

高等学校轻工专业试用教材

机电一体化技术

卢金鼎 山静民 主编

中国轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

机电一体化技术

卢金鼎 山静民 主编

中国轻工业出版社

内 容 简 介

本书共九章,前六章介绍机电一体化系统主要组成部分如计算机及接口、传感器、执行器等的分类、工作原理与应用设计。第七章应用控制理论建立数学模型,对系统分析和系统设计作了较详细的讲解。第八章讲述常用机械参数、特性的分析计算及零部件设计方法。第九章介绍机电一体化技术的应用和设计实例。附录中给出常用集成电路、微处理器、单片机引脚功能图等资料,可供设计参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机电一体化技术/卢金鼎,山静民主编.-北京:中国轻工业出版社,1996.4

高等学校轻工专业试用教材

ISBN 7-5019-1855-4

I. 机… II. ①卢… ②山… III. 机电一体化-高等学校-教材 IV
.TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 00588 号

责任编辑 罗 佳

*

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街 6 号)

三河市宏达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 1/16 印张:21 字数:480 千字

1996 年 5 月 第 1 版第 1 次印刷

印数:1 4000 定价:32.50 元

前 言

机电一体化技术是近年来随着微电子技术的发展而形成的一门综合性强的高新技术,在机械、电子、轻工等行业有着广泛的应用和发展前景。机电一体化技术涉及到机械学、微电子学、控制工程、计算机技术等多方面的内容。机电一体化的出现标志着机和电(尤指电子和计算机技术)两个系统的有机结合,它使机械产品的精确度和自动化程度显著提高,将使机械本身产生许多过去无法实现的新功能,乃至智能化。

为适应机电一体化的发展要求,目前许多高等院校开设了有关机械电子工程或机电一体化方面的专业,而且一些机械类专业(如机械设计与制造,机械制造工艺及设备)的学生和广大工程技术人员也迫切要求学习机电一体化方面的知识。但由于机电一体化技术涉及面宽,有关内容和技术资料繁杂分散,因而给教学与学习带来不少困难,迫切需要有一些较系统全面的教材供各类学生使用。本书即是为适应轻工高等院校机械类各专业(包括机械电子专业)的教学需要,在1990年5月轻工机械专业教材委员会制定的《机电一体化设计基础》教材编写大纲的基础上经修订完善后编写而成的。

根据最近几年国内许多高等院校在机电一体化专业方面的教学探讨和一些轻工高校在有关方面课程的教学实践,为了便于学生较系统地了解掌握机电一体化技术的全貌,本书从系统工程的角度对机电一体化技术的有关内容进行较全面的介绍,使学生能获得这方面初步的设计应用知识和能力,为进一步的学习打下基础。本书力求机电结合,重视接口,突出设计应用,突出与传统机械技术相比机电一体化技术的特点,所举应用实例均具有轻工行业的特色。

本书主要作为工科高等院校轻工机械专业、机械电子专业开设机电一体化课程的试用教材,也可作为广大工程技术人员学习机电一体化技术的教材和参考书。

全书共分九章。第一章讲述机电一体化技术的产生、发展及应用情况。第二章从系统工程的角度介绍机电一体化系统的组成及有关概念和特点。第三章至第六章分别对机电一体化系统各主要组成部分(计算机及接口、传感器、执行器等)进行较全面的介绍,包括各种元器件的分类、工作原理、应用设计等问题。内容中多列举新型元器件。考虑到多数学生学习了微机原理,第三章有关微处理器的内容从简,对单片机和可程序控制器(PC)则作较多的介绍。第七章介绍如何应用控制理论(古典)对机电一体化系统建立数学模型,进行系统分析和系统设计。特别对带有数字计算机的离散系统用较简明的差分方程建立数学模型分析设计的方法作了较详细的讲解。第八章集中地讲述机电一体化机械系统中常用的一些机械参数、特性的分析计算及一些常用机械零部件设计。第九章则给出一些应用和设计实例,如数控车床、机器人、典型轻工机械(缝纫机、电子钟表、包装机、造纸机等)。最后在附录中,给出一些机电一体化技术中常用的集成电路、微处理器、单片机等的引脚功能图以及Z80微处理器、MCS-51单片机的指令系统。

教师在使用本书时应注意按学生已学过的课程情况有所取舍、补充和侧重。第九章

的各个实例在应用机电一体化技术的内容上有所侧重，可有选择地在各个章节中讲授。

本书由西北轻工业学院卢金鼎编写第一章，第二章，第六章第六节，第八章，第九章第一节、第二节、第三节和第六节；上海轻工专科学校竺挺编写第三章第一节至第三节；景德镇陶瓷学院邓琦林编写第四章；天津轻工业学院陈智庭编写第五章；西北轻工业学院山静民编写第三章第四节，第六章第一节至第四节；山东轻工业学院宁舒编写第七章，第九章第五节；北京轻工业学院谷红编写第三章第五节，第六章第五节，第九章第四节及附录。全书由卢金鼎、山静民统编完善，由大连轻工业学院肖正阳教授主审。

限于编者的水平和经验，加之目前对机电一体化技术方面的一些概念理解尚不一致，有许多不同的学术观点，书中难免有不足和错误之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 机械电子学与机电一体化	(1)
第二节 机电一体化产品发展及应用概况	(1)
第三节 机电一体化设计应用	(3)
第二章 机电一体化系统	(5)
第一节 机电一体化系统概述	(5)
第二节 机电一体化设计	(14)
第三章 机电一体化与微型计算机	(25)
第一节 微型计算机与微机系统	(25)
第二节 Z80 指令系统	(33)
第三节 汇编语言及程序设计	(37)
第四节 单片微机原理	(39)
第五节 可编程序控制器 (PC)	(49)
第四章 微型计算机接口及信息输入/输出设备	(60)
第一节 概述	(60)
第二节 I/O 控制方式及程序设计	(60)
第三节 微机 I/O 接口及器件	(63)
第四节 I/O 接口的标准化	(70)
第五节 设备接口电路	(72)
第六节 常用信息输入/输出设备及接口	(76)
第五章 传感器及接口	(85)
第一节 传感器的原理及应用	(85)
第二节 传感器与计算机接口	(96)
第三节 常用位移检测装置	(106)
第六章 执行器及控制	(115)
第一节 执行器概述	(115)
第二节 步进电机及其驱动	(117)
第三节 直流伺服电机及控制	(127)
第四节 交流伺服电机及控制	(137)
第五节 电磁阀及液、气动元件	(148)
第六节 离合器及驱动	(155)
第七章 机电一体化系统与控制理论	(160)
第一节 控制理论概述	(160)

第二节	控制系统的数学模型·····	(162)
第三节	系统分析·····	(175)
第四节	系统设计·····	(195)
第五节	离散系统·····	(200)
第八章	机电一体化常用机械零部件设计·····	(217)
第一节	机电一体化系统中主要机械特性与参数·····	(217)
第二节	常用机械传动参数转化计算·····	(224)
第三节	挠性联轴器·····	(226)
第四节	伺服机构齿轮传动设计·····	(229)
第五节	精密回转分度定位装置·····	(235)
第六节	滚珠丝杠传动设计·····	(239)
第九章	机电一体化技术应用实例·····	(245)
第一节	缝纫机的机电一体化·····	(245)
第二节	电子钟表的机电一体化·····	(253)
第三节	微机控制的卧式制袋充填包装机·····	(258)
第四节	微机控制的车床·····	(261)
第五节	造纸机纸页定量及水分的计算机控制·····	(272)
第六节	微机控制工业机器人·····	(278)
附录	·····	(288)
(一)	常用集成电路的引脚及功能图·····	(288)
(二)	常用微处理器及单片机·····	(306)
(三)	二进制和十六进制表示法·····	(311)
(四)	ASCⅡ码字符表·····	(313)
(五)	Z80指令表·····	(313)
(六)	MCS-51系列单片机指令表·····	(322)
参考文献	·····	(326)

第一章 绪 论

第一节 机械电子学与机电一体化

第二次世界大战以来,科学技术的发展经历了数次革命,1975~1985 年是以微处理机的生产和广泛使用为标志,而最近 10 年是以软件开发和大规模产业化为标志。科学技术发展的一个鲜明特征是日益求助于多学科融合解决各种问题,这就是当代科学技术综合化的发展趋势。作为传统工业之一的机械工业,在这场新技术革命的冲击下,其产品结构也发生了质的变化。

随着微电子技术的发展,传统的机械技术正与微电子技术、信息技术相结合,出现了大量技术密集型新产品。这就导致了将机械技术与电子技术通过信息融为一体的机电一体化技术的产生,出现了机械电子学 (mechatronics)。“mechatronics”这个词最早是在日本开始使用的英语复合词。它由机械学 (mechanics) 和电子学 (electronics) 两词复合而成。从工程学角度来看,机电一体化技术是微电子学、机械学、控制工程、计算技术等多学科综合发展的产物,是利用多学科方法对机械产品与制造系统进行设计的一种集成技术。以此为手段开发的机电一体化产品或系统,使机械工业的技术结构、产品功能和构成、生产方式和管理体系都发生巨大变化。广义地讲,机电一体化代表着先进的集成制造技术和设计、工艺水平。较狭义地从设计方法学的角度看,机电一体化设计也常称为带微处理器的机械设计。

目前,机电一体化的原理和应用正在向深度和广度发展。作为高新技术的一部分,它对新产品的开发、产业的技术改造、促进技术经济的发展正在起着越来越大的作用。

第二节 机电一体化产品发展及应用概况

使产品机电一体化,首先是为了扩大功能、实现高性能或实现自动化、无人化。扩大功能的例子如图 1-1 所示。图 a) 是实现两固定位置 A、P 之间的工件搬运,用抓、放动作和简单的重复性的程序控制就可完成。这时必须不断地把新的工件放在 A 位置上。但实际上经常如图 b) 所示,工件是堆放的。这样在取工件过程中, A 位置依次变为 B、C...位置,所以用原来的简单程序控制就不行了,这时就可利用较复杂的电子控制。

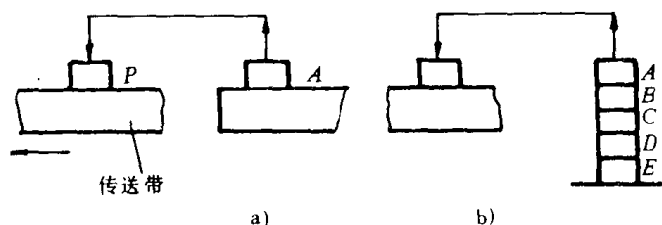


图 1-1 工件搬运方式

对机械结构来说,图 1-1a) 情况的动作包括有定距离的上下运动和 180°的反复旋转动作 (这里不考虑机械手的开闭动

作)。一种简单的设计方案是利用直动气缸和摆动气缸的组合。但变成图 b) 情况后, 由于要依次改变直动气缸行程, 故必须能使直动气缸在一系列中间位置停止。这种气缸虽已开发, 但当停止精度要求高时则有困难。为此可考虑用丝杠送进或带关节的机械手(图 1-2)。当采用感应电机驱动丝杠送进时, 就要使用离合器和制动器, 方法虽可行, 但定位精度差, 小型化也有困难。较理想的方法是采用步进电机等控制电机, 控制方法就变成把各停止位置的坐标值和停止顺序编入控制器的程序, 并按程序动作。作为机电一体化典型产品的工业机器人, 可以认为就是经过这样的设想而产生的。但是为了展开这种设想, 变成完美的产品, 只有在机械技术与微电子技术充分结合, 即机电一体化技术发展后才能实现。

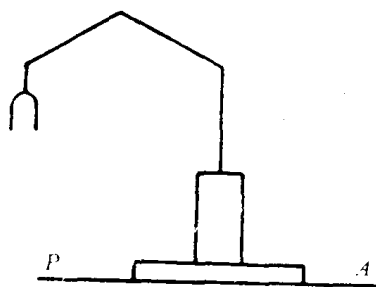


图 1-2 机器人机构设想

作为提高产品性能的一个典型例子就是钟表的机电一体化。传统的机械钟表结构与电子元器件、大规模集成电路相结合, 产生了石英振荡式电子钟表, 从而使钟表的计时精度和走时持续时间大幅度提高, 更利于实现小型化和大幅度降低成本。

1952 年美国麻省理工学院研制成功的第一台数控铣床是机械与电子技术结合的最早产品。自 1971 年发明了微处理机以后, 微电子技术产品不断涌现并迅速实用化, 至今已开发了一大批机电一体化技术产品。

如各类数控机床、柔性制造系统、机器人、现代化电讯设备、办公室机械、智能仪表、电子钟表、电子玩具等。机电一体化的应用和影响几乎已遍及传统机械制造业的各个领域。

机电一体化产品的主要优点有: ①具有记忆、运算、控制、信息处理等功能, 从而达到产品的高性能、多功能化和智能化。②结构简化, 使产品向着轻、薄、细、巧的方向迅速发展。易采用标准化、模块化的方法进行设计、制造。③可以根据负荷及运行情况进行调整与控制, 具有节能的特点。④可具有自动监视、诊断功能及某些智能, 使安全可靠性和大幅度提高。

总之, 通过机电结合、软件硬件结合及互补, 能获得传统机械产品难以实现的高精度、高性能。机电一体化技术也使机械工业生产自动化取得突破性的成效, 如多品种、中小批量的生产能够实现自动化, 这在过去是难以实现的。大批大量生产也增加了柔性, 产品质量得到保证, 精度得到提高。

从机电结合的程度来看, 机电一体化产品大致可分为如下几类: ①典型的机电一体化产品。这类产品机与电有机地融为一体, 具有较完整的结构。如各类数控机床、工业机器人、柔性生产系统、彩色复印机、自动绘图机、电子自动售货机、磁盘存储器等。这些产品属于机电一体化的高级形式。它们单靠机械或电子是无法或很难实现的, 机械与电子一旦分离, 整机即无法运行。②机械产品中的一部分控制功能和机构用电子装置代替。这类产品如打印机、电脑缝纫机、机电一体化照相机、带微机控制或数字显示的各种机械设备等。③以微电子装置代替原设备的信息处理机构。这类产品如指针式石英电子表、全电子式电话交换机、带微处理器的各种仪表、电机调速装置等。

第三节 机电一体化设计应用

在机电一体化产品设计中,成为设计主体的大多是机械系统设计技术人员。系统各组成部分所使用的零部件,因为多由专业工厂制造,所以设计人员较以往更多使用各种标准件、通用件和外购件。初看起来设计似乎简单了,但实际上决非如此,而是要求设计人员更充分具备掌握各种元器件、零部件商品的特性,并加以评价、选定和正确组成装置的能力。

图 1-3 给出一个简单的机电一体化设计应用实例。图示为常用的 xy 工作台。由于 x 工作台与 y 工作台设计方法相同,故省去 y 工作台。

该工作台主要组成部分是平台、滚珠丝杠、齿轮、步进电机及控制器,其中滚珠丝杠和步进电机是外购件。步进电机的励磁方式和驱动方式有多种,方法不同其动特性也不同。各种方式的深入研究虽由电气专门技术人员承担,但机械系统的技术人员也必须了解各种方式的特性。显然,设计时机电之间存在不可分割的关系,需要两者的密切配合。

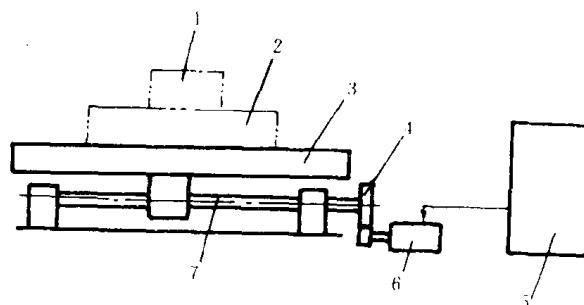


图 1-3 xy 工作台设计实例

1—工件 2— y 工作台 3— x 工作台 4—传动齿轮
5—控制器 6—驱动电机（步进电机） 7—滚珠丝杠

设计时首先要做的工作是明确

设计要求。设计要求通常有机械的、电气的及综合性的。因此第一步先考虑总体性能参数方面的问题。对 xy 工作台的要求多为重复准确定位。这时设计要求的主要参数指标为定位精度和重复时间。由于重复动作为间歇运动,因此电机要频繁起停,加速度特性就成为必须考虑的重要问题,同时还应考虑振动和噪声。

设计的下一步是机械总体结构的初步确定及工作台和平台上夹具等的设计,这些与一般机械设计差别不大。

然后是滚珠丝杠和电机选择。滚珠丝杠的选择必须考虑其载荷和由转速变化引起的振动。按载荷可计算驱动滚珠丝杠所需的转矩,但必须要考虑到加速(或减速)转矩。加减速转矩大小随加减速时间而变化。加减速时间除可在设计要求中规定外,一般是根据电机特性来确定的。因此,必须求出包括工作台、丝杠、传动齿轮等在内的系统总惯量,并利用电机的各种特性曲线进行计算和校核。电机的选择,经常是根据使用经验,一开始就确定电机种类和控制方式。控制用电机除步进电机外,还有直流伺服电机、交流伺服电机、直线电机等。

在选择步进电机时,必须考虑的电机特性主要有:①矩角特性。指步进电机在励磁状态下,转角与转矩的关系。对静止状态下的角度误差要求较高时,必须弄清这种关系,同时还要考虑负载摩擦力矩。②矩频特性。指电机转矩与响应频率的关系,如图 1-4 所示。

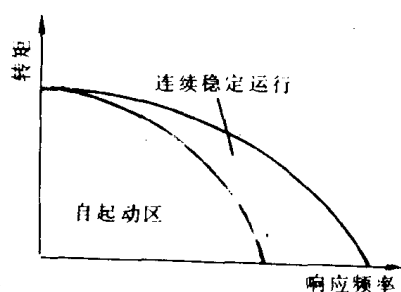


图 1-4 步进电机矩频特性

它包括起动矩频特性与连续运行矩频特性。前者形成图中所示自起动区；后者形成图中所示连续稳定运行区。在自起动区内，可以瞬时起动、停止或反转。但在连续稳定运行区内使用时，开始要在自起动区内起动，然后逐渐增加速度，使电机最后保持在连续稳定运行区。③惯频特性。由于步进电机的旋转是步进式的，因此电机特性随转动惯量大小的变化而变化。转动惯量大时起动频率小，自起动区变窄，在连续稳定运行区使用时，加、减速时间变长。

另外，还必须预先考虑电机抗振性、抗噪声方法，可采用诸如电子阻尼器、惯性阻尼器、摩擦阻尼器、磁阻尼器等。也应注意齿轮、丝杠的传动间隙与安装问题。

当然，该设计还应包括控制器的选择（设计）及控制软件的设计。

由上可见，机电一体化产品的设计及应用要求机械系统设计人员必须具备机械学、电子学、计算机、控制理论等多方面知识，既要熟悉硬件、也要熟悉软件，要从系统工程和系统设计的角度分析和考虑问题。同样，电气系统设计人员也不能只停留于电路设计上，也需要有机械学的知识，也要向系统设计技术人员的方向发展。

本书从系统的观点出发，分别介绍机电一体化系统各组成部分及接口，与环境的信息交换等，力求突出与传统机械设计内容和方法上的不同之处，从应用的角度将当前机电一体化技术中常用的元器件、机械结构等有机地结合在一起系统讲述，并给出一些机电一体化技术在不同领域的应用实例，其目的是使读者对机电一体化技术有一个全面、系统的了解，并获得初步的应用知识和设计能力。

第二章 机电一体化系统

对于一个机电一体的产品或设备，应将它作为一个系统来研究。一体化的思想，即意味着要以系统的、整体的思想考虑许多综合性技术问题。例如一台多关节工业机器人，就存在着各运动部件之间的力耦合；各运动轴伺服系统的干扰和相互影响；控制和执行机构之间响应速度匹配，机器人与外围设备的连接以及与主机、辅机同步协调运动和机器人防护安全连锁等问题。这些问题即构成了工业机器人的系统技术问题。显然，应当用系统工程和系统设计的概念来解决机电一体化系统的工程问题和设计应用问题。

第一节 机电一体化系统概述

一、系统的概念

系统最简单的定义是指一些部件有机的集合，用以实现统一的目的。系统工程是为使系统达到最佳功能，而对系统的组成部件、组织构造、信息传递、控制机构等进行分析、设计、优化的技术。

在系统工程中，系统被看作是由各种不同结构和功能的分系统组成的一个紧密联系的整体。而且，任何系统通常都有若干个目的，对每个系统，协调这些目的方法也各不相同。系统工程的方法就是根据这些目的，探讨使系统整体的功能达到最优化，使构成的系统发挥出最大的效能。

对于任一系统，总存在一个外部环境。一般把直接对象（机械、装置或系统本身）称为内部系统，把环境称为外部系统。外部系统对内部系统的作用，称为输入，包括对内部系统的各种要求与约束，如电压、电流、力、位移、功能、尺寸、经费等。而内部系统对外部系统的作用，称为输出，如电压、电流、位移、速度、各种效应等。输入、输出可能是单个的，也可能是多个的。

无论一个怎样复杂的系统，总是可以将其分解为若干分系统，以便于分析综合。且这种分解可根据需要在若干个层次上进行。如按大系统→系统→分系统→单元部件→元件这样逐级分解。

系统大体可有如下一些分类：

(1) 线性系统和非线性系统 如果系统的数学模型方程是线性的，就称为线性系统；反之，用非线性方程表示的系统，称为非线性系统。

(2) 常参量（定常）系统和变参量（时变）系统 系统元件参量不随时间变化的称定常系统；若参量随时间变化则是时变系统。

(3) 静态系统和动态系统 一般说来，系统在任何时刻的输出量取决于输入量的全部过去值。但在一些特殊系统中，在任一时刻 t 的输出量仅仅依赖于时刻 t 的输入量，而与输入量的过去值无关，则称该系统为静态系统或无记忆系统；反之，若结果变量的数

值还依赖于原因变量过去的数值，则称为动态系统或有记忆系统。

(4) 连续时间系统和离散时间系统 若系统中的输入、输出变量都是用时间函数描述的，则称为连续时间系统；若输入、输出变量都是在一些离散的瞬间上确定的，则称为离散时间系统。在离散系统中，处理的是时间序列而不是时间函数。

二、系统的输入、输出

(一) 系统的输入

系统输入包括有控制变量和环境变量两种，大致可分为信号输入和功率输入。信号输入主要与信息 and 控制的特性有关，要考虑的是它的波形和输入的时间。而功率输入则主要与它的能量或物质的特性有关，要考虑的是能量的大小和效率。

系统的环境变量输入是不依赖于设计人员的，而是由外部系统或环境决定的。设计时主要关心对系统产生干扰的外部条件，如温度、压力、湿度、振动和冲击等，系统的其他输入则可由设计人员选择，并可将它们作为系统内部信号使用。

信号输入和功率输入的一般物理量大致包括有：

外部信号输入和外部干扰信号；

电网、能源和过程的干扰；

系统内部的通信和信息的信号输入；

中间信号变量与过程变量；

控制信号输入；

控制的功率源输入；

控制的干扰输入等。

下面给出有关输入特性的常用术语。

1. 关于模拟信号输入

(1) 增益或灵敏度 指某个量与表示该量的信号大小之比或倍数。如伏/度、相角/米。

(2) 精度 指信号的指示值与真值之差。

(3) 不作用范围 指有输入而无响应的范围。

(4) 饱和 指输出对输入之比的界限值，达到此界限值时，输入即使增大，输出也不产生相应的变化。

(5) 线性 指输出对输入的关系呈正比的程度。

(6) 最大和最小振幅 指所能得到的最大和最小的信号幅度。

2. 关于数字信号输入

(1) 代码 指用等效的符号表示的接收信号的组合。如二进制代码、ASCII 码、BCD 码、字母表、十进制数等。

(2) 重复频率或速度 指传送信号的媒介或载波的最高频率或速度。如 100kHz 或每秒 200 位。

(3) 信号当量 指用二进制码的“1”和“0”表示的状态。如“1”=5V，“0”=0V。

3. 关于功率输入

(1) 一次功率的性质 指系统的一次动力源的能量形态。如普通电网、柴油发电机、化学电池等的性质。

(2) 功率大小或功率电平 指平均功率、最大功率和短时间内有限功率的大小。如功率为电功率,则具有电压和电流的性质(直流或交流)。

(3) 动态响应 指当负载急剧变化时,功率输入变化的大小和持续时间所表示的一种特性。也就是当负载阶跃变化时的过渡响应。也可用频率响应或带宽表示。

(4) 可靠性和寿命 可用可靠度、平均故障时间等表示。

4. 关于外部干扰和噪声

(1) 机械摩擦 指静摩擦或作为速度函数的粘性摩擦和库仑摩擦。

(2) 非平衡力或力矩 指非对称的重量分布、偏离重心方向的作用力、惯性力等。

(3) 功率源的变化 能对相邻设备产生影响的功率或信号的电压、速度、压力、流量等的变化。

(4) 信号信噪比 指信号大小对噪音大小的比值。它是描述相对于某些信号最大值(或平均值)存在多大不必要信息(即噪声)的一个重要概念。所谓噪声是指在电路或传输系统中本身产生的或从外部混入的、不需要的或有害的分量。

(二) 系统的输出

系统的输出按功能可包括有:信号与信息;功率、能量和物质;干扰和噪声。有关概念叙述如下。

1. 理想的输出

它是用来说明所需要的输出的特性、规格和性能。理想输出可有电压、电流、速度、位置、温度、压力、带宽等。

2. 误差

误差指理想输出与实际输出之差。

3. 信号输出

输出信号的形式有模拟式、数字式或混合式,有用绝对值表示的或用增量值表示的。有关输出信号特性的术语与前述输入信号的一样。

4. 功率或动力输出

此种输出中应明确功率的表示方法及性质。如使用电压时用直流电、交流电和功率电平。

5. 外部干扰和噪声

有关输出的外部干扰和噪声的术语与前述输入信号的一样。

三、系统设计

(一) 系统设计特点

对一复杂系统(如机电一体化系统)的设计,必须考虑到系统工程学和系统设计的方法。

系统设计的特点首先是具有综合性。它把内部系统和外部系统综合起来考虑。首先确定内部系统的要求,称为外部设计;然后再进行内部系统的设计,称为内部设计。这

种综合的方法就是从各种角度探讨问题的实质，研究将要设计的机械或装置在系统综合中所占的位置和受干扰的程度，明确以何种目的建造系统和应该满足什么样的要求和规格，即评价指标。

在系统设计中，分解的概念极其重要。设计一个复杂系统，首先应把系统分解成许多分系统，建立各分系统的数学模型，然后综合成为宏观模型，最后再进行最优化设计。如何分解才好呢？首先要考虑的是便于后面的综合工作。分解处应是选择分系统之间关联尽可能少的地方，以将各种结合关系较为密切的单元分为若干组。分解的结果可用线图（如信号流程图等）表达出来，并可借助各种理论和方法（如网络理论）建立系统方程、数学模型。

实现系统设计必须掌握系统分析的方法。也就是把作为对象系统的结构、功能、可靠性、价值等建立数学模型，求出各参数影响与要求，对只表示分系统之间的相互关系，不涉及分系统内部的模型，称之为宏（观）模型；而将各分系统先进行精确的数学公式化，然后再将它们集中起来表示整体的特性，称之为微（观）模型。系统线图表示即是宏模型；应用基本物理定律建立的各种数学模型则是微模型。

系统设计的又一重要特征是进行系统的均衡设计。系统是元件的有机结合。高精元件的组合，可以构成好的系统。但组合不好，也可能构成性能低劣的系统。其例子在机械设计与生产中累见不鲜。这就是由于设计者只注重元件设计，而缺少综合化、系统化的概念。均衡设计就是要恰当地选择元件，以构成性能优异的系统。即使是性能一般的元件，但只要从系统出发组合得恰当，也可能构成良好的系统。当然，当系统基本元件数量很大时，综合时其组合的方法几乎是无限多的，从中选出最佳组合是十分困难的。因此产生了许多系统的优化方法，以获得相对最佳的设计结果。

处理好系统中各分系统、单元（部件）之间的连接关系，即处理好接口问题，也是系统设计中要考虑的重要方面。有关接口的概念，将在第五章详述。

(二) 系统设计步骤

进行系统设计的大致步骤如图 2-1 所示。

有关内容说明如下。

1. 目的分析

首先对系统的目的或任务进行定量分析，即将系统的目的、任务直接地或间接地变

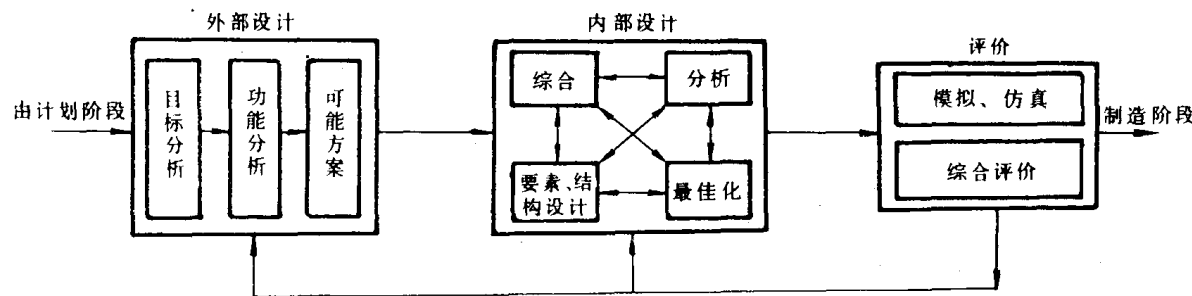


图 2-1 系统设计的步骤

换成定量关系，再对环境作出定量，即将环境（外界干扰等）和约束条件变换成定量关系。

2. 系统分析

(1) 系统框图 将系统进行分解以后，考虑到各部分之间的输入、输出联系，即可利用框图方法来表达系统。图 2-2 给出了一般的系统框图表示。当系统分成若干分系统或部件时，各分系统和部件也可用类似的框图表示。

例如一个机电一体化系统可具有主功能、控制功能、动力功能、结构功能等。它们分别由计算机、传感器、动力源、执行机构等部件来实

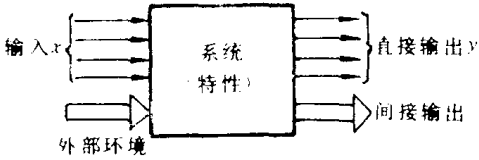


图 2-2 系统框图表示

现。图 2-3 即表示其功能框图。

一个复杂系统的结构框图可用图 2-4 所示的分级形式表示。

(2) 系统数学模型 设系统的目的或输出为 y ，其输入为 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 。由于分系统的目的是用来实现整个系统的任务，故一些分系统的输出可看作是另一些分系统的输入。如果将目的分析得到的环境和约束条件设为 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ，则它们是系统的间接输入量。此外，在系统

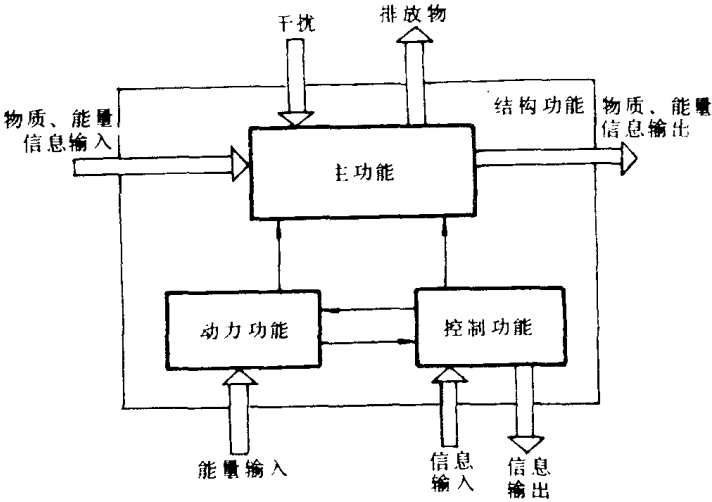


图 2-3 机电一体化系统功能框图

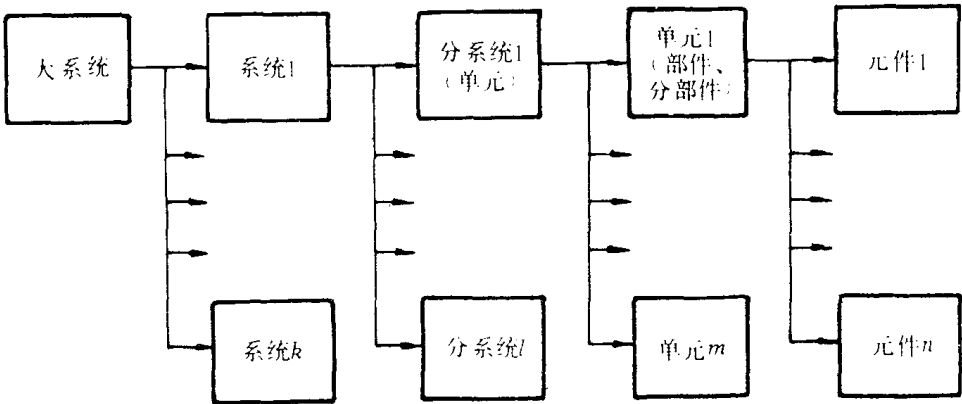


图 2-4 系统的结构框图

的动态性能或特性中,还必须说明系统对于时间 t 的状态和响应。于是系统的输出可表示为

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, t)$$

为描述系统的定量关系,必须知道以下几点:①输出 y 的性质。②输入 x 和 α 的性质。③函数 f 的形式。④描述输出、输入和函数 f 随时间变化的关系。这样即可获得系统动态特性的数学表达式,即数学模型。数学模型的建立,在对系统无经验的情况下,一般应从元件这一级逐渐积累起来,然后再将各元件的数学模型联系起来构成系统的数学模型。

作为数学模型的例子,如一个在力 f 作用下的质量 M [图 2-5a]。用牛顿定律可给出这个系统的充分精确的数学模型: $f = M \frac{d^2x}{dt^2}$ 。若再考虑外部粘性摩擦阻尼(阻尼系数 B), 则有: $f = M \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt}$ 。它反映了输出位移 $x(t)$ 与输入量 $f(t)$ 的关系。

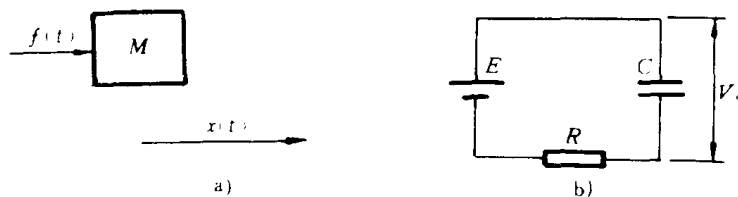


图 2-5 数学模型实例

又如一个用电源充电的 RC 电路 [图 2-5b]。输出电压 V_c 与输入电源电动势 E 可有关系式 $V_c = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$, 此即是该电路数学模型。

3. 系统最佳化

系统优化设计是以数学优化理论为基础,在满足给定约束条件的前提下,合理地选择设计变量,以获得一定意义上的最佳设计。

系统的数学模型通常很复杂。按已定量的系统目的和系统输出 y ,可以作出系统的目标函数。然后选择优化计算方法、编制计算机程序、优选设计方案、对照设计要求进行评价。反复这样的过程,直至找到最优方案。常用的优化计算方法有线性规划、非线性规划、几何规划等。

4. 系统仿真

根据分析结果,并经各方案分析对比,最后作出系统数学模型。为确定其完善与否,还应进行相当于系统运行的试验。对小型系统,通过实物的制作、实验、测试即可评价系统;对于大型系统,先作出实物再进行运行实验是不现实的。这时可以利用仿真方法。即根据目标要求以一定的精度来模拟对象的某一部分和某个动作以及整个系统。这需要利用电子计算机把系统的数学模型程序输入,并输入系统运用的许多随时间变化的输入数据、环境和约束条件的输入数据、有关不确定因素的数据等的仿真程序,结果就可获