

机电一体化系统

杨正新 汪劲松 主编

科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

内 容 简 介

本书详细介绍了机电一体化系统的基本知识,系统地阐述了数控铣床、线切割机床、车削中心、工业机器人、CIMS、PLC 与纵剪流水线等典型的机电一体化系统。具有取材新颖、系统性好、实用性强等特点。

本书适用于从事机电工程技术应用、开发的技术人员,亦可作为数控技术、机电一体化技术等中、高级培训班教材,或大专院校机械与机电工程专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化系统/杨正新,汪劲松主编.-北京:科学技术文献出版社,1996.12

ISBN 7-5023-2604-9

I.机… II.①杨… ②汪… III.机电一体化 IV.TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 12400 号

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路 15 号 邮政编码 100038)

北京国马印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本 21.25 印张 544 千字

科技新书目:371—241 印数:1—3000 册

定价:35.00 元

前 言

“七五”以来,我国机械工业面临着传统工业技术和陈旧设备的改造问题。电子技术的应用给机械工业注入了强大的活力,怎样运用高、新技术来改造和充实传统产业、组建新技术产业,是决定我国工业技术在世界中所处地位的关键。与此同时,我国大专院校也面临着传统机制专业的改造和设置新的相应专业的问题,在这充满着对新技术的渴求的年代里,机电一体化技术综合了机械学、电子学、系统论、控制论、可靠性理论的最新成就,发展成为一门崭新的边缘性学科。机电一体化技术的应用大大地促进了机械工业的发展,并为传统机械工业指明了一条迅速发展的道路。

为满足当前形势发展的需要,我们选择了几种典型的机电一体化系统加以介绍,编撰了本书。本书选材力求结构合理、系统性好、实用性强、内容新颖,它将成为从事机电一体化技术学习、工作的一本很有价值的参考书。

全书分为八章,各章节内容分别为:绪论、机电一体化系统基本知识、数控铣床、线切割机床、车削中心、工业机器人、CIMS、PLC 与纵剪流水线。

本书由杨正新(国防科技大学)、汪劲松(清华大学)主编。各章作者为:第一、三章杨正新,第二章乐光明,第四章苏德,第五章冯平法,第六章汪劲松,第七章成晔,第八章苏建庸,全书由杨正新校样定稿。本书由张伯鹏教授审阅,在本书的编写过程中马德通教授给予了大力支持和帮助,另外李振德参加了部分编辑工作,宋小然、陈娜娜参加了部分描图工作,谨在此一并致谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,作者虽已尽了很大努力,但书中难免有不足和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

1996年8月于长沙

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 机电一体化技术及其重要地位和作用	(1)
§ 1.2 机电一体化发展概况	(2)
§ 1.2.1 国外发展概况	(2)
§ 1.2.2 国内发展概况	(4)
§ 1.3 机电一体化系统的组成与作用	(5)
§ 1.3.1 机械载体	(5)
§ 1.3.2 能量单元	(5)
§ 1.3.3 信息传感	(6)
§ 1.3.4 伺服驱动与执行机构	(6)
§ 1.3.5 信息处理与控制	(6)
§ 1.4 机电一体化系统的分类	(6)
§ 1.4.1 产业类机电一体化系统	(6)
§ 1.4.2 消费类机电一体化系统	(7)
第二章 机电一体化系统基本知识	(8)
§ 2.1 运动轨迹跟踪控制原理	(8)
§ 2.1.1 逐点比较法	(8)
§ 2.1.2 最小偏差距离法	(1 4)
§ 2.1.3 数学积分法	(2 0)
§ 2.1.4 比较积分法	(2 4)
§ 2.1.5 空间圆弧轨迹跟踪控制原理	(2 7)
§ 2.2 常用驱动单元	(3 1)
§ 2.2.1 步进电机	(3 2)
§ 2.2.2 直流伺服电机	(4 0)
§ 2.2.3 交流伺服电机	(4 9)
§ 2.2.4 组合执行元件	(5 2)
§ 2.2.5 SSR 固态继电器	(5 3)
§ 2.3 常用信号检测传感器	(5 6)
§ 2.3.1 位置(移)传感器	(5 6)
§ 2.3.2 仿生传感器	(6 1)
第三章 数控铣床	(7 2)
§ 3.1 概述	(7 2)
§ 3.1.1 数控机床的分类	(7 2)
§ 3.1.2 NT-J320A 型数控铣床的性能与特点	(7 3)

§ 3.2	编程方法	(7 4)
§ 3.2.1	G 功能与编程	(7 4)
§ 3.2.2	M 辅助功能与编程	(9 0)
§ 3.2.3	铣削加工与编程技巧	(9 1)
§ 3.3	主轴部件	(9 2)
§ 3.3.1	主轴无级变速系统	(9 2)
§ 3.3.2	主轴部件	(9 9)
§ 3.4	伺服驱动的系统	(10 3)
§ 3.4.1	伺服系统的工作原理	(10 3)
§ 3.4.2	NT-J320A 伺服驱动装置	(10 4)
§ 3.5	滚珠丝杠螺母副	(10 7)
§ 3.5.1	概述	(10 7)
§ 3.5.2	滚珠丝杠的结构和类型	(10 8)
§ 3.5.3	主要技术指标	(11 1)
§ 3.5.4	安装与制动方式	(11 1)
§ 3.5.5	润滑与防护	(11 2)
第四章	线切割机床	(11 4)
§ 4.1	概述	(11 4)
§ 4.1.1	引言	(11 4)
§ 4.1.2	线切割应用范围	(11 4)
§ 4.1.3	数字程序控制线切割机	(11 5)
§ 4.2	高频电源	(11 6)
§ 4.2.1	电蚀原理	(11 6)
§ 4.2.2	晶体管式高频电源	(11 7)
§ 4.2.3	电火花加工的规律及工作液体	(12 1)
§ 4.2.4	使用时加工电规准的选择	(12 2)
§ 4.3	机床	(12 2)
§ 4.3.1	机床的功用与要求	(12 3)
§ 4.3.2	DK7740 线切割机床结构特点	(12 3)
§ 4.3.3	其它结构形式简介	(13 0)
§ 4.4	DK7740 线切割机床传动系统	(13 2)
§ 4.5	机床电气	(13 3)
§ 4.5.1	概述	(13 3)
§ 4.5.2	工作原理	(13 3)
§ 4.6	线切割机床双坐标联动与锥度控制原理	(13 6)
§ 4.6.1	双坐标联动	(13 6)
§ 4.6.2	锥度控制原理	(14 0)
§ 4.7	CNC-8 控制系统	(14 2)
§ 4.7.1	CNC-8 线切割控制器控制功能简介	(14 2)
§ 4.7.2	加工数据结构	(14 3)

§ 4.7.3	CNC-8 线切割机控制器的使用	(145)
第五章	车削中心	(169)
§ 5.1	概述	(169)
§ 5.1.1	加工中心的分类	(169)
§ 5.1.2	车削中心的布局 and 结构特点	(170)
§ 5.1.3	TC1210u-A950 车削中心简介	(171)
§ 5.2	车削中心程序编制	(174)
§ 5.2.1	车削中心基本知识	(174)
§ 5.2.2	车削中心的数控指令	(177)
§ 5.2.3	车削中心编程实例	(190)
§ 5.3	车削中心的传动系统	(199)
§ 5.3.1	主传动系统	(199)
§ 5.3.2	主轴部件	(202)
§ 5.3.3	C 轴传动系统	(205)
§ 5.3.4	进给系统	(207)
§ 5.3.5	刀架系统	(208)
§ 5.3.6	动力刀具驱动	(210)
§ 5.4	车削中心附件	(211)
§ 5.4.1	动力卡盘	(211)
§ 5.4.2	摇摆式尾架	(213)
§ 5.4.3	刀具测头	(216)
§ 5.4.4	工件测头	(218)
§ 5.4.5	刀具状态监控仪	(219)
第六章	机器人技术	(221)
§ 6.1	绪论	(221)
§ 6.2	工业机器人基本结构形式	(223)
§ 6.2.1	典型机器人结构形式	(223)
§ 6.2.2	机器人腕部结构形式	(225)
§ 6.2.3	终端手爪结构形式	(226)
§ 6.3	工业机器人的主要性能指标	(227)
§ 6.3.1	自由度数	(228)
§ 6.3.2	工作空间	(228)
§ 6.3.3	精度	(228)
§ 6.3.4	工作速度	(228)
§ 6.3.5	承载能力	(228)
§ 6.4	工业机器人位姿描述基础	(229)
§ 6.4.1	齐次变换矩阵	(229)
§ 6.4.2	几种典型的齐次变换	(230)
§ 6.4.3	终端效应器的姿势	(231)
§ 6.5	机器人的运动和力分析	(232)

§ 6.5.1	运动分析	(232)
§ 6.5.2	力分析	(234)
§ 6.6	机器人的控制	(236)
§ 6.6.1	轨迹规划	(237)
§ 6.6.2	轨迹控制	(238)
§ 6.6.3	作用力控制	(238)
§ 6.6.4	自适应控制	(239)
§ 6.6.5	双机器人手臂协调控制	(239)
§ 6.6.6	一个工业机器人控制系统结构	(240)
§ 6.7	机器人语言	(242)
§ 6.7.1	机器人语言的发展及分类	(242)
§ 6.7.2	机器人语言的结构	(243)
§ 6.7.3	一种机器人语言举例	(244)
§ 6.8	机器人的工业应用	(247)
第七章	计算机集成制造系统	(252)
§ 7.1	概述	(252)
§ 7.1.1	CIM 的概念	(252)
§ 7.1.2	计算机集成制造系统(CIMS)	(253)
§ 7.2	CIMS 的构成	(254)
§ 7.2.1	四个功能分系统	(255)
§ 7.2.2	二个支撑分系统	(255)
§ 7.3	制造系统中的计算机递阶控制与数据库	(256)
§ 7.3.1	计算机递阶控制	(256)
§ 7.3.2	制造数据库	(258)
§ 7.4	产品与制造过程设计	(259)
§ 7.4.1	产品设计	(259)
§ 7.4.2	CAD 系统	(260)
§ 7.4.3	成组技术	(260)
§ 7.4.4	工艺过程设计	(263)
§ 7.5	生产计划与生产控制	(264)
§ 7.5.1	主生产进度计划	(264)
§ 7.5.2	物料需求计划	(265)
§ 7.5.3	制造资源计划	(266)
§ 7.5.4	负荷平衡	(266)
§ 7.5.5	可选制造设备的调度	(266)
§ 7.6	柔性制造系统	(268)
§ 7.6.1	机械加工模块	(268)
§ 7.6.2	物料流和贮存模块	(268)
§ 7.6.3	装配模块	(270)
§ 7.6.4	质量控制模块	(271)

§ 7.7	质量控制	(272)
§ 7.7.1	质量控制的系统概念	(272)
§ 7.7.2	质量控制计划	(273)
§ 7.7.3	质量控制功能	(273)
§ 7.7.4	质量控制方法及测试程序	(274)
§ 7.8	CIMS 应用实例	(274)
§ 7.8.1	日本山崎铁工所的 CIMS	(274)
§ 7.8.2	日本法纳克(FANUC)公司的 CIMS	(275)
§ 7.8.3	德国西门子公司奥斯堡工厂的 CIMS	(275)
§ 7.8.4	德国发动机和涡轮机联合公司(MTU)的 CIMS	(276)
§ 7.8.5	日本冲(OKI)电气工业公司的 CIMS	(277)
§ 7.8.6	日本横河 HP 公司(YHP)八王子工厂的 CIMS	(277)
§ 7.8.7	中国 CIMS 实验工程	(278)
第八章	纵剪生产线与可编程序控制器	(281)
§ 8.1	概述	(281)
§ 8.1.1	纵剪的用途及性能	(281)
§ 8.1.2	纵剪机电一体化系统的组成及工艺过程	(282)
§ 8.2	PC 及其对纵剪生产过程的控制	(288)
§ 8.2.1	PC 的结构及工作原理	(288)
§ 8.2.2	PC 的程序及程序控制	(297)
§ 8.2.3	PC 对纵剪生产过程的控制	(308)
§ 8.3	剪切速度及重卷速度的调节	(314)
§ 8.3.1	双闭环数字直流调速系统	(314)
§ 8.3.2	直流电动机的磁场调节与卷曲的张力控制	(317)
§ 8.3.3	生产线速度、剪切速度、重卷速度的整步	(320)
§ 8.4	开卷装置及其剪切张力的控制	(321)
§ 8.4.1	开卷装置的机械结构	(321)
§ 8.4.2	开卷张力的作用及其形成	(322)
§ 8.4.3	开卷张力恒值控制系统	(323)
§ 8.5	带材的边部导向控制	(325)
§ 8.5.1	带材边部导向的作用与工作原理	(325)
§ 8.5.2	边部导向的自动调节系统	(326)

第一章 绪论

机电一体化技术是一项将精密机械技术、电子技术和信息处理技术等综合应用的系统性技术。机电一体化不是机械与电子技术的简单叠加,而是有机的融合,将电子技术应用于机械系统中,使得系统具有如下优点:①功能增强;②性能提高;③产品的结构更加简化;④可靠性大大提高;⑤节约能源和材料;⑥使系统的操作性能大大改善,工人劳动强度大大降低。

机电一体化系统的发展,根据电子技术在机械系统中应用和结合的程序,一般来说,可分为三个阶段:初级阶段:机电一体化系统采用微电子技术产品代替和完善机械产品中部分装置,从而提高产品性能,提高社会经济效益;中级阶段:机电一体化系统综合利用先进的机电一体化技术使系统实现自动化、数字化、智能化,在性能和功能方面达到质的飞跃;高级阶段:机电一体化系统具有丰富的灵活性与适应性,高度依赖于信息,硬件与软件共存,传感器,中央处理器及执行机构集成为一自治单元而不可分割,从而更逼近于生命机体的特性。

机电一体化将先进的机械技术与电子技术相融合形成了一种新型的机械电子边缘学科,并代表了正在形成中的新一代生产技术,目前已显示出并越来越显示出它强大的生命力及其美好的未来,从社会经济到生产生活,从简单的消费品到复杂的生产管理系统,机电一体化技术几乎“无微不至,无孔不入”,形成了工厂自动化(FA)、办公自动化(OA)和社会服务自动化(SA)的重要基本条件。促进产业结构、产品结构、生产方式和管理体系发生深刻变化。促进了新兴产业的发展,进而必将引起经济和社会结构的巨大变革。纵观历史的发展,没有一种技术能象机电一体化技术这样影响广泛而深刻,机电一体化技术的发展,具有重要的历史作用和战略地位。

§ 1.1 机电一体化技术及其重要地位和作用

我国机械工业已形成门类较齐全,具有一定规模和水平的机械制造工业体系,在满足国民经济和人民生活需要方面起了重要作用,但与工业发达国家相比,因为技术和装备落后,造成机电产品质量差,生产效率低,产品成本高,在国际市场上缺乏竞争能力,在国内市场上挡不住进口的冲击,因此改造传统的机械工业已成当务之急。

机电一体化技术在国内外已显示出强大的生命力。它顺应了当今科学技术发展的规律,使机电产品具有机械与电子技术结合的整体优势,给传统工业带来革命性变革和惊人效益。机电一体化技术对机械产品的主要影响是:

(1)性能提高,功能增强 如精密机床利用机械校正机构只能校正机床的系统误差,而数控机床可实现机床误差的预报和自动校正,达到前所未有的高精度。

(2)产品结构简化 如采用单片微处理机在电传打字机中可取代 936 个机械零部件,在缝纫机中可取代 350 个机械零部件,其结构大为简化,且易于维修。

(3)可靠性提高 采用自诊断等新技术,使产品可靠性大幅度提高。一般说,机电产品采用微机控制后,可靠性可提高 5~10 倍。

(4)节约能源和材料 用微电子技术改造锅炉节能效果十分显著,汽车采用电子控制燃油喷射可节油 10%~20%。

(5)操作性能改善 机电一体化产品具有不同程度的自动控制功能,有的还具有自适应性和智

能化特征,使操作方法大大简化,操作人员不需特殊培训即可操作。

根据我国国情,电机一体化在我国具有特殊的重要作用,主要体现在下列几个方面:

(1)发展机电一体化是振兴我国机电工业的必由之路 机械电子工业的科技水平和规模是衡量国家科技水平和经济实力的重要标志。目前我国的机电工业产品缺门较多,配套不全,特别是国民经济各部门的成套装备中的高技术产品仍然主要依靠国外进口。从1986~1988年,我国机电产品的进出口逆差平均达到150~200亿美元,相当于1987年全国机电工业的总产值,这种状况长期继续下去,不但我国的机电工业发展不起来,国力也是承受不了的。因而发展机电一体化,不但是当今世界机电工业技术和产品的主要发展趋向,也是振兴我国机电工业的必由之路。

(2)采用机电一体化技术,使产品结构和功能发生质的变化 我国机电工业制造技术落后,长期以来主要靠手工操作或单机单工序的生产方式,生产效率低,产品质量也难以保证。从产品本身来看,主要差距在电子元器件、检测和控制装置水平方面。采用机电一体化技术能对传统的机电工业技术装备和生产手段进行改造,生产方式逐步向“柔性”转化,向综合自动化发展,使产品的结构和功能发生质的变化,使我国的制造技术和产品登上一个新的台阶。

(3)充分发挥机械技术和电子技术的综合优势,促使产品升级换代。我国机电工业长期处于仿制国外淘汰产品的局面,因而无法与国外产品竞争。只有充分发挥机械技术和电子技术的综合优势,促使传统产品升级换代,才能提高我国机电产品的竞争能力,达到挡住进口扩大出口的目的。

§ 1.2 机电一体化的发展概况

§ 1.2.1 国外发展概况

国外机电一体化技术应用十分广泛,其典型产品有数控机床、自动化工业窑炉、电子化汽车和拖拉机,电子化高效节能电机,机器人。电子化高低压电器,电子化印刷机械,电子化工程运输机械,办公自动化机械等,并已大量进入人们生活领域,如各种带电脑的家用电器(电冰箱、自动洗衣机、录像机、照相机等)。在军工方面,由于光、机、电等的综合应用,出现很多先进的机电一体化产品,如战略导弹实时测控装置,微机舰炮指挥仪等。机电一体化产品种类繁多,现着重简介如下: (1)数控机床 自1952年美国推出第一台数控机床后,其数控系统随着计算机、微电子技术、自控技术的不断发展,由第一代演变到1974年采用微处理器的第五代数控系统。进入80年代后,为适应FMC、FMS及无人化工厂的发展需要,数控系统进而采用大规模集成电路,大容量磁泡存贮器,增强单机标准化,加工柔性等,发展为第八代系统(1986)年。机床结构也作了大量改进,提高了柔性、功能和效率。机电一体化技术的应用,使数控机床继续向前发展:

①采用交流伺服代替直流伺服的发展 现代交流电机伺服系统的恒功率范围已可做到1:4调速范围可达1:10000,基本与直流伺服相当。体积小,价格低,将逐渐得到推广。

②机床结构向模块化、少齿轮化方向发展 为增加柔性、降低成本,发挥机电一体化的优势,国外正致力于结构的标准化、模块化工作,还向少齿轮或无齿轮化的方向努力,用调速电机代替齿轮箱的研究正在进展中。

③高功能的数控系统向大网络 and 高度自动化管理方向发展 为适应FMS、CIMS,无人化工厂的要求,发展与机器人,自动化小车,自动诊断跟踪监视系统等相联合的复合化系统。还有经济型数控向功能少、成本低,编程简化、操作简单方向发展等。

世界各国中,日本数控化发展最快,工作机械数控化率1981年为3.6%,而1987年增加到11.3%。产量数控化率达30%,产值数控化率达70%。

(2)机器人 机器人是近代科技发展的重大成果,是典型的机电一体化产品之一。随着机电一

体化技术的深入发展,20年来,机器人已由第一代示教再现型发展到第二代感觉型和第三代的智能型,现在国外已有18万台各类机器人投入使用。日、美、瑞典是三个生产机器人的主要国家,日本机器人的拥有量约占世界总数的67%左右。世界机器人需求量每5年将翻一番,产值则每年以27.5%的速度迅速增长。

近年来交流伺服系统在机器人中的应用已逐渐增多,由于交流伺服具有价格低、维护较简单等优点,预计今后会有较大发展。由于电力电子学的发展,美国等国开始对采用直流驱动马达(DD)的机器人进行了研究,这种机器人没有减速机,因此动作速度高、柔性大、噪音小、成本低,成为近几年来机器人技术发展中的一个重要内容。机电一体化的发展使机器人向更广泛的领域发展,例如拟人型的遥控机器人,全数字化的软件交流伺服系统机器人,甚至可进入人体的作为医护用的机器虫等都在进行研制中。

国外生产的机器人种类繁多,自由度大多在2~6个左右,速度约1~1.5m/s;气动的可达2m/s,定位精度一般在 $\pm 0.02 \sim \pm 3\text{mm}$,MTBF一般在1500~5000小时,ASEA的产品达40000小时,安川电机的弧焊机器人在20000小时以上。

(3)汽车电子化 国外汽车,拖拉机上广泛应用了电子设备,成为一种批量极大的机电一体化产品。汽车与电子技术的结合,实现了许多传统汽车无法比拟的功能,例如点火控制装置、制动防滑控制系统,汽油分配控制装置,车内空调、通讯、音像、门窗控制等,都大量应用了电子设备。高级轿车上装有22个微处理器、300多块集成块,每辆车上的电子装置的费用已由1970年的25美元增至1980年的248美元,1990年达872美元,2000年将达2000美元。汽车用电子装置销售额,美国1985年已达45亿美元,1990年增至120亿美元。汽车电子装置费用到1990年占汽车成本的15%以上。拖拉机应用机电一体化技术也日益扩大,如发电机的电子调速式喷油泵可对发动机转速进行控制,负荷限制调节器可对发动机功率进行保护和控制。利用电子装置还可控制行驶速度、方向、转速等。利用传感器和采集系统,将拖拉机的各种工况(例如发动机转速、车速、油耗、效率、里程、成本、距下一保养期时间等)信息加以处理和显示。这些技术和装置的采用,对汽车和拖拉机的行车舒适性、安全性大大增加,降低了对环境的污染,节约了燃料,使驾驶更加简易可靠。

(4)国外电力电子技术的发展 电力电子器件的生产及利用,在日、美和西欧发展最快,其中日本在技术和产量等方面居领先地位。据国外资料统计,仅电力半导体器件一项,每年产值约为30~50亿美元,电力半导体装置年产值约为150~200亿美元。

当前国外电力电子发展的特点可归纳为:发展速度快,应用范围宽;生产第二代,开发第三代电力电子产品;电力电子产品向大功率化、高频高速化、模块化和智能化方向发展。电力电子技术的最新发展,已经在相当宽的功率-频率覆盖范围内实现最优频率变换的突破。这将对现代生产、生活带来深远的影响。业已问世的智能化功率集成电路的兴起和推广,将在90年代到下个世纪20年代引起第二次电子学革命。

(5)CIMS是在CAD/CAM、FMS的基础上发展的工厂综合自动化系统,它的出现,使企业内部生产组织、设备结构、管理方法等都发生了巨大的变革;促使企业的物流,信息流更科学的利用,产生最大的效益,它也是机电一体化技术最综合最大集成的产物。美国一些公司,如通用汽车公司、西屋公司,麦-道飞机制造公司等都耗费巨资采用了CIMS。应用的结果是:生产率提高40%~70%;工程费用减少15%~30%,新产品研制周期缩短30%~60%,设备有效利用率提高2~3倍。

一般CIMS大都采用三级计算机综合控制;第一级为基础控制,第二级为监视控制,第三级为生产管理。系统具有一定的信息反馈功能。CIMS中常包含CAD/CAM、FMS等子系统。现在国际上流行的CAD/CAM工作站是基于微型机或超级微型机的计算机辅助设计系统,大型产品则往往

采用中、大型 CAD/CAM 系统。

FMS 适用于多品种:中、小批量生产,系统常由多台数控机床、机器人、自动化小车、自动化仓库或多个 FMC 组成。采用 FMS 后,据国外某厂的统计,可使设备负荷率增加为原来的 3.5 倍,生产周期为原来的 1/4,生产面积减少 76%,工人可减少 77%左右,其经济效益是明显的,但第一次投资巨大,约为原来的 4 倍。

(6)电子化家用电器 家用电器种类繁多,其中采用机电一体化技术且效果显著的有电冰箱、录像机、洗衣机等产品。这些产品进入千家万户,有极大的市场。电冰箱则向多功能型发展,冷藏品的保鲜性能也在不断提高。洗衣机则将实现洗涤剂量自动选择和水量、水温的控制,搅拌方式的微机控制等。

仅从以上几项产品可以看出,机电一体化的应用成果是显著的,它已遍及工业生产和人类生活的各个方面。国外在发展中还重视了需用基础元件的发展,例如各类传感器、专用芯片、功率半导体器件、电力电子器件,可编程控制器、伺服电机及系统等。

§ 1.2.2 国内发展概况

我国近几年来十分重视机电一体化技术的推广应用,在利用机电一体化技术改造旧设备和开发新产品方面做了很多工作,取得了很好的社会经济效益。

①数控机床 我国从 1958 年开始研制数控机床,取得一定成绩,但基本上无商品化数控产品,自 1980 年开始引进消化国外数控系统,累计生产数控机床 200 多个品种,年产量 3000 多台。采用经济型数控装置改造旧机床取得较明显的经济效益,截止 1990 年全国已改造 2.4 万台,如果改造完 70 万台旧机床,预计可获经济效益 60 亿元。中高档数控机床的开发生产,近几年来也有较快的发展,FANUC 数控系列及 MNC 数控系列都已形成一定规模的批量生产,此外加工中心、数控切割机、数控锻压机床、数控线切割机床等都有商品化产品生产,主要问题是未能形成批量生产,我国机床年产量数控化率约为 1.4%。

②数显装置 采用数显技术有较好的技术经济效益,至 1987 年全国改造旧机床 1 万台,建立了 28 个数显服务中心,生产数显产品的企业 50 多家。至 1990 年计划改造旧机床 15 万台,数显化率达到 12%。重大型机床的数显技术改造效果十分显著,东方汽轮机厂投资 80 万元,改造大型机床 104 台,204 个坐标,取得显著经济效益。机电一体化产品中,数显机床,数显转台、数显量仪等已可批量生产,感应同步器精密伺服转台测量精度达到 ± 1 角秒。

③工业机器人 我国工业机器人技术近几年来发展很快,全国从事机器人及相关技术的有 2300 多人,高级研究人员 300 多人,1970 年至今已研制生产 150 多台机器人。示教再现机器人技术已成熟并推广应用,北京机械工业自动化所研制生产的 PJ 型喷漆机器人已在汽车制造厂推广应用。已开发出水下焊接、锻压、搬运、装配等各种用途的机器人,正在研制智能机器人。

④汽车电子化与工业窑炉控制设备 我国汽车电子化的水平相当落后,据统计 1988 年每辆汽车电子产品费用仅 300 元人民币,平均占整体成本的 1.5%,而且能改善汽车性能的电子产品极少。全国共有窑炉 11.3 万台、工业锅炉 25 万台,分别耗能 1.6 亿吨标准煤,平均热效率仅为 60%。1987 年全国改造炉窑 3000 台,一般节能 1000 万吨/年。

⑤电力电子技术 电力电子半导体器件的应用和微机在电气传动控制中的应用,在节能、提高自动化水平等方面有明显的效益。据调查,我国有风机、泵类共 1500 万套,年耗电量占工业用电 40%,实现调速后可省电 30%~40%,城市无轨电车 4000 辆、工矿电机车 5 万辆,调速后可节电 30 亿度。变频节能灯 18W 发光亮度即相当于 100W 的白炽灯,全国普遍推广可节约很多电能。要应用电力电子技术,关键在大力发展新一代电力电子器件与装置,以实现大功率控制。

⑥CIMS 技术的开发应用 我国的 CIMS 高技术还处于理论研究和技術准备阶段,但 CIMS 是机械工业重大技术发展方向,有较快发展。据调查我国重点企业中已开始推广应用 CAD、CAM 和 CIMS 技术,并已取得技术经济效益。

§ 1.3 机电一体化系统的组成与作用

正如人体按其作用原理可分为大脑、五官、内脏、肌键、四肢及身躯(人体内脏产生足够的能量以维持生命的活动,大脑通过对五官感知的信号进行处理以控制肌、筋、键从而通过四肢完成大脑所发出的指令,身躯对人体各个功能部分起支承作用)一样,不论是简单的机电一体化系统,还是复杂的机电一体化系统,从系统工程的角度出发,一般可分为机械载体、能量单元、信息传感、伺服驱动、执行机构、信息处理与控制六大部分。

§ 1.3.1 机械载体

机械载体包括机壳和框架等机械结构,对传感器、计算机、伺服系统、执行机构起支承与定位作用。为充分发挥机电一体化系统的特长,机械载体必须改善性能,减轻重量,提高刚性,提高精度并实现组件化,标准化和系列化。机械载体的重量减轻后,才能实现驱动系统的小型化,在控制方面才能改善相应特性、减少能量消耗、提高效率。

机械载体的动态特性包括固有频率,主振型和动刚度。刚性是机械载体的重要特性之一,前两者为机械载体的固有特性,由机械载体的动态参数,即质量、刚度、阻尼系数所决定;而动刚度(以单自由度系统受简谐力激振为例)如(1-1)式所示:

$$\frac{P}{A} = K \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (1-1)$$

式中: P —激振力幅值

A —振幅

K —系统静刚度

ω —激振角频率

ω_n —系统固有角频率 $\omega_n = \frac{K}{m}$ (m —质量)

ξ —系统阻尼比

可见提高机械载体的刚性,有利于提高机械载体的动态响应特性。提高机械载体刚性的途径主要有:合理地设计结构的截面形状和尺寸,合理地布置筋板和筋条,注意结构的整体刚度,局部刚度和接触刚度的匹配。另外刚性与所选的材料也有很大关系,这是显而易见的。

机械载体实现组件化、标准化、系列化、有利于提高零部件的互换使用和维修水平。

§ 1.3.2 能量单元

能量单元给机电一体化系统提供必需的能量和各种规格的能源,能量单元除具有以上所述功能外,还必须有较强的干扰抑制能力。系统的能量来自于电源及输电网,由于它们都存在内阻,而内阻的存在则引起电源的噪声干扰,控制系统中最重要,并且危害最严重的干扰来源于电源的污染。如果把电源电压变化持续时间定为 Δt ,那么根据 Δt 的大小可以把电源干扰分为:

1. 过压,欠压,停电: $\Delta t > 1s$
2. 浪涌,下陷,降出: $1s > \Delta t > 10ms$
3. 尖峰电压: Δt 为微秒量级;
4. 射频干扰: Δt 为毫微秒量级;
5. 其它:半周内的停电或欠电压。

为提高能量单元的性能,必须对电源干扰进行有效的抑制。电源干扰抑制措施有:

1. 采用交流稳压器,用来保证供电的稳定性,防止电源系统的过压和欠压。
2. 采用隔离变压器。隔离变压器的初级和次级之间均用屏蔽层隔离,减少其分布电容,以提高抗共模干扰能力。
3. 采用低通滤波器。电源系统的干扰源大部分是高次谐波,低通滤波器可滤掉这方面的干扰。
4. 采用分散独立功能块供电和采用高抗干扰稳压电源干扰抑制器。

§ 1.3.3 信息传感

信息传感是机电一体化系统与对象或外界的界面。控制系统借以产生各种各样的控制模式以适应各种需要,仿佛是人的眼、鼻、耳、舌等感觉器官将看到的、嗅到的、听到的、感觉到的东西传给大脑,再由大脑做出相应的反应一样。

在机电一体化系统中,采用的传感器根据被测信息的不同有位移传感器(包括直线位移与角位移),位置传感器,速度加速度传感器及仿生感觉传感器;根据输出信号的不同有数字式、模拟量式等。传感器将在§ 2.3节中详述,

传感器向高级发展,主要是实现功能元件化和智能化。所谓功能元件化,就是用一片集成电路功能元件,实现传感器和信息处理的一体化。进而建立可以互换的传感器功能模块系列,建成传感器群的分级结构。智能化,就是发展具有自诊断、自修正功能的传感器。

§ 1.3.4 伺服驱动与执行机构

伺服驱动在机电一体化系统中是一个重要的组成部分,它在系统的控制下实时驱动执行机构完成所需要的动作。伺服驱动系统按动力源的不同可分为:液压伺服驱动,气压伺服驱动,交直流伺服电机及步进电机驱动三种。前两种驱动系统较复杂,包括泵、阀、油(汽)缸、过滤器、管路等,目前存在着功能、可靠性、标准化以及减轻重量、减小体积等问题;电机伺服驱动系统在机电一体化系统中运用很广泛,交直流伺服驱动主要用在闭环或半闭环伺服控制系统,步进电机主要用在开环伺服或半闭环伺服控制系统中。

执行部分如同人的四肢由大脑指挥去完成每次任务和工作一样,当接到信息处理部分发出的控制指令后,便去执行指令所需要的动作和功能,执行机构是运动部件,一般采用机械、电液等机构。因此它象机械载体那样需要改善性能,如提高刚性、减轻重量、实现组件化、标准化和系列化,提高系统整体可靠性等。

§ 1.3.5 信息处理与控制

信息处理与控制是机电一体化系统的中心环节,就象人的大脑指挥和控制全身运动并能记忆、思考和判断问题那样,将来自各传感器的检测信息进行记录,分析和处理,然后按照一定的节奏发出各种指令去指挥和控制整个系统的运行。控制及信息处理部分的硬件一般有输入/输出设备、磁盘、CRT显示器、计算机、可编程控制器(PLC),数控装置等,机电一体化系统要求信息处理部分提高信息处理速度,提高A/D、D/A,转换及分时处理时I/O的可靠性,增强系统的抗干扰能力,还有如何使部件小型化以及标准化;在信息处理部分加上自诊断功能;在人机接口设备上利用声音或图像识别等方式实现信息处理部分智能化等问题。

§ 1.4 机电一体化系统的分类

按用途的不同机电一体化系统可分为产业类和消费类。

§ 1.4.1 产业类机电一体化系统

(1)数显数控机床:数显机床、经济型数控机床,多功能数控机床,中小型加工中心。

(2)锻压机械:计算机数控锻压机,数控冲模回转头压力机、数控变管机、数控折板机、锻压柔性加工单元、板材柔性加工系统。

(3)铸造机械:数控压铸机、混砂机、微机控制砂处理系统,微机控制砂测控制系统及各种分析控制仪表。

(4)焊接设备:数控切割机,微机控制电阻焊机、微机控制或电子化的各种齿轮检查仪,单啮仪、圆度仪、硬度仪、粗糙度检查仪。

(5)智能化仪器仪表:各种微机控制的数字式仪表,自动测试仪,分析仪,数字存储示波器。

(6)电机电器传动装置,带微机的交直流传动装置,交直流晶闸管传动装置,带可编程控制器传动装置,各种串级调速,变频调速装置。

(7)电子化低压电器:集成化漏电保护开关,接近开关、光电开关、相位控制开关,电子脱扣器等。

(8)工业机器人:可编程序式机器人、示教再现式机器人、智能机器人、用于焊接、喷漆、冲压、热加工、搬运、装配等各种作业机器人。

(9)电站自动控制系统:以微机为基础的数字式监视控制系统。

(10)电子控制内燃机:电子控制中小型内燃机、电子控制喷射系统。

(11)微电子控制轻工机械:机电一体化的食品生产包装机械、制浆造纸机械、皮革机械、塑料加工机械及各种监测控制装置。

(12)微电子控制纺织机械:微机控制的纺织机、纺纱机、提花横机、热定型机、印花机、染色机、数控针织横机、断头自动停喂装置等各种测量控制装置。

(13)微电子控制冶金机械:各种冶金炉控制系统、轧机控制系统和冶金监测仪表,如钢水成份测定仪。

(14)起重运输机械:电子控制机车、自动导引车、电子控制塔吊、叉车、运输监控系统等。

(15)汽车、拖拉机、农业机械:微机控制发动机、电子调速器、刹车防抱装置、点火控制装置、全电子化汽车、拖拉机和它农业加工机械。

(16)印刷机械:全电子四色胶印机,电子分色机、激光照排机、电子控制切纸机、装订机等。

(17)通讯机械:广播电视通讯设备,邮电通讯设备,如信件自动分检机、传真机、微机控制电话通讯设备。

(18)办公机械:静电复印机、激光彩色复印机、电子打字机、图形文字编辑机、电子化缩微设备、按钮式电话机、汉字终端。

(19)信息控制装置:计算机外围设备,可编程序控制器装置,各种信息传递,储存和处理装置,如磁盘、光盘、条形码识别装置、图象处理装置等。

(20)军事装备:各种指挥系统,火控系统、火控装置,各种武器模拟训练装置等。

§ 1.4.2 消费类机电一体化系统

(1)电子化家用电器:电子控制电冰箱、全自动洗衣机、录像机、电子吸尘器、缝纫机、电风扇、游戏机、空调器、微波炉、电饭锅等。

(2)机电一体化医疗器械:各种X线、CT、超声等医学成像、显像设备,医用直线加速器等放射医疗设备、心电图机、脑电图机、多导生理记录监护仪,自动生化分析仪、电子摄像内窥镜等医用仪器,各种医疗康复保健器械。

(3)电子照相机:全自动多功能电子照相机,全息照相机、全自动彩色扩印设备,磁录照相机等。

第二章 机电一体化系统基本知识

§ 2.1 运动轨迹跟踪控制原理

在机电一体化系统中,不论是数控机床,还是工业机器人,或是其它实现位置控制的机械,其控制的中心任务是控制工作点的运动轨迹,即使运算控制网络能根据原始数据或理想的曲线对执行机构连续发出一系列指令去控制工作点完成所需要的轨迹运动。

作为理论上的轨迹是多种多样的,按其形状可分为直线、圆弧、椭圆、抛物线或其它高次曲线;按数学描述所在的空间可分为平面曲线、三维空间曲线或多维空间曲线。而实现这些轨迹的执行机构的运动方向是有限的。(如三维数控机床,在 x 、 y 平面内工作点一般只有 x 、 y 两个运动方向,控制系统按照一定的轨迹跟踪规律近似模拟理想的曲线(这种轨迹跟踪规律在数控系统中亦可称为插补)。不同的轨迹跟踪规律其跟踪误差大小不同。如逐点比较法的最大误差为一个脉冲当量,最小距离法的误差不超过 $1/\sqrt{2}$ 。

§ 2.1.1 逐点比较法

逐点比较法的基本思想是每给 x 或 y 坐标方向一个脉冲后,使加工点沿相应方向产生一个脉冲当量的位移,然后对新的加工点所在位置与要求加工的曲线进行比较,根据其偏离情况决定下一步该移动的方向,以缩小偏差距离,使实际运动轨迹与理想运动轨迹的误差为最小。

下面分别讨论直线与圆弧的逐点比较的轨迹跟踪控制方法。

一、直线插补

对一条直线 OZ ,直线的起点定为坐标的原点 O ,终点 Z 的坐标值为 x_z, y_z 。开始加工点在直线起点 O 。见图 2.1

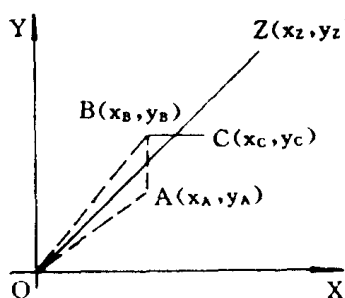


图 2.1 直线插补加工原理图

直线 OZ 的斜率为 $k = \frac{y_z}{x_z}$,且其函数为:

$$y = \frac{y_z}{x_z} x \quad (2-1)$$

$$\text{或 } x_z y - y_z x = 0 \quad (2-2)$$

在加工直线 OZ 的过程中,加工点可能在直线的下方,也可能在直线的上方,而下一步插补的方向应该是有助于减小与直线 OZ 的偏差,即当加工点在直线下方时,下一步应走 $+y$ 方向,若在直线上方时,下一步应沿 $+x$ 方向走,这样才能减小加工误差。那么,究竟加工点在直线 OZ 的上方还是下方,下一步究竟在什么方向走要

由方向判别函数来确定。

1. 加工点位置的判别

从初等数学知道,由坐标原点发出的每一条射线都可以用其终点坐标值之比值来表示其斜率,斜率表示了直线的倾斜度,而且对每一条直线其值是唯一的。

$A(x_A, y_A)$ 点与坐标原点 O 形成的直线 OA 的斜率为 y_A/x_A ,而直线 OB 的斜率为 y_B/x_B ,我们知道它们以直线 OZ 的斜率 y_z/x_z 为界,在直线 OZ 上方者斜率大于 y_z/x_z ,在 OZ 直线下方者斜率均小于 y_z/x_z ,因此我们就可以用斜率的差值来检查有关直线是在直线 OZ 的上方还是下方。

设 (x_i, y_i) 为任意加工点的坐标,则判别函数设为 $f(x_i, y_i)$

$$f(x_i, y_i) = \frac{y_i}{x_i} - \frac{y_z}{x_z} \quad (2-3)$$

若 $f(x_i, y_i)$ 的值大于0,说明直线在OZ的上方,若值小于0说明在直线的下方。变换式(2-3)得

$$f(x_i, y_i) = \frac{y_i}{x_i} - \frac{y_z}{x_z} = \frac{x_z y_i - y_z x_i}{x_i x_z} \quad (2-4)$$

我们只需要偏差的正负,并不需要差值的大小。在同一象限的直线 x_i 与 x_z 的符号是一致的,所以 $x_i x_z$ 总是正值,于是差值的符号就决定于分式的分子了,我们定义

$$F_i = x_z y_i - y_z x_i \quad (2-5)$$

为判别函数,这样,只要将每一个加工点的坐标值代入判别函数的公式即可计算出判别函数的正负,从而确定该加工点的位置,进而决定新的走向。

2. 走向的确定

在每一个加工点都可能四种走向,即 $+x, +y, -x, -y$ 。但是在具体加工时因为直线都有一定的方向:如OZ方向,因此实际只可能有两个插补方向,如在图2.1中的A点,只有 $+x, +y$ 两个方向是适应OZ方向的,但是若沿 $+x$ 方向移动则是远离OA直线,因此这时只有 $+y$ 方向是合适的,同理,在B点则只有沿 $+x$ 方向移动是合适的。而 $+x, +y$ 的方向正好和直线终点坐标值 x_z, y_z 的符号是一致的。所以当加工点在直线的下方,即 $F_i < 0$ 时,应照 y_z 的方向移动,而加工点在直线上方即 $F_i > 0$ 时,加工点应沿 x_z 方向移动,当加工点正巧在直线上即 $F_i = 0$ 时,我们人为决定它与加工点在直线上方一样处理,即 $F_i \geq 0$ 。均沿 x_z 方向即 $+x$ 方向移动。

3. 判别函数计算的简化

根据判别函数的定义

$$F_i = x_z y_i - y_z x_i$$

在计算每一点判别函数值时要进行坐标值的乘法,这是不方便的。根据上面的分析,在加工A点时计算出的判别函数值 F_i 为负,应沿 $+y$ 方向移动而至B点,B点的判别函数值。

$$F_{i+1} = x_z y_B - y_z x_B \quad (2-6)$$

$$\because y_B = y_A + 1 \quad x_B = x_A$$

$$\therefore F_{i+1} = x_z (y_A + 1) - y_z x_A = x_z y_B + x_z - y_z x_A$$

$$\therefore F_{i+1} = F_i + x_z \quad (2-7)$$

同理,加工点由B点移至C点时判别函数值的计算应为

$$F_{i+2} = x_z y_C - y_z x_C \quad (2-8)$$

$$\because x_C = x_B + 1$$

$$y_C = y_B$$

$$\therefore F_{i+2} = x_z y_B - y_z (x_B + 1) = x_z y_B - y_z x_B - y_z$$

$$\therefore F_{i+2} = F_{i+1} - y_z \quad (2-9)$$

由此,可以推出计算判别函数的递推公式,即 $F_i < 0$ 时沿 $+y$ 方向走一步,走一步后新点的判别函数值

$$F_{i+1} = F_i + x_z$$

当 $F_i \geq 0$ 时,将沿 $+x$ 方向走一步,走一步后新点的判别函数值

$$F_{i+1} = F_i - y_z$$

4. 终点判别