



西安交通大学

研究生创新教育系列教材

# 现代控制工程

主编 王军平 董霞



西安交通大学出版社  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学

研究生

系列教材

研究生创新教育系列教材

研究生创新教育系列教材

# 现代控制工程

主编 王军平 董霞

王军平 董霞 主编

西安交通大学出版社

ISBN 7-312-02000-0

定价 35.00元

西安交通大学出版社

西安交通大学出版社

西安交通大学出版社

西安交通大学出版社

西安交通大学出版社

西安交通大学出版社

西安交通大学出版社

西安交通大学出版社

· 西 安 ·

## 内容简介

本书主要介绍现代控制理论中的线性系统基本理论、最优控制以及离散系统控制理论及其在机械工程中的应用。内容包括:控制系统的状态空间描述、状态空间分析(即状态方程的解)、李亚普诺夫稳定性分析、可控性与可测性分析;以及系统的状态反馈与观测器设计;系统的最优控制;离散系统的状态空间描述及分析。

本书注重现代控制基本理论的物理内涵,着重勾勒现代控制中线性系统理论的整体构架,强调控制理论和机械工程应用背景的结合,以及学习者利用 MATLAB 等软件进行控制系统的分析设计的能力。

本书适合机械类包括机电一体化工程、机械制造及自动化和机械电子工程等专业研究生和高年级本科生用作教材,也可供有关专业技术人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

现代控制工程/王军平,董霞主编. --西安:西安交通大学出版社,2010.9  
ISBN 978-7-5605-3651-4

I. ①现… II. ①王…②董… III. ①自动控制理论-研究生-教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 144698 号

---

书 名 现代控制工程  
主 编 王军平 董霞  
责任编辑 雷萧屹

---

出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)  
网 址 <http://www.xjtupress.com>  
电 话 (029)82668357 82667874(发行部)  
(029)82668315 82669096(总编办)  
传 真 (029)82668280  
印 刷 陕西元盛印务有限公司

---

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 14.25 字数 262 千字  
版次印次 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5605-3651-4/TP·533  
定 价 25.00 元

---

读者购书、书店添货,如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。  
订购热线:(029)82665248 (029)82665249  
投稿热线:(029)82664954  
读者信箱:jdly@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

# 前 言

1948年美国数学家维纳发表了著名的《控制论》，从而基本上形成了经典控制理论，使控制工程有了扎实的理论支撑。现代科学技术的迅速发展，以及对自动控制的程度、精度、速度、范围等要求越来越高，特别是上世纪60年代以来，电子计算机技术的迅猛发展，奠定了自动控制理论和技术的物质基础，现代控制理论逐步形成了重要的现代科学分支。

经典控制理论以传递函数为基础，主要研究单输入单输出线性定常系统的分析和控制问题。经典控制理论是与生产过程的局部自动化相适应的，它具有明显的依靠手工进行分析和综合的特点，这个特点是与上世纪40~50年代生产发展的状况，以及电子计算机技术的发展水平尚处于初期阶段密切相关的。而现代控制理论主要用来解决多输入多输出系统的问题，系统可以是线性或非线性的、定常或时变的。现代控制理论的研究方法本质上是一种时域方法，即所谓状态空间法，它的分析和综合目标是要揭示系统的内在规律，实现系统在一定意义下的最佳化。现代控制理论是60年代人类探索空间的需要，也是电子计算机飞速发展和普及的产物。纵观控制理论及工程应用的发展过程，有几个非常突出的特点：重大需求驱动，坚实理论指引，众多学科支撑，快速技术辐射。

现代化生产与科技的发展，机电装备及过程的功能需求日趋复杂，精度、速度等要求日趋极限，载有的物理过程更趋极端，系统内的各种物理过程的非线性、时变特征更为突出，过程之间的耦合关系更为复杂，更好的性能控制为解决这些问题提供了可能。另一方面，学习控制理论及工程的相关知识，利用其多学科交叉、内涵丰富、外延宽广的特点，有利于培养宽口径、多面手、综合复合型人才；掌握其突出的方法论性质的科学方法，有利于培养具有创新能力的人才；掌握其突出系统与集成的思想方法，有利于培养“将才”与“帅才”。因此，机械工程领域的高层次人才掌握现代控制乃至智能控制的基本理论及其最新进展，无论对于解决重大科技需求，还是培养“将才”与“帅才”所要求的综合理论与技术素质，都具有重大意义。

本书主要介绍现代控制理论中的线性系统基本理论、最优控制以及离散系统控制理论。在讲述基本理论的同时，本书注重勾勒现代控制主要是线性系统理论的整体构架，注重控制理论和机械工程背景的结合，注重基本理论的物理内涵，以

及利用软件工具等进行控制理论的分析设计,突出实践性、实用性。

本书是在西安交通大学研究生院“研究生创新教育系列教材”项目的资助下,由西安交通大学机械学院《现代控制工程》课程组的三位老师在总结近年来教学工作经验的基础上编写而成。具体编写情况为第 1、2、3 章由王军平编写,第 4、5、6、8 章由董霞编写,第 7 章由李天石编写。研究生李宁、张森、冷冰、胡改玲、孟晨兴、丁雷、程有龙、岳军等做了大量的文字编辑工作。全书由王军平和董霞主编,“长江学者”、西安交通大学梅雪松教授主审,他提出了许多宝贵意见,在此谨致衷心感谢。

在编写过程中参考了国内外出版的许多文献资料,在此谨向有关单位和作者深表谢意。限于编者水平有限和时间仓促,书中难免有深浅不当和疏忽错误之处,祈望广大读者和同行赐教指正。

编 者

2010 年 8 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)
1.1 控制理论及工程的发展 .....	(1)
1.2 现代复杂机电控制系统分析 .....	(4)
1.3 经典控制理论与现代控制理论的特点 .....	(8)
1.4 现代控制理论的基本内容 .....	(9)
<b>第 2 章 控制系统的状态空间描述</b> .....	(11)
2.1 基本概念.....	(11)
2.2 系统状态空间描述.....	(12)
2.3 由系统微分方程列写状态空间描述.....	(16)
2.4 由传递函数列写状态空间描述.....	(20)
2.5 非线性状态方程的线性化.....	(29)
2.6 系统的传递函数矩阵.....	(32)
2.7 状态方程的线性变换.....	(35)
2.8 机电液系统状态空间表达式的建立.....	(40)
2.9 基于 Matlab 的系统模型转换 .....	(45)
习 题 .....	(48)
<b>第 3 章 控制系统的状态空间分析——状态方程的解</b> .....	(51)
3.1 线性定常齐次状态方程的解.....	(51)
3.2 矩阵指数函数.....	(53)
3.2.1 矩阵指数函数的性质.....	(53)
3.2.2 矩阵指数函数应用.....	(59)
3.3 状态转移矩阵.....	(60)
3.4 非齐次状态方程的解——控制系统的受控运动.....	(64)
3.5 线性时变系统的运动分析.....	(66)
3.6 基于 MATLAB 的系统运动分析.....	(69)
习 题 .....	(71)

<b>第 4 章 控制系统的李亚普诺夫稳定性分析</b> .....	(73)
4.1 李亚普诺夫意义下的稳定性 .....	(73)
4.2 判别系统稳定的李亚普诺夫方法 .....	(75)
4.2.1 Lyapunov 第一法 .....	(75)
4.2.2 Lyapunov 第二法 .....	(77)
4.3 线性系统的 Lyapunov 稳定性分析 .....	(84)
4.3.1 线性定常系统的稳定性分析 .....	(84)
4.3.2 线性时变系统的稳定性分析 .....	(87)
习 题 .....	(88)
<b>第 5 章 控制系统的可控性与可测性——系统分析(定性分析)</b> .....	(89)
5.1 可控性与可测性的概念 .....	(89)
5.1.1 问题的提出 .....	(89)
5.1.2 可控性与可观测性的概念 .....	(91)
5.2 可控性的判别准则 .....	(91)
5.2.1 线性定常连续系统的可控性及其判据 .....	(91)
5.2.2 线性时变系统的可控性判据 .....	(95)
5.3 可观测性及其判据 .....	(97)
5.3.1 线性定常连续系统的可观测性及其判据 .....	(97)
5.3.2 线性时变系统的可观测性及其判据 .....	(103)
5.4 可控标准型与可测标准型 .....	(104)
5.4.1 可控标准型 .....	(104)
5.4.2 可测标准型 .....	(106)
5.4.3 对偶系统与对偶原理 .....	(107)
5.5 可控性、可测性与系统传递函数的关系 .....	(109)
5.6 基于 Matlab 的系统可控性与可观测性分析 .....	(113)
习 题 .....	(116)
<b>第 6 章 系统的状态反馈与观测器——系统综合问题</b> .....	(119)
6.1 状态反馈与输出反馈 .....	(119)
6.1.1 状态反馈和输出反馈 .....	(119)
6.1.2 对两种反馈形式的讨论 .....	(121)
6.2 系统极点(即特征值)配置 .....	(121)
6.2.1 系统极点配置的方法 .....	(122)
6.2.2 对于状态反馈与输出反馈的几点说明 .....	(123)

6.3	状态观测器	(126)
6.3.1	状态观测器模型	(127)
6.3.2	求状态观测器增益矩阵的方法	(129)
6.4	采用观测器的状态反馈系统	(132)
6.5	降维观测器	(137)
6.6	用 MATLAB 进行控制系统的状态空间设计	(142)
	习 题	(151)
<b>第 7 章</b>	<b>最优控制</b>	(153)
7.1	概述	(153)
7.2	最优控制的变分法	(154)
7.3	有约束最优控制的极小值原理	(159)
7.4	动态规划	(161)
7.5	线性二次型最优控制	(164)
7.5.1	有限时间状态调节器问题	(165)
7.5.2	无限时间输出调节器问题	(166)
7.5.3	线性定常调节器问题	(167)
7.6	应用 MATLAB 解线性二次型最优控制问题	(168)
	习 题	(174)
<b>第 8 章</b>	<b>离散系统的状态空间描述和分析</b>	(175)
8.1	离散系统分析基础	(175)
8.1.1	脉冲采样与采样定理	(177)
8.1.2	保持器	(179)
8.1.3	$z$ 变换与 $z$ 反变换	(182)
8.1.4	离散系统的差分方程	(188)
8.1.5	线性定常离散系统的 $z$ 传递函数	(192)
8.2	离散系统的状态空间表达式的建立	(197)
8.2.1	系统连续部分状态空间表达式的离散化	(198)
8.2.2	由差分方程求状态空间表达式	(200)
8.2.3	由 $z$ 传递函数求状态空间表达式	(203)
8.3	离散系统的传递矩阵	(206)
8.4	离散系统的运动分析	(207)
8.5	离散系统的李亚普诺夫稳定性分析	(209)
8.6	离散系统的可控性与可观性	(210)



8.7 基于 MATLAB 的离散系统分析 .....	(212)
8.7.1 用 MATLAB 实现线性定常连续系统的离散化 .....	(212)
8.7.2 用 MATLAB 求解线性定常离散系统的状态方程 .....	(214)
8.7.3 用 MATLAB 判断线性定常离散系统的可控性与可测性 .....	(216)
习 题 .....	(217)
<b>参考文献</b> .....	(219)

# 第 1 章 绪论

现代科学技术的迅速发展,对自动控制的程度、精度、速度、范围及其适应能力的要求越来越高,从而推动了自动控制理论和技术的迅速发展。特别是上世纪 60 年代以来,电子计算机技术的迅猛发展,奠定了自动控制理论和技术的物质基础,现代控制理论逐步形成了重要的现代科学分支。

## 1.1 控制理论及工程的发展

早在一千多年以前,我国就先后发明了铜壶滴漏计时器(图 1-1)、指南车以及天文仪器等多种自动控制装置,这些发明促进了当时社会经济的发展。自动控制的真正应用开始于工业革命时期。即 1788 年瓦特发明蒸汽机飞球调速器(图 1-2)。这种采用机械式调节原理实现的蒸汽机速度自动控制是自动化应用的第一个里程碑。

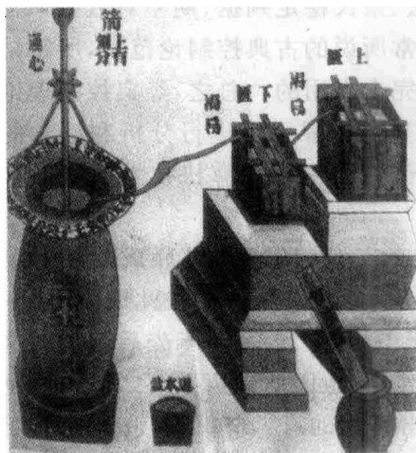


图 1-1 铜壶滴漏计时器

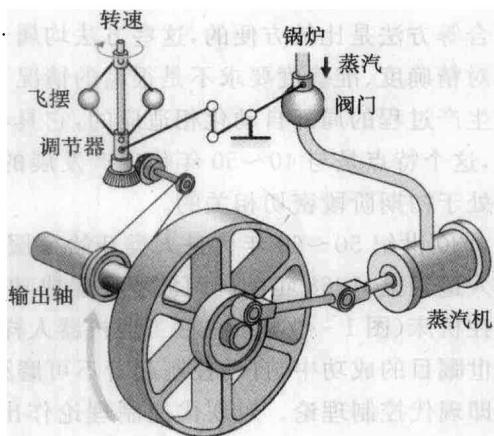


图 1-2 蒸汽机飞球调速器

二次世界大战前,控制系统的设计因缺乏系统的理论指导而多采用试凑法。二次大战期间,由于建造飞机自动驾驶仪、雷达跟踪系统、火炮瞄准系统等军事装

备的需要,推动了控制理论的飞跃发展。1948年美国数学家维纳发表了著名的《控制论》,从而基本上形成了经典控制理论,使控制工程有了扎实的理论支撑。除了维纳之外,在经典控制理论的形成和发展过程中作出重大贡献的还有:1868年,麦克斯威尔发表了《调速器》一文,首先提出了“反馈控制”的概念;1884年,劳斯和1895年,古尔维茨先后独立地提出了判别系统稳定性的代数判据;1932年,奈奎斯特提出了著名的奈奎斯特稳定性判据;此后伯德总结出了负反馈放大器;1948年,伊万斯提出了根轨迹法。二次世界大战后,控制理论扩展到民用,在化工、炼油、冶金等工业部门得到了进一步的应用,控制理论也日渐成熟。1954年,主要从事力学和火箭技术研究的我国著名科学家钱学森发表了《工程控制论》这一名著,系统地揭示了控制论对自动化、航空、航天、电子通讯等科学技术的意义与深远影响。《控制论》与《工程控制论》的问世吸引了大批的数学家与工程技术专家从事控制论的研究,推动了该学科的发展。而电子式控制器的应用是自动化应用的第二个里程碑。

经典控制理论以传递函数为基础,主要研究单输入—单输出系统的分析和控制问题,所涉及的系统大多是线性定常系统,非线性系统中的相平面法也只含两个变量。常接触到的系统,如机床和轧钢机中常用的调速系统、发电机的自动电压调节系统以及冶炼炉的温度自动控制系统等等,这些系统均被当作单输入—单输出的线性定常系统来处理。如果把某个干扰考虑在内,也只是将它们进行线性叠加而已。解决上述问题时,采用频率法、根轨迹法、奈氏稳定判据、期望对数频率特性综合等方法是比较方便的,这些方法均属于通常所说的古典控制论范畴,所得结果在对精确度、准确度要求不是很高的情况下是完全可用的。总之,经典控制理论是与生产过程的局部自动化相适应的,它具有明显的依靠手工进行分析和综合的特点,这个特点是与40~50年代生产发展的状况,以及电子计算机技术的发展水平尚处于初期阶段密切相关的。

20世纪50~60年代是人类开始征服太空的年代,1957年苏联成功发射第一颗人造卫星,1968年美国阿波罗飞船成功登上月球(图1-3)。在此期间,第一台数控机床(图1-4)与第一台工业机器人样机于1952年和1954年先后问世。这些举世瞩目的成功中,自动控制起着不可磨灭的作用,也因此催生了第二代的控制理论即现代控制理论。对现代控制理论作出突出贡献的有:1892年,俄国的李亚普诺夫提出了判定系统稳定性的方法被广泛应用于现代控制理论;1956年,苏联的庞德亚金提出了极大值原理;1957年,美国的贝尔曼提出了动态规划理论;1960年,美国的卡尔曼提出了卡尔曼滤波理论。



图 1-3 阿波罗登月

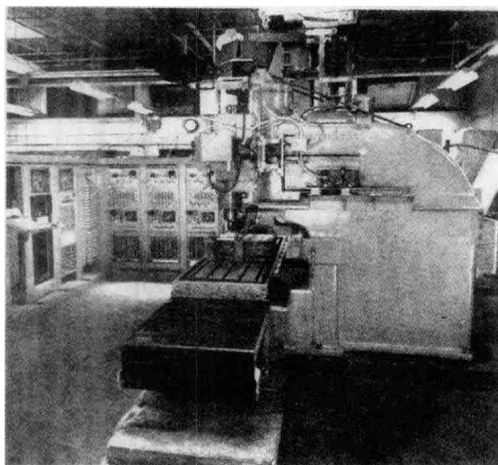


图 1-4 第一台数控机床

现代控制理论主要用来解决多输入多输出系统的问题,系统可以是线性或非线性的、定常或时变的。现代控制理论的研究方法本质上是一种时域方法,即所谓状态空间法,它的分析和综合目标是要揭示系统的内在规律,实现系统在一定意义下的最佳化;它的构成不仅限于单纯的闭环,而且可扩展为适应环、学习环等。总之,现代控制理论是 60 年代人类探索空间的需要,也是电子计算机飞速发展和普及的产物。

从 70 年代开始,随着计算机技术的不断发展,数字计算机、网络的普遍应用和系统、管理理念的引入可算是自动化应用的第三个里程碑。与此同时,自动化应用也从工业自动化向非制造业自动化发展,如农林自动化(图 1-5)、交通自动化、机器人等服务自动化设备(图 1-6)等。它与应用于制造业,在不变和已知环境下作业的自动化装备不同,应用于非制造业的各种自动化装备,将在变化的甚至是预先未知的环境下完成作业,因而与环境的交互作用更加复杂,控制更加困难,要求的智能程度更高。因此,大系统理论和智能控制理论的出现,使控制理论发展到一个新阶段。所谓大系统,是指规模庞大、结构复杂、变量众多的信息与控制系统,它涉及生产过程、交通运输、生物控制、计划管理、环境保护、空间技术等多方面的控制和信息处理问题。而智能控制系统是具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统,其中最典型的是智能机器人。自动化应用的第四个里程碑或许将是知识或智能的普遍应用。

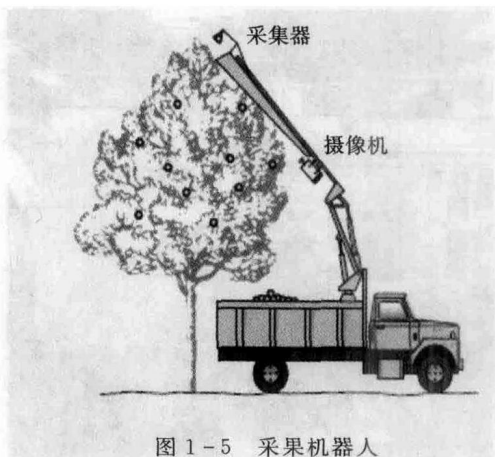


图 1-5 采果机器人

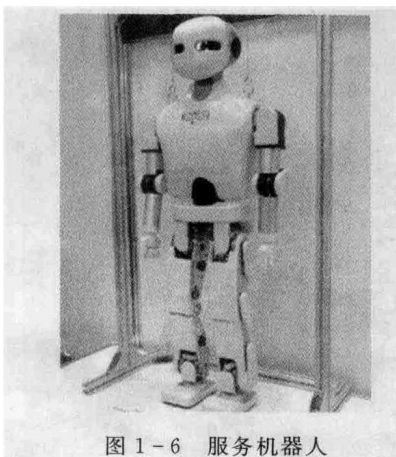


图 1-6 服务机器人

## 1.2 现代复杂机电控制系统分析

现代化生产与科技的发展,对机电装备的功能需求日趋复杂,促进了现代复杂机电系统的产生与发展。现代复杂机电系统是由机、电、液、光等多物理过程、通过多元多维运动实现多种形式的能量传递与转换,由微变量信息流对其进行调控的系统。数控中心、高速轧机、混合动力汽车、IC 制造装备、高速列车、大型盾构掘进机等都是典型的复杂机电系统。现代复杂机电系统功能日趋丰富,载有的物理过程更趋极端,系统内的各种物理过程的非线性、时变特征更为突出,过程之间的耦合关系更为复杂,这对复杂机电系统的高性能控制提出了挑战,下面对几种复杂机电系统或部件的控制特点进行分析,以期研究更适用的控制方法。

现代高速、精密、多轴联动类数控机床的研发是国家“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项的重要任务之一。伺服进给驱动系统(图 1-7)是高档数控装置的关键部件,包括了电机、传感器、丝杠、工作台及导轨等多个部件,是一典型的机电耦合系统。多轴伺服系统存在交叉耦合以及摩擦力矩和切削力等众多非线性因素。同时,高速轴承、丝杠、导轨等部位产生的摩擦热效应,造成进给机构热变形,改变了机床运行的动态参数,使得机床运动参数的变化呈时变特征。因此,建立伺服驱动系统精确的机电耦合模型是一大难题,这项基础性工作对于高性能伺服控制策略的设计与优化,对于实施动态综合补偿以提高机床精度具有重要作用。

又如,现在对加工过程有了更高的要求,反映在磨床上,只靠恒速或恒转速,即使加上砂轮自动补偿也是不够的。因为磨床在磨削过程中,砂轮质量是不断变化的。砂轮的半径越来越小,切线速度处在变化中,如果保持恒转速,磨削效率就会越来越低。为了提高效率,可以使转速提高,但在恒功率条件下,这样做的结果必

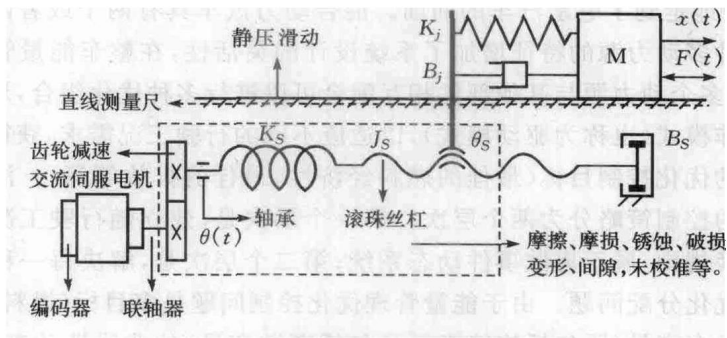


图 1-7 伺服进给系统基本结构

然导致转速减小,因此需要调速。但这种调速与通常的调速含义不同,而且由于考虑了另一个变量(砂轮),所以系统已是一个时变系统。

在机械加工过程中,有时控制变量多达几十个,而且随着工业生产对产品的质量和产量要求的提高,古典法显然对此无能为力。例如,板材热轧装备(图 1-8),该系统载有 50 多个物理过程、融合百万余参数。轧制板材厚度由压力、张力、速度、润滑等因素综合确定;厚差、板型的变化具有时变性;存在发散、自激、复合强迫振动等现象,非线性因素复杂耦合,是多种技术集成的非线性耦合的多功能复杂机电装备,需要研究智能传感与高精度控制技术。

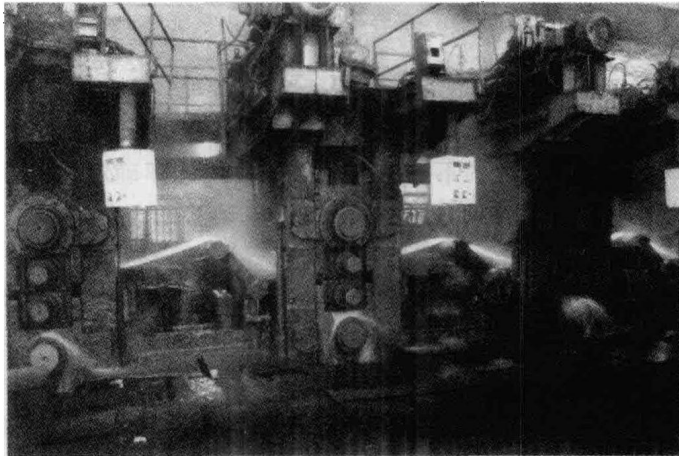


图 1-8 热轧装备

为了减少环境污染、缓解能源压力,自上世纪七十年代以来,在世界范围内掀起了研究电动汽车的热潮,近年来成为全球应对金融危机,转变发展方式的战略性新兴产业之一。作为一种切实可行的方案,混合动力电动汽车(简称 HEV,

图 1-9)慢慢地走到了电动汽车的前面。混合动力汽车具有两个或者两个以上的动力源。这种多动力源的特征增加了系统设计的灵活性,在整车能量管理系统的协调控制下,多个动力源与其他部件相互配合可以进行多种优化组合,形成不同的动力系统工作模式(也称为驱动模式),以适应不同的行驶工况需求,获得传统汽车所不能得到的优化控制目标(最佳的燃料经济性,最佳的排放等等)。混合动力汽车能量管理的控制策略分为两个层次。第一个层次是,建立随行驶工况而改变工作模式的切换规则,属于离散事件动态系统;第二个层次是,解决每一种工作模式下能量流的优化分配问题。由于能量管理优化控制问题是多目标(燃料经济性,排放,成本等等)多变量(既包括连续变量又包括离散变量)的非线性动态优化问题,同时能量需求时变性与传动系统动力及运动传递的不确定性也增加了优化与控制的难度。

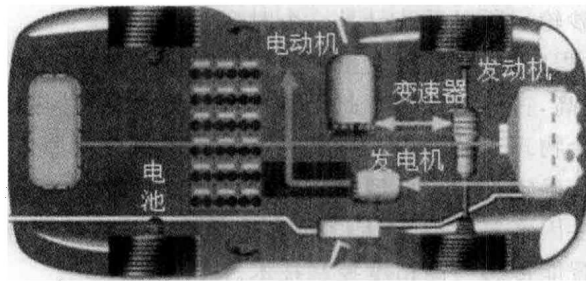


图 1-9 混合动力汽车动力系统

制动能量回收可使电动汽车续驶里程得到提高,已有研究表明控制方式对能量回收利用潜力有很大的影响。电动汽车在复杂多变的行驶过程中,具有较多的不确定性因素,包括系统参数的不确定性及行驶环境的不确定性。例如,蓄电池电压波动大、电机调速范围宽、制动过程中电机反电动势的急剧降低、不同档位时车体质量折算到电机的转动惯量发生较大的变化,以及车辆行驶过程中阻力的随机变化。尤其是再生制动过程中,机械刹车强度不同对再生制动控制系统来讲是一种很不利的干扰,会使制动过程中的电机反电动势急剧下降。面对众多的不确定性,以及电动汽车运行在大调速范围和大负载变化工况下,系统模型参数将发生较大的变化,传统的经典控制很难一直维持在最佳的运行状态。西安交大电动汽车与系统控制研究所将  $H_\infty$  鲁棒控制方法应用到电动汽车驱动及能量回收技术上,可以方便地同时考虑输入电压和负载扰动的补偿。实验结果表明应用该技术的纯电动汽车(图 1-10)在市区平坦路面上的续驶里程提高 8% 左右。



图 1-10 纯电动汽车



图 1-11 动力电池组及管理系统

电动汽车使用的都是成组的电池(图 1-11)。根据电池特性,对电池组实施有效的管理对于确保电动汽车的安全,保持电池组性能,延长电池组寿命,提高电池使用效率具有重要意义。电池荷电状态即 SOC 的准确估计是实现电池高效管理的关键因素,也是进行能量管理策略研究的基础。电池组的内部牵扯到固、液、气三相反应,电池老化及环境适应性等会导致参数变化,是一个复杂的时变非线性系统,很难建立 SOC 与电池外部特性参数(电流、电压等)之间的关系模型。将 SOC 作为电池内部状态之一,借助现代控制理论的卡尔曼滤波技术进行动态 SOC 估计是当前研究的主要及有效思路。西安交大电动汽车与系统控制研究所在电池组的智能非线性模型、基于自适应卡尔曼滤波的 SOC 估计技术及组合 SOC 估计方法等电源管理方面作了大量的研究并取得重要进展。

随着微机电系统的兴起,器件集成度越来越高,芯片尺寸、引线和焊盘直径、引线间距持续减小以及生产效率即封装速度逐年递增,对封装设备与光电子器件制造装备的工作极限提出了挑战:高运行加速度( $>6\text{ g}$ ),高运动精度(主要是定位精度 $<5\text{ }\mu\text{m}$ )。封装设备与光电子器件制造装备(图 1-12)中涉及多物理过程的控制。主要包括高精度位置伺服平台运动控制系统,高精度微力伺服控制系统,高精度温度控制系统,视觉识别控制系统,气动设备控制系统等。在这些控制中,环境的任何扰动均可能导致运动畸变和精度丧失,常规控制技术无法满足。另一方面,倒装芯片在封装芯片中的比重越来越高,代表了芯片封装技术的发展趋势。倒装芯片技术(Flip Chip Bonding)就是通过连接在芯片上引脚的导电凸点将电气元件面朝下直接和底板,电路板或基座相连实现导电连接的芯片封装技术。倒装工艺要求温度控制和焊接力控制同时进行,由于倒装芯片的工作节拍一般是几十秒每片,因此在高速情况下,在高温工作区域内的热/力混合高精度控制使倒装机的控制难上加难。



基于视觉的反馈控制即视觉伺服技术在微装配与微操作领域的应用越来越受到关注(图 1-13),视觉伺服控制大多采用基于图像的控制方式。基于图像的控制方式由图像雅可比矩阵描述图像特征变化量与运动部件位置变化量之间的关系,并由其逆矩阵构建控制量进行位置调整以获得期望图像。图像特征是多维信息,因此视觉伺服中的视觉控制器设计技术涉及多输入多输出控制问题,较长的图像处理时间造成的时滞非线性效应以及图像空间与运动空间的协调等问题。



图 1-12 芯片封装中的精密对准系

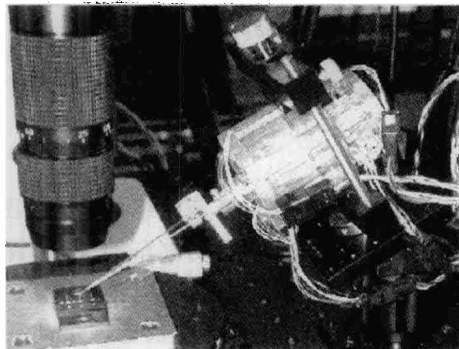


图 1-13 视觉伺服微操作技术

总之,上述几种机电系统的控制中普遍具有非线性、时变、多变量的特征,这些难点应用经典控制理论难于解决。现代控制理论主要用来解决多输入多输出系统的问题,系统可以是线性或非线性的、定常或时变的。因此,现代控制理论在这些机电系统中具有广泛的应用空间。随着社会的发展与科学技术的进步,控制理论将不断完善,现代控制理论在解决复杂机电装置及生产过程的控制、决策与优化问题中将会发挥越来越大的作用。

### 1.3 经典控制理论与现代控制理论的特点

一般来说,经典控制理论只是对单输入—单输出线性定常系统的分析与综合是有成效的。现代控制理论则适用于线性和非线性、定常和时变、单变量和多变量、连续和离散系统。现代控制理论适用领域的扩大,使其成为更有普遍性的理论。

由于经典控制理论主要限于处理单变量的线性定常问题,反映到数学上就是单变量的常系数微分方程问题,因此拉氏变换就成了它的主要数学工具,数学模型是传递函数。现代控制理论要处理多变量问题,因此矩阵和向量空间理论是它的主要数学基础。