

目 录

第四篇 控制论

第一章 内容介绍	(1)
第二章 控制方式和系统图解法	(6)
§ 4—2—1 名词术语	(6)
§ 4—2—2 控制方式	(7)
§ 4—2—3 控制系统图解法	(9)
第三章 动态系统的状态空间表示法	(16)
§ 4—3—1 状态空间法	(16)
§ 4—3—2 控制系统的稳定性	(32)
§ 4—3—3 线性系统的可观察性与可 控性	(42)
第四章 有穷维最优化—静态最佳化控制	(56)
§ 4—4—1 用线性规划求目的函数	(58)
§ 4—4—2 求极小值的直接法 (登山法)	(85)
§ 4—4—3 登山原理的应用	(101)
第五章 无穷维最优化—动态最佳化控制	(107)
§ 4—5—1 最大值原理	(108)
§ 4—5—2 动态规划	(121)
§ 4—5—3 变分法及其应用	(145)
§ 4—5—4 最短时间控制理论	(173)
§ 4—5—5 最大值原理与变分法	(181)
第六章 控制系统的应用实例	(185)

§ 4—6—1	状态方程应用	(185)
§ 4—6—2	最短时间的控制系统	(187)
§ 4—6—3	极值控制系统	(193)
§ 4—6—4	最佳分配控制系统	(199)
第四篇的习题和答案		(203)

第五篇 概 率 论

第一章	内容介绍	(209)
第二章	概率论的基本概念	(215)
§ 5—2—1	随机事件、频率及概率	(215)
§ 5—2—2	概率的古典定义	(218)
§ 5—2—3	概率的加法和乘法	(220)
§ 5—2—4	全概率公式和逆概率公式	(225)
§ 5—2—5	随机事件的独立性	(227)
§ 5—2—6	独立试验序列	(230)
第三章	分布函数及数字特征	(237)
§ 5—3—1	分布函数的概念及其性质	(237)
§ 5—3—2	离散型分布	(238)
§ 5—3—3	二项式分布	(240)
§ 5—3—4	泊松分布	(245)
§ 5—3—5	连续型分布及分布密度	(248)
§ 5—3—6	指数分布	(251)
§ 5—3—7	正态分布	(254)
§ 5—3—8	随机变量的函数分布	(258)
§ 5—3—9	关于数学期望问题	(264)
§ 5—3—10	关于分布的数字特征	(270)

§ 5—3—11	关于标准离差的几种计算方法·····	(281)
§ 5—3—12	多维随机变量及多维分布·····	(289)
§ 5—3—13	关于数学期望与方差的运算定理·····	(300)
§ 5—3—14	大数定律与中心极限定理·····	(301)
§ 5—3—15	几个实用问题的计算·····	(310)
第四章 概率论在工厂产品可靠性生产及管理中的应用		
	·····	(335)
§ 5—4—1	概率与产品可靠性技术·····	(335)
§ 5—4—2	概率对可靠性的定义·····	(337)
§ 5—4—3	产品可靠性与产品质量的关系·····	(339)
§ 5—4—4	概率论与工厂的可靠性管理·····	(340)
§ 5—4—5	概率在产品可靠性试验方面的应用 ·····	(345)
§ 5—4—6	频率分布的主次图和因果图在可靠 性分析上的应用·····	(347)
§ 5—4—7	分布函数与可靠性的主要数量特征 ·····	(353)
§ 5—4—8	故障率的类型及其函数分布·····	(356)
§ 5—4—9	概率统计在可靠性数据的收集和分析 上的应用·····	(359)
§ 5—4—10	应用分布函数确定元器件的可靠性 筛选参数·····	(383)
§ 5—4—11	概率在系统可靠度计算上的应用 ·····	(401)
§ 5—4—12	概率在系统可靠度预测及分配上 的应用·····	(413)
§ 5—4—13	分布函数在设计系统可靠性贮备件的	

最优分配上的应用.....	(418)
§ 5—4—14 分布函数在获得系统最优检查程序上 的应用.....	(427)
第五篇的习题和答案.....	(433)

第六篇 数理统计

第一章 内容介绍.....	(468)
第二章 数理统计的概念及理论.....	(473)
§ 6—2—1 统计总体与随机样本.....	(473)
§ 6—2—2 样本分布及样本数字特征.....	(474)
§ 6—2—3 点估计的协调性与无偏性及点估计 的评选标准.....	(485)
§ 6—2—4 统计推断的原理与有关问题.....	(491)
§ 6—2—5 方差分析.....	(519)
§ 6—2—6 相关分析与计算.....	(535)
§ 6—2—7 几个实用问题的计算.....	(560)
第三章 数理统计在工厂产品抽样检查中的应用.....	(580)
§ 6—3—1 工厂中产品检查及种类.....	(580)
§ 6—3—2 抽样检查.....	(582)
§ 6—3—3 二项式分布及次品率的计算.....	(584)
§ 6—3—4 抽样检查方案的 OC 函数及一次 抽样检查表.....	(592)
§ 6—3—5 故障率抽样检查方案.....	(599)
§ 6—3—6 寿命抽样检查方案.....	(606)
§ 6—3—7 序贯寿命抽样检查方案.....	(620)
§ 6—3—8 电子产品的序贯寿命抽样验收方案	

.....	(630)
第四章 数理统计在工厂质量管理中的应用	(638)
§ 6—4—1 工厂质量管理概述.....	(638)
§ 6—4—2 频数分布与直方图在质量管理中 的应用.....	(643)
§ 6—4—3 巴雷特图(排列图)在质量管理上 的应用.....	(655)
§ 6—4—4 工程能力研究及工程能力图.....	(657)
§ 6—4—5 相关图(散布图)在质量管理中的应用	(661)
§ 6—4—6 在质量管理中使用的统计方法.....	(666)
§ 6—4—7 统计与管理图.....	(671)
§ 6—4—8 运用统计质量管理解决和改进问题 的步骤.....	(687)
§ 6—4—9 在质量管理中分析用的简单统计方法	(688)
第六篇的习题和答案	(714)

第七篇 运筹学

第一章 概 述	(754)
第二章 线性规划	(761)
§ 7—2—1 线性规划问题.....	(761)
§ 7—2—2 线性规划的数学模型.....	(764)
§ 7—2—3 图解法.....	(765)
§ 7—2—4 代数法举例.....	(768)
§ 7—2—5 单纯形法的一般解法.....	(773)

§ 7—2—6	基变换的矩阵方法.....	(779)
§ 7—2—7	单纯形法的计算步骤.....	(785)
§ 7—2—8	应用实例.....	(790)
第三章	网络方法.....	(811)
§ 7—3—1	什么是网络方法.....	(811)
§ 7—3—2	网络图.....	(812)
§ 7—3—3	网络图的绘制规则.....	(815)
§ 7—3—4	路与关键路线.....	(830)
§ 7—3—5	时间参数.....	(832)
§ 7—3—6	时间参数的计算方法.....	(839)
§ 7—3—7	制定最优的计划方案.....	(852)
第四章	存贮论.....	(861)
§ 7—4—1	存贮论的用途.....	(861)
§ 7—4—2	存贮论名词介绍.....	(862)
§ 7—4—3	确定性存贮模型.....	(864)
§ 7—4—4	随机性存贮模型.....	(868)
§ 7—4—5	应用举例.....	(875)
第五章	决策论.....	(881)
§ 7—5—1	决策的概念和类型.....	(881)
§ 7—5—2	确定型决策.....	(884)
§ 7—5—3	风险型决策.....	(885)
§ 7—5—4	决策树法.....	(889)
§ 7—5—5	矩阵法.....	(893)
§ 7—5—6	不确定情况下的决策.....	(898)
§ 7—5—7	决策中的几个问题.....	(903)
§ 7—5—8	应用举例.....	(905)
第六章	对策论.....	(910)

§ 7—6—1	对策现象.....	(910)
§ 7—6—2	对策要素.....	(911)
§ 7—6—3	矩阵对策的数学模型.....	(912)
§ 7—6—4	最优纯策略.....	(916)
§ 7—6—5	混合策略.....	(920)
§ 7—6—6	矩阵对策的解法.....	(923)
§ 7—6—7	应用举例.....	(926)
第七章	模型论.....	(931)
§ 7—7—1	模型的类型和用途.....	(931)
§ 7—7—2	建立模型的方法.....	(933)
§ 7—7—3	应用举例.....	(935)
	第七篇的习题和答案.....	(941)
后 记		(956)

第四篇 控制论

第一章 内容介绍

§ 4—1—1 概述

广义上讲，控制论就是研究在动物（包括人类）和机器中的控制和通讯的一般原则与规律的科学。它着重研究这些原则和规律的数学关系。

控制理论发展很快。人们一般把五十年代前发展起来的、建立在传递函数或频率特性上的动态系统分析的综合方法，叫做“古典”控制论。到了六十年代，由于空间技术及现代大型工业的迅速发展，对自动控制提出了更高的要求，从而促进了古典控制论的发展和完善，出现了以状态空间法为基础的现代控制论。

在工程技术和科学研究发展的过程中，自动控制起着特别重要的作用。尤其在今天，自动控制已变成现代工业生产、工程施工、工厂管理、设备系统运行、机器制造及国防器械中的重要组成部分，而控制论则是自动控制的基础理论。

本篇内容是从工厂角度来扼要介绍有关工程控制系统的基本概念；经常应用的控制理论（如状态空间表示法、有穷维最优化、无穷维最优化等），以及应用实例。至于现代控制论中的其它数学内容，可参阅本书有关篇章。下面将本篇有关章节内容分别作以简要介绍。

§ 4—1—2 控制系统的基本概念

随着生产自动控制理论和实践的不断发展，给人们提供了获得动态系统最佳性能的方法，提高了产品的质量、降低了生产成本、扩大了劳动生产率，同时还能使人们从繁重的体力劳动和重复的手工操作中解放出来。因此，对许多工程技术人员来说，现在都应具备一定自动控制理论的知识。

控制论是现代数学的一个发展分支，它是研究、分析、设计现代工程控制系统的基础理论。为此，在学习控制理论的具体内容之前，用一定篇幅介绍有关控制系统的一些基本概念、名词术语、控制方式、控制系统图解法等。以便使读者对工程控制系统有一个初步的认识；同时，为下面所学理论内容中所涉及到工程系统中的一些基本概念有所了解。

§ 4—1—3 动态系统的状态空间表示法

一个复杂的系统可能有很多个输入和很多个输出，而这么多输入和多输出可能以某种复杂的关系相互联系着。为了分析这样的系统，就必须化简复杂的数学表达式和依靠计算机来进行计算。从这个观点讲，状态空间法对于分析系统是最适合的。

现代控制理论是建立在状态概念上的，状态空间法又是现代控制理论的最基本的数学工具之一。具体地说，状态乃是系统在任何时刻的性态。要了解控制系统中任何被控参数的固有运动规律，就必须掌握状态空间表示法。为了结合工厂实际，在本章中介绍各类常见状态方程及方程的解，状态方程的线性化，还通过以状态方程为基础来介绍控制系统的稳定性分析和

李雅普诺夫稳定性定理。从而使读者了解控制系统的工作品质。

系统的稳定性是可以控制的，或按人们的要求来进行控制。在多变量最佳控制系统中，可观察性和可控性这两个概念起着很重要的作用，可以给出最佳控制问题的完整解存在性的条件。所以在本章还介绍了系统的可观察性和可控性的知识。

§ 4—1—4 有穷维最优化分析—静态最佳化控制

在大多数情况下，有穷维最优化是和静态系统最佳化联系在一起的。所谓最佳化控制，是指在生产过程客观允许的范围内，力求获得生产过程的最好的产品质量和最高产量的一种控制方法；而最佳控制通常是对控制系统本身而言的，它一般是指在获得控制系统最优调节品质方面的一种控制方法。最佳化控制又指更大范围的最佳控制，例如一个参数的最佳调节，一个多变量机组的最佳控制，甚至整个工段、车间、工厂的最佳控制。最佳控制系统的构成不是以反馈的概念为基础，而是以最佳控制过程的数学理论为基础的。特别在目前，由于工业控制机的推广和应用，最佳化控制的问题变得更加重要。

有穷维最优化分析—在静态最佳化控制这一章，重点介绍线性规划和求极小值的直接法（又名登山法）。通过这二种控制方法的介绍，使工程技术人员，特别是对于从事自动化工作的人员来说，在遇到大多数工业对象时，都可以用静态最佳化方法来处理。这对于工厂管理计算机化很实用。尽管静态最佳化控制是不考虑时间因素的最佳控制，但在合理安排全厂的季度生产调度，根据全厂调度安排车间的生产与平衡，工段级监控

计算机进行参数间的综合控制，把产品维持在最好质量和最高产量上等方面，静态最佳化控制得到广泛应用。

§ 4—1—5 无穷维最优化分析— 动态最佳化控制

无穷维最优化通常与连续时间的动态系统有关。譬如说，纯量控制变量 $u(t)$ 在每一瞬间的数值就是无穷维的。

近年来，随着人们对于科学实践认识的深化，认识到工业生产过程单考虑静态的因素往往不能满足特定条件的要求，于是逐渐发展了动态最佳化理论（例如典型的理论有用变分法解决电力系统负荷分配；用最大值原理解决状态切换控制；用动态规划方法解决反应炉触媒自动分配问题），并取得较显著的成果。

动态最佳化控制与静态最佳化控制，其最大区别是前者考虑了时间过程的影响，它多数用于时间过程影响明显的对象，特别是分级控制系统。因此在本章介绍了涉及动态最佳化控制一无穷维最佳化有关的控制方法；变分法及其应用；最短时间控制理论；极大值原理和动态规划等内容。以使读者用这些内容去解决工厂所用有关设备中的动态最佳化控制问题。

§ 4—1—6 应用实例

由于现代控制论涉及内容较多，在实际应用中的例子也很多，本篇不能一一介绍。从上述章节内容介绍中可以明显看出，所介绍的都是工业生产过程控制系统中所涉及到的一些控制论的内容。为了巩固所学内容，帮助读者结合实际去解决这

些理论的使用，现针对我们所学的内容列出一章来介绍一些应用实例：最短时间控制系统；极值控制系统；动态模型闭环控制系统及最佳分配控制系统。至于其它控制系统，如最佳数字控制系统、随机控制系统等，读者可参阅本书有关篇章内容进行分析和应用。

第二章 控制方式和系统图解法

§ 4—2—1 名词术语

对象：是一种设备。它是由一些机器零件有机地组合在一起来完成一种特定动作的被控物体。

过程：任何被控制的运行状态为过程。如化学过程、经济学过程和生物学过程。

系统：系统是一些部件的组合，以完成一定的任务。系统不限于物理系统，也可用于抽象的动态现象。

扰动：扰动是一种对系统的输出量产生相反作用的信号。扰动按发生在系统内部或外部为内扰动和外扰动。外扰动是系统的输入量。

反馈控制：它是这样一种控制过程，它能够在存在扰动的情况下，力图减小系统的输出量与参考输入量之间的偏差，而且其工作也正是基于这一偏差基础之上的。

反馈控制系统：系统根据按偏差控制的反馈原理建立的控制系统。

随动系统：它也是一种反馈系统。在这种系统中，输出量是机械位移、速度或者加速度。随动系统有时又称位置（或速度、或加速度）控制系统。

自动调整系统：它也是一种反馈系统。相应的也有人工调整系统。它是通过调节器使输出量维持在所希望的状态（或数值）上。

过程控制系统：当自动调整系统的输出量是温度、压力、流量、液面、酸碱度、成分含量等这样一些变量时，就叫做过程控制系统。

§ 4—2—2 控制方式

一、开环控制和闭环控制

(一) 开环控制

见图 4—2—1。若系统的输出量对系统的控制作用没有影响，则叫做开环控制系统。在这种系统中，既不要对输出量进行测量，也不需要将输出量反馈到系统输入端与输入量进行比较。

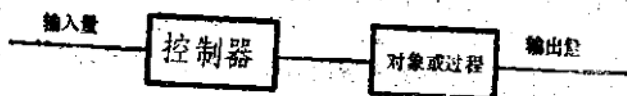


图 4—2—1 开环控制系统

(二) 闭环控制

凡是系统输出信号对控制作用能直接影响的系统，都叫做闭环系统。故闭环控制系统也叫做反馈控制系统。该系统的输入信号和反馈信号（它可以是输出信号本身，也可以是输出信号的函数或导数）之差，叫做误差信号。误差信号加到控制器上，以减小系统的误差，使系统的输出量维持在所希望的状态（或数值）上。图 4—2—2 表示闭环控制系统的方块图。从

图中可看出输入量与输出量之间的关系。该系统是用输出量去影响控制器，以使对象或过程的输出量维持在所希望的状态（或数值）上。测量元件是用来感受并把输出量变换成控制器所要求的输入控制信号。

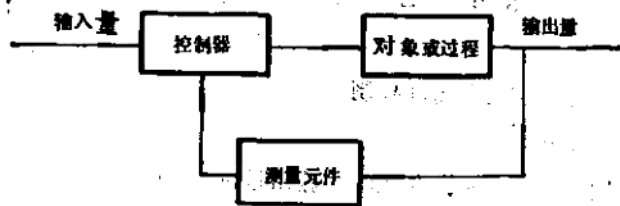


图 4—2—2 闭环控制系统

（三）闭环控制和开环控制系统比较

闭环系统的优点是采用了反馈，因而使系统响应对外扰和内部系统参数变化很不敏感。这对给定的控制对象，可以采用精度低、成本低的元件构成精确的控制系统。而开环控制系统则不能实现这一点。

从稳定性来看，对开环控制系统倒不是重要问题。当系统的输入量能预先知道，并不存在任何扰动时，采用开环控制好。稳定性对闭环控制系统始终是一个重要问题。因为当存在着无法估计的扰动或系统中元件参数存在着无法预计的变化时，闭环系统就显示了其优越性。

再从系统输出功率大小来看，采用开环控制系统可减小系统所需要的功率。这是因为系统输出功率大小，在某种程度上确定了随动系统的成本、重量和尺寸，在商业系统中，确定了主要投资和人力等。

二、其它控制方式

(一) 直接控制与间接控制

为了获得好的控制结果，需要对表征系统工作状态或产品的质量物理量进行直接地测量和控制，但又因为产品的质量很难进行测量，所以就提出了控制第二变量（有的称为二次参数）。例如物质成分量，很难直接控制，而是通过测量，将成分量变换成电讯号去间接控制。

(二) 适应式控制系统

由于许多原因，大多数控制系统的动态特性不是恒定的，如元件老化，环境变化等。这些因素对系统的性能是有影响的，所以要采用具有一定适应能力的系统，才能满足要求。所谓适应能力，就是系统本身能够随着环境条件或系统本身结构不可预计的变化，自行调整或修改系统参量。这种本身具有适应能力的控制系统，叫做适应式控制系统。

(三) 学习控制系统

如果我们对人工控制的闭环控制系统进行分析，就要求列写描述人动作的微分方程，这是个困难的问题。若操作人员学习一定时间，获得了丰富的经验，起到了一个控制器的作用，那么在分析系统时，就应予以考虑。这种具有学习能力的系统，就称之为学习控制系统。

§ 4—2—3 控制系统图解法

一、控制系统方块图

(一) 方块图

控制系统，是指由被控制对象和控制装置所构成的、能够对被控制对象的工作状态进行控制的系统。控制系统可以由许多元件组成。为了表明每个元件在系统中的功能，在控制工程中，我们常应用“方块图”的概念。

图 4—2—3 表示了一个方块图单元。指向方块的箭头，表示输入，而从方块出来的箭头则表示输出。箭头上表明了相应的信号。



图 4—2—3 方块图单元

(二) 方块图的作用

在方块图中，通过函数方块，可将所有的系统变量联系起来。“函数方块”或简称为“方块”，是对加到方块上的输入信号的一种运算符号，运算结果以输出量表示。元件的传递函数，通常写进相应的方块中，并以标明信号流向的箭头，将这些方块连接起来。信号只能沿箭头方向通过。

用方块图表示系统的优点是：只要依据信号的流向，将各元件的方块连接起来，就能容易地组成整个系统的方块图，并且通过方块图，可以评价每个元件对系统性能的影响。

总之，方块图比物理系统本身，更容易体现系统的函数功能。方块图包括了与系统动态特性有关的信息，但它不包括与系统物理结构有关的信息。因此，许多完全不同和根本无关的系统，可以用同一个方块图表示。另外，由于分析角度不同，