



全国高等院校“十二五”特色精品课程建设成果

机电一体化技术

(第2版)

◎主 编 刘龙江 ◎主 审 马锡琪



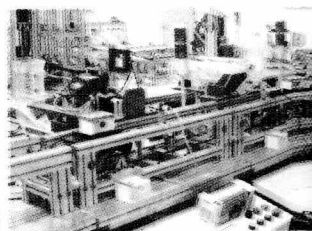
JIDIAN YITI HUA JISHU



全国高等院校“十二五”特色精品课程建设成果

机电一体化技术

(第2版)



◎主 编 刘龙江
◎主 审 马锡琪



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了机电一体化技术,内容涵盖机电一体化的基本概念及机电一体化中的各项关键技术,包括机电一体化的机械技术、传感检测技术、伺服驱动技术、控制和接口技术以及机电一体化系统设计、机器人技术、自动化生产线系统等。为适应理论实践一体化教学要求,全书以典型机电一体化设备 MPS(模块化生产加工系统)的应用为主线,分别引入了四个工程训练项目。

本书可作为高等院校机电一体化、机械制造及其自动化、数控技术、自动化等专业的教材,同时对从事机电一体化领域的工程技术人员也有一定的参考价值。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化技术/刘龙江主编. —2 版. —北京:北京理工大学出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6328 - 3

I. ①机… II. ①刘… III. ①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(2012)第 170162 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 314 千字

版 次 / 2012 年 7 月第 2 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

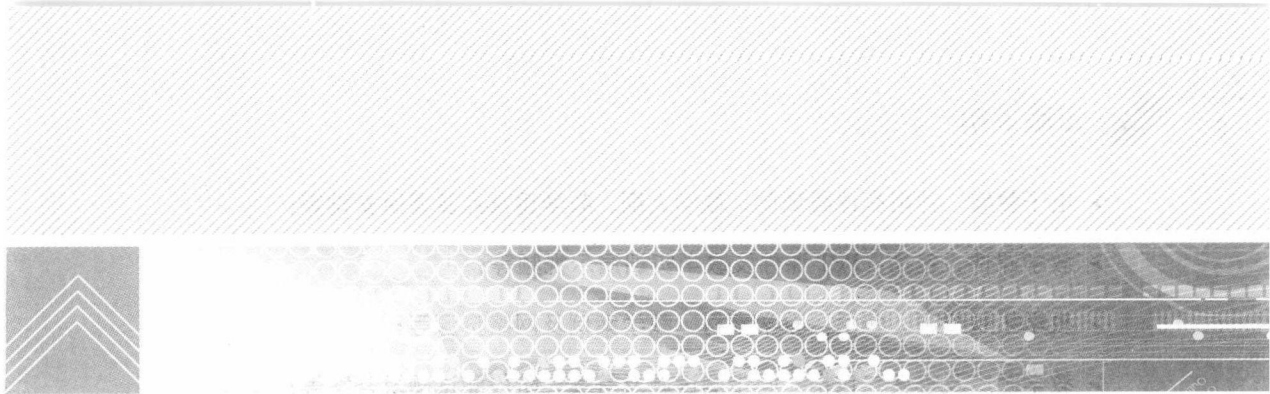
印 数 / 1~1500 册

定 价 / 45.00 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换



出版说明

北京理工大学出版社为了顺应国家对机电专业技术人才的培养要求，满足企业对毕业生的技能需求，以服务教学、立足岗位、面向就业为方向，经过多年的大力发展，开发了近 30 多个系列 500 多个品种的高等教育机电类产品，覆盖了机械设计与制造、材料成型与控制技术、数控技术、模具设计与制造、机电一体化技术、焊接技术及自动化等 30 多个制造类专业。

为了进一步服务全国机电类高等教育的发展，北京理工大学出版社特邀请一批国内知名行业专业、高等院校骨干教师、企业专家和相关作者，根据高等教育教材改革的发展趋势，从业已出版的机电类教材中，精心挑选一批质量高、销量好、院校覆盖面广的作品，集中研讨、分别针对每本书提出修改意见，修订出版了该高等院校“十二五”特色精品课程建设成果系列教材。

本系列教材立足于完整的专业课程体系，结构严整，同时又不失灵活性，配有大量的插图、表格和案例资料。作者结合已出版教材在各个院校的实际使用情况，本着“实用、适用、先进”的修订原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格，力求提高学生的实际操作能力，使学生更好地适应社会需求。

本系列教材在开发过程中，为了更适宜于教学，特开发配套立体资源包，包括如下内容：

► 教材使用说明；

- 电子教案，并附有课程说明、教学大纲、教学重难点及课时安排等；
- 教学课件，包括：PPT 课件及教学实训演示视频等；
- 教学拓展资源，包括：教学素材、教学案例及网络资源等；
- 教学题库及答案，包括：同步测试题及答案、阶段测试题及答案等；
- 教材交流支持平台。

北京理工大学出版社



Qianyan

前言

机电一体化是一个交叉学科,所涉及的内容十分广泛,包括机械技术、电子技术、计算机技术及其有机结合。机电一体化技术的应用不仅提高和拓展了机电产品的性能,而且使机械工业的技术结构、生产方式及管理体系发生了深刻变化,极大地提高了生产系统的工作质量。作为高等院校机电类专业的一门专业技术课,机电一体化技术得到普遍重视和广泛开设。

本书叙述力求全面、简洁和实用,使读者对机电一体化技术有一个比较全面的了解。全书共分8个单元,第1单元为机电一体化概述,主要介绍机电一体化的基本概念及系统构成、产品分类等;第2至第5单元分别介绍机电一体化的共性关键技术,包括机电一体化机械技术、传感检测技术、伺服驱动技术、控制及接口技术等,并且在每项技术后都以一种典型机电一体化设备的应用为例,分别安排了五个工程训练项目,来加强理论实践一体化教学;第6单元阐述了机电一体化系统的设计方法,机电一体化系统的建模与仿真及机电一体化抗干扰技术;第7单元和第8单元分别通过介绍机器人技术和自动化生产线系统两种典型机电一体化系统,以方便读者开展工程实践项目并拓展眼界。

本书内容在教学使用过程中,可根据不同专业需要、学时多少进行删减,部分内容可安排在课程实训、毕业设计等环节。

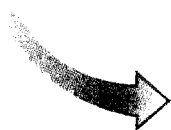
参与本次全书修订的有刘龙江、杨维、张晨亮。张晨亮参与了第1、2单元的修订,杨维参与了第3、7单元的修订,刘龙江担任其余部分的修订和全书统稿。原书第1版由刘龙江副教授任主编,马锡琪教授任主审。参加第1版编写的有刘龙江(第1章、第2.1节、第3.4节、第4章、第5章、第7.2节,第8.1节),姜鑫(第2章、第4.2节),杨维(第3章、第7章),孙永芳(第6章、

第8章)。

本书编写修订过程中得到了北京理工大学出版社的大力支持和帮助，值此再版之际，向本书所参考和引用的资料和文献作者，特别是原书各位编者的辛勤劳动再次一并表示衷心感谢。机电一体化是发展最为活跃的技术领域之一，本书的每个单元都代表一个很大的领域。由于编者水平所限及本书带有一定的探索性，因此本书的体系可能还不尽合理，书中疏漏错误也在所难免，恳请读者和专家批评指正。

编者

于2012年5月26日



目 录

单元一 机电一体化概述	1	发展前景	15
A. 教学目标	1	1.5.1 机电一体化的发展	
B. 引言	1	现状	15
1.1 机电一体化的基本		1.5.2 机电一体化的发展	
概念	1	趋势	16
1.1.1 机电一体化的定义	1	小结	17
1.1.2 机电一体化的产生	2	思考与练习 1	18
1.1.3 机电一体化的内容	2	项目工程 1: 典型机电一体化	
1.1.4 机电一体化的特点	3	系统——四自由度	
1.2 机电一体化系统的基本		机器人认识	18
组成	3		
1.2.1 机电一体化系统的功能		单元二 机电一体化机械技术	24
组成	3	A. 教学目标	24
1.2.2 机电一体化系统的构成		B. 引言	24
要素	5	2.1 概述	24
1.2.3 机电一体化系统接口		2.1.1 机械运动与机构	25
概述	7	2.1.2 机电一体化中的机械	
1.3 机电一体化技术的理论		系统及其基本要求	25
基础与关键技术	9	2.2 机械传动机构	27
1.3.1 理论基础	9	2.2.1 齿轮传动	27
1.3.2 关键技术	10	2.2.2 带传动	30
1.4 机电一体化产品	13	2.2.3 齿轮齿条传动机构	32
1.4.1 按产品功能分类	14	2.2.4 螺旋传动	32
1.4.2 按机电结合程度和形式		2.2.5 其他传动结构	44
分类	14	2.3 机械导向结构	45
1.4.3 按产品用途分类	14	2.3.1 滑动摩擦导轨	45
1.5 机电一体化的现状与		2.3.2 滚动摩擦导轨	53

2.4 机械的支承结构	56	思考与练习 3	87
2.4.1 机械支承结构应满足的 基本要求	56	项目工程 3: 典型机电一体化系 统传感器的使用和 选择方法	88
2.4.2 支承件的材料	57		
2.4.3 支承件的设计原则	57		
2.5 机械执行机构	60	单元四 机电一体化伺服驱动 技术	91
2.5.1 微动机构	60	A. 教学目标	91
2.5.2 定位机构	60	B. 引言	91
2.5.3 数控机床回转刀架	60	4.1 概述	92
2.5.4 工业机器人末端 执行器	61	4.1.1 伺服驱动系统的种类及 特点	92
小结	63	4.1.2 执行器及其选取 依据	93
思考与练习 2	63	4.1.3 输出接口装置	94
项目工程 2: 典型机电一体化 系统机械技术 应用	63	4.2 典型执行元件	94
单元三 机电一体化传感检测 技术	67	4.2.1 电气执行元件	95
A. 教学目标	67	4.2.2 液压执行元件	106
B. 引言	67	4.2.3 气动执行元件	110
3.1 传感器组成与分类	67	4.3 执行元件功率驱动 接口	113
3.1.1 传感器的组成	68	4.3.1 功率驱动接口的分类和 组成形式	113
3.1.2 传感器的分类	68	4.3.2 电力电子器件	115
3.2 典型常用传感器	70	4.3.3 开关型功率接口	117
3.2.1 位置传感器	71	小结	119
3.2.2 位移传感器	73	思考与练习 4	121
3.2.3 速度和加速度 传感器	77	项目工程 4: 典型机电一体化 系统执行元件 应用	121
3.2.4 温度传感器	79		
3.2.5 红外线传感器	82	单元五 机电一体化控制及 接口技术	125
3.3 传感器的选择方法	83	A. 教学目标	125
3.4 传感器数据采集及其与 计算机接口	85		
小结	87		



B. 引言	125
5.1 控制技术概述	125
5.1.1 机电一体化系统的控制形式	125
5.1.2 控制系统的基本要求和一般设计方法	126
5.1.3 计算机控制系统的组成及常用类型	127
5.2 可编程序控制器技术	131
5.2.1 PLC 技术基础	131
5.2.2 PLC 编程技术	138
5.2.3 PLC 技术应用	153
5.3 人机接口技术	163
5.3.1 输入接口技术	164
5.3.2 输出接口技术	169
5.4 机电接口技术	174
5.4.1 信息采集接口技术	174
5.4.2 控制量输出接口技术	179
小结	185
思考与练习 5	185
项目工程 5: 典型机电一体化系统控制技术应用	186

单元六 机电一体化系统设计 ... 195

A. 教学目标	195
B. 引言	195
6.1 机电一体化系统设计方法	195
6.1.1 机电一体化传统设计方法	196
6.1.2 机电一体化系统现代设计方法	197
6.2 机电一体化系统的建模与	

仿真	199
----------	-----

6.2.1 机电一体化系统的建模	199
6.2.2 机电一体化系统的仿真	201
6.3 机电一体化系统抗干扰技术	208
6.3.1 干扰的定义	209
6.3.2 形成干扰的三个要素	209
6.3.3 干扰源	209
6.3.4 抗供电干扰的措施	210
6.3.5 软件抗干扰设计	212
小结	213
思考与练习 6	213

单元七 典型机电一体化系统之机器人技术 ... 215

A. 教学目标	215
B. 引言	215
7.1 机器人概述	215
7.1.1 机器人的发展	216
7.1.2 机器人的作用	217
7.1.3 机器人的发展趋势	217
7.2 机器人传感器	219
7.2.1 机器人传感器的分类	219
7.2.2 外部信息传感器在电弧焊工业机器人中的应用	223
7.3 机器人的驱动与控制	224
7.3.1 机器人控制系统	224
7.3.2 电动驱动系统	225
7.4 机器人的典型应用	229
7.4.1 工业机械手	229

7.4.2 足球机器人	230	8.3.1 结构与功能	246
小结	238	8.3.2 气动控制回路	247
思考与练习 7	238	8.3.3 电气接口地址	248
单元八 典型机电一体化系统 ...	239	8.3.4 程序控制	249
之自动化生产线系统		8.4 MPS 加工站	250
A. 教学目标	239	8.4.1 结构与功能	250
B. 引言	239	8.4.2 气动控制回路	250
8.1 自动线与 MPS 模块化		8.4.3 电气接口地址	250
生产加工系统概述	239	8.4.4 程序控制	252
8.1.1 自动机与自动线的		8.5 MPS 安装搬运站	253
构成	239	8.5.1 结构与功能	253
8.1.2 模块化生产加工系统		8.5.2 气动控制回路	254
(MPS)	242	8.5.3 电气接口地址	255
8.2 MPS 送料检测站	243	8.5.4 程序控制	256
8.2.1 结构与功能	243	小结	257
8.2.2 气动控制回路	244	思考与练习 8	257
8.2.3 电气接口地址	245		
8.2.4 程序控制	246	参考文献	258
8.3 MPS 搬运站	246		

单元一 机电一体化概述



A. 教学目标

1. 掌握机电一体化定义
2. 掌握机电一体化系统的基本组成
3. 理解机电一体化系统的关键技术
4. 了解机电一体化技术的现状和发展前景



B. 引言

机电一体化设备在日常生活中应用非常广泛，本单元从机电一体化概念入手，介绍机电一体化系统的基本组成、关键技术和典型产品，了解机电一体化系统的现状和发展前景，最后以四自由度机器人作为实训项目，加深学生对机电一体化技术的认识。

✕ 1.1 机电一体化的基本概念 ✕

现代科学技术的发展，极大地推动了不同学科的相互交叉和渗透，导致了工程领域的技术革命与改造。在机械工程领域，由于微电子技术和计算机技术的飞速发展及其向机械工业的渗透所形成的机电一体化，使机械工业的技术结构、产品结构、功能与构成、生产方式及管理体系发生了巨大变化，使工业生产由“机械电气化”迈入了以“机电一体化”为特征的发展阶段。“机电一体化”成为机械技术与其他领域的先进技术特别是微电子技术有机结合的新领域。

1.1.1 机电一体化的定义

伴随生产活动和科学技术的快速发展，机电一体化的具体内容不断发展与更



新,人们观察问题的角度不同,对机电一体化的理解也就有所差异。因此,迄今为止,机电一体化尚没有明确的统一定义。

关于“机电一体化”概念的提法,1981年日本机械振兴协会对此作出的解释是:“机电一体化是在机械主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术,并将机械装置与电子装置用相关软件有机结合而构成系统的总称。”

随着科学技术的发展,“机电一体化”不断被赋予新的内涵,但目前一般可认为“机电一体化”是微电子技术向机械工业渗透过程中逐步形成的一个新概念,是从系统的观点出发,将机械技术、微电子技术、信息技术等多门技术学科在系统工程的基础上相互渗透、有机结合而形成和发展起来的一门新的边缘技术学科。

1.1.2 机电一体化的产生

科技进步和社会需求是任何事物产生和发展的前提,机电一体化这一新事物的产生和发展也不能例外。机械技术、计算机技术、微电子技术等的发展为机电一体化的产生奠定了良好的基础,而人类社会对生产和生活产品在质量和品种上的要求不断提高是机电一体化蓬勃发展的动力。

机电一体化经历了长期的产生和发展过程。早在机电一体化这一概念形成之前,世界各地的科技人员已为机械与电子技术的有机结合做了大量工作,研究和开发了很多机电一体化产品,比如电子工业领域内的雷达伺服系统,机械工业领域内的数控机床、工业机器人等,这一切都为机电一体化这一概念的形成奠定了基础。

1971年,日本《机械设计》杂志副刊正式提出了“Mechatronics”这一名词,它是取 Mechanics(机械学)的前半部分和 Electronics(电子学)的后半部分组合而成,即机械电子学或机电一体化。在日本提出这一术语后,日、美、英各国先后有一些专著问世。国际自动控制联合会(IFAC)、美国电气和电子工程师协会(IEEE)先后创办了名为 Mechanics 的期刊,近年来,国内也有不少教科书和期刊出版。

机电一体化作为一门新兴的边缘学科,始于二十世纪八十年代,目前它已经逐渐成为机械工程的重要研究领域,代表着机械工业技术革命的前沿方向。

1.1.3 机电一体化的内容

机电一体化包含了技术和产品两方面的内容,首先是指机电一体化技术,其次是指机电一体化产品。机电一体化技术是指包括技术基础、技术原理在内的使机电一体化产品得以实现、使用 and 发展的技术。机电一体化产品是指随着机械系统和微电子系统的有机结合,被赋予新的功能和性能的新产品。

机电一体化技术在制造业的应用从一般的数控机床、加工中心和机械手发展

到智能机器人、柔性制造系统（FMS）、无人生产车间和将设计、制造、销售、管理集为一体的计算机集成制造系统（CIMS），并扩展到目前的汽车、电站、仪表、化工、通信、冶金等行业。此外，对传统机电设备的改造也属于机电一体化范畴。机电一体化产品涉及工业生产、科学研究、人民生活、医疗卫生等各个领域，如：集成电路自动生产线、激光切割设备、印刷设备、家用电器、汽车电子化、微型机械、飞机、雷达、医学仪器、环境监测等。

1.1.4 机电一体化特点

我们可以从汽车工业的发展过程为例来观察机电一体化产品的特点。在很长一段时间内，汽车是作为一项机械方面的奇迹，它只有少量的电子附件。最初是启动电机，后来是发电机，每种附件都使原先产品的性能比过去提高一点。随着半导体和微电子学的出现，今天的汽车由微处理器控制，机器人制造，并可通过计算机进行故障分析，从而使机械奇迹变成了机械电子奇迹。

随着机电一体化技术的快速发展，机电一体化产品有逐步取代传统机电产品的趋势。与传统的机电产品相比，机电一体化产品具有高的功能水平和附加值及明显的技术、经济、社会效益，这完全是由机电一体化技术的特点决定的。机电一体化通过综合利用现代高新技术的优势，在提高产品精度、增强功能、改善操作性和使用性、提高生产率、降低成本、节约能源、降低消耗、减轻劳动强度、改善劳动条件、提高安全性和可靠性、简化结构、减轻质量、增强柔性和智能化程度、降低价格等诸多方面都取得了显著成效。机电一体化产品的显著特点是多功能、高效率、高智能、高可靠性，同时又具有轻、薄、细、小、巧的优点，其目的是不断满足人们生产生活的多样性和省时、省力、方便的需求。

综上所述可以看出，机电一体化的本质是机械与电子技术的规划应用和有效结合，以构成一个最优的产品或系统。机电一体化课程的特点首先是涉及的知识面广，且大多为正在发展的新知识；其次，机电结合，综合应用；第三，部分内容与其他课程有交叉。

✕ 1.2 机电一体化系统的基本组成 ✕

1.2.1 机电一体化系统的功能组成

传统的机械产品主要是解决物质流和能量流的问题，而机电一体化产品除了解决物质流和能量流以外，还要解决信息流的问题。机电一体化系统的主要功能就是对输入的物质、能量与信息（即所谓工业三大要素）按照要求进行处理，输出具有所需特性的物质、能量与信息。

任何一个产品都是为满足人们的某种需求而开发和生产的，因而都具有相应

的目的功能。机电一体化系统的主功能包括变换（加工、处理）、传递（移动、输送）、储存（保持、积蓄、记录）三个目的功能。主功能也称为执行功能，是系统的主要特征部分，完成对物质、能量、信息的交换、传递和储存。机电一体化系统除了具备主功能外，还应具备动力功能、检测功能、控制功能、构造功能等其他功能。

加工机是以物料搬运、加工为主，输入物质（原料、毛坯等）、能量（电能、液能、气能等）和信息（操作及控制指令等），经过加工处理，主要输出改变了位置和形态的物质的系统（或产品）。如各种机床、交通运输机械、食品加工机械、起重机械、纺织机械、印刷机械、轻工机械等。

动力机，其中输出机械能的为原动机，是以能量转换为主，输入能量（或物质）和信息，输出不同能量（或物质）的系统（或产品）。如电动机、水轮机、内燃机等。

信息机是以信息处理为主，输入信息和能量，主要输出某种信息（如数据、图像、文字、声音等）的系统（或产品）。如各种仪器、仪表、计算机、传真机以及各种办公机械等。

图 1-1 以典型机电一体化产品数控机床（CNC）为例，说明其内部功能构成。其中切削加工是 CNC 机床的主功能，是实现其目的所必需的功能。电源通过电动机驱动机床，向机床提供动力，实现动力功能。位置检测装置和 CNC 装置分别实现计测功能和控制功能，其作用是实时检测机床内部和外部信息，据此

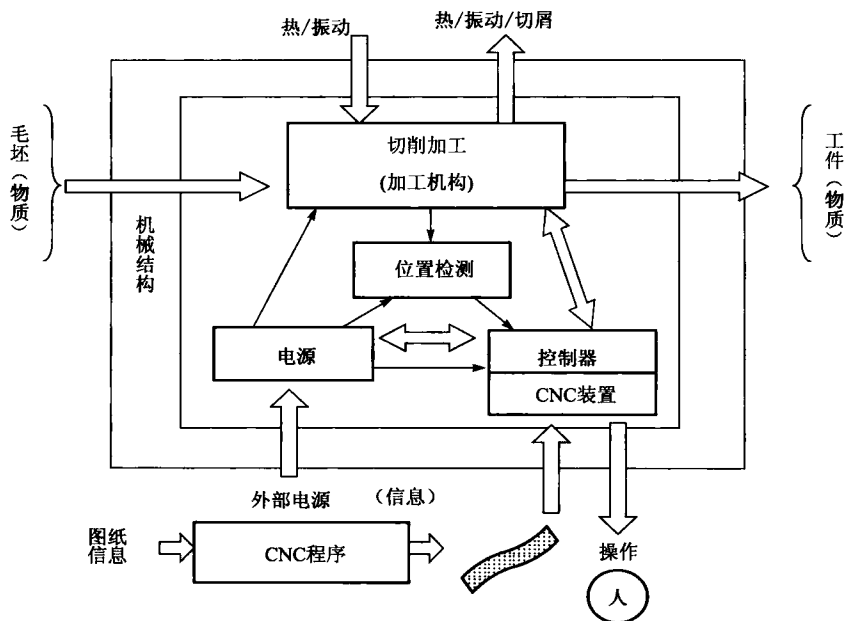


图 1-1 CNC 机床内部功能构成

对机床实施相应控制。机械结构所实现的是构造功能，使机床各功能部件保持规定的相互位置关系，构成一台完整的 CNC 机床。

1.2.2 机电一体化系统的构成要素

机电一体化系统一般由机械本体、传感检测、执行机构、控制及信息处理、动力系统等五部分组成，各部分之间通过接口相联系。从机电一体化系统的功能看，人体是机电一体化系统理想的参照物。构成人体的五大要素分别是头脑、感官、四肢、内脏及躯干。内脏提供人体所需的能量（动力），维持人体活动；头脑处理各种信息并对其他要素实施控制；感官获取外界信息；四肢执行动作；躯干的功能是把人体各要素有机地联系为一体。可以看到，机电一体化系统内部的五大功能与人体的上述功能几乎是一样的。机电一体化系统的构成要素及实现功能如图 1-2 所示。机电一体化系统基本组成可用图 1-3 所示的实例进行描述。

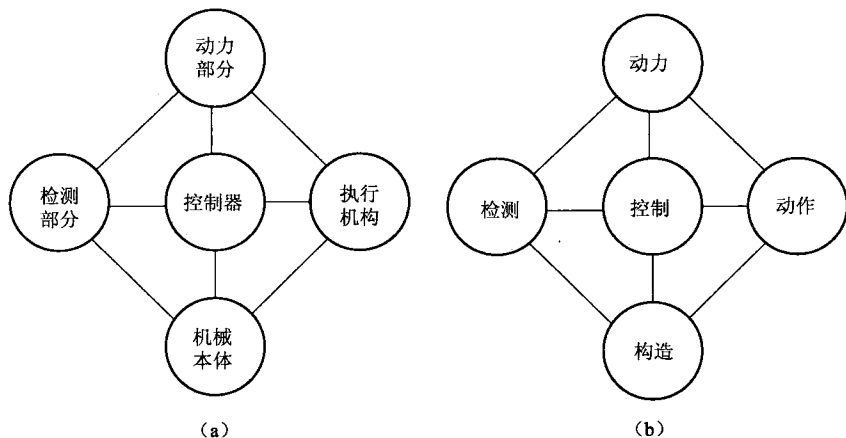


图 1-2 机电一体化系统的构成要素及功能

(a) 机电一体化系统的构成要素；(b) 机电一体化系统的功能

1. 机械本体

机械本体包括机械结构装置和机械传动装置。机械结构是机电一体化系统的机体，用于支撑和连接其他要素，并把这些要素合理地结合起来，形成有机的整体。机电一体化系统的机械结构包括：机身、框架、连接等。机电一体化系统中的机械传动装置不再仅仅是转矩和转速的变换器，而已成为伺服系统的组成部分，必需根据伺服控制的要求进行选择和设计。由于机电一体化产品技术性能、水平和功能的提高，因而机械本体要在机械结构、材料、加工工艺性以及几何尺寸等方面适应产品高效率、多功能、高可靠性和节能、小型、轻量、美观等要求。

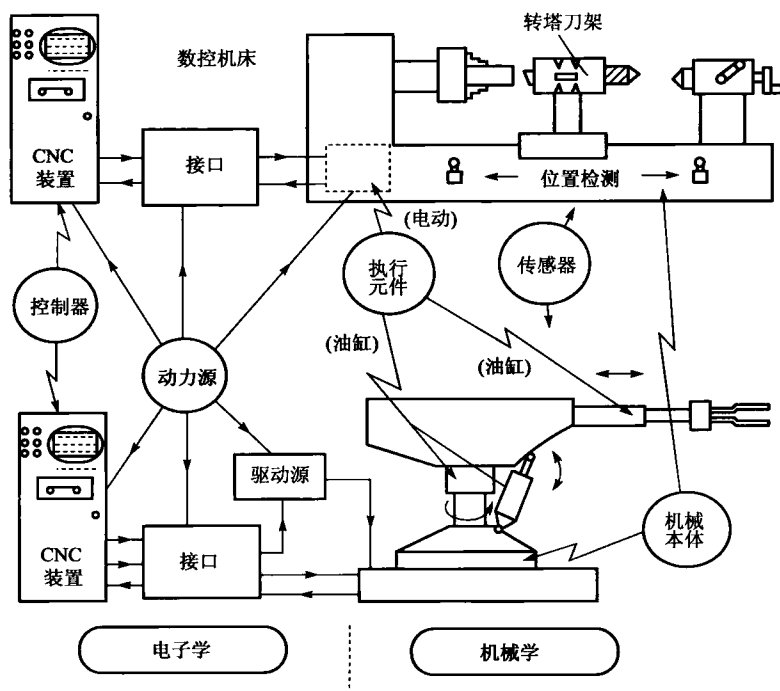


图 1-3 机电一体化系统五大要素实例

2. 动力部分

动力部分是按照系统控制要求，为系统提供能量和动力，去驱动执行机构工作以完成预定的主功能。动力系统包括电、液、气等多种动力源。用尽可能小的动力输入获得尽可能大的功能输出，是机电一体化产品的显著特征之一。

3. 传感检测部分

传感检测部分是对系统运行中所需要的自身和外界环境的各种参数及状态进行检测，然后变成可识别信号，传输到信息处理单元，并且经过分析、处理后产生相应的控制信息。其功能一般由专门的传感器及转换电路完成，对其要求是体积小、便于安装与连接、检测精度高、抗干扰等。

4. 执行机构

执行机构是运动部件在控制信息的作用下完成要求的动作，实现产品的主功能。执行机构将输入的各种形式的能量转换为机械能。执行机构主要由电、液、气等执行元件和机械传动装置等组成。执行机构按运动方式的不同可分为旋转运动元件和直线运动元件，各种电动机及液（气）压电机等是旋转运动执行元件，而丝杠和电磁铁、压电驱动器、液（气）压缸等是直线运动执行元件。执行机构因机电一体化产品的种类和作业对象不同而有较大的差异。执行机构是实现产