



21 世纪高等学校机电类规划教材

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI

机电控制 技术及应用

◆ 陈勇 向敏 罗萍 袁威 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



21 世纪高等学校机电类规划教材

JIDIANLEI GUIHUA JIAOCAI

机电控制 技术及应用

◆ 陈勇 向敏 罗萍 袁威 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

机电控制技术的应用 / 陈勇等编著. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2015. 2
21世纪高等学校机电类规划教材
ISBN 978-7-115-37587-2

I. ①机… II. ①陈… III. ①机电一体化—控制系统
—高等学校—教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第009461号

内 容 提 要

本书内容涵盖机电系统的基本控制原理和技术, 以电机为主导, 以控制为线索, 将机、电有机结合起来, 全面系统地阐述机电系统的控制问题, 研究分析机电系统的特性、控制原理、控制系统设计方法。全书共分为 10 章, 内容包括: 机电控制概述、机械系统、机电系统、直流电机、交流电机、控制电机、低压电器控制技术、可编程控制技术、单片微型计算机技术、机电系统案例分析与设计方法。

本书可作为机械设计制造及其自动化等机电类专业本科、研究生控制技术课程的教学用书, 也可作为相近专业的教学参考书以及从事机电工程的技术人员的参考书。

◆ 编 著 陈 勇 向 敏 罗 萍 袁 威

责任编辑 刘 博

责任印制 沈 蓉 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京中新伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 23.5

字数: 589 千字

2015 年 2 月第 1 版

2015 年 2 月北京第 1 次印刷

定价: 49.80 元

读者服务热线: (010) 81055256 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

控制论、信息论以及系统工程这三大理论的提出为现代机械学的发展提供了理论依据,电子技术的发展使得现代机械技术的迅速发展成为可能。以控制为核心,机械与电子紧密结合,机电控制技术,机器的各种复杂功能得以实现,如复杂逻辑控制、速度控制、位置控制等。因此,机电控制技术是解决机电系统中的控制问题的一门技术,是现代机械工程专业基础。只有学习和掌握了机电控制技术,才能从系统的角度出发,有效地从事现代机械工程和机电一体化相关的技术工作。

本书内容涵盖机电系统的基本控制原理和技术,以电机为主导,以控制为线索,将机、电有机结合起来,全面系统地阐述机电系统的控制问题,研究分析机电系统的特性、控制原理、控制系统设计方法,使学生对机电工程中电控技术部分有全面、系统的了解和掌握。全书共分为10章,第1章主要介绍机电控制技术的基本概念及相关学科、机电控制系统组成、机电控制技术的任务等;第2章介绍减速装置,丝杆螺母副、蜗轮蜗杆副等各种线性传动部件,连杆机构、凸轮机构等非线性传动部件,导向支承部件,旋转支承部件,轴系部件等;第3章介绍机电传动系统的运动方程、多轴传动系统的折算、生产机械负载的性质,以及机电传动系统稳定运行的条件;第4章介绍直流电机的基本原理、结构、启动、调速、制动方法和原理;第5章介绍交流电机的基本原理、结构、启动、调速、制动方法和原理;第6章介绍常用控制电机的基本原理、结构,以及应用特性;第7章介绍常用低压电器、电器工程图的表达方法,以及常用电器控制电路;第8章介绍可编程控制器(PLC)的基本概念、基本原理、结构以及应用;第9章介绍直流调速系统的基本结构、调节方法和原理;第9章介绍机电系统核心控制—单片微型计算机技术;第10章介绍机电系统的分析与设计方法,并以实际案例详细讨论机电系统的建模、分析、设计与实现过程。

本书在编写的过程中,得到了国内一些专家、教授的大力支持,同时还得到了重庆邮电大学、人民邮电出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。研究生尹辉、杨凯、帅锋、郝裕斌和张玉兰也参与了本书的编辑工作,在此表示感谢。书中部分内容的编写参照了有关文献,恕不一一列举,谨对书后所有参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中一定有不少疏漏和不妥之处,敬请前辈、同仁以及广大读者见谅并不吝指正。

编者

2014年7月于重庆

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 机电控制技术的内涵	1
1.1.2 机电控制技术的基本内容	2
1.1.3 机电控制技术的发展	3
1.2 机电控制技术及控制系统	4
1.3 机电控制系统的关键技术	7
1.4 本课程的性质和任务	12
第2章 机械系统	13
2.1 机械传动部件	13
2.1.1 螺旋传动机构	13
2.1.2 齿轮传动机构	15
2.1.3 挠性传动机构	19
2.1.4 间歇传动机构	20
2.2 导向支承部件	23
2.2.1 滑动导轨副	23
2.2.2 滚动导轨副	26
2.3 旋转支承部件	31
2.3.1 圆柱支承	32
2.3.2 圆锥支承	33
2.3.3 填入式滚动支承	33
2.3.4 其他支承	34
2.4 轴系部件	36
2.4.1 轴系的轴向定位和固定	36
2.4.2 轴系零件的润滑与密封	38
2.4.3 轴承间隙及轴上零件位置的调整	39
2.4.4 滚动轴承与轴颈和座孔的配合	40
思考题与习题	41
第3章 机电传动系统	42
3.1 机电传动系统运动方程	42
3.2 多轴传动系统的简化	44
3.2.1 工作机构为转动情况时转矩与飞轮矩的折算	44

3.2.2 工作机构为平移运动时转矩与飞轮矩的折算	46
3.2.3 工作机构作提升和下放重物运动时转矩与飞轮矩的折算	47
3.3 生产机械的负载转矩特性	48
3.4 机电传动系统稳定运行的条件	50
思考题与习题	51
第4章 直流电机	53
4.1 直流电机的结构及基本工作原理	53
4.1.1 直流电机的主要结构	53
4.1.2 直流电机的基本工作原理	55
4.1.3 直流电机的铭牌数据和主要系列	56
4.2 直流电机的磁场	57
4.2.1 直流电机的励磁方式	57
4.2.2 直流电机的感应电动势和电磁转矩	58
4.3 直流发电机	59
4.4 直流电动机	60
4.4.1 直流电动机的基本方程式	60
4.4.2 直流电动机的工作特性	61
4.5 他励直流电动机的机械特性	62
4.5.1 机械特性表达式	62
4.5.2 固有机械特性	63
4.5.3 人为机械特性	64
4.5.4 根据电机的铭牌数据绘制机械特性	65
4.6 他励直流电动机的启动	67
4.7 他励直流电动机的电动与制动	69
4.7.1 他励直流电动机的电动	70
4.7.2 他励直流电动机的制动	71
4.8 他励直流电动机的调速	77
4.8.1 他励直流电动机的调速方法	77
4.8.2 调速的性能指标	80
4.8.3 调速方法与负载性质的匹配	80

问题	82	6.3.1 直流测速发电机	130
思考题与习题	83	6.3.2 交流测速发电机	132
第5章 交流电机	85	6.4 伺服电动机	134
5.1 交流电动机基本结构及工作原理	85	6.4.1 直流伺服电动机	134
5.2 三相异步电动机理论分析与运行特性	90	6.4.2 交流伺服电动机	135
5.2.1 转子静止时的异步电动机	90	6.5 步进电动机	139
5.2.2 转子转动时的异步电动机	96	6.5.1 结构与基本工作原理	139
5.3 三相异步电动机的机械特性	101	6.5.2 运行特性	142
5.3.1 机械特性的物理表达式	101	6.5.3 步进电动机的驱动电路	144
5.3.2 机械特性的参数表达式	103	6.6 其他驱动和控制微电机	145
5.3.3 机械特性的实用表达式	106	6.6.1 自整角机	145
5.4 三相异步电动机的启动	107	6.6.2 旋转变压器	151
5.4.1 鼠笼型异步电动机的启动	108	6.6.3 无刷直流电动机	156
5.4.2 绕线式异步电动机的启动	111	思考题与习题	158
5.4.3 异步电动机的软启动	114	第7章 继电器接触器控制	159
5.5 三相异步电动机的制动	115	7.1 常用低压电器	159
5.5.1 反接制动	116	7.1.1 开关电器	159
5.5.2 回馈制动	117	7.1.2 主令电器	161
5.5.3 能耗制动	118	7.1.3 熔断器	163
5.5.4 异步电动机的软制动和软停车	120	7.1.4 交流接触器	164
5.6 三相异步电动机的调速	121	7.1.5 继电器	165
5.6.1 三相异步电动机的变极调速	121	7.2 电气原理图的画法规则	167
5.6.2 降低定子电压的调速	122	7.2.1 电气控制系统图中的图形符号和文字符号	167
5.6.3 三相异步电动机的变频调速	124	7.2.2 电气原理图	170
5.6.4 绕线转子串电阻的调速	124	7.2.3 电气元件布置图	171
5.6.5 绕线式异步电动机的串级调速	125	7.2.4 电气安装接线图	172
5.6.6 滑差电机调速	125	7.3 基本控制电路	173
思考题与习题	126	7.3.1 启动、自锁与停止控制电路	173
第6章 控制电机	128	7.3.2 连续工作与点动控制	173
6.1 概述	128	7.3.3 多点控制	174
6.2 单相异步电动机	128	7.3.4 联锁控制	174
6.2.1 单相异步电动机的基本工作原理	128	7.3.5 顺序启动控制	176
6.2.2 单相异步电动机的启动	129	7.4 异步电动机的控制	176
6.3 测速发电机	130	7.4.1 异步电动机的启动电路	176
		7.4.2 异步电动机的正反转控制电路	181
		7.4.3 异步电动机的制动电路	181
		7.4.4 双速异步电动机的调速控制	185
		7.5 异步电动机的调速	186

7.5.1 电气调速概述	187	9.1.3 单片机的发展趋势	237
7.5.2 交流调速	187	9.2 MCS-51 系列单片机内部结构及 工作原理	239
7.5.3 交流电动机的变频调速	189	9.2.1 MCS-51 单片机的内部 结构	239
7.6 控制电路的设计	190	9.2.2 单片机的引脚名称及功能	240
7.6.1 设计的基本原则、内容和 程序	190	9.2.3 单片机存储器结构	243
7.6.2 电力拖动方案确定原则和电动 机的选择	191	9.3 MCS-51 单片机指令系统	246
7.6.3 控制线路的设计及元件 选择	192	9.3.1 MCS-51 单片机指令格式	246
7.6.4 控制系统的工艺设计	194	9.3.2 MCS-51 单片机寻址方式	247
7.6.5 控制线路设计举例	195	9.3.3 MCS-51 单片机指令系统	250
思考题与习题	200	9.3.4 程序结构及应用举例	260
第 8 章 可编程控制器	202	9.4 MCS-51 单片机的定时/计数器	262
8.1 可编程控制器的概述	202	9.4.1 定时/计数器 0、1 结构	262
8.1.1 PLC 简介	202	9.4.2 定时/计数器 0、1 的工作 方式	263
8.1.2 PLC 发展历史	202	9.4.3 定时器/计数器的应用—— 毫秒级定时	266
8.1.3 PLC 特点	203	9.5 MCS-51 单片机的中断系统	270
8.2 结构和工作原理	204	9.5.1 中断系统构成	270
8.2.1 PLC 基本结构	204	9.5.2 中断的控制	271
8.2.2 PLC 各组成部分的功能	204	9.5.3 中断处理过程	273
8.2.3 PLC 基本工作原理	207	9.5.4 中断的应用	275
8.2.4 PLC 分类	209	9.6 单片机并行口	278
8.2.5 PLC 与继电器接触器控制系统 及计算机的区别	210	9.6.1 用 8255 扩展并行 I/O 接口	278
8.2.6 可编程控制器 FX/Q 系列 概述	211	9.6.2 单片机应用系统中键盘的 设计	284
8.3 FX/Q 系列编程元件及基本编程 语言	213	9.7 串行通信	294
8.3.1 FX/Q 系列 PLC 中常用的编程 器件与编程语言	213	9.7.1 串行通信	294
8.3.2 基本逻辑指令	217	9.7.2 串行通信接口	296
8.3.3 绘制梯形图的基本规则	224	9.7.3 串行通信的工作方式	298
8.3.4 顺序步进指令和编程	226	9.7.4 串行通信技术应用	301
8.3.5 PLC 控制系统设计方法	229	9.8 单片机应用系统设计	302
思考题与习题	234	9.8.1 单片机应用系统的设计 过程	302
第 9 章 单片微型计算机技术	235	9.8.2 单片机应用系统的开发 工具	303
9.1 概述	235	9.8.3 单片机在电动执行器的控制 器中应用	303
9.1.1 单片机	235	思考题与习题	306
9.1.2 单片机的特点及应用	236		

第10章 机电系统实例分析、设计与应用 308

10.1 同步控制系统(速度控制)	
数学模型和动态性能分析	308
10.1.1 问题的描述与要求	308
10.1.2 系统运行分析	309
10.1.3 电路的选择与传递函数的建立	309
10.1.4 系统校正	314
10.1.5 主要程序代码(见附录1(源代码))	322
10.2 无线通信的电机系统同步或随动控制	322
10.2.1 问题描述	322
10.2.2 系统方案设计	323
10.2.3 硬件设计	323
10.2.4 软件设计	327

10.2.5 实物图	330
10.2.6 主要程序代码(见附录1(源代码))	330
10.2.7 原理图、PCB图(见附录2(工作原理图、PCB图))	330
10.3 三坐标控制平台	330
10.3.1 系统总体设计思路	330
10.3.2 系统硬件	331
10.3.3 系统软件	336
10.3.4 主要程序代码(见附录1(源代码))	338
10.3.5 原理图、PCB图(见附录2(工作原理图、PCB图))	338
附录1	339
附录2	362
参考文献	367

机电控制技术在解决机电系统控制问题的一种技术，是现代机械工程的专业基础。只有学习和掌握了机电控制技术，才能从系统的角度出发，有效地从事现代机械工程和机电一体化化的技术工作。

1.1 概述

机电控制技术是在机与电的结合过程中产生的。然而随着机电系统复杂程度的增加以及性能要求的提高，机和电的协调、整体优化问题变得越来越突出，于是用系统的理论和方法，综合运用机械技术、电子技术、自动控制技术、计算机信息技术、传感测试技术、光电技术、管理科学技术来解决这些问题，在此基础上逐渐形成了一个新的学科，这就是机电系统工程或机电一体化。机电控制技术在机电系统工程或机电一体化技术下面的一门支撑技术，了解机电系统工程或机电一体化技术，可以更好地学习和掌握机电控制技术。

1.1.1 机电控制技术的内涵

机电控制技术是在微电子技术和计算机信息技术迅速发展的前提下，综合运用各个学科技术知识来解决机电系统工程中技术问题的基础上逐渐形成的一种新的技术。在此形成过程中出现了一些不同的名词，如机电系统工程、机电一体化和机械电子学等，但其实质内涵是一致的。

机电控制技术的理论和技术的发展具有两个显著特性：一是系统科学性；二是学科综合性或技术集成性，即机电系统工程和机电一体化技术绝非单一学科知识所能够支撑的，而是依赖于多门学科知识的有机结合。机电一体化实质上是从系统的观点出发，应用机械、电子、计算机信息等有关技术，对电子器件和机械装置进行有机的组合与统一，实现机电系统的整体优化。

机电控制技术涵盖“技术”和“系统”两个方面。机电一体化技术是控制技术、微电子技术、计算机信息技术与机械技术相结合的一种综合性技术，是使机电一体化系统得以实现、使用和发展技术。机电一体化产品是指机械系统和电子系统有机结合，并赋予新的功能和性能的产品。

随着科学技术的发展，机电一体化技术已从原来机械为主的领域拓展到目前的汽车、电站、仪表、化工、通信、冶金等领域，而且机电系统工程的概念也不再是某一具体产品的范围，已扩大到控制系统和被控系统相结合的产品制造和过程控制的大系统，如柔性制造系统

(FMS)、计算机辅助设计/制造系统 (CAD/CAM)、计算机辅助设计工艺 (CAPP)、计算机集成制造系统 (CIMS) 以及各种工业过程控制系统。

1.1.2 机电控制技术的基本内容

由于机电系统工程主要研究和处理机电系统中的跨学科的综合性问题，因此首先要有机、电类学科的专业基础。另外，一些综合性技术问题不仅涉及多学科，而且涉及较深的专业知识，包括机、电学科本身的专业知识和机电系统所涉及的多学科的专业知识。

由机电系统工程的内涵特点可知，机电系统工程学科的基本内容是研究机电系统的有关理论，从整体性、综合性、最优性的角度来研究机电系统的分析、决策、建模、规划、设计与实施、运行与管理的方法，以取得系统的最佳效益。图 1.1 所示概括了机电系统工程的基本内容以及机电系统工程问题领域与具体内容之间的对应关系。

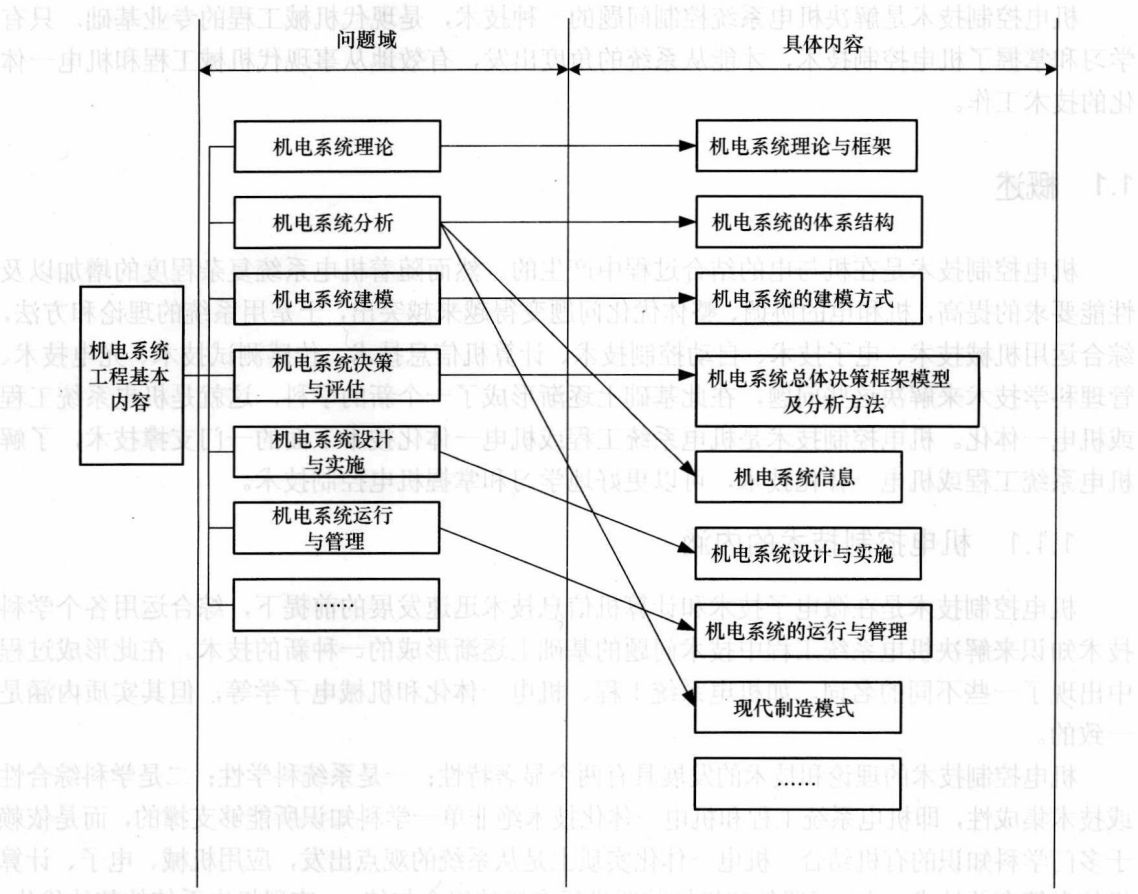


图 1.1 机电控制技术的基本内容

机电控制技术由三部分组成：一是系统理论和系统思想贯穿始终，因此系统科学是机电系统工程的思维基础；二是人们在设计、规划、控制和运筹机电系统时，总是在追求总体最优，因而必然要涉及大量的运筹学、控制论和信息论的技术和方法，这些构成了机电系统工程的技术基础；三是机电系统所涉及的工艺、方法、技术、设备等是机电系统工程赖以存在的基石，它们构成了整个机电系统工程的专业基础。因此，机电系统工程的知识基础可用图 1.2 来描述。

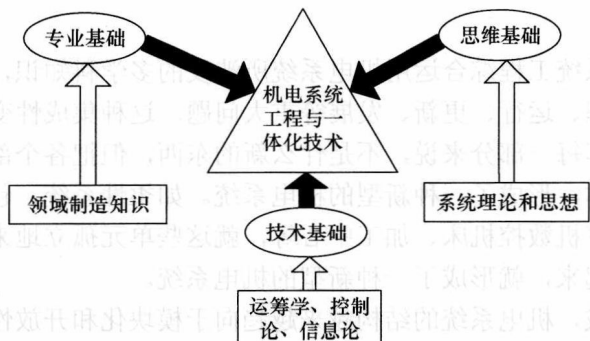


图 1.2 机电控制技术的知识基础

机电控制技术的学科支撑体系比较复杂，目前还没有较为统一的描述。有许多学者认为机电系统工程的学科支撑体系应是以机、电学科为基础，以系统工程的理论方法为纽带，有机地结合机械工程、控制技术、电子技术、计算机技术、工业工程、管理工程等多学科知识而形成的一门综合性学科，如图 1.3 所示。从图 1.3 中可以看出，机电系统工程的学科特点在于学科复合性与技术集成性，强调多学科的结合与融会贯通。

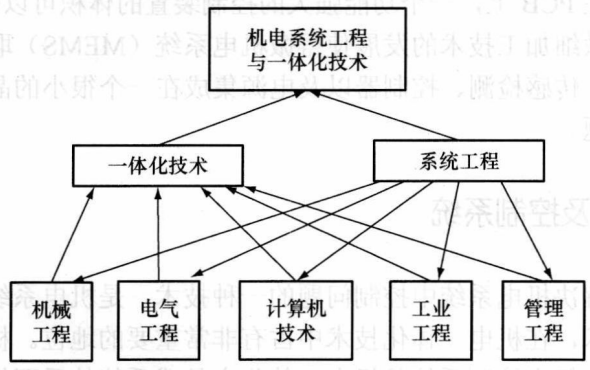


图 1.3 机电控制技术学科支撑体系

1.1.3 机电控制技术的发展

近年来，机电控制技术的发展突飞猛进。机电控制技术在工业领域中的应用越来越广，不仅在机械行业，而且在仪表、汽车、钢铁冶金、通信、电站、石油、化工、轨道交通等行业普遍应用。

随着微电子技术和计算机信息技术的迅速发展，机电控制技术正向更高层次迈进，向更广泛范围延伸，机、电结合程度越来越紧密，技术发展速度越来越快，并具有一些显著特点。

1. 智能化

对机电系统的高性能要求，特别是适应性要求，使得一些新的机电系统被采用。典型的智能机电系统有机器人、智能型数控设备、智能仪器仪表等。这些新型的机电系统有一个共同的特点：都具有一定的人工智能，能够根据环境的变化进行分析、推理，并做出合适的响应。智能机器人能通过自身的视觉、听觉或触觉来感知周围环境的状态及其变化，并对此做出相应的反应。智能仪器仪表能够根据不同的状态或时段进行不同的计量、复杂计算、实时监测和数据传输、语音提示和图像显示等。

2. 集成性

集成性就是机电系统工程综合运用机电系统所涉及的多学科知识，来研究和处理机电系统的设计、制造、管理、运行、更新、发展等重大问题。这种集成性变得越来越广泛，例如许多新的家电系统就其每一部分来说，不是什么新的东西，但把各个部分集成在一起，就成了具有新颖特色的整体，形成了一种新型的机电系统。如柔性系统，包括控制系统、监测系统、物料流系统、计算机数控机床、加工中心等，就这些单元孤立地来看均是已有的理论和技能；但有机地结合起来，就形成了一种新型的机电系统。

为了便于系统集成，机电系统的结构越来越趋向于模块化和开放性。模块化使得许多单一功能或基本功能以子系统的形式产品化，可以缩短系统构成周期，降低系统制造成本；开放性是指在一定标准支持下，使得系统可以灵活组态，进行任意组合，并可以通过总线进行数据通信与共享。

3. 微型化

在一些特殊的应用领域（如军事、医疗、家用器具、娱乐工具等）不仅要求机电系统具有优良的性能，还要求体积尽量小、重量尽可能的轻。微电子技术的迅速发展，使得电子元件的尺寸越来越小，再加上安装工艺的不断改进，如表面安装技术（SMT），特别是绑定技术可以直接把芯片安装在 PCB 上，一个功能强大的控制装置的体积可以做得非常小。

另一方面，精密微细加工技术的发展使得微机电系统（MEMS）取得了突破性的进展，可以将机构及其驱动、传感检测、控制器以及电源集成在一个很小的晶片上。这是未来机电系统微型化的研究主题。

1.2 机电控制技术及控制系统

机电控制技术是解决机电系统中控制问题的一种技术，是机电系统工程或机电一体化技术下面的一种支撑技术，在机电一体化技术中占有非常重要的地位。机电控制技术的具体体现就是机电控制系统，机电控制系统是机电一体化产品或系统的重要组成部分。

机电控制系统是机电控制技术的具体表现形式，通过控制器合理选择或设计放大元件、执行元件、检测元件与转换元件、导向与支撑原件和传动机构等，使机电装备达到所要求的性能和功能。机电控制系统是机电一体化产品及系统中承担控制对象输出，并按照指令规定的规律变化的功能单元，是机电一体化产品及系统的重要组成部分。机电控制系统是一种自动控制系统，一般由指令元件，比较、综合与放大元件，转换与功率放大元件，执行元件，工作机构，检测与转化元件 6 部分组成，如图 1.4 所示。

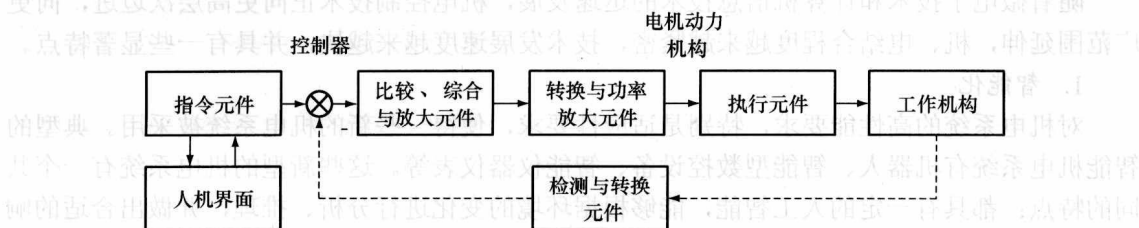


图 1.4 电机控制系统组成

机电控制系统的工作原理是：由指令元件发出信号，通过比较、综合与放大元件将此信

号与输出反馈信号比较,再将差值进行处理和放大、控制及转换,将处理后的信号加到功率放大元件并作为执行元件的输入信号,使得执行元件按指令的要求运动;而执行元件往往和机电装备的工作机构连接,从而使机电装备的被控量(如位移、速度、力/转矩等)符合要求的规律。机电伺服控制系统是指系统的输出为机械量,且输出跟随指令运动的机电控制系统。随着计算机特别是微处理器的普及和性能价格比的提高,机电控制系统的指令产生、信号比较与综合等功能可以交由计算机完成。由于采用计算机控制机电系统,计算机的强大数据处理功能、良好的重复性、方便的编程和人机接口,所以可以使机电系统的灵活性和自动化程度大大提高。

一个较完善的机电控制系统,应包括以下几个基本要素:机械本体、动力装置、传感及检测装置、控制装置、执行装置,各要素和环节之间通过接口互相联系,如图 1.5 所示。

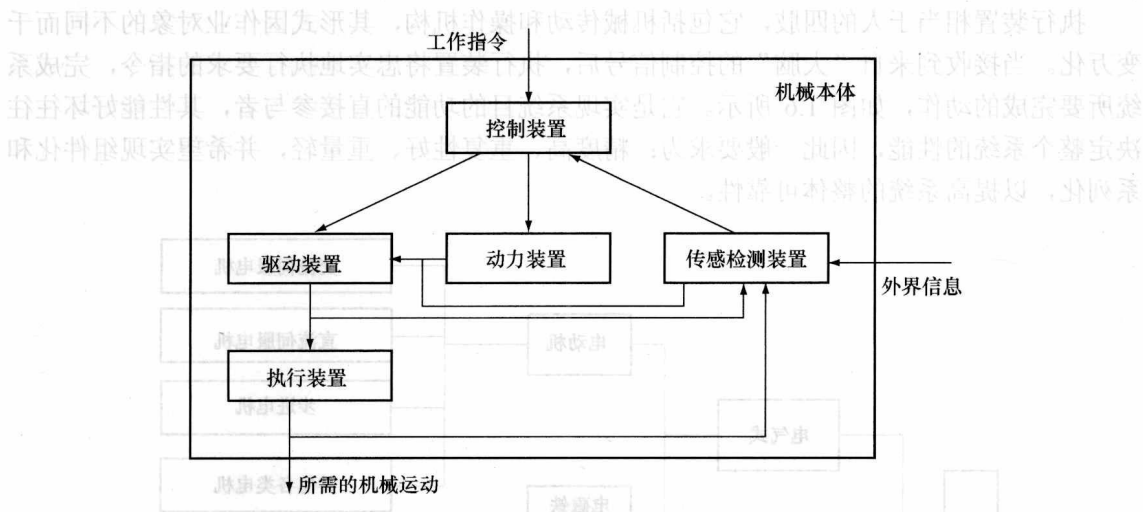


图 1.5 机电控制系统的基本结构要素

1. 机械本体

机械本体相当于人的躯体,是系统所有功能元素的机械支持结构,包括机身、框架、机械连接等内在的支持结构。机电一体化产品在引进电子技术以后,其技术性能、水平和功能都有了很大的提高,因此对机械本体也提出了更高的要求。另外,机械本体在整个产品中占有很大的体积和重量,因此要求采用新结构、新材料、新工艺,以适应机电一体化产品在多功能、可靠、高效、节能、小型、轻量、美观等方面的要求。

2. 动力装置

动力装置相当于人体内脏,为系统提供能量和动力,驱动执行装置,使系统正常运行。机电控制系统中以电能利用为主,因此动力装置应包括电源、电动机等执行元件及其驱动电路。用尽可能小的动力输入,获得尽可能大的功能输出,以及具有高度可靠性,是对动力装置的主要要求。

3. 传感及检测装置

传感及检测装置就像人的五官一样,其功能是对系统运行时内部状态和外部环境信息进行检测,被测信息包括位置、速度、力、力矩、电压、电流、温度、湿度等物理量。传感器把这些物理量变成一定规格的电信号,然后由控制与信息处理单元处理、决策,作为确定下一步动作的依据。

传感及检测装置一般由传感器及相应的信号检测电路组成,通常希望它体积小、精度高、抗干扰能力强,并且便于安装和连接。

4. 控制装置

控制装置相当于人的大脑,是系统的灵魂。它将来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、存储、分析、加工,根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。控制及信息处理单元一般由计算机、可编程序控制器(PLC)、数控装置以及逻辑电路、A/D 与 D/A 转换、I/O(输入/输出)接口和计算机外部设备等组成。

机电控制系统对这部分的基本要求为:提高信息处理速度、可靠性,增强抗干扰能力,以及完善系统自诊断功能,不断地向柔性和智能化方向发展。

5. 执行装置

执行装置相当于人的四肢,它包括机械传动和操作机构,其形式因作业对象的不同而千变万化。当接收到来自“大脑”的控制信号后,执行装置将忠实地执行要求的指令,完成系统所要完成的动作,如图 1.6 所示。它是实现系统目的功能的直接参与者,其性能好坏往往决定整个系统的性能,因此一般要求为:精度高、重复性好、重量轻,并希望实现组件化和系列化,以提高系统的整体可靠性。

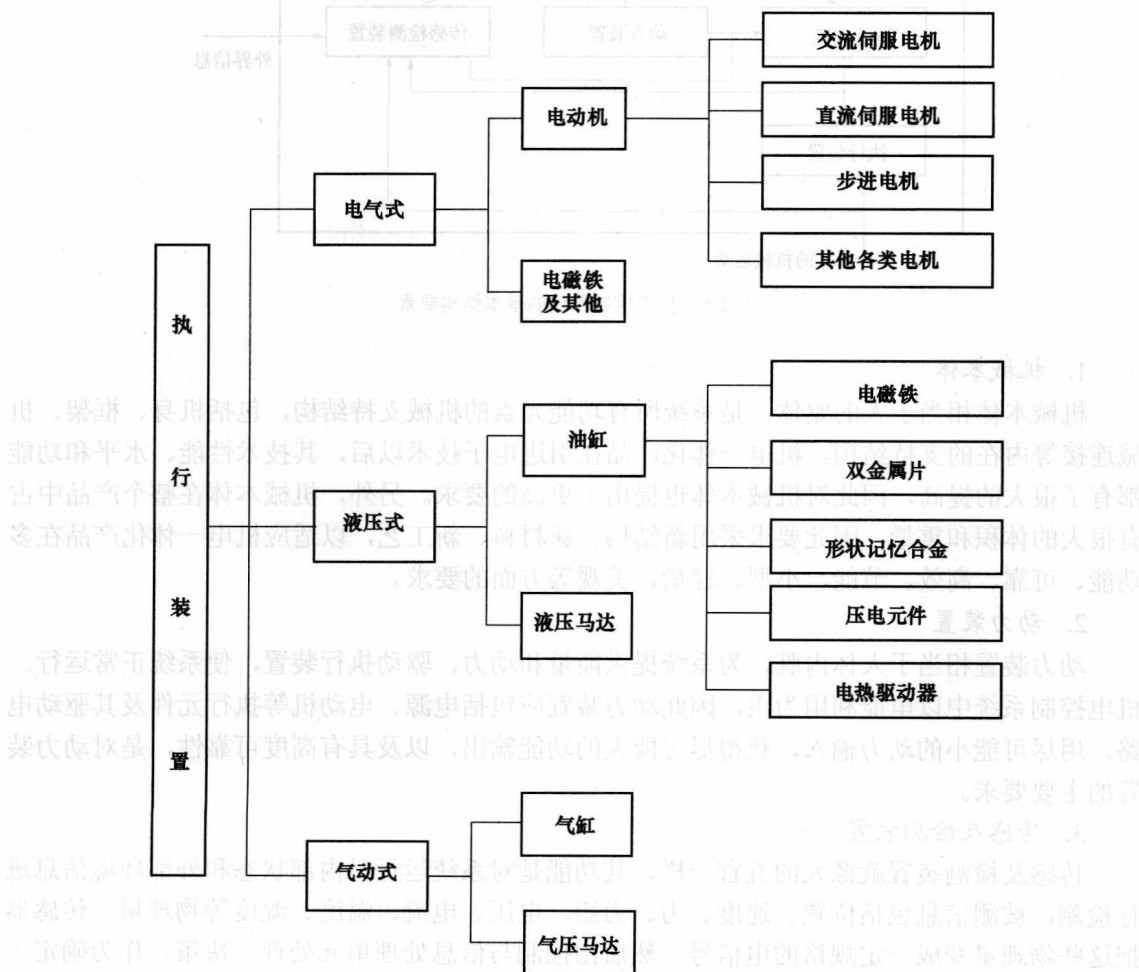


图 1.6 执行装置的分类

电气式执行部件按运动方式的不同可分为两类：一类是产生旋转运动的元件，如各种交流的或直流的伺服电动机、静电电机、光学电机、超声波电机等；另一类是产生直线运动的部件，如直线电机及做微量直线位移的磁致伸缩器件和电致伸缩器件（如电磁铁、压电驱动器等、电热驱动器等）。其中利用电磁力产生运动的器件，如交流、直流伺服电机及电磁铁等得到广泛的使用；而利用压电、电热膨胀等原理产生微量位移的元件则因位移量极小，不易产生过冲而常在数控机床、光刻机等需微量进给的场合获得应用。

液压式执行部件主要包括驱动轴做直线往复运动的油压缸以及驱动轴做旋转运动的油压马达等，其中油缸占绝大多数。目前，已有各种电—液伺服马达和电—液步进马达产品。电—液马达的最大优点是输出力矩大，由于是低速大转矩型，往往可以直接驱动负载。在液压式执行机构中，还有一类较先进的执行机构称为电液比例系统。它是利用比例电磁铁来控制液压阀的开度，进而控制油缸活塞的行程、速度。使用时只需加上一个大小可调的电信号，就可使油缸活塞按信号大小成比例地产生运动，这种电液比例系统本身就是一个独立的机电一体化产品，它控制方便、工作稳定、输出力矩大，具有较为突出的优点，很适合作为机电一体化设备中的执行机构。

气动式执行部件除了用压缩空气作为工作流体之外，与液压式执行部件没有什么区别。但压缩空气与液压液相比，无黏性、可压缩，因此在用法和结构上与液压式有一定差别。例如，因为空气的可压缩性，所以气缸驱动不能用于定位精度较高的场合。

6. 接口

接口是系统中各单元和环节之间进行物质、能量和信息交换的连接界面，具有对信号进行变换、放大及传递的功能。接口的作用是将各组成要素连接成为一个有机整体，由控制和信息处理单元的预期信息导引，使各功能环节有目的地协调一致运动，从而形成机电控制系统。

1.3 机电控制系统的关键技术

机电系统的核心是控制，因此，人们常将机电系统称为机电控制系统。就技术而言，当今的机电控制技术是微电子、电力电子技术、计算机、信息处理、通信、传感检测、过程控制、伺服传动、精密机械及自动控制等多种技术相互交叉、渗透、融合而成的一种综合性技术。机电控制的共性相关技术可以归纳为六个方面：检测传感技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服传动技术、精密机械技术及系统总体技术。机电控制的相关技术之间的关系如图 1.7 所示。另外，检测部分与控制部分、控制部分与执行部分、机械主体与各电气线路之间都需有一定的接口电路来起到协调与匹配的作用，即在机电一体化产品中的各组要素与各子系统的相接处（也就是所谓的“界面”上）都必须以接口来实现各部分的联系，即接口技术。

1. 检测传感技术

为提高产品的性能、扩展功能，通常需对机械进行实时控制、监视、安全检查等，以提高其自动化和智能化的程度，这些都要通过检测传感器手段来实现。因此，检测传感技术是机电控制系统安全运行与提高产品质量的有力保证。

传感器是检测传感技术的关键，它是将机电控制系统中被检测对象的各种物理量转变为电信号的一种变化器。它主要被用于检测系统中自身与作业对象、作业环境的状态，向控制器提供信息以决定系统的运作。传感器的精度、灵敏度和可靠性在很大程度上决定了系统性能的好坏，因此它在系统占有非常重要的地位。控制技术和控制器的飞速发展，对检测装置不断提出更高的要求。如何满足这些日益提高的要求，是检测传感技术的主要研究内容。

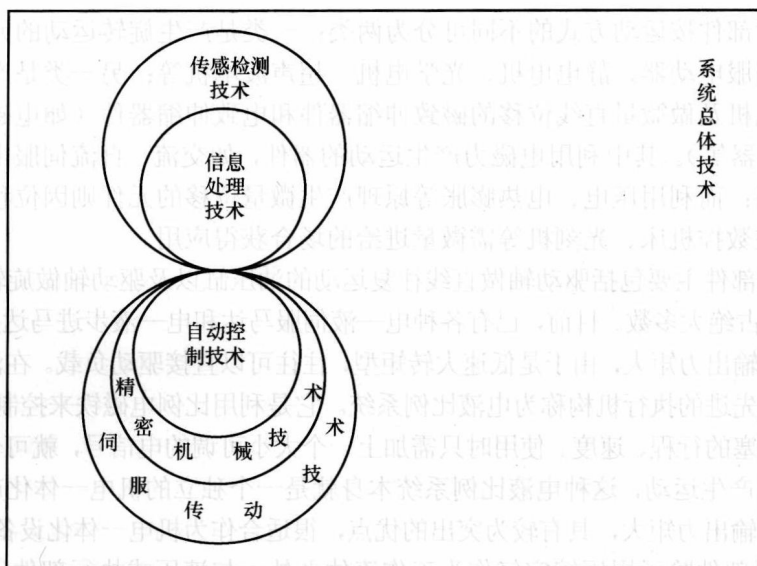


图 1.7 机电控制的相关技术之间的关系

检测传感技术包含两个方面的内容：一是对传感器的研究，即如何将各种物理量转换为与之成比例的电量；二是对检测装置的研究，即如何对传感器输出的电信号进行再处理，对其进行放大、补偿、标度变换等。

2. 计算机与信息处理技术

信息处理技术包括信息的输入、识别、变换、运算、存储及输出技术，它们大都依靠计算机来运行，因此计算机技术与信息处理技术是密切相关的，它可分为硬件和软件两大部分。硬件包括计算机及外围设备、微处理机及可编程序控制器（PLC）、接口技术等。软件包括操作系统、监控程序、程序设计语言、编译程序、检查程序及应用程序等。

在机电控制系统中，信息处理部分相当于人的大脑，指挥整个系统的运行。信息处理是否正确、及时，直接影响到系统工作的质量和效率，因此，希望能提高信息处理的速度、运行的可靠性和抗干扰能力。

3. 自动控制技术

自动控制技术就是通过控制器使被控对象或过程自动地按照预定的规律运行。由于被控对象种类繁多，所以控制技术的内容极其丰富，包括高精度定位控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等技术。自适应控制技术能协调机械、电器各部分正确地完成动作过程，因此在机电控制系统中起到很重要的作用。

自动控制的理论基础是自动控制原理，可分为经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论研究对象主要是单变量的线性时不变系统，使用的数学工具是拉普拉斯变换，用传递函数方法在频率域内进行系统分析。其控制原理是负反馈闭环系统，以自动调节器作为反馈控制系统的中心环节，因此经典控制理论亦称自动调节原理。

现代控制理论是以多变量、非线性、时变系统为研究对象，使用的数学工具是线性代数、矩阵论和集合论。它是用状态空间法在时间域内进行系统分析，用状态方程描述系统过程，根据当前的状态和条件，分析估算好下一步的状态。现代控制理论研究的主要内容是最优控制、随机控制、自适应控制、鲁棒控制等。

以上两种控制理论统称为传统控制理论。它们的共同点是基于被控对象的精确数学模型,即控制对象和干扰都要用严格的数学方程和函数表示。控制的任务和目标一般都比较直接明确。但是,在现实世界中,许多系统,如智能机器人系统、计算机集成制造系统、航空航天控制系统等用传统的控制理论难于解决。

从20世纪70年代以后,智能控制开始兴起,并逐渐形成一门新兴的学科。智能控制系统一般具有学习功能、自适应功能和自行组织与协调功能。它采用的主要数学工具是符号推理与数值计算的结合以及神经元网络和模糊理论等。智能控制是一门新兴的多个领域交叉的学科,其理论还不太成熟,但是实际的需要有力地推动了智能控制理论和技术的发展,使其具有非常广阔的前景。在机电控制系统中,智能控制将逐渐发挥它的重要作用。

在机电控制技术中,自动控制主要解决如何提高产品的精度、提高加工效率、提高设备的有效利用率等几个主要的问题。其主要技术关键在于现代控制理论在机电控制技术中的工程化和实用化、优化控制模型的建立和边界条件的确定等。计算机动态仿真技术的出现和发展为在控制系统的物理模型建立之前就能预见其动态性能,并为正确选择控制系统的有关参数提供了方便。

4. 伺服系统技术

伺服系统是指以机械参数,如位移、速度等作为控制对象的自动控制系统,是实现电信号到机械动作的转换装置与部件,对整个机电控制系统的动态性能、控制质量和功能具有决定性的影响。伺服系统在数控机床、机器人、精密跟踪和测量仪、自动化武器系统和各种自动装卸系统等许多方面都有广泛的应用。

伺服系统包括运算处理环节、功率放大环节、驱动环节、检测环节及反馈环节等几部分。当然,简单的开环伺服系统中没有检测环节和反馈环节。

运算处理环节的主要作用是把被控参数的实际值与给定值进行比较和运算,产生误差信号的大小和方向,以确定驱动部件的运动的速度的方向。微型计算机技术的发展,给伺服系统带来了新的动力。目前运算处理环节中大都应用的微型计算机,使许多先进、有效的控制算法得以实现,大大提高了系统的性能和运行效率。

功率放大环节的主要作用是将运算处理环节输出的误差信号进行功率放大,使驱动部件沿着误差信号减小的方向运动,并根据误差变换趋势,及时调整功率放大系统,控制驱动部件运动的速度。

驱动环节的主要作用是驱动机械执行机构运动,迅速准确地到达指定位置或指定速度。

检测环节的作用是对机械执行机构或驱动部件的运动参数(如位移、速度等)进行测量,将其变化成电信号后作为系统的反馈信号。

反馈环节是将检测环节输出的信号进行适当的处理或变换,以满足运算处理环节对反馈信号的要求。

伺服系统的主要性能指标有三个:稳定性、动态品质和精度。

稳定性: 稳定性是一个系统能正常工作的先决条件,同时又是系统动作保持一致性的先决条件。为了保证系统的运动精度,要求伺服系统在工作过程中能尽量减少受负载变化和电压波动等各种因素的干扰所造成的影响。因此,稳定性是指控制系统排出干扰,使被控对象能正常有效地运行的能力。

动态品质: 控制系统在控制信号或干扰信号作用下,被控量必须尽快调整到跟踪目标值。反映这一调整跟踪过程的指标就是动态品质,并且常用过度过程的快慢来表示系统的动态品