



机电一体化设计

陈鼎南 编

清华大学出版社

013028303

内 容 简 介

本书介绍机电一体化所必需的一些技术,即机械设计技术、传感器技术、计算机工业控制技术、软件技术等。重点对机电一体化典型应用的机器作较为详细的讲解,让读者能通过这些具体的讲解,有较好的收获,能举一反三地去设计机电一体化产品。

本书可供从事机电一体化工作的现场工程技术人员参考,可作为高等院校电气系、电子系、机械系本科生的教学参考书,也可作为专科学校或高等职业学校学生学习机电一体化的自学教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化设计/陈鼎南编.--北京:清华大学出版社,2013

ISBN 978-7-302-31514-8

I. ①机… II. ①陈… III. ①机电一体化 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 028899 号

陈 鼎 南 编

责任编辑:庄红权 洪 英

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:保定市中华美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:14.5

字 数:352千字

版 次:2013年7月第1版

印 次:2013年7月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00元

清华大学出版社

产品编号:044833-01

机电一体化设计——建立什么是机电一体化的概念；机电一体化设计基础知识——机电一体化设计的机械和计算机控制方面的基本知识；传感器技术——对常用传感器的应用进行介绍；执行装置技术——如何选择和设计执行装置；计算机控制技术——本书的核心

机电一体化设计——建立什么是机电一体化的概念；机电一体化设计基础知识——机电一体化设计的机械和计算机控制方面的基本知识；传感器技术——对常用传感器的应用进行介绍；执行装置技术——如何选择和设计执行装置；计算机控制技术——本书的核心

前 言

FOREWORD

前 言

机电一体化设计

机电一体化设计和传统机械设计及自动控制有很大的不同。特别是在计算机控制技术出现以后,对传统机械的设计有了一个飞跃。

采用计算机控制技术能将机械的自动化、智能化水平大大提高,能将机械结构大大简化。例如,单片机已经渗透到日常家电产品及高科技的产品中,PLC用于机器控制能简化机械结构和控制电路,编程也非常简单。

传统的机械工程和自动控制工程从专业学习到工程设计基本上是两个专业、两个人的工作。但是,随着计算机控制技术的发展,应用已经变得越来越容易,使得传统的机械工程和自动控制工程从专业学习到工程设计可以一体化了。

关于机电一体化的定义和概念,许多书籍都是根据国外书籍的定义和概念引用的。而国外书籍关于机电一体化的定义和概念,基本上强调的是机器人和数控机床的概念。虽然机器人和数控机床是机电一体化中具有一定代表性的产品,但是,这绝非是机电一体化的全部内容,而仅仅是部分内容。机械的门类很多:化工机械、轻工机械、重工机械、纺织机械等,而上述每一类机械又可细分为许多种类,如轻工机械可分为包装机械、食品机械、医疗机械、制鞋机械等。机电一体化强调的是机械产品的自动化和智能化问题。这样,涉及各行各业的机械产品的自动化和智能化的问题也绝非是机器人和数控机床的问题。目前机器人和数控机床的概念还仅仅是对机械动作的控制问题。在化工机械中,除了机械动作的控制以外还有温度、压力、流量等物理量的控制问题。温度、压力、流量等物理量的控制问题一般是通过传感器和机械动作的控制配合来解决。各行业的机电一体化有各自的特点,但也有一些共性。这是学习机电一体化首先必须明确的问题。

笔者根据几十年从事机电一体化设计的体会和参考国内外的相关书籍,编写了本书,希望尽可能将机电一体化设计中实用的、有用的、常用的一些机械设计、计算机控制技术知识和设计方法介绍给大家。

本书共分6章,内容包括:机电一体化概要——建立什么是机电一体化的概念;机电一体化设计基础知识——机电一体化设计的机械和计算机控制方面的基本知识;传感器技术——对常用传感器的应用进行介绍;执行装置技术——如何选择和设计执行装置;计算机控制技术——本书的核心

2.6	电路和电路器件	56
2.6.1	一次线路	56
2.6.2	二次线路	57
2.6.3	开关、接触器	60
2.6.4	继电器、固态继电器	63
2.6.5	二极管、三极管	64
2.6.6	集成电路	67
2.7	可编程控制器	70
2.7.1	PLC 硬件	70
2.7.2	PLC 软件	72
2.7.3	PLC 应用实例	74
2.8	单片机	80
2.8.1	MCU 硬件	80
2.8.2	MCU 软件	82
2.8.3	如何采用单片机实现控制	83
2.9	单板机	85
第3章	传感器技术	86
3.1	传感器概述	86
3.2	压力传感器	87
3.2.1	压力传感器概述	87
3.2.2	压力传感器的类型	87
3.2.3	压力传感器的应用	89
3.3	位移传感器	90
3.3.1	位移传感器概述	90
3.3.2	位移传感器的类型	91
3.3.3	位移传感器的应用	92
3.4	位置传感器	94
3.4.1	位置传感器的类型	94
3.4.2	位置传感器的应用	96
3.5	温度传感器	97
3.5.1	温度传感器概述	97
3.5.2	温度传感器的类型	98
3.5.3	温度传感器的应用	103
3.6	湿度传感器	104
3.6.1	湿度传感器概述	104
3.6.2	湿度传感器的类型	104
3.6.3	湿度传感器的应用	107
3.7	气敏传感器	110

3.7.1	气敏传感器概述	110
3.7.2	气敏传感器的类型	110
3.7.3	气敏传感器的应用	111
第4章	执行装置技术	113
4.1	执行装置	113
4.1.1	机电一体化与执行装置	113
4.1.2	执行装置种类	116
4.2	伺服电机驱动装置	117
4.2.1	伺服电机的特点与种类	117
4.2.2	伺服电机的工作原理	119
4.2.3	伺服电机的性能指标	120
4.2.4	伺服电机驱动控制电路	122
4.3	步进电机驱动	124
4.3.1	步进电机的特点与种类	124
4.3.2	步进电动机的工作原理	125
4.3.3	步进电动机的性能指标	127
4.3.4	步进电机驱动控制电路	129
4.4	液压执行装置	132
4.4.1	液压执行装置的工作原理	132
4.4.2	液压伺服系统	141
4.5	气动执行装置	142
4.5.1	气动执行装置的工作原理	142
4.5.2	气动伺服阀	147
第5章	计算机控制技术	149
5.1	计算机控制系统概述	149
5.1.1	单片机控制、PLC控制、PC控制	149
5.1.2	单片机、PLC、PC控制的软件及硬件特点	152
5.2	数字控制技术	154
5.2.1	数字控制概述	154
5.2.2	数字控制结构原理	155
5.2.3	插补原理	156
5.2.4	直线插补	157
5.2.5	圆弧插补	158
第6章	机电一体化设计	161
6.1	机电一体化系统的设计方法	161
6.1.1	机电一体化的设计方法概述	161

110	6.1.2	机电一体化产品的设计思路及步骤	165
110	6.1.3	机电一体化产品的重要零部件设计要点	173
111	6.1.4	控制系统的选择与设计	177
111	6.2	机电一体化不同类型的设计实例	181
111	6.2.1	温度、湿度、真空度加位置控制的自动流水线设计	181
111	6.2.2	温度、流量、压力、配比自动控制系统的的设计	192
111	6.2.3	7~10个机械动作的自动控制系统设计	211

111	参考文献		224
-----	-------------	--	-----

117	4.2.1	类特置基行柱	4.2.1
119	4.2.2	置基行柱	4.2.2
120	4.2.3	置基行柱	4.2.3
121	4.2.4	置基行柱	4.2.4
121	4.3	置基行柱	4.3
124	4.3.1	置基行柱	4.3.1
125	4.3.2	置基行柱	4.3.2
127	4.3.3	置基行柱	4.3.3
129	4.3.4	置基行柱	4.3.4
132	4.4	置基行柱	4.4
132	4.4.1	置基行柱	4.4.1
141	4.4.2	置基行柱	4.4.2
142	4.5	置基行柱	4.5
142	4.5.1	置基行柱	4.5.1
147	4.5.2	置基行柱	4.5.2
149	第5章 计算机控制技术		
149	5.1	计算机控制技术概述	5.1
149	5.1.1	单片计算机、PLC控制、PC控制	5.1.1
152	5.1.2	单片计算机、PLC控制的软件及硬件特点	5.1.2
154	5.2	数字控制技术	5.2
154	5.2.1	数字控制概述	5.2.1
155	5.2.2	数字控制结构原理	5.2.2
156	5.2.3	数字控制	5.2.3
157	5.2.4	数字控制	5.2.4
158	5.2.5	数字控制	5.2.5
161	第6章 机电一体化设计		
161	6.1	机电一体化系统的设计方法	6.1
161	6.1.1	机电一体化系统的设计方法	6.1.1

第 1 章

机电一体化概要

1.1 什么是机电一体化

1. 机电一体化的广义性

目前,关于机电一体化的定义和概念,许多书籍都是根据国外书籍的定义和概念而引用。而国外书籍关于机电一体化的定义和概念,基本上强调的是机器人和数控机床的概念。虽然,机器人和数控机床是机电一体化中具有一定代表性的产品。但是,这绝非是机电一体化的全部内容,而仅仅是部分内容。机械的内容很多:化工机械、轻工机械、重工机械、纺织机械等,而上述每一类机械又可细分为许多机械,如轻工机械又可分为包装机械、食品机械、医疗机械、制鞋机械等。机电一体化强调的是机械产品的自动化和智能化问题。这样,涉及各行各业的机械产品的自动化和智能化的问题也绝非是机器人和数控机床的问题。而目前机器人和数控机床的概念还仅仅是对机械动作的控制问题。在化工机械中,除了机械动作的控制以外还有温度、压力、流量等物理量的控制问题。温度、压力、流量等物理量的控制问题一般是通过传感器和机械动作的控制配合来解决的。目前,与机电一体化相关的企业和人员大多数还不是和机器人或数控机床密切相关。各行业的机电一体化有各自的特点,但也有些共性,这是学习机电一体化首先必须明确的问题。

2. 机电一体化的概念

人类从使用简单工具到现在的机器,发生了巨大变化。特别是在计算机控制技术出现以后,传统机器又有了一个飞跃。

机器应该是机械和电器的合成。事实上机械和电器早就是一体的!为什么在 20 世纪 70 年代才提出机电一体化的概念?

早期,电器的内容就是电动机、开关、接触器、继电器、保护器、线路等,把这些进行逻辑组合以后去控制机械运动。一般采用 AC 220V、AC 380V 或 DC 24V 电压通过各种继电器进行控制,也称为强电控制。事实上,所谓强电控制是和弱电控制一起出现在控制系统中的。弱电控制是伴随半导体和计算机控制技术而出现的,此时的控制电压已经在几伏了,所以称为弱电控制。

继电器控制是通过控制线圈产生磁力(吸合)控制线路的通断,人们把这种看不见的电磁场称为电气,所以电气和自动化就联系在一起。人们常说的电器和电气的区别也就在这里。

在强电控制时代,人们把控制线路分为一次线路和二次线路。

- 一次线路:如电机经开关直接启动线路,电机和接触器、保护器等连接的线路等;

- 二次线路：也就是控制线路，如时间控制线路、温度控制线路、逻辑控制线路等。

随着时间的变化，机械和电器的内容、含义也发生了巨大的变化。机电一体化是 20 世纪 70 年代由美国提出的新概念。机电一体化的提出应该有两个重要含义：

- 20 世纪 70 年代以后的机电一体化和早期的机电一体化有了巨大变化，可以说是一次革命性的变化；
- 传统的机械工程和自动控制工程从专业学习到工程设计应该一体化。

下面我们以机电一体化比较典型的产品——数控车床和传统车床的比较来说明这种革命性的变化。传统车床和数控车床的外观如图 1-1 和图 1-2 所示。

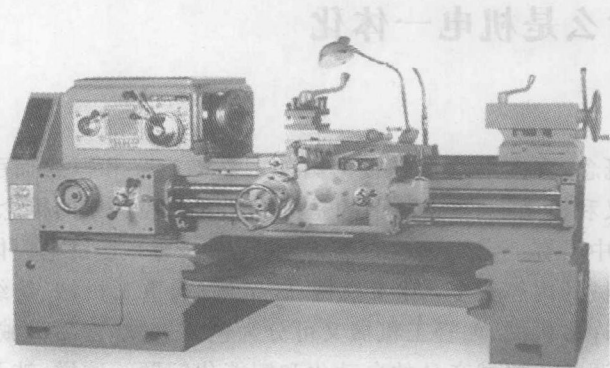


图 1-1 传统车床外观



图 1-2 数控车床外观

从外观的变化来看，数控车床和传统车床相比已经有了巨大变化。更为重要的不是外观，而是计算机控制操作取代了传统手柄操作。零件完全按照预先编制的程序进行加工，不仅生产效率高，而且加工精度也很高。同时，也减轻了工人的劳动强度。这应称为人工劳动软件化。

再来看看机械结构软件化(硬件软件化)是怎么一回事。我们仍然以传统车床和数控车床的变化为例来具体说明，如图 1-3~图 1-5 所示。

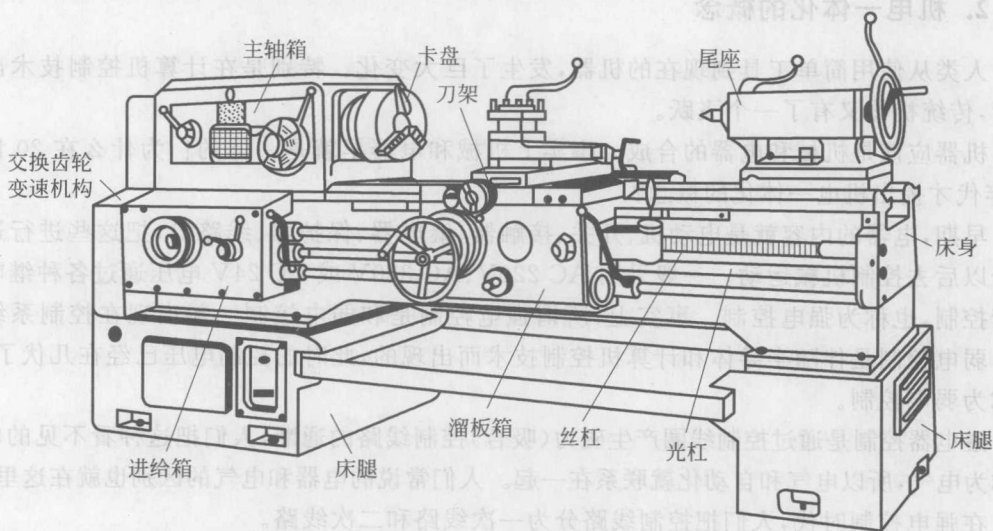


图 1-3 传统车床的外观结构图

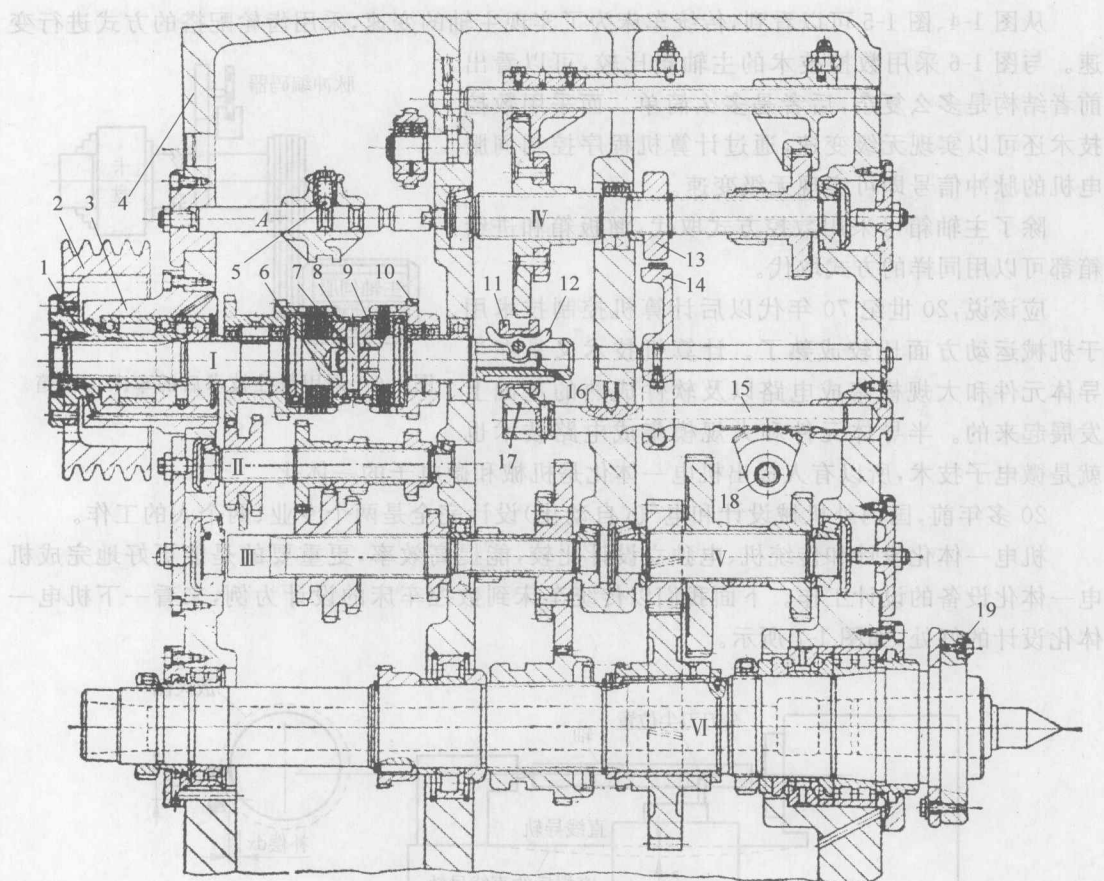


图 1-4 传统车床的主轴箱结构示意图

- 1—花键套；2—带轮；3—法兰；4—箱体；5—钢球；6—齿轮；7—销；8、9—螺母；
10—齿轮；11—滑套；12—元宝销；13—制动盘；14—制动带；15—齿条；
16—拉杆；17—拨叉；18—齿扇；19—圆键

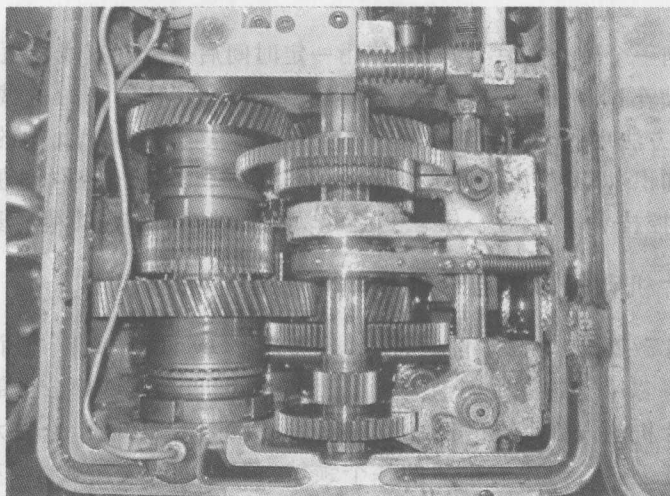


图 1-5 传统车床的主轴箱部分真实结构图

从图 1-4、图 1-5 可以看到,传统车床为了实现主轴的变速,采用齿轮配搭的方式进行变速。与图 1-6 采用数控技术的主轴箱比较,可以看出前者结构是多么复杂,后者是多么简单。而采用数控技术还可以实现无级变速,通过计算机程序控制伺服电机的脉冲信号即可实现无级变速。

除了主轴箱可采用数控方式取代,溜板箱和进给箱都可以用同样的方式取代。

应该说,20 世纪 70 年代以后计算机控制技术用于机械运动方面比较成熟了。计算机技术又是在半导体元件和大规模集成电路以及软件成熟的基础上发展起来的。半导体元件和大规模集成电路技术也就是微电子技术,所以有人提出机电一体化是机械和微电子的一体化。

20 多年前,国内外机械设计和电气(自动化)设计完全是两个专业、两个人的工作。

机电一体化设计和传统机、电独立设计比较,能提高效率,更重要的是能更好地完成机电一体化设备的设计工作。下面我们以前传统车床到数控车床的设计为例,来看一下机电一体化设计的好处,如图 1-7 所示。

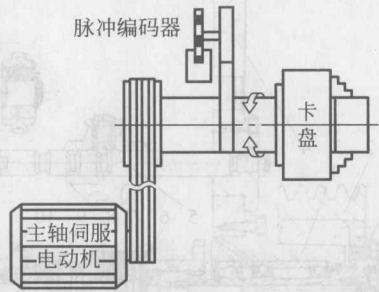


图 1-6 采用数控技术后的车床主轴箱

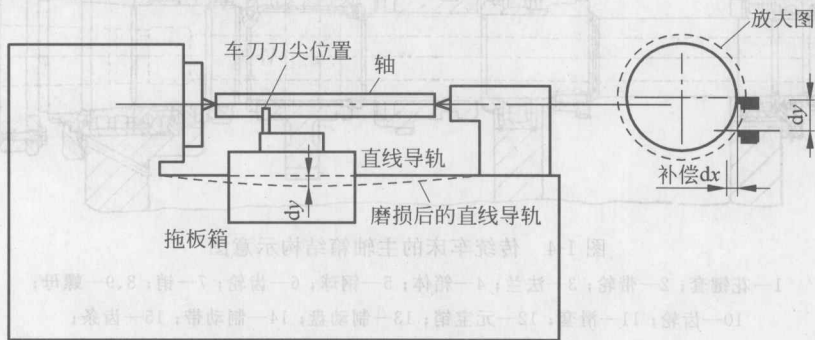


图 1-7 直线导轨磨损后的补偿问题

在车床上车削一个轴类零件,当车床使用一定时间后会出现直线导轨弯曲变形,从而产生一个 dy 误差,使车削出来的零件为两头小、中间大。采用传统的机械结构方法很难消除,如果采用数控方法用 dx 位移即可很容易进行补偿修正。如果我们的机械设计工程师具备一定的数控知识,即可提出此种方法来解决机床导轨的磨损补偿问题。从这个问题也可以看出,采用数控技术以后,在一定程度上可以降低对机械零件的精度要求。

3. 运用单片机和机械的结合能产生许多智能机械

单片机是单片微型计算机的简称。CPU、RAM、ROM、I/O 接口,在个人计算机上这些部分被分成若干块芯片,安装在一个主板上。而在单片机中,这些部分全部被做到一块集成电路芯片中。单片机的体积小、价格低(几元到几十元),控制功能十分强大。

目前单片机几乎渗透到我们生活的各个领域,很难找到哪个领域没有单片机的踪迹。导弹的导航装置,飞机上各种仪表的控制,工业自动化过程的实时控制和数据处理,汽车中

的发动机控制器,轿车的安全保障系统,录像机、摄像机、全自动洗衣机的控制,以及程控玩具、电子宠物等,这些都离不开单片机。更不用说自动控制领域的机器人、仪表、医疗器械以及各种机械了。

4. 机电一体化就是如何让机械自动化、智能化

机电一体化其实就是让机械自动化、智能化。机械本体就如同人的身体,PLC、单片机等控制部分就如同人的大脑,传感器就是人的眼睛等感官,执行机构(如车床夹头)就是人的手、脚。机电一体化设计是一门涉及众多学科的专业,必须在实践工作中,不断将理论与实践结合起来,继续学习不断提高。

目前我国机械工业还处于一个比较落后的状态,机电一体化的设计处于低级阶段。以数控机床为例,1989年,日、德、美、意、法、英6国机床产值占世界的61%,这6国也都是数控机床生产大国。其中,日、德是世界数控机床的主要生产国,近年来机床工业的产值数控化率已超过70%。西方国家的机械制造业中数控机床拥有量迅速上升。机械制造业中的技术密集行业,如航空、航天、汽车、机床工业等数控化率高达60%~90%,生产线可实行二、三班无人看管生产。相比之下,我国工业装备水平和西方的差距,在这20多年中明显拉大。我国工业普查表明,我国机床拥有总量383.5万台,其中有7.28万台数控机床(包括以单板机和步进电机为特征的经济型数控机床),机床拥有量数控化率仅1.9%,和先进国家20世纪90年代水平相比,差了一个数量级。以上量的比较,所反映的实质内容是:20世纪80年代以来,由于数控机床的推广,西方工业在装备水平、加工范围、加工质量和生产效率方面获得革命性的进展,对加工业水平的提高,起到了关键性的作用,从而空前拉大了发达国家与发展中国家的差距。我国机械工业因多年来总体效益水平不断下降,这一差距尤其明显。例如,日本Mazak公司在2000年与我国合资建立的银川“小巨人机床公司”,全部采用数控机床装备,实现二、三班无人看管生产,有9台数控车铣复合机床、数控龙门五面铣床和超精密卧式加工中心、4台精密数控折弯机和5台精密数控磨床,实现了智能网络制造。全公司只有135人,年产420台加工中心和数控车床,人均年产值160万元,是我国机床工业人均年产值的40倍。

在中国数控机床普及不高的主要原因是数控机床的售价太贵,进口一台机床至少也要几十万元,对于许多企业来说很难承担这笔开支。所以,对传统机床进行数控化改造,对于提高机床的生产效率、提高产品质量、节约生产成本等方面能起到很好的作用。

近年来,我国江浙一带也开发出一些廉价的数控机床。

另一方面,由于技术型人才培养成本太高,尤其是数控技术的培养成本高,导致许多企业数控技术型人才欠缺,这些都是中国数控技术没有得到普及的原因。而数控技术也仅仅是机电一体化技术的一个分支,从机电一体化的技术人才来讲,我国的需求量是很大的,近几十年都很难解决好这一问题。特别是,从事机电一体化设计,需要将传统的机械设计和自动化控制两个专业的学习时间和工作经验的积累时间加在一起,没有十年以上时间,很难胜任。虽然,我国机电一体化设计刚起步,但它是机械行业发展的必然趋势。

1.2 机电一体化系统的组成和相关技术

1.2.1 机电一体化技术所含内容

机电一体化技术是将机械技术、电工电子技术、计算机控制技术、传感器技术、接口技术、微电子技术、信息技术等多种技术进行有机的结合,应用到实际中去的综合技术。以上每一门技术涉及的内容又有很多。

机电一体化设计技术的主要内容,可以理解为机械设计和自动控制设计的结合技术,由以下两方面组成:

- 机械方面:机械制图(AutoCAD二/三维作图)、机械设计、机械原理、公差与配合、液压与气压传动、机械制造工艺等;
- 自动化控制方面:电工学、电子学、自动控制原理、PLC、单片机、汇编语言、高级语言、计算机原理和接口、数据处理、计算机网络控制等,当然还有传感器。

目前,许多机电一体化设计项目对自动控制的要求,基本上需要的知识是:电工学、PLC硬件、PLC软件(梯形图语言)、各种传感器。单片机、汇编语言有被淘汰的趋势。计算机原理和接口、数据处理、计算机网络控制等在实际机电一体化设计工作中应用相对较少。

1.2.2 机电一体化如何有机结合各种技术

机电一体化技术是如何将机械技术、电工电子技术、计算机控制技术、传感器技术、接口技术、微电子技术、信息技术等多种技术进行有机的结合,应用到实际中去的呢?

我们以传感器的使用为例,来看看传感器技术在机电一体化中的作用。

在图1-7所示的直线导轨磨损后的补偿问题中,给出了解决补偿问题的一个总体技术方案。在这个方案中就有一个怎样检测轴类零件直线度的问题,这就必须要采用直线位移传感器,如图1-8所示。

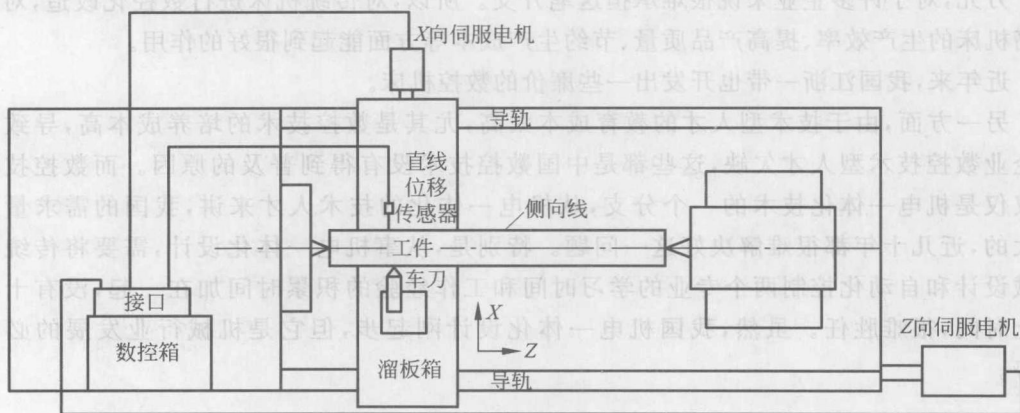


图 1-8 直线位移传感器在数控车床中的使用

直线位移传感器的种类较多,下面介绍其中两种类型。

(1) LT 直线位移传感器

比较老式的 LT 直线位移传感器如图 1-9 所示。

直线位移传感器的功能在于把直线机械位移量转换成电信号。

LT 直线位移传感器将可变电阻滑轨定置在传感器的固定部位,通过滑片在滑轨上的位移来测量不同的阻值。传感器滑轨连接稳态直流电压,允许流过微安培的电流,滑片和始端之间的电压与滑片移动的长度成正比。将传感器用作分压器可最大限度降低对滑轨总阻值精确性的要求,因为由温度变化引起的阻值变化不会影响到测量结果。

LT 直线位移传感器的特点如下:

- 行程: 50~900mm;
- 位移速度达到: 5m/s 或 10m/s, 可选;
- 使用不太方便, 价格较低。

(2) 非接触式激光位移传感器

非接触式激光位移传感器如图 1-10 所示,其特点如下:

- 不接触被测工件表面, 无磨损;
- 可测范围广, 如厚度、直线度、阶差高度、同轴度、平坦度、尺寸测量等;
- 使用方便, 价格较高。

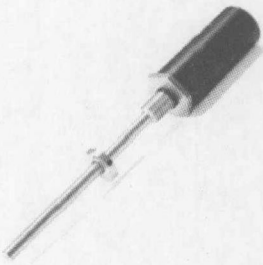


图 1-9 LT 直线位移传感器



图 1-10 非接触式激光位移传感器

1.2.3 从自动控制系统的角度看机电一体化的组成

从自动控制系统的角度来看机电一体化的组成,如图 1-11 所示。

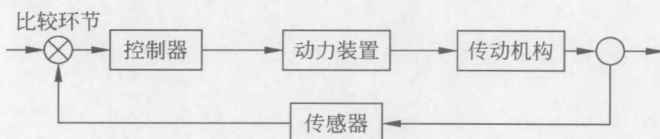


图 1-11 机电一体化系统组成一个自动控制链

事实上,图 1-11 就是一个传统的自动控制系统。但是,控制链上的每个环节的内容和传统环节相比已经发生了革命性的变化。原来处理这样一个系统需要两个专业、两个人来完成,现在基本上可由一个专业、一个人来完成。

严格地讲,机械设计和自动控制设计仍然是两个专业、两个人的工作。而目前提出的机电一体化设计的概念为:从事机电一体化设计的人,应精通机械设计,兼通自动控制设计,特别是计算机控制技术。关于这一概念,通过以后章节的学习可进一步了解。



图 1-10 非接触式位移传感器



图 1-9 直线位移传感器

1.2.3 从自动控制系统的组成看机电一体化系统的组成

从自动控制系统的组成看机电一体化的组成,如图 1-11 所示。



图 1-11 机电一体化系统的组成