



普通高等教育“十二五”规划教材

GUANGJIDIAN YITIHUA JISHU SHIXUN

光机电一体化技术实训

宋凤莲 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

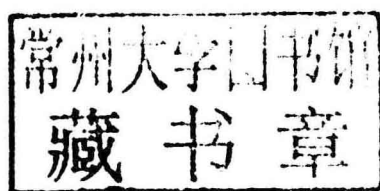


普通高等教育“十二五”规划教材

GUANGJIDIAN YITIHUA JISHU SHIXUN

光机电一体化技术实训

宋凤莲 编
巫世晶 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是《普通高等教育“十二五”规划教材 工程实践（第二版）》的配套教材，其特点是理论知识与基本实践技能训练、综合创新训练的有机结合。本教材主要介绍光机电一体化技术的基础知识及 C 语言编程的基本方法，以典型机电一体化产品——简易机器人和快速成型设备作为实训载体，设置了基础型、综合型、创新型多个不同梯度的实训项目。

全书共分 5 章，包括概论，MCS-51 单片机及 C 语言编程，实训项目，自动化装配系统教学演示模型介绍及熔融挤压快速成型设备，系统地阐述了光机电一体化技术（产品）的构成要素、单片机及 C 语言编程方法、实训模块的设计、机电系统集成与实训的要求和步骤，内容新颖，实训具有趣味性和挑战性。

本书可作为高等院校机械类及相关专业开展实践教学或创新活动的参考用书，亦可作为有关工程技术人员参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

光机电一体化技术实训/宋凤莲编. —北京：中国电力出版社，
2011.11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2280-6

I. ①光... II. ①宋... III. ①光电技术—机电一体化—高等学校—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 220943 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 12 月第一版 2011 年 12 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 5.75 印张 135 千字
定价 11.50 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有。翻 印 必 究



前 言

以不同学科之间的交叉与高度融合为特征的光机电一体化技术已经成为 21 世纪最具魅力的朝阳产业之一,该技术综合运用了机械、微电子、自动控制、计算机、信息、传感器、电子技术以及光学技术。目前不少院校将光机电一体化实训教学纳入大学生的公共选修课范畴,旨在为培养宽口径、复合型、创新型人才提供理论与实践平台。为满足这一需求,编写了这本适合独立设课的光机电一体化技术实训教材。

为了探索高等工程教育的新模式,将培养学生综合素质“从口号变为落实”,本教材做了一些尝试,在吸收武汉大学和兄弟院校工程训练教学研究与实践成果的基础上编写而成。作为“工程实践”课程的配套教材,本书力图使学生在“做中学,学中做”,通过小组式的项目训练,以典型的光机电一体化产品(机器人)作为实训载体,以培养学生的综合素质为目标,以兴趣驱动学生将知识的被动接受变为主动获取,通过实训模块的设计,力求使光机电一体化基本理论知识与技能训练、综合设计能力、创新思维能力训练、团队协作能力训练融为一体。

本书设置了不同梯度的实训项目,且兼具趣味性和挑战性,以满足不同知识层次结构的学生需求,力求提高学生的知识综合运用能力及自主探究问题的能力。

本书由宋凤莲编写,巫世晶教授担任主审。

在本书的编写过程中,石端伟教授提出了许多宝贵的意见,盛宗建老师参加了绘图及文字校对工作,北京殷华激光快速成型与模具技术有限公司及欧鹏科技有限公司提供了宝贵的资料,在此深表感谢。

由于作者水平有限,难免有不妥之处,敬请读者斧正。

编 者

2011 年 12 月

目 录

前言	
第1章 概论	1
1.1 概述	1
1.2 基础元件	5
第2章 MCS-51 单片机及 C 语言编程	25
2.1 MCS-51 系列单片机概述	25
2.2 单片机的基本结构及引脚功能	25
2.3 单片机的工作方式	28
2.4 C 语言概述	31
第3章 实训项目	44
实训一 机器人的组装与测试	44
实训二 C51 单片机编程环境的创建使用与电路的搭接	48
实训三 机器人巡航控制	53
实训四 机器人触觉导航	57
实训五 机器人红外线导航	60
实训六 基于红外传感器的循迹智能机器人	62
实训七 机器人的距离检测——尾随机器人	63
实训八 机器人的桌面边沿探测	67
第4章 自动化装配系统教学演示模型介绍	69
第5章 熔融挤压快速成型设备	72
5.1 快速成型设备及分类	72
5.2 熔融挤压快速成型工艺	72
5.3 Aurora 软件功能介绍	73
5.4 快速成型设备的使用	77
5.5 常见疑难问题解答	82
5.6 模型的后处理	83
附录 光机电一体化技术实训报告	85
参考文献	86

第1章 概 论

1.1 概 述

光机电一体化技术是由光学、机械、微电子、信息及其他相关技术交叉与融合而构成的综合性高新技术。20世纪70年代,微电子技术向机械工业领域渗透,使机械工业领域发生了深刻变革,从而产生了机电一体化技术。经过几十年的发展,从20世纪90年代开始,光电子技术、激光技术与机电一体化技术融合,现代机械系统发展成为集光、机、电、磁、液、气于一体的技术系统,即光机电一体化技术系统。光机电一体化技术可概括为:从系统的观点出发,综合运用光电子技术、机械技术、微电子技术、自动控制技术、计算机技术、信息技术、传感测控技术及电力电子技术,根据系统功能目标要求,合理配置与布局各功能单元,在多功能、高质量、高可靠性、低能耗的意义上实现特定的功能价值,并使整个系统最优化的系统工程技术。由此而产生的功能系统,则成为一个机电一体化系统或机电一体化产品。因此,“机电一体化”涵盖“技术”和“产品”两个方面。

光机电一体化技术在众多领域得到了广泛应用。家电领域的室内空调、全自动洗衣机等都是光机电一体化产品,它使人们的生活变得舒适且多姿多彩;在制造领域,光机电一体化技术改变了传统的加工方式,如数控机床和工业机器人,极大提高了生产效率。许多发达国家将光机电一体化的前沿技术作为国家高科技技术发展战略的一个重要方向。

按功能划分光机电一体化产品有以下五种。

(1) 数控机械类。包括数控机床、加工中心、工业机器人、全自动洗衣机等,这类产品的特点是执行机构为机械装置。

(2) 电子设备类。包括电火花线切割机床、激光加工设备、超声波加工设备等,这类产品的特点是执行机构为电子装置。

(3) 机电结合类。包括CT扫描仪、自动售货机等,这类产品的特点是执行机构是机械装置和电子装置有机结合。

(4) 电液(气)伺服类。包括自动化装配线、起重机械等,这类产品的特点是执行机构为液压(气压)驱动的机械装置。

(5) 信息控制类。包括磁盘存储器、复印机、传真机等办公自动化设备,这类产品的特点是执行机构完全由接受的信息控制。

1.1.1 光机电一体化技术(产品)的组成要素

光机电一体化系统一般由控制、感知、运动、动力及结构五大组成要素有机结合而成。

控制组成要素即控制及信息处理部分,它是将来自测试传感部分的信息及外部直接输入的指令进行集中、存储、分析、加工处理后,按照信息处理结果和规定的程序与节奏发出相应的指令,控制整个系统有序运行。

感知组成要素即测试传感部分,它是对系统运行所需本身和外部环境的各种参数和状态进行检测,并转换为可识别的信号,传输给信息处理单元,经过分析、处理后产生相应的控

制信息。

运动组成要素即执行机构，它是根据控制及信息处理部分发出的指令，执行规定的动作和功能。

动力组成要素又称动力驱动部分，依据系统控制要求，为系统提供能量和动力以使系统正常运行。

结构组成要素即机械本体，它是系统的所有功能要素的机械支撑结构，一般包括有机身、框架、支撑、联接等。

机电一体化系统（产品）构成要素与人体构成要素的对应关系见表 1-1，其相应的五大功能如图 1-1 所示。

表 1-1 机电一体化系统（产品）构成要素与人体构成要素的对应关系

机电一体化系统（产品）要素	功 能	人体要素
控制组成要素	控制（信息存储、处理、传送）	大脑
感知组成要素	检测（信息收集与变换）	感觉器官
运动组成要素	驱动（操作）	手、脚
动力组成要素	提供动力（能量）	肾
结构组成要素	机械支撑结构	骨骼

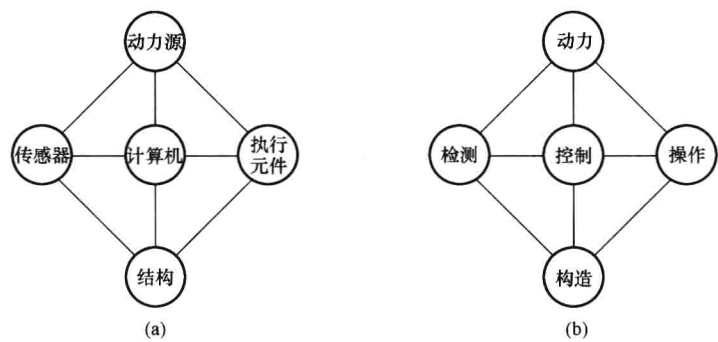


图 1-1 机电一体化系统（产品）的五大要素及其相应的五大功能
(a) 五大要素；(b) 五大功能

下面以室内空调为例介绍光机电一体化产品。如图 1-2 所示为室内空调中嵌入控制器后其输入/输出信号和空调所具有的功能。

1.1.2 光机电一体化技术的主要应用领域

一、机器人

(一) 医用机器人

医用机器人有护理机器人、临床医疗用机器人、医用教学机器人等。

著名的有美国 TRC 公司的 Help Mate 机器人可代替护士送饭、送病例和化验单等；美国“诺埃尔”的教学机器人可模拟孕妇生产，提高医护人员的临场反映；美国研发的“达·芬奇系统”，它拥有 4 只机械触手，医生坐在电脑前，该系统可以精确完成心脏瓣膜修复手

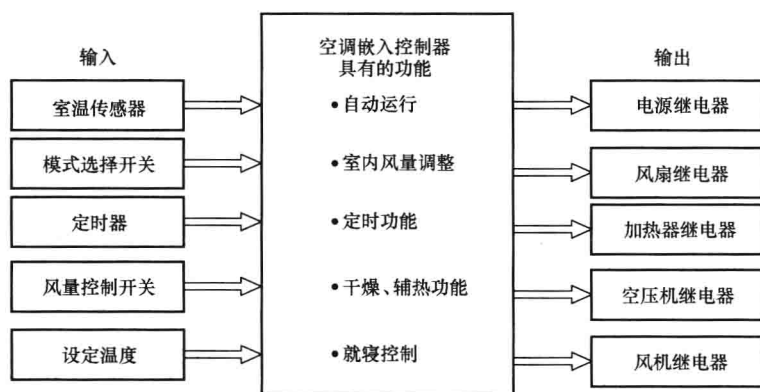


图 1-2 空调嵌入控制器后其输入/输出信号及其所具有的功能

术和癌变组织切除手术。

英国科学家研发了一种护理机器人，可用来分担护理人员繁重琐碎的护理工作：确认病人的身份并准确无误地分发所需药品，未来可检查病人体温、清理病房，甚至可以通过视频传输帮助医生及时了解病人病情。目前伦敦已有多家医院在药房安装了售药机器人。

国内第一代医用机器人 1997 年 5 月进入脑外科，由美国华盛顿大学医院学进修神经外科回国的田增民和从意大利学习机器人归来的王田苗进行跨学科的合作、研究开发立体定向脑外科机器人。所谓机器人，其实是一种自动的、位置可控的、具有可编程能力的多功能机械手（这也是国际标准化组织对机器人的定义）。通过计算机产生的三维医学模型，可实现病灶的精确定位和手术的最小损伤，同时机械手可借助计算机，施行靶点定位、放射药物遥控操作注入、毁损病灶等。

1998 年，第二代脑外科手术机器人研制成功，中国人率先在世界实现了无框架立体定向机器人进行脑外科手术。术前，医生将 4 个精巧的标志贴在病人的头部，没有任何痛苦。计算机屏幕上实时显示穿刺针等进入脑部病灶部位，医生只需注视屏幕，便可借助键盘和鼠标操作机械臂做手术。由于没有了金属框架的遮挡，消除了手术中医生视野的死角。

（二）军事机器人

世界正面临一场研发机器人的军备竞赛，许多国家每天都在为机器人的无人化、自主化而努力。这种机器人能自主决定并实施致命行动，包括何时实施和向谁实施等。简单地说，这种机器人能够自己决定是否杀人。专家预测：能自主决定杀人的机器人 10 年内就有可能在战场上出现，从而爆发“机器人大战”，那将是人类一场噩梦的开始。下面介绍军事机器人在一些国家的研制情况。

2002 年初，美国国防部开展了一项由被称为美国智能战争教父的约翰逊牵头，名为“让人类避开战争怪圈”（缩略语就是“阿尔法”——Project Alpha）的项目研究。

2005 年，“阿尔法”项目提交了智能战争机器人项目的具体目标：最快于 2015 年，美军智能战争机器人部队将正式服役，这些智能战争机器人能在陆地、空中、太空、海上和海面下执行几乎所有的军事任务，更能完全代替人类士兵在极端环境下执行任务。而人类只负责战略任务，即使用智能战争机器人部队，如何最好地实现互动，指挥他们完成任务。研发智能战争机器人需要投入巨额经费，可一旦机器人战士成熟上阵，那么每名机器人战士的开

支只相当于人类战士的 10%!

2007 年,五角大楼决定投入了美国历史上最大的单笔军备研究费 1270 亿美元,研制大量无人战斗机械,10 年内智能战争机器人将成为美军未来的主要战斗力。“魔爪”的生产商 QinetiQNorthAmerica 公司于 2007 年推出 MAARS 机器人在伊拉克战场出现,装有机枪和榴弹发射器,可以执行放哨和狙击等任务。

德国是最先使用机器人士兵的国家,第二次世界大战期间曾用机器人代替士兵扫雷和爆破,当时德国的遥控战斗车辆实质上就是机器人装备,共制造了数千辆,开辟了使用机器人士兵的先河。

日本有“机器人王国”之称,机器人的产量及应用均位居世界前列,知名的大公司有日立、索尼等。由于其自身战败国的身份,美国政府长期对日本在军用机器人技术应用方面进行严格限制。

俄罗斯于 2007 年已成功研制出“越野车 - M3”排弹机器人,它能寻找并远距离消除爆炸装置。

韩国自行研制的智能型警戒战斗机器人“宙斯盾”,目前正为驻伊韩军站岗放哨,防止伊拉克反美武装分子的夜间偷袭。韩国计划在 2020 年前裁军 18 万人,开始了打造机器人军团计划,

(三) 工业机器人

工业机器人是典型的机电一体化产品。全球工业机器人的数量以每年 25%~30% 的速度增长。工业机器人的发展表现出以下特征。

(1) 从单机向整个制造业的集成化过渡。将设计、制造、经营管理、信息系统通过计算机及通信网络联系起来,形成计算机集成制造系统。

(2) 激光进入工业机器人领域。如激光焊接、激光打孔雕刻及清洗等。

(3) 微机电技术突飞猛进。1988 年美国成功研制 200 μm 微电机;2008 年美国成立纳米研究机构,提供 50 亿美元用于纳米机器人的尝试。

我国已将工业机器人列入国家高新技术研究发展计划(“863”计划)纲要。中国作为亚洲第三大工业机器人需求国,市场发展稳定,汽车及其零部件制造仍然是工业机器人的主要应用领域。目前国内已建立了多条弧焊机器人生产线,装配机器人生产线,喷涂生产线和焊装生产线。据统计,我国工业机器人的需求量以每年 30% 以上的速度增长。

未来工业机器人技术发展的重点有:危险、恶劣环境下作业的机器人,主要用于防暴、高压带电清扫、星球检测、油气管道等环境下工作;其发展趋势是智能化、低成本、微型化、高可靠性和易于集成。

二、数控机床

数控机床是典型机电一体化的产品,它通过计算机发出指令直接控制机床运转。适用于加工多品种、结构较复杂、精度要求较高、需要频繁改型的零件。数控机床及相应的数控技术经过 40 年的发展,在结构、功能、操作和控制精度上都有迅速提高,具体表现如下。

(1) 总线式、模块化、紧凑型的结构,即采用多 CPU、多主总线的体系结构。

(2) 开放性设计。即硬件体系结构和功能模块具有层次性、兼容性、符合接口标准,能最大限度地提高用户的使用效益。

(3) WOP 技术和智能化。系统能提供面向车间的数控编程(WOP)技术和实现二、三

维加工过程的动态仿真,并引入在线诊断、模糊控制等智能机制。

(4) 能实现多过程、多通道控制。即具有一台机床同时完成多个独立加工任务或控制多台和多种机床的能力,并将刀具破损检测、物料搬运、机械手等控制都集成到系统中去。

三、柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS)

柔性制造技术实际上是用计算机控制的自动化制造技术,是制造领域适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是制造业发展的主流趋势。柔性制造系统是由数控设备构成的加工系统、物料输送装置及计算机控制系统构成,它能根据市场需求迅速进行调整,适用于多品种、中小批量、频繁更改设计零散零件的批量生产。

1.1.3 光机电一体化技术的发展方向

光机电一体化技术的发展方向为智能化、集成化、微型化、模块化、网络化、绿色化。

(1) 智能化。近几年,处理器速度的提高和微机高性能化、传感器系统的集成化与智能化为嵌入智能控制算法创造了条件。智能光机电一体化产品可模拟人类智能,具有一定程度的判断推理、逻辑思维和自主决策能力,从而取代人类的部分脑力劳动。

(2) 集成化。集成化既包含各种技术的相互渗透、相互融合和各种产品不同结构的优化与复合,即技术的集成,又包含在生产过程中同时处理加工、装配、检测、管理等多种工序,即工序的集成。

(3) 微型化。微型机电一体化系统 (Micro Electronic-Mechanical System, MEMS) 高度集成了微型机构、微型传感器、微型执行器及信号处理器和控制电路,直至接口、通信和电源于一体的微型器件或系统。微电子机械系统的几何尺寸一般不超过 1cm^3 , 并正向微米、纳米级方向发展。

(4) 模块化。研制和开发具有标准机械接口、电气接口、动力接口、信息接口的机电一体化产品是一项复杂而重要的工程,它需要制订一系列标准,以便各部件、单元的匹配,生产企业可利用标准单元迅速开发新产品,同时也可以不断扩大生产规模,提高生产效率。

(5) 网络化。由于网络的普及,基于网络的各种远程控制和监视技术方兴未艾,而远程控制的终端设备本身就是光机电一体化产品。

(6) 绿色化。绿色化是时代的趋势,其目标是使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个生命周期中,对生态环境无危害或危害极小,资源利用率极高,是科学的可持续发展模式。

1.2 基 础 元 件

1.2.1 控制器

一、控制器的构成

控制器是用作控制的微型计算机 (简称微机)。如图 1-3 所示为微机的基本硬件构成,包括中央处理器 (CPU)、随机存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、输入/输出装置及辅助存储装置,它们通过数据总线、地址总线和控制总线与 CPU 相连。

控制器 (即控制用的微机,如单片机) 和普通计算机是微机的两个应用领域,普通计算

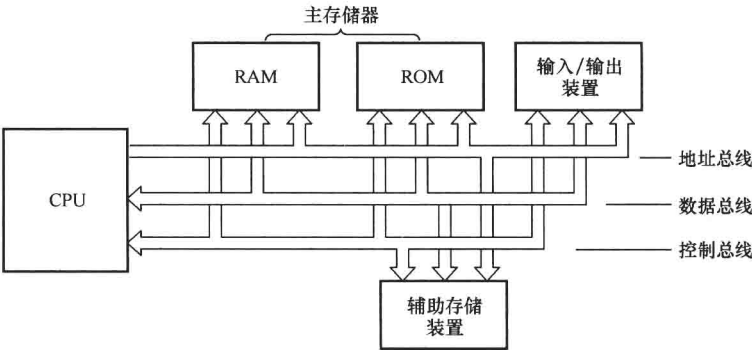


图 1-3 微机的基本硬件构成

机主要应用它的计算功能，在日常工作、科技方面处理较为简单的计算；控制用的微机即控制器在家电、机器人、汽车、测试设备等方面应用广泛。通常控制器的构成和参数如下。

(1) 微处理器。指微型计算机的 CPU (Central Processing Unit)，它是计算机的大脑，由一组寄存器（临时存储信息）、一个算术和逻辑单元（对信息执行操作）、一个指令和控制单元（决定 CPU 要进行的操作）构成。CPU 负责管理微机所有活动，并执行对数据的所有操作，它不断重复两件事：接受指令和执行指令。CPU 能够理解并执行由二进制代码组成的指令，这些指令通常用来执行数学运算（加、减、乘、除），逻辑运算（与、或、非），每条指令代表一个简单的操作。

按 CPU 中算术逻辑运算单元所能处理的数据位数，即 CPU 一次所能处理数据的最大长度，分为 8 位、16 位、32 位、64 位 CPU。8 位 CPU 是指一次能处理 8 位二进制数（8 位数据）的 CPU。单片微机中 CPU 大部分采用 8 位，如 AT89S52 系列，CPU 典型型号有 Z80、8080 等。

(2) ROM (Read Only Memory)。只能读取数据或程序的只读存储器，通常存储固定程序和数据。

(3) RAM。既能输出又能输入的随机存取存储器，用于存储输入/输出作业领域的数
据，如输入检测传感元件的信息和输出控制执行元件的信息。

(4) EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)。可擦写可编程可改变输入内容的只读存储器。

(5) 输入设备。把原始数据和程序输入计算机的设备，如键盘。

(6) 输出设备。输出计算结果的设备，如打印机、CRT 显示器等。

(7) 波特率。它是一个衡量通信速度的参数，表示每秒钟传送的位数。

(8) 单片机的位数。它是指单片机的 CPU 一次所能处理数据的最大长度，并且位数是指二进制位，而并非十进制位。

二、常用控制器

(一) 单片机

单片机如图 1-4 所示，在一块集成电路芯片（LSI）上集成有 CPU、ROM、RAM 以及输入/输出端口（I/O 口）电路、定时器、计数器、中断控制、系统时钟及系统总线等，该芯片就被称为单片微型计算机（Single Chip Microcomputer，SCM），简称单片机。

8 位单片机。INTEL 公司的 MCS - 51 系列、MOTOROLA 的 MC6801、Zilog 的 Z-8 系列、Rokwell 的 6501/6502 单片机、NEC 的 μ COM - 78 $\times\times$ 系列单片机、TI 的 TMS - 7000 系列。这些单片机的共同特点是片内 ROM/EPROM 容量为 4~8kB, RAM 达 128~256B。

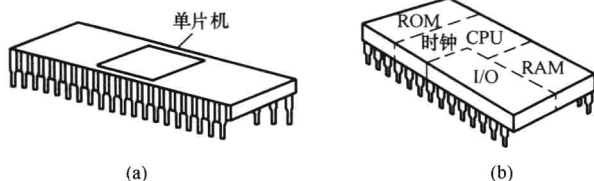


图 1-4 单片机

(a) 外形图; (b) 基本硬件构成

16 位单片机。INTEL 的 MCS - 96 系列、MOTOROLA 的 MC68HC16Z1、Mostek 的 68200、TI 的 TMS - 9900 系列等。

近年来, Intel 和 Motorola 等公司先后推出 32 位单片机, 其功能极强, 主要用于复杂高层次的控制系统。尽管单片机不断向纵深发展, 但目前乃至今后若干年, 8 位机仍旧是实际应用中的主导产品。MCS - 51 系列单片机是目前 8 位单片机的主流机型, 在家用电器、机器人、实时控制、智能化仪表等方面应用最广。

(二) 单板机

单板机如图 1-5 所示, 将 CPU 芯片、存储器芯片 ROM 和 RAM、I/O 接口芯片和简单的 I/O 设备 (小键盘、LED 显示器) 等装配在一块印刷电路板上, 再配上监控程序 (固化在 ROM 中), 就构成了一台单板微型计算机 (简称单板机)。

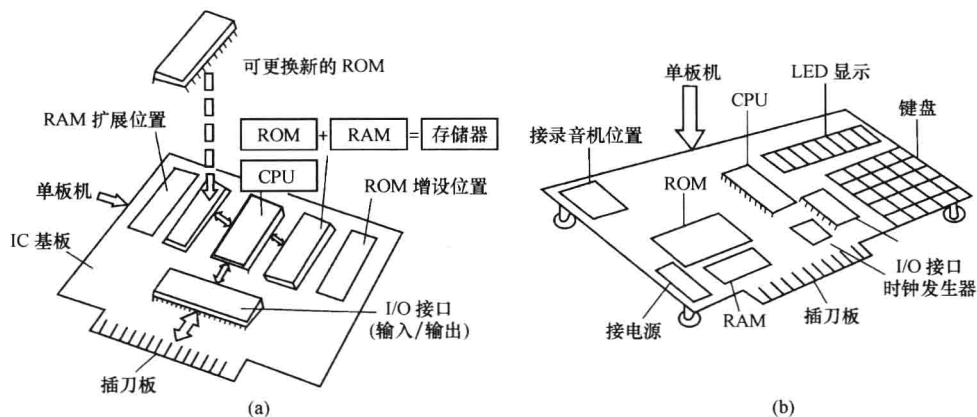


图 1-5 单板机

(a) 单板机的基本硬件构成; (b) 可进行编辑和数字显示的单板机

用单板机实现机电产品的机电一体化成本较低, 在简易数控机械设备、检测设备、工业机器人等领域中应用广泛。

(三) 可编程控制器

可编程控制器 (Programmable Controller) 是专门为在工业环境下使用而开发的一种计算机, 有人称为工业计算机。早期称为可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller), 简称 PLC, 现在为避免与个人计算机 PC (Personal Computer) 相混淆, 仍简称为 PLC。

1987 年国际电工委员会 (IEC 1131 - 1) 对 PLC 的定义: 可编程控制器是一种数字运算操作的电子系统, 专为在工业环境下应用而设计, 它采用一类可编程的存储器, 用于其内部

存储程序，执行逻辑运算、定时、计数与算术运算等面向用户的指令，并通过数字式或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。

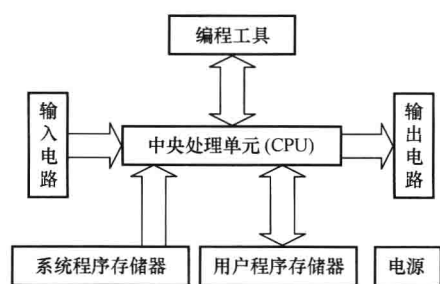


图 1-6 PLC 的组成

PLC 以微机技术为基础，其构成基本与微型计算机相同，由中央处理单元（CPU）、存储器（RAM、ROM）、输入/输出部件（I/O 接口）、编程工具和外围设备等组成，如图 1-6 所示。

（1）PLC 工作过程

1) 输入采样阶段。PLC 以扫描的方式接收现场各输入装置的状态和数据，并分别存入 I/O 映象区。

2) 程序执行阶段。PLC 按顺序对程序进行扫描，并分别对从输入、输出寄存器获得所需数据进行

运算、处理，将程序执行结果写入输出寄存器中保存。

3) 输出刷新阶段。执行完程序后，PLC 将寄存器中内容送入到输出状态的输出寄存器中，再驱动用户设备。

（2）PLC 的应用。随着 PLC 性价比的提高，PLC 应用范围的不断扩大，大致归纳为以下几类。

1) 开关量的逻辑控制。它取代了传统的继电器控制系统，实现逻辑控制、顺序控制，可用于单机控制、多机群控、自动化生产线的控制等。

2) 位置控制。大部分 PLC 制造商提供拖动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块，如金属切削机床、机器人等。

3) 过程控制。PLC 可对温度、压力、流量等连续变化的模拟量进行闭环控制。

4) 数据处理。PLC 具有数学运算、数据传递、转换、排序、查表、位操作等功能。

5) 通信联网。PLC 的通信包括 PLC 之间、PLC 与上位计算机间、PLC 与其他智能设备间的通信。

目前，世界上有 200 多个厂家生产 PLC，主要有美国的 AB 通用电气及莫迪康公司，日本的三菱、富士、欧姆龙及松下电工，德国的西门子，法国的 TE 施耐德，韩国的三星、LG 公司等。

1.2.2 电子元器件

（1）半导体。导电性能介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体，当外部条件（温度或纯度）发生变化时，其电导率将会发生很大变化。

（2）本征半导体。纯度非常高（纯度大于 99.99999999%）的半导体称为本征半导体。

（3）P 型半导体。在硅或锗等半导体材料中加入微量的硼、镉、镓或铝等三价元素，就变成以空穴导电为主的半导体，即 P 型半导体。

（4）N 型半导体。在硅或锗等半导体材料中加入微量的磷、锑、砷等五价元素，就变成以电子导电为主的半导体，即 N 型半导体。

（5）二极管。二极管是一种半导体，具有单向导电特性。也就是说，在正向电压的作用下，导通电阻很小，而在反向电压作用下导通电阻极大或无穷大。二极管的工作原理及符号

如图 1-7 所示。

根据二极管的单向导电特性,二极管可分为整流二极管、开关二极管、稳压二极管、发光二极管等。无绳电话机中常把它用在整流、隔离、稳压、极性保护、编码控制、调频调制等电路中。

二极管的静态特性如图 1-8 所示。当正向连接并且外加电压很低时,二极管中几乎没有电流流过;当外加电压达到某一值时,二极管电流将急剧增加,为防止烧坏,二极管通常与电阻串联使用,电阻起到分流作用。

当反向连接并且外加电压增至很大,二极管中几乎没有电流流过;当外加电压达到某一值时,二极管电流将急剧增加,二极管将被击穿,这种现象称为齐纳 (Zener) 现象或击穿现象。

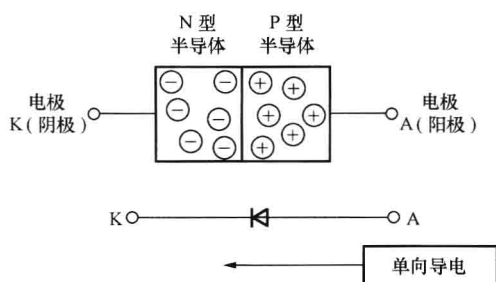


图 1-7 二极管的工作原理及符号图

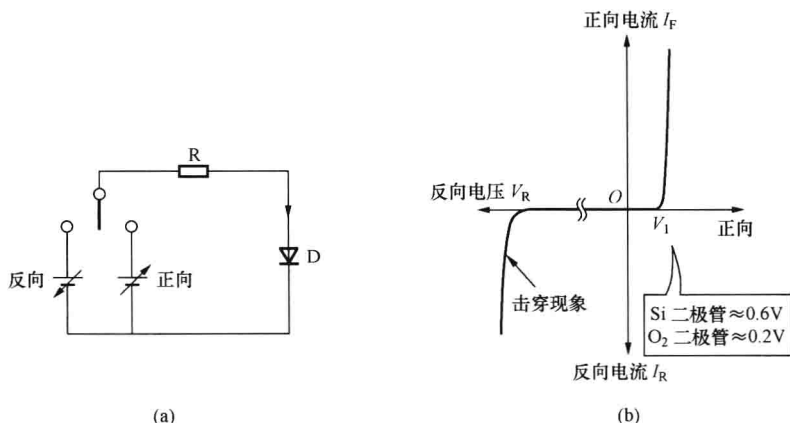


图 1-8 二极管的静态特性图

(a) 正向连接; (b) 电流特性

二极管正负极识别方法。二极管有两个电极,分为正负极,小功率二极管的 N 极 (负极),在二极管外表大多采用一种红色圈标出来,有些二极管则用二极管专用符号来表示 P 极 (正极) 或 N 极 (负极);也有采用符号标志为 “P”、“N” 来确定二极管极性的。在实训中常采用发光二极管 (LED)。

发光二极管 (LED) 的发光原理是在 PN 结的结合面上让电子与空穴再次结合,此时产生的能量以发光的形式释放出来。依光谱大致可分为红外线发光二极管及可见光发光二极管,人眼能感觉到的光波即可见光的波长在 380~780nm 之间,红外线波长在 780~1500nm 之间。红外线发光二极管与普通发光二极管的工作原理与发光条件一样,只是发射的光为不可见光——红外线。红外发光二极管及符号如图 1-9 所示。

在电子电路中一般用 LED 表示信号,或用作红外传感器中的发光元件,为了限制电流的大小,一般将 LED 与电阻串联使用。

发光二极管的正负极可从引脚的长短来识别,长脚为正,短脚为负。也可用万用表来对

二极管进行测量，当红表笔接二极管的负极，黑表笔接二极管的正极时，表针会动，说明它能够导电；然后将黑表笔接二极管负极，红表笔接二极管正极，这时万用表的表针根本不动或者只偏转一点，说明导电不良（万用表内部，黑表笔接的是内部电池的正极）。

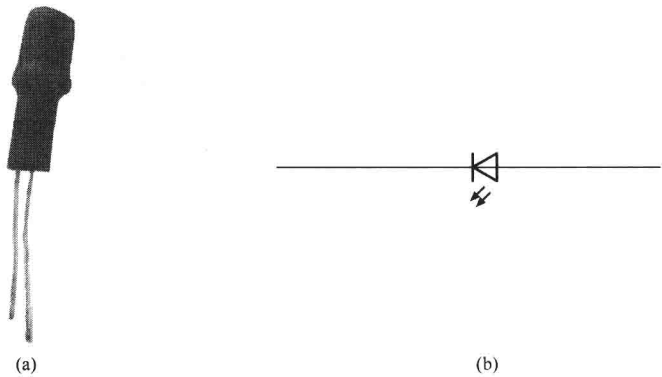


图 1-9 红外发光二极管
(a) 外形图；(b) 符号图

(6) 色环电阻。利用色环代替数字表示电阻的阻值及容差，普通色环电阻用 4 环色码表示，高精度色环电阻用 5 环色码表示。无论是 4 环色码还是 5 环色码，最后一道环（误差环）表示容差，前几道环表示电阻值，其中倒数第二道环表示 10 的指数。色环颜色与所代表数字的对应关系见表 1-2。

表 1-2 色环颜色与所代表数字的对应关系

颜色	阻 值			容差 (%)	颜色	阻 值		容差 (%)
4 色码	第 1 色环	第 2 色环	第 3 色环	第 4 色环	蓝	6	6	±0.25
5 色码	第 1 色环~第 3 色环		第 4 色环	第 5 色环	紫	7	7	±0.1
黑	0		0		灰	8	8	
棕	1		1	±1	白	9	9	
红	2		2	±2	金		10^{-1}	±5
橙	3		3		银		10^{-2}	±10
黄	4		4		无色			±20
绿	5		5	±0.5				

最后一道环即误差环应如何识别呢？在实践中，可以按照色环之间的间隔加以判别，如对于一个五道色环的电阻而言，第五环和第四环之间的间隔比第一环和第二环之间的间隔要宽一些，据此可判定色环的排列顺序。最常用标志误差的色环为：金、银、棕，尤其是金环和银环。棕色环既常用作误差环，又常用作有效数字环，且常在第一环和最末一环中同时出现，可以按照色环之间的间隔识别是第一环还是最末一环。

例如，某 5 色环电阻的颜色顺序为棕、黑、黑、黑、棕，对应的数字为 10001，其中第四位（倒数第二道环）表示指数，该色环电阻的阻值为 $100 \times 10^0 \pm 1\%$ 。

(7) 三极管。晶体三极管（简称三极管）内部含有 2 个 PN 结，分 NPN 型和 PNP 型两

种类型，两侧用同一种类型的半导体（P 型或 N 型）中间用另一种类型半导体（N 型或 P 型）形成的“三明治结构”，并且从每一层引出一个电极形成三个电极的器件称为三极管。它最主要的功能是电流放大及开关（通和断）的作用。电话机中常用的 PNP 型三极管有 A92、9015 等型号；NPN 型三极管有 A42、9014、9018、9013、9012 等型号。

三极管的基极用字母 b 表示，集电极用字母 c 表示，发射极用字母 e 表示。根据不同的组合方式，形成两种类型的三极管，一种是 NPN 型，另一种是 PNP 型。在三极管的符号表示中，有一个箭头的电极是发射极，箭头朝外的是 NPN 型三极管，而箭头朝内的是 PNP 型，实际上箭头所指的方向是电流的方向。

第 3 章实训中采用 NPN 型三极管 9013 型，如图 1-10 所示。将标有型号的一侧面向读者，从左至右依次为发射极、基极、集电极，即 e、b、c。NPN 型三极管的结构图与表达式如图 1-11 所示。



图 1-10 NPN 型三极管 9013 外形图

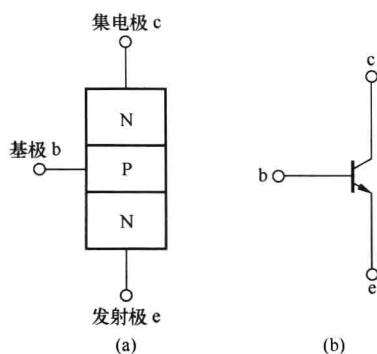


图 1-11 NPN 型三极管的结构图与表达式
(a) 结构图；(b) 表达式

三极管无论是 NPN 型还是 PNP 型，发射极电流分成基极电流和集电极电流，即 $I_e = I_b + I_c$ 的关系不变，NPN 型三极管电流的关系如图 1-12 所示。

1) 三极管的开关作用。如图 1-13 所示，当三极管基极输入电压为 0V 时，三极管处于截止状态，ce 和 be 之间均无电流通过；当三极管基极输入电压大于 0.6V 时，三极管处于导通状态，ce 和 be 之间有电流通过。

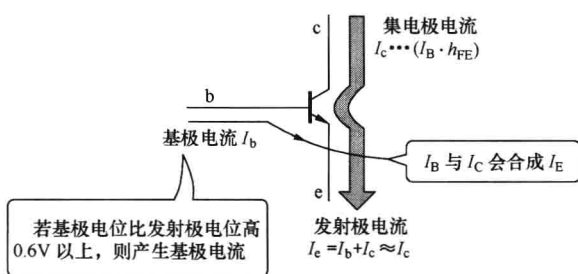


图 1-12 NPN 型三极管电流的关系

2) 三极管的放大作用。三极管可以把微弱的电信号变成一定强度的信号，即三极管具有放大作用。当三极管处于截止状态时，从输出端可以输出一个被放大的电压信号（12~24V），这种放大作用称为电压放大或功率放大，如图 1-14 (a) 所示。

三极管还具有一个重要的作用是电流放大，如图 1-14 (b) 所示。当三极管的基极上加一个微小的电流时，在集电极上可以得到一个基极电流 β 倍的电流，即集电极电流。集电极电流随基极电流的变化而变化，并且基极电流很小的变化可以引起集电极电流很大的变

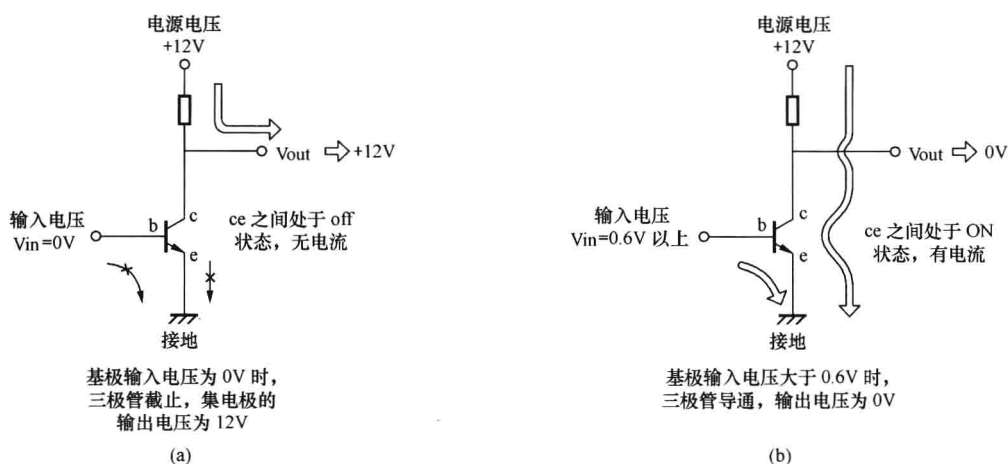


图 1-13 三极管的开关作用

(a) 三极管截止状态；(b) 三极管导通状态

化，这就是三极管最为重要的电流放大作用。

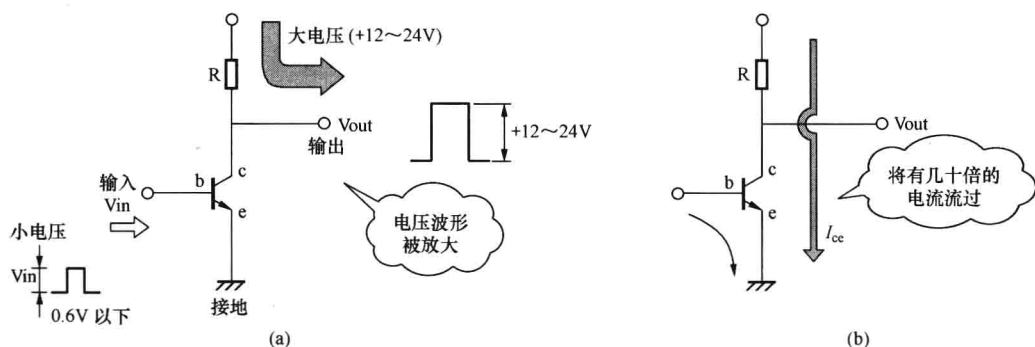


图 1-14 三极管的放大作用

(a) 电压放大；(b) 电流放大

(8) 晶振。晶振为系统提供基本的时钟信号，每个单片机系统里都有晶振，即晶体振荡器。在单片机系统里晶振的作用非常大，它结合单片机内部的电路，产生单片机所必需的时钟频率，单片机一切指令的执行都是建立在这个基础上的，晶振提供的时钟频率越高，单片机的运行速度也就越快。通过一定的电路可以使晶振产生一个频率固定的电压波形（一般是正弦波），从而为一些电路提供时钟脉冲。每个晶振的频率都是固定的，与外围电路无关。第三章实训项目采用单片机 AT89S52 的晶振频率为 11.0592MHz。

1.2.3 传感器

一、传感器的指标

传感器 (sensor) 是一种检测元件，可把非电输入信息转换成电信号输出的测量元件或装置。传感器一般有几个指标。

(1) 动态范围。指传感器能检测的范围，如电流传感器能够测量 1mA~20A 的电流，