

主编 芮延年

机电一体化 系统设计

JIDIAN
YITIHUA
XITONG
SHEJI



苏州大学出版社
Soochow University Press

机电一体化系统设计

主 编 芮延年

副主编 钟博文 李相鹏 李 娟

陈再良 王金娥

主 审 陈长琦

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统设计 / 芮延年主编. — 苏州: 苏州大学出版社, 2017. 1
ISBN 978-7-5672-1863-5

I. ①机… II. ①芮… III. ①机电一体化—系统设计
IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 231652 号

内容提要

本书从机电一体化技术角度出发,阐述了“机电一体化系统设计”的原理、方法与应用。根据机电一体化产品设计过程中涉及的内容,先后分别介绍了绪论、机电一体化系统设计总体方案、机械传动系统设计、电气驱动系统设计、传感器与检测系统、可编程控制器(PLC)原理及应用、单片机原理及接口技术、机电一体化系统设计范例等内容。

本书不但可以作为机械工程及自动化等相关专业的教材,同时也可作为机电一体化产品开发设计人员、制造人员、生产管理人员学习和参考用书。

机电一体化系统设计

芮延年 主编

责任编辑 苏 秦

苏州大学出版社出版发行

(地址: 苏州市十梓街1号 邮编: 215006)

苏州恒久印务有限公司印装

(地址: 苏州市友新路28号东侧 邮编: 215128)

开本 787 mm×1 092 mm 1/16 印张 20.75 字数 499 千

2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5672-1863-5 定价: 48.00 元

苏州大学版图书若有印装错误,本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话: 0512-65225020

苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>

前 言

现代科学技术的迅猛发展,尤其是微电子技术、信息技术、传感与检测技术和机械技术的相互渗透,使传统的机械工业发生了深刻的变革.机械装备的面貌已经焕然一新,一些被广泛应用的传统机械运动系统,逐渐被机械电子机构所取代,传感器和微电子控制系统已成为机电产品的重要组成部分.现代机电产品已成为机与电高度融合的整体机电一体化产品.

本书主要介绍了机电一体化系统设计过程中机电一体化系统设计、机械传动系统设计、电气驱动系统设计及传感器与检测系统、可编程控制器(PLC)、单片机原理及接口技术,并通过4个机电一体化系统设计范例,对全书进行了归纳总结.本书以“以机为主、电为机用、机电结合”为方向进行编写.全书分为8章,主要涉及的内容如下:

第1章 绪论.主要介绍机电一体化基本概念、关键技术及发展趋势.

第2章 机电一体化系统设计.主要介绍机电一体化系统设计基本原则、设计的一般过程、总体方案设计等内容.

第3章 机械传动系统设计.主要介绍机电一体化系统的机械传动和支承机构的功能及要求、齿轮传动设计与选择、带传动设计与选择、链传动设计与选择、螺旋传动设计与选择、间隙传动设计与选择、轴系部件设计与选择等内容.

第4章 电气驱动系统设计.主要介绍机电一体化系统设计中电气驱动方式、电动机的选择、三相异步电动机、步进电动机驱动与控制、直线电动机、压电驱动器、液压传动系统、液压伺服控制系统的设计与选择等内容.

第5章 传感器与检测系统.主要介绍传感器基本概念,温度传感器,位移传感器,速度与加速度传感器,力、压力和扭矩传感器,位置传感器,红外、图像传感器等常用传感器的工作原理及应用.

第6章 可编程控制器(PLC)原理及应用.主要介绍可编程控制器(PLC)基本原理、指令系统和编程技术与方法,以及PLC基本逻辑指令应用编程.

第7章 单片机原理及接口技术.主要介绍单片机基本原理、PLC的基本构成、FX系列PLC基本指令及编程、PLC基本逻辑指令应用编程等内容.

第8章 机电一体化系统设计范例.主要通过4个机电产品开发设计范例,介绍机电一体化产品开发设计过程与方法.

本书的第1章、第2章、第8章由芮延年老师编写;第3章、第4章由陈再良老师和王金娥老师合作编写;第5章、第6章、第7章由钟博文老师、李相鹏老师、李娟老师合作编写;全书由芮延年老师统稿,陈长琦教授主审.本书在编写过程中参阅了国内外同行的教材、参考书、手册和期刊文献,在此谨致谢意.蒋澄灿博士研究生为本书的插图、整理做了大量工作,在此表示衷心的感谢!

由于时间仓促,加上作者水平有限,错漏及不足之处在所难免,敬请读者批评指正.

编 者

2016年冬于苏大后庄

目 录

第1章 绪 论

1.1 机电一体化基本概念	(1)
1.2 机电一体化技术分类与应用	(4)
1.3 机电一体化关键技术	(6)
1.4 机电一体化设计方法	(8)
1.5 机电一体化技术发展方向	(11)
习题与思考题	(16)

第2章 机电一体化系统设计

2.1 总体设计一般步骤与方法	(17)
2.2 系统功能设计	(22)
2.3 系统结构设计	(37)
2.4 控制系统设计	(46)
习题与思考题	(55)

第3章 机械传动系统设计

3.1 机械传动系统的功能及要求	(56)
3.2 齿轮传动系统的设计与选择	(57)
3.3 轮系传动	(62)
3.4 带传动的设计与选择	(71)
3.5 链传动设计与选择	(82)
3.6 螺旋传动设计与选择	(92)
3.7 自动给料机构	(101)
3.8 轴系部件设计与选择	(106)
习题与思考题	(118)

第4章 电气驱动系统设计

4.1 电气驱动方式	(120)
4.2 电动机的选择	(121)
4.3 三相异步电动机	(122)
4.4 伺服电动机	(138)
4.5 步进电动机	(147)

4.6 直线电动机	(151)
4.7 压电驱动器	(157)
习题与思考题	(162)

第5章 传感器与检测系统

5.1 概述	(163)
5.2 温度传感器	(166)
5.3 位移传感器	(172)
5.4 速度与加速度传感器	(183)
5.5 力、压力和扭矩传感器	(184)
5.6 红外、图像传感器	(195)
5.7 机器人传感器	(203)
5.8 智能传感器	(217)
习题与思考题	(222)

第6章 可编程控制器(PLC)原理及应用

6.1 概述	(223)
6.2 PLC的基本构成	(227)
6.3 FX系列可编程控制器	(231)
6.4 FX系列PLC基本指令及编程	(237)
6.5 PLC基本逻辑指令应用编程	(251)
6.6 PLC控制综合应用实例——运料小车控制	(255)
习题与思考题	(256)

第7章 单片机原理及接口技术

7.1 单片机工作原理	(258)
7.2 单片机扩展与接口技术	(274)
7.3 单片机应用实例	(289)
习题与思考题	(293)

第8章 机电一体化系统设计范例

8.1 机电一体化系统(产品)设计基本方法	(295)
8.2 激光加工机电系统的总体设计(范例1)	(297)
8.3 机械手的可编程控制器控制(范例2)	(305)
8.4 机械预压机预缩量的单片机控制(范例3)	(309)
8.5 皮带输送机变频控制(范例4)	(317)
习题与思考题	(324)

参考文献	(325)
------------	-------

第1章 绪论

本章重点: 本章是本书的总论,通过对机电一体化基本概念、技术分类与应用、关键技术、设计方法以及机电一体化技术发展方向的介绍,使读者对机电一体化系统技术有一个总体概括的了解。

1.1 机电一体化基本概念

1.1.1 机电一体化定义

机电一体化技术又称为机械电子技术,是机械技术、电子技术、信息技术、自动控制技术等相关技术的综合。“机电一体化”在国外被称为“Mechatronics”,是日本人在20世纪70年代提出来的,它取机械学(Mechanics)的前半部分和电子学(Electronics)的后半部分组合起来构成,意思是机械技术和电子技术的有机结合。

机械技术是一门古老的学科,它为人类社会的进步与发展做出了卓越贡献,直到今天机械仍然是现代工业的基础,国民经济的各个部门都离不开它。机械种类繁多,功能各异,不论哪一种机械,从诞生以来都经历了使用—改进—再使用—再改进,不断革新和逐步完善的过程,可以说机械本身的发展是无止境的。随着社会发展和科学技术的进步,人们逐渐认识到机械学科发展到今天,与其他新兴学科相比,其发展速度越来越缓慢,有些问题仅从机械角度进行解决是越来越不容易了。

随着科学技术的发展,特别是进入21世纪以来,微电子技术、信息技术、自动化技术、生物技术、新材料、新能源、空间技术、海洋开发、激光与红外技术、光纤通信、纳米技术等一系列高新技术的快速发展,极大地推动了机电一体化技术的发展。

1.1.2 机电一体化的特点

高新技术渗透到传统产业,引起传统产业的深刻变革。微电子技术、计算机技术让信息技术与智能技术和机械技术有机地结合起来,使得机电产品结构和生产系统发生了质的飞跃。从典型的机电一体化产品来看,如数控机床、加工中心、机器人、空调、数码相机等,无一不是机电一体化技术的集成与融合,与传统机电产品相比,机电一体化技术具有如下特点:

1. 综合性与系统性

机电一体化是电子技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术与机械技术结合而成的综合性技术。各种技术的综合及多个部分的组合,使得机电一体化技术及产品更具有系统性、完整性和科学性。

2. 小型化、轻型化、微型化

由于微电子学和微纳制造技术的发展,使得机电一体化产品的检测、传感及控制装置等的体积和质量可以做成原来的几分之一、几十分之一,甚至几百分之一。产品结构向着小型

化、轻型化方向发展.近年发展起来的微机电技术,推动着产品向微型化方向发展.

3. 高精度、多功能

机电一体化技术使机械传动部件减少,从而使得机械磨损、配合间隙和受力变形等所引起的动作误差大大减小,因各种干扰因素造成的误差,可以通过自动控制系统的自诊断、自校正、自补偿达到所要求的工作精度;同时,也可以通过改变程序、指令等软件内容而不必改动硬件就能变化产品的功能,如激光加工中心能自动完成焊接、切割、弯曲加工等操作.

4. 高可靠性

由于电子技术的发展,传感器和驱动控制器等装置采用非接触式代替接触式,减少装置的可动部件和磨损部件.机电一体化产品同时具有自诊断、自动监测功能,当系统出现过载、失速等故障时,能进行自我保护,防止出现事故,因此,产品的可靠性得到进一步提高.

5. 柔性化、智能化

机电一体化产品采用高性能微处理器作为系统的控制器.在产品设计上,尽量采用软件来实现硬件的功能.因此,一旦产品的工作对象发生改变,只要修改相应的软件就可以完成功能的扩展和更换,而不需要增添任何硬件.

6. 知识密集

机电一体化产品设计往往涉及多学科的专业知识,需要一个知识结构合理、经验丰富的设计团队共同完成.因此,机电一体化产品是知识密集的产品,如静电复印机、彩色打印机等,就是由机、电、磁、化学等多种学科和技术复合创新的产品.

1.1.3 机电一体化系统的基本构成

一个较完善的机电一体化系统,应包含以下几个基本要素:机械本体、动力与驱动部分、执行机构、检测传感部分、控制及信息处理部分,如图 1-1(a)所示.这些组成部分内部及其相互之间,通过接口耦合、运动传递、物质流动、信息控制、能量转换等有机结合,集成一个完整的机电一体化系统,与人体是由头脑、感官(眼、耳、鼻、舌、皮肤)、手足、内脏及骨骼等五大部分构成相类似,如图 1-1(b)所示.机械本体相当于人的骨骼,动力源相当于人的内脏,执行机构相当于人的手足,传感器相当于人的感官,控制及信息处理相当于人的头脑.由此可见,机电一体化系统内部五大功能与人体的功能几乎是一样的,因而,人体是机电一体化产品发展的最好蓝本.实现各功能的相应构成要素如图 1-1(c)所示.

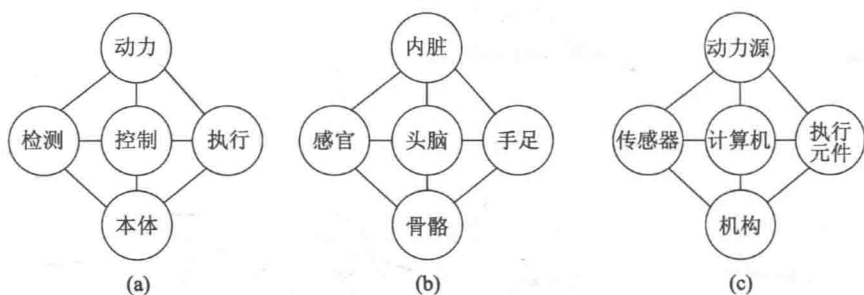


图 1-1 机电一体化系统与人体对应部分的构成及相应功能的关系

1. 机械本体

机械本体是机电一体化系统的基本支持体,它主要包括机身、框架、连接等.机电一体化

产品技术性能、水平和功能的提高,要求机械本体在机械结构、材料、加工工艺以及几何尺寸等方面能适应机电一体化产品多功能、高可靠性、节能、小型、轻量、美观等要求。

2. 动力部分

机电一体化系统的显著特征之一是用尽可能小的动力输入,获得尽可能大的功能输出。机电一体化系统不但要求驱动效率高、反应速度快,而且要求对环境适应性强、可靠性高。

3. 传感与检测部分

传感与检测技术是机电一体化技术中的关键技术, 传感器将物理量、化学量、生物量等(如力、速度、加速度、距离、温度、流量、pH、离子活度、酶、微生物、细胞等)运动量转换成电信号, 即引起电阻、电流、电压、电场及频率的变化, 通过相应的信号检测装置将其反馈给控制与信息处理装置, 因此, 传感与检测是实现自动控制的关键环节。

4. 执行机构

执行机构根据控制信息和指令,完成要求的动作。执行机构由传动或运动部件担任,一般采用机械、液压、气动、电气以及机电相结合的机构。根据机电一体化系统的匹配性要求,需要考虑改善其性能,如提高刚性,减轻重量,提高可靠性,实现标准化、系列化和模块化等。

5. 信息处理与控制

信息处理与控制对来自各传感器的检测信息和外部输入命令进行集中、储存、分析、加工等信息处理,使之符合控制要求,实现信息处理的主要工具是计算机.在机电一体化产品中,计算机与信息处理装置指挥着整个产品的运行,信息处理是否正确及时,将直接影响到系统工作的质量和效率.因此,计算机应用和信息处理技术已成为促进机电一体化技术和产品发展的最活跃的因素.信息处理一般由计算机、可编程控制器(PLC)、数控装置、逻辑电路、A/D与D/A转换装置、I/O(输入/输出)接口及外部设备等组成.

机电一体化系统的基本特征是给“机械”增添头脑(计算机信息处理与控制). 信息处理只是把传感器检测到的信号转化成可以控制的信号, 系统如何运动还需要通过控制系统来控制, 其运动控制包括线性控制、非线性控制、最优控制、智能控制等控制技术.

典型机电一体化系统构成实例——数控机床功能的构成如图 1-2 所示。

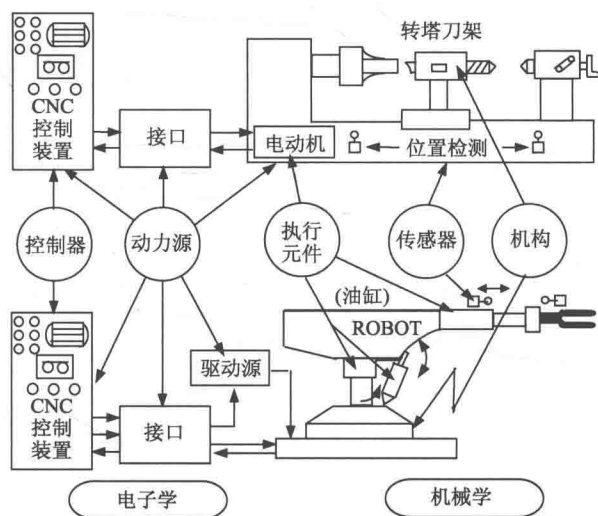


图 1-2 机电一体化系统数控机床功能的构成

1.2 机电一体化技术分类与应用

1.2.1 机电一体化技术分类

从广义上说,机电一体化技术有着极其广泛的含义,自动化的机电产品、自动化的生产工艺、设备故障监测与诊断技术、数控技术、CAD 技术、CAPP 技术、CAM 技术、集成化的 CAD/CAPP/CAM 技术、专家系统、计算机仿真、企业计算机管理、机器人等都属于机电一体化技术的范畴。

目前世界上普遍认为机电一体化技术可以分成两大类,即生产过程的机电一体化和机电产品的机电一体化。

生产过程的机电一体化意味着整个工业体系的机电一体化,如机械制造过程的机电一体化、化工生产过程的机电一体化、冶金生产过程的机电一体化、纺织与印染生产过程的机电一体化、电子产品生产过程的机电一体化、排版与印刷过程的机电一体化等。生产过程的机电一体化又可根据生产过程的特点划分为离散制造过程的机电一体化和连续生产过程的机电一体化。前者以机械制造业为代表,后者以化工生产流程为代表。

机电产品的机电一体化是机电一体化的核心,是生产过程机电一体化的物质基础。传统的机电产品加上微机控制即可转变为新一代的机电一体化产品,而新产品较旧产品具有功能强、性能好、精度高、体积小、重量轻、更可靠、更方便、经济效益显著等优点。机电一体化产品小到儿童玩具、家用电器、办公设备,大到数控机床、机器人、自动化生产线、航空航天器,因此,可以说机电一体化技术几乎涉及社会的各个方面,如图 1-3 所示。

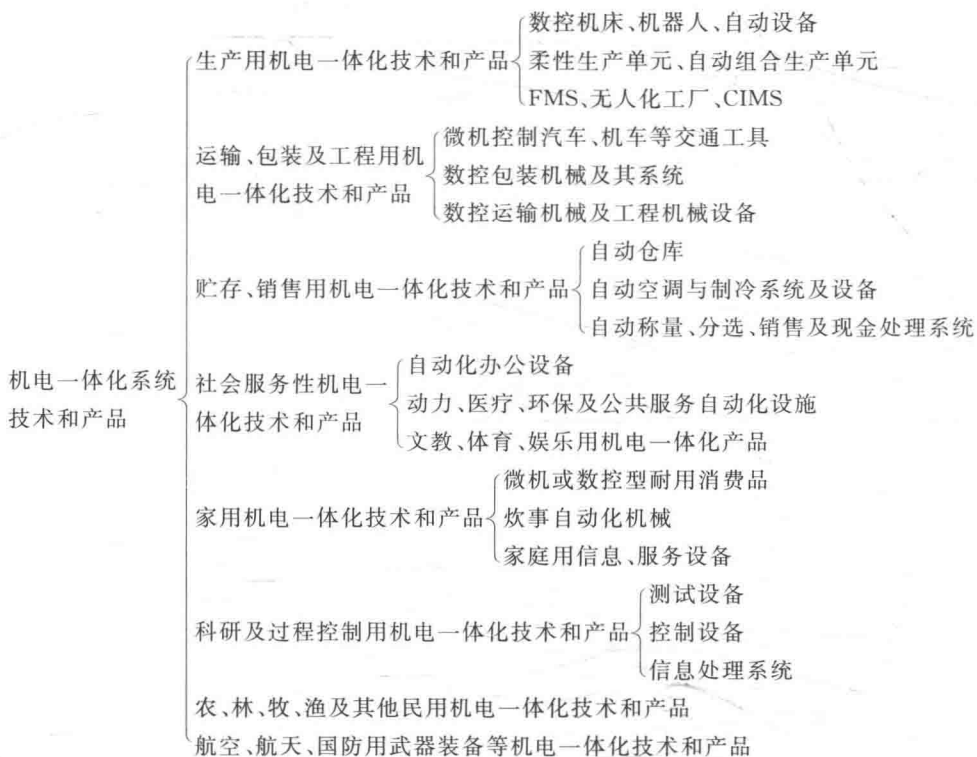


图 1-3 机电一体化技术与产品所涉及的内容

1.2.2 机电一体化技术的应用

1. 机械制造过程的机电一体化

机械制造过程的机电一体化包括产品设计、加工、装配、检验的自动化,生产过程自动化,经营管理自动化等,其高级形式是计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,简称 CIMS)。它主要涉及以下几个方面。

(1) 计算机辅助设计。

计算机辅助设计(Computer Aided Design,简称 CAD),是指将计算机和相关软件应用于产品设计的全过程,其中包括资料检索、方案构思、计算分析、工程绘图和编制文件等。广义的 CAD 还包括计算机辅助分析(CAE)。采用 CAD 的目的是使整个设计过程实现自动化,同时 CAD 也可以缩短新产品设计周期,提高企业对市场的应变能力。

(2) 计算机辅助工艺设计。

计算机辅助工艺设计(Computer Aided Process Planning,简称 CAPP),是指在计算机系统的支持下,根据产品要求,选择加工方法、确定加工顺序、分配加工设备、安排加工刀具等生产加工工艺过程。CAPP 的目的是实现生产准备工作的自动化,由于工艺方法往往又与企业设备、工人和技术人员水平等因素有关,因此,在多数情况下,把 CAPP 看作 CAM 的一个组成部分。

(3) 计算机辅助制造。

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing,简称 CAM),从广义来说,是指在机械制造过程中,利用计算机,通过各种设备,如机器人、加工中心、数控机床、传送装置等,自动完成机械产品的加工、装配、检测和包装等制造过程,同时也包括计算机辅助工艺设计 CAPP 和 NC 编程。采用计算机辅助制造机械零部件,可改善对产品多变的适应能力,提高加工效率和生产自动化水平,缩短加工准备时间,降低生产成本,提高产品质量。

(4) CAD/CAPP/CAM 集成系统。

随着制造技术的进步和计算机技术的发展,CAD/CAPP/CAM 集成系统技术越来越受到人们的重视,世界各发达国家都投入了大量人力、物力进行研究和开发。大量统计数据表明 CAD/CAPP/CAM 集成系统不但方便设计、查询和修改,而且使生产效率也得到显著提高。

(5) 柔性制造系统。

柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,简称 FMS)又称为计算机化的制造系统,主要由计算机、数控机床、机器人、自动化仓库、自动搬运小车等组成。它可以随机地、实时地按照工艺要求进行生产,特别适合于多品种、小批量、设计更改频繁的离散零件生产。

FMS 需要数据库的支持,FMS 所用的数据库一般有两种:一种是零件数据库,用于存储零件加工相关信息,如工件尺寸、工夹具要求、成组代码、材料、加工计划、进给量和速度等数据;另一种是信息管理和控制数据库,主要用于存储、管理和控制设备信息状态等。

(6) 计算机集成制造系统。

计算机集成制造系统,就是计算机辅助生产管理与 CAD/CAM 及车间自动化设备的集成。所谓车间自动化设备是指 FMS、FMC、数控机床、数控加工中心、机器人等一系列自动化生产设备。换言之,CIMS 是在柔性制造技术、信息技术和系统科学的基础上,将制造工厂经

营活动所需的各种自动化系统有机地集成起来,使其能适应多品种、小批量、高效益、高柔性的智能生产系统要求。

2. 机电产品的机电一体化

传统机电产品引入电子技术、计算机技术和自动控制技术后就形成了所谓的新一代机电一体化产品,也有人称机电一体化产品为带有微处理器的机电产品。典型的机电一体化产品体现了机电技术的深度有机结合。近年来,新开发的机电一体化产品大多都采用了全新的工作原理,集中了各种高新技术,并把多种功能集成在一起,具有体积小、重量轻、成本低、效率高和环保节能等优点,在市场上具有极强的竞争能力。

由于在机电一体化产品中往往会使用到光学、仪器仪表等技术,所以国内外有些人提出了光机电一体化(例如数码照相机)、机电仪一体化(例如核磁共振扫描仪)、机电液一体化(例如液压挖掘机)等技术。我们认为不管是光机电一体化、机电仪一体化还是机电液一体化,都表明这些产品采用了机电相关新技术。在今天的日常生活和工作中,可以看到机电一体化技术或产品无处不在,所以将其统称为机电一体化技术较为简洁合适。

机电一体化产品又可分为机械产品电子化(取代设计)和产品机电一体化(融合设计)两种类型。机械产品电子化是指原有的机械产品采用了微电子技术之后,其性能和功能都有了很大的提高,甚至在结构上也发生了变化。这类产品为数不少,它们又可细分为:

(1) 机械本身的主要功能被电子取代,如激光雕铣机采用激光连续加工的方法代替了传统方式的金属切削加工;电子照相机代替了传统的机械式照相机等。

(2) 机械式信息处理机构被电子元件代替,如电子钟、电子计算器、电子交换机等。

(3) 机械式控制机构被电子式代替,如缝纫机的凸轮机构被微型机控制系统代替;在燃料喷射装置、加热炉中的机械顺序采用微机程序控制等。

(4) 采用微电子技术增加了控制功能,如数控机床、汽车防滑制动装置、微机控制的电机调速装置、微机控制的播种机、微机控制的联合收割机、微机控制的孵化器等。

产品机电一体化是指机械与电子融合的产品,这类产品属于机电一体化的高级形式,如工业机器人、传真复印机、声音合成装置、电子式自动售货机、计算机断层扫描装置、彩色复印机、自动探伤仪、形状识别装置、分时计价电度表等。这些产品单靠机械技术或单靠电子技术往往都难以实现,而通过机械与电子技术的有机结合却很容易实现。

1.3 机电一体化关键技术

当代科学技术的发展出现了纵向分化、横向综合的重要趋势。从工程学角度来看,机电一体化技术是机械、材料、微电子、控制工程、计算机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,所涉及的技术领域非常广泛。目前普遍认为,机电一体化这一新兴学科涉及五大基础学科:机械学、材料学、控制工程、电子学和计算机科学。

机电一体化技术包括硬件技术和软件技术两大方面。硬件通常由机械本体、传感器、接口单元、信息处理单元和驱动单元等部分组成;而软件由具有各种不同功能的模块或标准化模块组成。因此,机电一体化技术相关的关键技术应包括以下几个方面。

1.3.1 机械技术

对于绝大多数的机电一体化产品来说,机械本体在质量、体积等方面都占有绝大部分,如原动机、工作机和传动装置一般都采用机械结构,这些机械结构的设计和制造问题都属于机械技术的范畴。在进行机械结构设计时,除了要利用传统的机械技术外,还要采用优化设计、动态设计、虚拟设计、绿色设计方法等;研究开发新型复合材料,以便使机械结构减轻重量,缩小体积,以改善在控制方面的快速响应特性;研究高精度导轨、滚珠丝杠、齿轮和轴承,以提高关键零部件的精度和可靠性;通过使零部件标准化、系列化、模块化来提高其设计、制造和维修的水平。

1.3.2 计算机与信息处理技术

信息处理技术包括信息的交换、存取、运算、判断和决策等,实现信息处理的主要工具是计算机。计算机技术包括计算机硬件和软件技术、网络与通信技术、数据库技术等。在机电一体化产品中,信息处理得是否正确及时,将直接影响到系统工作的质量和效率。因此,计算机应用和信息处理技术是推动机电一体化技术和产品发展最关键、最活跃的因素。人工智能、专家系统、神经网络技术等都属于计算机与信息处理技术。

1.3.3 传感器与检测技术

机电一体化产品中,传感器作为感受器官,将各种内、外部信息通过相应的信号检测装置反馈给控制与信息处理系统,由控制系统对运动进行控制,因此,传感器与检测是实现自动控制的关键环节。机电一体化要求传感器能快速、精确地获取信息,并能经受各种严酷环境的考验。但是,由于目前一些传感器与检测技术还不能与机电一体化技术的发展相适应,使得不少机电一体化产品不能达到满意的效果或无法实现设计,因此,大力开展传感器与检测技术的研究对发展机电一体化技术具有十分重要的意义。

1.3.4 自动控制技术

自动控制技术的范围很广,包括自动控制方法、控制系统设计、系统仿真、现场调试、可靠运行等。由于被控对象种类繁多,所以控制技术的内容十分丰富,如位置精度控制、速度控制、自适应控制、自诊断、校正、补偿、示教再现、检索等控制技术等。由于微型计算机的广泛应用,自动控制技术越来越多地与计算机控制技术联系在一起,成为机电一体化技术中的关键技术。

1.3.5 伺服驱动技术

伺服驱动技术的主要研究对象是伺服驱动单元及其驱动装置。伺服驱动单元有电动、气动、液压等多种类型。机电一体化产品中,越来越多地采用变频电机、伺服电机、力矩电机、电液马达等,其驱动电源电路目前多数采用电力电子器件及集成化功能电路。伺服驱动单元一方面通过电气接口向上与计算机相连,以接受计算机的控制指令;另一方面又通过机械接口向下与机械传动和执行机构相连,以实现规定的动作。实际上,机电一体化系统与非机电一体化机械系统的区别主要是看其是否具有计算机控制的伺服驱动系统。

1.3.6 系统总体技术

系统总体技术是指按照系统工程的观点和方法,以整体的概念组织应用各种相关技术,从全局角度和系统目标出发,将系统总体分解成相互有机联系的若干功能单元,并以功能单元为子系统继续分解,直至找到可实现的技术方案,然后再对功能和技术方案组合成的方案进行分析、评价和优选。系统总体技术包含的内容很多,接口技术是其重要内容之一,机电一体化产品的各功能单元通过接口连接成一个有机的整体。系统总体技术是最能体现机电一体化设计特点的技术,其原理和方法还在不断发展和完善之中。

1.4 机电一体化设计方法

传统的设计方法和各种现代设计方法同样也适用于机电一体化产品设计。但是,在进行机电一体化系统设计或产品设计时,需考虑哪些功能由机械技术实现,哪些功能由电气和电子技术实现,进一步还需要考虑在电子技术中哪些功能由硬件实现,哪些功能由软件实现。它存在着机电技术有机结合如何实现,机、电、液传动如何匹配,机电一体化系统如何进行整体优化等问题。因此,机电一体化设计与传统机电产品设计所不同的是,要求能够综合运用机械技术和电气、电子技术的优点,进行机电一体化系统设计或产品设计。机电一体化设计主要涉及的设计方法有以下几种。

1.4.1 优势设计

优势设计的理念是从“为竞争优势而设计”的概念转化而来的,其确切的含义是“为产品创建具有竞争优势的设计思想、原理和技术”。所谓“机电一体化设计”,其目的就是形成竞争优势。

“有效的设计也是有效制造的先决条件,改善工程设计的实践,是提高工业优势和国家竞争力的基础。”这句话直截了当地把国家竞争力和工业优势以及工程设计三者联系起来。“国家竞争优势”或“国家竞争力”主要是指各国工业产品在国际市场上的竞争力,如中国高铁技术、核电技术等。工程设计是工业产品生产销售过程中的关键环节。一个产品的寿命周期费用的70%甚至更多是由设计决定的。有效的工程设计能够提高产品质量、降低成本、加速进入市场的时间,从而使产品更好地适应顾客的需求,取得市场竞争的优势。竞争优势来自于“无与伦比的创新产品设计”和“出类拔萃的制造水平”。一个产品是否具有竞争优势,70%~80%取决于“设计”。这里所说的“设计”不是一般的“常规设计”,而应该是“创新设计”和“优势设计”。有些科学技术是可以直接转化为生产力的,而大多数科学技术是不能直接转化的,必须要经过设计这个环节,以产品的形式进入市场才能被顾客接受。

设计和科学技术不是一回事,两者不仅出发点、目标和结果不同,而且所需要的知识基础也不尽相同。科学技术需要在已有知识和技术能力的基础上运用假设、分析和试验的方法来探索自然规律;而设计不仅需要自然科学知识,还需要工程科学知识以及人机学、美学、社会学、心理学、经济学和生态学的知识。尽管设计和科学研究常常是相互渗透的,但是不能不强调,设计区别于科学研究的地方是它更需要创造力和想象力,并通过各种工艺手段实现构思。

1.4.2 创新设计

创新是设计的本质,也是设计活动的最终目标,创新设计对机电一体化产品来说是必需的。创新含义很广,除了技术上的创新外,当然还有管理上的创新、销售上的创新、售后服务上的创新等。这里,我们主要讨论的是技术上的创新。

在制造业中,一般把产品的技术创新分为如下两类:

第一类是无重要新技术,通过在形式上的翻新,从而获得相应竞争能力。例如,按用户订单生产不同颜色的自行车,按用户需求生产具有个性的家用小汽车等。虽然这些方式也有所创新,也形成了新的竞争能力,但是所生产的自行车、家用小汽车的性能并无重要变化,其中也没有融入多少新的技术,申请的专利大多是“实用新型专利”。

第二类是含有(开发的)重要新技术,使产品竞争力有很大提高,或形成新的竞争力制高点。例如电动汽车,如果能设计和制造出远远超出现有电池的高储电量、长寿命电池,就能形成一种新的竞争力制高点,申请的专利可能是“发明专利”。

创造性思维具有多种对偶形式:直觉思维与逻辑思维、形象思维和抽象思维等。大量的创造过程是这两种思维方式交叉和综合的结果。人们首先对自己提出一个创造目标,这个目标本身也可能就是一个创造灵感,为了实现这个目标,须一步步进行分析推理,在此过程中会出现一些技术难关,人们就不得不进行反复的试验,经历一次又一次的失败,最后找到解决问题的办法。

促发创造思维的一些法则有:激发创造激情、增强信息获取方式、促进知识融合。在技术性的创新设计中常用的有如下几种思维形式:分析与综合式思维、收敛与发散式思维、对应与联想式思维、离散与组合式思维、换元与移植式思维,正向、迂回与反向式思维等。

1.4.3 模块化设计

机电一体化产品或设备设计由具五大要素的功能部件组成,也可以设计成由若干功能子系统组成,而每个功能部件或功能子系统又包含若干组成要素。这些功能部件或功能子系统经过标准化、通用化和系列化,就成为功能模块。每一个功能模块可视为一个独立体,在设计时只需了解其性能规格,按其功能来选用,而无须了解其结构细节。

作为机电一体化产品或设备要素的电动机、传感器和微型计算机等都是功能模块的实例。又如交流伺服驱动模块(AMDR)就是一种以交流电动机(AM)或交流伺服电动机(ASM)为核心的执行模块。它以交流电源为主要工作电源使交流电动机的机械输出(转矩、转速)按照控制指令的要求而变化。

在新产品设计时,可以把各种功能模块组合起来,形成所需的新产品。采用这种方法可以缩短设计与研制周期,节约工装设备费用,从而降低生产成本,也便于生产管理。例如,将工业机器人各关节的驱动器、检测传感元件、执行元件和控制器做成机电一体化的驱动功能模块,可用来驱动不同的关节,还可以研制机器人的机身回转、肩部关节、臂部伸缩、肘部弯曲、腕部旋转、手部俯仰等各种功能模块,并进一步标准化、系列化,就可以用来组成结构和用途不同的各种工业机器人。

1.4.4 柔性化设计

将机电一体化产品或系统中完成某一功能的检测传感元件、执行元件和控制器做成机电一体化的功能模块,如果控制器具有可编程的特点,则该模块就成为柔性模块。例如,采用凸轮机构可以实现位置控制,但这种控制是刚性的,运动改变时难以调节。若采用伺服电机驱动,则可以使机械装置简化,且利用电子控制装置可以进行复杂的运动控制以满足不同的运动和位置要求,采用计算机编程还可以进一步提高驱动系统的柔性。

1.4.5 优化设计

机械优化设计是最优化技术在机械设计领域的移植和应用,其基本思想是根据机械设计理论、方法和标准规范等建立一个反映工程设计问题和符合数学规划要求的数学模型,然后采用数学规划方法和计算机计算技术自动找出设计问题的最优方案。机械优化设计方法涉及一维优化、多维无约束优化、多维约束优化、多目标优化等内容。

1.4.6 可靠性设计

可靠性是指产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。可靠性设计是常规设计方法的深化和发展,它是机电一体化产品设计的主要特点之一。从可靠性概念角度出发,零部件上的载荷和材料性能等都是随机变量,具有明显的离散性、模糊性或灰色性,在数学上通常用分布函数或模糊数学、灰色理论来描述。由于载荷和材料性能等都是随机变量,所以必须用概率统计的方法求解。可靠性设计法认为所设计的任何产品都存在一定的失效可能性,但是,可靠性设计可以定量地回答产品的可靠程度,从而弥补了常规设计方法的不足。

1.4.7 虚拟设计

如果把设计理解为在实物原型出现之前的产品开发过程,那么虚拟设计的基本构思就是用计算机来虚拟完成整个产品的开发过程。设计者经过调查研究,在计算机上建立产品模型,并进行各种分析,改进产品设计方案。通过建立产品的数字模型,用数字化形式代替传统的实物原型试验,在数字状态下进行产品的静态和动态性能分析,然后再对原设计进行集成改进。由于在虚拟开发环境中的产品实际上只是数字模型,因此可以对它随时进行观察、分析、修改及更新,使新产品开发能够进行可制造性、可装配性、可维护性、运行适应性、易销售性等的分析与实验。虚拟设计可以使一个企业的各部门甚至是全球化合作企业同时在一个产品模型上工作和获取信息,对设计产品进行反复制作、实验、修改,按照规划的时间、成本和质量要求将新产品推向市场,并持续对客户的需求变化做出快速灵活的响应。

1.4.8 智能设计

智能设计是指应用现代信息技术,采用计算机模拟人类的思维活动,提高计算机的智能水平,从而使计算机能够更多、更好地承担设计过程中各种复杂任务,成为设计人员的重要辅助工具。智能设计按设计能力可以分为三个层次:常规设计、联想设计和进化设计。

1. 基于智能的常规设计

即设计属性、设计进程、设计策略已经规划好,智能系统在推理机的作用下,调用符号模型(如规则、语义网络、框架等)进行设计。如日本 NEC 公司用于 VLSI 产品布置设计的 Wirex 系统、华中理工大学开发的标准 V 带传动设计专家系统(JDDDES)等都属于常规设计系统,由于这类智能系统常常只能解决定义良好、结构良好的常规问题,故称其为基于智能的常规设计系统。

2. 基于智能的联想设计

可分为两类:一类是利用工程中已有的设计事例进行比较,获取现有设计的指导信息,这需要收集大量良好的、可对比的设计事例,对大多数问题是困难的;另一类是利用人工神经网络数值处理能力,从试验数据、计算数据中获得关于设计的隐含知识,指导设计。这种借助于其他事例和设计数据实现对常规设计突破的设计方法,称为基于智能的联想设计。

3. 基于智能的进化设计

遗传算法(GA)是一种借鉴生物界自然选择和自然进化机制的、高度并行的、随机的、自适应的搜索算法。20 世纪 80 年代早期,遗传算法已在人工搜索、函数优化等方面得到广泛应用,并推广到计算机科学、机械工程等多个领域。进入 20 世纪 90 年代,遗传算法的研究在基于种群进化的原理上,拓展出基于智能的进化编程(EP)、进化策略(ES)等方向。

1.4.9 绿色设计

绿色设计是以环境资源保护为核心概念的设计过程,它要求在产品的整个生命周期内把产品的基本属性和环境属性紧密结合起来。在进行设计决策时,除满足产品的物理目标外,还应满足环境目标,以达到优化设计的要求。

绿色产品至今尚无严格的可供遵循的统一标准,但在市场层面上的绿色产品标准已经得到公认,即产品在使用过程中耗用少量能源和资源且不污染环境,以及产品在使用后易于拆卸、回收和翻新,或能够安全废置并长期无虑。

绿色设计是这样一种设计方法,即在产品整个生命周期内,优先考虑产品的环境属性(可拆卸性、可回收性、可维护性、可重复利用性等),并将其作为设计目标,在满足环境目标要求的同时,保证产品应有的基本性能、使用寿命、质量等。

1.5 机电一体化技术发展方向

1.5.1 机电一体化技术发展主要模式

机电一体化是集机械、电子、光学、控制、计算机、信息等多学科的交叉与综合,它的发展和进步依靠并促进相关技术的发展和进步。纵观国内外机电一体化的发展现状和高新技术的发展动向,机电一体化将朝着以下几个方向发展。

1. 绿色化

科学技术的发展给人们的生活带来了巨大变化,在使物质丰富的同时也带来资源减少、生态环境恶化的后果。所以,人们呼唤保护环境,回归自然,实现可持续发展。绿色产品的概念在这种呼声中应运而生。绿色产品是指低能耗、低材料、低污染、舒适、协调且可