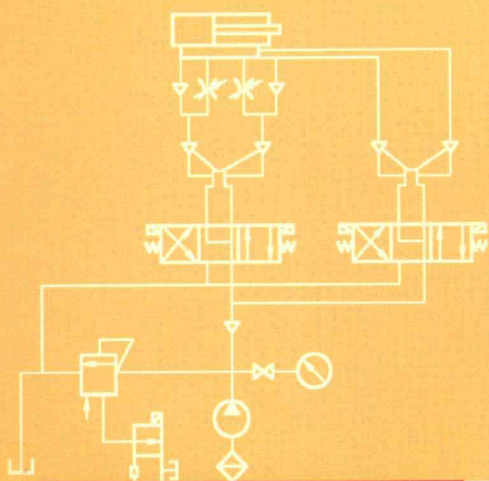


深入浅出机电一体化技术应用丛书

机电控制技术 原理及应用

吴 博 主 编
李红梅 副主编
李 闯 参 编

王克文 王晓晶
岳永恒 倪世钱



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

深入浅出机电一体化技术应用丛书

机电控制技术 原理及应用

		吴 博	主 编
王克文	王晓晶	李红梅	副主编
岳永恒	倪世钱	李 闯	参 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从应用的角度出发,首先介绍机电控制技术的基础知识,然后介绍机电控制系统各组成部分及各个控制元件的原理、作用,最后以工业中的典型应用为实例,介绍机电控制技术的具体应用。

全书内容共分两部分。第一部分为机电控制技术的基础知识,涵盖了本书的前6章,分别从机电控制技术的基础知识,机电控制系统的静、动态特性,机电控制系统的检测元件、驱动元件、执行元件及微机控制技术等方面进行介绍;第二部分为机电控制系统的典型应用实例,涵盖了本书的后4章,分别从伺服控制系统的应用实例、过程控制系统的应用实例、机电控制系统在数控机床及工业机器人中的应用实例等方面进行介绍。

本书在注重基本原理和基本方法的基础上,重点突出其具体实际应用。本书适合机电专业和计算机控制技术专业的学生使用,也可作为从事控制技术、机电一体化化的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机电控制技术原理及应用/吴博主编. —北京:中国电力出版社, 2011.1

(深入浅出机电一体化技术应用丛书)

ISBN 978-7-5123-1331-6

I. ①机… II. ①吴… III. ①机电一体化—控制系统
IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 010804 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011年7月第一版 2011年7月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 21.25印张 518千字
印数 0001—3000册 定价 39.80元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

机电控制技术在微电子、电力电子、计算机、信息处理、通信、检测、过程控制及自动控制等多种技术相互交叉、相互渗透、有机结合而成的一种综合性技术。机电控制技术用来解决机电系统中的控制问题,是现代机械工程的专业基础。只有掌握了机电控制技术,才能从系统的角度出发,有效地从事现代机械工程和机电一体化的技术工作。

为了适应当今高校中的机电及控制相关专业的需要,提高学生的理论水平及实践能力,从而更好地实现向实际工作的过渡,促进企业及相关行业的发展。本书从机电控制技术理论基础和应用实例两部分出发,介绍机电控制系统的含义、基本组成、各部分的功能和控制方式。在以控制为核心的前提下,着重介绍检测元件、驱动元件、执行元件以及微机控制技术,通过4个典型实例的分析,使读者了解并掌握机电控制技术的应用技巧。本书可供机电一体化、电气自动化、过程自动化和计算机应用等相关专业的广大工程技术人员使用,也可作为高等院校相关专业的教学参考书。

全书共分10章,两篇:第一篇主要介绍了机电控制技术的基础知识,机电控制系统动、静态特性及组成元件的结构、工作原理和选用;第二篇结合4个典型实例具体介绍了机电控制系统的实际应用,加深读者对机电控制系统分析和设计方法的理解,提高实际应用能力。

本书由哈尔滨理工大学机械动力工程学院吴博担任主编、黑龙江省牡丹江心血管病医院设备科王克文、哈尔滨理工大学机械动力工程学院王晓晶和中国铁道科学研究院李红梅担任副主编,参加编写的还有东北林业大学交通学院岳永恒、哈尔滨地铁集团有限公司运营分公司倪世钱和黑龙江工商职业技术学院机械系李闯。其中,第1章由吴博编写,第6章由王克文编写,第3章和第4章由王晓晶编写,第5章和第8章由李红梅编写,第2章由岳永恒编写,第9章和第10章由倪世钱编写,第7章由李闯编写。全书由吴博统稿。

本书在编写过程中参考和引用了许多前人的优秀研究成果。在此向本书所参考和引用的资料、文献、教材和专著的编著者表示最诚挚的敬意和感谢!

鉴于编者水平有限,书中涉及的内容多,范围广,难免存在缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

前言

第一篇 机电控制技术基础

1 机电控制的基础知识	2
1.1 机电控制技术概述	2
1.1.1 机械与控制	2
1.1.2 机电控制系统的发展概况	3
1.1.3 机电一体化产品	4
1.2 机电控制系统的基本组成和工作原理	4
1.3 机电控制系统的基本设计要求	5
1.4 机电控制系统的基本控制方式	6
1.4.1 开环控制方式	6
1.4.2 反馈控制方式	7
1.4.3 复合控制方式	8
2 机电控制系统的静态特性和动态特性	9
2.1 机电控制系统的数学模型及传递函数	9
2.1.1 数学模型的概念	9
2.1.2 非线性系统的线性化	10
2.1.3 数学模型的微分方程	10
2.1.4 系统的传递函数	12
2.1.5 系统的结构图	13
2.1.6 物理系统传递函数的推导	18
2.2 机电控制系统稳态特性与动态特性	21
2.2.1 时间响应及其组成	21
2.2.2 典型的输入信号	22
2.2.3 系统稳定性的概念	23
2.2.4 系统的动态性能与稳态性能	25
2.2.5 一阶系统的动态性能	27
2.2.6 二阶系统的动态性能	29
2.2.7 系统的稳定判定与稳定裕量	34
2.3 机电控制系统的性能指标与校正	39
2.3.1 机电控制系统的性能指标	39

2.3.2	机电控制系统的校正	46
2.3.3	串联校正	47
2.3.4	PID 校正	50
2.3.5	反馈校正	52
2.3.6	系统的频率法设计应用实例——基于频率法的 Matlab 串联校正设计	55
2.3.7	PID 数字控制器的设计应用实例——基于变频器 PID 功能的 PLC 控制恒压供水系统	57
3	机电控制系统的传感检测技术	62
3.1	传感器的种类及特点	62
3.1.1	传感器的分类	62
3.1.2	传感器的基本要求	64
3.1.3	位移传感器	65
3.1.4	速度传感器	74
3.1.5	加速度传感器	77
3.1.6	力、扭矩和压力传感器	78
3.1.7	温度传感器	80
3.1.8	红外、图像与光纤传感器	84
3.2	检测元件的性能参数	89
3.3	检测元件的选用	90
3.4	检测元件的应用实例	91
3.4.1	压电式传感器的应用举例	91
3.4.2	电容式传感器的应用举例	92
4	机电控制系统的执行装置	94
4.1	执行装置的种类及特点	94
4.1.1	驱动元件的分类	94
4.1.2	机电控制系统对执行元件的基本要求	95
4.1.3	步进电动机的驱动与控制	96
4.1.4	直流伺服电动机的驱动与控制	104
4.1.5	交流伺服电动机的驱动与控制	111
4.2	驱动元件的选用	118
4.2.1	负载分析	118
4.2.2	环境条件	120
4.2.3	机构	120
4.3	驱动元件的应用实例	122
5	机电控制系统的执行元件	124
5.1	概述	124
5.1.1	执行元件的分类	124
5.1.2	机电控制系统对执行元件的基本要求	126

5.2	液压缸的种类和结构	127
5.2.1	液压缸的分类	127
5.2.2	液压缸的典型结构	128
5.3	液压马达的种类和结构	131
5.3.1	叶片式液压马达	131
5.3.2	径向柱塞式液压马达	132
5.3.3	轴向柱塞马达	139
5.3.4	齿轮液压马达	140
5.4	气动马达	142
5.4.1	气动马达的特点	142
5.4.2	气动马达的结构	142
5.4.3	气动马达的选择及使用要求	144
5.5	执行元件的应用实例	144
5.5.1	卷纸张力的控制	144
5.5.2	恒高度零件供料装置	145
5.5.3	机械手伸缩运动伺服系统	146
5.5.4	公共汽车车门气压传动系统	146
6	机电控制系统的微机控制技术	148
6.1	微机控制技术概论	148
6.1.1	微机控制技术	148
6.1.2	微机控制技术系统的组成及其特点	149
6.1.3	微机控制系统的分类	150
6.1.4	微机控制系统的设计步骤	151
6.2	机电控制系统的单片机技术	152
6.2.1	80C51 单片机硬件结构	155
6.2.2	80C51 单片机接口技术	157
6.2.3	80C51 单片机中断、定时技术	173
6.2.4	单片机常用设计语言	196
6.3	机电控制系统的可编程控制技术	203
6.3.1	可编程控制技术概述	203
6.3.2	PLC 的基本组成和工作原理	203
6.3.3	S7-200 系列 PLC 的硬件系统	211
6.3.4	S7-200 系列 PLC 的编程元件	213
6.3.5	S7-200 系列 PLC 的基本指令	214
6.3.6	PLC 的基本应用实例	229
6.3.7	S7-200 系列 PLC 的顺序控制指令及应用实例	230

第二篇 机电控制系统的典型应用实例

7	伺服控制系统应用实例	238
---	------------------	-----

7.1	位置伺服控制系统	238
7.1.1	永磁交流位置伺服控制系统应用实例	238
7.1.2	气动位置伺服系统应用实例	247
7.2	速度伺服控制系统	260
7.2.1	电液伺服系统的设计内容	260
7.2.2	液压动力元件设计	260
7.2.3	各组成元件的传递函数	262
7.2.4	系统的传递函数	265
8	过程控制系统应用实例	266
8.1	基于 80C51 的计量泵流量控制系统设计	266
8.1.1	硬件设计部分	266
8.1.2	软件设计部分	270
8.2	80C51 单片机在电液位置伺服系统上的应用	276
8.2.1	直驱式电液位置伺服系统简介	276
8.2.2	硬件控制系统设计	277
8.2.3	软件系统设计	281
9	数控机床机电控制系统应用实例	287
9.1	常用三相异步电动机的基本控制环节及控制实现	287
9.1.1	起动、停车和点动	287
9.1.2	电动机的正转、反转和停止控制	288
9.1.3	电动机正/反转连锁控制	288
9.2	PLC 在步进电动机控制中的应用	289
9.3	可编程控制器在常用机床中的应用实例	291
9.3.1	全自动导轨除锈磨光机	291
9.3.2	基于 PLC 和触摸屏的工业汽轮机控制系统的设计	294
9.3.3	基于 PLC 控制的数控齿条插齿机控制系统应用实例	297
9.3.4	注塑机可编过程控制器的原理与设计	309
10	工业机器人	315
10.1	工业机器人基本组成及分类	315
10.1.1	工业机器人基本组成	315
10.1.2	工业机器人的分类	316
10.2	工业机器人的技术参数	318
10.3	工业机器人机构原理	319
10.3.1	末端执行器	320
10.3.2	机器人手腕	320
10.3.3	机器人手臂	320
10.3.4	机器人机座	321
10.3.5	工业机器人的传动	321

10.4 工业机器人的机电控制系统组成..... 322

10.5 机电控制系统在工业机器人中的应用实例..... 323

10.5.1 钨极氩弧焊机器人控制应用实例 323

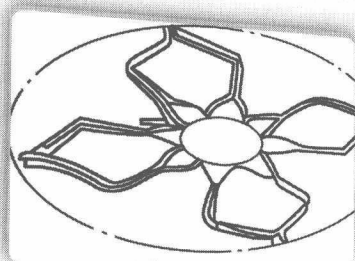
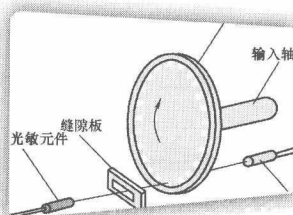
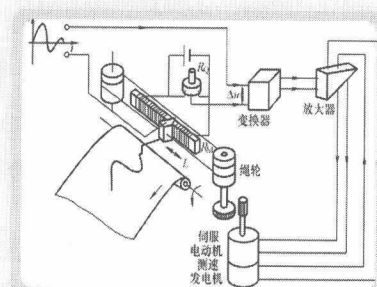
10.5.2 自动涂胶机械手控制应用实例 326

参考文献 329

深入浅出机电一体化技术应用丛书
机电控制技术原理及应用

第一篇

机电控制技术基础



机电控制的基础知识

机械工程是技术科学领域比较古老的学科之一。制造机器和使用机器的所有自然活动是机械工程研究的主要范畴。

机电系统的核心是控制，因此，常将机电系统称为机电控制系统。机电系统强调机械技术与电子技术（机电控制技术）的有机结合，强调系统各个环节之间的协调与匹配，以便实现系统整体最佳的目标。

当今的机电控制技术是微电子、电力电子、计算机、信息处理、通信、检测、过程控制及自动控制等多种技术相互交叉、相互渗透、有机结合而成的一种综合性技术。机电控制技术是解决机电系统中控制问题的一门技术，是现代机械工程的专业基础。只有学习和掌握了机电控制技术，才能从系统的角度出发，有效地从事现代机械工程和机电一体化的技术工作。

1.1 机电控制技术概述

“控制（control, command）”是掌握住对象不使其任意活动或超出范围，或使其按控制者的意愿活动；控制是指对事物起因、发展及结果的全过程的一种把握，是能预测和了解并决定事物的结果。

“控制”一词如今已相当广泛地应用在各行各业，如温度控制、微机控制、人口控制等。根据产生控制作用的主体不同，控制可分为手动控制和自动控制。由人本身通过判断和操作进行的控制叫做手动控制。而自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用外加设备或装置（称控制装置或控制器）使机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。

自动控制是以自动控制理论为基础，以电子技术、电力电子技术、传感器技术、计算机技术、网络与通信技术为主要工具，面向工业生产过程自动控制及各行业、各部门的自动化。

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术学科。它的发展初期，是以反馈理论为基础的自动调节原理，并主要用于工业控制。第二次世界大战后，已形成了完整的自动控制理论体系，这就是以传递函数为基础的经典控制理论，它主要研究单输入—单输出、线性定常系统的分析和设计问题。

1.1.1 机械与控制

有史以来，机械可以代替人类从事各种有益的工作，弥补了人类体力和能力的不足，在各个方面都给我们的生活带来了极大的帮助。从机械的发展史可以看到，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，广义地讲也可称为控制，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通过纯机构来实现的）；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，当时主要用于各种机械驱动，为了消除蒸汽机因负荷变化而对转速造成的影响，19 世纪末詹姆斯·瓦特发明了离心调速器。但离心调速器在某种使用条件下，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。蒸汽机和调速器能单独地各自稳定地工作，为什么在组合的情况下就出现不稳定状态呢？这一问题促使人们开展了相关研究和探索。直到 19 世纪后半叶麦克斯韦提出了系统特性以及劳斯·胡尔维兹发现了系统稳定工作的条件（稳定性判据）后上述问题才得以解决，这也可以说是控制理论的开始。

生产工艺的发展对机械系统也提出了愈来愈高的要求，为达到工作目的，使得机械已不再是纯机械结构了，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精度和光洁度，要求在极慢的稳速下进给，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。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；而机电控制就是应用自动控制工程学的研究成果，把机械作为控制对象，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。

1.1.2 机电控制系统的发展概况

机电控制系统的发展按所用控制器件来划分，它主要经历了四个阶段：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，控制精度也较差；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控制对象的工作状态，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最初的断续控制，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；20 世纪 40~50 年代出现了大功率可控水银整流器控制；时隔不久，50 年代末期出现了大功率固体可控整流元件—晶闸管，很快晶闸管控制就取代了水银整流器控制，后来又出现了功率晶体管控制，由于晶体管、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，它的出现为机电自动控制系统开辟了新纪元。

随着数控技术的发展，计算机应用特别是微型计算机的应用，使控制系统发展到一个新的阶段——计算机数字控制，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）比控制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、计算机技术紧密地结合在一起，使晶体管与晶闸管控制具有强大的生命力。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，这不仅提高了自动化程度，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、试验和质量管理的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)。

1.1.3 机电一体化产品

机电控制技术是机电一体化系统 (产品) 的重要支撑技术。那么，什么是机电一体化系统 (产品) 呢？

“机电一体化” (Mechatronics) 是各相关技术有机结合所形成的一个新概念，“Mechatronics”是 Mechanics (机械学) 与 Electronics (电子学) 组合而成的英文单词，是由日本《机械设计》杂志于 1971 年提出的。对于机电一体化，目前尚无公认的、统一的定义。几个较能反映机电一体化性质的定义如下：

日经产业新闻的“电子技术的电子学与机械技术的机械学相结合的技术进步的总称。”富士通法纳克公司的“将机械学和电子学有机结合而提供的更为优越的技术。”日本机械振兴协会经济研究所的“机电一体化乃是在机械的主功能、动力功能、信息功能和控制功能上引进微电子技术，并将机械装置与电子装置用相关软件有机结合而构成系统的总称。”

机电一体化具有“技术”和“产品”两方面的内容。机电一体化技术主要包括机电控制技术和机械设计等技术、原理，使机电一体化产品 (或系统) 得以实现、使用和发展；机电一体化“产品”主要是指机械系统 (或部件) 与以微型计算机为代表的微电子系统 (或部件) 相互置换或有机结合而构成的新“系统”，且被赋予了新的功能和性能。

由此可见，传统的机械制造技术与控制技术和信息技术的有机结合，不仅促使生产模式的发展和变革，而且促进开发性能优越的、机电相结合的机械产品，创造新的制造工艺和加工手段，使系统 (产品) 高附加值化，即多功能、高效率化、高可靠性、节省能源，提高产品的质量和性能，增强企业的市场竞争力。机电一体化技术在机械制造业中的应用，大致经历了参数数显、硬件数控 (NC 控制)、计算机数控 (CNC 控制)、柔性生产系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS)、虚拟制造系统 (VMS) 等过程，使加工制造技术与生产经营模式紧密结合，形成现代制造技术和系统。

1.2 机电控制系统的基本组成和工作原理

首先要了解“系统”的含义，所谓系统，是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。机电控制是研究如何设计控制器并合理选择或设计放大元件、执行元件、检测与转换、导向与支承元件和传动机构等，并由此组成机电控制系统使机电装备达到所要求的性能的一门学科，在机电一体化技术中占有非常重要的地位。机电控制系统是机电一体化产品及机电一体化系统中承担着控制对象输出，并按照指令规定的规律变化的功能单元，是机电一体化产品及系统的重要组成部分。

机电控制系统一般由指令元件，比较、综合与放大元件，转换与功率放大元件，执行元件，工作机构，检测与转换元件等 6 部分组成，见图 1.1。

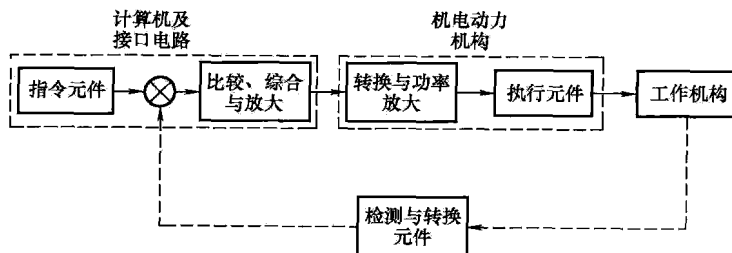


图 1.1 机电控制系统方框图

机电控制系统的工作原理是：由指令元件发出指令，通过比较、综合与放大元件将此信号与输出反馈信号比较，再将差值进行处理和放大、控制及转换，将处理后的信号加到功率放大元件并施加到执行元件的输入信号，使得执行元件按指令的要求运动；而执行元件往往和机电装备的工作机构相连接，从而使机电装备的被控量（如位移、速度、力、转矩等）符合所要求的规律。

1.3 机电控制系统的基本设计要求

尽管机电控制系统有不同的类型，而且每个系统也都有不同的特殊要求，但对于各类系统来说，在已知系统的结构和参数时，我们感兴趣的都是系统在某种典型输入信号下，其被控量变化的全过程。例如，对恒值控制系统是研究扰动作用引起被控量变化的全过程；对随动系统是研究被控量如何克服扰动影响并跟随参控量的变化过程。但对每一类系统中被控量变化全过程提出的基本要求都是一样的，且可以归结为稳定性、快速性和准确性，即稳、准、快的要求。

稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件。一个稳定的控制系统，其被控量偏离期望值的初始偏差应随时间的增长逐渐减小或趋于零。具体来说，对于稳定的恒值控制系统，被控量因扰动而偏离期望值后，经过一个过渡过程的时间，被控量应恢复到原来的期望值状态；对于稳定的随动系统，被控量应能始终跟踪参控量的变化。反之，不稳定的控制系统，其被控量偏离期望值的初始偏差将随时间的增长而发散，因此，不稳定的控制系统无法实现预定的控制任务。

线性自动控制系统的稳定性是由系统结构所决定的，与外界因素无关。这是因为控制系统中一般含有储能元件或惯性元件，如绕组的电感、电枢转动惯量、电炉热容量、物体质量等，储能元件的能量不可能突变，因此，当系统受到扰动或有输入量时，控制过程不会立即发生，而是有一定的延缓，这就使得被控量恢复期望值或跟踪参控量有一个时间过程，称为过渡过程。例如，在反馈控制系统中，由于被控对象的惯性，会使控制动作不能及时纠正被控量的偏差，控制装置的惯性则会使偏差信号不能及时转化为控制动作。具体来说，在控制过程中，当被控量已经回到期望值而使偏差为零时，执行机构本应立即停止工作，但由于控制装置的惯性，控制动作仍继续向原来方向进行，致使被控量超过期望值又产生符号相反的偏差，导致执行机构向相反方向动作，以减小这个新的偏差；另一方面，当控制动作已经到位时，又由于被控对象的惯性，偏差并未减小为零，因而执行机构继续向原来方向进行，使被控量又产生符号相反的偏差，如此反复进行，致使被控量在期望值附近来回摆动，过渡过

程呈现振荡形式。如果这个振荡过程是逐渐减弱的,系统最后可以达到平衡状态,控制目的得以实现,我们称为稳定系统;反之,如果振荡过程逐步增强,系统被控量将失控,则称为不稳定系统。

为了很好地完成控制任务,控制系统仅仅满足稳定性要求是不够的,还必须对其过渡过程的形式和快慢提出要求。例如,对用于高射炮射角随动系统,虽然炮身最终能跟踪目标,但如果目标变动迅速,而炮身跟踪目标所需过渡过程时间较长,就不可能击中目标;对自动驾驶仪系统,当飞机受阵风扰动而偏离预定航线时,具有自动使飞机恢复预定航线的能力,但在恢复过程中,如果机身摇晃幅度过大,或恢复速度过快,就会使乘客感到不适;又如函数记录仪记录输入电压时,如果记录笔移动很慢或摆动幅度过大,就不仅使记录曲线失真,而且还会损坏记录笔,或使电气元件承受过大电压。因此,对控制系统过渡过程的时间(即快速性)和最大振荡幅度(即超调量)一般都有具体要求。

理想情况下,当过渡过程结束后,被控量达到的稳态值(即平衡状态)应与期望值一致。但实际上,由于受系统结构、外作用形式以及摩擦、间隙等非线性因素的影响,被控量的稳态值与期望值之间会有误差存在,称之为稳态误差。稳态误差是衡量控制系统控制精度的重要标志,在技术指标中一般都有具体要求。

在同一机电控制系统中,准、稳、快是相互制约的,快速性好,可能会有强烈的振荡;改善稳定性,控制过程可能又减慢,精度也可能降低。这些问题是机电控制所必须解决的重要课题。基本指标以能满足用户的使用要求为度,以能加工制造出合格的工件为标准,不是越高越好,因为有时基本指标的提高,将导致投资的增加。

1.4 机电控制系统的基本控制方式

1.4.1 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产生影响。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相对应,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,这种控制方式还有一定的实用价值。目前,用于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、产品自动生产线、数控车床以及指挥交通的红绿灯的转换等,一般都是开环控制系统。

按扰动控制的开环控制系统是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。如果我们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环控制系统。这种按扰动控制的开环控制方式是直接从扰动取得信息,并以此来改变被控量的,其抗扰动性好,控制精度也较高,但它只适用于扰动是可测量的场合。

1.4.2 反馈控制方式

反馈控制是机电控制系统最基本的控制方式，也是应用最广泛的一种控制系统。在反馈控制系统中，控制装置对被控对象施加的控制作用，是取自被控量的反馈信息，用来不断修正被控量的偏差，从而实现对被控对象进行控制的任务，这就是反馈控制的原理。

其实，人的一切活动都体现出反馈控制的原理，人本身就是一个具有高度复杂控制能力的反馈控制系统。例如，人用手拿取桌上的书，汽车司机操纵方向盘驾驶汽车沿公路平稳行驶等，这些日常生活中习以为常的平凡动作都渗透着反馈控制的原理。下面，通过解剖手从桌上取书的动作过程，透视它所包含的反馈控制机理。如图 1.2 所示，书的位置是手运动的指令信息，一般称为输入信号（或参控量）。取书时，首先人要用眼睛连续目测手相对于书的位置，并将这个信息送入大脑（称为位置反馈信息），然后由大脑判断手与书之间的距离，产生偏差信号，并根据其大小发出控制手臂移动的命令（称控制作用或操纵量），逐渐使手与书之间的距离（即偏差）减小。只要这个偏差存在，上述过程就要反复进行，直到偏差减小为零，手便取到了书。可以看出，大脑控制手取书的过程，是一个利用偏差（手与书之间距离）产生控制作用，并不断使偏差减小直至消除的运动过程。显然，

反馈控制实质上是一个按偏差进行控制的过程，因此，它也称为按偏差的控制，反馈控制原理就是按偏差控制的原理。

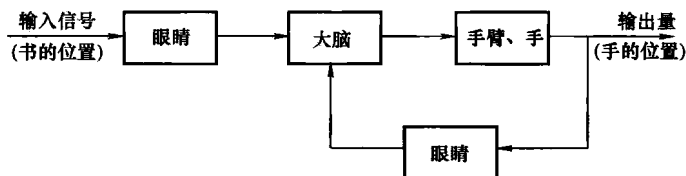


图 1.2 人取书的反馈控制系统方块图

通常，我们把取出的输出量送回到输入端，并与输入信号相比较产生偏差信号的过程，称为反馈。若反馈的信号是与输入信号相减，使产生的偏差越来越小，则称为负反馈，反之，则称为正反馈。反馈控制就是采用负反馈并利用偏差进行控制的过程，而且，由于引入了被控量的反馈信息，整个控制过程成为闭合的，因此反馈控制也称闭环控制。其特点是不论什么原因使被控量偏离期望值而出现偏差时，必定会产生一个相应的控制作用去减小或消除这个偏差，使被控量与期望值趋于一致。可以说，按反馈控制方式组成的反馈控制系统，具有抑制任何内、外扰动对被控量产生影响的能力，有较高的控制精度。但这种系统使用的元件多，线路复杂，特别是系统的性能分析和设计也较麻烦。尽管如此，它仍是一种重要的并被广泛应用的控制方式，自动控制理论主要的研究对象就是用这种控制方式组成的系统。

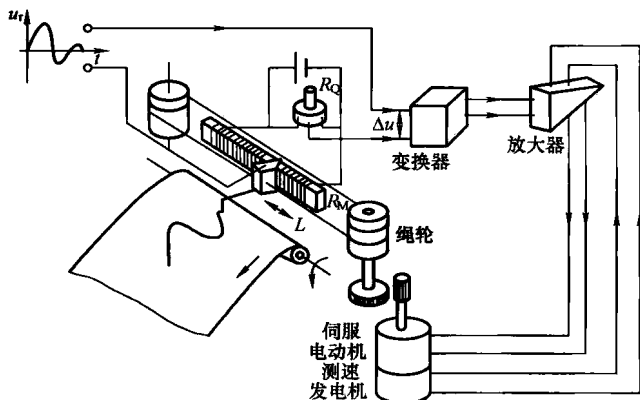


图 1.3 函数记录仪原理示意图

采用反馈控制方式的一个例子是函数记录仪。函数记录仪是一种通用的自动记录仪，它可以在直角坐标上自动描绘两个电量的函数关系。同时，记录仪还带有走纸机构，用以描绘一个电量对时间的函数关系。

函数记录仪通常由变换器、测量元件、放大元件、伺服电动机—测速机组、齿轮系及绳轮等组成，采用负反馈控制原理工作，其原理如图 1.3 所示。系统的输入是待记录电压，

被控对象是记录笔，其位移即为被控量。系统的任务是控制记录笔的位移，在记录纸上描绘出待记录的电压曲线。

在图 1.3 中，测量元件是由电位器 R_Q 和 R_M 组成的桥式测量电路，记录笔就固定在电位器 R_M 的滑臂上，因此，测量电路的输出电压 u_p 与记录笔位移成正比。当有变化的输入电压 u_r 时，在放大元件输入口得到偏差电压 $\Delta u = u_r - u_p$ ，经放大后驱动伺服电动机，并通过齿轮系及绳轮带动记录笔移动，同时使偏差电压减小。当偏差电压 $\Delta u = 0$ 时，电动机停止转动，记录笔也静止不动。此时 $u_p = u_r$ ，表明记录笔位移与输入电压相对应。如果输入电压随时间连续变化，记录笔便描绘出随时间连续变化的曲线。函数记录仪结构见图 1.4，图中测速发电机反馈的信号是与电动机速度成正比的电压，用以增加阻尼，改善系统性能。

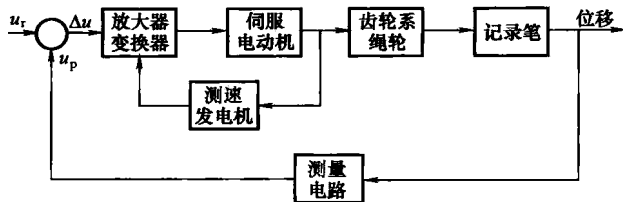


图 1.4 函数记录仪结构图

1.4.3 复合控制方式

反馈控制在外扰影响出现之后才能进行修正工作，在外扰影响出现之前则不能进行修正工作。按扰动控制方式在技术上较按偏差控制方式简单，但它只适用于扰动是可测量的场合，而且一个补偿装置只能补偿一个扰动因素，对其余扰动均不起补偿作用。因此，比较合理的一种控制方式是把按偏差控制与按扰动控制结合起来，对于主要扰动采用适当的补偿装置实现按扰动控制，同时，再组成反馈控制系统实现按偏差控制，以消除其余扰动产生的偏差。这样，系统的主要扰动已被补偿，反馈控制系统就比较容易设计，控制效果也会更好。这种按偏差控制和按扰动控制相结合的控制方式称为复合控制方式。