

教育部规划教材

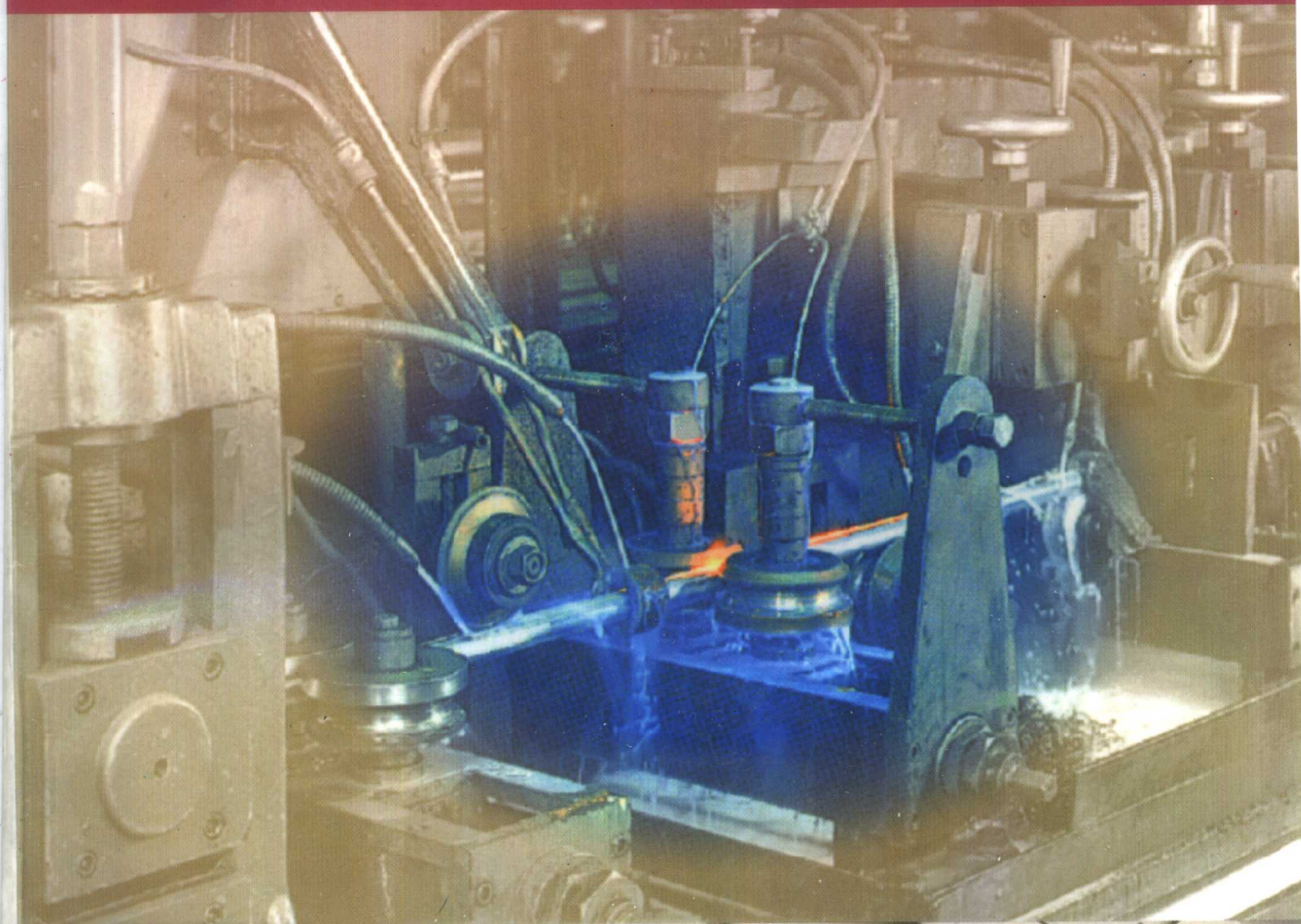
中等职业学校机械专业

(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

机电控制系统

全国中等职业学校机械专业教材编写组 编

张 涛 主编



高等教育出版社



教育部规划教材
中等职业学校机械专业
(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

机 电 控 制 系 统

全国中等职业学校机械专业教材编写组 编
张 涛 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是教育部职业技术教育司组织编写的全国中等职业学校机械专业教育部规划教材。

本书内容包括：机电控制系统的基本概念、组成及分类；机电控制系统的信号检测及传感器的选择方法；机电控制系统数学模型的建立及控制系统的分析方法；自动控制的基本规律及调节器；单回路控制系统的设计及调节器参数的整定方法；微机工业控制系统的组成；数字调节器的实现；典型机电控制系统实例等。

本书参照劳动部颁发的中级技术工人技术等级考核标准及职业技能鉴定规范，并结合中等专业学校、职业学校的特点编写，可以作为中等专业学校、中等职业学校机械专业、机电一体化专业教材，也可作为机械行业技术人员岗位培训教材及自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

机电控制系统/张涛主编；余洵等编. —北京：高等教育出版社，1998

ISBN 7-04-006563-0

I. 机… II. ①张… ②余… III. 机电系统：自动控制
系统 IV. TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 09562 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码：100009 传真：64014048 电话：64054588

新华书店总店北京发行所发行

北京朝阳北苑印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 380 000

1998 年 7 月第 1 版 1998 年 7 月第 1 次印刷

印数 0 001—8 077

定价 17.90 元

凡购买高等教育出版社图书者，如发现缺页、倒页、脱页等
质量问题，请与当地图书销售部门联系调换

版权所有，不得翻印

前 言

随着科学技术的发展,集机械、电子、控制及计算机等多项技术于一身的机电一体化设备和产品已得到广泛应用,其优越的性能产生了巨大的经济效益和社会效益。机电一体化的实体是机械装置和电子器件(尤指计算机技术),而控制系统将二者融为一体,承担着信息传输与处理的任务。本书从机电控制系统中信息的检测和控制的角度,介绍了检测与传感器;自动控制基础;单回路控制系统;微机控制系统等内容,最后给出了一些机电一体化控制系统的应用实例。

本书根据江苏省教育委员会1997年制定的中等专业学校和职业学校机电一体化专业教学计划及《机电控制系统》课程教学大纲编写,并入中等职业学校机械专业国家教委规划教材。

全书共分十章,第一章介绍了机电控制系统的基本概念,控制系统的组成及其分类;第二章介绍了机电控制系统中信号的检测及传感器的选择方法;第三章着重介绍了机电控制系统数学模型的建立及控制系统的分析方法;第四章介绍了自动控制的基本规律及调节器;第五章介绍了单回路控制系统的设计及调节器参数的整定方法;第六章简要介绍了微型计算机工业控制系统的组成;第七章介绍了数字调节器的实现;第八章至第十章介绍了一些常见的机电一体化控制系统,包括直流调速系统、交流调速系统、步进电动机控制系统、工业机器人控制系统和机床数控系统。

由于《机电控制系统》是一门综合性课程,涉及多个学科的知识,因此学生在学习过程中,以及教师在讲解过程中均会感到有一定的难度。特别是第三、七章,包含的数学知识较多,要求学生具有较好的数学基础,各学校可根据自身情况酌情处理,四年制中专可全讲,三年制职高可只讲控制理论的结论,不作推导。最后三章可选学其中的部分内容。全书总学时为100学时(包括实验24学时)。

本书由张涛主编,参加编写的还有余洵、周绍平和马军。其中第一、三、四章由江苏省常州轻工业学校张涛编写,第二章由江苏省徐州工业职业学校马军编写,第五、六、七章由南京机电学校余洵编写,第八、九、十章由江苏省扬州工业职业学校周绍平编写。全书由张涛统稿,南京机电学校朱家建审阅。

本书在编写过程中得到了江苏省教委职教处王兆明、睦平等同志及江苏省常州轻工业学校王荣成校长的大力支持和指导,在此表示感谢。

本书在编写体系和内容取舍方面作了一些新的尝试。由于时间仓促及编者的学识水平有限,书中定有许多不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1997年12月

责任编辑 李东辉
封面设计 李卫青
责任绘图 尹 莉
版式设计 马静如
责任校对 李顺英
责任印制 宋克学

目 录

第一章 机电控制系统概述	1	参数的整定	138
第一节 定义	1	习题与思考题	144
第二节 自动控制系统示例	2	第六章 微型计算机工业控制概述	146
第三节 对控制系统的性能要求	5	第一节 微型计算机工业控制发展概况	146
习题与思考题	7	第二节 微机工业控制系统的组成	147
第二章 检测与传感器	8	第三节 微机工业控制系统的分类	149
第一节 概述	8	习题与思考题	150
第二节 电阻应变式传感器	11	第七章 数字控制系统的实现	151
第三节 电容式传感器	17	第一节 PID 算法的数字实现	152
第四节 电感式传感器	24	第二节 单片机温度控制系统	154
第五节 压电式传感器	32	第三节 PID 算法的几种发展	159
第六节 光电式传感器	36	第四节 PID 参数的整定	164
第七节 热电偶传感器	45	习题与思考题	167
第八节 数字式传感器	53	第八章 电动机控制技术	169
第九节 传感器的正确选用和使用	61	第一节 直流电动机控制技术	169
习题与思考题	64	第二节 交流电动机控制技术	177
*第三章 机电控制系统的分析方法	66	第三节 步进电动机控制技术	185
第一节 数学基础	66	习题与思考题	193
第二节 控制系统的数学模型	77	第九章 工业机器人控制系统	194
第三节 系统分析	98	第一节 工业机器人控制系统的组成与分类	194
习题与思考题	106	第二节 工业机器人的作业程序控制	197
第四章 自动控制的基本规律及调节器	110	第三节 工业机器人的示教控制	198
第一节 双位控制	110	第四节 工业机器人的计算机控制技术	200
第二节 比例控制	112	习题与思考题	205
第三节 积分控制	115	第十章 机床数控技术	206
第四节 比例积分控制	118	第一节 基本概念	206
第五节 微分控制	119	第二节 开环数值控制插补	210
第六节 比例积分微分控制	122	第三节 机床数控系统实例	216
第七节 DDZ-Ⅲ型调节器	123	习题与思考题	234
习题与思考题	130	附录 镍铬-镍硅(镍铝)热电偶	
第五章 单回路控制系统	131	分度表	236
第一节 单回路控制系统的设计	131	参考文献	238
第二节 单回路控制系统的投运及调节器			

第一章 机电控制系统概述

机电一体化技术是机械、电子、计算机和自动控制等技术有机结合为一体的一门复合技术，它的产生和发展与自动化技术的发展密切相关。自动化技术经历了一个漫长的发展过程。18世纪出现的锅炉水位调节装置，以及19世纪出现的转速调节装置，都是有效的自动控制装置。到了20世纪30年代，自动化技术已普遍应用于各种生产过程中，但只是对单机或对单个温度、压力、流量等工艺参数进行控制。20世纪40年代至50年代，气动仪表、电动单元组合仪表及巡回检测装置等自动化仪表的采用，使得一些比较复杂的生产过程、一个工段或一个车间的集中控制得以实现。

60年代以来，计算机的发展，特别是微型计算机的广泛应用，标志着工业自动化一次重大的技术革命。60年代是自动化定向的时期，它以高速成长、大量生产为背景，在过程控制和机械加工两个领域内相继实现了自动化。这一时期以单机自动化和专用设备自动化为主。

70年代是系统自动化的时代。这一时期注意从总体考虑，追求整条生产线的自动化，以及整个工段、车间的综合自动化。80年代则是综合自动化的时期，出现了便于产品更新换代，提高市场竞争能力，适合中小批量生产的柔性制造系统与机电一体化产品。

因此，从自动化技术的发展过程看，机电一体化技术实际上是自动化技术发展的一个阶段和必然产物，它是自动化领域中机械技术与电子技术有机结合而产生的新技术；而机电一体化产品则是机械装置和电子器件有机结合而形成的自动控制系统，在该系统中，各种性能良好的机械装置和电子器件按照控制系统的规律组合起来发挥作用。

第一节 定 义

在这一节内，我们对控制系统中使用的一些术语作出定义。

对象 是一个设备，由一些器件组合而成。其作用是完成一个特定的动作。在本书中，我们称被控制物体（如加热炉、化学反应器）为对象。

系统 是一些部件的组合，它可以完成一定的任务。系统的概念可以应用于抽象的动态现象，如经济学的现象。

扰动 是一种对系统的输出量产生相反作用的因素。如果扰动产生于系统内部，则称为内扰；产生于系统外部，则称为外扰。

反馈控制 在有扰动的情况下，反馈控制有减小系统输出量与给定输入量之间偏差的作用。控制作用正是根据偏差而实现的。反馈控制仅仅是针对无法预料的扰动而设计的，可以预料的或者是已知的扰动，可以用校正的方法解决。

反馈控制不限于工程的范畴，经济学和生物学等领域中也存在着反馈控制。例如，人体就类似一个具有许多控制变量的极其复杂的反馈控制系统。

随动系统 是一种反馈控制系统。在这种系统中，输出量就是机械位移、速度或者加速度，

因此，随动系统这个术语，与位置（或速度、或加速度）控制系统是同义语。现代工业中广泛地采用了随动系统。例如，采用程序指令的机床自动化操作等。

自动调整系统 是一种反馈控制系统。在这种系统中，给定输入量保持常量或者随时间缓慢变化。这种系统的基本任务，是在有扰动的情況下，使实际的输出量保持希望的数值。

用恒温器作为控制器的室内加温系统，就是一种自动调整系统。恒温器的温度给定值与室内的实际温度进行比较得到偏差。室外温度的变化量是该系统的扰动。自动调整系统的任务，是保证所要求的室内温度不受室外温度变化的影响。自动调整系统的例子还有很多，例如压力的自动控制、电压、电流和频率等电量的自动控制。

闭环控制系统 凡是系统输出信号对控制作用有直接影响的系统，都叫做闭环控制系统。闭环控制系统也就是反馈控制系统。输入信号和反馈信号（反馈信号可以是输出信号本身，也可以是输出信号的函数）之差，称为偏差信号。偏差信号加到控制器上，使系统的输出量趋向给定的值。换句话说，“闭环”的含义就是应用反馈作用来减小系统的偏差。图 1-1 表示了闭环控制系统的输入量与输出量之间的关系，这种关系图叫做功能框图。

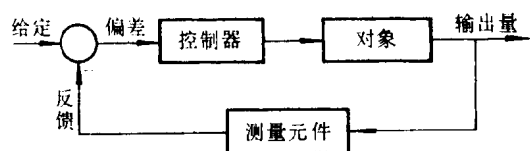


图 1-1 闭环控制系统

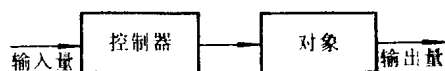


图 1-2 开环控制系统

开环控制系统 若系统的输出量对系统的控制作用没有影响，则叫开环控制系统。开环控制系统既不需要对输出量进行测量，也不需要将它反馈到系统的输入端与输入量进行比较。图 1-2 表示了开环控制系统的输入量与输出量之间的关系。洗衣机就是开环控制系统的实例，它的浸湿、洗涤和漂清的过程是顺序进行的，无需对其输出信号，即衣服清洁程度进行测量。

由于开环控制系统中系统的输出量不与给定的输入量进行比较，因此，对应于每一个给定的输入量，便有一个固定的输出量与之对应，系统的精度只取决于系统校准的精度。当然，出现扰动时，开环控制系统就无法进行控制了。如果输入量与输出量之间的关系已知，并且不存在内扰和外扰，则可采用开环控制系统。显然，这种系统不是反馈控制系统。

第二节 自动控制系统示例

分析自动控制系统时，先明确如下一些问题会有所帮助。

●受控对象是什么？哪些状态参量要求控制（亦即被控量是什么）？作用在对象上的主要干扰有哪些？

●操纵哪个机构可改变被控量？

●有哪些测量元件？测量的是被控量还是干扰？

●给定值（参考输入）或指令由哪个装置提供？

●如何实现各信号的偏差计算和判断偏差？

●控制作用通过什么部件来实现？

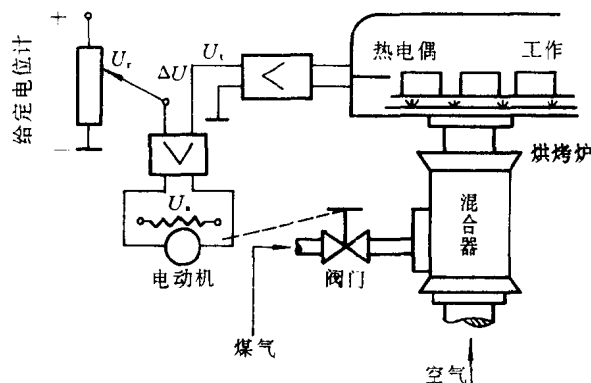


图 1-3 烘烤炉温度控制系统原理图

一、烘烤炉温度控制系统

图 1-3 是烘烤炉温度控制系统原理图。

根据图 1-3 应先明确：

- (1) 系统的任务——保持炉膛温度恒定；
- (2) 受控对象——烘烤炉；
- (3) 被控量——炉膛温度；
- (4) 干扰——工件数量、环境温度、煤气压力等；
- (5) 调节煤气管道上阀门开度可改变炉温；
- (6) 测量元件——热电阻。它将炉膛温度转变为相应的电压 U_i ；
- (7) 给定装置——给定电位计。其输出电压 U_r 对应于给定的炉膛温度；
- (8) 计算——将两电压极性反接，就可完成减法运算。输出电压 $\Delta U = U_r - U_i$ ，相当于炉温的偏差量；
- (9) 执行机构——电动机、传动装置和阀门。

烘烤炉温度控制系统的控制原理是：

炉温既受工件数量及环境温度的影响，又受由混合器输出的煤气流量的影响，因此调整煤气流量便可控制炉温。

假定炉温恰好等于给定值，这时 $U_i = U_r$ ，即 $\Delta U = 0$ 。故电动机和调节阀都静止不动，煤气流量恒定，烘烤炉处于给定温度状态。

如果增加工件，烘烤炉的负荷加大，而煤气流量一时没变，则炉温下降。温度下降将导致 U_i 减小，使 $\Delta U > 0$ ，电动机将阀门开大，增加煤气供给量，从而使炉温回升，直至重新等于给定值（即 $U_i = U_r$ ）为止。这样在负荷加大的情况下仍然保持了规定的温度。

如果负荷减小或煤气压力突然加大，则炉温升高。 U_i 随之加大， $\Delta U < 0$ ，故电动机反转关小阀门，减少煤气量，从而使炉温回降，直至等于给定值为止。

由此看出，系统通过炉温与给定值之间的偏差来控制炉温，所以是按偏差调节的自动控制系统。系统中除烘烤炉及供气设备外，其余统称温度控制装置或温度调节器。

表示系统内各功能部件之间相互联系的框图如图 1-4 所示。图中每个功能部件用一个方框表示，箭头表示信号的输入、输出通道，最右边的方框习惯于表示被控对象，其输出信号即为

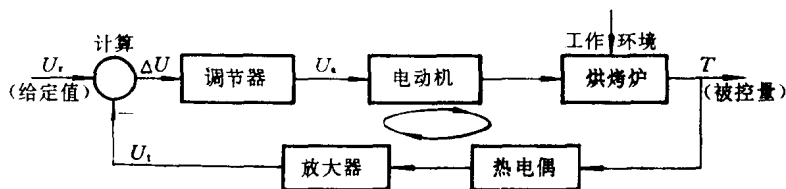


图 1-4 烘烤炉温度控制系统功能框图

被控量，而系统的总输入量包括给定值和外部干扰。

系统是一个闭合的回路，信号经调节器、烘烤炉之后又反馈到调节器。由于系统是按偏差进行调节的，因而必须测量炉温，反馈的闭合回路也是必需的；而且反馈信号应与给定值作相减的计算（图中以负号表示负反馈），以得到偏差信号。所以，这种系统称为反馈控制系统。

负反馈闭合回路，是按偏差进行调节的控制系统在结构联系和信号传递上的重要标志。

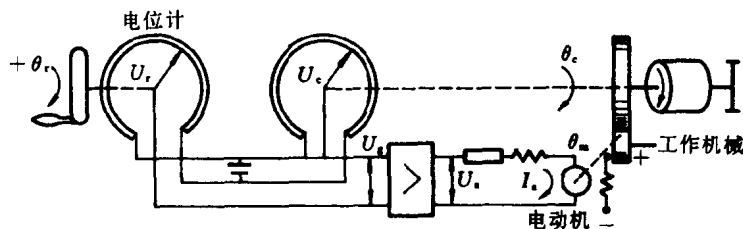


图 1-5 位置随动系统原理图

二、位置随动系统

图 1-5 是位置随动系统的原理图。

根据图 1-5 应先明确：

- (1) 控制的任务——使工作机械跟随指令机构同步转动，即要求工作机械的角位置 θ_c 跟随指令转角 θ_r 变化，亦即使 $\theta_c(t) = \theta_r(t)$ ；
- (2) 受控对象——工作机械；
- (3) 被控量——角位置 θ_c ；
- (4) 给定值——指令转角 θ_r ；
- (5) 测量元件——电位计。转角 θ_c 及 θ_r 由两个电位计测量并转换为相应的电压 U_c 及 U_r ；
- (6) 计算—— $U_c - U_r$ 。两个测量电位计作桥式连结，即完成了减法运算 $U_r - U_c$ 。两电刷之间的电压 U_g ，反映了被控量 θ_c 与给定值 θ_r 的误差；
- (7) 执行机构——电动机减速装置。

位置随动系统的控制原理是：

如果工作机械转角 θ_c 等于指令转角 θ_r ，经事先调整，使 $U_r = U_c$ ，则 $U_g = 0$ ，电动机不动，系统处于平衡状态。如果指令转角 θ_r 变化了，而工作机械仍处于原位，则 $\theta_c \neq \theta_r$ ， $U_c \neq U_r$ ， $U_g \neq 0$ ，电动机拖动工作机械向 θ_r 所要求的方向快速偏转，直至 $\theta_c = \theta_r$ ，电动机停转，在新的位置上又处于与指令同步的平衡状态，完成了跟随的任务。

由于系统是通过测量 θ_c 与 θ_r 的偏差来控制的，所以是按偏差调节的自动控制系统。系统的功能框图如图 1-6 所示，它是个负反馈的闭合回路。在工程技术上，常常需要某个机构（如船闸、

雷达天线、卡车前轮等)的位置能快速精确地跟随一个指令信号动作,而这可以通过随动原理来实现。

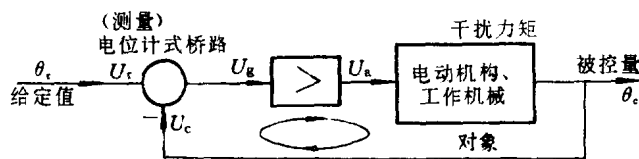


图 1-6 位置随动系统功能框图

系统的受控对象比较简单,相当于执行机构直接拖动的一个纯机械载荷。指令信号根据工作需要经常变化,而且事先无法完全确定。只要选用大功率的功放装置和电动机,即可以用功率很小的指令信号来操纵功率很大的工作机械,且可以进行远距离控制。

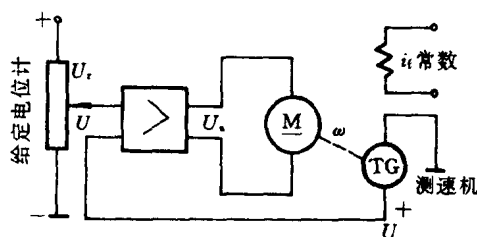


图 1-7 调速系统原理图

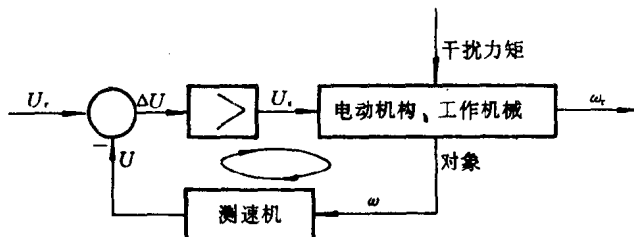


图 1-8 调速系统功能框图

三、调速系统

图 1-7 为调速系统的工作原理图,该系统的任务是保持工作机械恒速运行。

调速系统的控制原理是:

测速机测量电动机的转速 ω 并将其转换为相应的电压 U ,然后将 U 与给定电位计的输出电压 U_r 进行比较,其输出信号经放大装置后控制电动机,而电压 U_r 即代表了所要求的转速。

如果工作机械的载荷加大,使电动机转速下降,测速机输出电压 U 减小,与给定电压 U_r 比较后的偏差电压 ΔU 放大为 U_g ,故电枢电压相应加大,从而使电动机转速得到补偿。

这里是通过测量转速(与给定转速的偏差)来控制转速的,因此调速系统亦称为按偏差调节的自动控制系统。其功能框图如图 1-8 所示。

第三节 对控制系统的性能要求

按照偏差调节的方法设计的自动控制系统,是否都能很好地工作,是否都能精确地保持被控制量等于给定值?不一定。系统也可能工作得很差,甚至会出现被控量强烈振荡,使受控对象遭到破坏的现象。这些都取决于受控对象与控制装置之间、各功能元器件的特性参数之间是否匹配得当。在理想情况下,自动控制系统的被控量和给定值在任何时候都相等,完全没有误差,而且不受干扰的影响,即

$$c(t) = r(t)$$

但在实际系统中,由于机械部分质量、惯量的存在,以及电路中电感、电容的存在,由于

电源功率的限制,使得运动部件的加速度不会很大,速度和位移不能瞬间变化,而要经历一段时间,要有一个过程。通常把系统受到外加信号(给定值或干扰)作用后,被控量随时间 t 变化的全过程称为系统的动态过程或过渡过程,以 $c(t)$ 表示。系统控制性能的优劣,可以通过动态过程 $c(t)$ 表现出来。

控制精度是衡量系统技术水平的重要尺度。一个高质量的系统,在整个运行过程中,被控量与给定值的偏差应该是很小的。考虑到动态过程 $c(t)$ 在不同阶段中的特点,工程上常常从稳、快、准三个方面来评价自动控制系统的总体精度。

一、稳

稳,是就动态过程的振荡倾向和系统重新恢复平衡工作能力而言。

如果系统受扰动后偏离了原来的工作状态,而控制装置再也不能使系统恢复到原状态,并且越偏离越远,如图1-9(b)中的过程③所示,这样的系统称之为不稳定系统。显然,它是不能完成控制任务的。

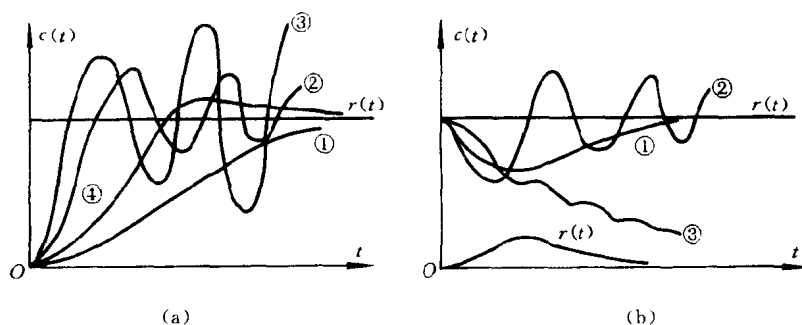


图 1-9 控制系统的随动过程和抗扰过程

在有可能达到平衡的条件下,要求系统动态过程的振荡要小。为此,对被控量的振幅和频率应有所限制,过大的波动将使运动部件超载,导致松动和破坏。

二、快

快,是就动态过程的长短而言。过程持续时间很长,将使系统长久地出现大偏差,同时也说明系统响应很迟钝,难以复现快速变化的指令信号,如图1-9(a)中的过程①所示。

稳和快反映了系统在控制过程中的性能。既快又稳,则过程中被控量偏离给定值小,偏离的时间短,系统的动态精度高,如图1-9(a)中的过程④所示。

三、准

准,是就系统过渡到新的平衡工作状态以后,或系统受扰重新恢复平衡之后,最终保持的精度而言,它反映动态过程后期的性能。这时候,系统中被控量与给定值的偏差应该是很小的,如数控机床的加工误差小于 0.02mm ,一般恒速、恒温控制系统的静态误差都在给定值的1%以内。

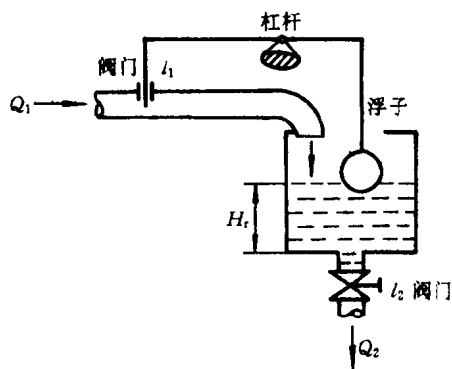
由于受控对象的具体情况不同,各种系统对稳、快、准的要求是有所侧重的。例如,随动系统对快要求较高,而调节系统则对稳要求严格。

对一个系统来说,稳、快、准是相互制约的。提高过程的快速性,可能会引起系统强烈振动;改善了系统的平衡性后,控制过程又可能变得迟缓,甚至使最终精度也很差。分析和解决

这些矛盾，是控制理论研究的重要内容。

习题与思考题

1. 机电一体化技术是在什么样的背景之下产生与发展起来的？
2. 试列举几个日常生活中的开环控制系统和闭环控制系统，并说明它们的工作原理。
3. 画出电冰箱温度自动控制系统的框图，并说明在该系统中可能存在哪些扰动量？
4. 水位自动控制系统如图所示。运行中，希望水面高度 H 维持不变。试简述系统的工作原理，画出系统的框图，并说明被控对象、被控量和干扰量是什么？



题 4 图

第二章 检测与传感器

第一节 概 述

一、检测的概念

机电控制系统依赖于准确的检测。检测是人们借助于专门的设备,通过一定的方法,对被测对象收集信息、取得数据的过程。

从狭义上讲,检测就是用同性质的标准量与被测量比较,并确定被测量对标准量的倍数(这个倍数就是所需要的检测值)的过程。从广义上讲,检测就是对被测对象进行检出、变换、分析、处理、判断、控制、显示等的有机统一的综合过程。

检测的关键,在于被测量和标准量的比较。但是,被测量能直接与标准量比较的场合不多,大多数的被测量和标准量都要变换到便于双方比较的某个中间量,例如,用水银温度计测室温时,室温要用被变换成玻璃管内水银柱的热膨胀位移表示,而温度的标准量为玻璃管上的刻度,即被测量和标准量都变换成线位移这个中间量。因此,变换是检测的核心。所谓变换,是指把被测量按一定的规律转变成便于传输或处理的另一种物理量的过程。能进行某种变换的元件叫变换元件,或者叫做传感器。

传感器是一种能感受被测物理量并将其转换为便于传输或处理的另一种物理量的装置或器件。如果给传感器下个定义,传感器即是“能感觉被测量,并按一定关系转换成相应输出量的装置”。在现代科技领域中(尤其是机电控制系统中),信息的采集离不开各种传感器,传感器感受外界的各种“刺激”并作出迅速的反映。

检测与传感器属于一门综合性技术学科,它的研究对象是对各种材料、机件、现场等进行无损探伤、测量和计量;对自动化系统中各种参数进行自动检查和测量;把检测出的各种模拟信号转换为相应电信号(甚至数字量)后,再由控制器进行信息处理等。本章只介绍检测与传感器的基本技术,主要装置的基本工作原理、结构、性能、特点和应用范围等。

二、传感器的分类

传感器的种类繁多,分类方法也不尽相同,一般常用的分类方法有两种:一种是按被测对象的参数分类;另一种是按传感器的变换原理分类。此外,还有其他的分类方法,如按传感器材料分类,按传感器本身是否能产生电动势分类和按输入、输出特性分类等。

按被测对象的参数分类的传感器有:温度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、力矩传感器、加速度传感器、流速传感器、振动传感器等。

按变换原理分类的传感器有:电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、光电式传感器、光栅式传感器、热电式传感器、红外传感器、光纤传感器、超声波传感器、激光传感器等。

有时人们常把被测参数和变换原理结合在一起称呼传感器,例如电阻式压力传感器、电

容式液位传感器、压电式加速度传感器等。

传感器的上述两种分类方式各有其优缺点。按被测对象的参数分类时实用性强,便于选用,但缺乏系统性。例如测温用的传感器有很多种,有利用热电变换原理的热电偶传感器,有利用光电变换原理的光电高温计等。按变换原理分类时,虽然传感器的用途和名称未明显标出,但却显示了传感器相互间的本质区别,便于了解各种传感器的各自特点,故本章基本上选用变换原理分类,来分别介绍各类有关的传感器。

三、传感器的基本特性

传感器能否不失真地反映被测量变化并转换成相应输出量变化,这取决于传感器的基本特性——静态特性和动态特性。所谓静态特性是指当被测量处于稳定状态下,传感器的输入与输出值之间关系。动态特性是指当被测量随时间变化时,传感器的输入与输出值之间的关系。

(一) 静态特性

衡量静态特性的性能指标是线性度、灵敏度、分辨率或分辨力、迟滞和重复性。

1. 线性度 (非线性误差)

线性度是指传感器实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差 $\Delta L_{\max}$ 与传感器满量程输出 ($y_{\max}$) 的百分比,用 γ_L 表示,即

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (2-1)$$

拟合直线的选取方法很多,可参阅有关书籍。本章主要采用理论直线作为拟合直线来说明传感器的线性度 (见图 2-1)。

2. 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态下的输出变化值 (dy) 与输入变化值 (dx) 之比,用 K 表示,即

$$K = \frac{dy}{dx} \quad (2-2)$$

对于线性传感器,其灵敏度就是它的传递系数,亦即 $K=y/x$ 。非线性传感器的灵敏度随其输入量的变化而变化,亦即它的传递系数为一变量 (见图 2-2)。例如,某位移传感器在位移变

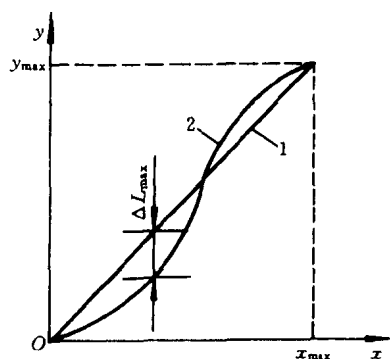


图 2-1 传感器线性度示意图

1---拟合直线 $y=ax$; 2---实际特性曲线

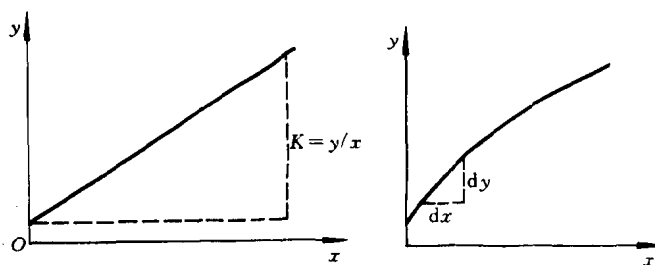


图 2-2 灵敏度定义示意图

化 1mm (输入信号变化量) 时,输出电压变化为 30mV (输出信号变化量),则其灵敏度为

30mV/mm。

3. 分辨率与分辨力

分辨率与分辨力都是用来表示传感器或仪表装置能够检测被测量最小量程的性能指标。前者是以最大量程的百分数来表示,是一个无量纲的比率值;后者是以最小量程的单位值来表示,是一个有量纲的量值。当被测量的变化值小于分辨力时,传感器对输入量的变化无任何反应。

4. 迟滞

迟滞是指传感器正向特性和反向特性曲线的不重合程度,亦即对应于同一大小的输入信号,传感器在正、反行程时的输出信号大小不等,如图 2-3 所示。迟滞 γ_H 的值通常由实验来确定,可用下式表示

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{2y_{\max}} \quad (2-3)$$

产生迟滞现象的主要原因是传感器的机械部分存在着不可避免的缺陷,如轴承磨损、有间隙、紧固件松动和材料内部分子间磨擦等。

5. 重复性

重复性表示传感器在输入量按同一方向做全程连续多次变动时所得到的特性曲线的不一致程度,如图 2-4 所示。产生不一致的原因与产生迟滞现象的原因相同。多次重复测试的曲线越重合,说明该传感器的重复性越好,使用时的误差就越小。

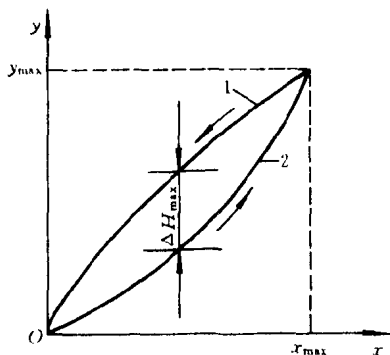


图 2-3 迟滞特性示意图

1—反向特性; 2—正向特性

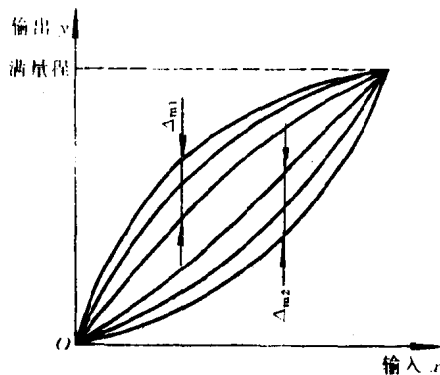


图 2-4 重复性示意图

(二) 动态特性

传感器测量静态信号时,由于被测量不随时间变化,测量和记录的过程不受时间限制。但是,实际检测中的大量被测量是随时间变化的动态信号,传感器的输出不仅需要精确地显示被测量的大小,而且还需要显示被测量随时间变化的规律,即被测量的波形。传感器能测量动态信号的能力用动态特性表示。动态特性是指传感器测量动态信号时,输出对输入的响应特性。它与静态特性的主要区别是:动态特性中输出量与输入量的关系不是一个定值,而是时间的函数,它随输入信号的频率而改变。

动态特性好的传感器,其随时间的变化规律将再现输入量随时间的变化规律,即它们具有

同一个时间函数。但是除了理想情况外，实际传感器的输出信号与输入信号不会具有相同的时间函数，由此将引起动态误差。

四、传感器的发展方向

传感器是检测系统中的重要组成部分，它的精度、可靠性、稳定性、抗干扰性等直接关系到机电控制系统的性能。因此，应不断地开发新型传感器以用于检测系统。

1. 由于传感器都是利用材料的各种效应、特性等来实现非电量转换成电量，所以应采用新材料、新技术、新工艺及探讨新理论来发展传感器。

2. 为了适应计算机对信息的处理，应发展数字式传感器，这样可省去模数转换电路，而直接与计算机连接。

3. 为了适应工业和实验中的非接触式检测需要，应使用激光、微波、红外等技术。

4. 发展“传像技术”。随着科学的发展，不但要求传感“个别非电量”，而且要求传感被测源的全部信息（即传像）。这就要求传感器不但是小型和微型，而且应从单个发展到组合式（传感器阵列）形式，其中每个小传感器测出被测源一个“像素”，整体构成一个“图像传感”，并能在显示屏上显示等。

5. 发展“仿生传感器”。生物体充满着大量有传感作用的细胞，如视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉、冷热感觉等细胞，这些感觉细胞，将非电量转换成“生物电流”，由神经系统传到大脑里进行处理，再发出各种控制命令。

6. 传感器是属于敏感技术范畴之内，而敏感元件是基础元件，有了优良的敏感元件，才能有高性能的传感器，所以应优先开发新的领域和原理，生产出优良的敏感元件。

第二节 电阻应变式传感器

能将被测非电量（如位移、应变、温度、湿度等）的变化转换成导电材料的电阻变化的装置，称为电阻式传感器。在物理学中已阐明导电材料的电阻不仅与材料的类型、几何尺寸有关，还与温度、湿度和变形等因素有关。物理学同样指出过，不同导电材料，对同一非电物理量的敏感程度不同，甚至差别很大。因而，利用某种导电材料的电阻对某一非电物理量具有较强的敏感特性，就可制成测量该物理量的电阻式传感器。

电阻式传感器种类很多，常用的有电阻应变式传感器、电位器传感器、热敏电阻传感器、气敏电阻传感器、光敏电阻传感器、磁敏电阻传感器等。本节仅介绍在机电控制系统中应用较多的电阻应变式传感器。

电阻应变式传感器是利用电阻应变片受力后发生应变致使电阻值发生变化的原理，来测量被测物理量的大小。图2-5是电阻应变式力传感器简单结构图，以此来说明电阻应变式传感器的工作原理。传感器主要由弹性元件（或称敏感元件）、粘贴在弹性元件上的应变片和壳体所组成。当外力作用于弹性元件上时，弹性元件被压缩，应变片跟随

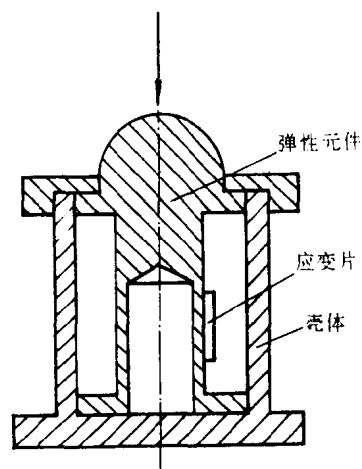


图 2-5 电阻应变式力传感器