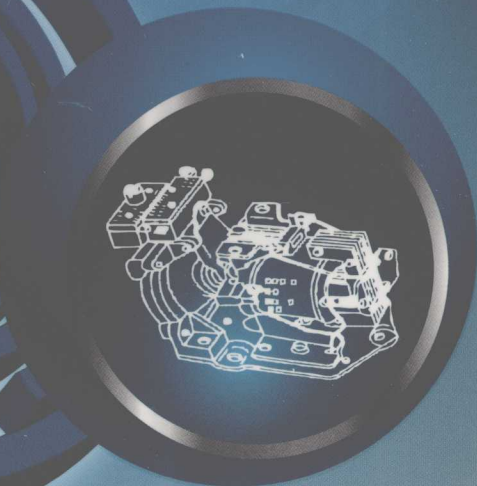


机电一体化技术应用丛书

执行元件及控制

肖英奎 主编



化学工业出版社

机电一体化技术应用丛书

执行元件及控制

肖英奎 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

执行元件及控制 / 肖英奎主编. — 北京: 化学工业出版社, 2008. 4

(机电一体化技术应用丛书)

ISBN 978-7-122-02440-4

I. 执… II. 肖… III. 执行元件-自动控制 IV. TP215

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 039448 号

责任编辑: 周 红

责任校对: 洪雅姝

文字编辑: 王 洋

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

720mm × 1000mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 344 千字 2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究



序

机电一体化技术是在微电子技术向机械工业渗透过程中逐渐形成并发展起来的一门新兴的综合性技术，由于对促进社会生产力方面所发挥的巨大作用，目前机电一体化技术正日益受到社会各界的普遍重视和广泛关注，已成为现代科技、经济发展中不可缺少的重要支撑，特别是现代计算机技术的迅猛发展有力地推动了机电一体化技术的进步与普及，机电一体化产品已遍及国民经济的各个领域和人们日常生活的各个方面。

二十世纪九十年代以来，整个社会对机电一体化技术的需求日趋旺盛，介绍机电一体化技术的书籍也越来越多，但是机电一体化技术是一门不断创新的高新技术，其创新速度之快令人眼花缭乱、目不暇接，是其它学科与技术领域所少有的，从事机电一体化技术与开发的科技工作者，必须不断学习才能跟上当今机电一体化技术发展的步伐。同时机电一体化技术是一门实践性非常强的综合性技术，所涉及的知识领域非常广泛，涵盖机械、电子、光学、计算机、控制、信息等多个学科，但机电一体化并非是这些技术的简单叠加，它的优势较多地体现在这些技术的相互渗透和有机结合，从而形成某一单项技术所无法达到的高度，并将这种高度通过性能优异的机电一体化产品而体现出来。机电一体化技术的这些特性决定了一个性能优异的机电一体化产品的设计者必须是一个基础理论扎实、掌握最新发展动态、见多识广且具有丰富实践经验的优秀科技工作者。

应广大科技工作者热切期望系统学习机电一体化技术的需要，我们根据当今机电一体化技术发展的前述特点组织编写了这套《机电一体化技术应用丛书》，丛书的作者都是多年从事机电一体化技术教学与研究的科技工作者，并且在此之前大多参加过有关机电一体化技术书籍的编写工作，这套丛书的编写吸取了他们多年的教学经验、科研工作经验和同类书籍的编写经验。

与以往同类书籍相比，本套丛书内容新颖，文字精炼，通俗易懂，实用性强。全套丛书共包括机电一体化控制技术、机电一体化测试技术、机电一体化接口技术、机电一体化执行元件、机电一体化系统设计和机电一体化技术应用等几个方面，通过大量实例分析，使读者能对当代最新机电一体化的理论和技术融会贯通，从而灵活地运用这些技术进行机电一体化产品的分析、设计与开发。本丛书的内容定位侧重于工程应用，重点讲解各种理论与技术的应用与实现，力求避开泛泛的理论分析与论述，并突出强调相应领域的最新进展。

本丛书的读者主要面向从事机电一体化技术开发的科技人员，包括刚刚步入

工作岗位的高等学校毕业生和具有一定工作经验的科技人员。本丛书可作为广大机电工程及相关领域的技术人员使用的工具书，也可作为机械电子工程等相关专业的高年级本科生与研究生的教学参考书。

衷心地期望通过本套丛书的出版能够为广大机电一体化科技工作者提供一个了解与学习当今世界先进机电一体化技术的窗口，通过阅读本丛书能够为读者开拓视野、增长才干起到启迪与借鉴作用。

赵丁选



[前言]

随着机电一体化技术不断地向着更高的水平和更广泛的领域发展、延伸,其关键技术之一的执行元件及其驱动控制技术也越来越受到关注,对其技术要求也越来越高。

机电一体化执行元件及其控制技术以机械工程、电气工程等学科为支撑,是交叉学科的产物。这种多学科交叉的特点对新时期工程技术人员提出了新的要求,即要求他们不但要懂机械又要懂控制,而且能将机和电有机地结合起来,去满足社会发展的需要。

本书是结合教学和科研的经验,在广泛收集文献资料的基础上,以工程应用为背景,通过理论与工程实际相结合而编写的工程应用型教材。

本书注重系统性,书中内容涵盖了机电系统所涉及的多方面知识点,并通过大量实例分析,使读者能对相关知识融会贯通。

本书的编写注重内容和实际应用的联系,避免过于泛泛的理论分析与论述。例如在“常用电动机”一章中强调基本原理的实际应用,主要分析电动机在启动、制动和调速状态的静态和动态特性,并适当说明了电动机在这些工作状态下的简单控制方法,淡化了复杂的相关计算等内容。在“常用低压电器及其选择”、“电气控制线路”章节中,内容包括常用电器的结构,常用电气控制电路的原理和性能,电气控制电路的构成方法,电气控制电路的设计思路和方法,介绍了现代常用半导体式控制电器和电动机软启动等内容。在“电液执行元件”、“液压泵与液压马达”等章节中对典型的电液执行、控制元件进行了结构与特性分析,介绍了其应用与维护等内容。在“电气控制电路的故障分析诊断”一章中,通过电气控制电路故障分析的实例,加强读者对理论知识的理解。

本书由吉林大学的肖英奎主编。参加本书编写工作的还有:吉林大学王志选、王芳荣、冯石柱、张强,长春工业大学张邦成,重庆邮电学院唐新星,四川攀枝花学院文广。吉林大学曲金芳、沈丽、张一鸣等参加了本书的插图绘制和校对工作。

限于编者的水平,书中难免有疏漏和不妥之处,诚挚欢迎广大读者批评指正。

编者



[目 录]

第 1 章 绪论

- 1.1 机电一体化系统的基本要素和功能 1
- 1.2 机电一体化执行元件及其驱动控制的目的 2

第 2 章 常用电动机

- 2.1 简述 5
- 2.2 对电动机的一般要求 5
 - 2.2.1 对电动机的控制要求 5
 - 2.2.2 稳态控制要求 6
 - 2.2.3 动态控制要求 11
- 2.3 电动机的类型和发展趋势 12
 - 2.3.1 电动机的类型 12
 - 2.3.2 电动机的发展趋势 12
- 2.4 三相异步电动机 14
 - 2.4.1 三相异步电动机的基本结构 14
 - 2.4.2 异步电动机的工作原理 16
 - 2.4.3 异步电动机的铭牌数据 18
 - 2.4.4 三相异步电动机的机械特性 20
- 2.5 直流电动机 23
 - 2.5.1 直流电动机的基本结构 24
 - 2.5.2 直流电动机的铭牌数据及主要系列 24
 - 2.5.3 直流电动机的一般调速方法 26
- 2.6 伺服电动机 30
 - 2.6.1 直流伺服电动机 30
 - 2.6.2 交流伺服电动机 33
 - 2.6.3 交流与直流伺服电动机的比较 36
- 2.7 直接驱动电动机 36
 - 2.7.1 直接驱动及其特点 36
 - 2.7.2 力矩电动机 39
 - 2.7.3 直线电动机 44

第 3 章 电液执行元件

3.1 电液伺服阀	51
3.1.1 电液伺服阀的构造	51
3.1.2 电液伺服阀的典型结构和工作原理	52
3.1.3 电液伺服阀的特性及主要的性能指标	55
3.1.4 电液伺服阀的应用与维护	60
3.2 电液比例阀	65
3.2.1 电液比例阀概述	65
3.2.2 电液比例阀的特点	68
3.2.3 电液比例阀的性能指标	69
3.2.4 电液比例阀的选择原则	72
3.2.5 电液比例阀与电液伺服阀的对比	76
3.3 电液数字阀	77
3.3.1 电液数字阀概述	77
3.3.2 增量式数字阀	77
3.3.3 脉宽调制式数字阀	79

第 4 章 液压泵与液压马达

4.1 液压泵、液压马达的工作原理	84
4.2 液压泵和液压马达的主要性能参数	85
4.2.1 液压泵的主要性能参数	85
4.2.2 液压马达的工作参数及使用性能	87
4.2.3 液压泵与液压马达的异同	91
4.3 液压泵和液压马达的分类	92
4.3.1 齿轮泵与齿轮马达	92
4.3.2 叶片泵与叶片式马达	102
4.3.3 柱塞泵与柱塞马达	106

第 5 章 常用低压电器及其选择

5.1 开关与主令电器及其选用	119
5.1.1 刀开关	119
5.1.2 主令电器	120
5.2 继电器及其选用	124
5.3 熔断器及其选用	129
5.4 空气断路器及其选用	131

5.5	接触器及其选用	132
5.6	现代低压电器	135
5.6.1	常用半导体式控制电器	136
5.6.2	电子时间继电器	140
5.6.3	固态继电器 (SSR)	140
5.6.4	软启动器	141

第 6 章 电气控制线路

6.1	电气原理图的绘制原则	143
6.2	电气控制线路的基本要求	144
6.3	电气控制线路的设计要点	145
6.4	电气控制线路的设计方法	146
6.5	电气控制基本线路	148
6.5.1	点动与连续运转控制	148
6.5.2	位置控制	152
6.6	异步电动机启动控制电路	155
6.6.1	笼型异步电动机全压启动控制电路	156
6.6.2	笼型异步电动机的降压启动控制电路	157
6.7	异步电动机制动控制	161
6.7.1	反接制动控制电路	162
6.7.2	能耗制动控制电路	164
6.8	电气原理图的设计实例	168

第 7 章 电气控制电路的故障分析诊断

7.1	电气控制系统故障常见原因	171
7.2	元件故障	172
7.2.1	元件故障的种类	172
7.2.2	低压电器的常见故障诊断与排除	173
7.3	电气控制线路故障诊断与排除的基本方法	182
7.3.1	概述	182
7.3.2	电气控制线路故障诊断与检修的基本步骤和方法	182
7.4	常用基本电气控制线路的故障诊断与排除	186
7.4.1	交流异步电动机启动控制线路的故障诊断与排除	186
7.4.2	交流异步电动机反接制动控制线路的故障诊断与排除	190
7.4.3	桥式整流能耗制动电路检修	190
7.4.4	电动机行程位置控制线路的故障诊断与排除	192

7.4.5	简易断相保护电路检修	192
7.4.6	过电流继电器的电动机过载短路保护电路检修	193
7.5	电气控制线路故障排除实例	194
实例 1	XJ01-14~XJ01-20 型自耦减压启动器控制线路	194
实例 2	用热继电器作电动机过载和断相保护电路检修	196
实例 3	异步电动机可逆控制电路	198

第 8 章 机电传动系统的电动机选择

8.1	电动机选择的意义	200
8.2	电动机的发热和冷却机理	201
8.2.1	发热过渡过程	201
8.2.2	电动机的冷却过程	203
8.3	电动机工作方式分类	204
8.4	电动机功率的选择	205
8.4.1	连续工作制电动机的选择	205
8.4.2	短时工作制电动机的选择	209
8.4.3	周期性断续工作制电动机的选择	210
8.5	电动机种类的选择	212
8.6	电动机安装形式的选择	213
8.7	电动机额定电压的选择	214
8.8	电动机额定转速的选择	215

第 9 章 步进电动机

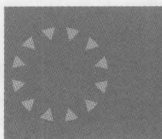
9.1	步进电动机概念与分类	216
9.2	步进电动机的工作原理	219
9.3	步进电动机的基本特性和特点	219
9.3.1	步进电动机的基本特性	219
9.3.2	步进电动机的特点	221
9.4	步进电动机的振荡、失步及其解决方法	222
9.5	步进电动机的功率放大电路	223
9.5.1	步进电动机驱动电源的要求	223
9.5.2	单电压功率放大电路	224
9.5.3	双电压功率放大电路	226
9.5.4	恒流斩波型功率放大电路	229
9.5.5	恒频脉宽调制功率放大电路	230
9.5.6	调频调压功率放大电路	232

9.5.7	细分驱动	233
9.5.8	典型的驱动电路性能比较	236
9.6	步进电动机的单片机控制	236
9.6.1	单片机串行控制	237
9.6.2	单片机并行控制	238
9.6.3	步进电动机的点-位控制	241
9.6.4	步进电动机的变速控制	243
9.7	步进电动机的常见故障及排除方法	247

第 10 章 伺服系统概述

10.1	伺服系统概念	251
10.2	伺服系统发展过程与最新发展动态	251
10.3	对伺服系统的基本要求	255
10.4	伺服系统的基本组成元件	256
10.5	伺服系统的基本构成形式	257
10.5.1	开环伺服系统	258
10.5.2	半闭环伺服系统	259
10.5.3	全闭环伺服系统	260
10.6	伺服系统设计方法	265

参考文献	270
------------	-----



第1章 绪论

1.1 机电一体化系统的基本要素和功能

机电一体化（Mechatronics）这一名词是将英文机械学（Mechanics）的词头和电子学（Electronics）的词尾组合在一起而成的一个新英文名词。

机电一体化技术，是以机械、电子技术为主，多门学科技术相互渗透、相互结合，逐渐发展起来的一门新兴技术。机电一体化技术将随着社会生产的发展与相关技术的成熟而得以发展、进步。典型技术产品包括机器人技术和FMS等。

目前机电一体化产品、系统广泛应用在社会的众多领域之中，由于需求的不同，其类型与形式也各不相同，但归纳起来，它们通常是由五大要素与功能组成的，即由机械装置（结构功能）、执行元件（驱动和能量转换功能）、检测与传感技术（测量与传送功能）、动力源（能量供给功能）和信息处理与控制（调控功能）五部分组成，如图 1-1 所示。

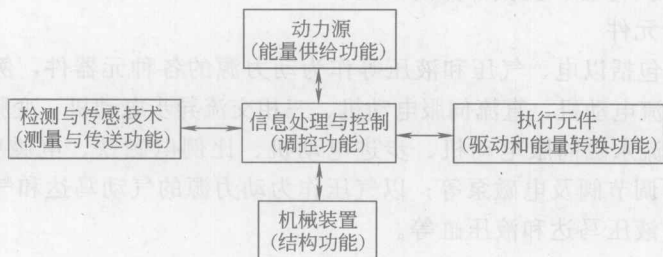


图 1-1 机电一体化产品、系统五大要素与功能

(1) 机械装置

为了发挥机电一体化产品、系统的特长，机械本体必须改善性能、减轻重量、提高刚性等。为了实现机电传动控制系统整体最佳的状态，从系统动力学方



面来考虑,传动链越短越好,应在满足强度和刚度的前提下,力求传动装置细、小、巧,这就要求采用特种材料和特种加工工艺。

(2) 信息处理与控制

信息处理技术包括信息的交换、存取、判断和决策等,实现信息处理技术的主要工具是计算机。计算机技术包括计算机硬件技术和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。

在现代机电一体化产品中,机电传动系统中控制部分的成本已占总成本的50%。随着近年来微电子技术、计算机技术的迅速发展,目前,越来越多的控制器使用具有微处理器、计算机的控制系统,输入/输出、通信功能也越来越强大。

对于软件技术,硬件是基础,软件是控制。软件与硬件如同一辆车子的两个轮子,必须协调一致地发展。

软件技术发展是力求软件标准化、模块化、减少研发成本和提高研发效率的,如模块化嵌入式系统,虚拟仪器技术,都能便于应用开发。

(3) 检测与传感技术

传感器是从被测对象中提取信息的器件,用于检测机电控制系统工作时所需要监视和控制的物理量、化学量和生物量。传感器的发展趋势是数字化、集成化和智能化。为了实现机电传动控制系统的整体优化,在选用或研制传感器时,要考虑传感器与其他要素之间的协调与匹配,例如,集传感检测、变送、信息处理及通信等功能为一体的智能化传感器,已广泛用于现场总线控制系统。

(4) 动力源

动力或能源是指驱动电动机的电源、驱动液压系统的液压源和驱动气压系统的气压源。驱动电动机常用的电源包括直流调速器、变频器、交流伺服驱动器及步进电动机驱动器等。液压源通常称为液压站,气压源通常称为空压站。使用时应注意动力与执行器、机械部分的匹配。

(5) 执行元件

执行元件包括以电、气压和液压等作为动力源的各种元器件,例如,以电作为动力源的直流电动机、直流伺服电动机、三相交流异步电动机、变频三相交流电动机、三相交流永磁伺服电动机、步进电动机、比例电磁铁、电磁粉末离合器/制动器、电动调节阀及电磁泵等;以气压作为动力源的气动马达和气缸;以液压作为动力源的液压马达和液压缸等。

1.2 机电一体化执行元件及其驱动控制的目的

机电一体化执行元件及其驱动控制的基本目的是将电能转化为机械能,并通



过对其控制完成生产工艺过程的要求。

在现代工业中,为了实现生产过程自动化的要求,机电一体化执行元件及其驱动控制不但包括了生产机械的电动机或电液马达等,而且还包含控制电动机或电液马达的一整套控制系统。也就是说,现代机电一体化执行元件及其驱动控制本身就是由各种传感与检测元件、信息处理元件和控制元件组成的自动控制系统。就现代化生产的要求来说,广义上讲,机电一体化执行元件及其驱动控制系统所要完成的任务,就是要使生产机械设备、生产线、车间,甚至整个工厂都实现自动化。

选择执行元件时,要考虑执行元件与机械装置之间的协调与匹配,如在需要低速、大推力或大扭矩的场合下,可考虑选用液压缸或液压马达。

为了实现机电控制系统整体的最佳匹配,已经研制出将电动机与专用控制芯片、传感器或减速器等合为一体的装置,如德国西门子公司变频器与电动机一体化的高频电动机,日本东芝公司的电动机和传感器一体化的永磁电动机等。

近年来,出现了许多新型执行装置,如压电执行器、超声波执行器、静电执行器、机械化学执行器、光热执行器、光化学执行器、磁致伸缩执行器、磁性流体执行器、形状记忆合金执行器等。

执行元件是机电液控制系统重要组成部分。根据其在系统中的作用,选择执行元件时一般的考虑原则有以下三点。

① 在整个工作循环中都能够拖动负载按预期的要求运动。

② 执行元件的性能(无阻尼固有频率和阻尼比)是机电控制系统动态响应(系统的稳定性、快速性和稳态误差)的基本限制因素,所以选择执行元件不但要考虑满足负载拖动的要求,还要考虑它对系统控制性能的影响。

③ 对启、停频率低,要求低速平稳及扭矩脉动小,高速运行时振动噪声小,在整个调速范围内运动平稳的机械,如NC工作机械的进给运动,机器人驱动系统,要求其功率密度 P/W (P 为执行元件输出功率, W 是它的重量)大;而对启、停频繁,低速平稳性要求不高的机械,如高速打印机、绘图机等,则要求有较高的瞬时功率 $dP/dt = T_N^2/J_M$ (T_N 是执行元件的额定输出扭矩, J_M 是输出轴转动惯量)。

此外,还应考虑执行元件的一些其他性能,如加速度范围、低速平稳性、刚性、效率、可靠性、寿命和价格等。

随着科学技术的发展,对机电一体化执行元件及其驱动控制系统提出了越来越高的要求,例如,新一代CNC系统就是以高速化、高精度、高效率、高可靠性为目的,为满足生产急需而诞生的。它采用32位或者64位CPU结构,以多总线连接,高速数据传递,因而,在相当高的分辨力($0.1\mu\text{m}$)情况下,系统仍有很高的速度(100m/min),可控铣削加工中心及联动坐标达16轴,并且有丰

富的图形功能和自动程序设计功能，如瑞士米克朗五轴联动的主轴转速最高可达 45000r/min、重复定位精度为 $1\mu\text{m}$ ，用于电子元件贴装的高速贴片机的贴片速度可达 2000 片/min；又如法国 IBAG 公司的磁悬浮轴承支承的高速主轴最高转速可达 $15\times 10^4\text{r/min}$ ，加工中心换刀速度可达 1.5s 等。这些性能都是依靠机电一体化执行元件及其驱动控制来实现的。

机电一体化执行元件及其驱动控制是实现机电一体化系统的关键。机电一体化系统是由机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统组成的。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。

机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。机电一体化系统的主要功能是完成各种机械、电气、液压、气动、控制、计算机、通信、传感、检测、驱动、执行等子系统的集成。





第2章 常用电动机

2.1 简述

电动机是被广泛使用的一种动力机械，它是依据电磁感应原理将电能转换为机械能的旋转动力装置，是执行指令运动的电气元件。通常，指令运动是指根据电气或电子控制的要求，按设定的指令来完成控制系统的运动。由于中国经济发展迅速，工农业生产和日常生活中使用的电动机种类和数量日益增加，且性能各异，因此，必须熟悉各类电动机和负载机械设备的类型、结构、性能及用途等，使其能安全、高效、经济地去拖动各种负载机械设备。

电动机有多种分类方法，中国习惯按机座号（轴中心高）或功率大小来分类，通常将各类电动机划分为大、中、小、微型四种，其中微型电动机按用途又分为驱动用和控制用两大类。每一类电动机又按它们工作原理、结构特征、性能和用途等的不同，划分为单、三相异步电动机、同步电动机和直流电动机四大类，例如，中、小型异步电动机的功率范围为 $0.55 \sim 1400\text{kW}$ （4级），其中 $0.55 \sim 250\text{kW}$ 为小型异步电动机， $250 \sim 1400\text{kW}$ 则为中型异步电动机。

2.2 对电动机的一般要求

2.2.1 对电动机的控制要求

电动机负载的运动通常有恒定速度、变化速度以及运动过程中加速或减速四种主要状态。

① 恒定速度。通过控制的作用，使电动机负载的运行速度维持不变。恒定速度不是绝对的恒定，而是工程领域中允许变化的常值速度。

② 变化速度。通过调速控制作用，使电动机的负载运行于可变化的速度下。

上面的可变速度是根据系统或装备的需要来确定的速度，如执行电动机的负载是风机，根据装备的节能需要，要求电动机根据风机的流量变化确定的多种速度值便属于调速控制的要求。

③ 运动过程中加速或减速。在电动机的负载运动过程中，电动机经常处于加速度或减速度状态下，也就是电动机的启动、制动的过程。电动机本身具有一定的启动和制动的特性，但不一定能满足系统和装备的要求，为此，通过控制改变启动、制动的特性，达到一定的加速度和减速度。

2.2.2 稳态控制要求

2.2.2.1 电动机机械负载的机械特性

机械负载的种类很多，主要有恒转矩、变转矩、恒功率和加速运动等负载，它们的特性如下。

(1) 恒转矩机械负载的特性

恒转矩机械负载的特性如图 2-1 所示，它指负载转矩不随负载转速而变的机械负载。这类负载可分两类：一类为反抗性恒转矩负载，其负载转矩的方向与机械运动方向相反，大小随负载方向而变，如图 2-1 (a) 所示；另一类为位能性恒转矩负载，其负载转矩大小不随机械运动方向的变更而改变，如图 2-1 (b) 所示。

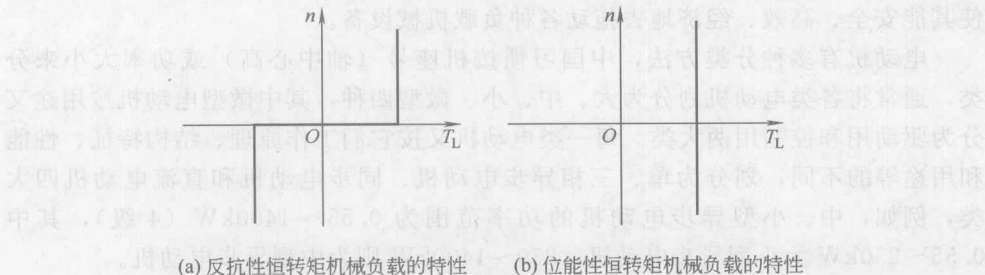


图 2-1 恒转矩机械负载的特性

恒转矩机械负载的转矩 T_L 及功率 P_L 的表达式分别为

$$T_L = K_1 \quad (2-1)$$

$$P_L = T_L n_L \quad (2-2)$$

式中 n_L ——负载转速。

(2) 变转矩机械负载的特性

变转矩机械负载有许多种类，通常讨论的流体运动的机械负载，其转矩与转速成二次方关系。图 2-2 示出的是变转矩机械负载的特性。

变转矩机械负载的转矩 T_L 及功率 P_L 的表达式分别为