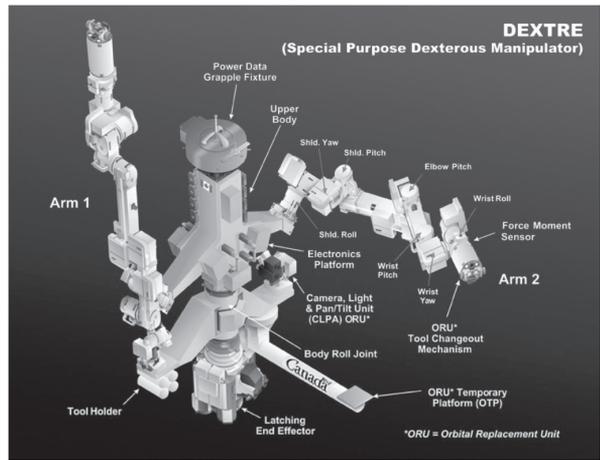


图 4.9 加拿大 SPDM 手

传感器是最常见的灵巧手传感系统配置。随着微机械加工和微电子学的发展，各种微型化、集成化的传感器相继出现，如用于测量手指尖和物体接触力的微型多维指尖力/力矩传感器、具有类似于人手皮肤的各种机理的触觉传感器和滑觉传感器等。这些传感器可以提供多指手的多种感觉信息，利用多传感器信息的融合，可以实现人手的智能化自主控制。

多指灵巧手与物体的接触点较多，采用适当的抓握方式和抓取规划算法，从理论上可以抓取任意形状的物体并且对物体施加任意的运动和力，从而在不需要更换末端执行器的情况下，对各种复杂形状的物体进行高精度、稳定和可靠的抓握。目前，灵巧手的操作主要有自主操作和遥操作两种方式。自主操作是指在没有人的干预下，灵巧手系统利用多传感信息感知自身和环境的状态，通过抓取规划和多指协调实现物体的全自主抓取和操作。自主操作对抓取规划和协调理论、传感器和微处理器有非常高的要求，因此目前大多停留在仿真阶段。遥操作是应用最广泛的灵巧手操作方式。遥操作就是人通过某种设备给出多指手的期望位置和速度等，通过控制系统使多指手跟踪这些给定值，从而在人的控制下使灵巧手完成具体作业任务。近年来，将自主操作和遥操作两种方式进行局部融合，实现具有局部自主功能的遥操作成为灵巧手操作的一个主要研究趋势。对于灵巧手来说，数据手套是最常用的遥操作设备。在数据手套内部装有关节位置传感器，当操作者戴着数据手套运动时，从数据手套控制器可以输出手指各关节的位置信息。然后通过网络将这些信息传给灵巧手控制系统，于是灵巧手就跟踪人手的运动从而

完成相应的远程遥控作业。在 1998 年的德国汉诺威国际工业博览会上，德国宇航中心利用数据手套成功实现了从汉诺威到慕尼黑的灵巧手远程遥控服务作业。

随着灵巧手技术的发展和成熟，应用范围越来越广，从地面到航天，从军用、工业用到人们的日常生活，都有灵巧手的用武之地。我国载人航天取得了圆满成功，实现了中华民族几千年的飞天梦想，空间站和空间实验室将是我国载人航天的下一个主要目标。航天员在太空环境下进行各种舱内和舱外作业是非常危险的，同时需要很复杂的准备工作，用机器人航天员代替人类航天员完成舱外作业具有非常重要的意义。人类航天员可以利用具有触觉和视觉反馈的遥操作系统遥控机器人航天员的工作，并且直观地观察和感受任务环境的各种信息。在机器人航天员系统中，灵巧手的作用更加突出，它能够操作常用的舱外作业工具，抓握形状不规则的物体并处理很多需要人类灵巧性才能完成的任务。

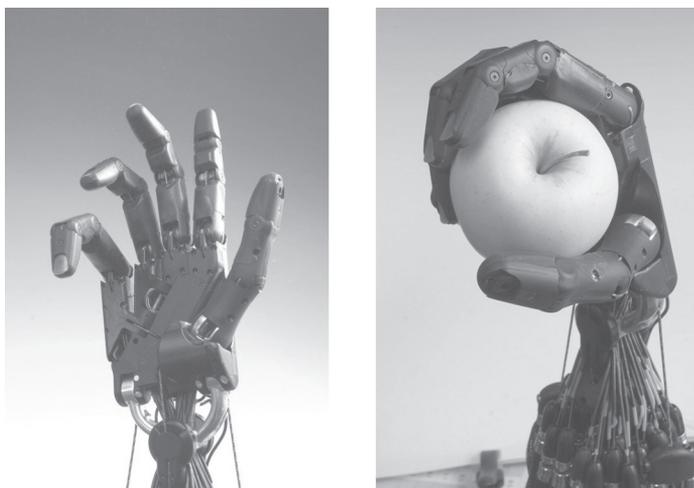


图 4.10 德国 SHADOW ROBOT COMPANY 生产的迄今为止世界上最先进的灵巧手

第五章 简易机器人的制作与编程

本章提示

本章在前述各个章节的基础上做一个总结与提高。学生在学习了相对零散的机器人知识后，在本章中针对第一章提出的两个机器人制作项目——高台灭火与巡线运球，分别从系统的高度整合软硬件设计、安装与调试。本章集中体现了动脑、动手、相互协作以及综合运用知识的能力。在组织教材时的指导思想是让学生在充分领会、掌握各章要点的基础上，按照高台灭火和巡线运球机器人动作流程图的指导将比较完整、复杂的程序输入到机器人控制器中，经过简单的调试就应当完成两个机器人的作业任务。教师在讲授本章内容时要注意以下几点：

(1) 本章的特点是确立系统的概念，软件编程显得十分重要，在某种意义上是借助程序语言中输入输出的定义将机械部分的动作、控制器硬件的控制功能、输入输出元件有机地联系起来，有序地运行。这就是所谓控制程序赋予机器人生命的道理。

(2) 课堂教学与学生动手紧密结合，相互补充。为了完成任务，学生要面临每一个环节的挑战，有一定的难度，所以教师的适当引导对学生完成两个具体任务很关键。

(3) 教师辅导与学生独立思考合理搭配。辅导要适度，给学生留出独立思考的空间，没有必要面面俱到，一一给出答案。

(4) 不必拘泥于教材提供的参考答案或编程例子（例程），要激发同学们的创造热情，在动作流程图的指导下充分发挥其创造力、想象力。

(5) 最后通过机器人比赛检验同学们的学习和制作效果。要尽量使每个学生都完成比赛任务，达到对前述章节学习内容深入领会提高的目的。

第一节 高台灭火机器人的制作与编程

一、教学目标

针对高台灭火的具体任务避障、灭火，以及具体场地与规则细节，再借助教师讲解以及参考资料，同学间相互讨论与协作，充分发挥自己的动手动脑能力，尽量独立完成高台灭火机器人的组装、调试。通过本节的活动应达到以下教学目标：

(1) 进一步熟悉简易机器人的设计方法与组装技巧。

(2) 熟练掌握程序流程图的编制方法，可以在给定任务的基础上制定出比较合理的流程图，并能在流程图的指导下用 C 语言编程。

(3) 理解机器人避障的概念以及避障的基本策略，从而更深地理解机器人控制程序的运

行原理。

二、结构分析

本节按照先硬件后软件的编写顺序进行，实际操作性非常强，新知识的讲述不多，但是要求把以前所学的知识融会贯通、灵活应用。

第一部分“高台灭火机器人的制作”介绍了机器人硬件组装的方法。事实上，高台灭火机器人的主体结构是由第一章搭建的机器人小车和第四章搭建的灭火升降台组合而成，因此教材在机器人的组装制作过程方面并没有花太多的篇幅，而是把重点放在了机器人所用输入输出器件与控制器的连接上，并讲了一些可能影响机器人作业性能的注意事项。

第二部分“高台灭火机器人的编程”介绍了如何编写机器人的控制软件。讲解时首先是根据作业任务将机器人的动作划分为多个功能模块，然后分别针对各个模块逐一介绍对应程序的编写。这种方式不仅使庞大的程序显得逻辑关系清楚，而且将各模块程序作为子函数还能用于其他程序中。教材为这些模块都提供了动作流程图以及 C 语言例程，供同学和教师参考。

三、教学建议与说明

本节的主要工作是完成第一章提出的高台灭火机器人任务，因此在进入本节正式内容前有必要回顾一下第一章提出的任务目标、规则以及机器人设计方案等。

由于机器人移动小车和灭火升降台在前面的章节同学们都分别搭建过，而且也比较容易将它们组合在一起，因此机器人结构制作方面的主要工作应是正确安装作业任务所需的传感器和驱动装置。这里的“正确安装”，一方面是指它们在机器人上的安装位置，另一方面还指各个传感器和驱动装置与控制器接口的对应接插关系，可以分别参照教材中图 5.1 和表 5.1 来完成。当然，同学们很难一次性正确安装所有零部件，因为需要一些实际操作的技巧，而且需要结合控制程序对机器人进行调试。调试的教材内容放在下一节讲述，但教师可以根据需要将某些调试的方法提前在本节介绍给学生，让他们对这些调试方法有初步的感性认识。

高台灭火机器人的控制程序是按功能模块划分的，这些功能模块与第一章方案设计时对机器人功能的分解基本一致，体现了方案设计阶段功能分解的重要性，以及教材内容前后的一贯性。教材中所有程序模块是环环相扣、紧密相关的，教学时必须把这些模块全部讲完后才能让同学们输入程序进行调试。如果想要对单独的模块进行试验，必须对程序做一定的修改，可以留给同学们课后作为提高的练习。

教师在讲解程序时应主要以程序流程图为主，让同学们参照流程图以及程序清单中的解释自己读懂程序，这对于提高他们的编程能力很有利。

●教材第 107 页“现象与问题”的参考答案如下：

1. 三种避障方式的优缺点。

(1) 摄像头：优点是可以灵活地、非接触性地从全局或局部来观察障碍的外形和距离，甚至可以辨别色彩和质地，功能最强；缺点是硬件价格昂贵，算法复杂，处理器运算速度有限，不易为同学们所掌握。

(2) 限位开关：结构简单、灵活，容易实现，价格低。它可以设计成许多巧妙的机构来感知不同形状和不同位置的障碍物，但是必须与固体障碍物接触后触发，需要向对方施加一定的作用力，而且缓冲的行程短，相对来说，机械感知的响应慢，容易发生碰撞。

(3) 红外测障传感器：属于非接触测量，可以提前在较远的距离感知障碍物；缺点是硬件比较复杂，价格较贵，而且容易受到环境光线的干扰。

2. 参见对教材第 109 页“探究尝试”的处理意见。

●对教材第 109 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 两个光敏传感器的安装高度应尽量与火源的高度一致。在结构尺寸允许的条件下，左右安装距离尽量拉大，但不宜超过机器人的宽度。

2. 相对于一个红外测障传感器，两个传感器通过比较各自的测量值，可以更准确、有效、可靠地判别障碍物的方位，从而在避障的过程中可以采取左转或右转的策略。两个传感器的安装距离应尽量接近移动小车的两个驱动轮的轮距。

●对教材第 110 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

寻火源避障模块包括两个基本动作，即寻找火源和躲避障碍物。避障是在寻找火源的过程中发生的，寻找火源是目的，避障是手段，两者相辅相成，所以归于一个模块。不推荐将这两个动作分开，否则程序的流程图会过于零散，不易编写程序。

●对教材第 113 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 如果火源的高度低于升降台的上极限位置，可以在升降台上升的过程中不断检测光敏传感器的读数，当判断读数达到最大值后（表明机器人正对火源）立即停止上升，然后实施灭火动作。如果火源的高度高于上极限位置，只能在升降台组装过程中调整限位开关的位置，以确保升降台上升到上极限位置时对准火源。

2. 主要为确保火焰被彻底扑灭。

●对教材第 117 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 无须答案，在实验中体会执行即可。

2. 两个光敏传感器的检测值均大于 V_g 时，即保证机器人基本正好对准火源，可以提高寻找火源的效率，加快接近火源的速度。如果只有一个光敏传感器的检测值大于 V_g ，程序即认为发现火源，而采取接近动作，容易造成机器人在趋近火源的过程中左右摇摆幅度过大，降低接近速度。

●对教材第 120 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 无须答案，参照执行即可。

2. 后退一个步长为的是给机器人左转或右转留出空间，以免机器人移动小车头部时碰到障碍物。

3. 延时的程序一方面降低了机器人移动的速度，另一方面也不太准确，延时的时间需要根据经验来定。更好的办法是建议在左转过程中不断检测右红外测障传感器检测值，当其为 1 时（表明已离开障碍）即停止左转。

四、参考资料

多传感器融合

近年来，无论在军事领域还是在非军事领域，多传感器数据融合技术都获得了广泛的关注，正在应用于越来越多的领域中。数据融合就是将来自多个传感器或多源的信息在一定准则下加以自动分析、综合，以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。数据融合是人类或其他生物系统中普遍存在的一种基本功能。人类通过应用这一能力把来自人体各个传感器（眼、耳、鼻、四肢）的信息（外界物体、声音、气味、触觉）组合起来，再结合经验和知识，去统计、理解周围环境的情况以及正在发生的事件。

数据融合的基本原理就像人脑综合处理信息一样，充分利用多个传感器资源，通过对这些

传感器及其观测信息的合理支配和使用，把多个传感器在时间和空间上的冗余或互补信息依据某种准则进行组合，以获取被观测对象的一致性解释或描述。传感器之间的冗余数据增强了系统的可靠性，互补数据扩展了单个传感器的性能。数据融合技术扩展了时空覆盖范围，改善了系统的可靠性，对目标或事件的确认增加了可信度，减少了信息的模糊性，这是任何单个传感器都做不到的。

数据融合最早出现在军事领域。1973年美国国防部资助开发了声呐信号理解系统，数据融合技术在该系统中得到了最早的体现。此后，数据融合技术迅速发展起来。1984年，美国成立了数据融合专家组，专门组织和指导有关的研究。1988年，美国国防部把数据融合技术列为重点研究开发的20项关键技术之一。目前，数据融合在军事方面的应用有自动目标识别、战场监视、自动飞行器导航、自动威胁识别、遥感等；在非军事领域的应用有生产过程监控、机器人、医疗诊断、复杂工业过程控制等。

数据融合系统的应用可大致分为军事应用与民事应用两大类。军事应用是多传感器数据融合技术诞生的源泉，主要用于包括军事目标（舰艇、飞机、导弹等）的检测、定位、跟踪和识别。具体应用包括海洋监视，空对空、地对空防御系统。海洋监视系统包括潜艇、鱼雷、水下导弹等目标的检测、跟踪和识别，典型的传感器包括雷达、声呐、远红外探测器、综合孔径雷达等。空对空、地对空防御系统的基本目标是检测、跟踪、识别敌方飞机、导弹和反飞机武器，典型的传感器包括雷达、ESM接收机、远红外探测器、敌我识别传感器、电光成像传感器等。

近年来，数据融合技术在民事应用领域得到了较快的发展，例如机器人、智能制造、智能交通、医疗诊断、遥感、刑侦和保安等领域。机器人主要使用电视图像、声音、电磁等数据的融合来进行推理，以完成物料搬运、零件制造、检验和装配等工作。

在以往的医疗诊断中，外科医生常借助视觉检查，并靠温度计和听诊器来帮助诊断。现在出现了更为复杂而有效的医用传感技术，如超声波成像、核磁共振成像和X射线成像等。将这些传感器的数据进行融合能更准确地进行医疗诊断，如肿瘤的定位与识别。

遥感在军事和民事领域都有一定的应用，可用于监测天气变化、矿产资源、农作物收成等。多传感器数据融合在遥感领域中的应用主要是通过高空间分辨率全色图像和低光谱分辨率图像的融合，得到高空间分辨率和高光谱分辨率的图像，融合多波段和多时段的遥感图像来提高分类的准确性。

多传感器数据融合技术在刑侦中的应用主要是利用红外、微波等传感设备进行隐匿武器、毒品等的检查。将人体的各种生物特征如人脸、指纹、声音、虹膜等进行适当的融合，能大幅度提高对人的身份识别认证能力，对提高安全保卫能力是很有有效的。

移动机器人导航研究及其发展趋势

移动机器人是一种在复杂的环境下工作的具有自规划、自组织、自适应能力的机器人。在移动机器人的相关技术研究中，导航技术可以说是核心技术，也是实现真正的智能化和完全的自主移动的关键技术。导航研究的目标就是在没有人干预的条件下，机器人有目的地移动并完成特定任务，进行特定操作。机器人通过安装于自身的信息获取手段来获得外部环境信息，实现自我定位，判定自身状态，规划并执行下一步动作。

移动机器人的导航方式很多，如惯性导航、视觉导航、基于传感器的数据导航、卫星导航等。这些导航方式分别适用于各种不同的环境，包括室内和室外环境、结构化环境与非结构化环境等。

(1) 惯性导航。惯性导航是一种最基本的导航方式。它利用机器人装配的光电编码器和

陀螺仪，计算机器人航程，从而推知机器人当前的位置和下一步的目的地。显而易见，随着机器人航程的增加，定位的精度就会下降，而累积的定位误差将越来越严重。为减少这种误差，以及降低光电编码器等数据的噪声，卡尔曼 (Kalman) 滤波器在此可有用武之地。

(2) 视觉导航。由于计算机视觉理论及算法的发展，视觉导航成为导航技术中一个重要发展方向。研究人员总结了近 20 年机器人导航中视觉导航技术的发展状况。通常，机器人利用摄像机拍摄周围环境的局部图像，然后通过图像处理技术，如特征识别、距离估计等，进行机器人定位，规划下一步的动作。有研究人员利用傅立叶 (Fourier) 变换处理机器人全方位图像，并将关键位置的图像经傅立叶变换所得的数据存储起来，作为机器人定位的参考点，随后机器人将所拍摄的图像经变换与之相对照，得知自己当前的位置。也有研究人员利用视觉技术计算机器人运动过程中的避碰点，从而有助于机器人局部路径规划。

(3) 基于传感器的数据导航。一般机器人都安装了一些非视觉传感器，如超声传感器、红外传感器、接触传感器等。利用这些传感器亦可以实现机器人导航。研究人员介绍了一种用于移动机器人的超声波导航系统，而且精度比较高。有研究人员将超声数据与图像数据结合，通过事先训练好的神经网络预测障碍物的可能位置，从而使得机器人能够在动态非结构化环境中实现自主导航。有研究人员将传感器数据作为模糊推理系统的输入，模糊系统将产生较优（相对某事先设定的代价函数而言）的机器人行为。

(4) 卫星导航。全球定位系统 (GPS) 以距离作为基本的观测量，通过对四颗 GPS 卫星同时进行伪距离测量，计算出用户（接收机）的位置。机器人通过安装卫星信号接收装置，可以实现自身定位。

第二节 巡线运球机器人的制作与编程

一、教学目标

针对巡线运球的具体任务（包括场地与路径规则），要求同学们在教师讲解、学习参考资料、同学相互讨论与协作的基础上，充分发挥自己的动手动脑能力，独立完成巡线运球机器人的组装、调试，并达到以下目的：

- (1) 进一步学习如何从任务出发，在现有知识和技能范围内设计一个机器人，提出设计方案。
- (2) 进一步掌握如何根据作业任务分解控制程序，制定相应的任务流程图。
- (3) 进一步熟悉在流程图的指导下编写程序的方法与步骤。
- (4) 理解调试的概念，总结调试的基本方法和规律。

二、结构分析

本节在编写结构上与第一节基本相同。首先在第一部分介绍了巡线运球机器人的结构制作，主要包括输入输出元件的连接和组装注意事项；然后在第二部分，同样按照功能模块分别讲解机器人控制软件的编写。

与第一节不同的是，在本节的最后部分增加了“简易机器人的调试”，它总结了在机器人制作过程中可能遇到的问题以及解决的办法。事实上，调试是所有机器人制作必不可少的步骤，

包括第一节制作的高台灭火机器人。教材将这部分内容放在本节中讲述，一方面因为它的内容较少，不宜单独成为一节；另一方面是因为它带有总结性质，在所有制作任务都完成后，再对调试方法和规律进行总结有利于学生的理解。

三、教学建议与说明

本节前两部分的讲述方法与第一节类似，这里不再赘述。需要注意的是由于在第一章中没有介绍巡线运球机器人的设计方案，所以在制作机器人之前教师可以分配一定的时间对该机器人的设计方案进行讲解。教材中表 5.4 给出了总体设计方案的简单说明，讲述方法应参照第一章高台灭火机器人的设计方案。表 5.5 给出了编制控制程序时需要的有关输入输出的各种定义。

第三部分介绍有关简易机器人的调试问题。调试是工程中以及科学研究中非常重要的概念。一个机器人的制作任务，恐怕很难做到一次成功，在实践过程中同学们不断发现问题、解决问题，进而使自己的机器人达到最佳的运行状态，这个过程就称为调试。调试这部分内容可以单独讲解，但是推荐随着两个机器人制作任务实施过程的逐步展开，适时地、同步地讲授调试方法，最后在本节让同学们回顾曾经遇到的调试问题，并对照教材图 5.20 加以总结。

为了能给同学们正确的指导，教师应当在备课期间亲自动手，熟悉两个简易机器人项目的具体操作，对制作和调试中容易出现问题的地方有充分的了解，这里补充说明如下：

(1) 在将移动小车和机械系统（灭火升降台和抓球机械手）组装成一体的时候，不要将小车的车轮作为着力点，这样可以避免机器人因为受力不均而散开。正确的方法是以小车的底板作为着力点，用双手压紧两部分。

(2) 为了简化结构，教材中机器人机械系统执行机构的两个极限位置判别用了同一个限位开关（接触传感器），因此在安装限位开关时，一定要注意能否在两个极限位置都正确触发。比较可靠的操作办法是在通电运动前先用手转动驱动电机，检查执行机构是否能被正确地限位，看看有没有接触不上的问题。

(3) 电源为机器人提供动力，机器人一旦出现停止运动的现象首先应当检查电源。一是看电源电量是否充足，二是看接线是否出现松动，接触是否不良。

(4) 机械系统的组建一定要牢靠，要重点检查那些组装作业比较草率的同学。机器人经过一段时间的运行后，还要检查机械部分是否有松动。比如说，限位开关是否松动，松动后会出现接触不良的问题。

(5) 另外一个比较容易出现的问题就是软硬件与机器人系统不匹配。一旦出现这类问题比较难于查找。编程之前，教师应该反复强调输入输出定义设置的正确性，以及机械、电气各种连接的正确性，事先教师可以帮助同学查找，例如检查各传感器和电机的通道是否接插正确，是否与编写的程序一一对应等，防患于未然。

(6) 灭火机器人的运行状态还与室内环境有密切的关联。目前，廉价的光敏传感器的总体研制水平尚无法避免环境光线的干扰，如果寻找火源的过程完成得不够好，应该看看是否有强光直射的地方未被遮挡起来，干扰了光敏传感器的工作。比如说窗子，需要用窗帘遮挡。总的来说，外界光的干扰越小，作业完成得越好。

•教材第 121 页“现象与问题”的参考答案如下：

1. 从理论上讲，用一个光电巡线传感器也可以实现巡线运动，但是效果不好，不易调试。
2. 两个光电巡线传感器安装间距对巡线效果有较大影响：间距过大机器人容易走“之”字形路径，间距过小机器人容易出现误判。所以，间距的推荐宽度应该大体上等于黑色引导线

的宽度。

•教材第 123 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 从前后来讲，重心作用于车轮轴（ b 点）最佳。理由是重力完全作用在车轮上，对车轮摩擦力做出最大的贡献，使机器人得到最大的驱动力。从重心的高低来说，重心低，机器人运动较平稳；重心过高，机器人在突然停止时容易出现前倾，或者在巡线运行过程中出现“磕头”现象。个人设计机器人时一般通过调节机械系统的质量在前后、高低的配比，电机和控制器的安装位置，以及电池的高度来调整机器人的重心，有时甚至可以加适当的配重来调节重心的位置。

2. 关于光电巡线传感器的前后安装位置：由于机器人的转弯中心在车轮轴线附近，如果传感器离轴线太近，机器人巡线时会出现机体摆动过大，走“之”字形的情况；如果传感器离轴线太远，机器人巡线时会出现过度频繁转动，甚至出现传感器误判的情况。由于该参数还受引导黑线宽度、传感器间距等因素影响，所以最好通过实验确定。关于两个传感器的间距，请参考本节“现象与问题”答案 2。

•教材第 125 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 程序清单 5.7 中的机器人动作模块主要是按照动作功能来划分的。当然也可以按照动作流程来划分，将一些基本动作合并成较为复杂的模块。

2. 如果打算在到达一定时间后就让机器人停止，可以在程序中加一个定时器模块，这样在达到设定的时间后，它将命令机器人停止运动。

•对教材第 126 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

可以简单地借助延时来完成转动动作，这时流程图可以去掉光电巡线传感器的判断语句。但是此种方法不太可靠，因为不一定能保证机器人后转 180° ，恰好停在黑色引导线上。

•对教材第 129 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 延时语句主要是为了使限位开关脱离初始值，若删掉它们，也许无法保证机械臂上升或下降到设定的位置。

2. 从略。

•对教材第 131 页“探究尝试”的处理参考意见如下：

1. 杜绝机器人运动过冲的措施可以采用遇到 T 形线时机器人驱动轮反向转动一个角度的方法。

2. 主要采取实验的方法，以一定的速度使机器人沿黑色引导线转弯，逐渐提高行进速度，直到机器人冲出引导线的临界速度为止。

四、参考资料

机器视觉

同学们在制作机器人的过程中，往往想到通过加装摄像头，使机器人具有视觉功能，从而判别周围的物体、环境，比较容易地完成巡线运球任务。但是这种想法可行吗？下面来看看什么是机器视觉。

机器视觉是研究计算机模拟生物宏观视觉功能的科学和技术，即用机器代替人眼实现感知、测量和判断，其特点是自动、客观、非接触、精度高、速度快、工作可靠。机器视觉可广泛用于在线检测、条码识别、工业电视监控、实时图像处理、工业 CT、人工智能等场合。

尽管机器视觉应用各异，但一般包括以下几个过程：

①图像采集。由光学系统采集图像，图像转换成模拟格式传入计算机存储器。

②图像处理。靠处理器运用不同的算法来提高对结论有重要影响的图像要素。

③特性提取。处理器识别并量化图像的关键特性，例如印刷电路板上焊盘的位置或者连接器上引脚的个数，然后将这些数据传送到控制程序。

④判决和控制。处理器的控制程序根据收到的数据做出结论。这些数据包括印刷电路板上的焊盘是否在要求规格以内，或者被操作对象的具体位置等。

典型的视觉系统一般由光源、光学系统，相机、图像处理单元（或图像采集卡）、图像分析处理软件、监视器、通信（输入输出）单元等组成。

（1）图像采集。图像的获取实际上是将被测物体的可视化图像和内在特征转换成能被计算机处理的数据，它直接影响到系统的稳定性及可靠性。一般利用光源、光学系统、相机、图像处理单元（或图像捕获卡）获取被测物体的图像。

（2）光源。光源是机器视觉系统输入的重要部分，它直接影响输入数据的质量和至少30%的应用效果。由于没有通用的机器视觉照明设备，所以针对每个特定的应用实例，要选择相应的照明装置，以达到最佳效果。许多工业用的机器视觉系统用可见光作为光源，这主要是因为可见光容易获得，价格低，操作方便。常用的几种可见光源有白炽灯、日光灯、水银灯和钠光灯。这些光源的一个严重缺点是光能不能保持稳定。另一方面，环境光将改变光源照射到物体上的总光能，使输出的图像数据存在噪声，一般采用加防护屏的方法减少环境光的影响。由于存在上述问题，在现今的工业应用中，对于某些高要求的检测任务，常采用X射线、超声波等不可见光作为光源。

由光源构成的照明系统按照射方法可分为背向照明、前向照明、结构光和频闪光照明等。背向照明将被测物放在光源和相机之间，优点是能获得高对比度的图像；前向照明将光源和相机置于被测物的同一侧，这种方式便于安装；结构光照明将光栅或线光源等投射到被测物上，根据它们产生的畸变解调出被测物的三维信息；频闪光照明将高频率的光脉冲照射到物体上，要求相机的扫描速度与光源的频闪速度同步。

（3）光学系统。图像是机器视觉的唯一信息来源，而图像的质量由光学系统决定。通常，图像质量差引起的误差无法用软件纠正。机器视觉技术把光学部件和成像电子结合在一起，通过计算机控制系统来分辨、测量、分类和探测。机器视觉系统的处理速度通常能完全满足处理对象的要求，不降低生产线的速度。

光学系统的主要参数与图像传感器的光敏面的格式有关，一般包括光圈、视场、焦距、 F 数等。

（4）相机。相机实际上是一个光电转换装置，即将图像传感器所接收到的光学图像转化为计算机所能处理的电信号。光电转换器件是相机的核心器件。目前，典型的光电转换器件为真空摄像管、CCD、CMOS图像传感器等。

真空电视摄像管由密封在玻璃管罩内的摄像靶、电子枪两部分组成。摄像靶将输入光学图像的光照度分布转换为靶面相应像素电荷的二维空间分布，完成光电转换和电荷存储任务，电子枪则完成图像信号的扫描拾取过程。电视摄像管成像系统具有高清晰度、高灵敏度、宽光谱和高帧速成像等特点。但电视摄像管属于真空管器件，所以重量、体积和功耗均较大。

CCD (charge coupled device, 电荷耦合器件) 是目前机器视觉最为常用的图像传感器。它集光电转换、电荷存储、电荷转移、信号读取于一体，是典型的固体成像器件。CCD的突出特点是以电荷为信号，而不同于以电流或者电压为信号。这类成像器件通过光电转换形成电

荷包，而后在驱动脉冲的作用下转移、放大输出图像信号。典型的 CCD 相机由光学镜头、时序及同步信号发生器、垂直驱动器、模拟 / 数字信号处理电路组成。CCD 作为一种功能器件，与真空管相比，具有无灼伤、无滞后、低电压、低功耗等优点。

CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 图像传感器最早出现在 20 世纪 70 年代初。90 年代初期，随着超大规模集成电路 (VLSI) 制造工艺技术的发展，CMOS 图像传感器得到迅速发展。CMOS 图像传感器将光敏元阵列、图像信号放大器、信号读取电路、模数转换电路、图像信号处理器及控制器集成在一块芯片上，还具有局部像素的编程随机访问的功能。目前，CMOS 图像传感器以其良好的集成性、低功耗、宽动态范围和输出图像几乎无拖影等优点而得到广泛应用。

(5) 相机图像的处理和分析。在机器视觉系统中，相机的主要功能是将光敏元所接收到的光信号转换为电压的幅值信号输出。若要得到被计算机处理与识别的数字信号，还需对视频信息进行量化处理。图像采集卡是进行视频信息量化处理的重要工具。

(6) 图像采集 / 处理卡。图像采集卡可完成对模拟视频信号的数字化处理过程。视频信号首先经低通滤波器滤波，转换为在时间上连续的模拟信号，按照应用系统对图像分辨率的要求，需要用采样 / 保持电路对边界的视频信号在时间上进行间隔采样，把视频信号转换为离散的模拟信号，然后再由模数转换器转变为数字信号输出。图像采集 / 处理卡在具有模数转换功能的同时，还具有对视频图像分析、处理的功能，并同时可对相机进行有效的控制。

(7) 图像处理软件。机器视觉系统中，视觉信息的处理技术主要依赖于图像处理方法，它包括图像增强、数据编码和传输、平滑、边缘锐化、分割、特征抽取、图像识别与理解等内容。经过这些处理后，输出图像的质量得到相当程度的改善，既改善了图像的视觉效果，又便于计算机对图像进行分析、处理和识别。

万用表及其使用

万用表具有用途多、量程广、使用方便等优点，是电子测量中最常用的工具。它可以用来测量电阻、交直流电压和电流。有的万用表还可以测量晶体管的主要参数及电容器的电容量等。掌握万用表的使用方法对电子技术来说是如虎添翼。

常见的万用表有指针式万用表和数字式万用表(图 5.1)。指针式万用表以表头为核心部件，测量值由表头指针指示。数字式万用表的测量值由液晶显示屏直接以数字的形式显示，读取方便，有些还带有语音提示功能。万用表共用一个表头，集电压表、电流表和欧姆表于一体。万用表的直流电流挡是多量程的直流电压表，表头并联闭路式分压电阻后即可扩大电压量程。万用表的直流电压挡是多量程的直流电压表，表头串联分压电阻即可扩大电压量程。分压电阻不同，相应的量程也不同。万用表的表头为磁电系测量机构，它只能通过直流，利用二极管将交流变为直流，从而实现交流电的测量。在电流接法的基础上，加上电池、分电阻和波段开关，就构成了一个欧姆表。

万用表的三个基本功能是测量电阻、电压、电流，所以有人也叫它三用表。现在的万用表添加了好多新功能，尤其是数字式万用表，还可以测量电容值、三极管放大倍数、二极管压降等。

万用表最大的特点是有一个量程转换开关，各种功能就是靠这个开关来切换的。“A ~”表示测直流电流，一般毫安挡和安培挡各又分几挡。“V ~”表示测直流电压，较高级的万用表还有毫伏挡，电压挡也分成若干挡。“V ~”是用来测量交流电压的，“A ~”则用来测量交流电流。“ Ω ”是用欧姆挡测电阻阻值，对于指针式万用表，每换一次电阻挡都要做一次调零。调零就是把万用表的红表笔和黑表笔搭在一起，然后转动调零钮，使指针指向零的位置。“ h_{FE} ”

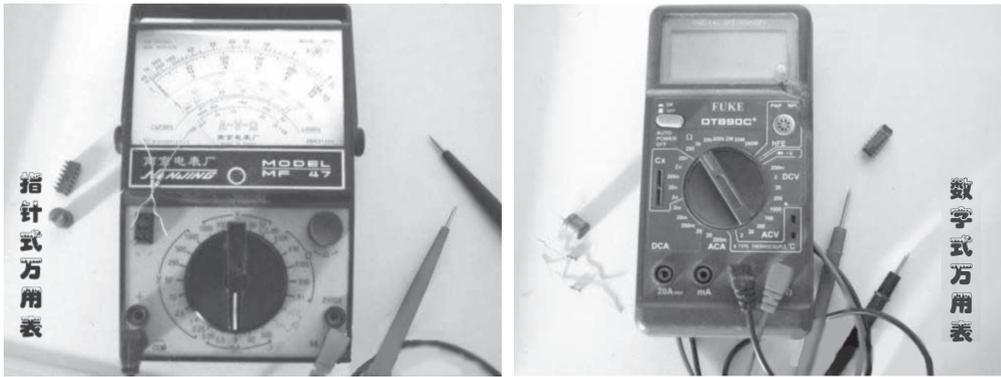


图 5.1 指针式与数字式万用表

是测量晶体三极管的电流放大系数的，只要把三极管的三个管脚插入万用表面板上对应的孔中，就能测出 h_{FE} 值。注意 pnp、npn 管的测法是不同的。

使用万用表的注意事项如下：

(1) 在使用万用表之前，应先进行“机械调零”，即在没有被测电量时，使万用表指针指在零电压或零电流的位置上。

(2) 在使用万用表过程中，不能用手去接触表笔的金属部分，这样一方面可以保证测量的准确性，另一方面也可以保证人身安全。

(3) 测量某一电量的同时不能中途换挡，尤其是在测量高电压或大电流时更应注意，否则可能导致万用表毁坏。如需换挡，应先断开表笔，换挡后再去测量。

(4) 使用中万用表的正确摆放位置必须是水平的，以免造成测量误差。同时，还要注意避免外界磁场对万用表的影响。

(5) 测量时，红表笔插入“+”孔内，黑表笔插入“-”孔内。

(6) 使用完毕后，应将万用表的转换开关置于交流电压的最大挡，以防别人不慎测量 220 V 市电电压而损坏表头。如果长期不使用，还应将万用表内部的电池取出来，以免电池腐蚀表内的元件。

第六章 机器人的反馈控制（选学）

本章提示

在前五章中，同学们搭建了多种简易机器人，并为它们编写了作业控制程序。这些程序中采用的控制方法都是基于开关信息的顺序响应控制，这种控制方法的优点是简单、动作可靠，但缺点是精度不高。

在实用机器人上为了实现精确控制，更常用的控制方法是伺服控制。例如，为使机器人机械臂准确到达指定位置，每个关节的控制都采用基于旋转编码器反馈的位置反馈伺服控制。如果要精确控制机械臂施加给作业对象的力，则需要用到关节力的反馈伺服控制。

为了让同学们对机器人反馈控制方法有初步了解，本章以如何实现机器人小车行程控制为例对该方法进行简要的介绍。从内容上看，本章可以算作一个机器人控制的小实验项目，因此没有再细分成小节，仅将内容划分为三个部分，分别介绍了旋转编码器的原理、一种简易编码器的制作方法、机器人小车行程控制程序。

教材将本章定为选学内容，主要是考虑到学时的限制。由于反馈伺服控制是机器人控制中的一种基本方法，因此建议在条件许可的情况下学习这部分内容。

一、教学目标

- (1) 掌握旋转编码器测量轴转角的基本原理，学会一种简易旋转编码器的制作。
- (2) 搭建利用编码器反馈控制简易机器人行程的系统，学习反馈伺服控制的编程方法。

二、结构分析

本章的主要目的是以机器人小车行程控制为例，采用完成一个实验项目的形式让同学们体会和学习反馈控制的原理及应用。因此，本章首先在“现象与问题”中提出了有待解决的项目问题：如何精确控制机器人小车的行程？

反馈控制系统的关键因素之一是具有信息反馈功能的传感器。为了实现机器人小车的行程控制，在正文第一部分首先讲述了一种可以测量车轮行驶距离的传感器——旋转编码器，包括它的组成结构以及测量原理。随后在第二部分中针对本课程使用的简易机器人小车，介绍了一种简易旋转编码器的制作方法，它能测量小车车轮的转角。

正文第三部分介绍了如何利用自制的旋转编码器实现机器人小车的行程控制，包括控制系统的搭建以及控制程序的编写，并且在随后的“实践活动”及“活动延伸”中让同学们完成相关的实验。

三、教学建议与说明

本章涉及反馈控制的概念，而在通用技术的必修课《技术与设计 2》中同学们曾经学过有关的知识。因此，在讲述本章内容前教师可以先通过反馈控制的框图（图 6.1），简要回顾一

下反馈控制的概念和原理。

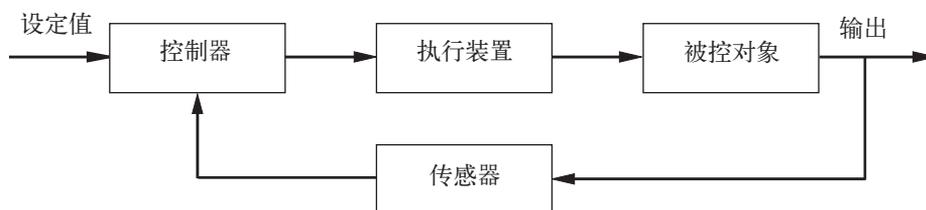


图 6.1 反馈控制原理框图

由于“现象与问题”中提出的与本章后续内容有关，因此有必要先让同学们参考其中给出的数据，用开环延时控制的方法完成机器人小车的行程控制实验，控制程序用一句 C 语言的 forward 函数就可实现。同学们的实验结果可能与表中的数据不一致，这种现象很正常，也正是该实验要说明的问题——开环延时控制不稳定。

•教材第 135 页“现象与问题”的参考答案如下：

1. 造成理论值与实验结果差异的原因很多，包括驱动电机性能的差异和变动、电池电压不稳定、控制参数设置不同、延时时间不准、地面情况的变化等。

2. 较理想的解决办法是采用一种能精确测量小车行进距离的传感器，将该传感器信号反馈给机器人控制器，通过随时监测距离误差进行伺服控制。

下面就可以紧接着上述第 2 个问题的答案讲述教材正文的内容，讨论如何利用距离传感器实现小车行程的反馈控制。

首先，选择旋转编码器作为测量机器人小车行进距离的传感器。这种传感器的特点是数字量输出、与控制器接口以及数据处理简单，它是目前最常用的转轴角度传感器。有关编码器的基本工作原理教材讲述得比较清楚，只需对照教材图 6.1 讲清它的结构组成和转角测量方法即可。另外，在教材第 136 页上的“新视窗·知识外延”中介绍的编码器分辨率的概念比较重要，它涉及传感器的测量精度，教师应向同学们介绍，然后可以向同学们发问：如何提高教材图 6.1 中编码器的分辨率？答案是增加码盘上黑白区间的数量。

了解编码器的原理后，接下来便是制作与第一章搭建的机器人小车配套的简易旋转编码器。制作过程可以按教材给出的步骤进行。需要注意的是，制作的码盘要同车轮一起转动，其直径不能超出车轮，略小即可。所用的光电传感器就是第三章中讲的光电判读器，制作过程中要注意将它对准码盘的位置。

•教材第 137 页“探究尝试”的参考答案如下：

1. 制作的编码器码盘有黑白区间各 5 个，它转动一周光电传感器输出 10 个脉冲（黑色对应高电平脉冲，白色对应低电平脉冲），因此每个脉冲对应的小车前进距离应为车轮周长的 $1/10$ 。

2. 区别在于电机输出轴与车轮之间存在减速传动比。如果传动比等于 5，即电机轴转 5 圈车轮才转 1 圈，那么同样的编码器（码盘）装在电机上输出一个脉冲，对应的小车前进距离就只有装在车轮上的 $1/5$ 。这表明，将编码器安装在不同的轴上，得到的每一个脉冲输出所对应的机器人小车的行程是不同的，也就是分辨率不同。因此我们可以得出一个很重要的结论：一般都应将编码器安装在电机轴上，以便得到高分辨率。

最后就是如何用自制的编码器实现机器人小车的行程控制。第一步是按教材图 6.4 搭建反馈控制系统。由于机器人小车及编码器在前面已搭建完毕，这里只需将编码器中的光电传感器接头插入机器人控制器的某个传感器输入口（教材的举例是插入通道 1）。第二步就是编写控制程序。教材中举例给出了一个程序的流程图及清单，并对程序做了详细的解释，同学们读懂它并不难。然后可以让同学们录入程序，完成“实践活动”中的任务。

本节最后“活动延伸”中的两个实践任务都比较难，第一个是用两个编码器实现机器人的转弯控制，难度在编程上；第二个可用于升降台或抓球手的升降控制，难度在编码器的制作安装上。其实除了“活动延伸”提供的实践内容外，还可以让同学们利用编码器进行更高级的控制研究，例如，如何控制机器人的速度，让它在到达目标点前减速慢行？

四、参考资料

相差式旋转编码器

教材第六章讲述了一种简易旋转编码器的原理。采用这种基本的旋转编码器，虽然可以得到轴的转角和转速，但却不能分辨轴转动方向的变化，因为无论码盘所在轴的转向如何改变，控制器采集到的都是一串高低电平脉冲。

为了解决上述问题，研究人员发明了一种更高级的旋转编码技术，即相差式编码，它不仅能测量轴的转角和转速，还能判断轴的转向。相差式旋转编码器已在机器人上广泛应用。例如，在关节式机械臂上，编码器可以直接测量轴的转动；而在直角坐标机器人上，滑块的直线运动通常由一组丝杠传动机构转换而来，编码器通过测量丝杠的转角就能换算出直线运动的位置。相差式编码器的另一个用途是确定移动机器人的绝对位置。通过测量机器人车轮的转角，并将信号进行累计（前进时相加，后退时相减），就可以换算出机器人从起点所行进的距离。下面简要介绍一下相差式旋转编码器的原理。

在教材介绍的简易旋转编码器中，一个码盘上只有一个光电传感器，解码程序通过连续地监测传感器输出的脉冲方波信号，并用计数器进行累计，就可以得出轴的转动位置。而在相差式编码器中，一个码盘上对应有两个光电传感器（图 6.2），这样码盘转动时就有两路脉冲信号输出。而且这两个传感器对准码盘的相对位置有特殊的要求，要使两个传感器输出信号在相位上差 $1/4$ 周期，即 90° （图 6.3）。这样，当对两个传感器的信号进行高速采样时，任意时刻就只有一个传感器的信号在变化。如果能分辨出是哪个传感器在变化，那么就可以确定轴的转动方向。

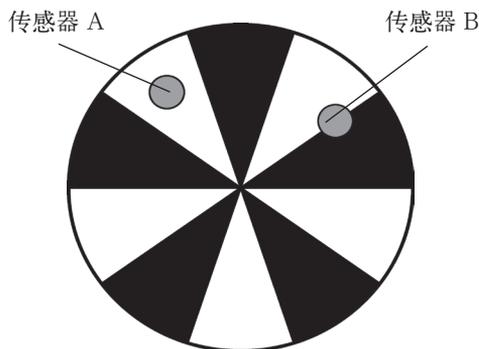


图 6.2 相差式编码器光电传感器布置

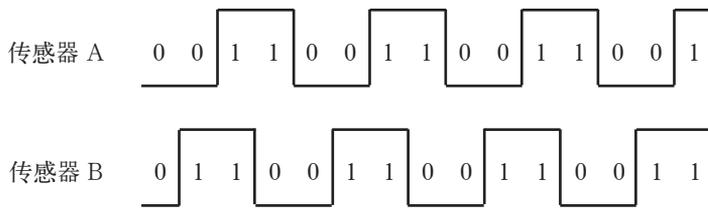


图 6.3 相差式编码器的信号流

为了对上述相差波形解码，需要连续采集两个传感器的信号。每次采集了当前信号状态后，都要用它们与前一次采集的信号状态比较。假设传感器前一次处于图 6.4 所示的中间位置（ $AB = 10$ ，即传感器 A 的状态为 1，传感器 B 的状态为 0），而当前采集的状态变为 $AB = 00$ ，说明轴为顺时针转动，位置计数值就增加；如果当前采集的状态变为 $AB = 11$ ，则说明轴逆时针转动，位置计数值减少。

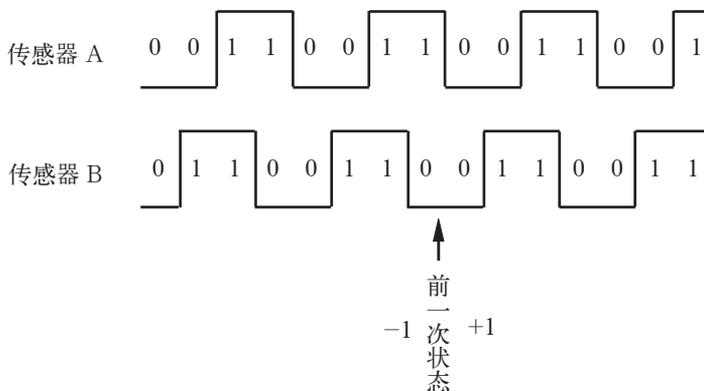


图 6.4 相差信号的状态变化过程

为了得到一种通用计数算法，可以将编码器“前一次状态”的 4 种可能（即 $AB = 00, 01, 10, 11$ ）与“当前状态”的 4 种可能排列成一个表格（表 6.1）。程序中，首先找出“前一次状态”所在行与“当前状态”所在列交叉位置对应的项。如果得到的项为“0”，表明轴没有转动，状态无变化；如果得到的项为“+ 1”，表明轴为顺时针转动，计数值增加；如果得到的项为“- 1”，表明轴为逆时针转动，计数值减少；如果得到的项为“#”，表明编码器出错，因为这时两个传感器的状态同时变化，可能是由于轴转动过快。

表 6.1 相差式编码器的状态转变表

前一次状态 \ 当前状态	00	01	10	11
00	0	+1	-1	#
01	-1	0	#	+1
10	+1	#	0	-1
11	#	-1	+1	0