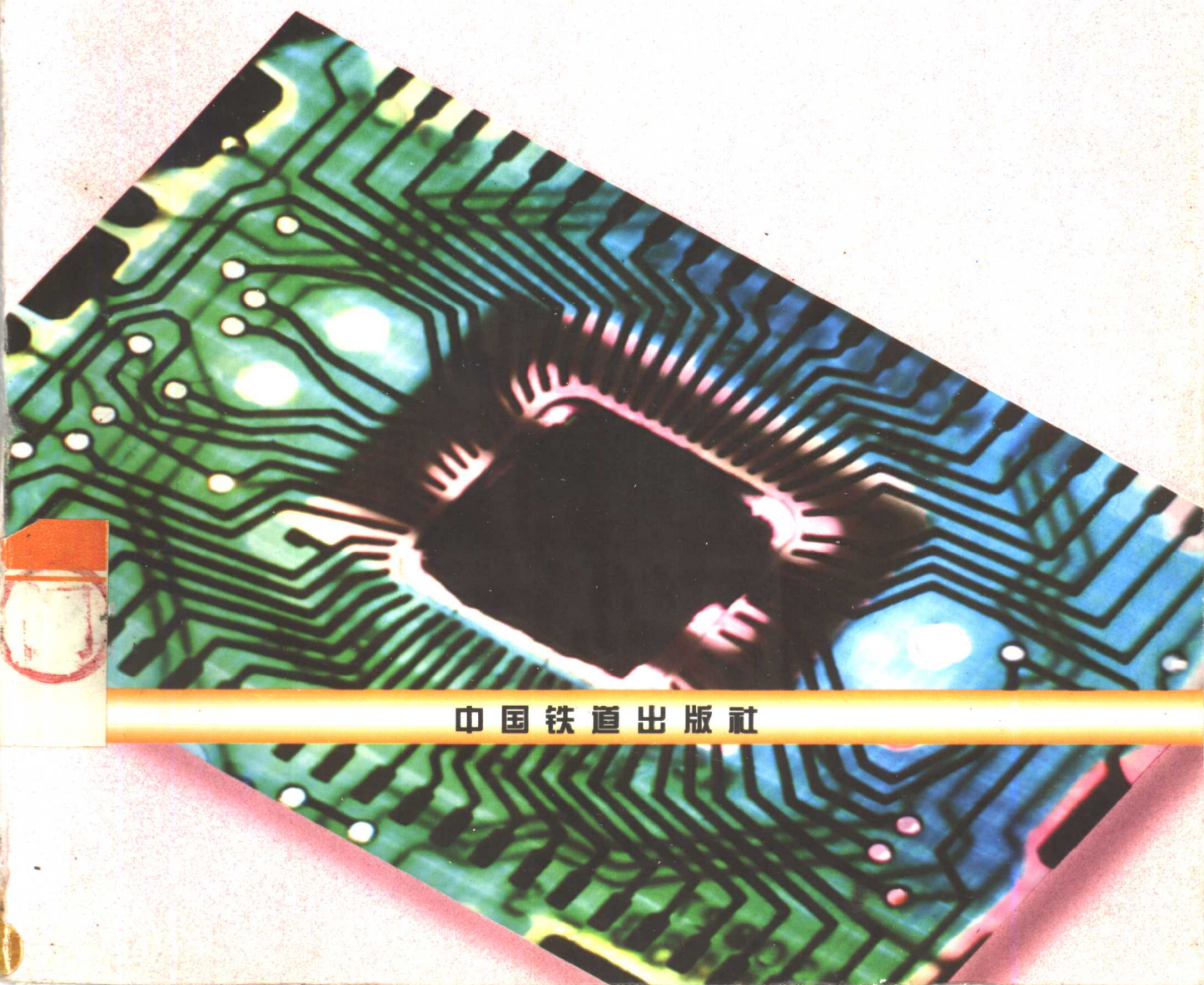


高等学校函授教材

# 自控遥控基础

北方交通大学 蒋大明 主编



中国铁道出版社

33453702

高等学校函授教材

# 自控遥控基础

北方交通大学 蒋大明 主编

中国铁道出版社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

### 内 容 简 介

本书从交通信号与控制专业的需要及打好专业的技术基础出发,结合自控遥控理论与技术的现状与发展,从控制原理、系统建模、控制方法、数据传输基础、调制解调、差错控制等方面,较为系统地介绍了控制与数据传输方面的基本理论和技术原理。书中注重基本概念和基本方法的讲解,略去了繁复的数学计算和推导,由浅入深,便于自学。每章都备有自学指导、本章小结、习题及解答。使读者能在较短的时间内对当今科学的两大热门领域控制和通信的基本原理,以及它们的结合有比较完整的了解。

本书可作为交通信号与控制专业函授本科生教材,也可供相关专业的工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

自控遥控基础/蒋大明主编. —北京:中国铁道出版社,1998  
高等学校函授教材  
ISBN 7-113-02861-6

I. 自… I. 蒋… III. 自动控制-遥控-高等学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 28777 号

中国铁道出版社出版发行

(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑 郭 宇 封面设计 薛小卉

中国铁道出版社印刷厂印 各地新华书店经售

1998年4月第1版 第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18.75 字数: 454 千字

印数:1—4000册

ISBN7-113-02861-6/TP·284 定价:23.70元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

## 编委会名单

|       |           |     |     |     |
|-------|-----------|-----|-----|-----|
| 主任委员  | 恽大文       |     |     |     |
| 副主任委员 | 赵金勇       | 关锋华 |     |     |
| 委员    | (按姓氏笔划为序) |     |     |     |
|       | 王琴放       | 池淑清 | 李 丰 | 李明仪 |
|       | 张 凡       | 张凤翥 | 陈后金 | 周宝珀 |
|       | 周忠雯       | 蒋大明 |     |     |

# 前 言

为了适应铁路现代化建设和人才培养的需要,反映控制理论和数据传输技术在铁路运输自动化领域的最新应用及发展,我们在十几年函授教学实践的基础上,针对成人教育、继续教育的特点,编写了这本教材。

本书从铁道信号自动控制专业的需要出发,对控制理论和数据传输的基本理论做了较为详细的讲解,并使之有机的联系到了一起。全书共分十一章,主要内容包括:自动控制的一般概念、模型、自动控制系统的时域分析、根轨迹法、频率法、控制系统的校正、数字传输系统和基带传输、数字调制与解调、信道干扰与差错概率、同步技术、差错控制等。根据函授教学的特点,本书在叙述上力求做到深入浅出,抛开繁复的数学推导,加强物理概念的讲解。

本书由北方交通大学蒋大明副教授主编。其中:第五至八章由北方交通大学的戴胜华老师执笔,第九至十一章由北方交通大学的李海宁老师执笔,其余各章由蒋大明执笔。全书由北方交通大学张凤翥教授主审。

由于水平有限,书中有不妥之处望读者批评指正。

编者

1997 年 3 月

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一章 自动控制的一般概念.....          | 1   |
| 第一节 引 言.....                | 1   |
| 第二节 开环控制与闭环控制.....          | 2   |
| 第三节 控制系统举例.....             | 5   |
| 第四节 控制系统的组成与对控制系统的基本要求..... | 8   |
| 第五节 现代控制理论.....             | 9   |
| 本章小结 .....                  | 10  |
| 习 题 .....                   | 11  |
| 第二章 模 型 .....               | 12  |
| 第一节 模型的分类 .....             | 12  |
| 第二节 控制系统的数学模型 .....         | 14  |
| 第三节 建立系统微分方程的一般方法 .....     | 15  |
| 第四节 用拉氏变换解线性微分方程 .....      | 21  |
| 第五节 传递函数 .....              | 30  |
| 第六节 动态结构图 .....             | 37  |
| 第七节 自动控制系统及其环节的传递函数 .....   | 49  |
| 本章小结 .....                  | 54  |
| 习 题 .....                   | 54  |
| 第三章 自动控制系统的时域分析 .....       | 57  |
| 第一节 典型控制过程及性能指标 .....       | 57  |
| 第二节 一阶系统分析 .....            | 61  |
| 第三节 二阶系统分析 .....            | 66  |
| 第四节 应用计算机求取系统的响应 .....      | 78  |
| 第五节 稳定性与代数判据 .....          | 81  |
| 第六节 稳态误差分析 .....            | 91  |
| 本章小结 .....                  | 99  |
| 习 题.....                    | 100 |
| 第四章 根 轨 迹 法 .....           | 104 |
| 第一节 根轨迹的基本概念.....           | 104 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 第二节 绘制根轨迹的基本条件和基本规则.....          | 105        |
| 第三节 特殊根轨迹.....                    | 116        |
| 第四节 系统闭环零极点分布与阶跃响应的关系.....        | 124        |
| 第五节 开环零极点变化对根轨迹的影响.....           | 127        |
| 本章小结.....                         | 132        |
| 习 题.....                          | 132        |
| <b>第五章 频 率 法</b> .....            | <b>136</b> |
| 第一节 频率特性.....                     | 136        |
| 第二节 基本环节的频率特性.....                | 140        |
| 第三节 系统开环频率特性的绘制.....              | 148        |
| 第四节 用频率法分析控制系统的稳定性.....           | 151        |
| 第五节 开环频率特性与系统动态性能的关系.....         | 161        |
| 第六节 系统的闭环频率特性.....                | 163        |
| 本章小结.....                         | 169        |
| 习 题.....                          | 169        |
| <b>第六章 控制系统的校正</b> .....          | <b>173</b> |
| 第一节 控制系统校正的概念.....                | 173        |
| 第二节 串联校正.....                     | 175        |
| 第三节 反馈校正.....                     | 180        |
| 第四节 前置校正.....                     | 182        |
| 第五节 根轨迹法在系统校正中的应用.....            | 185        |
| 本章小结.....                         | 189        |
| 习 题.....                          | 189        |
| <b>第七章 数字传输系统与基带传输</b> .....      | <b>193</b> |
| 第一节 数据传输系统的特点、组成和性能指标 .....       | 194        |
| 第二节 基带信号的波形与频谱.....               | 198        |
| 第三节 码间干扰码和奈奎斯特准则.....             | 204        |
| 第四节 基带码型变换.....                   | 207        |
| 本章小结.....                         | 211        |
| 习 题.....                          | 212        |
| <b>第八章 数字的调制与解调</b> .....         | <b>213</b> |
| 第一节 概 述.....                      | 213        |
| 第二节 调制解调器的主要功能.....               | 216        |
| 第三节 数字调制与解调的基本原理.....             | 218        |
| 第四节 调制解调器与 CCITT 建议中 V 系列标准 ..... | 225        |
| 本章小结.....                         | 229        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 习 题.....                  | 229        |
| <b>第九章 信道干扰与差错概率.....</b> | <b>230</b> |
| 第一节 信 道.....              | 230        |
| 第二节 多路复用技术.....           | 236        |
| 第三节 数据传输的信道标准和信道干扰.....   | 239        |
| 第四节 随机噪声的分析.....          | 242        |
| 本章小结.....                 | 250        |
| 习 题.....                  | 250        |
| <b>第十章 同步技术 .....</b>     | <b>251</b> |
| 第一节 概 述.....              | 251        |
| 第二节 载波同步的方法.....          | 252        |
| 第三节 位同步的方法.....           | 255        |
| 第四节 群 同 步.....            | 257        |
| 第五节 网 同 步.....            | 261        |
| 本章小结.....                 | 263        |
| 习 题.....                  | 264        |
| <b>第十一章 差错控制 .....</b>    | <b>265</b> |
| 第一节 差错控制编码的基本概念.....      | 265        |
| 第二节 常用检错码.....            | 269        |
| 第三节 线性分组码.....            | 271        |
| 第四节 循 环 码.....            | 277        |
| 本章小结.....                 | 288        |
| 习 题.....                  | 288        |
| <b>参考文献.....</b>          | <b>290</b> |

# 第一章 自动控制的一般概念

## 自学指导

1. 何谓自动控制?它的定义是什么?能通过日常生活、工业、农业、国防和科学技术现代化中自动控制的大量应用进一步深刻理解自动控制的定义。
2. 反馈控制策略是构成自动控制系统的基本原则,是本课中非常重要的概念。要求能深入比较开环控制与闭环控制(反馈控制)的基本原理,能举出大量实例说明什么是开环控制,什么是闭环控制,为什么要采用反馈。
3. 自动控制系统的类型,可以从不同角度分类。要求能熟悉掌握按给定特征分类的恒值调节系统和随动系统。
4. 对于反馈控制系统,要求能由实际的控制系统原理图,从信号流通角度抽象出职能方框图,并能准确地将被控制量、反馈量、被控对象、扰动量、测量元件等标出,且能详细叙述系统的工作原理。
5. 对系统的控制性能的要求主要体现在稳、快、准三个方面,而研究控制性能主要是从过渡过程入手,对此要有正确的概念。

## 第一节 引言

20 世纪中叶以来,在工程方面和在科学技术的发展过程中,自动控制技术的发展起着极为重要的作用。所谓自动控制就是在没有人直接参与的情况下,通过控制器使被控制对象或生产过程自动地按照预定的规律运行。

在空间技术方面,导弹能够正确地命中目标,人造卫星能按预定的轨道运行并返回地面的控制,也都是自动控制技术的重要组成部分。

交通运输业是国民经济的重要组成部分,随着计算机的应用,对城市交通采用按时基控制的交通管制系统在我国各大城市中已很普遍。但是由于近几年来城市运输车辆的增加,势必要求提高对交通的管制。对等待通行信号的汽车数量进行不断的测量,并将这种信号传递到发出运行信号的控制中心计算机,则这种系统就变成了更高阶段的综合控制系统。

铁路运输要求有更多的控制系统为它服务才能保证运输安全并发挥其运输效能。目前世界各国普遍采用较完善的列车控制系统称为列车自动控制系统 ATC (AUTO M A T I C T R A I N C O N T R O L)。它由行车指挥自动化和列车运行自动化两大部分所组成。行车指挥系统以控制中心计算机为主体实现集中管理分散控制的集散控制方式;列车运行自动化包括列车自动防护 ATP (A U T O M A T I C T R A I N P R O T E C T I O N) 及列车自动驾驶 ATO (A U T O M A T I C T R A I N O P E R A T I O N) 两个子系统。结构框图如图 1—1 所示。

自动控制技术各个领域中的广泛应用,不仅保证了安全,提高劳动生产率和产品质量,

改善了劳动条件。而且在人类征服自然、探索新能源、发展空间技术和改善人民物质生活等方面都起着极为重要的作用。自动控制理论就是研究自动控制共同规律的技术科学,它的发展初期,是以反馈理论为基础的自动调节原理,随着工业生产和科学技术的发展,现已发展成一门独立的学科——控制论。控制论包括工程控制论、生物控制论和经济控制论。工程控制论主要研究自动控制系统中的信息变换和传送的一般理论及其在工程设计中的应用。而自动控制原理则仅仅是工程控制论的一个分支。它只研究控制系统分析和设计的一般理论。

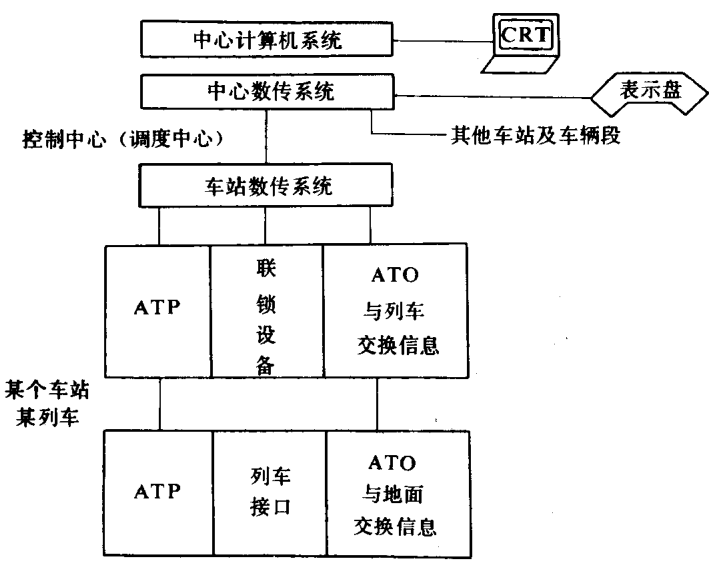


图 1—1 列车自动控制系统框图

第二次世界大战以后,由于生

产和军事的需要,自动控制技术开始迅速地发展起来。到 50 年代末期,自动控制理论已经形成比较完整的理论体系,并在工程实践中得到成功的应用。一般把这个时期以前应用的自动控制理论称为经典(古典)控制理论。50 年代末,由于宇航技术的发展。要求组成高性能、高精度的复杂控制系统,这样一来,经典控制理论已不能完全满足要求;而另一方面,电子计算机的高度发展,又在客观上提供了必要的技术手段,使得自动控制理论又发展到一个新的阶段——现代控制理论。

“经典控制理论”的内容主要以传递函数为基础,研究单输入,单输出一类自动控制系统的分析和设计问题。这些理论由于其发展较早,现已成熟。在工程上,也比较成功地解决了自动控制系统的实践问题。

“现代控制理论”是 60 年代在经典控制理论的基础上,随着科学技术发展和工程实践的需要而迅速发展起来的。它无论在数学工具,理论基础,还是在研究方法上都不是经典理论的简单延伸和推广,而是认识上的一次飞跃。

“现代控制理论”主要以状态空间法为基础,研究多输入、多输出、变参数、非线性、高精度、高效能等控制系统的分析和设计问题。最优控制、最佳滤波、系统识别、自适应控制等理论都是这一领域研究的主要课题。特别是近年来由于电子计算机技术和现代应用数学研究的迅速发展,使现代控制理论又在研究庞大的系统工程的大系统理论和模仿人类智能活动的智能控制等方面有了重大发展。目前,现代控制理论正随着现代科学技术的发展日新月异地向前发展着。

## 第二节 开环控制与闭环控制

### 一、自动控制系统

能够对被控制对象的工作状态进行自动控制的系统,称为自动控制系统。它一般由控制装

置和被控制对象组成。被控制对象(简称被控对象)是指要求实现自动控制的机器、设备或生产过程。例如,飞机、火车、机床以及铁路行车指挥过程或工业生产的某种过程等。控制装置则是指对被控制对象起控制作用的设备总体。

由于控制装置是取代人的一部分工作的,因此剖析一下人在完成一项有目的工作任务中所经历的主要过程,和所需要具备的基本职能,对寻求自动控制的原则、方法无疑是有所裨益的。

为了有效地进行某项工作。人们总是要经常了解工作的动态,观察实际的结果,观察干扰工作正常进行的各种因素和条件。这个步骤称之为观察或调查。

然后将获得的各方面的情况进行分析、对比,看看实际结果和预期的目标相差多少,并统观全局进而作出新的工作安排。这个关键步骤称之为分析比较或决策。

接下去应该是根据新的安排去执行决策。执行的效果如何,需要再观察、再分析,循环往复直至工作结束。

工作中,各种职能的作用及其相互联系,可用方框图 1—2 表明。图中职能机构和工作对象均以方框表示。箭头方向指示了各部分的联系。

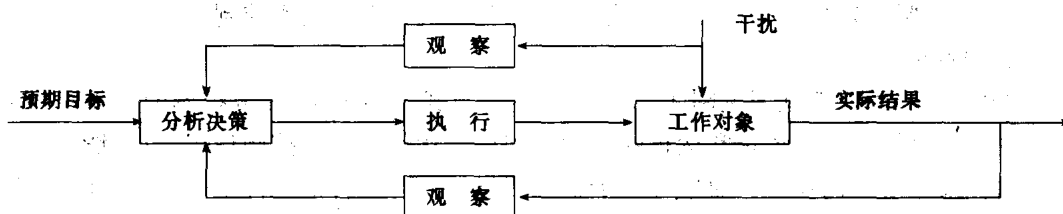


图1—2 人工职能图

如果用技术装置和工程语言代换图 1—2 即:

工作对象——受控对象;

实际结果——被控量;

预期目标——给定值或参考输入;

观察机构——测量元件或传感器;

分析、决策——计算机或控制器;

由此得出自动控制的原理方框图 1—3。

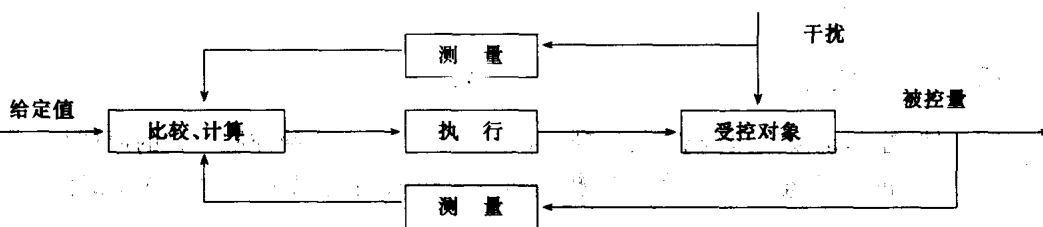


图1—3 自动控制方框图

从图中可看出:控制装置应具备三种基本功能,即测量、计算和执行。这需要相应的元部件来承担。

参与控制的信号来自两条通道,干扰和被控量。这是控制的主要依据。

基于这些分析,可以获得三种自动控制的基本方式,即按给定值操纵和按干扰补偿的开环控制以及按偏差调节的闭环(反馈)控制。

## 二、开环控制

### 1. 按给定值操纵

这种控制方式的原理是：需要控制的是受控对象的被控量，而测量的只是给定值。控制装置和受控对象的结构联系如方框图 1—4 所示，信号由给定值至被控量单向传递，故常称开环控制。



图1—4 按给定值操纵的系统原理方框图

这种控制较简单，但有较大的缺陷。当受控对象或控制装置受到干扰，或工作过程中特性参数发生变化，会直接波及被控量，而无法自动补偿。因此，系统的控制精度难于保证。但是如果系统结构参数稳定、干扰很弱，还是可用的。这从另一种意义理解，意味着对受控对象和其他控制元件的技术要求较高。一些自动化流水线，如包装机等多为这类控制。

### 2. 按干扰补偿

按干扰补偿的原理方框图见图 1—5。这种控制方式的原理是：需要控制的是受控对象的被控量，而测量的是破坏系统正常运行的干扰。利用干扰信号产生控制作用，以补偿干扰对被控量的影响，故称按干扰补偿。而信号源干扰经测量、计算、执行诸元件至受控对象的被控量，也是单向传递的。故亦称开环控制。

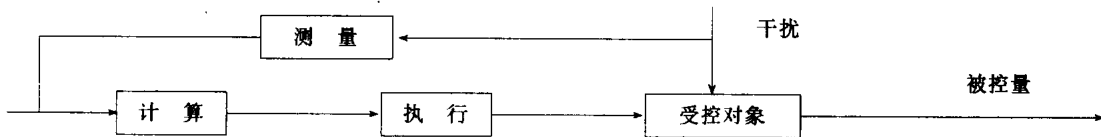


图1—5 按干扰补偿的系统原理方框图

由于测量的是干扰，故只能对可测干扰进行补偿。不可测干扰以及受控对象、各功能部件内部参数变化给被控量造成的影响，系统自身无法控制。因此，控制精度仍然受到原理上的限制。工作机械的恒速控制（如稳定刀具转速）以及电源系统的稳压、稳频控制常用这种补偿方式。

## 三、闭环（反馈）控制

闭环（反馈）控制是按偏差调节，其原理方框图见图 1—6。这种控制方式的原理是：需要控制的是受控对象的被控量。而测量的是被控量对给定值的偏差。无论是由干扰造成的，还是由

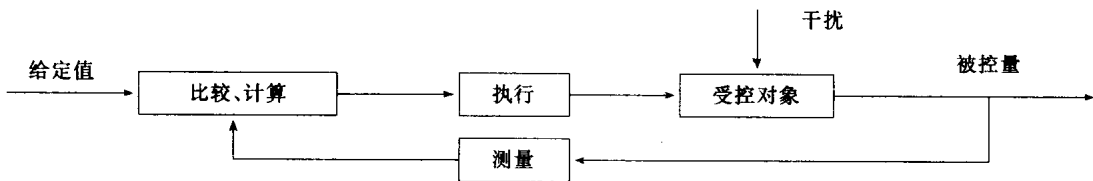


图1—6 按偏差调节的系统原理方框图

结构参数的变化引起的,只要被控量出现偏差,系统就自行纠偏。故称这种控制方式为按偏差调节。显然,这种系统原理上提供了实现高精度控制的可能性。

系统中,控制信号往复循环,沿前向通道和反馈通道闭路传递,故按偏差调节又称闭环控制或反馈控制。反馈控制是自动控制系统中最基本的控制方式,在工程中获得了广泛的应用。

由于反馈控制只有在偏差出现后才产生控制作用,因此系统在强干扰作用下,控制过程中被控制量可能有较大的波动。对于这种工作环境,同时采用偏差调节和干扰补偿的开、闭环复合控制更为合宜。

图 1—4、图 1—5、图 1—6 中除受控对象外,统称控制装置或调节器。故自动控制系统是由受控对象和控制装置组成的,其任务是使受控对象的被控量自动跟随给定值变化,实现的方式是开环控制和闭环控制;控制装置的功能是测量、计算比较和执行。把握这些基本特点,对分析或组合一个控制系统是很有帮助的。

一些新型的控制系统,也都是在这几种基本控制方式的基础上发展起来的。如怎样使测量结果更准确;怎样对控制对象的内部变化了解得更清楚;又怎样实现对某些技术指标来说是最好的控制方案,即所谓最优滤波、最优识别和最优控制,就是在图 1—4、图 1—5、图 1—6 的基础上通过复杂的控制器结构(计算机算法)来实现的。

### 第三节 控制系统举例

#### 一、随动系统

就反馈控制系统来说,如果其控制信号  $r(t)$  为一任意的时间函数,其变化规律无法预先予以确定,且当控制信号作用于系统之后,要求系统准确复现上述控制信号时,我们将承受这类控制信号的反馈控制系统叫做随动系统。随动系统在工业生产中有极为广泛的应用。如函数记录仪、雷达导引系统等都是典型的随动系统。下面以函数记录仪为例加以说明。

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。铁路行车自动控制系统中的运行图记录仪就是函数记录仪的一种应用。

函数记录仪一般采用负反馈原理,其结构通常由衰减器、测量电路、放大装置、伺服电动机、测速机组、齿轮系及绳轮组成。其原理示意图见图 1—7。系统的输入信号是待记录电压。这个电压也可以是被记录的其他物理量,如列车运行图记录仪所记录的是列车运行的地理位置。记录仪的被控对象为记录笔,其位移即为被控制量。函数记录仪控制系统的任务是控制记录笔位移,使其在记录纸上描绘出待记录的电压曲线。

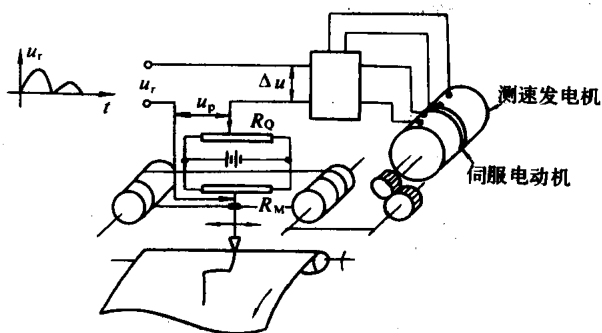


图 1—7 函数记录仪原理示意图

图 1—7 中,测量电路是由电位器  $R_0$  和  $R_M$  组成的桥式线路。记录笔就固定在电位器  $R_M$  的电刷上,因此测量电路的输出电压  $u_p$  与记录笔位移成正比。当存在输入信号  $u_r$  时,在放大装置

输入得到偏差电压  $\Delta u = u_r - u_p$ 。经放大后驱动伺服电动机,并通过齿轮系及绳轮而带动记录笔移动,使偏差电压减小。当偏差电压  $\Delta u = u_r - u_p = 0$  时,电动机停止转动。记录笔也静止不动,此时,  $u_p = u_r$ 。即记录笔位移与输入信号相对应。如果输入信号随时间连续变化。记录笔便描绘出随时间连续变化的相应曲线。

函数记录仪控制系统方框图如图 1—8 所示。图中,测速发电机反馈一个与电动机转速成正比的电压信号,以增大系统阻尼而达到改善系统性能的目的。

由于函数记录仪输入信号(待记录电压)的变化规律一般事先是不知道的,它可以是时间的任意函数,故这种控制系统通常称为随动系统。

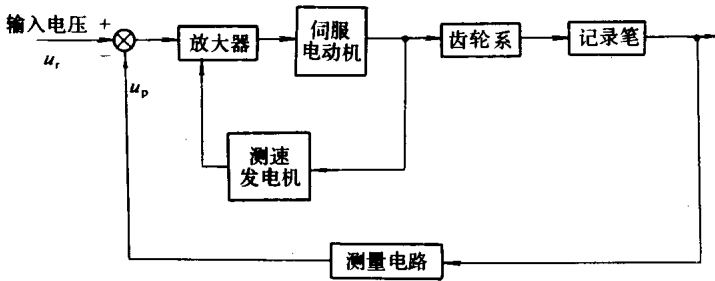


图 1—8 函数记录仪系统方框图

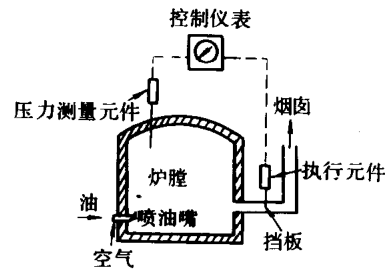


图 1—9 压力控制系统

## 二、稳定系统

如果反馈控制系统的控制信号  $r(t)$  为恒定的常数,即  $r(t) = r_0 = \text{常量}$  (特殊情况下为  $r(t) = 0$ ),而要求被控制信号也保持在相应的常量上,则这类反馈控制系统叫做稳定系统。稳定系统也称恒值调整系统或恒值系统。这类系统在工业生产中的应用也非常广泛,如压力控制系统、电压控制系统、速度控制系统等等。下面我们介绍一些简单的具体例子。

图 1—9 表示一个压力控制系统。炉内的压力由挡板的位置控制,并由压力测量元件进行测量。测出的压力值作为控制信号传递到控制器中。与希望值进行比较。比较后若有差值即误差存在,控制器便将输出量送往执行机构。后者根据差值而相应地转动挡板,达到使误差减至最小,实现恒定压力控制的目的。

## 三、数字控制系统

数字控制是一种用数字来控制设备运动的方法。所谓数字是与上面所举控制实例中的模拟相对应的。前面所分析的控制过程,在系统中通过传递连续变化量(模拟量)对系统进行自动控制,如系统的压力控制、速度控制、电压控制等等。在数字系统中对象的控制是通过二进制信息来实现的。

在这种控制系统中,利用电的(或其他形式的)信号,可以将数字符号转化为物理量(大小或数量),这样就把电码译成直线运动或圆周运动。因此在整个系统中所采用的控制信号或者是数字的(脉冲),或者是模拟的(时变电压)。

下面以机床的数字控制为例加以说明。

图 1—10 是机床数字控制的原理图。系统的输入端按照对加工工件 P 的要求,用纸带穿孔机对纸带进行二进制编码。当设备起动后,将纸带上的信息通过读出器送进系统。输入调频脉冲信号与反馈脉冲信号进行比较,随后数/模转换器将脉冲信号转变为模拟信号,即转变为具

有一定数值的电压值,从而使伺服马达转动起来。刀架的位置由伺服马达的输入信号控制。与刀盘连结在一起的转换器,将刀具的运动转变为电信号,然后通过模/数转换器,又将它转变为脉冲信号。这一脉冲信号与输入脉冲信号进行比较。控制器根据脉冲信号的差值进行数学运算。如果在两个脉冲信号之间存在某一差值,便有信号电压输送到伺服马达,以减小这一差值。

机床用数字控制可以实现以最大的速度加工复杂的零件,使产品的公差保持不变。

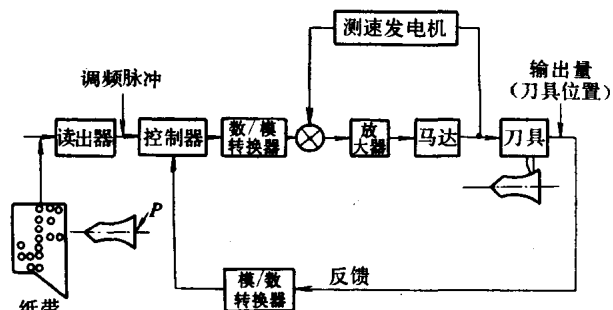


图 1-10 机床的数字控制

#### 四、计算机控制系统

近年来,除了大幅度地发展通用计算机之外,用来直接控制生产过程的专门计算机也得到了发展。这种计算机牺牲了通用性,就能大为简化设计,增加操作的可靠性,增加在控制过程中出现问题的解题速度,使得反应速度大大提高。

生产过程控制机与计算机相比,主要差别在于,它们是直接通过输入测量仪表和输出执行

元件与外界相联系的。这就不需要人参与该系统的工作了,整个计算机控制系统就是:被控对象+控制计算机。

图 1-11 是一个地下铁道行车自动控制系统的实例。

在这个系统中,中央控制计算机是整个行车指挥系统的控制中心。计算机的输入是根据运输需要预先安排好的列车运行图、列车自动运行的数据以及列车自动防护设备所提供的的数据。计算机根据这些给定数据进行运算,然后做出指挥列车运行的决策,产生命令通过有线或无线通道发往机车。

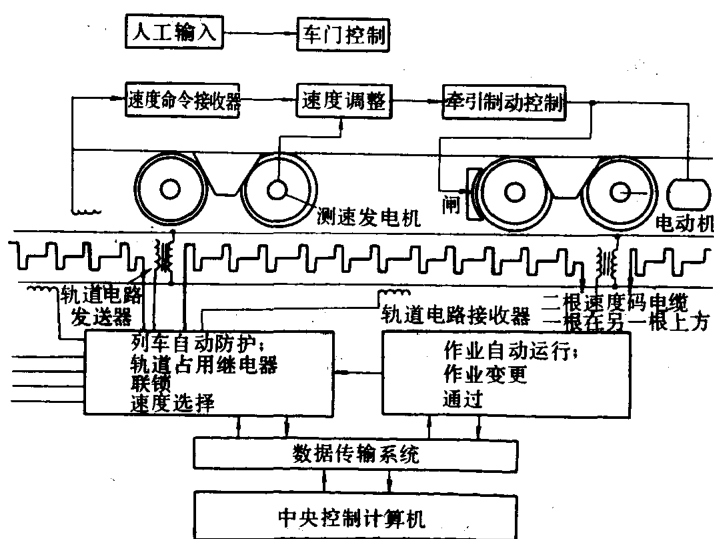


图 1-11 地下铁道行车自动控制系统

在机车上所接收到的速度命令信号是由不同频率产生的脉冲组合。

速度命令接收器将速度命令信号变换为相应的电压送至速度自动调整系统,这是一个连续量的自动控制系统,用来实现列车运行速度的自动控制。

图 1-11 所示的计算机控制系统是铁路信号自动控制系统的典型实例。目前这种系统在我国地下铁道自动控制以及世界各国的铁路自动控制被广泛地应用着。不过这里只给出它的原理框图,而各国所采用的实际系统是有着千差万别的。

这个原理框图给读者描绘了一个行车指挥自动控制的概貌,同时利用这个实例也可以说明这门技术基础课所要研究的基本内容。

首先,在机车上必须装备一套速度自动调整设备,为了记录列车运行情况在控制中心装有运行图记录仪,前者是定值自动调整系统,后者则是随动系统。

为了实现列车运行的安全,在铁路现场还装有信号、联锁、闭塞等设备(即图中的列车自动防护),这些设备则属于控制论中离散自动机理论,也常称为继电电路理论。离散自动机理论对于分析和综合复杂的继电电路是非常重要的。

在控制计算机与离散自动机之间,从框图中可以看到,有一套数据传输系统,这是一套多路通信设备,它是以传递离散信息为主的通信系统。关于这方面的理论基础则是本书后半部分的内容。

关于计算机控制理论的研究,还有专设的计算机控制课程,并不是本课的任务。本课程是为学习铁道信号自动控制专业课讲述必要的理论基础。

## 第四节 控制系统的组成与对控制系统的基本要求

### 一、控制系统的组成

从上述各种控制系统的示例中我们看到,尽管控制系统由不同的元件组成,系统的功能也不一样,但相同的工作原理,决定了它们必然具有类似的结构。例如,它们都含有测量装置、比较装置、放大装置和执行机构。同时,我们还看到,在不同系统中,可以采用不同的元件去实现某一种功能。例如,函数记录仪用桥式电位器线路作为测量装置,以测量记录笔的位移;电动机的速度是用测速发电机作为测量装置,测量电动机的速度。

一般说来,一个闭环控制系统均由以下基本元件(或装置)组成。

**测量元件** 对系统输出量进行测量,也称敏感元件。

**比较元件** 对系统输出量与输入量进行代数运算,给出偏差(误差)信号,起信号的综合作用。这个作用往往是由综合电路或由测量元件兼而完成的,这时统称误差检测器。

**放大元件** 对微弱的偏差信号进行放大和变换,输出有足够功率和要求的物理量。

**执行机构** 根据放大后的偏差信号,对被控对象执行控制任务,使被控制量与希望值趋于一致。

**被控对象** 自动控制系统根据需要进行控制的机器、设备或生产过程称为被控对象。而被控对象内要求实现自动控制的物理量称为被控制量或系统输出量。

**校正装置** 对系统的参数或结构进行调整,用于改善系统性能的元件。

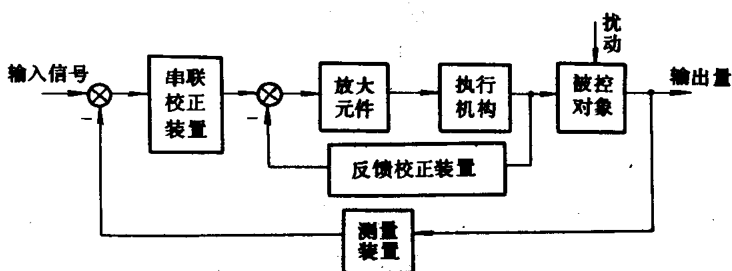


图 1—12 自动控制系统基本组成

一个典型的自动控制系统的基本组成,可用图 1—12 表示。图中,系统的基本元件和被控对象都用方框表示;信号的传输方向用箭头表示,该传输方向是单向不可逆的,这是由元件的

物理特性所决定的；“-”号表示输入信号与反馈信号相减，即负反馈（“+”号则表示正反馈）。

信号从输入端沿箭头方向到达输出端的传输通路称为前向通路；系统输出量经由测量装置反馈到输入端的传输通路称为主反馈通路；前向通路与主反馈通路一起，构成主回路。

此外，还有局部反馈通路以及由它组成的内回路。只有一个反馈通路的系统称单回路系统。有两个以上反馈通路的系统，称为多回路系统。

一般，控制系统受有两种外作用，即有用信号和扰动，它们都可以作为系统的输入信号。系统的有用输入信号决定系统被控制量的变化规律；而扰动是系统不希望的外作用，它破坏有用信号对系统输出量的控制。在实际系统中，扰动总是不可避免的，它可以作用于系统中的任何部位。电源电压的波动，环境温度、压力的变化，运行中负载的变化等，都是现实中存在的扰动。通常所说的系统输入信号，一般是指有用信号。

## 二、控制系统的基本要求

为了实现自动控制的基本任务，必须对系统在控制过程中表现出的性能提出要求。

一般，在没有外作用时，系统处于平衡状态，系统的输出保持原来状态。当系统受到外作用时，其输出量必将发生相应变化，由于系统中总是包含具有惯性或储能特性的元件，因此输出量的变化不可能立即发生，而是有一个过渡过程。因此，过渡过程的性能是衡量自动控制系统质量的重要标志，它反映了对系统性能的动态要求，此外，对系统还有一定的稳态要求，分述如下。

首先，要求自动控制系统必须是稳定的。当系统受到外作用时，稳定的系统，其输出量的过渡过程随时间而衰减，输出量最终能与希望值一致；不稳定的系统，其输出量的过渡过程随时间而增长或表现为持续振荡。要求系统稳定是保证系统能正常工作的必要条件。控制系统设计和调试时，元件参数选择不当或主反馈极性误接为正，都会导致系统不稳定。

其次，要求自动控制系统的过渡过程应有较好的快速性和适当的衰减振荡特性，其性能指标将在有关章节进行分析。

最后，当自动控制系统输出量的过渡过程结束后，要求输出量最终应准确地达到希望值，否则将产生稳态误差。系统的稳态误差应满足给定数值的要求，这是衡量控制系统准确度的标志。

按照给定的控制任务，设计一个既满足稳定性要求，而同时又能满足稳态误差和过渡过程性能指标要求的控制系统，是控制系统工程人员必须解决的课题，也是控制理论这门学科的基本任务。

## 第五节 现代控制理论

目前，以反馈原理为基础的经典控制论，已经形成完整的理论体系，并有了工程实现方法。随着现代技术的发展，特别是电子计算机已作为自动控制系统的一个重要组成部分，现代控制理论亦日益显示出其强大的生命力，并在实践中得到成功的应用。最优控制、自适应控制等现代高精度的自动控制系统，已在工业生产中付诸实现。

### 一、最优控制

最优控制是要求控制系统实现对某种性能标准为最好的控制，这种性能标准称为性能指