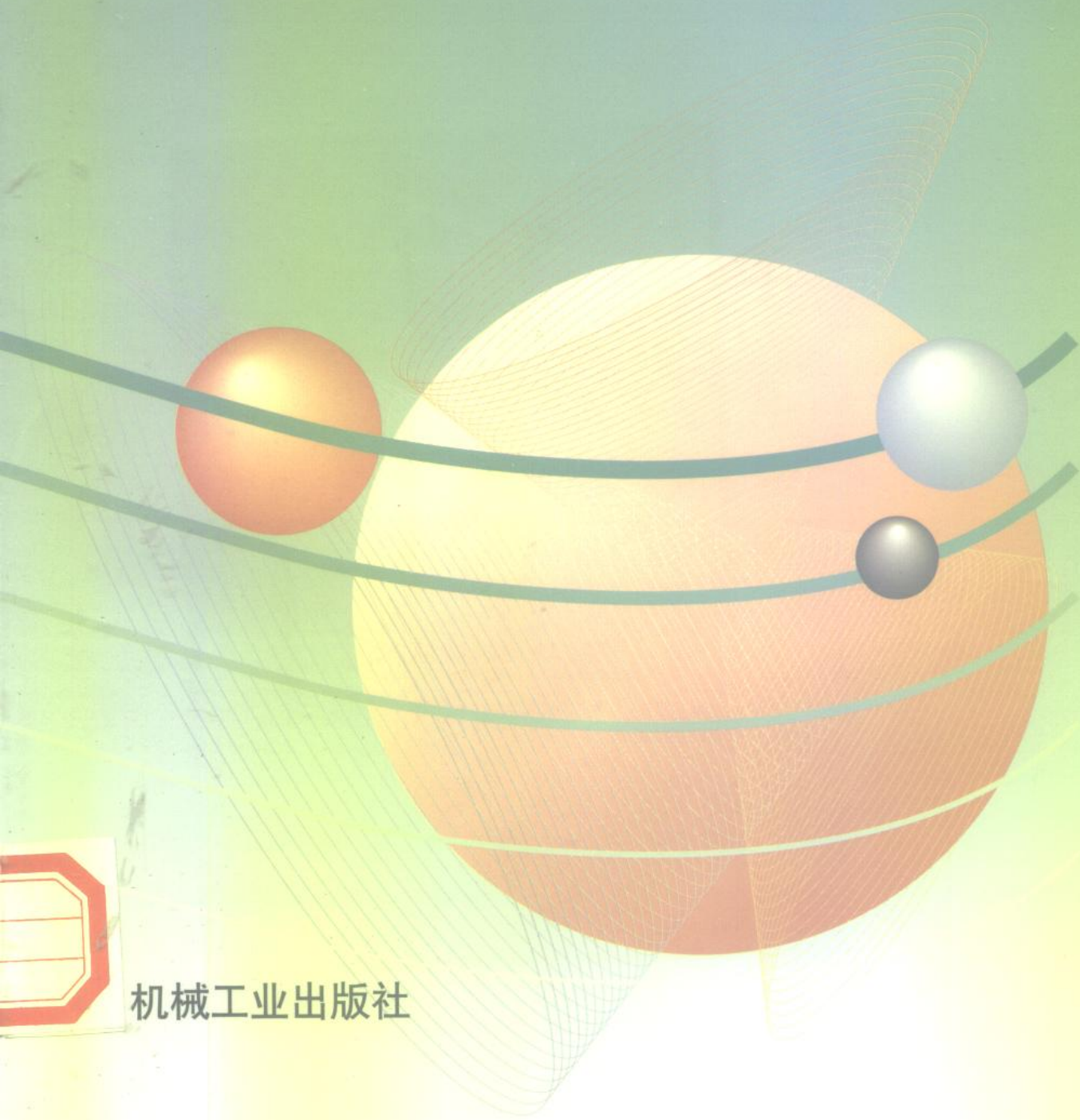


机电系统原理及应用

郝安民 主编



机械工业出版社

TH
X03

机电系统原理及应用

主 编 郝安民

副主编 刘 颖 狄春良



机械工业出版社

本书着重讲述几种典型的机电系统及其组成原理。书中内容主要包括：机电系统的基本概念，卧式车床的传动系统、主要结构和电气控制原理，组合机床的机械结构、液压系统、电气控制原理和PC控制系统，数控机床的传动系统、主要结构、电气控制、液压传动和数控原理及程序编制，工业机器人工作站的组成、机器人、变位机、夹具体、气动系统和控制系统。本书力求具有先进性、系统性和实用性，注重以机械结构为主线，机、电、气、液、计算机等的结合为特点，较全面深入地分析每一个机电系统。

本书适合于高等院校机械工程及自动化专业或与之相关的专业选用，也可供职大、业大、函大教学使用，亦可供机械制造类工厂和研究室的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电系统原理及应用/郝安民主编. —北京：机械工业出版社，1998.9
ISBN 7-111-06586-7

I. 机… II. 郝… III. 机电一体化-基本知识 IV. TH

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第20585号

出版人：马九荣（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
责任编辑：赵爱宁 王海峰 版式设计：张世琴 责任校对：魏俊云
封面设计：姚毅 责任印制：王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1998年9月第1版第1次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·9.25印张·222千字
0 001—2 500册
定价：15.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

前 言

机电一体化技术的迅猛发展使传统机械工业的面貌焕然一新，也促进了高等教育专业体系的改革。以机电一体化、机电工程等做为名称的新专业应运而生。国家教委在最近颁布的专业目录中，也将若干个专业合并为机械工程及自动化专业。这是高等教育面向国民经济和生产实际的具体体现，也必然会促进我国国民经济更加飞速地发展。

由于人们对“机电一体化”的理解不尽相同，所以到目前为止对于“机电一体化”还没有形成一个统一的定义。我们认为：电动机和继电器—接触器控制方式的出现，给机构和机械装置赋予了活力，使控制方式和生产自动化向前迈进了一步，并在较长时间内成为工厂生产自动化的主导。这应当看成是“机电一体化”的雏形。随着近些年来微电子技术和信息技术的高速发展和渗透，机械工业又发生了一次飞跃，这就是目前人们所看到的“机电一体化”。

机电一体化这门学科至少应当包含两个内容：即机电一体化技术和机电一体化产品。机电一体化技术主要包括技术原理和使机电一体化产品得以实现、使用和技术发展的技术；机电一体化产品主要是指机械系统与电气系统、微电子系统相互置换和有机结合，从而赋予新的功能和性能的新一代产品。按照系统分析的观点，这种产品是把机械部分和电子部分各作为一个环节，统一在一个“系统”之中，使其运行达到最优化。从这个意义上讲，把机电一体化产品称之为“机电系统”更简明、更准确。

我们在教学实践中体会到，许多专家、学者就机电一体化技术方面出版了不少好的教材，全面系统地介绍了与之相关的各种技术；而对于机电系统（机电一体化产品）的多数教材，一般都是从各个学科的角度，分门别类地予以分析。这已不适应机械工程及自动化专业的选材。另外，机电系统的种类繁多且覆盖面极广，举不胜举。为此，我们从当今机械工业自动化的三大支柱（数控技术、工业机器人和可编程序控制器）出发，选定一般机械制造中几种典型的机电系统为对象，在现有的《金属切削机床概论》、《机床电气自动控制》、《数控机床》和《可编程序控制器》等优秀教材的基础上，根据我们多年的教学实践、本校的实际情况以及作者在国内所从事的工业机器人和工厂生产自动化技术及应用方面的研究经历，组织编写了这本《机电系统原理及应用》试用教材。它以机械结构训练为基础，机、电、气、液、计算机的结合为特点，对几种机电系统进行较深入的分析，使读者能全面系统地认识并掌握机电系统及其组成原理。

教材的第一章介绍机电系统的基础知识，主要内容是《液压传动》、《机床电气控制技术》和《可编程序控制器》的基本知识。第二章是在贾亚洲编写的《金属切削机床概论》中卧式车床的基础上扩写的。主要目的是强化机械结构认识的训练，学习简单的继电器接触器控制和几种常用的电器元件。第三章以加工生产线中常用的单元设备为对象，重点分析机、电、液在机电系统中的协同控制，并通过两种控制方式（继电器接触器控制和PC控制器控制）的比较，掌握在现有设备上用PC控制取代继电器接触器控制的设备改造技术。第四章重点讲述数控机床的编程指令以及数控系统、PC控制和液压系统之间的相互联系。第五章以一台工业

机器人（一个典型的机电系统）为中心，详细地介绍了工业机器人焊接工作站（一个扩展了的、更高一级的机电系统）的构成，以及变位机、气动控制和机器人示教等内容。

在编写过程中，力求教材具有先进性、系统性和实用性。

本教材由北京科技大学郝安民主编。第一、三章由郝安民编写；第二、四章由刘颖编写；第五章由郝安民和狄春良合写；袁星军编写了机器人示教及控制程序等内容。

本教材先后经过马香峰教授和陈继武教授的审稿。他们严格把关，提出了不少修改意见，对本书的编写质量起了保证作用。范俊广、朱超甫、翁海珊教授和袁星军等同志对本书提出了许多建议性意见。另外还得到了北京起重机器厂、北京科技大学机器人研究所和机电工程研究所等有关同志的支持与帮助，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限和编写时间仓促，书中谬误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1998年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 机电系统的基本概念	1
第二节 电气原理图的画法及阅读方法	4
第三节 液压和气压传动简介	5
第四节 可编程序控制器的基本知识	9
第二章 CA6140 型卧式车床	19
第一节 概述	19
第二节 机床的传动系统	21
第三节 机床的主要结构	34
第四节 机床的电气控制原理	50
第三章 钻扩铰组合机床	60
第一节 概述	60
第二节 机床的传动及结构	62
第三节 机床的液压传动与电气控制系统	69
第四节 组合机床的 PC 控制系统	75
第四章 CK3263 型数控 (CNC) 转塔车床	80
第一节 概述	80
第二节 机床的传动与结构	81
第三节 编程指令与编程实例	88
第四节 机床的液压传动系统	99
第五节 机床的电气控制原理	102
第五章 工业机器人工作站	108
第一节 概述	108
第二节 工业机器人	112
第三节 工装夹具与变位机	122
第四节 工作站的气控系统	125
第五节 工作站的电气控制原理	131
第六节 工业机器人的示教	140
参考文献	142

第一章 绪 论

机电系统（即机电一体化产品）是多学科综合的产物。本书通过介绍几种典型实用的、具有代表性的机电系统，试图使读者对每个系统的机械结构、气液传动、信息技术和电气控制原理等内容有较深入的了解。为此，绪论中首先介绍与之有关的一些基本知识。

第一节 机电系统的基本概念

在科学技术飞速发展的现代，学科间互相交叉、互相结合，就产生了新的学科和新的技术。“机电一体化”就是机械技术与微电子技术、信息技术相互结合而产生的，这是现代机电工业发展的必然趋势。它使传统的机械工业的生产面貌焕然一新，出现了人类梦想的“机械文明时代”。

由于人们的理解不尽相同，加之“机电一体化”随着生产和科学的发展不断赋予新的内容，所以到目前为止关于机电一体化还没有一个统一的定义。当今容易被人们接受的是日本人于1981年3月在一篇报告中提出的结论：“机电一体化”这个词乃是在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进了电子技术，并将机械装置和电子设备以及软件等有机结合起来构成系统的总称。我们认为，电动机和继电器接触器控制方式的出现给机构和机械装置赋予了活力，使控制方式和生产自动化向前迈进了一步，并在较长时间内成为工厂生产自动化的主导。这应当看成是“机电一体化”的雏形。随着微电子技术和信息技术的高速发展及渗透，机械工业又产生了一次飞跃，这便是目前人们所看到的“机电一体化”。无可置疑，将来的学科会更加广泛、更加深入地发展，“机电一体化”的内涵会不断地更新变化，甚至会开创出人们目前还想象不到的崭新局面。

从目前来看，机电一体化这门学科，至少应当包含有两个含义：“机电一体化技术”和“机电一体化产品”。机电一体化技术主要包括技术原理和使机电一体化产品得以实现、使用 and 发展的技术；机电一体化产品主要是指机械系统与电气系统、微电子系统相互置换和有机结合，从而赋予新的功能和性能的新一代产品，亦即机电系统。

机电系统的实体部分是机械技术和电子技术，再通过信息技术把两者有机地结合在一起，从而构成功能更为先进的系统。按照系统分析的观点，机电系统就是把机械部分和电子部分各作为一个环节，统一在一个“系统”之中。为使其运行达到最优化，就要使构成系统的所有硬件采取最佳组合方式，就要将两部分融合在一起进行通盘考虑，决定哪些采用机械技术、哪些采用电子技术，并通过信息传输与处理将其有机地组合起来。因此，从某种意义上来说，机电一体化技术是系统工程学在机械、电子领域中的应用，而机电系统则显示出它的应用效果。

机电系统的种类繁多，要确切地对它进行分类是比较困难的，而且分类方法也不尽相同，如按机电系统的功能分，大致可以分成以下几类：

（1）在原有的机械本体上采用电子控制设备实现高性能和多功能。如：数控车床、机器

人、发动机控制系统、洗衣机、汽车防滑制动器等。

(2) 用电子设备局部置换机械控制机构。如：电子缝纫机、电子打印机、自动售货机、电子电动机、无整流子电动机等。

(3) 在信息机器中与电子设备有机结合的机构。如：电报机、传真机、打印机、复印机、录音机、磁带录像机、磁盘存储器和办公室自动化设备等。

(4) 用电子设备全面置换机械机构的信息处理机构。如：石英电子钟表、电子计算机、电子秤、字符处理机、电子交换机、按钮式电话机和电子计费等。

(5) 在检测系统中与电子设备有机结合的机构。如：自动探伤机、形状识别装置、CT 扫描诊断仪和生物化学自动分析仪等。

(6) 利用电子设备代替机械本体工作的机构。如：电火花加工机床、线切割放电加工机、激光测量机、超声波缝纫机等。

另外，还有按照产品应用来分类的，本书不重点介绍，可参看有关的书籍。

机电系统的构成要素很多，但其中五大要素是必需的。这是与人体的五大要素进行对比时从中得到的启发。

图 1-1 示出人体的五大要素。内脏是创造能源使人得以维持生命和进行活动的部分。人们通过五官接收外界传来的信息，头脑集中所有的信息并加以处理；与其他要素有机地统一起来进行控制，再通过手足将意志作用到外界。骨骼是把人作为一个整体组织起来，而且规定其运动。

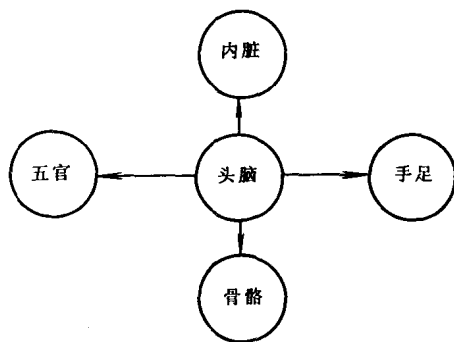


图 1-1 人体的五大要素

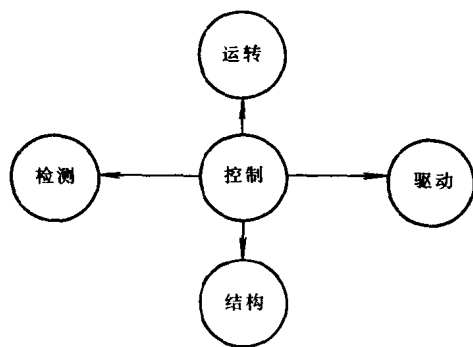


图 1-2 机电系统的五大功能

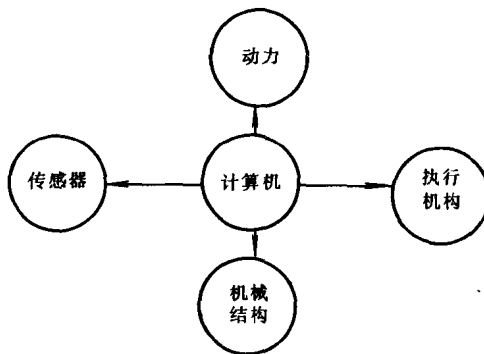


图 1-3 机电系统的五大要素

下面以数控车床为例，简述机电系统各组成部分的作用。

(1) 机械本体部分

基本上是原机械产品的机械结构部分，或者做了改进。数控车床的机械本体部分就是车床的机械结构部分。机械本体就像人的身驱骨架。

(2) 动力部分

机电系统的动力部分就像人体的内脏产生能量来维持人的生命运动一样，为本产品提供能量和动力功能去驱动执行机构。数控车床的主动力主要来自于电能。

(3) 计算机部分

计算机在机电系统中的作用正如人的头脑一样，用来进行数值分析、数值计算、数据信息处理，并能发出各种控制指令。这部分除了计算机外，还包括输入输出设备、外存储器和显示器等。数控车床中的 CPU 板、CRT 显示器、纸带输入机或键盘及打印机等构成了计算机部分。

(4) 传感器部分

传感器在机电系统中的作用相当于人体的五官。它将产品中的某些状态检测出来并送入计算机，或进行状态显示，或进行反馈控制。数控车床刀具的位置状态，用直线感应同步器进行检测。直线感应同步器就是传感器。

(5) 执行机构部分

执行机构在机电系统中的作用相当于人体中的四肢，用来完成各种动作。执行机构的工作方式有：液压、气动、电动等三种。数控车床刀具的走刀运动就是利用步进电动机驱动滚珠丝杠来完成的。

机电系统是一门发展中的边缘科学技术。与之相关的技术很多，主要归纳为以下几个方面：

1. 机械本体

机械本体必须从改善性能、减轻重量和提高精度等几方面考虑。

(1) 减轻重量 现代机械产品一般都是采用钢铁材料为主制造的。为了减轻重量，除了在结构上加以改进外，主要应考虑利用非金属复合材料。

(2) 提高刚度 包括静态刚度、动态刚度以及导向面、配合面的刚度问题，必须全面考虑。要保证在减轻重量的情况下，不降低刚度。

(3) 实现通用化、标准化和系列化 从改进组合单元结构设计和进行性能分析入手，使零部件具有互换性，并提高使用和维修水平。

(4) 提高系统整体的可靠性 仅从机械方面来讲，开展可靠性设计及普及该项技术的应用；加强对机电产品基础元器件的失效分析研究；并在提高元器件可靠性水平的同时，开展对整机系统可靠性的研究。机电一体化产品的设计从静强度设计到动强度设计，同时采用损伤容限设计、动力优化设计、摩擦学设计、防蚀设计、低噪声设计等。

2. 传感技术

根据用途可以分为检测自身内部信息的传感器和检测对象的外部传感器。检测装置由检测、转换、指示、信息处理、记录等部分组成。

传感器的问题集中在提高可靠性、提高灵敏度和精确度方面。提高可靠性与防干扰有直接的关系。为了避免电干扰，目前有采用光纤电缆传感器的趋势。对外部信息传感器来说，目前发展非接触型检测技术。

传感器向高级化发展，主要是实现元件化和智能化。所谓功能元件，就是用一片集成电路实现传感器和信息处理一体化。进一步建立起可以互换的传感器功能模块系列，建成传感器群的分级结构。智能化就是发展具有自诊断、自修正功能的传感器。

3. 信息处理技术

信息处理设备包括计算机主机或可编程控制器及与其配套的输入输出设备、显示器和外部存储器（磁盘等）。

4. 驱动技术

驱动方式按动力源的不同可分成：液压、气动、电动三种。前两种驱动系统比较复杂，包括液压泵、阀、液压缸（气缸）、过滤器、管路等。目前存在着功能可靠性、标准化以及减轻重量、减小体积等问题。

电动机作为驱动机构已被广泛采用，但目前在快速响应和效率等方面还存在一些问题。目前正在积极发展内装有编码器的电动机，以及控制专用组件—传感器—电动机三位一体的伺服驱动单元。

5. 接口技术

将组成机电系统各部分连接起来的元件就是接口。如在机械设备与微型机的连接中，由于机械动作相对微型机工作速度是极其缓慢的，微型机输出的信号是以并行方式传递脉冲数字代码，输入的信号是以数字脉冲形式，而机械设备所接受的电流或电平形式的信号，以及传感器从机械设备所检测并反馈给微型机的信号，都与微型机输出和输入信号存在很大的差别。这都要求解决两者间的接口电路。接口电路要完成两个作用，其一是信息交换，指的是工作速度快的计算机与工作速度慢的外围设备之间进行信息交换时所需要的接口。另一种接口是指电平转换电路，指的是同类型元器件之间进行连接时所需要的接口。

6. 软件技术

软件与硬件必须协调一致地发展。为了减少软件的研制成本，提高生产维修的效率，要逐步推行软件标准化，包括：子程序标准化、程序模块化、软件程序的固化、推行软件工程等。

第二节 电气原理图的画法及阅读方法

许多机械设备都是由电动机来拖动的，电动机则是通过某种自动控制方式来进行控制的。在一般机械中多数都由继电器接触器控制方式来实现其控制的，尤其是由三相异步电动机拖动的交流拖动系统更是如此。

电器控制线路是由各种有触点的接触器、继电器、按钮、行程开关等组成的控制线路。

电器控制线路的作用是实现电力拖动系统的起动、反向、制动和调速等运行性能的控制；实现对拖动系统的保护；满足生产工艺要求，实现生产加工自动化。

电力拖动电气控制线路主要由各种电器元件（如接触器、继电器、电阻器、开关）和电动机等用电设备组成。为了设计、研究分析、安装维修时阅读方便，在绘制电气控制线路图时，必须使用国家统一规定的电气图形符号和文字符号。

电气设备图样有三类。

1. 电气原理图

电气原理图表示电气控制线路的工作原理以及各电器元件的作用和相互关系，而不考虑各电路元件实际安装的位置和实际连线情况。绘制电气原理图，一般遵循下面的规则：

（1）电气控制线路分主电路和控制电路。主电路用粗线绘出，而控制线路用细线画。一般主电路画在左侧，控制电路画在右侧。

(2) 电气控制线路中，同一电器的各导电部件如线圈和触点常常不画在一起，但用同一文字标明。

(3) 电气控制线路的全部触点都按“平常”状态绘出。“平常”状态对接触器、继电器等是指线圈未通电时的触点状态；对按钮、行程开关是指没有受到外力时的触点位置；对主令控制器是指手柄置于“零位”时各触点位置。图 1-4 为某卧式车床控制线路的工作原理图。

2. 电气设备安装图

表示各种电气设备在机床机械设备和电气控制柜的实际安装位置。各电气元件的安装位置是由机床的结构和工作要求决定的，如电动机要和被拖动的机械部件在一起，行程开关应放在要取得信号的地方，操作元件放在操作方便的地方，一般电气元件应放在控制柜内。

3. 电气设备接线图

表示各电气设备之间实际接线情况。绘制接线图时应把各电器元件的各个部分（如触点与线圈）画在一起；文字符号、元件连接顺序、线路号码编制都必须与电气原理图一致。电气设备安装图和接线图是用于安装接线、检查维修和施工的。

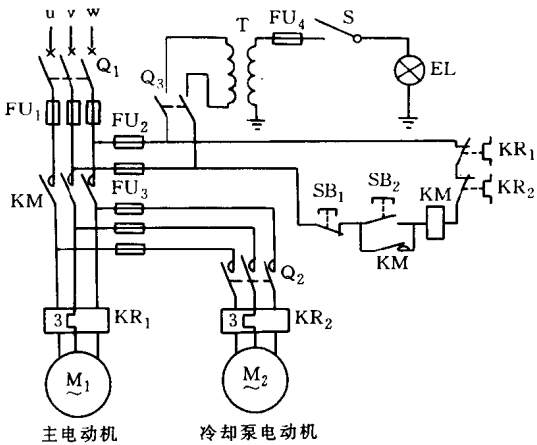


图 1-4 某卧式车床电气控制线路

第三节 液压和气压传动简介

一、液压传动的工作原理和系统组成

1. 液压传动的工作原理

图 1-5 为简化的某送料小车液压传动原理图。液压泵 3 在电动机（图中未画出）的带动下转动，油液经滤油器 2 进入液压泵，并在液压泵的推动下输入管路（见图 1-5a）。此时液压泵的输油压力决定于油液前进中所遇到的阻力，并与阻力相平衡。压力油经节流阀 4、换向阀 6 的左环槽、油管 9 进入液压缸 8 的左腔，推动缸体向左移动（因活塞杆固定），带动送料小车往前移动。当左移到终点时，只要搬动手柄使换向阀 6 的阀芯移到图 1-5b 的位置，压力油就经阀 6、管道 7 进入液压缸 8 右腔，使缸体向右移动。左腔的油经管道 9、阀 6、回油管 5 排回油箱。系统不工作时，搬动手柄使阀芯处于图 1-5c 的位置。

为了调节其速度，用节流阀 4 改变进入液压缸的流量。为了调节油液压力，用溢流阀 11 使油压超过规定值时泄放部分油液回油箱，维持油压为定值。

从上述例子可以看出，液压传动区别于其他传动方式的主要特点是：液压传动必须用具有一定压力的液体作为工作介质；传动中要经过两次能量变换，先是泵把机械能转变为液体的压力能，然后又把压力能转变成驱动负载运动的机械能；液压传动必须在密封容积内进行，且容积要发生变化，不密封则形不成压力，容积不变化则不能实现传递速度的要求；液压传动的机理是建立在假定液体不可压缩和静止液体压力各向相等基础之上的。

2. 液压系统的组成

从上述例子可见，一个完整的液压系统大致由以下四部分组成：

- (1) 动力元件 即液压泵，作用是向系统提供压力油；
- (2) 执行元件 即液压缸或油马达，是系统的执行机构；
- (3) 控制元件 包括压力、流量、方向等控制阀，如前述的溢流阀、节流阀、换向阀等；
- (4) 辅助元件 如上例中的油管、油箱、滤油器等，在系统中起输送、贮存、散热及过滤液体等作用。

3. 液压系统的图形符号

目前我国的液压与气动系统图均采用国标 GB786—76 所规定的职能符号绘制。图 1-6 即是用这套符号代替图 1-5 中的各元件结构符号后绘出来的液压系统图。

二、液压传动系统的动力元件和执行元件

1. 动力元件

常见的容积式液压泵按其输出流量是否可调分为定量液压泵和变量液压泵；按其结构形式不同可分为齿轮泵、螺杆泵、叶片泵、柱塞泵四种。下面以齿轮泵为例说明其工作原理。

常用的外啮合齿轮泵的工作原理如图 1-7 所示。泵内

装有一对参数相同的外啮合齿轮，齿轮两端靠端盖密封（图中未画出）。泵体、端盖和齿轮的各齿间槽之间形成许多密封工作腔。当齿轮在电动机拖动下按图示方向旋转时，啮合点右侧的齿逐渐脱离啮合，密封工作腔容积逐渐变大，形成局部真空，将油箱的油经吸油管吸入工作腔（进油）。齿间的油随着齿轮的旋转被带到左侧，而啮合点左侧的齿轮逐渐进入啮合，使密封工作腔容积减小而把齿间油挤压出去（压油）。实际输出的油压力决定于油液被挤压出去时所遇到的阻力，无阻力则形不成压力。当齿轮停转时，吸油和压油过程终止。

目前国产齿轮泵低压型压力为 2.5MPa，中高压型压力为 10~14MPa，叶片泵最高压力为 17MPa，国外已达 35MPa，个别小流量叶片泵已达 70MPa。

2. 执行元件

(1) 油马达 油马达实现的是旋转运动，其原理与结构和液压泵相同，但工况相反。仍以图 1-7 所示齿轮泵为例，当压力油从 P_2 口进入，从 P_1 口流出时，使齿轮按图示方向旋转，带动与之同轴的负载转动。油压的高低决定了输出力矩的大小，输出轴的转速由油的流量来

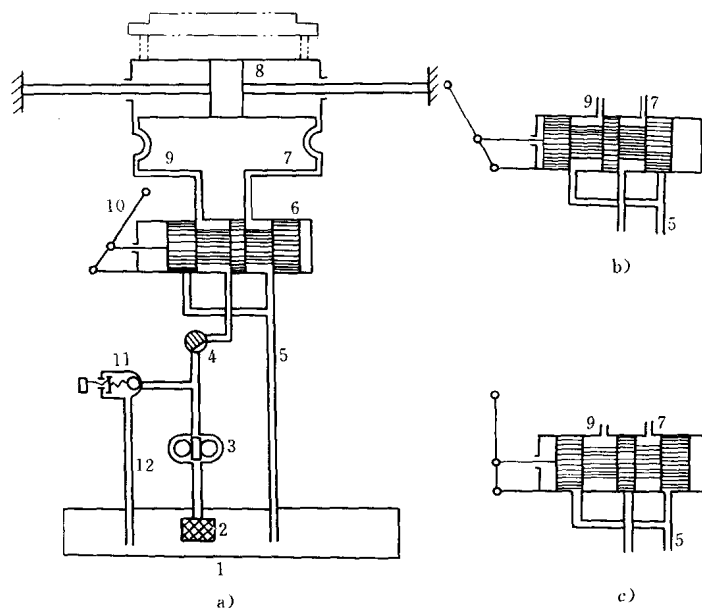


图 1-5 送料小车液压传动原理图

1—油箱 2—滤油器 3—液压泵 4—节流阀 5—回油管 6—换向阀
7、9—油管 8—液压缸 10—手柄 11—溢流阀 12—油管

控制。

(2) 液压缸 液压缸实现的是往复直线运动，分单作用型、双作用型、双作用双杆型、双作用伸缩型等几种。此外还有摆动液压缸，如图 1-8 所示。

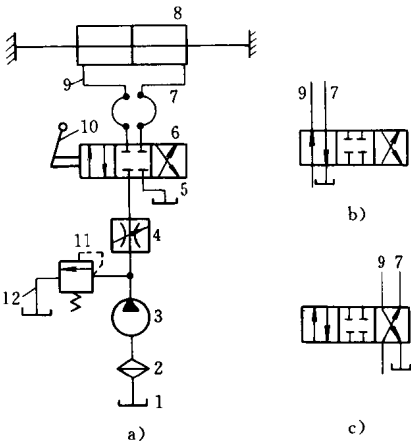


图 1-6 用职能符号表示的液压系统图

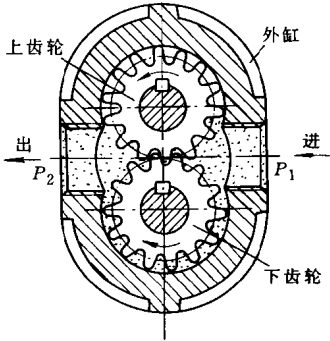


图 1-7 齿轮泵原理图

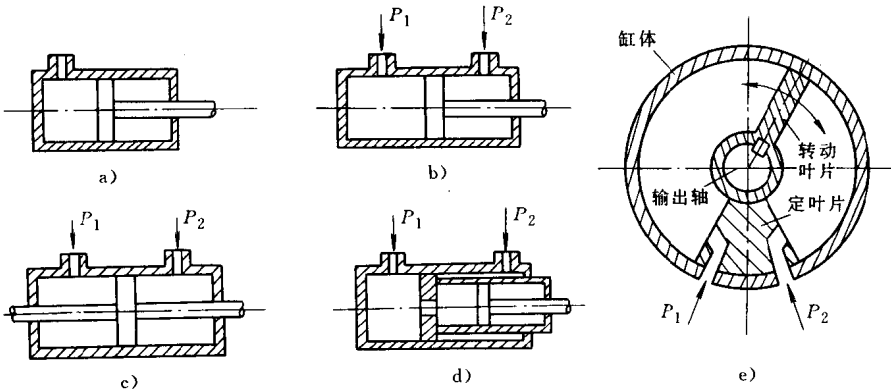


图 1-8 液压缸

a) 单作用型液压缸 b) 双作用型液压缸 c) 双作用双杆型液压缸
d) 双作用伸缩型液压缸 e) 摆动液压缸

双作用型液压缸利用油压力推动活塞或缸体作正、反两个方向的运动，其中单杆（活塞只有一个杆）型由于活塞两侧受力面积不等，故活塞（或缸体）往返运动时的推力和速度均不相同。双杆型液压缸两侧受力面积相等、两个方向的运动均平稳可控。摆动液压缸产生扭矩，可拖动负载在一定角度内摆动。摆动的速度和扭矩由油压差来控制，可输出很大的扭矩。

三、液压传动系统的控制元件

液压控制元件主要指各种液压阀，用来控制与调节油液的流动方向、压力和流量，以保证液压传动系统的平稳性和协调动作。

液压阀的种类很多，按其工作原理和用途可分为三大类：一类是方向控制阀，如单向阀、换向阀等；另一类是压力控制阀，如溢流阀、顺序阀、减压阀和压力继电器等；第三类是流

量控制阀，如节流阀、调速阀和分流阀等。为了缩短管道并减少控制元件的数量，常把两个或两个以上的阀类装在一个阀体内构成复合阀，如单向减压阀、单向顺序阀、单向节流阀等。根据液压阀的控制方式不同可分为：开关式定值控制阀、伺服式控制阀、电液比例式控制阀等。

四、气压传动系统的工作原理和组成

气压传动系统是利用压缩空气作为工作介质，在控制和辅助元件的配合下，通过执行元件去控制负载的运动，把空气的压力能转换为机械能。因此，气压传动与液压传动的工作原理是相似的，但使用的工作介质不同。

典型的气动传动系统一般由四个部分组成，如图 1-9 所示。

(1) 气源部分 即气压发生器。其主要设备是空气压缩机，将原动机输出的机械能转换成空气的压力能。

(2) 执行元件 即能量输出装置，如气缸或气马达。它将空气的压力能转换为机械能去拖动负载运动。

(3) 控制元件 包括各种控制和调节气体压力、流量、流动方向的元件。如压力阀、流量阀、方向阀、逻辑元件等。

(4) 辅助元件 包括空气过滤器、消声器、放大器、管路和接头等。

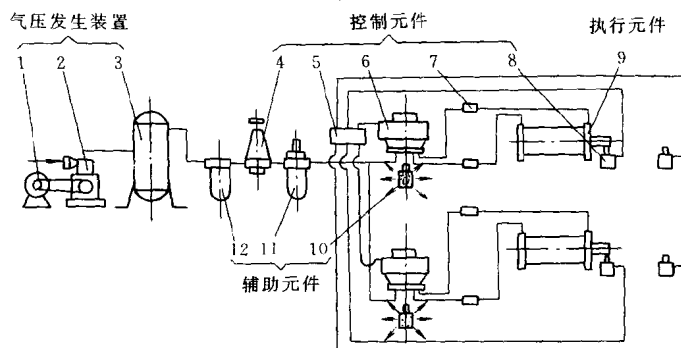


图 1-9 气压传动系统组成示意图

- 1—电动机 2—空气压缩机 3—贮气罐 4—压力控制阀 5—逻辑元件
6—方向控制阀 7—流量控制阀 8—行程阀 9—气缸
10—消声器 11—油雾器 12—过滤器

五、气动执行元件

气动执行元件分气缸和气马达两类。其中气缸比液压缸结构简单，工作压力低，动作迅速，便于维修，允许有少量泄漏，能在较大的温度范围内（ $-35\sim 80^{\circ}\text{C}$ ）正常工作，故应用最广。多数气缸的工作原理与液压缸相同，不再重复。

六、气动控制元件

气动控制元件分气动控制阀和气动逻辑元件两大类。气动控制阀用来控制和调节气压传动系统中空气的压力、流量和气流方向等，以保证气动执行元件具有一定的压力和速度，并按设计的程序正常工作。气动逻辑元件是气动控制技术中能完成一定逻辑功能的器件。采用气动逻辑元件可以组成全气控系统。

气动控制阀和液压阀一样，也分为压力阀、流量阀和方向控制阀三类，其工作原理与液压阀大致相同。但由于压缩空气有可压缩性，所以它还具备一些液压阀所不具备的特殊阀。

气动逻辑元件是一种新型的自动化基础元件。它具备结构简单、工作稳定可靠、成本低和工作寿命长等特点。它的出现给工业自动化提供了一种成本低而简单的控制手段，故近年来发展很快。

第四节 可编程序控制器的基本知识

可编程序控制器 (Programmable Controller, 简称为 PC) 是以微处理器为基础, 综合了计算机技术与自动控制技术而开发的新一代工业控制器产品, 它具有面向用户的编程语言, 是一个完整的、通用型的工业控制装置, 已被广泛应用到机械、冶金、化工、煤炭、轻纺等各个领域, 它不仅极大地提高了劳动生产力和自动化程度, 而且推动了工业技术革命的进程。

可编程控制器与传统的继电器控制系统 (顺序控制器) 或其他过程控制系统相比, 具有如下特点:

(1) 控制程序可变, 有很好的柔性。在生产工艺流程发生改变或生产线的机械设备更新之后, 在 I/O 点数、功能和容量满足的条件下, 不必改变 PC 的硬设备, 只需改变 I/O 接线和改变程序就可满足要求, 因此在工厂自动化和柔性制造系统中被大量采用。

(2) PC 采用了大规模集成电路和微机技术, 外部连线少, 可靠性高。由于它是在恶劣的工业环境中运行的, 因此在设计时就考虑了坚固、可靠和抗干扰能力。它设有一般计算机必须具备的环境要求, 不需要专用设施和机房, 这就给工业现场直接大量使用 PC 提供了方便。

(3) PC 功能完善。它具备数字量和模拟量输入、输出, 逻辑运算和算术运算, 具有计时、计数、顺序控制、功率驱动、PID 调节、过程控制、通信联网、人机对话、自检、记录、打印等功能, 使被控设备的机能有了新的发展。

(4) PC 容易掌握。它采用了面向操作者的语言编程, 如继电器梯形图、逻辑功能图、语句表等。用户无需了解复杂的计算机知识就可以使用和编程。

(5) PC 结构紧凑, 体积小, 性能价格比高, 省电。由于是通用型产品, 便于组织大批量生产, 从而可以提高生产效率和产品质量。

通常根据输入、输出点数和功能对 PC 进行分类, 大致可分为低档、中档、高档三类, 档次越高, 输入、输出点数和功能就越多。

一、可编程控制器的工作原理

可编程控制器一般是由控制器和编程器两大部分组成的。它的工作原理是将用户程序通过编程器, 预先存入控制器的存储器中, 工作时反复不断地循环扫描程序, 当条件满足时, 立即执行。控制器主要是由中央处理单元、输入、输出、电源等部分组成。中央处理单元的作用主要是对来自外部的各种输入信号进行运算处理并发出各种控制信号。中央处理单元是编程控制器的核心, 它是由微处理器和存储器及辅助芯片等组成。输入单元主要是接收外部信号并将其隔离、转换成中央处理单元能够接受的信号, 送给中央处理单元。输入单元一般由光电耦合器件、转换电路、接口芯片等组成。输出单元主要是将中央处理单元发出的各种输出信号进行隔离、放大、转换, 然后去驱动执行部件。输出单元一般由接口芯片、光电隔离器件、放大电路、转换电路等组成。电源是向机内提供各种所需的稳定电压。编程器的作用是编制用户程序并将其送入控制器的中央处理单元中, 一般编程器还具有在线监视和控制功能。它主要由键盘、显示器和编程电路组成。简易的编程器一般不带微处理器, 用发光晶体管数码管显示指令和数据, 键盘采用小键盘。复杂的编程器带有微处理器或单片机和存储器, 功能比较强, 有的甚至还可以离线编程, 用液晶屏或 CRT 显示, 可在其上直接画出梯形图。

以上几部分对不同档次的可编程控制器都是不可缺少的,所不同的只是各部分的线路复杂程度、功能强弱、容量大小、速度快慢有所不同。即使同一档次的可编程控制器,因生产厂家不同,上述各部分所采用的线路和芯片以及系统软件也各不相同,且各自具有自己的特点。

二、系统组成

图 1-10 为一般可编程控制器的硬件系统原理框图。输入单元接收来自现场的按钮、行程开关、传感器等输入信号,然后进行隔离、变换后传送给中央处理单元 CPU, CPU 按照程序进行运算处理,然后产生适宜的输出信号,经过输出单元隔离、放大后去驱动执行机构,如电动机控制器、接触器、电磁阀及指示灯等负载。编程器用来编制用户程序,并将程序输入到 CPU 的存储器中。

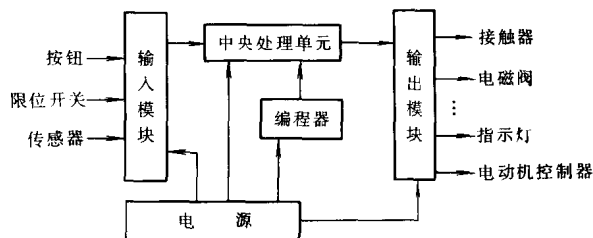


图 1-10 PC 硬件系统原理图

三、PC 的编程语言

PC 的软件包括系统软件和应用软件。系统软件由 PC 厂家编写并已固化在 ROM 中,与 CPU 模块一起交付用户使用。这里主要介绍用户使用 PC 时编制应用软件程序的编程语言和编程方法。

PC 是专为工业生产过程的自动控制而开发的通用控制器,使用编程简单是它的一个突出特点。它没有采用 FORTRAN、COBOL 等计算机高级程序语言,而开发了面向控制过程、面向问题、简单直观的 PC 编程语言,有梯形图、语句表、控制系统流程图、逻辑表达式等几种。

1. 梯形图

梯形图在形式上类似于继电器控制电路图,简单、直观、易读、好懂,是 PC 中普遍采用、应用最多的一种编程方式。梯形图中沿用了继电器线路的一些图形符号,这些图形符号被称为编程元件,每一个编程元件对应地有一个编号。不同厂家的 PC 其编程元件的多少及编号方法不尽相同,但基本的元件及功能相差不大。例如某一继电器控制电路如图 1-11 所示。如果 PC 完成其控制动作,则梯形图程序如图 1-12 所示。

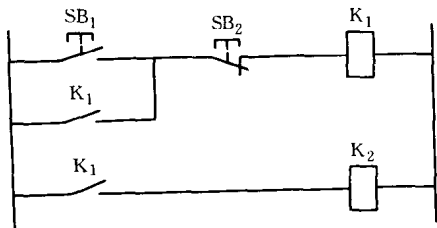


图 1-11 继电器控制电路

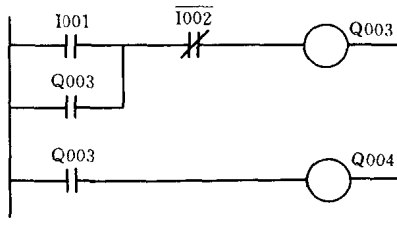


图 1-12 梯形图

梯形图有如下特点:

(1) 梯形图按自上而下、从左到右的顺序排列。每一个继电器线圈为一个逻辑行,称为一个梯形。每一个逻辑行起始于左母线,然后是触点的各种联接,最后是线圈与右母线相连,

整个图形呈阶梯形。

(2) 梯形图中的继电器不是继电器控制线路中的物理继电器，它实质上是变量存储器中的位触发器，因此称为“软继电器”，相应某位触发器为“1”态，表示该继电器线圈通电，其动合触点闭合、动断触点打开。

梯形图中继电器的线圈又是广义的，除了输出继电器、内部继电器线圈外还包括定时器、计数器、移位寄存器以及各种比较运算的结果。

(3) 梯形图中，一般情况下（除有跳转指令和步进指令的程序段外）某个编号的继电器线圈只能出现一次，而继电器触点则可无限引用，既可是动合触点又可是动断触点。

(4) 梯形图是 PC 形象化的编程方式，其左右两侧母线并不接任何电源，因而图中各支路也没有真实的电流流过。但为了方便，常用“有电流”或“得电”等来形象地描述用户程序解算中满足输出线圈的动作条件。所以仅仅是概念上的电流，而且认为它只能由左向右流动，层次的改变也只能先上后下。

(5) 输入继电器用于接收 PC 的外部输入信号，而不能由内部其他继电器的触点驱动。因此，梯形图中只出现输入继电器的触点而不出现输入继电器的线圈。输入继电器的触点表示相应的外部输入信号的状态。

(6) 输出继电器供 PC 做输出控制，但它只是输出状态寄存表的相应位，不能直接驱动现场执行部件，而是通过开关量输出模块相应的功率开关去驱动现场执行部件。当梯形图中的输出继电器得电接通，则相应模块上的功率开关闭合。

(7) PC 的内部继电器不能做输出控制用，它们只是一些逻辑运算用中间存储单元的状态，其触点可供 PC 内部使用。

(8) PC 在解算用户逻辑时就是按照梯形图从上到下、从左到右的先后顺序逐行进行处理，即按扫描方式顺序执行程序，因此不存在几条并列支路的同时动作，这在设计梯形图时可以减少许多有约束关系的联锁电路，从而使电路设计大大简化。

2. 语句表

语句表类似于计算机的汇编语言，用指令的助记符进行编程。但 PC 的语句表比计算机汇编语言更通俗易懂，对于有计算机基础知识的使用者来说，语句表编程语言是很方便的。特别是一般的 PC 可以使用梯形图编程，也可以使用语句表编程，并且梯形图和语句表可以相互转化，因此也是一种应用较多的编程语言。

```
LD      I001
OR      Q003
ANDN    I002
OUT     Q003
LD      Q003
OUT     Q004
END
```

例如如图 1-11 所示的继电器控制电路，用 PC 完成其控制动作，则语句表程序如图 1-13 所示。可见，语句表由若干条指令语句组成，每条语句表示给 CPU 的一个操作指令。PC 的每一个功能由一条或几条指令语句来实现。指令语句相当于梯形图中的编程元件，是语句表程序的最小编程元素。

与计算机汇编语言的表达形式类似，指令语句由操作码和操作数两部分组成。其格式为：

操作码 操作数

操作码用助记符表示，指示 CPU 要完成的某种操作功能，又称为编程指令，包括逻辑运算、算术运算、定时、计数、移位、传送等操作。

操作数给出了操作码指定的某种操作的对象或执行操作所需的数据，通常为编程元件的编号或常数，如输入继电器、输出继电器、内部继电器，定时器、计数器、数据寄存器以及