



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



机械设计制造及其自动化

专业系列教材

机电一体化 系统设计

第四版

张建民 主编

高等教育出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
机械设计制造及其自动化专业系列教材

机电一体化系统设计

Jidian Yitihua Xitong Sheji

第四版

张建民 主编

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书从“系统”的角度出发,对其机械系统的元、部件和微机控制系统的元(器)件的工作原理、特点、选用原则与选用方法进行了论述,在简要分析其静、动态特性的基础上,重点从机电有机结合(机电一体化)的角度,对系统(产品)的稳态设计与动态设计方法作了较详细的介绍并列举了设计实例,并对一些典型的机电一体化系统作了简要介绍。书后附有常用基本逻辑符号的中、外及新、旧标准对照表。

本书特色鲜明、内容丰富、条理清晰、图文并茂、深浅适宜,不仅可以作为大学本科相关专业的专业课教材,也可供夜大、函大、职大等相关专业选用,还可供从事机电一体化系统设计、制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/张建民主编. --4版. --北京:高等教育出版社,2014.12

ISBN 978-7-04-041355-7

I. ①机… II. ①张… III. ①机电一体化-系统设计-高等学校-教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第253724号

策划编辑	杜惠萍	责任编辑	杜惠萍	封面设计	李卫青	版式设计	马敬茹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	陈杨	责任印制	朱学忠		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	天津新华二印刷有限公司		http://www.landraco.com.cn
开 本	787mm×1092mm 1/16	版 次	2001年8月第1版
印 张	25.25		2014年12月第4版
字 数	610千字	印 次	2014年12月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	47.20元(含光盘)
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 41355-00

第四版前言

本书经过了第一版(1996年)、第二版(2001年)、第三版(2007年)近20年的教学应用实践,读者对教材提出了一些很好的建议。编著者根据读者的建议进行了局部修改与补充,增加了“第三次工业革命的快速成形技术与3D打印机”“城市轨道交通自动售检票系统与自动售票机”和“邮局邮件自动处理系统”等与时俱进的内容。本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书是对学生所学理论课和专业基础课内容的综合运用,又是作者多年科研、教学实践成果的汇集。

“机电一体化”是机械技术、微电子技术和信息技术等各相关技术有机结合的一种新形式,是微电子技术、信息技术向机械技术领域渗透过程中逐渐形成的一个新概念,是机械技术、微电子技术与信息技术交叉的新兴学科。所谓“机电一体化”,并不是机械技术和微电子技术等的简单组合,而是相互取长补短、有机结合(融合),以实现系统构成与性能的最佳化。随着机械技术、微电子技术和信息技术的飞速发展,机械技术、微电子技术和信息技术的相互渗透势不可挡。机、电的有机结合是实现机电一体化系统(产品)的短、小、轻、薄和智能化,从而达到节约能源和材料,实现多功能、高性能和高可靠性目的的最根本的技术手段。

本书的最大特点是,从机电有机结合的角度较系统地阐述了机电一体化系统的设计原理与设计方法,充分体现了“以机为主、以电为用、机电有机结合”的原则。

全书共九章,内容包括:概述(简述了机电一体化原理及机电一体化系统设计的相关技术);机电一体化系统机械系统部件的选择与设计;机电一体化系统执行元件的选择与设计;机电一体化系统微机控制系统的选择及接口设计;机电一体化系统元、部件的特性分析;机电一体化系统机电有机结合的分析与设计;计算机数字控制程序编制基础简介;传统机械加工设备的机电一体化改造分析与设计;典型机电一体化系统简介等。

参加本书编写工作的有张建民、唐水源、冯淑华、郝娟、牛志刚,由张建民担任主编。本书由北京航空航天大学樊尚春教授审阅,并得到清华大学王先逵教授、北京工业大学费仁元教授、北京信息科技大学徐小力教授的指导和帮助,在此谨向他们表示深切谢意。

由于编著者水平和经验有限,书中存有的不足之处敬请读者批评指正。

编著者
2014年1月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

02	.....	1
02	.....	1
22	.....	2
01	.....	3
08	.....	4
08	.....	4-5
09	.....	二
11	.....	三
15	.....	四
75	.....	四
第 1 章 概述	.....	1
85	§ 1-1 对机电一体化涵义的理解与机电一体化技术革命	1
85	一、机电一体化涵义与机电一体化时代特征	1
75	二、机电一体化技术革命	2
88	§ 1-2 机电一体化系统构成要素、功能构成及其价值评价	3
88	§ 1-3 机电一体化系统构成要素之间的相互连接	8
88	§ 1-4 机电一体化系统设计的考虑方法、设计类型及设计流程	9
88	一、机电一体化系统设计的考虑方法	9
90	二、机电一体化系统的设计类型	10
10	三、机电一体化系统的设计流程	11
10	§ 1-5 机电一体化系统的设计程序、准则与规律	12
10	§ 1-6 机电一体化工程与系统工程	14
10	§ 1-7 机电一体化系统的开发工程与现代设计方法	15
88	一、机电一体化系统的开发工程	15
88	二、机电一体化系统设计与现代设计方法	15
88	§ 1-8 机电一体化系统的共性关键技术与优先发展领域	19
88	一、机电一体化系统的共性关键技术	19
88	二、机电一体化的优先发展领域	21
10	习题与思考题	23
第 2 章 机电一体化系统机械系统部件的选择与设计	.....	24
80	§ 2-1 机械系统部件的设计要求	24
80	§ 2-2 机械系统传动部件的选择与设计	25
80	一、机械传动部件及其功能要求	25
81	二、丝杠螺母机构的基本传动形式	26
81	三、滚珠丝杠副传动部件	27
81	四、齿轮传动部件	39
81	五、挠性传动部件	46
81	六、间歇传动机构	48

目 录

§ 2-3 机械系统导向支承部件的选择与设计	50
一、导轨副的组成、种类及其应满足的要求	50
二、滑动导轨副的结构及选择	55
三、滚动导轨副的类型与选择	61
四、静压导轨副工作原理	66
§ 2-4 机械系统旋转支承部件的类型与选择	68
一、旋转支承部件的种类及基本要求	68
二、圆柱支承	69
三、圆锥支承	71
四、填入式滚动支承	72
五、其他形式支承	73
§ 2-5 机械系统轴系部件的选择与设计	76
一、轴系设计的基本要求	76
二、轴系(主轴)用轴承的类型与选择	77
三、提高轴系部件性能的措施	84
§ 2-6 机电一体化系统的机座或机架设计	84
一、机座或机架的作用及基本要求	84
二、机座或机架的结构设计要点	86
习题与思考题	90
第3章 机电一体化系统执行元件的选择与设计	91
§ 3-1 执行元件的种类、特点及基本要求	91
一、执行元件的种类及特点	91
二、对执行元件的基本要求	93
§ 3-2 常用的控制用电动机	94
一、对控制用电动机的基本要求	94
二、控制用电动机的种类、特点及选用	95
§ 3-3 直流(DC)与交流(AC)伺服电机及驱动	97
一、直流(DC)伺服电机及驱动	97
二、交流(AC)伺服电机及驱动	101
§ 3-4 步进电机及驱动	105
一、步进电机的特点与种类	105
二、步进电机的工作原理	106
三、步进电机的运行特性及性能指标	109
四、步进电机的驱动与控制	115
习题与思考题	125
第4章 机电一体化系统微机控制系统的选择及接口设计	127
§ 4-1 专用与通用的抉择、硬件与软件的权衡	127
§ 4-2 微机控制系统的设计思路	128

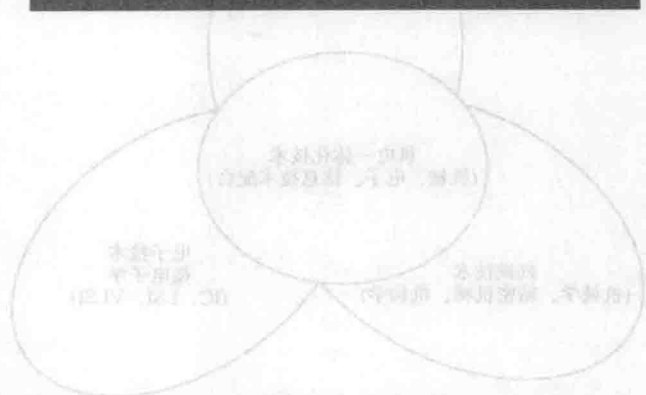
101	一、微机控制系统整体方案的确定与微机选择	128
102	二、微机控制系统的总体设计与系统软件的确定	130
103	三、微机控制系统控制算法的确定	132
104	§ 4-3 微机控制系统的构成与种类	133
105	一、微型计算机的系统构成	133
106	二、微型计算机的分类方法	134
107	§ 4-4 微机控制系统的软件与程序设计语言	136
108	§ 4-5 微机应用领域及其选用要点	137
109	§ 4-6 8086/8088CPU 的硬件结构特点	139
110	一、8086/8088CPU 的主要结构特点	139
111	二、8086/8088CPU 的最大与最小工作模式	139
112	三、8086/8088CPU 引脚的功能定义	140
113	四、8086CPU 最小、最大工作模式系统的典型配置	143
114	§ 4-7 单板机 (Z80CPU) 的硬件结构特点、存储器及输入/输出扩展接口	146
115	一、Z80CPU 的硬件结构特点	146
116	二、Z80CPU 用总线驱动器	147
117	三、Z80CPU 用存储器	148
118	四、Z80CPU 用输入/输出接口	152
119	五、Z80CPU 用存储器及 I/O 口扩展	158
120	§ 4-8 单片机的硬件结构特点及其最小应用系统	159
121	一、MCS-51 系列单片机的结构特点	159
122	二、MCS-51 系列单片机的最小应用系统及其扩展	162
123	§ 4-9 数字显示器及键盘的接口电路	165
124	一、数字显示器的结构及其工作原理	165
125	二、键盘、显示器的接口电路	168
126	§ 4-10 微机应用系统的输入/输出控制的可靠性设计	171
127	一、光电隔离电路设计	171
128	二、信息转换电路设计	175
129	§ 4-11 可编程逻辑控制器 (PLC) 的构成及应用举例	176
130	一、PLC 的构成及其工作原理	176
131	二、PLC 的应用举例	179
132	§ 4-12 常用检测传感器的性能特点、选用及其微机接口	182
133	一、检测传感器的分类与基本要求	182
134	二、各类传感器的主要性能及优缺点	185
135	三、传感器的选用原则及注意事项	194
136	四、检测传感器的测量电路及微机接口	195
137	习题与思考题	199
138		

第5章 机电一体化系统元、部件的特性分析	201
§ 5-1 机电一体化系统与自动控制理论	201
一、拉普拉斯变换与传递函数	201
二、控制系统的过渡过程特性	203
三、伺服系统及其动态特性	204
四、采样控制简介	206
§ 5-2 机电一体化系统元、部件的力学特性	211
一、机械系统特性及变换机构	211
二、机械系统的机构静力学特性	214
三、机械系统的机构动力学特性	216
四、两自由度机器人运动轨迹生成所需转矩	221
§ 5-3 机电一体化系统传感器的动态特性	222
一、动电式变换器的动态特性	223
二、压电式变换器的动态特性	224
三、传感检测系统的动态特性	225
§ 5-4 机电一体化系统执行元件的动态特性	228
一、电磁变换执行元件的动态特性	229
二、具有反馈环节的驱动电路电磁变换执行元件的动态特性	230
三、压电式执行元件及其动态特性	230
四、执行元件与机械惯性阻转矩的匹配方法	232
五、凸轮曲线理论	234
习题与思考题	235
第6章 机电一体化系统机电有机结合的分析与设计	236
§ 6-1 机电一体化系统的稳态与动态设计	236
§ 6-2 机电有机结合之一:机电一体化系统稳态设计的考虑方法	237
一、被控对象分析	237
二、执行元件的匹配选择	239
三、减速比的匹配选择与各级减速比的分配	240
四、检测传感装置、信号转换接口电路、放大电路及电源等的匹配	241
五、系统数学模型的建立及主谐振频率的计算	242
§ 6-3 机电有机结合之二:机电一体化系统动态设计的考虑方法	250
一、机电伺服系统的动态设计	250
二、系统的调节方法	250
三、机械结构弹性变形对系统特性的影响	257
四、传动间隙对系统特性的影响	263
五、机械系统实验振动模态参数识别	264
§ 6-4 机电一体化系统的可靠性、安全性设计	265
一、可靠性设计	265

二、安全性设计	272
习题与思考题	273
第7章 计算机数字控制程序编制基础简介	275
§7-1 数控机床类型及其控制方式	275
§7-2 数控系统组成及数控程序编制基础	278
一、数控系统组成及其工作过程	278
二、数控程序编制基础	279
习题与思考题	291
第8章 传统机械加工设备的机电一体化改造分析与设计	292
§8-1 传统机械加工机床的机电一体化改造设计方案分析	292
一、机床的机械传动系统改造设计方案分析	293
二、机床的机械传动系统简化	297
三、机床机电一体化改造的性能及精度选择	299
四、机床进给系统的机电有机结合匹配选择计算	300
§8-2 微机控制系统的设计	303
一、机床开环控制系统具有的功能及特点	303
二、单板机(Z80CPU)控制系统设计(以车床为例)	303
三、单片机(8031)控制系统设计(以XY工作台为例)	314
四、多CPU直流伺服系统设计简介(以XA6132型铣床为例)	316
习题与思考题	319
第9章 典型机电一体化系统简介	320
§9-1 城市轨道交通自动售检票系统与自动售票机	320
一、城市轨道交通自动售检票系统的组成	320
二、城市轨道交通自动售票机	323
§9-2 邮局邮件自动处理系统	328
一、邮局邮件处理作业流程及邮件自动处理系统	328
二、邮件自动处理系统中的新机器、新机构	330
§9-3 快速成形技术与3D打印机	333
一、快速成形的基本概念与技术分类	333
二、3D打印机	335
§9-4 工业机器人	338
一、工业机器人的组成、分类及技术参数	338
二、电动喷砂机器人(多关节型)	340
三、装配机器人(SCARA型)	345
§9-5 计算机数控机床	349
一、机械加工中心(MC)	349
二、BKX-I型数控机床	354
三、PRS-XY型混联数控机床	362

§ 9-6 汽车的机电一体化简述	371
一、传感器在汽车发动机等中的应用	371
二、微机控制的数字化电子点火系统	375
三、汽车自动空调系统	378
四、电子控制的自动变速器	379
§ 9-7 工业电子秤种类及其构成原理	381
§ 9-8 自动售货机	385
习题与思考题	387
附录 常用基本逻辑符号的中、外及新、旧标准对照表	388
参考文献	390

第1章



概述

§1-1

对机电一体化涵义的理解与机电一体化技术革命

一、机电一体化涵义与机电一体化时代特征

“机电一体化”打破了传统的机械工程、电子工程、信息工程、控制工程、光学工程等学科的分类,形成了融机械工程、电子工程、信息工程等多学科为一体,从系统的角度分析与解决问题的一门新兴的交叉学科。

“机电一体化”是机械技术、微电子技术和信息技术等相关技术有机结合的一种新形式,是微电子技术向机械技术领域渗透的过程中逐渐形成的一个新概念。关于“机电一体化”(mechatronics)这个名词的起源,说法很多,早在1971年,日本杂志《机械设计》副刊就提出了“mechatronics”这一名词,1976年以广告为主的日本杂志《Mechatronics Design News》开始使用,其中的“mechatronics”是mechanics(机械学)与electronics(电子学)组合而成的日本造英语。目前,较为人们所接受的“机电一体化”的涵义是日本“机械振兴协会经济研究所”提出的解释:“机电一体化乃是在机械的主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术,并将机械装置与微电子装置用相关软件有机结合而构成系统的总称”。可以说,“机电一体化”是机械技术、微电子技术及信息技术相互交叉、融合(有机结合)的产物(图1-1)。“机电一体化”含有“技术”与“产品”两方面的内容:首先是“机电一体化技术”,主要是指其技术原理,即使机电一体化系统(产品)得以实现、使用和发展的技术。其次是“机电一体化产品”,该“产品”主要是机械系统(或部件)与微电子系统(或部件)用相关软件有机结合而构成的新的“系统”,且赋予其新的功能和性能的新一代产品。

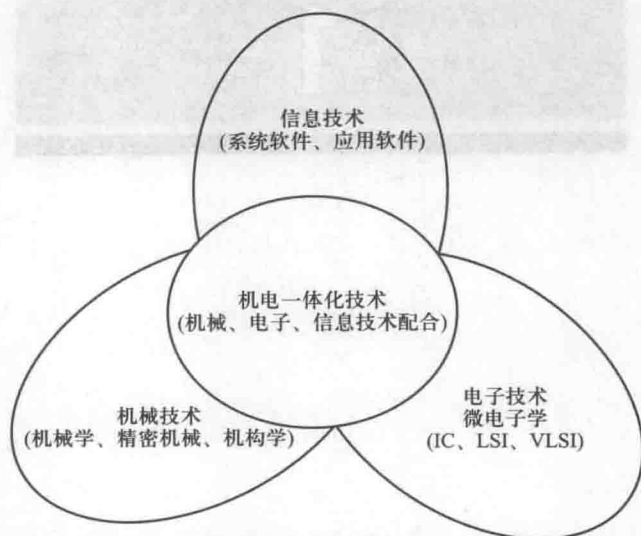


图 1-1 机械、电子、信息技术的交叉融合

“机电一体化”的发展有一个从自发向自为方向发展的过程。早在“机电一体化”这一概念出现之前,世界各国从事机械总体设计、控制部件设计和生产加工制造的科技工作者,已为机械技术与电子技术的有机结合自觉不自觉地做了许多工作,如电子工业领域的通信电台的自动调谐系统、计算机外围设备和雷达伺服系统、天线系统,机械工业领域的数控机床,以及导弹、人造卫星的导航系统等,都可以说是机电一体化的系统。当今人们已经认识到“机电一体化”并不是机械技术、电子(微电子)技术、信息(信息处理)技术以及其他新技术的简单组合、拼凑,而是有机地相互结合(融合),是有其客观规律的。简言之,“机电一体化”这一新兴交叉学科有其技术基础、设计理论和研究方法,只有对其有了充分理解,才能正确地进行“机电一体化”技术工作。

随着以集成电路(integrated circuit, IC)、大规模集成电路(large-scale integration, LSI)、超大规模集成电路(very large-scale integration, VLSI)等为代表的微电子技术的惊人发展,计算机本身也发生了根本变革,以微型计算机为代表的微电子技术逐步向机械领域渗透,并与机械技术有机地结合,为机械增添了“头脑”,并使其增加了新的功能和性能,因此可以说我们已经进入了以“机电有机结合”为特征的“机电一体化时代”。

二、机电一体化技术革命

众所周知,1 g 铀能够释放约相当于 10^6 g(即 1 t)石油所具有的能量,所以说,这 10^6 的变化已称得上是能源技术的重大变革,即我们常说的能源技术革命。

1945 年美国的第一台电子管计算机“ENIAC”使用了近两万个电子管,占地达 167 m^2 ,其体积将近 $4\ 000 \text{ m}^3$ 、质量达 30 t,每秒运算速度达 5 000 次。故从体积、重量与运算速度来看,如今的超大规模集成电路 VLSI 以及由其组成的微型计算机(如单片机)等微电子技术早已经实现了这 10^6 (百万)的变革,进而将微型计算机等微电子技术与曾以机械为主的产品(如机床、汽车、照相机、缝纫机、打字机等)进行交叉融合,使机械产品有了“头脑”(即智能),具有了新的功能和性能。如果说微型计算机等微电子技术的这个 10^6 (百万)的技术变革也称得上是技术革命的话,

那么,这种将微型计算机等微电子技术与机械技术相互融合,并给机械以“智能”的技术革新潮流,就可以被称为“机电一体化技术革命”。

机电一体化技术革命的目的是提高系统(产品)的附加价值,即多功能、高效率、高可靠性及节约材料和能源,并使产品结构向短、小、轻、薄化方向发展,从而不断满足人们生活多样化、生产省力化及自动化的需求。因此,机电一体化的研究方法应该改变过去那种拼拼凑凑的混合设计法,应该从系统整体的角度出发,采用现代设计、分析的方法,充分发挥相关学科的技术优势。

§ 1-2

机电一体化系统构成要素、功能构成及其价值评价

如图 1-2 所示,机电一体化系统由机械系统(机构)、信息处理系统(计算机)、动力系统(动力源)、传感检测系统(传感器)、执行元件系统(如电动机)五个子系统组成。通过传感器直接检测目标运动并进行反馈控制的系统为全闭环系统(图 1-2a)。而通过传感器检测某一部位(如同服电机等)运动位移并进行反馈、间接控制目标运动的系统为半闭环系统(图 1-2b)。机电一体化系统的基本特征是给机械增添了“头脑”(计算机信息处理与控制),因此是要求传感器、控制用接口元件、机械结构控制软件技术水平较高的系统。其运动控制不仅仅是线性控制,还有非线性控制、最优控制、学习控制等各种各样的控制。

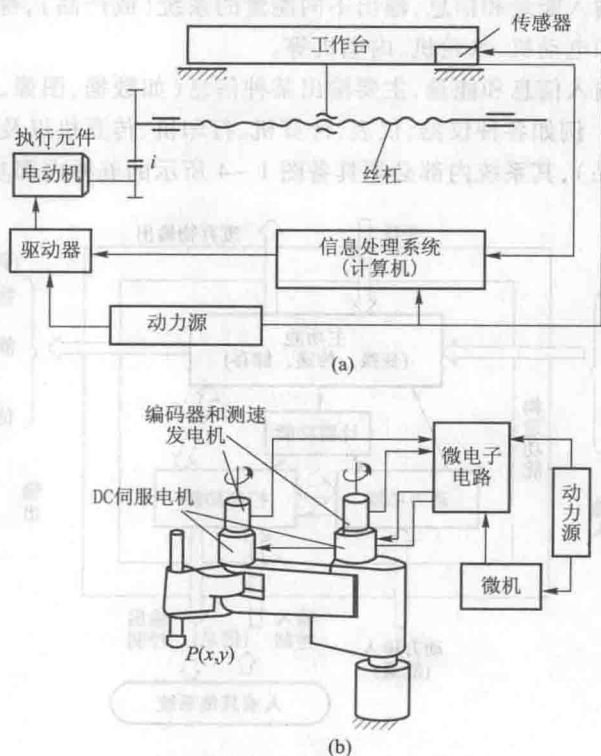


图 1-2 机电一体化系统(产品)基本构成

机电一体化系统是由若干具有特定功能的机械与微电子要素组成的有机整体,具有满足人们使用要求的功能(目的功能)。根据不同的使用目的,要求系统能对输入的物质、能量和信息(即工业三大要素)进行某种处理,输出所需要的物质、能量和信息。因此,机电一体化系统必须具有以下三大目的功能:① 变换(加工、处理)功能;② 传递(移动、输送)功能;③ 储存(保持、积蓄、记录)功能。图1-3为系统目的功能图。

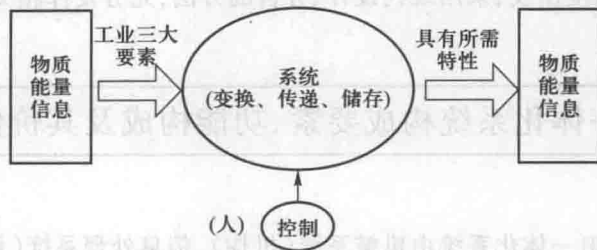


图1-3 系统目的功能

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、控制指令等),经过加工处理,主要输出改变了位置与形态的物质,将这种系统(或产品)称为工作机,例如各种机床(切削、锻压、铸造、电加工、焊接、高频淬火等设备)、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。

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

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),称为信息机。例如各种仪器、仪表、计算机、打印机、传真机以及各种办公机械等。

不管哪类系统(产品),其系统内部必须具备图1-4所示的五种内部功能,即主功能、动力功

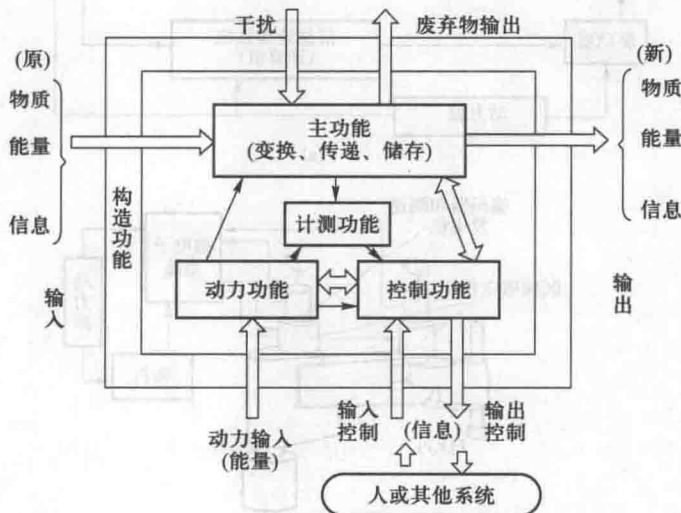


图1-4 系统的五种内部功能

能、计测功能、控制功能、构造功能。其中主功能是实现系统目的功能直接必需的功能,主要是对物质、能量、信息及其相互结合进行变换、传递和存储。动力功能是向系统提供动力、让系统得以运转的功能;检测传感功能和控制功能的作用是根据系统内部信息和外部信息对整个系统进行控制,使系统正常运转,实施目的功能。而构造功能则是使构成系统的子系统及元、部件能够维持所定的时间和空间上的相互关系所必需的功能。从系统的输入/输出来看,除有主功能的输入/输出之外,还需要有动力输入和控制信息的输入/输出。此外,还有因外部环境引起的干扰输入以及非目的性输出(如废弃物等),例如汽车的废气和噪声对外部环境的影响,从系统设计开始就应予以充分考虑。图 1-5 是数控加工中心(computer numerical control, CNC)内部功能构成实例。

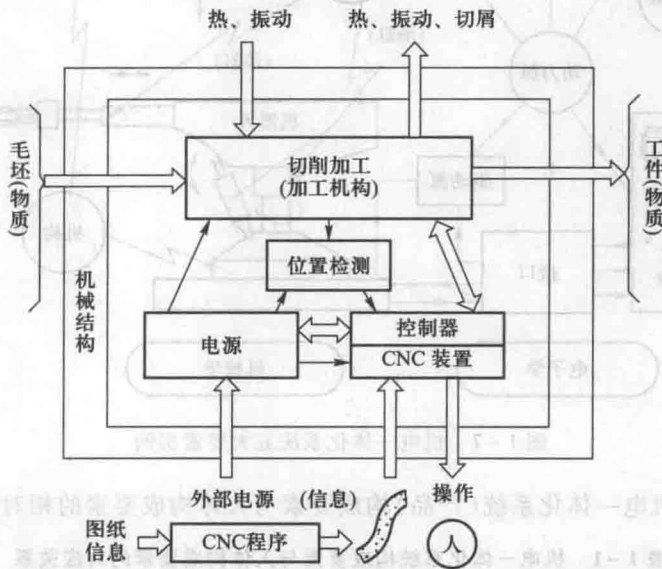


图 1-5 数控加工中心(CNC)的内部功能构成

综上所述,机电一体化系统的五大要素及其相应的五大功能如图 1-6 所示。机电一体化系统五大要素实例如图 1-7 所示。

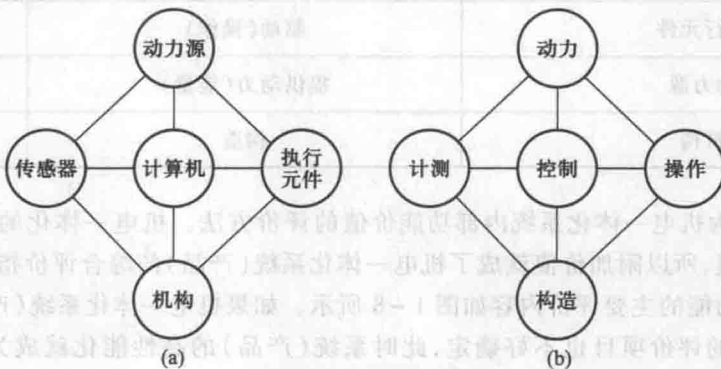


图 1-6 机电一体化系统的五大要素及其相应的五大功能

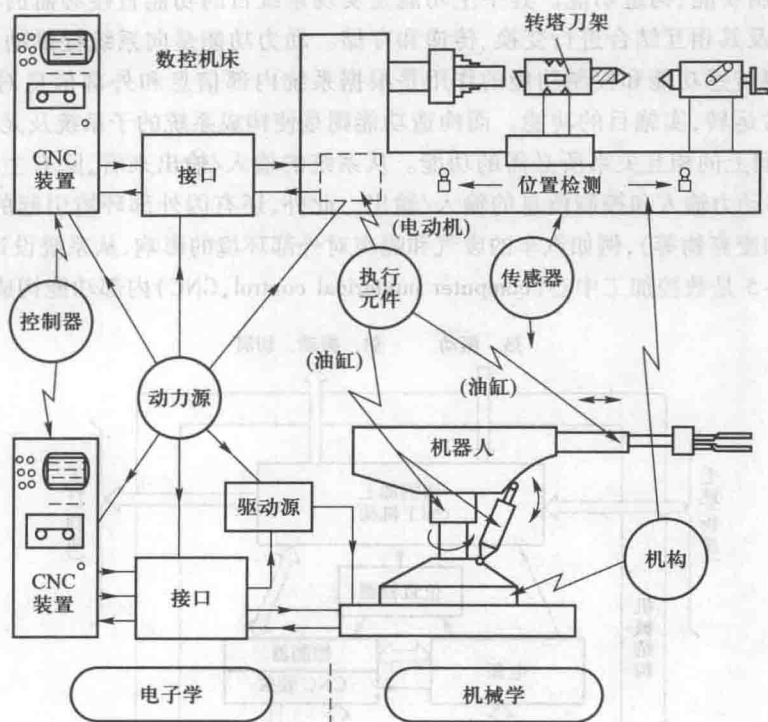


图 1-7 机电一体化系统五大要素实例

表 1-1 列出了机电一体化系统(产品)构成要素与人体构成要素的相对应关系。

表 1-1 机电一体化系统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
控制器(计算机等)	控制(信息存储、处理、传送)	头脑
检测传感器	计测(信息收集与变换)	感官
执行元件	驱动(操作)	肌肉
动力源	提供动力(能量)	内脏
机构	构造	骨骼

表 1-2 所示为机电一体化系统内部功能价值的评价方法。机电一体化的目的是提高系统(产品)的附加价值,所以附加价值就成了机电一体化系统(产品)的综合评价指标。机电一体化系统(产品)内部功能的主要评价内容如图 1-8 所示。如果机电一体化系统(产品)的目的功能未定,那么其具体的评价项目也不好确定,此时系统(产品)的高性能化就成为主要评价项目。高可靠性和低价格化当然是对系统(产品)整体而言的。