



教育部财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

机电一体化 系统设计及应用

MECHATRONICS 主 编：祁文军
姜 宏



华东师范大学出版社



教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

机电一体化系统设计与应用

主编 祁文军 姜 宏

主审 韩亚兰 李郝林



华东师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计及应用/祁文军,姜宏主编. —
上海:华东师范大学出版社,2017
ISBN 978-7-5675-6641-5

I. ①机… II. ①祁…②姜… III. ①机电一体化
—系统设计—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 241415 号

机电一体化系统设计及应用

主 编 祁文军 姜 宏

责任编辑 李 琴

审读编辑 张红英

版式设计 庄玉侠

封面设计 黄 旭

出版发行 华东师范大学出版社

社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062

网 址 www.ecnupress.com.cn

电 话 021-60821666 行政传真 021-62572105

客服电话 021-62865537 门市(邮购)电话 021-62869887

地 址 上海市中山北路 3663 号华东师范大学校内先锋路口

网 店 <http://hdsdcbs.tmall.com>

印 刷 者 常熟市文化印刷有限公司

开 本 787×1092 16 开

印 张 24.5

字 数 632 千字

版 次 2017 年 11 月第 1 版

印 次 2017 年 11 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5675-6641-5/G·10470

定 价 49.00 元

出 版 人 王 焰

(如发现本版图书有印订质量问题,请寄回本社客服中心调换或电话 021-62865537 联系)

师 教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果 系列丛书

项目牵头单位：新疆大学

项目 负责人：祁文军

项目专家指导委员会：

主 任：刘来泉

副 主 任：王宪成 郭春鸣

成 员(按姓氏笔画排列)：

刁哲军	王继平	王乐夫	邓泽民	石伟平	卢双盈
汤生玲	米 靖	刘正安	刘君义	孟庆国	沈 希
李仲阳	李栋学	李梦卿	吴全全	张元利	张建荣
周泽扬	姜大源	郭杰忠	夏金星	徐 流	徐 朔
曹 晔	崔世钢	韩亚兰			

出版说明 >>>

自《国家中长期教育改革和规划纲要(2010—2020年)》颁布实施以来,我国职业教育进入到加快构建现代职业教育体系、全面提高技能型人才培养质量的新阶段。加快发展现代职业教育,实现职业教育改革发展新跨越,对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。为此,教育部明确提出,要以推动教师专业化为引领,以加强“双师型”教师队伍建设为重点,以创新制度和机制为动力,以完善培养培训体系为保障,以实施素质提高计划为抓手,统筹规划,突出重点,改革创新,狠抓落实,切实提升职业院校教师队伍整体素质和建设水平,加快建成一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质专业化的“双师型”教师队伍,为建设具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系提供强有力的师资保障。

目前,我国共有60余所高校正在开展职教师资培养,但由于教师培养标准的缺失和培养课程资源的匮乏,制约了“双师型”教师培养质量的提高。为完善教师培养标准和课程体系,教育部、财政部在“职业院校教师素质提高计划”框架内专门设置了职教师资培养资源开发项目,中央财政划拨1.5亿元,系统开发用于本科专业职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源。其中,包括88个专业项目,12个资格考试制度开发等公共项目。该项目由42家开设职业技术师范专业的高等学校牵头,组织近千家科研院所、职业学校、行业企业共同研发,一大批专家学者、优秀校长、一线教师、企业工程技术人员参与其中。

经过三年的努力,培养资源开发项目取得了丰硕成果。一是开发了中等职业学校88个专业(类)职教师资本科培养资源项目,内容包括专业教师标准、专业教师培养标准、评价方案,以及一系列专业课程大纲、主干课程教材及数字化资源;二是取得了6项公共基础研究成果,内容包括职教师资培养模式、国际职教师资培养、教育理论课程、质量保障体系、教学资源中心建设和学习平台开发等;三是完成了18个专业大类职教师资资格标准及认证考试标准开发。上述成果,共计800多本正式出版物。总体来说,培养资源开发项目实现了高效益:形成了一大批资源,填补了相关标准和资源的空白;凝聚了一支研发队伍,强化了教师培养的“校—企—校”协同;引领了一批高校的教学改革,带动了“双师型”教师的专业化培养。职教师资培养资源开发项目是支撑专业化培养的一项系统化、基础性工程,是加强职教师资培养培训一体化建设的关键环节,也是对职教师资培养培训基地教师专业化培养实践、教师教育研究能力的系统检阅。

自2013年项目立项开题以来,各项目承担单位、项目负责人及全体开发人员做了大量深入细致的工作,结合职教教师培养实践,研发出很多填补空白、体现科学性和前瞻性的成果,有力推进了“双师型”教师专门化培养向更深层次发展。同时,专家指导委员会的各位专家以及项目管理办公室的各位同志,克服了许多困难,按照两部对项目开发工作的总体要求,为实施项目管理、研发、检查等投入了大量时间和心血,也为各个项目提供了专业的咨询和指导,有力地保障了项目实施和成果质量。在此,我们一并表示衷心的感谢。

编写委员会

2016年3月

前言 >>>

本书是教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书之一。

新疆大学项目组负责《机电一体化系统设计及应用》、《机械制造精度检测》、《机电设备的电气控制与维护》、《机电设备的电子传感器应用技术》、《机电一体化设备安装与调试》等5本核心教材的编著。新疆大学项目组成员：祁文军、孟凡丽、姜宏、张建杰、许燕、方建疆、万晓静、黄艳华、胡国玉、周建平、李长勇、董平、冷洪勇、祁雷、章翔峰、赵冬梅。本项目系列教材主编为孟凡丽教授、祁文军教授，主审为全国职业教育技术装备评审专家韩亚兰教授。

系列教材的内容贯彻“专业性”、“职业性”和“师范性”三性融合的要求，以职教教师教育专业化及应用型本科的培养目标为导向，以打破普通高等教育课程、专业学科课程、教育学科课程各自为政、课程割裂的现有局面为突破，在教材编写过程中，以基于职业岗位分析和工作过程系统化的职业教育思想及课程开发模式为指导，充分考虑了职教师资的“专业性”、“职业性”和“师范性”三性融合的特点。

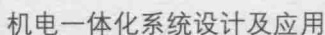
教材编写组调研多家企业、职业院校、全国职教师资培养培训基地，掌握职业岗位对机电类中职教师及应用型本科毕业生的要求，在广泛征求教育部专家指导委员会专家、行业专家、教育专家及高校、职业院校教师的意见基础上，根据《培养标准》要求，确定了教材的编写形式、教材内容以及涉及专业理论知识的深度与广度。

《机电一体化系统设计及应用》是本项目系列教材中的一本。机电一体化是多学科交叉的技术密集型系统工程，它是融合检测传感技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服驱动技术、精密机械技术、计算机技术和系统总体技术等多种技术于一体的新兴综合型学科。随着机电一体化技术的产生与发展，在全世界范围内掀起的机电一体化热潮，使机电一体化越来越显示出强大的威力，工业机器人、3D打印无一不是机电一体化技术的代表产品，任何一个国家、地区、企业如不拥有这方面人才、技术和生产手段，就不具备国际、国内竞争所必需的基础。

本书从机电一体化系统、整体的角度出发，重点培养学习者分析、设计和应用典型机电一体化产品的能力。教材内容呈现方式为：以知识应用为目的，以工作任务为驱动，建立学习情境—任务—训练结构框架。全书共分六个学习情境，包括概论、机电一体化机械系统设计、检测系统设计、接口设计、伺服系统设计及综合设计实例，学习情境一至学习情境五均有学习情境小结和习题与思考题，小结中包含有教学网络图和任务—知识点矩阵图，教学网络图指明本学习情境的普适学习流程及较适宜的教学方法；任务—知识点矩阵图梳理了本学习情境中各任务所包含的知识点，是解构基于知识存储的学科知识、重构基于知识应用的工作过程系统化知识框架的成果。

参加本书编著工作的有：新疆大学祁文军、姜宏、黄艳华、李长勇、周建平，新疆轻工学院张蜀红，新疆众和股份有限公司左小刚，由祁文军、姜宏担任主编，祁文军负责全书统稿。

全书由国家教育部机械工程专业教学指导委员会委员、上海理工大学李郝林教授审阅，提出了许多宝贵意见。在教材编写过程中，教育部职业技术教育中心研究所姜大源教授、吴全全



主任提出了很多关键性、建设性的意见,此外,书中内容还涉及一些教学仪器厂商提供的产品资料,在此一并表示感谢。由于作者水平有限,书中难免有错漏或不妥之处,恳请读者提出以便修改。

编者

2016 年 11 月

目 录 >>>

01	学习情境一 概论	1
	任务 1 了解机电一体化系统	1
	任务 2 了解机电一体化系统的设计	14
	任务 3 了解机电一体化的发展趋势	20
	综合训练 机电一体化产品拆装	24
	学习情景一小结	27
	习题与思考题	28
02	学习情境二 机电一体化机械系统设计	29
	子情境 1 认识机电一体化机械系统	29
	任务 1 了解机电一体化机械系统的组成	30
	任务 2 了解机械系统的设计思想	31
	任务 3 了解机械传动设计的原则	32
	任务 4 了解机械系统性能的仿真分析	37
	同步训练 数控机床传动机构仿真分析	50
	子情境 2 传动机构	53
	任务 1 认识机械传动机构	54
	任务 2 常用单一传动机构设计	55
	任务 3 复合传动机构设计	85
	同步训练 数控机床机械传动系统方案选择	86
	子情境 3 支承部件	88
	任务 1 认识支承部件	89
	任务 2 导轨	92
	任务 3 直线滚动导轨副的选型与计算	100
	同步训练 数控机床导向机构设计	102
	子情境 4 执行机构	103
	任务 1 微动机构应用	103
	任务 2 末端执行机构应用	104
	任务 3 其他执行机构应用	109
	子情境 5 机械系统的运动控制	110
	任务 1 机械传动系统建模	110



任务 2 机械系统的制动控制	111
任务 3 机械系统的加速控制	115
子情境 6 机械系统的可靠性设计	116
任务 1 了解可靠性指标	116
任务 2 可靠性设计	119
综合训练 CNC 齿轮测量中心机械系统设计	121
学习情境二小结	124
习题与思考题	127

03

学习情境三 机电一体化检测系统设计

子情境 1 认识机电一体化检测系统	128
任务 1 了解检测系统在机电一体化中的应用	129
子情境 2 位移和位置测量	133
任务 1 位移测量	133
任务 2 位置测量	142
同步训练 应用光电编码器进行定位控制	145
子情境 3 速度与加速度检测	145
任务 1 速度检测	146
任务 2 加速度检测	149
同步训练 加速度传感器在水平度测量中的应用	151
子情境 4 力、扭矩和流体压强检测	152
任务 1 力和力矩的测量	152
任务 2 流体压强检测	156
同步训练 压力传感器在数控机床中的应用	157
子情境 5 温度检测	158
同步训练 DS1820 数字温度传感器测量恒温箱温度	161
子情境 6 传感器信号的处理	162
任务 1 认识测量放大器	162
任务 2 认识程控增益放大器	163
任务 3 认识隔离放大器	164
同步训练 了解隔离放大器 ISO-124P	165
子情境 7 传感器接口技术	166
综合训练 数控车床自动回转刀架转位控制	168
学习情境三小结	169
习题与思考题	171

04	学习情境四 机电一体化接口设计	172
	子情境 1 认识接口	172
	子情境 2 认识控制微机	176
	任务 1 认识单片机	176
	任务 2 认识可编程序控制器	180
	任务 3 认识工控机	183
	任务 4 常用工业控制机性能对比	185
	子情境 3 人机接口设计	187
	任务 1 人机输入接口设计	187
	任务 2 人机输出接口设计	193
	同步训练 数控机床人机接口设计	199
	子情境 4 机电接口设计	200
	任务 1 D/A 转换器接口设计	201
	任务 2 A/D 转换器接口设计	207
	任务 3 功率接口设计	214
	任务 4 常用存储器与 I/O 接口芯片的应用电路设计	222
	同步训练 机电接口设计	227
	子情境 5 机电接口的可靠性设计与抗干扰设计	229
	任务 1 机电接口的可靠性设计	229
	任务 2 电源抗干扰设计	237
	任务 3 控制微机抗干扰设计	239
	综合训练 CNC 数控车床控制系统设计	244
	学习情境四小结	246
	习题与思考题	249
05	学习情境五 机电一体化伺服系统设计	250
	子情境 1 认识伺服系统	251
	任务 1 认识伺服系统的组成和结构	252
	任务 2 了解进给伺服系统的分类	253
	任务 3 了解伺服系统的要求	255
	任务 4 了解伺服系统的发展趋势	257
	子情境 2 执行元件的控制与驱动	257
	任务 1 步进电动机的控制与驱动	258
	任务 2 直流伺服电动机的控制与驱动	271
	任务 3 交流伺服电动机的控制与驱动	281



任务 4 直线电机的应用	286
任务 5 液压执行装置的设计	289
任务 6 认识气动执行装置	294
任务 7 开环控制的伺服系统设计	302
同步训练 执行元件的选择	314
子情境 3 应用变频器	316
任务 1 认识变频器	316
任务 2 变频器基本功能及参数设定	319
同步训练 变频调速系统的应用实例及解析—风机的变频调速	328
子情境 4 上位机组态监控技术及其应用	330
任务 1 认识上位机组态监控技术	331
任务 2 MCGS 组态软件应用实例	332
学习情境五小结	344
习题与思考题	345

06

学习情境六 机电一体化系统综合设计实例	348
---------------------	-----

任务 1 3D 打印机设计	348
任务 2 自动化立体仓库设计	352
任务 3 焊接机器人的设计	358
任务 4 普通机床的数控化改造设计	363
任务 5 基于 PLC 的智能洗衣机控制系统设计	372

参考文献	378
------	-----

学习情境一 概论

情境导入

机电一体化产品无处不在,从家用全自动洗衣机到数控机床,从医疗设备到航天航空领域……机电一体化产品正朝着高性能、智能化、系统化以及轻量化、微型化方向发展。

情境剖析

知识目标

1. 了解机电一体化系统的构成和主要特征;
2. 了解机电一体化系统的共性关键技术和设计方法。

技能目标

1. 分析机电一体化系统的功能构成;
2. 拆装简单的机电一体化产品。

任务1 了解机电一体化系统

1.1 认识典型的机电一体化产品

1. 机电一体化系统概述

机电一体化系统是由计算机信息网络协调与控制的,用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械及机电部件相互联系的系统。其核心是由计算机控制的,包括机械、电力、电子、液压、气压、光学等技术的伺服系统。它的主要功能是完成一系列机械运动,每一个机械运动可单独由控制电动机、传动机构和执行机构组成的子系统来完成,而这些子系统要由计算机协调和控制,以完成整个系统的功能要求。

2. 典型的机电一体化系统

从传统的机电系统向机电一体化系统的过渡,主要是依靠应用不断完善的控制技术加以实现,其范围包括监控、开环控制、闭环控制、自适应控制、模糊控制以及智能控制等。但是控制技术和机电一体化两者之间存在着基本的区别,机电一体化伴随着机械系统的再设计,机电一体化系统往往是将复杂的功能,如精密定位,由机械转移给电子,从而产生更加简单的机械系统。

根据机电一体化系统的概念,在工厂自动化中,典型的机电一体化系统有以下几种形式。

(1) 机械手关节伺服系统

图 1.1.1 是机械手的一个关节伺服系统,它的受控过程是机器人的关节运动。

伺服系统(servo system)又称为随动系统,它是一种反馈控制系统,它的受控变量是机械运动中的各变量,如位置、速度及加速度。多数伺服系统用来控制运动机械的位置(输出),让其紧紧跟随电的输入参考信号来变化。

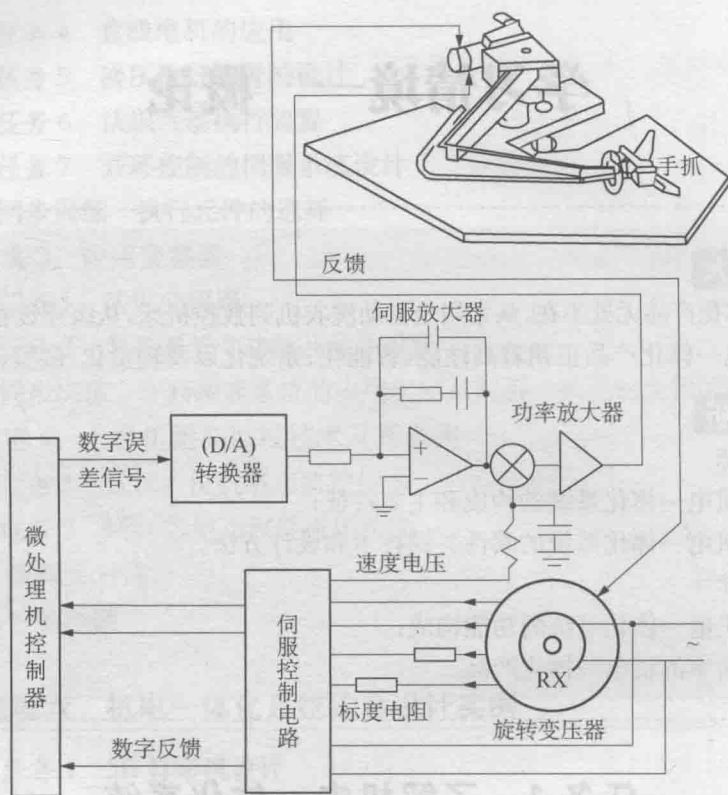


图 1.1.1 机械手关节伺服系统

表 1.1.1 机械手关节伺服系统的组成分析表

部件名称	微处理机 控制器	伺服控制电路	旋转变压器 (传感器)	D/A 转换器	伺服放大器及 功率放大器	机械手
部件功能	控制	信号处理	信号检测	信号转换	功率放大	执行机构

关节伺服系统可采用微处理机作为控制器,关节轴的实际位置由旋转变压器测量,转换为电的数字信号后,反馈给微处理机控制器。微处理机经过控制算法运算后,输出控制命令,再经过数/模(D/A)转换和伺服功率放大,供给关节轴上的伺服电机。伺服电机根据控制指令驱动关节轴转动,直至机器人手抓到达输入参考信号设定的希望位置为止。

(2) 数控机床

通过数字控制(NC)系统控制加工过程的机床称为数控机床。数控机床是一种利用预先决定的指令控制一系列加工作业系统。指令以数码的形式贮存在某种形式的输入介质上,如磁带、磁卡、U 盘等。指令确定位置、方向、速度以及切割速度等。零件程序包含加工零件所需要的全部指令。数控机床可以形成镗、钻、磨、铣、冲、锯、车、刨、弯、焊以及特种加工等加工作业。

图 1.1.2 表示了一种三坐标闭环数控机床。它利用闭环系统控制 x 、 y 及 z 三个坐标位置。 x 位置控制器沿 x 方向水平移动工件。 y 位置控制器沿 y 方向水平移动机床头。 z 位置控制器沿 z 方向垂直运动铣刀。图中,箭头表示改变 x 位置的信息传递过程。计算机转换符号程序为零件程序或者机器人程序。零件或机器人程序存贮在磁带或磁卡上。数控机床操作人员将数控

信息代码输入数控装置,并且监视操作。如果需要改变,必须编制新程序。现在,可以把程序存贮在公共数据库内,按需要分配给数控机床。加工中心的图形终端容许操作人员评阅程序,必要时可以加以修改。

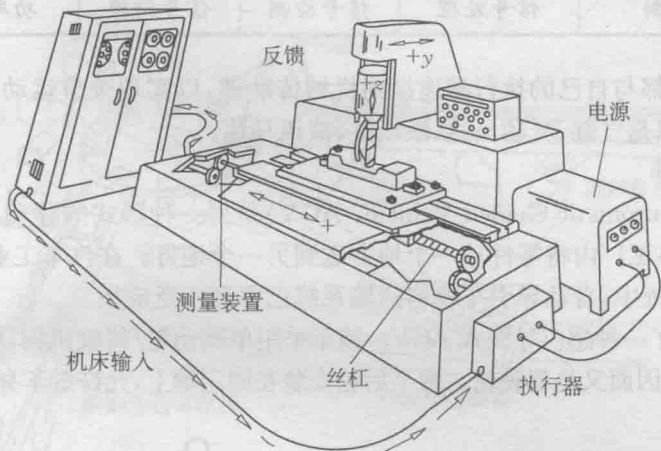


图 1.1.2 三坐标数控机床

表 1.1.2 数控机床系统的组成分析表

部件名称	微处理控制器	机床输入电路	测量装置	D/A 转换器	伺服放大器及功率放大器	执行器
部件功能	控制	信号处理	信号检测	信号转换	功率放大	执行机构

(3) 工业机器人

工业机器人是另一类数控机器。它是可编程多自由度的,通过一系列动作,如搬运物料、零件、工具,或者其他装置,以实现给定的任务。工业机器人有能力移动零件、加载数控机床、操作压铸机、装配产品、焊接、喷漆、打毛刺,以及包装产品等。最典型的工业机器人是具有六个自由度的机械手,如图 1.1.3 所示。

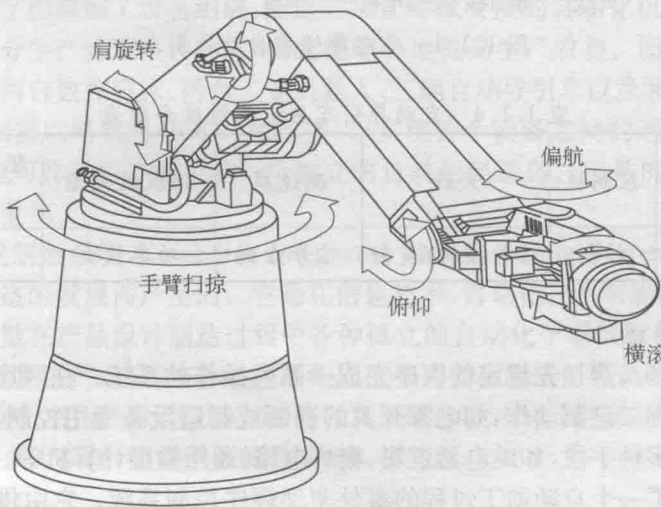


图 1.1.3 六自由度工业机器人

表 1.1.3 工业机器人系统的组成分析表

部件名称	微处理控制器	伺服控制电路	传感器	D/A 转换器	伺服放大器及功率放大器	机械手
部件功能	控制	信号处理	信号检测	信号转换	功率放大	执行机构

每一个运动轴都与自己的执行器连接到机械传动链,以实现关节运动。执行器最常用的是伺服电机,也可以是气缸、气动马达、液压缸、液压马达。

(4) 自动导引车

自动导引车(Automatic Guided Vehicle, AGV)是另一种形式的移动工业机器人。它能够跟踪编程路径,在工厂内将零件从一个地方送到另一个地方。在汽车工业、电子产品加工工业以及柔性制造系统中,自动导引车物料运输系统已得到广泛应用。

图 1.1.4 表示了一种感应导线式 AGV。该车采用单驱动轮/驾驶机构,即前轮为驱动轮,它能够绕驾驶轴转动,因而又是驾驶轮。两个后轮安装在固定轴上,允许沿车身纵轴方向滚动。

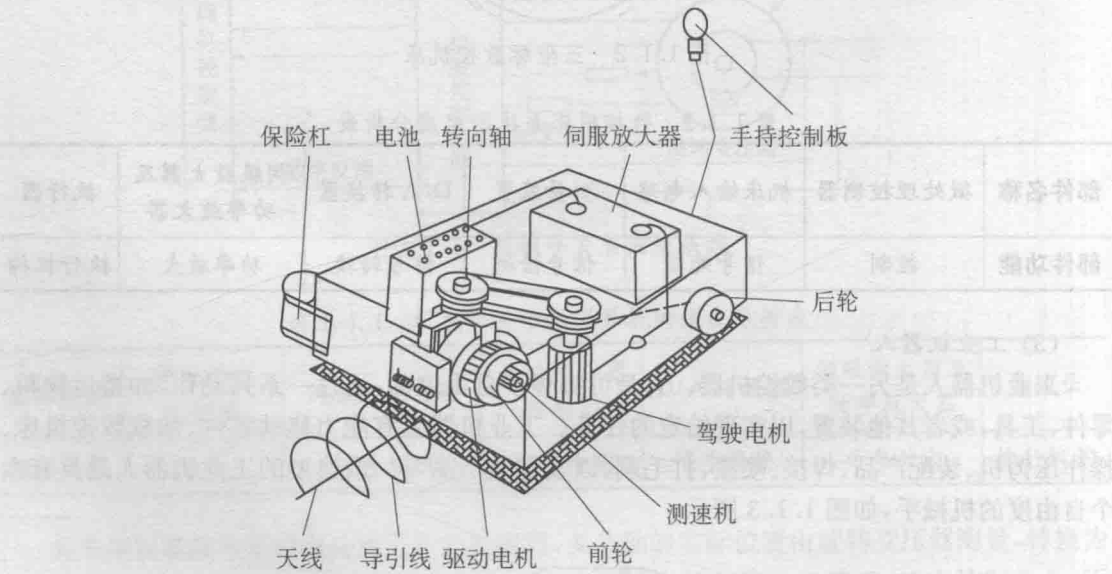


图 1.1.4 感应导线式自动导引车

表 1.1.4 自动导引车系统的组成分析表

部件名称	电池	控制板	天线	测速机	伺服放大器	驱动电机、驾驶电机、转向轴
部件功能	动力源	控制	信号接收/发射	信号检测	功率放大	执行机构

(5) 顺序控制系统

顺序控制系统是按照预先规定的次序完成一系列操作的系统。在顺序控制系统中,每一步操作是一个简单的二进制动作,如电源开关的通断或制造设备专用控制器的启停等。实现顺序控制功能可有多种手段,如继电器逻辑、集成电路、通用微型计算机等。

图 1.1.5 表示了一个自动加工过程的事件驱动顺序控制系统。它由供料和卸料传送带、

上料和下料机器人、加工机床、自动配置机以及编码转台等制造设备组成。这些制造设备都与可编程序逻辑控制器(PLC)相连,进行 I/O 信息交换。PLC 根据各个输入、输出状态,通过逻辑运算,决定了各个输出状态的变化,控制相应设备的启动,从而实现制造过程的自动化。

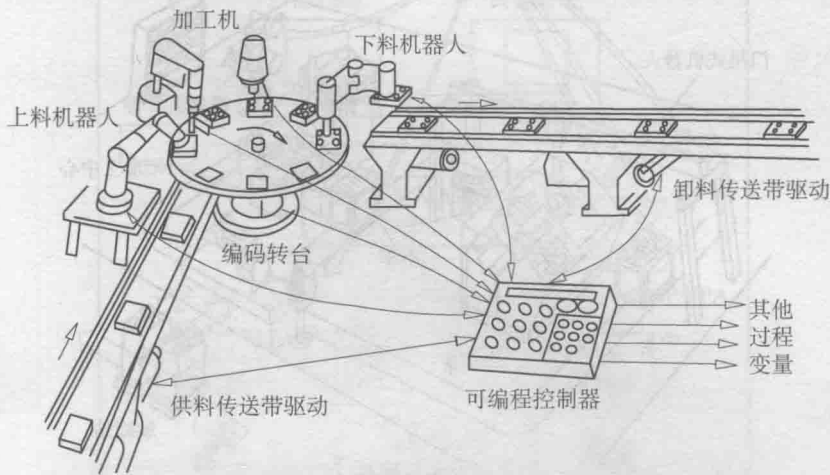


图 1.1.5 加工过程顺序控制系统

表 1.1.5 顺序控制系统的组成分析表

部件名称	可编程控制器	供料、卸料传送带驱动	编码转台	加工机	上料、下料机器人
部件功能	控制	物料传送	物料定位	物料加工	执行机构

(6) 数控自动化制造系统

在制造业中,要求生产系统有能力适应不断变化的市场,以很短的周期生产出各种形式的小批量新产品。不管是手工生产,或是大批量生产线,都是不能满足这些要求的。前者虽然适应性强,但生产率低;后者固有的装配与传送线缺少柔性,改变起来耗费大量时间和代价。这种在制造过程中增加柔性的要求,必然导致柔性制造系统概念的发展。

① 柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)是由统一的信息控制系统、物料储运系统和一组数字控制加工设备组成,能适应加工对象变换的自动化机械制造系统。FMS 兼有加工制造和部分生产管理两种功能,因此能综合地提高生产效益。图 1.1.6 表示一个柔性制造系统。它由两台数控机床、两台工业机器人、三辆自动导引车以及装卸站与刀具库等组成,并通过单元控制器以局域网(LAN)相连接,以实现各个设备之间的通信。这样的制造系统可以独立应用,也可作为生产线中的一个独立的自动化制造岛。它是机电一体化系统在工厂自动化中应用的范例。

② 计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)是随着计算机辅助设计与制造的发展而产生的。它是在信息技术、自动化技术与制造技术的基础上,通过计算机技术把分散在产品制造过程中各种孤立的自动化子系统有机地集成起来,形成适用于多品种、小批量生产,实现整体效益的集成化和智能化制造系统。图 1.1.7 表示了一个经济型 CIMS 的组成。它通过计算机网络,将计算机辅助设计、计算机辅助规划以及计算机辅助制造统一连成一个大系统,实现全厂的自动化。

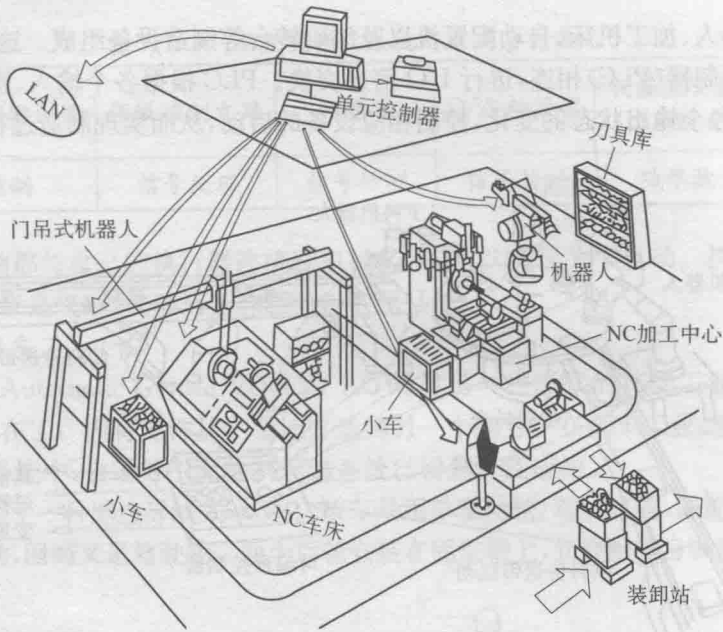


图 1.1.6 柔性制造系统

表 1.1.6 柔性制造系统的组成分析表

部件名称	单元控制器	NC 加工中心、NC 车床	LAN	机器人	小车	装卸站
部件功能	控制	加工处理	信号传输	换刀	物料搬运	物料装卸

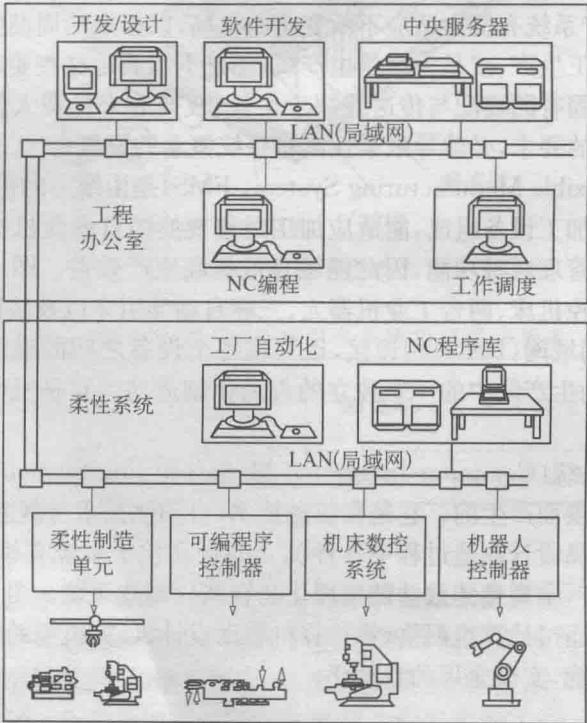


图 1.1.7 经济型 CIMS 的组成