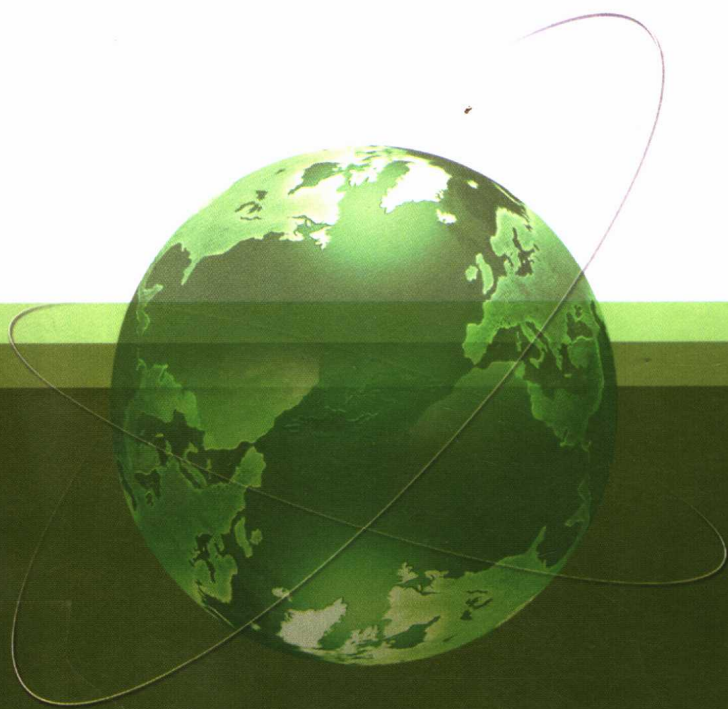




21世纪高职高专规划教材

(机械类)

机电一体化系统设计



魏天路 倪依纯 主编



21 世纪高职高专规划教材

机电一体化系统设计

主 编 魏天路 倪依纯

副主编 曹 菁 韩 红

参 编 周 慎 熊利军 彭家祥 潘玉山

主 审 孙红旗



机械工业出版社

本书以系统的观点出发,把机械技术和微电子技术有机结合,构造出最优机电一体化系统。本书系统地阐述了机电一体化系统的设计方法,并以典型示例说明。全书共分8章,内容包括:绪论、机械系统分析、执行装置及伺服电动机、机电一体化常用电路及应用、微机控制系统与接口技术、机电一体化系统检测技术特点及应用、机电一体化系统的分析与设计、典型机电一体化系统。

本书注重理论与实际相结合,强调实际应用,可作为2年制和3年制高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学、业余大学、成人教育学院、电视大学以及其他大专层次机电类专业的教材,也可供有关教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计/魏天路,倪依纯主编. —北京:
机械工业出版社, 2006.2
21世纪高职高专规划教材
ISBN 7-111-18391-6

I. 机… II. ①魏…②倪… III. 机电一体化-系
统设计-高等学校:技术学校-教材 IV TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第004368号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:程俊巧
封面设计:饶薇 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2006年3月第1版·第1次印刷
787mm×1092mm¹/16·11 75印张 382千字
0 001—3 000册
定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68326294
封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编委会名单

编委会主任 王文斌 郝广发

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭
刘 义	刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东
李兴旺	李居参	李麟书	杨国祥	余党军
张建华	茆有柏	秦建华	唐汝元	谈向群
符宁平	蒋国良	薛世山	储克森	

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

王若明	田建敏	成运花	曲昭仲	朱 强
刘 莹	刘学应	许 展	严安云	李连邨
李学锋	李选芒	李超群	杨 飒	杨群祥
杨翠明	吴 锐	何志祥	何宝文	余元冠
沈国良	张 波	张 锋	张福臣	陈月波
陈向平	陈江伟	武友德	林 钢	周国良
宗序炎	赵建武	恽达明	俞庆生	夏春玲
晏初宏	倪依纯	殷建国	徐炳亭	徐铮颖
崔 平	崔景茂	焦 斌		

总 策 划 余茂祚

前 言

本书是根据教育部教高〔2000〕2号文件精神，由中国机械工业教育协会和机械工业出版社组织全国80多所高等院校合作编写的高职高专规划教材之一。

机电一体化技术是机械技术与电子技术的有机结合，以实现系统的最佳化。机械技术和微电子技术的飞速发展和应用，标志着机电一体化系统的迅猛发展。根据高等职业教育培养人才要求，毕业生应具有基础理论知识适度、技术应用能力强、知识面宽和素质高等特点，编写出“机电一体化系统设计教材编写大纲”。该大纲本着机电一体化系统的最佳化观点出发，“以机为主，以电为用”从而实现系统或产品的功能可靠和智能化。本书的基础理论以应用为前提，通过典型机电一体化系统的介绍和试验环节的保证，增强学生的实践能力，保证高职高专的教学特点。

本书由佳木斯大学魏天路副教授、无锡交通高等职业学校倪依纯副教授主编。第1章和第8章的第8.1节、8.3节、8.4节由魏天路编写，第2章由渤海船舶职业技术学院韩红编写，第3章由江苏靖江市工业学校潘玉山编写，第4章由倪依纯编写、第5章由四川交通职业技术学院彭家祥编写，第6章和第8章的第8.2节由江苏信息职业技术学院曹菁编写，第7章由武汉铁路职业技术学院周慎和熊利军编写。全书由魏天路统稿，佳木斯大学孙红旗副教授主审。

由于编者水平和经验有限，书中难免有错误和疏漏之处，恳请广大读者给予批评指正。

编 者

21 世纪高职高专规划教材目录 (机、电、建筑类)

高等数学 (理工科用)	冷冲模设计及制造	电路与模拟电子技术	物流管理
高等数学学习指导书 (理工科用)	塑料模设计及制造	低频电子线路	物流运输管理与实务
计算机应用基础	模具 CAD/CAM	高频电子线路	
应用文写作	汽车构造	电路分析基础	建筑制图
经济法概论	汽车电器与电子设备	常用电子元器件	建筑制图习题集
C 语言程序设计	公路运输与安全	多媒体技术及其应用	建筑 CAD
	汽车检测与维修	操作系统	建筑力学
工程制图 (机械类用)	汽车营销学	数据结构	建筑材料
工程制图习题集 (机械类用)		软件工程	建筑工程测量
AutoCAD 2004	工程制图 (非机械类用)	微型计算机维护技术	钢筋混凝土结构及砌体结构
公差与配合	工程制图习题集 (非机械类用)	汇编语言程序设计	房屋建筑学
工程力学		VB6.0 程序设计	土力学及地基基础
金属工艺学		VB6.0 程序设计实训教程	建筑设备
机械设计基础	离散数学	Java 程序设计	建筑给排水
工业产品造型设计	电路基础	C++ 程序设计	建筑电气
液压与气压传动	单片机原理与应用	PASCAL 程序设计	建筑施工
电工与电子基础	电力拖动与控制	Delphi 程序设计	建筑工程概预算
电工电子技术 (非电类专业用)	可编程序控制器及其应用	计算机网络技术	房屋维修与预算
机械制造基础	工厂供电	网络应用技术	建筑装修装饰材料
数控技术	微机原理与应用	网络数据库技术	建筑装修装饰构造
专业英语 (机械类用)	模拟电子技术	网络操作系统	建筑装修装饰设计
金工实习	数字电子技术	网络安全技术	楼宇智能化技术
数控机床及其使用维修	数字逻辑电路	网络营销	钢结构
数控加工工艺及编程	办公自动化技术	网络综合布线	多层框架结构
机电控制技术	现代检测技术与仪器仪表	网络工程实训教程	建筑施工组织
计算机辅助设计与制造	传感器与检测技术	计算机图形学实用教程	房地产开发与经营
微机原理与接口技术	制冷原理与设备	动画设计与制作	工程造价案例分析
机电一体化系统设计	制冷与空调装置自动控制技术	ASP 动态网页设计	土木工程实训指导
控制工程基础	电视机原理与维修	管理信息系统	土木工程基础试验教程
机械设备控制技术	自动控制原理与系统	电工与电子实验	建设工程监理
金属切削机床		专业英语 (电类用)	建设工程招标与合同管理
机械制造工艺与夹具		物流技术基础	房地产法规与案例分析
		物流仓储配送	建设法规与案例分析

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 机电一体化技术的产生 1

1.2 机电一体化系统的基本结构要素 3

1.3 机电一体化系统的设计要求 5

复习思考题 6

第2章 机械系统分析 7

2.1 机械系统的基本概念 7

2.2 机械传动装置 7

2.3 导向装置 19

复习思考题 24

第3章 执行装置及伺服电动机 26

3.1 常用执行装置及分析 26

3.2 执行装置设计 35

3.3 伺服电动机 44

复习思考题 51

第4章 机电一体化常用电路及

应用 52

4.1 模拟电路及应用 52

4.2 数字电路及应用 60

4.3 集成电路及应用 63

4.4 抗干扰技术 72

复习思考题 75

第5章 微机控制系统与接口技术 76

5.1 概述 76

5.2 Z-80 CPU 微机硬件结构特点及

应用 78

5.3 单片机硬件结构特点及

应用 86

5.4 可编程序控制器 93

复习思考题 101

第6章 机电一体化系统检测技术特点

及应用 102

6.1 传感器的分类与特性 102

6.2 传感器与微机接口 107

6.3 检测技术的应用 119

复习思考题 125

第7章 机电一体化系统的分析与

设计 126

7.1 各单元部件特性分析 126

7.2 机电有机结合的稳态分析 139

7.3 机电有机结合的动态分析 146

7.4 系统的可靠性及安全技术 155

7.5 机械结构弹性变形和传动 间隙对系统性能的影响 161

复习思考题 163

第8章 典型机电一体化系统 164

8.1 CNC 机床 164

8.2 工业机器人 167

8.3 模糊智能点钞机 172

8.4 汽车的机电一体化 174

复习思考题 179

参考文献 180

第 1 章 绪 论

1.1 机电一体化技术的产生

1.1.1 机电一体化技术的发展史

微电子技术和自动化技术迅速发展,并不断向机械工业领域渗透,便形成了一个新的学科领域——机电一体化技术。它是微电子技术和机械技术相互融合的产物,是机电工业发展的必然趋势。微电子信息自动化技术的引入,是对传统的机械工业的一次革命,使原有机电产品的结构和生产系统结构发生了质的飞跃,使微电子技术、微型计算机技术与机械装置和动力设备有机结合。机电一体化技术一方面极大地提高了产品的性能和市场竞争力,例如日本的机电产品(电视机和汽车等)以其高可靠性能畅销全球;另一方面,机电一体化技术也提高了产品对环境更广的适应性,使人类的活动空间不断扩大,例如美国的阿波罗登月、勇气号火星登月飞船和我国的神州 5 号载人飞船都是机电一体化技术发展的结果。同时,机电一体化技术也会带来丰厚的经济效益,例如美国发射 3 颗地球资源卫星花费 2.5 亿美元,但收益可达 14 亿美元。机电一体化技术的发展水平也体现了一个国家的综合实力,因此引起世界各国和企业的极大重视。

机电一体化(Mechantronics)的英文名词起源于日本,由日本《机械设计》杂志副刊于 1971 年提出,它由 Mechanics(机械学)与 Electronics(电子学)组合而成,表示机械学与电子学两种学科的综合,在我国通常被译为机电一体化。当然,现在所谈的 Mechantronics,其内容也随着科学技术的发展而不断发展,比最初所说的含义更为广泛。到目前为止,较为全面的涵义是 1981 年由日本机械振兴协会经济研究所提出的:“机电一体化是机械的主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术,并将机械装置与电子装置用相关软件有机结合而构成系统的总称。”随着液压技术、传感器技术、精密机械装置技术、自动控制技术、微型计算机技术和人工智能技术等新技术的发展并不断地采用,机电一体化技术正向着自动化和智能化方向发展。

1.1.2 机电一体化产品技术特征及分类

机电一体化产品是把机械部分与电子部分有机结合,从系统的观点使其达到最优化。为了使系统更加科学合理,应从全局的观点对机电一体化产品的各个部分进行取舍,因此,机电一体化技术也可以说是系统工程学在机械电子领域中的有机应用,并由此总结出机电一体化技术特征:

- 1) 机械技术、电子技术、信息技术和液压技术等有机结合。
- 2) 在一个系统中不同子系统在空间上的集成。
- 3) 柔性化、智能化和自动化使机电一体化产品能够灵活地满足各种要求,适应各种环境。
- 4) 机电一体化系统的内部运行机制是隐蔽的。
- 5) 产品中包含微处理器,其潜在功能可继续增加。

目前,机电一体化技术应用领域还在不断扩大,大致可分为机械电子化产品和机械与电子融合产品两大类。如按其功能分,可以分为6类:

- 1) 在原有的机械本体上采用电子控制设备实现高性能和多功能。如数控机床和机器人等。
- 2) 用电子设备局部置换机械控制结构。如电子缝纫机和电子电动机等。
- 3) 在信息机器中与电子设备有机结合的产品。如传真机和录音机等。
- 4) 在检测系统中与电子设备有机结合的产品。如CT扫描仪和自动探伤机等。
- 5) 用电子设备全面置换机械机构的信息处理产品。如电子秤、电子交换机等。
- 6) 利用电子设备替换机械本体工作的产品。如电火花加工机床和激光测量机等。

1.1.3 研究机电一体化技术的重要性

机电一体化技术的产生,是对传统机械工业的一次革命,为机械产品注入了新的内涵,其技术上的先进性、创新性和可靠性满足了人们在生产生活中的需要。

首先,在产品的性能上,增强了功能,提高了产品的加工精度,使其具有更高的可靠度。例如,一台加工中心机床可以将多台普通机床上的多道工序在一次装入中完成,并且还有自动检测工件和刀具、自动显示刀具动态轨迹图形等数据的应用功能;电子化圆度仪的测量精度可达 $0.01\mu\text{m}$;一般大型机电一体化产品都具有安全保护系统和自动启停系统,提高了系统运行的灵活性,而且还提高了系统的安全性和可靠性。

其次,自动化、智能化的机电一体化技术还可提高产品生产率、降低成本、缩短产品的开发周期,极大地增强产品的市场竞争力。如数控机床生产率比普通机床的生产率高5倍多;柔性制造系统可使生产周期缩短40%,生产成本降低50%。根据机电一体化产品的特性,在人机关系上,由控制和检测系统完成数据处理及程序自动运行,也极大地减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件,并使系统具有极佳的操作性和使用性,建立了良好的人机界面。如CAD, CAM均极大地减轻了设计者和制造者的劳动复杂性。

第三,在简化结构、节约能源方面,机电一体化产品也具有其优越的一面。用电子器件取代老式的复杂传动,使机电一体化产品的体积缩小、结构简化、重量减轻,并因采用低能耗的驱动机构而使能耗降低。例如,汽车电子点火器由于控制最佳点火时间和状态而大幅度降低了汽车耗油量。

第四,机电一体化产品在现代制造产业结构中有其重要的地位和作用。目前,数控机床全球的需求量占机床总产量的20%。由于过去几年柔性制造系统的快速发展,制造系统自动化(CIMS、IMS和VMS等)新技术也进一步促进了制造技术的发展,同时机器人的出现并应用于制造业,而且逐渐向水下、空间、核工业、救灾和军事等方面发展,导致各国加紧研制。所以机电一体化技术在现代制造产业结构中占据极其重要的地位。

1.1.4 机电一体化技术的发展方向

根据人类活动的需要和机电一体化技术的特点,日本的渡边茂先生提出了该技术的发展方向:

1) 复合法。指同一工位上能同时完成两种以上的工序加工,通过这种复合化处理,可最大限度降低使用空间,以期实现多品种、小批量生产的自动化和高效率化。

2) 小型化和轻型化。小型化和轻型化是指与微细加工技术类似的一种表现,有利于提高机械的性能。

3) 高速化和精准化。机电一体化产品应能快速、准确地完成其规定的各项功能, 提高生产率和产品质量。

4) 智能化。就是使机电一体化产品具有“思维”, 通过声音和图像等指令即可完成指定的功能, 达到无人控制, 实现完全的自动化。

5) 系统化。从系统的观点出发, 把机电一体化技术分成有机的各子系统学科, 各相关学科的发展都是机电一体化技术的支撑, 从而为机电一体化技术提供更广阔的发展空间。

1.2 机电一体化系统的基本结构要素

1.2.1 机电一体化系统的构成要素

一个较为完善的机电一体化系统主要由以下 5 个子系统构成 (见图 1-1a):

1) 机械子系统。系统所有功能元素的机械支持结构, 包括机架和机械连接等。

2) 电子信息处理子系统。将来自传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、存贮、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, 控制整个系统按序、有目的地运行。主要指计算机和逻辑电路等。

3) 动力子系统。按照系统控制要求, 为系统提供动力, 以保障系统正常运行。

4) 传感检测子系统。对系统运行中所需要的本身和外界环境和各种参数及状态进行检测, 将其变成可识别信号, 传输到信息处理单元, 经过分析处理后产生相应的控制信息。主要指传感器和仪表等。

5) 执行机构子系统。根据控制信息和指令, 完成要求的指定动作。一般采用机械、电磁和电液等机构。

机电一体化系统的构成要素使其具备了控制功能、检测功能、动力功能、操作功能、构造功能 5 种功能 (见图 1-1b)。

机电一体化系统数控机床的构成要素实例如图 1-2 所示。

1.2.2 机电一体化系统相关技术

机电一体化技术主要包括软件和硬件两方面。为了推动和加快机电一体化技术的发展, 应从以下几个方面不断加强和改进。

1. 机械技术 机械技术是机电一体化系统的基础, 在机电一体化产品中, 它不再是单一地完成系统间的连接, 必须从系统的结构、重量、体积、刚性、可靠性能及通用性等几个方面加以改进, 使机电一体化产品结构合理、重量减轻、刚性提高, 具有高的可靠性, 实现产品的通用化、标准化、系列化, 提高产品的可维修性, 为机电一体化产品提供坚实的基础。

2. 传感检测技术 传感检测技术是机电一体化的感受器官, 是实现自动控制、自动调

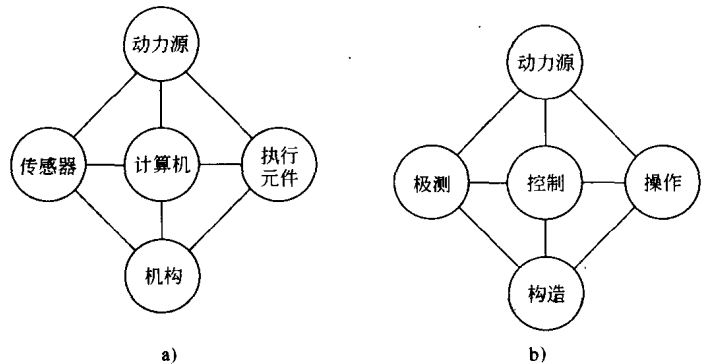


图 1-1 机电一体化系统的构成要素和功能

a) 构成要素 b) 功能

节的关键性环节,它的功能越强,系统的自动化程度就越高。其关键元件是传感器,它的主要评价指标有功能范围、灵敏度、分辨率、抗干扰性和可靠性等。就传感器而言,主要是提高可靠性、灵敏度和精确度,向元件化和智能化方面发展。

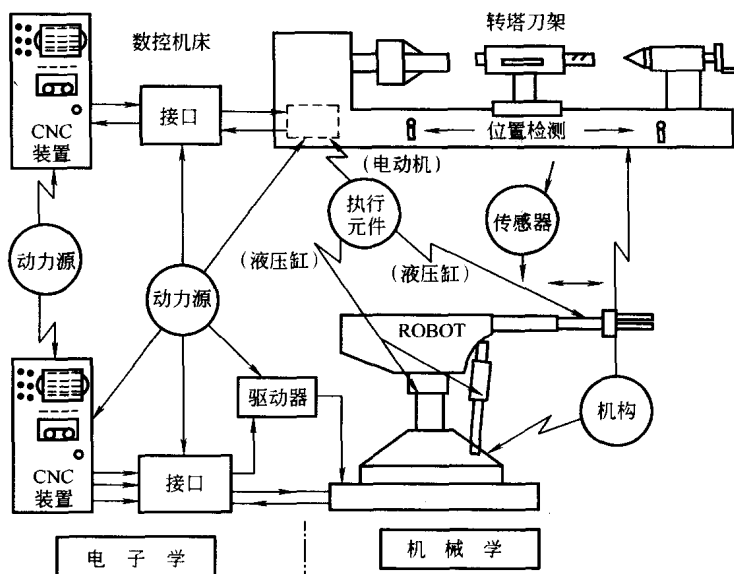


图 1-2 机电一体化系统数控机床的构成要素实例

3. 信息处理技术 信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策,主要设备是计算机或可编程序控制器及其配套的 I/O 设备、显示器和外部存储器。因此,计算机技术的发展与信息处理技术是紧密相关的。在机电一体化系统中,计算机与信息处理部分指挥整个系统,并直接影响到系统工作的质量和效率,计算机应用及信息技术已成为促进机电一体化技术发展的最关键性因素。对于提高信息处理设备的可靠性,处理数据速度和解决抗干扰问题是信息处理技术中的关键。

4. 伺服驱动技术 驱动技术按动力源可分为电动、液压和气动 3 种,常见伺服驱动有电液马达、脉冲液压缸、步进电机和交直流伺服电动机,目前存在功能可靠性和减小体积等问题。

5. 系统技术 系统技术就是以整体的概念组织应用各种相关技术,从系统目标出发,将整体分解成相互关联的若干功能子系统,以子系统进行一次分解,生成功能更为单一的、具体的功能单元,直到找出一个最佳、可行的技术方案。接口技术是系统技术中的一个重要方面,它是实现系统各部分有机连接的保证。其主要完成两方面作用,一是信息交换,另一个是同类型元器件间进行连接时所需的接口。接口按其功能可分为 I/O 接口,调整和变换接口两种。根据 I/O 接口功能,接口可分为以下 4 种:

- 1) 机械接口。如法兰盘、联轴器和插座等。
- 2) 物理接口。如电容和频率等。
- 3) 环境接口。如防尘过滤器和缓冲减振器等。
- 4) 信息接口。如 ASCII 码和计算机语言等。

接口根据其变换和调整的功能可分为以下 4 种:

- 1) 零接口。不进行任何调整、变换,如联轴器和接线柱等。
- 2) 无源接口。只有无源要素进行变换、调整的接口,如减速器和导轨等。
- 3) 有源接口。含有有源要素进行变换、调整的接口,如放大器和电磁继电器等。
- 4) 智能接口。可进行程序编制或可适应性地改变接口条件的接口,如 STD 总线和自动切换装置。

目前,接口技术正向标准化、小型化和智能化等方向发展。

6. 自动控制技术 自动控制技术主要包括基本控制理论、自动控制设计及计算机系统仿真及研制等。自动控制技术要具有精度高、稳定性好、快速校正及补偿等特点。

7. 软件技术 软件技术必须与硬件协调发展,在满足系统要求的同时,必须降低成本及提高软件的通用性。

1.3 机电一体化系统的设计要求

1.3.1 设计原则

在保证产品完成规定功能的前提下,通过对所构成各子系统方案进行优化组合,降低成本,使系统功能达到稳、准、快,以满足用户的要求。机电一体化产品的主要特征是自动化操作。功能是产品的生命,只有功能可靠,产品才具有价值。另一方面,要使功能达到最佳,机械子系统、电子信息处理子系统、动力子系统、传感检测子系统和执行机构子系统 5 部分构成要素的匹配、相互协调和相互补充也极为重要。而通过降低成本,并且使系统功能稳定、可靠、精确、快速,又增强了产品的市场竞争力。

1.3.2 设计步骤与方法

1. 设计步骤 设计过程一般分为总体系统设计、部装(子系统)设计和零件(单元)设计 3 个阶段。总体设计步骤:

- 1) 明确设计思想。
- 2) 分析综合要求。
- 3) 划分各子系统。
- 4) 确定设计参数。
- 5) 调研。
- 6) 拟定总体方案。
- 7) 方案优化。
- 8) 编写总体设计证书。

在总体设计过程中要明确哪些功能由哪项技术完成,并对产品的功能进行可靠性分析。机电一体化设计流程如图 1-3 所示。

2. 设计方法 常用的机电一体化设计方法有

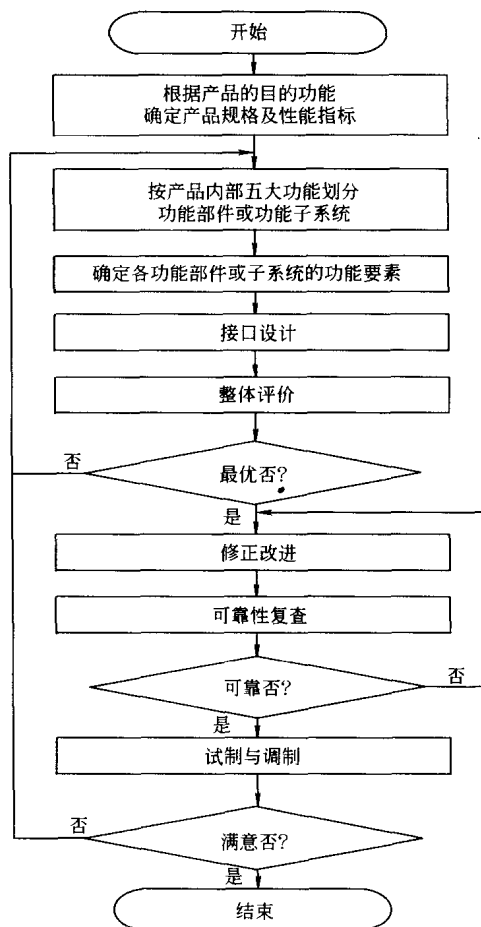


图 1-3 机电一体化设计流程图

机电互补法、融合法和组合法 3 种。

1) 机电互补法。该方法是利用电子部件取代传统的机械部件,以简化产品结构、减轻重量。如现金出纳机采用微机控制,可取代几百个机械传动部件,而简化结构、减轻重量对航空航天技术更具有特殊意义。

2) 融合法。是将各组成单元有机结合成某一子系统,使单元间机电参数匹配合理的方法。如激光打印机的主扫描机构——激光扫描镜,其扫描镜转轴就是电动机的转子轴,这就是执行元件与执行机构合理匹配的结果。

3) 组合法。它是将融合法制成的子系统,利用接口技术组合成机电一体化产品的方法。例如,CNC 机床就是利用接口技术将各子系统连接起来的机电一体化产品。

复习思考题

1. 简述研究机电一体化技术的重要性。
2. 简述机电一体化技术的构成要素。
3. 简述机电一体化技术的设计原则及常用方法。

第2章 机械系统分析

2.1 机械系统的基本概念

2.1.1 机械系统的基本概念

机械系统一般由电动机、传动装置、导向装置、执行装置和控制装置组成。随着现代社会的不断进步,机电一体化产品已得到广泛应用,对它也更强调重量轻、速度快、精度高、冲击振动小、噪声低、稳定性好和动作灵敏等诸多要求,为满足这些要求就必须突出计算机的强大功能。所以,机电一体化的机械系统是“由计算机信息网络协调与控制的、用于完成包括机械力、运动和能量流等动力学任务的机械和(或)机电部件一体化的机械系统。”它的核心是由计算机控制的,包括机械、电子、电力、液压和光学等技术的伺服系统。因此,现代的机械系统与传统的机械系统相比,更强调计算机的作用、伺服功能以及各组成部分间的相互协调性。

2.1.2 机械系统的功能及要求

机械的功能是完成机械运动。在整个机械系统中,控制电动机、传动装置和执行装置组成的子系统完成单一的机械运动,若干的子系统通过计算机协调和处理完成一部机器的完整的机械运动。

机电一体化机械系统必须满足的基本要求就是伺服性能精度高、响应快速和良好的稳定性。精度是衡量任何产品加工质量的标准之一,由于机电一体化产品经常用于国防、航空航天、微电子和精密仪器等高精尖行业中,所以对它的精度和性能就提出了更高的要求,而它又不能完全脱离机械传动,相应地对机械系统的精度要求就要大大地提高了。机械系统也不再是单纯的以机械技术为主,而是机械技术、微电子技术以及其他新技术的融合体,所以要求整个机械系统反应快速,并且不易受外界环境的干扰,系统稳定性要好。

2.1.3 机械系统的设计

机械系统是机电一体化系统的基础,它是机和电两种技术的综合体。例如,在设计机械系统时应该选择与控制系统的电气参数相匹配的机械系统参数。所以,应组合、互补机械技术、微电子技术及相关技术。由于机电一体化产品更趋向于高性能、智能化、低能耗、轻薄短小,因此机械系统的设计要求主要是消除间隙、低摩擦、转动惯量小、刚性好、谐振频率高和适当的阻尼比等。系统中各部件配合时常产生间隙,可以采用最优化的方法选择、设计结构。例如,选择最佳传动比、采用预紧法和缩小反向死区等均可减小间隙、降低摩擦。缩短传动链、提高刚度、简化结构、减少振动均可提高设计质量。

2.2 机械传动装置

机械传动是一种最基本的传动方式。要完成机械运动,传动机构、控制机构、伺服电动机要相互影响、相互作用。对传动机构来说,精度高、动态响应快、效率高、能耗低,运动平稳、振动小、灵敏度高和噪声低都是必不可少的。按传递力的方法分类,机械传动装置可

分为摩擦传动装置和啮合传动装置。其中,摩擦传动装置又可分为摩擦轮传动装置和带传动装置;啮合传动装置又可分为齿轮传动装置、螺旋传动装置、蜗杆传动装置和链传动装置。

随着机电一体化技术的不断进步,传动装置也正向着精密、高速、小型、轻量方向发展。

2.2.1 机械传动装置性能要求

传动装置是一种转矩、转速变换器,使执行元件与负载间在转矩与转速方面得到最佳匹配。所以,机械传动系统的好坏会影响到整个系统的伺服性能。对它的性能要求主要有:

1) 转动惯量小。若转动惯量过大,机械负载随之增大,系统响应速度变慢,灵敏度也下降,使系统固有频率降低,容易产生谐振。所以,在不影响系统刚度前提下,机械传动部分的重量和转动惯量应尽可能小。

2) 低摩擦。传动副中的摩擦力是一种主要的阻力,它使传动副运转时造成动力浪费,降低机械效率,本体受到磨损,从而影响精度和工作可靠性。摩擦力过大,易产生卡死现象,从而减少装置的使用寿命。

3) 适当的阻尼。系统阻尼越大,系统动力损失越多,反转误差越大,精度随之降低,但同时最大振幅减小,衰减速度加快。所以,应选择合适的阻尼比。

4) 刚度大。系统刚度越大,动力损失越小,增加了闭环伺服系统的稳定性,同时固有频率增高,不容易产生共振,但刚度不影响开环系统稳定性。

5) 高谐振频率。当外界传来的振动的激振频率接近或等于系统固有频率时,机械系统容易产生谐振,致使系统不能正常工作。

2.2.2 常见传动装置分析

1. 滚珠丝杠副 滚珠丝杠副是一种螺旋传动机构,目前已成为精密传动的数控机床、精密机械以及各种机电一体化产品中不可缺少的传动机构。滚珠丝杠副传动装置如图 2-1 所示,它由丝杠 1、螺母 2、连续的很多粒等直径的中间传动元件——滚珠 3 以及为防止滚珠从滚道端面滚出的滚珠循环装置 4 等 4 部分组成。其工作原理是:在丝杠 1 和螺母 2 的螺纹滚道中装入一定数量的滚珠 3,当丝杠 1 与螺母 2 相对转动时,滚珠 3 可沿螺纹滚道滚动,并沿滚珠循环装置 4 的通道返回,构成封闭循环,使滚珠循环地参加螺旋传动,保持丝杠 1 与螺母 2 之间的滚动摩擦。与滑动摩擦相比,滚动摩擦减小了摩擦阻力矩,使传动效率提高到 90% 以上。

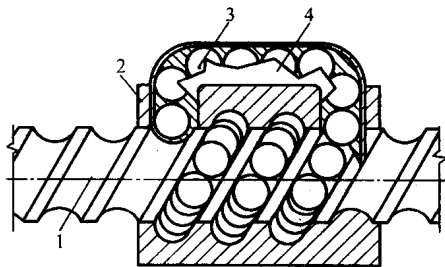


图 2-1 滚珠丝杠副传动装置

1—丝杠 2—螺母 3—滚珠
4—滚珠循环装置

滚珠丝杠副可将回转运动变为直线运动,又可将直线运动变为回转运动。它运动平稳可靠、无爬行现象、传动精度高、使用寿命长。由于滚珠是在淬硬并精磨后的螺纹滚道上运动,所以加工工艺较复杂,成本高,且因不能自锁而需设置制动装置。

(1) 滚珠丝杠副的结构及参数

1) 滚珠循环方式及螺纹滚道形式。滚珠丝杠副中滚珠的循环方式有内循环和外循环两种。图 2-2a 所示为内循环,在螺母 1 上开有侧孔,孔内镶有反向器 2,它把相邻两圈螺纹滚

道沟通起来, 滚珠 3 越过螺纹顶部进入相邻圈, 这样每一圈滚珠形成一个回路, 滚珠 3 在循环过程中始终与丝杠 4 表面保持接触; 图 2-2b 所示为外循环, 滚珠 3 在循环返回时, 离开丝杠 8 螺纹滚道, 在螺母 5 体内或体外做循环运动。内循环中的滚珠回路短、磨损小、传动效率高, 但反向器 2 加工困难; 外循环方式结构简单、加工方便, 但径向尺寸大、易磨损。

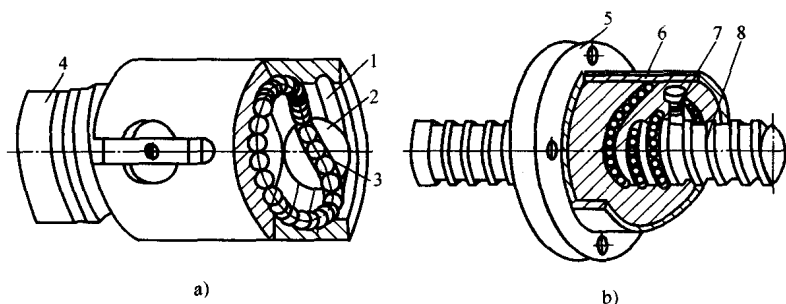


图 2-2 滚珠丝杠副

a) 内循环 b) 外循环

1、5—螺母 2、7—反向器 3、6—滚珠 4、8—丝杠

滚珠丝杠副的螺纹滚道截面型式有单、双圆弧之分。如图 2-3 所示, 单圆弧型螺纹滚道精度高, 传动效率、轴向刚度及承载能力随着接触角 β 的增大而增大; 双圆弧型螺纹滚道接触角 β 始终不变, 滚道底部易存油, 磨损小, 但加工成本高。

2) 滚珠丝杠副主要尺寸参数。滚珠丝杠副主要尺寸参数包括公称直径 D_0 、丝杠小径 d_1 、丝杠大径 d 、螺母小径 D_1 、螺母大径 D 、滚珠直径 d_b 、基本导程 (或螺距) P 、滚珠工作圈数及滚珠数, 如图 2-4 所示。

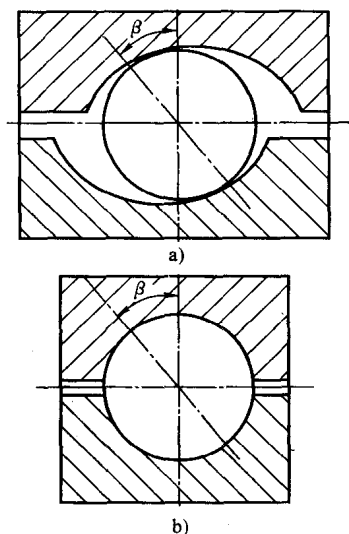


图 2-3 滚珠丝杠副螺纹滚道

a) 单圆弧型 b) 双圆弧型

β —接触角

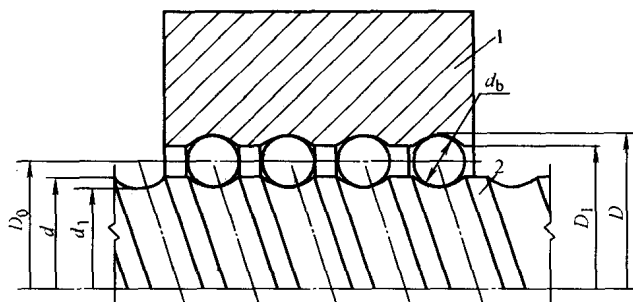


图 2-4 滚珠丝杠副主要尺寸参数

1—螺母 2—丝杠

3) 标注。滚珠丝杠副的型号由按序的字母和数字组成, 共有 9 位代号。标法可参见表 2-1。

表 2-1 滚珠丝杠副的标法

位 号	1	2	3	—	4	×	5	—	6	—	7	8	9
表达方式	大写 字母	大写 字母	大写 字母		数字		数字		数字		大写 字母	数字	文字
表达含义	外形 结构特 征	循环 方式	预紧 方式		公称 直径		基本 导程		负载 滚珠总 圈数		精度 等级	导程 精度检 验项目	螺母 旋向右 旋不标

例如, 汉江机床厂生产的滚珠丝杠副的标注为 $FC_1B-60 \times 6-5-E2$ 左, 表示法兰凸出式插管型、变位螺距、预加载荷、公称直径为 60mm、基本导程为 6mm、每个螺母上承载滚珠总圈数为 5 圈、E 级精度、检查 1~2 项、左旋螺纹。

4) 精度等级。在 GB/T 17587.3—1998《滚珠丝杠副精度》中, 根据使用范围及要求, 将标准公差等级分为 7 级, 即标准公差等级 1、2、3、4、5、7、10。其中, 标准公差等级 2 和 4 为不优先采用的标准公差等级, 且等级数越小, 精度越高、性能越好。

(2) 滚珠丝杠副间隙调整法: 滚珠丝杠副的轴向间隙是工作时滚珠与滚道面接触点的弹性变形引起的螺母位移量, 它会影响反向传动精度及系统的稳定性。常用的消除方法是双螺母加预紧力 (在调隙时, 应注意预紧力大小要适宜), 基本能消除轴向间隙。

1) 双螺母垫片式调隙。调整垫片厚度使两个螺母产生轴向相对位移, 从而消除几何间隙和轴向间隙, 并施加预紧力。其特点是结构简单、工作可靠, 但调整不准确。双螺母垫片式调隙机构如图 2-5 所示。

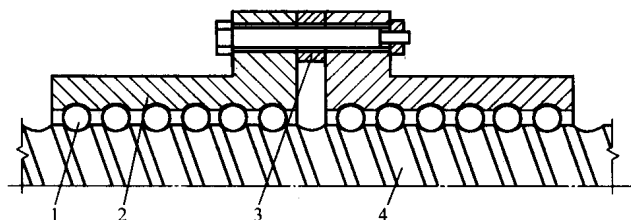


图 2-5 双螺母垫片式调隙机构

1—滚珠 2—螺母 3—垫片 4—丝杠

2) 双螺母螺纹式调隙。双螺母螺纹式调隙机构如图 2-6 所示, 它由锁紧螺母 1、圆螺母 2 及丝杠 5 组成。右端螺母 6 外部有凸台顶在套筒 3 外, 左端螺母 8 制有螺纹, 并用锁紧螺母 1 和圆螺母 2 锁紧, 旋转圆螺母 2 即可消除轴向间隙, 并施加一定的预紧力, 然后用锁紧螺母 1 锁紧。预紧后螺母 6 和 8 内的滚珠 4 相向受力, 从而消除了轴向间隙。其特点是结构简单、工作可靠、调整方便, 但不能精确调整。

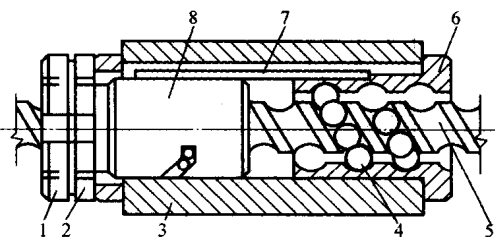


图 2-6 双螺母螺纹式调隙机构

1—锁紧螺母 2—圆螺母 3—套筒 4—滚珠
5—丝杠 6、8—螺母 7—键

3) 双螺母齿差式调隙。双螺母齿差式调隙机构如图 2-7 所示, 双螺母两端制有圆柱齿轮 2 (两齿轮齿数相差 1), 并分别与内齿轮 3、5 啮合。2 个内齿轮 3、5 分别固定在套筒 1 的两端。调整时, 先取下内齿轮 3、5, 转动螺母 (2 个螺