



高等学校机械设计制造及其
自动化国家特色专业规划教材

机电控制系统 原理及其应用

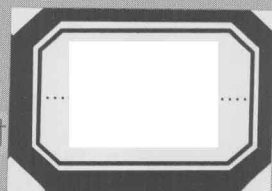
张屹 曾孟雄 编著

JIDIAN KONGZHI XITONG YUANLI JIQI YINGYONG



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

高等学校机械设计制造及其自动化国家特色专业规划教材



机电控制系统 原理及其应用

JIDIAN KONGZHI XITONG YUANLI JIQI YINGYONG

张屹 曾孟雄 编著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书介绍机电控制系统的基本原理、基本知识及其在机械工程中的应用,内容包括机电控制系统的基本概念、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析、根轨迹法、控制系统的频域分析、控制系统的校正、机电控制系统的设计方法与实例等,每章备有学习要点及习题。

本书具有理论联系实际、简明易懂、强调应用的特点,可作为普通高等学校机械工程类专业,特别是机械设计制造及其自动化专业的本科、专科教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电控制系统原理及其应用/张屹,曾孟雄 编著. —武汉:华中科技大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-5609-9402-4

I. ①机… II. ①张… ②曾… III. ①机电一体化-控制系统-高等学校-教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 233858 号

机电控制系统原理及其应用

张 屹 曾孟雄 编著

责任编辑:徐正达

封面设计:潘 群

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:18 插页:2

字 数:383 千字

版 次:2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:29.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



作者简介

张屹，甘肃兰州人，博士，副教授，三峡大学“151”人才学术带头人。2000年毕业于中国科学技术大学测控技术与仪器专业，获工学学士学位；2005年12月毕业于中国科学技术大学精密仪器及机械专业，获工学博士学位；2008年中国科学技术大学工程学院力学博士后流动站出站。主要从事机电系统现代设计方法（协同设计、快速设计、虚拟样机设计等）、机电传动与控制系统、工业自动化与监控系统等方面的研究工作，先后主持或参与完成了国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金面上项目、“863”计划项目及中国科学院创新基金项目等科研项目；已出版教材2部，在相关领域中发表研究论文70余篇，其中EI检索论文40余篇，获授权发明专利7项。

序 言

当前,我国机械专业人才培养面临社会需求旺盛的良好机遇和办学质量亟待提高的重大挑战。抓住机遇,迎接挑战,不断提高办学水平,形成鲜明的办学特色,获得社会认同,这是我们义不容辞的责任。

三峡大学机械设计制造及其自动化专业作为国家特色专业建设点,以培养高素质、强能力、应用型的高级工程技术人才为目标,经过长期建设和探索,已形成了具有水电特色、服务行业和地方经济的办学模式。在前期课程体系和教学内容改革的基础上,推进教材建设,编写出一套适合于该专业的系列特色教材,是非常及时的,也是完全必要的。

系列教材注重教学内容的科学性与工程性结合,在选材上融入了大量工程应用实例,充分体现与专业相关产业和领域的新发展和新技术,促进高等学校人才培养工作与社会需求的紧密联系。系列教材形成的主要特点,可用“三性”来表达。一是“特殊性”,这个“特殊性”与其他系列教材的不同在于其突出了水电行业特色,不仅涉及测试技术、控制工程、制造技术基础、机械创新设计等通用基础课程教材,还结合水电行业需求设置了起重机械、金属结构设计、专业英语等专业特色课程教材,为面向行业经济和地方经济培养人才奠定了基础。二是“科学性”,体现在两个方面:其一体现在课程体系层次,适应削减课内学时的教学改革要求,简化推导,精炼内容;其二体现在学科内容层次,重视学术研究向教育教学的转化,教材的应用部分多选自近十年来的科研成果。三是“工程性”,凸显工程人才培养的功能,一些课程结合专业增加了实验、实践内容,以强化学生实践动手能力的培养;还根据现代工程技术发展现状,突出了计算机和信息技术与本专业的结合。

我相信,通过该系列教材的教学实践,可使本专业的学生较为充分地掌握专业基础理论和专业知识,掌握机械工程领域的新技术并了解其发展趋势,在工程应用和计算机应用能力培养方面形成优势,有利于培养学生的综合素质和创新能力。

当然,任何事情不能一蹴而就。该系列教材也有待于在教学实践中不断锤炼和修改,良好的开端等于成功的一半。我祝愿在作者与读者的共同努力下,该系列教材在特色专业建设工程中能体现专业教学改革的进展,从而得到不断的完善和提高,对机械专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用。

谨此为序。

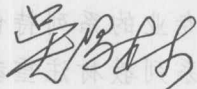
教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员、

机械基础教学指导分委员会副主任

全国工程认证专家委员会机械类专业认证分委员会副秘书长

第二届国家级教学名师奖获得者

华中科技大学机械学院教授,博士生导师



2011-7-21

前 言

(1) 社会的进步和科技的发展,对机械系统提出了愈来愈高的要求。为完成各种复杂的工作,现在的机械已不是纯粹的机械,更多的是与电气、电子装置结合在一起而形成的机电控制系统。研究机电控制系统的相关理论与应用,已经成为机械工程领域的共识。目前,国内普通高等学校机械类专业“自动控制原理”课程很多是借用自动控制或电子专业的教材,书中一般以电子系统为对象,应用的数学基础也较深奥,理论介绍偏多,实际应用偏少。这样,机械类专业的学生仅靠学习教材的内容,很难将控制理论用来解决具体问题。

(2) 针对上述问题,本书在讲述中多以机电控制系统为对象,将控制理论与机械设计等结合起来,力图使学生学会分析、解决机械工程领域的实际问题。在本书最后还特意列出一章,结合实例对机电控制系统的设计方法进行单独讲解。本书可作为普通高等学校机械工程类专业,特别是机械设计制造及其自动化专业的本科、专科教材,也可供相关工程技术人员参考。

(3) 本书的特点是,在内容编排上力求精练,方便自学,以点带面,逐步展开,并把重点放在基本概念的建立及基础理论的阐述上。全书围绕工程设计“快速性、稳定性、准确性”的基本要求开展系统分析与校正,坚持“系统”和“动态”两个观点,将分析、研究的对象抽象为系统,运用控制理论的方法,解决机械工程中的稳态和动态实际问题。为适应工科专业的需要,在讲述基本理论的过程中,适当联系工程实际,注意培养学生运用理论解决实际问题的能力。

(4) 本书介绍了机电控制系统的基本理论、基本方法及其应用。全书共7章:第1章绪论,介绍机电控制理论的基本概念和本书的结构体系与学习方法,第2章控制系统的数学模型,第3章控制系统的时域分析,第4章根轨迹法,第5章控制系统的频域分析,第6章控制系统的校正,第7章机电控制系统的设计方法与实例。各章前的学习要点,旨在对读者掌握该章重点有所指导;章末备有习题,供读者练习。附录提供了拉普拉斯变换的相关内容,供读者参考。

(5) 本书由三峡大学张屹、曾孟雄共同编著。本书的出版得到了三峡大学国家特色专业建设项目的支持,在此表示感谢。

(6) 由于水平有限,书中难免存在错误和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年10月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 机电控制系统的概念和发展概况	(1)
1.1.1 控制的基本概念	(1)
1.1.2 机电控制系统的基本概念	(1)
1.1.3 控制理论的发展概况	(2)
1.1.4 机电控制系统的发展概况	(3)
1.2 机电控制系统的基本控制方式	(5)
1.2.1 开环控制方式	(5)
1.2.2 闭环控制方式	(6)
1.2.3 复合控制方式	(7)
1.3 机电控制系统的组成	(7)
1.4 机电控制系统结构分析实例解析	(9)
1.5 机电控制系统理论的研究对象、任务和基本要求	(12)
1.5.1 机电控制系统理论的研究对象和任务	(12)
1.5.2 机电控制系统的基本要求	(14)
1.6 本书的体系结构	(15)
习题	(16)
第 2 章 控制系统的数学模型	(18)
2.1 控制系统数学模型的基本概念	(18)
2.1.1 系统的数学模型及分类	(18)
2.1.2 建立系统数学模型的一般方法	(19)
2.2 控制系统的微分方程	(20)
2.2.1 列写微分方程的一般步骤	(20)
2.2.2 典型系统的微分方程	(21)
2.2.3 非线性数学模型的线性化	(25)
2.3 控制系统的传递函数	(27)
2.3.1 传递函数的基本概念及主要特点	(28)
2.3.2 控制系统的特征方程和零点和极点	(29)
2.3.3 典型环节的传递函数	(30)
2.4 控制系统的框图及其简化	(37)

2.4.1	控制系统框图的构成要素及建立	(38)
2.4.2	控制系统框图的连接方式	(41)
2.4.3	控制系统框图的等效变换与简化	(44)
2.4.4	输入和干扰同时作用下的系统传递函数	(48)
2.5	机电控制系统传递函数推导举例	(49)
习题		(56)
第3章	控制系统的时域分析	(59)
3.1	控制系统的时域响应及其性能指标	(59)
3.1.1	时间响应及组成	(59)
3.1.2	典型输入信号	(62)
3.1.3	控制系统的时域性能指标	(65)
3.1.4	控制系统时域分析的基本方法及步骤	(67)
3.2	一阶系统的时域分析	(68)
3.2.1	一阶系统的数学模型	(68)
3.2.2	一阶系统的单位阶跃响应	(69)
3.2.3	一阶系统的单位脉冲响应	(71)
3.2.4	一阶系统的单位速度响应	(72)
3.3	二阶系统的时域分析	(72)
3.3.1	二阶系统的单位阶跃响应	(73)
3.3.2	单位阶跃响应下二阶系统的时域性能分析	(79)
3.3.3	二阶系统的单位脉冲响应	(86)
3.3.4	二阶系统的单位速度响应	(88)
3.4	高阶系统的时域分析	(89)
3.4.1	高阶系统的时间响应分析	(89)
3.4.2	高阶系统的主导极点与简化	(91)
3.5	控制系统的时域稳定性分析	(93)
3.5.1	线性系统稳定的充分必要条件	(94)
3.5.2	劳斯稳定判据	(96)
3.6	控制系统误差时域分析及计算	(101)
3.6.1	系统的误差与偏差	(101)
3.6.2	系统的稳态误差与稳态偏差	(102)
3.6.3	系统的型次与偏差系数	(103)
3.6.4	扰动作用下的稳态误差	(107)
3.6.5	提高系统稳态精度的措施	(108)
习题		(109)

第 4 章 根轨迹法	(112)
4.1 根轨迹与根轨迹方程	(112)
4.1.1 根轨迹的基本概念	(112)
4.1.2 根轨迹方程	(114)
4.2 根轨迹绘制的基本法则	(116)
4.2.1 根轨迹的数目	(116)
4.2.2 根轨迹与实轴的关系	(116)
4.2.3 根轨迹的起始点与终止点	(116)
4.2.4 实轴上根轨迹右侧开环零点和极点的数目	(118)
4.2.5 根轨迹的渐近线方位	(119)
4.2.6 根轨迹的起始角与终止角	(121)
4.2.7 分离点	(123)
4.2.8 分离角与会合角	(125)
4.2.9 虚轴交点	(126)
4.2.10 根之和	(127)
4.3 参数根轨迹及非最小相位系统	(129)
4.3.1 参数根轨迹	(129)
4.3.2 非最小相位系统的根轨迹	(131)
4.4 附加开环零点、极点对系统性能的影响	(133)
4.4.1 附加开环零点对系统性能的影响	(133)
4.4.2 附加开环极点对系统性能的影响	(136)
4.4.3 增加一对开环零点、极点对根轨迹及系统性能的影响	(137)
习题	(139)
第 5 章 控制系统的频域分析	(141)
5.1 频域特性的基本概念	(141)
5.1.1 频率特性的定义	(142)
5.1.2 频率特性和传递函数的关系	(144)
5.1.3 频率特性的图形表示方法	(145)
5.2 典型环节及一般系统的频率特性	(148)
5.2.1 开环系统的典型环节分解	(148)
5.2.2 典型环节的频率特性	(149)
5.2.3 不稳定环节的频率特性	(157)
5.2.4 一般系统奈奎斯特图的绘制	(159)
5.2.5 一般系统伯德图的绘制	(162)
5.2.6 最小相位系统和非最小相位系统	(165)

5.3 控制系统的频域稳定判据与相对稳定性	(167)
5.3.1 奈奎斯特稳定判据	(167)
5.3.2 伯德稳定判据	(171)
5.3.3 控制系统的相对稳定性	(172)
5.4 频率特性的性能指标	(175)
习题	(177)
第6章 控制系统的校正	(179)
6.1 控制系统校正的基本概念	(179)
6.1.1 校正	(179)
6.1.2 校正的方式	(180)
6.1.3 校正装置	(182)
6.2 控制系统的设计指标与一般原则	(183)
6.2.1 控制系统时频性能指标及误差准则	(183)
6.2.2 频域性能指标与时域性能指标的关系	(185)
6.2.3 控制系统校正的一般原则	(189)
6.2.4 系统设计的基本方法	(191)
6.3 串联校正	(191)
6.3.1 滞后校正	(192)
6.3.2 超前校正	(202)
6.3.3 滞后-超前校正	(209)
6.4 反馈校正	(214)
6.4.1 反馈的作用	(214)
6.4.2 反馈校正装置的设计	(219)
6.5 前馈校正	(221)
6.6 控制系统的根轨迹法校正	(222)
6.6.1 串联滞后校正	(222)
6.6.2 串联超前校正	(226)
6.6.3 串联滞后-超前校正	(231)
习题	(234)
第7章 机电控制系统的设计方法与实例	(237)
7.1 机电控制系统的方案设计	(237)
7.1.1 机电控制系统的基本设计要求	(237)
7.1.2 机电控制系统的控制方案设计	(238)
7.2 机电控制系统的元件选择	(242)
7.2.1 测量元件的选择	(242)

7.2.2	执行电动机的选择	(246)
7.2.3	放大装置的选择	(254)
7.3	机电控制系统的详细设计与设计实例	(257)
7.3.1	机电控制系统的设计理论概述	(257)
7.3.2	机电控制系统详细设计的基本流程	(259)
7.3.3	机电控制系统设计实例分析	(261)
附录	拉普拉斯变换法	(271)
参考文献		(280)

第1章 绪论

学习要点 了解机电控制系统理论的基本概念及发展概况,掌握机电控制系统的基本控制方式及在工程中的应用;熟悉机电控制系统理论的研究对象与任务,熟悉机电控制系统的基本组成及各部分的作用;掌握对机电系统进行控制的基本要求,了解本书的体系结构和学习方法。

1.1 机电控制系统的概念和发展概况

1.1.1 控制的基本概念

所谓控制,就是采用控制装置,使被控对象的受控物理量能够在一定的精度范围内按照给定的规律变化,达到控制的目的。控制理论的发展与应用,改善了劳动条件,把人类从繁重的劳动中解放出来,而且,控制系统往往能以某种最佳方式运行,可以提高劳动生产率,提高产品质量,节约能源,降低成本。控制理论的应用是实现工业、农业、国防和科学技术现代化的有力工具。

从学科发展的角度来看,控制理论是自动控制、电子技术、计算机等多种学科相互渗透的产物,是关于控制系统建模、分析和综合的一般理论。其任务是分析控制系统中变量的运动规律和如何改变这种运动规律,以满足控制需求,为设计性能优良的控制系统提供必要的理论手段。

控制理论主要研究两方面的问题:①在系统的结构和参数已确定的情况下,对系统的性能进行分析,并提出改善性能的途径;②根据系统要实现的任务,给出稳态和动态性能指标,要求组成一个系统,并确定适当的参数,使系统满足给定的性能指标。

控制理论在日渐成熟的发展过程中推广到工程技术领域,体现为工程控制论,在与机械工业相应的机械工程领域中体现为机电控制系统理论。机械制造技术发展的一个重要方向,是紧密地与信息科学交融和深刻地引入控制理论,形成机电控制系统的学科分支。

1.1.2 机电控制系统的基本概念

有史以来,机械代替人类从事了很多工作,弥补了人类体力和能力的不足,在很多方面给我们的生活带来了极大的帮助。从机械的发展史可看到,机械的发展和进步与控制是密不可分的。一方面,机械运转本身也可称为广义上的控制,只有配备一定的控制装置才可以达到某种较复杂的工作目的(尽管这种控制装置最初是纯机械

机构);另一方面,机械的广泛、深入的应用,也促进了控制科学的产生和发展。例如,作为工业革命象征的蒸汽机当时主要用来驱动各种机械,为了消除蒸汽机因负荷变化而对转速造成的影响,19 世纪末瓦特(J. Watt)发明了离心调速器。但是,尽管使用了离心调速器,在某种条件下蒸汽机的转速和调速器套筒的位置依然会周期性地发生很大变化,形成异常运转状态。蒸汽机和调速器能各自稳定地工作,为什么在组合的情况下就出现不稳定状态呢?这一问题促使人们展开了相关研究和探索。直到 19 世纪后半叶,麦克斯韦(J. C. Maxwell)提出了系统特性,劳斯(E. J. Routh)和胡尔维兹(A. Hurwitz)发现了系统稳定工作的条件(稳定判据),上述问题才得以解决。这也可以说是控制理论的起源。

生产工艺的发展对机械系统也提出了愈来愈高的要求,这使得机械已不再是纯机械结构,而更多的是与电气、电子装置结合在一起,形成了机电控制系统。例如,一些精密机床要求加工精度达百分之几毫米,甚至几微米;重型镗床为保证加工零件的尺寸精度和表面粗糙度,要求极慢地稳速进给,即要求在很宽的范围内调速;为了提高效率,由数台或数十台设备组成的生产自动线,要求统一控制和管理;等等。这些要求都是靠驱动装置及其控制系统和机械传动装置的有机结合来实现的。

由此也可得出机电控制和自动控制的关系:自动控制是以一般系统为对象,广泛地使用控制方法进行控制系统的理论设计;机电控制就是应用控制工程学的研究结果,把机械作为被控对象,研究怎样通过采用一定的控制方法来适应对象特性变化,从而达到期望的性能指标。

1.1.1.3 控制理论的发展概况

1. 经典控制理论阶段

18 世纪,瓦特为控制蒸汽机速度而设计的离心调速器,是自动控制领域的一项重大成果。麦克斯韦于 1868 年从理论上分析了离心调速器的动态特性,发表了对离心调速器进行理论分析的论文。1922 年,米罗斯基(N. Minorsky)给出了对位置控制系统的分析,并对 PID 三作用控制给出了控制规律公式。1932 年,奈奎斯特(H. Nyquist)提出了负反馈系统的频域稳定判据,这种方法只需利用频率响应的实验数据,不用导出和求解微分方程。1940 年,伯德(H. Bode)进一步研究通信系统频域方法,提出了频域响应的对数坐标图描述方法,但它只适应单变量线性定常系统。伯德对系统内部状态缺少了解,且用复数域方法研究时域特性,因此得不到精确的结果。

在 20 世纪,1940 年以前自动控制理论没有多大发展。大多数情况下,控制系统的设计的确需要一些技巧。进入 40 年代后,数学分析方法在实践中得到了发展,控制工程也随之成为具有特色的一门独立工程科学。第二次世界大战期间,为了设计和建造自动飞机驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统和基于反馈控制原理的军用装备,自动控制理论有了很大的进步,在 40 年代末逐渐形成较为完整的体系,在工程实

践中得到了广泛的应用。

2. 现代控制理论阶段

由于航天事业和电子计算机的迅速发展,20世纪60年代初,在原有“经典控制理论”的基础上,又形成了所谓“现代控制理论”,这是人类在自动控制技术认识上的一次飞跃。随着人造卫星的发展和太空时代的到来,为导弹和卫星设计质量小、控制精度高的复杂控制系统变得十分必要,时域控制技术也因此而发展起来。现代控制理论以状态空间分析法为基础,主要研究多输入/输出、时变、非线性、高精度、高效能等控制系统的设计和分析问题。状态空间方法属于时域方法,其核心是最优化技术。它以状态空间描述作为数学模型(实质上是一阶微分或差分方程组),利用计算机作为系统建模分析、设计乃至控制的手段。它不仅在航空航天、制导与军事武器控制中有成功的应用,在工业生产过程控制中也得到逐步应用。

3. 大系统控制理论阶段

从20世纪70年代开始,现代控制理论继续向深度和广度发展,出现了一些新的控制方法和理论,如现代频域方法、自适应控制理论和方法、鲁棒控制方法和预测控制方法等。另一方面,控制理论应用范围不断扩大:从个别小系统的控制,发展到若干个相互关联的子系统组成的大系统进行整体控制;从传统的工程控制领域的应用,推广到包括经济管理、生物工程、能源、运输、环境等大型系统以及社会科学领域的应用。与此同时,人们开始了对大系统理论的研究。大系统理论是过程控制与信息处理相结合的综合自动化理论基础,是动态的系统工程理论,具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标多样、因素众多等特点。大系统是一个多输入/输出、多干扰、多变量的系统,目前仍处于发展阶段。

4. 智能控制阶段

智能控制是近年来新发展起来的一种技术,是人工智能在控制上的应用。智能控制的概念和原理主要是针对被控对象、环境、控制目标或任务的复杂性提出来的,它的指导思想是依据人的思维方式和处理问题的技巧,解决那些需要人的智能才能解决的复杂的控制问题。被控对象的复杂性体现为模型的不确定、高度非线性、分布式的传感器和执行器、动态突变、多时间标度、复杂的信息模式、庞大的数据量,以及严格的特性指标等,而环境的复杂性则表现为变化的不确定性和难以辨识。智能控制是从“仿人”的概念出发的,一般认为,它包括模糊控制、神经网络控制、专家控制等方法。

1.1.4 机电控制系统的发展概况

1. 从技术角度划分阶段

从技术角度来看,机电控制系统的发展经历了三个阶段。

(1) 机械控制阶段 早期的控制系统几乎全是机械控制,它的指令通常由离合

器发出,只能给出希望点的值,而中间过渡点的信号则无法给出。一般用同步电动机驱动,轨迹靠凸轮产生。这样不仅控制性能无法保证,要改变轨迹实现不同功能也很困难。但这种控制系统简单,运行可靠,成本低廉,因而得到一定应用。常见的有离心调速系统、水箱液位控制系统等。

(2) 电子控制阶段 与机械控制相比,电子控制的指令不仅能给出最终值,而且还能给出中间信号,这样保证了被控对象可以按期望的规律趋于目标。大多数离线控制系统属于电子控制系统。

(3) 计算机控制阶段 与电子控制相比,计算机控制的指令及调节参数可以按需要改变,可以实现在线控制。

从构成机电控制系统的几个主要环节来看,三个阶段的主要特点如表 1-1 所示。

表 1-1 从技术角度划分的三个阶段及其主要特点

项 目	机械控制阶段	电子控制阶段	计算机控制阶段
指令方式	点位信号	连续信号	可变信号
轨迹产生	凸轮为主	函数发生器	计算机软件
系统量形式	机械量(位移、速度等)	模拟电量(电压、电流等)	模拟、数字量(连续或脉冲量)
驱动形式	同步电动机等	步进电动机等	机、电、液、气等

2. 从所用控制器件划分

按所用控制器件来划分,机电控制系统的发展主要经历了以下几个阶段。

(1) 断续控制阶段 最早的机电控制系统出现在 20 世纪初,它仅借助于简单的接触器与继电器等控制电器,实现对被控对象的启、停以及有级调速等控制,它的控制速度慢,控制精度也较低。

(2) 连续控制阶段 20 世纪 30 年代控制系统从断续控制发展到连续控制,连续控制系统可随时检查被控对象的工作状态,并根据输出量与给定量的偏差对被控对象自动进行调整,它的快速性及控制精度都大大超过了断续控制,并简化了控制系统,减少了电路中的触点,提高了可靠性,使生产效率大为提高。

(3) 磁放大器控制和大功率可控水银整流器控制阶段 这一阶段出现在 20 世纪 40、50 年代。

(4) 功率晶体管控制阶段 20 世纪 50 年代末,大功率固体可控整流元件——晶闸管出现,晶闸管控制很快就取代了水银整流器控制;后又出现了功率晶体管控制。晶体管、晶闸管具有效率高、控制特性好、反应快、寿命长、可靠性高、维护容易、体积小、重量轻等优点,为机电控制系统开辟了新纪元。

(5) 计算机控制阶段 随着数控技术的发展,计算机的应用特别是微型计算机的出现和应用,又使控制系统发展到一个新阶段——计算机数字控制阶段。它也是一种断续控制,但是和最初的断续控制不同,它的控制间隔(采样周期)比被控对象的

变化周期短得多,因此在客观上完全等效于连续控制。它把晶闸管技术与微电子技术、计算机技术紧密结合在一起,使晶体管与晶闸管控制产生强大的生命力。20世纪70年代初,计算机数字控制系统应用于数控机床和加工中心,这不仅加强了自动化程度,而且提高了机床的通用性和加工效率,在生产上得到了广泛应用。工业机器人的诞生,为实现机械加工全面自动化创造了物质基础。20世纪80年代以来,出现了由数控机床、工业机器人、自动搬运车等组成的,统一由中心计算机控制的机械加工自动线——柔性制造系统(FMS),它是实现自动化车间和自动化工厂的重要组成部分。机械制造自动化的高级阶段是走向设计和制造一体化,即利用计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)形成产品设计与制造过程的完整系统,对产品构思和设计直至装配、试验和质量管理这一全过程实现自动化,以实现制造过程的高效率、高柔性、高质量,实现计算机集成制造系统(CIMS)。

1.2 机电控制系统的基本控制方式

1.2.1 开环控制方式

开环控制方式是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程,按这种方式组成的系统称为开环控制系统,其特点是系统的输出量不会对系统的控制作用发生影响。开环控制系统可以按给定量控制方式组成,也可以按扰动控制方式组成。

按给定量控制的开环控制系统,其控制作用直接由系统的输入量产生,给定一个输入量,就有一个输出量与之对应,控制精度完全取决于所用的元件及校准的精度。因此,这种开环控制方式没有自动修正偏差的能力,抗扰动性较差,但由于其结构简单、调整方便、成本低,在精度要求不高或扰动影响较小的情况下有一定的实用价值。目前,国民经济各部门的一些自动化装置,如自动售货机、自动洗衣机、产品生产自动线、数控车床以及指挥交通的红绿灯等,一般都是开环控制系统。图1-1为开环控制的电加热炉示例,给定电源电压使加热炉电阻丝获得相应的发热量。

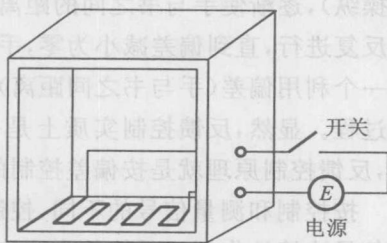


图1-1 开环控制的电加热炉

按扰动控制的开环控制系统,利用可测量的扰动量,产生一种补偿作用,以减小或抵消扰动对输出量的影响,这种控制方式也称为顺馈控制或前馈控制。例如,在一般的直流速度控制系统中,转速常常随负载的增加而下降,且其转速的下降与电枢电流的变化有一定的关系。如果设法将负载引起的电流变化测量出来,并按其大小产生一个附加的控制作用,用以补偿由它引起的转速下降,就可以构成按扰动控制的开