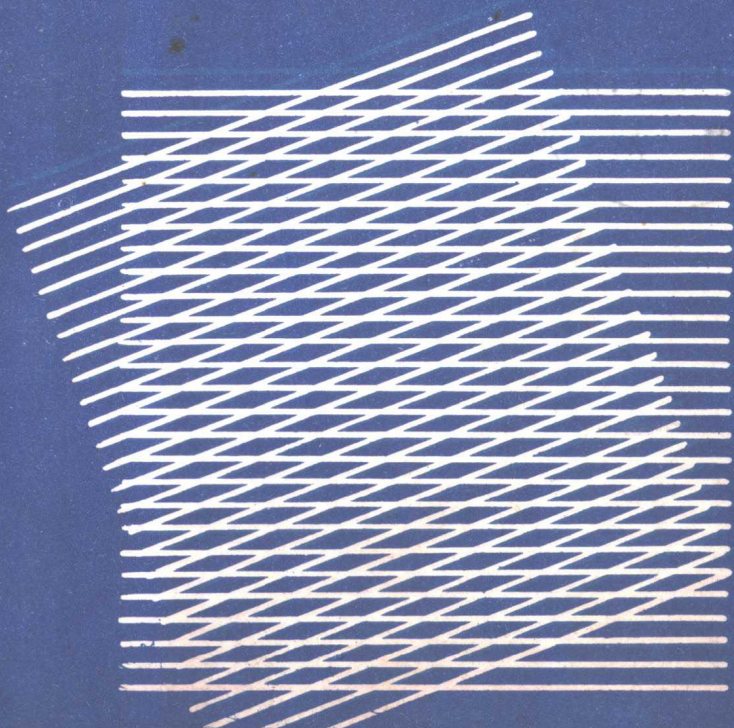


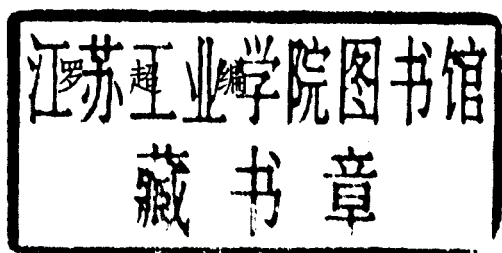
控制论与工程控制

罗超 编



哈尔滨船舶工程学院出版社

控制论与工程控制



哈尔滨船舶工程学院出版社

内 容 简 介

本书共分四章。首先从具体控制系统出发，引出控制系统中的有关定义，并逐章介绍了维纳控制论的内容。然后分别介绍了工程控制论、生物控制论、经济控制论、社会控制论及人工智能。再次，分别介绍了经典控制理论方法、现代控制理论方法及大系统控制理论。最后还介绍了控制论引起的哲学问题。

本书可作为大中专学生及从事自然科学、社会科学、哲学的教学、科研和管理人员阅读，也可作为高等院校及中专的教材。

控制论与工程控制

罗 超 编

*

哈尔滨船舶工程学院出版社出版
新华书店首都发行所发行
哈尔滨市地质印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 6.75 字数 138 千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数: 1—1500册

ISBN 7-81007-082-7/C·1

定价: 1.00 元

总 序

十年前,当科学的春天刚刚来临的时候,哈尔滨船舶工程学院自然辩证法研究室注意到现代科学的发展趋向,为了促进自然辩证法研究,建立自然科学家与哲学、社会科学工作者的联盟,及时组织了全院各专业的专家和研究室的部分教师开办了自然辩证法讲习班,成立了“系统科学学术小组”(当时叫“三论”小组),开展了相当规模的学术研究和普及活动。讲习班和学术小组的人员组成涉及数、理、化、电子工程、自动控制、计算机、造船、管理、科学方法论、科学哲学等十几个专业。不同专业的人员聚集在一起,从各种角度讨论了现代科学技术、哲学的许多问题,见仁见智,形成了一些有价值的新见解。进入80年代以后,结合自然辩证法研究室的现代科学方法论的研究,我们作为讲习班和系统科学学术小组的成员陆续为研究生、本科生开设了系统科学概论、科学哲学、控制论、信息论等课程,并且参加了一些科普班、短训班的教学。这些研究和教学活动促使我们编写了一些不同层次的讲义,对这些讲义的整理和完善就成了摆在读者面前的这套丛书。这套丛书反映了我们教学与研究的成果,但由于我们水平所限,加上一些客观因素的制约,书中肯定会有许多不完善的地方,甚至可能出现错误,这只能在以后再版修正了。

这套丛书的主题是系统科学及其相关问题,试图以我们

自己的方式把系统科学的研究成果（包括我们自己的观点和思想）通俗地介绍给读者。邓三瑞教授承担了编著这套丛书的主编工作，马智、李友松副教授任副主编。这套丛书由四本书组成。《控制论与工程控制》由罗超编写，《信息论与信息科学》由卢侃、王岩编著，《系统工程与社会》由邓三瑞、李建国编著，《系统科学概述》由李友松、马智编著。编著者都是自然辩证法研究室的教师和系统科学学术小组的成员。

《控制论与工程控制》一书的目的是想让工科学生了解控制论这一横断学科，扩充其知识面；也想让一些相关的社会科学、管理科学和哲学工作者深入浅出地定性掌握这一学科的基本原理、概念及其应用。所以编者先从一些具体的控制系统出发，引出维纳的控制论经典定义及反馈等主要概念。考虑到维纳《控制论》写的艰深，编者特意用比较通俗的语言逐章介绍了《控制论》的内容。工程控制是各种控制理论的源头，编者赋予了它在全书中的特殊地位，特别介绍了工程控制的方法。在写作方式上，为了使数学基础不同的读者都能各取所需地吸收理解控制理论，编者将定性的讲解与定量描述结合了起来。编者对控制论的历史沉浮和现实发展作了一定的介绍，尽力使全书变得生动有趣。控制论历来与哲学有着密切的关系，因此，编者在最后一章讨论了控制论所引起的哲学问题。

《信息论与信息科学》一书着重介绍了现代信息理论的基本概念、方法，用浅显易懂的例子和简单的数学工具对现代信息理论的各个分支，如信号检测理论、模式识别理论、估计理论、通信理论与编码理论等，分别作了引导性的阐

述。为了给予信息概念以更为客观的描绘，编著者加进了“物性的变异与约束”作为全书最基础的第一章。这本书在写法上侧重于把信息科学与认知科学结合起来，认为认知过程也是一种信息活动过程，甚至属于信息活动的高级层次。考虑到管理科学、社会科学的发展，编著者在全书的后半部分介绍了现代信息工程和现代信息理论在社会中的应用。

《系统工程与社会》一书回答了什么是系统工程，怎样理解系统工程与相关领域的关系这两个问题。编著者认为，作为一种理论，系统的核心概念是整体性决策；作为一种实践活动，系统工程的实质是控制走向社会。在现代社会条件下，系统的出现不是孤立的偶然事件。系统工程是一种事理科学，其理论基础应当是物理科学形态的系统科学。它走向社会愈深入，它就愈具有事理科学的色彩，就愈具有融会物理学的思想方法与事理科学实质的性质。系统工程与系统科学一道影响了现代社会中人的行为方式和思维方式，带来了社会科学、哲学的一些新变化。本书在叙述方式上贯彻了历史与逻辑统一的方法论原则，力图浅显地说明系统工程的内容和方法。

《系统科学概述》是这套丛书的最后一本，带有浓厚的概括总结色彩。编著者讨论了系统的概念和系统关系范畴，从历史的角度介绍了系统科学发展的各个阶段所出现的不同系统理论，深入研究了以系统科学为代表的现代科学方法。在此基础上，结合学界已有的成果，形成了系统科学框架、性质和作用的认识，展望了系统科学的未来发展。系统科学给哲学带来了许多问题，作为哲学工作者，编著者探讨了系统科学在世界观、方法论方面的革命意义，讨论了系统科学

作为一种具体的横断学科与哲学的关系。

这套丛书可供大中专学生以及从事自然科学、社会科学、哲学的教学、科研和管理人员阅读，也可以作为高等学校有关专业、各级管理干部以及各类成人教育学校、短训班的教材。

本书中的缺点和错误在所难免，恳请读者给予指正。

编 著 者

1989年4月

目 录

第一章 绪 论

第一节 什么是控制系统?

- 一、从恒温箱说起 1
- 二、方框图表示法 3
- 三、控制系统的基本特点 4
- 四、控制系统中的有关定义 6

第二节 什么是控制论?

- 一、控制论诞生的历史背景 7
- 二、控制论基本思想的形成 8
- 三、别开生面的新学科——控制论 11
- 四、维纳“控制论”一书的内容简介 13

第二章 控制论分论介绍

第一节 工程控制论

- 一、工程控制论与其他控制论 30
- 二、闭环控制系统与开环控制系统 33
- 三、古典控制理论与现代控制理论 44

第二节 生物控制论

- 一、生物控制系统的例子 46
- 二、生物控制系统的特点 55

第三节 经济控制论

- 一、经济控制论的形成 85

	二、负反馈与正反馈	69
	三、经济反馈的不同形式	73
第四节	社会控制论	
	一、控制论应用于人口预测	78
	二、教育控制论	86
	三、控制论应用于研究科学技术系统的发展	88
	四、控制论与社会改革	92
第五节	人工智能	
	一、人类智能与人工智能	98
	二、人工智能的例子	102
	三、人工智能研究的三条途径	110

第三章 控制论方法

第一节	经典控制理论方法	
	一、经典法对控制系统性能指标的要求	116
	二、控制系统的数学模型	120
	三、基本控制作用	146
	四、系统稳定性分析	155
第二节	现代控制理论方法	
	一、控制系统的状态空间研究法	158
	二、最优控制问题	167
	三、自适应和自学习控制系统	172
第三节	大系统控制理论	
	一、大系统理论的对象、内容和方法	173
	二、大系统的结构方案	177
	三、大系统的“分解-协调”方法	181

第四章 控制论引起的哲学问题

第一节	“人是机器”命题的评价	
	一、“人是机器”是批判宗教神学和唯心论的 战斗口号	187
	二、“人是机器”所表达的还原论思想的意义 ...	190
第二节	控制论引起的哲学问题	
	一、反馈控制和行为方法	193
	二、生物控制论和生命问题	195
	三、人工智能与机器思维	197
	四、人机共生问题	199
第三节	历史的教训	
参考文献	205

第一章 绪 论

这一章我们首先从介绍一个简单的控制系统着手，进而介绍什么是控制论。

第一节 什么是控制系统

一、从恒温箱说起

了解和研究生物学要从细胞着手。了解和研究经济学要从商品着手。了解控制论就要从了解一个比较简单的具体控制系统着手。恒温箱就是这样一个控制系统的例子。它虽然是一个特殊的工程控制系统，但是却包含有普遍意义的东西。

图1-1是一个恒温箱的示意图。箱子里插入一个温度计，还有一个加热电阻丝和开关串联起来的电路。我们首先看用人工方法是怎样保持这箱子为恒温的。然后再看用构成自动控制系统的方法怎样使它保持恒温的。

先来看人工控制箱子使之恒温的过程。例如我们要

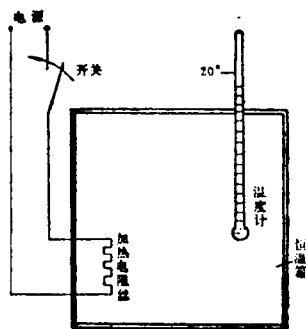


图 1-1

保持箱子温度为 20°C （假定周围环境温度低于所要保持的温度），我们一面用眼睛观察温度计，一面用手打开或接通开关。当温度计的水银柱低于 20°C 时，我们用手合上开关。这时电流通过加热电阻丝，产生热，使箱子里面的温度上升。到了 20°C ，我们将开关断开，电流不通，电阻丝不产生热，这样，温度就达到了 20°C 。一会儿，箱子里面的温度因散热下降了。又得这样用人眼观察，用人手控制，使它恒定地保持在 20°C 。这就是用人工控制使箱子保持恒温的操作过程。

再来看用控制系统代替人工使箱子保持恒温的过程。如图1-2，我们在图1-1的基础上增加了一个弹簧，一个继电器以及接到温度计上的有关线路。它们的作用就是代替人工的操作。具体的工作过程如下：弹簧的作用是拉住开关，使得开关在一般情况下处于接通的状态，这时电阻丝发热。继电器就是电磁铁，当有电流通过它时，它就产生吸力，将开关拉开。当没有电流通过它时，它没有吸力，开关被弹簧拉回。温度计内的水银柱是可以

导电的。图1-2线路的接法，使得在温度未达到要求的温度（假如 20°C ）时，这线路无电流，因而继电器无吸力。一旦温度升高达到了要求的温度时，此线路接通，继电器产生吸力，将开关吸开。所以弹簧与继电器相当于人的动作——接通或打开开关。温度计上接的线路相当

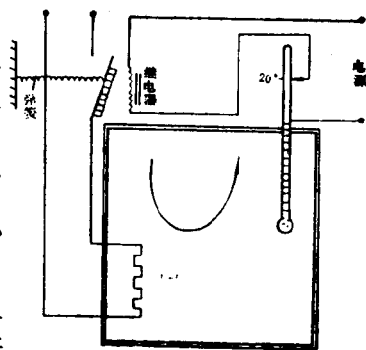


图 1-2

于眼睛的观察，它能比较是否达到了所要求的温度。继电器与温度计之间线路相当于人体器官的传递作用，当达到了 20°C 就通知继电器去吸引开关。

二、方框图表示法

常用一种方框图表示法研究自动控制系统，即用方框及线条表示各部件之间的信息传递关系，而不代表物质、能量之间的关系。恒温箱的方框图如图1-3。它也是说明一般控制系统的关系图。控制系统有其输入量与输出量。这里，输入量就是要求的温度（如 20°C ），输出量是恒温箱里的实际温度（在 20°C 上下）。被控对象是箱子。继电器、开关和电阻丝起着执行加热或不加热的作用，称为执行机构或控制器。温度计是测量机构或感受器，用来测量被控对象的温度。电路的接法构成了将温度计所测得的温度与要求的温度进行比较的机构，称为比较机构， \otimes 符号表示比较器，比较是正负相减之意，故用 $+$ 、 $-$ 符号。比较的结果用来决定开关的动作，决定电阻丝加热与否。一般的，最基本的控制系统都有与此类似的机构或部件，它们的互相关系也类似于这温控系统。

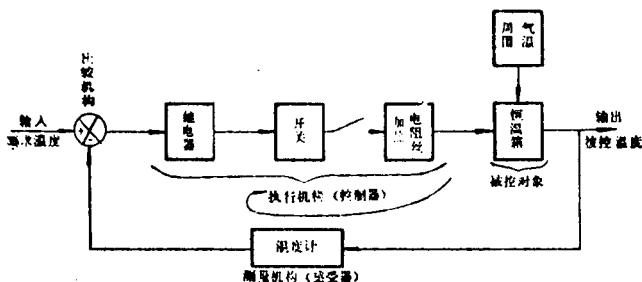


图 1-3

三、控制系统的基本特点

从温控系统可以看出，一般控制系统有以下三个特点：

1. 控制系统的控制过程就是信息的传递、变换的过程。再举一个生活上的例子说明就更明显。你打电报让一个外地同志去办一件事，他办好后回你一个长途电话。这里，你们两人构成一个控制系统，你控制他去办事，他给你一个回音（反馈）。控制过程就是用电报、电话通讯的过程。也就是信息流动的过程，所以控制过程就是通讯的过程。恒温箱中温度计水银柱的高低（它是机械的位移量）信息转换成电路的导通与否的电的信息，又转换成电磁铁的磁力有无的信息，又转换成开关的接通或断开的信息，再转换成电阻丝发热与否的信息，最后又转换成箱内温度高低（即分子运动的快慢）的信息。总之，不管是机械的、电的、磁的、分子运动的变化，它们都是传递着信息、起着控制的作用，达到恒温的目的。

2. 控制系统是闭环的反馈系统。从上述恒温箱的工作原理图1-2及方框图1-3都可以看出，它们是一环扣一环的、头尾相连的循环作用过程，也就是说闭环的系统。反馈的意思就是说被馈送出去的量（这里就是输出的被控制的温度）又把它反输回来，在输入端用作决定是否加温的信息之用。信息流动及反馈的方向我们用箭头表示在图1-2、图1-3中。反馈概念是控制系统中非常重要的基本概念之一。

3. 控制系统性能的研究要引入统计概念。闭环反馈系统的被控制量一般会出现振荡的现象。从恒温箱的控制也可看出。当温度计达到要求温度 20°C 时电路断开了，但电阻丝还要发热一段时间，温度就要超过 20°C 。譬如超过 1°C 或

0.5℃。等过一段时间后，因箱子散热才回到了20℃。待低于20℃时，系统又开始接通。这种围绕某一平衡位置周而复始的上下波动称为振荡，它是由于系统有惯性等原因所造成的。电阻丝断电后仍发热一段时间，称为热惯性。其他机械、电气等部件也都可能有机械、电气的惯性，都可能引起系统振荡。

当然，我们可以想办法使它振荡得小些，像人工控制时，我们可以用眼睛看温度计，在温度快达到但尚未达到20℃时，根据水银柱上升速度的快慢提前打开开关，依靠热惯性达到20℃。这种根据控制量变化速度来决定提前控制的方法，就是所谓微分控制的概念。还可以采用更复杂的控制方法使得温度控制更精确些。但只能使振荡的幅度变小（0.1℃或0.05℃），而振荡还是在所难免的。

温控系统可以代替人工控制，并且会根据周围环境温度的变化来调整自己的动作，达到恒温的目的。如果恒温箱周围环境温度为0℃，那么接通加温的时间就长，断开的的时间就短。而如果周围环境温度为15℃，接通加温的时间就短了。此外，还有其他随机因素变化，如箱子保温性的变化，加热电阻丝电源电压的波动都会影响系统的调节功能，但由于系统具有闭环反馈特性，所以，仍然能保持系统温度为20℃。当然相应地也会引起一些随机偶然的波动。所以，我们说恒温20℃是指在各种环境干扰情况下，恒温箱温度在不断的波动，它的统计平均值为20℃。如图1-4所示。

这种被控量能保持在某一确定值，即使它有一些微幅（如1℃或0.5℃）的振荡，我们仍称此系统为稳定的系统。假如由于电的或者机械的某些故障，该拉开开关时不拉开或

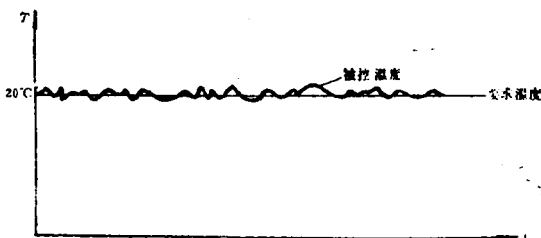


图 1-4

该接通时不接通，系统就不能保持在 20°C 左右。或者温度上不去，或者温度一直升高，这叫做不稳定系统。有关系统性能以及各种控制方法等将在以后进一步讨论。这里先初步引出一些基本概念。

四、控制系统中的有关定义

现在我们将一般控制系统中常遇到的术语下一个定义。

图1-5为一典型控制系统方框图。

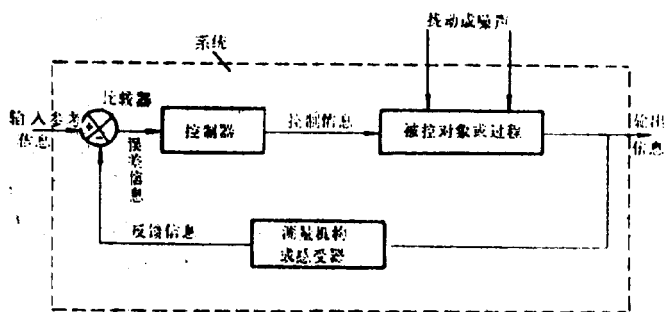


图 1-5

系统 系统是一些机构的组合，这些机构由信息联系在一起，完成一定的任务。系统的概念也可以应用于抽象的动

态现象，如在经济学、社会学中遇到的一些现象。

控制 通过信息给对象以命令叫控制。

对象 为完成一定任务的被控制机构叫对象。

过程 被控制的连续运行状态为过程。如化学反应过程、经济学调节过程和生物学进化过程。

控制器 起控制作用或发出控制信息的执行机构叫控制器，有时人们将比较器也包含在控制器里面。

比较器 反馈控制系统中用以比较输出反馈信息与输入参考信息间误差的机构。

测量机构 反馈控制系统中用以检测出输出信息作为反馈信息的机构。

输入信息 一般是指输入系统的标准的或参考的信息。

输出信息 系统正常运行状态下输出的信息。

扰动 是一种对系统输出量起干扰作用的信息。如果扰动产生在系统的内部，称内扰；扰动产生在系统外部，则称为外扰。外扰也是系统的一种输入量。

第二节 什么是控制论

一、控制论诞生的历史背景

早在二千多年前我国人民中就有自动控制的思想。他们先后发明了铜壶滴漏计时器（自动计时），自动定向指南车（自动导航）以及各种模拟天体运行的天文观测仪器等自动装置。现代的自动控制系统是在18世纪欧洲的产业革命时才开始产生。蒸汽机飞球调速装置、液面控制装置和温度控制装置等自动化装置在工业生产中广泛地得到应用。随着有关