



科学家爷爷
谈科学

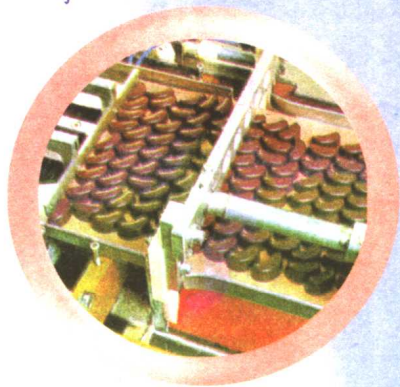
人类对万物的驾驭术

著名科学家谈控制论

陈翰馥 程代展 著

广西师范大学出版社

科学家爷爷谈科学



人类对万物的驾驭术

——著名科学家谈控制论

陈翰馥 程代展 著

广西师范大学出版社

科学家爷爷谈科学
人类对万物的驾驭术
——著名科学家谈控制论
陈翰馥 程代展 著

责任编辑:唐丹宁

封面设计:陶雪华

责任校对:张维红

版式设计:林 园

广西师范大学出版社出版发行

邮政编码:541001

(广西桂林市中华路 36 号)

南宁包装印刷集团公司印刷

*

开本:880×1230 1/32

印张:4.25

字数:96 千字

1999 年 3 月第 1 版

1999 年 3 月第 1 次印刷

印数:00 001—20 000 册

ISBN 7-5633-2801-7/O·035

定价:9.00 元

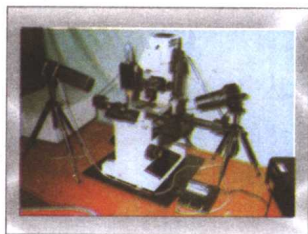
《科学家爷爷谈科学》丛书
编辑出版工作委员会

主任:何林夏

委员:肖启明 汤志林 陈仲芳 龙子仲 廖幸玲
沈 明 姜革文 郑纳新 梁再农 覃丽梅
唐丹宁 宋铁莎 于诗藻 李敏俐 肖向阳
李苑青 林 园 莫庆兰



编者的话



科学是什么呢？

远古的时候，人们看到世界上有许多稀奇古怪的事物，弄不懂它们是怎么回事，就用想象来解释它们的存在。比如说，看见风在吹，就想：风不会无缘无故吹来，一定有个什么东西在风的后面吹气或扇扇子。这个在风后面的东西，古人就管他叫风神。

后来，随着人类生产实践的发展，人们发现了很多事物的规律，比如，风是因为空气中冷暖气压不同造成气体流动而形成的。这种通过实践而掌握的对事物的客观认识，就是一种科学认识。科学与神话的区别正在于客观性和主观性的区别上。科学观念是一种对待未知世界和已知世界的客观的态度，认为世界万物都是有联系的，因此可以在实践当中发现它的客观规律。这种规律，被记录传播下来，就是科学知识；对这些知识的实际运用，就是科学技术。

130741/05



科学知识可以增进和强化人们的科学观念;同样,科学观念又促使人们发现更多的科学知识。所以,我们在学科学的时候,一方面要学习科学知识,另一方面更要树立科学观念。

基于上述认识,我们组织了这套科学家爷爷谈科学丛书。作者们绝大多数都是中国科学院的院士,是名副其实的科学家。他们长期从事科学研究,具有最进步的科学思想,掌握着最新、最丰富的科学知识,并对树立和普及中华民族的科学世界观有着崇高的责任感,这就注定了这套丛书的特色:

首先是丛书所介绍的科学知识的严谨性、尖端性和权威性。作者们长期工作在世界科学研究的前沿,对科学的发展有着精深的理解和高远的前瞻。他们所介绍的科学知识,也是最新、最好的。

其次是丛书作者不只是单纯地介绍科学知识,而且字里行间都贯穿着客观认识世界的科学智慧和科学观念。读者从中不仅可以获得科学的世界观,而且还可以获得科学的人生观,以及科学认识的方法。

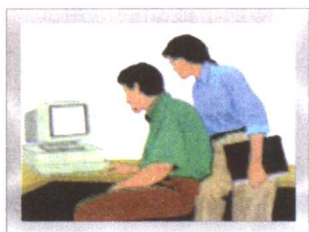
最后,这套丛书涉及领域很广,从自然科学到技术科学到哲学社会科学,无不涉及。丛书首批 28 个分册,每分册谈及一个分支学科或研究领域,以图文并茂的形式、生动活泼的语言,介绍本学科或研究领域的起源、发展、研究内容、代表人物、分支流派、社会作用及发展趋势等基本内容。大科学家的大手笔的驾驭,使这些丰富深奥的内容得以简洁、通俗地表现。

可以确认,这是国内少见的、最具科学品位的一套科普读物。我们也相信,它的作用和影响,一定会被带到下一个世纪。

1998 年 8 月



前言



这本小册子既不是讲故事，也不是科学幻想小说，而是希望用中学生们听得懂的语言介绍一门崭新的、严肃的、生机勃勃的新学科——控制论。

控制论诞生于本世纪中叶，作为一门技术科学，它是机械自动调节及控制技术发展及其在工业、通讯、军事等方面的运用进展到一定水平后的一种总结和飞跃，也是应用数学、物理学、信息科学等理论对自动控制实践的概括和升华的结果。总之，正如钱学森所指出的，它是技术革命的产物。

近几十年来，由于航空、航天、航海等领域对控制系统提出的“速度快”、“精度高”、“品质好”等的要求，同时也由于电子计算



机的发展为这些要求提供了可能,从而使控制论得到了日新月异的飞速发展。现在,除了在宇宙飞船、导弹制导和飞机、轮船驾驶系统等领域中自动控制技术具有特别重要的作用外,在现代机器制造和工业生产过程中,它也成了不可或缺的一个重要组成部分。

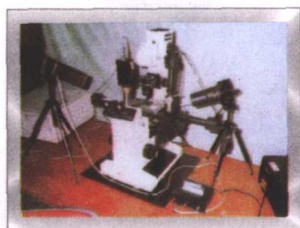
随着控制理论的发展与完善,它的原理已在生物、医药、社会、经济、生态环境等领域得到了成功的应用。

人类是宇宙的主人,人们认识世界就是为了改造世界。而控制论就是指导我们能动地改造世界的一种方法论。

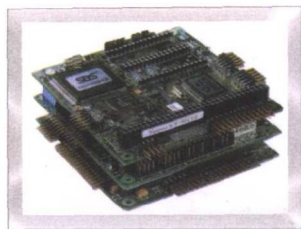
控制论源于工程,归根结底也用于工程,但它是工程控制的理论概括和总结,这种飞跃需要许多数学、力学和物理学知识。我们希望这本小册子能让你了解控制论的一个概貌。但要读懂它,需要你的耐心、好奇心和执著的探索精神。希望它能成为你——未来的系统科学家和控制工程师——的一本启蒙书。



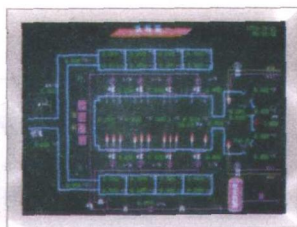
目 录



- 1 一、什么是控制论
- 2 1.1 控制：无所不在的神灵
- 5 1.2 系统与控制的理论——控制论
- 10 1.3 维纳与控制论
- 15 二、从调节原理到现代控制理论
- 16 2.1 自动调节原理
- 20 2.2 工业自动控制器
- 25 2.3 钱学森与工程控制论
- 28 2.4 现代控制理论在中国的兴起



33	三、系统的分类与控制
34	3.1 卡尔曼与状态空间方法
38	3.2 线性系统的初步
41	3.3 从线性到非线性
46	3.4 分布参数系统
49	3.5 概率与随机系统
53	四、线性系统——控制论的基础
54	4.1 向量与矩阵
56	4.2 线性系统的能控性与能观测性
62	4.3 维纳滤波
65	4.4 系统辨识
69	五、寻找最佳控制



5.1 别尔曼与动态规划原理	70
5.2 从变分法谈起	74
5.3 庞特里亚金与极大值原理	77
5.4 H_∞ 控制	79
六、计算机——现代控制的执行者	83
6.1 过程控制与自动机原理	84
6.2 人工智能与智能控制	91
6.3 神经网络方法	95
七、探索复杂系统的控制	101
7.1 大系统理论	102
7.2 经济系统控制	105
7.3 生态、人口及生命科学中的控制理论	108



112

7.4 混沌及其控制

123

八、展望

● 一、什么是控制论





1.1 控制：无所不在的神灵

“什么是控制？”如果有位朋友这样问你，你一定很吃惊：又不是小孩，怎么问这种问题。是的，“控制”这个字眼几乎人人都很熟悉。当然，如果要给控制下一个严格的科学定义，也许并不容易。但这是写百科全书或编字典的先生们的事，我们这本小册子并不打算越俎代庖，替他们做这种事，我们就先按大家所默认的那种“控制”的意思谈起吧。或许，从实际的例子中我们可以慢慢地悟出其内涵，从而得到对“控制”的比较清晰的概括。

控制，像一个神灵，它无所不在。

当你坐在电视机前，手握遥控器，选择频道并调节声音强度时，你在控制电视机。当你坐在汽车上，看司机手握方向盘，决定行车路线；脚踩油门，掌握车速，你会想到，是司机在控制汽车。也许你在洗澡时，你靠热水阀门与冷水阀门控制水量和水的温度。也许你在吃涮羊肉时，你靠旋钮控制着火锅的火力大小……生活中处处有控制。

如果你到工厂去，在机械厂，你看到车工开车床，他们靠手柄控制进刀速度，靠变速箱控制车床转速。在炼钢厂，他们靠顶吹氧气的进气量调节炼钢炉内的温度，从而控制钢的还原化学反应。

如果你到水库或水电站去，你看到技术员靠调节水闸门的高低控制水流量，从而保证发电机的正常运行。

在机场的指挥塔，人们用雷达指挥飞机升降，控制跑道。在火车站的调度室，人们靠计算机统筹，控制铁路网的畅通……

在工农业生产中，控制无疑是人们最得力的助手。



也许我们可以这样描述控制系统：它不是钟摆，也不像任何一部只是不断重复一个单调动作的普通机器。它具有一定的灵活性和适应性，可以根据周围环境的变化，吸收并分析得到的信息，并据此自动调整自己的行为。而在控制系统中能够实现这种调整功能的机制就是控制，或者称之为“控制器”。

这里，我们要特别强调一类控制，它不像前面举的某些例子那样简单而显见，它们的控制功能是自动完成的。

例如你们家里的电冰箱，你从它的电动机的响声可以知道它是处于通电或断电状态。电冰箱是否需要通电制冷是根据箱内的温度来决定的。但你并不需要去测量温度，然后根据温度来决定是否打开开关，电冰箱会自动做这件事。这就是我们通常说的“自动控制”。自动控制是控制理论研究的主要对象。

在核电站，大型反应堆里有很强的辐射性，人们是不可以接近它的。要自动控制铀棒在反应炉中的位置，才能保证反应堆安全运行。

导弹在空中飞行，必须根据地形、气流等条件调整自己的飞行轨道，没有人坐在上面驾驶它。

人造卫星、宇宙飞船、航天飞机……在超高速飞行中，全靠计算机和各种仪器仪表去实现自动控制。

在科学研究中，在高科技领域里，控制理论正扮演着越来越重要的角色。

从报纸、电视或广播中，你常常会看到或听到这样一些说法：某地的病虫害得到控制；由于大量植树，加强水土保持工作，京郊的沙漠化现象得到控制与逆转。还有如通过宏观调控，我国的通货



膨胀率得到控制，等等。

这里谈到的控制，实际上是人类对生态环境、对社会经济系统的控制。这种控制就更复杂了。它涉及到许多因素，难以完全由一个数学模型来刻画它，有时甚至不完全是一个自然科学的问题。可以说，人们还没有完全掌握它们的规律，许多问题还在探索之中。

也许，你正走在北京王府井大街上。在拥挤的人流中你或许会想到：这样下去还得了！我们一定要控制人口。

也许，你会因为考试考砸了，或者和朋友吵翻了，你情绪失常，回家发脾气，甚至痛哭。这时，你父母会对你说：你要控制自己的感情。

你大概听说过关于试管婴儿、精子银行所引发的种种议论与争议吧？还有遗传工程、基因再造以及克隆羊等带来的各种迷惑和猜测吧？这些都关系着人类自身的发展和未来，并引发了深刻的伦理和道德问题。

人类正在设法了解和控制自身，控制人类的未来。自从50年代染色体DNA分子双螺旋结构被发现以后，生命的奥妙正在被破译。生物工程、分子动力学……这些与生命及遗传有关的科学正在飞速发展。有人说：生命科学将是下一个世纪最具挑战性的学科。而控制论必将在其中发挥举足轻重的作用。

总之，从生活到工农业生产、科学研究、国防建设，无处不留下“控制”这个神灵的足迹。从社会生活，经济运行，生态到生命科学，人类对环境、对自身命运、对未来的探索，到处都是控制论的用武之地。



1.2 系统与控制的理论——控制论

“控制论”顾名思义，就是研究控制的理论。控制，有点像打仗。中国有句古话：“兵来将挡，水来土掩。”控制正是如此，它的基本特点就是：要针对不同的情况采用不同的策略。打仗要研究兵法，要实现高质量的控制就要研究控制系统的性质及控制规律。这门学科就叫控制论。

也许有人会问：对于本书前面所谈到的那么广泛的、几乎无所不包的控制，我们究竟能找出多少规律？这话问得不无道理，现有的控制理论，在对付许多控制问题上还力不从心。在某些方面，例如对生命科学等，我们能做的事情还十分有限。况且，这本小册子也不可能对控制论作面面俱到的介绍。这里仅介绍目前控制论的主要研究对象和比较成熟的结果。

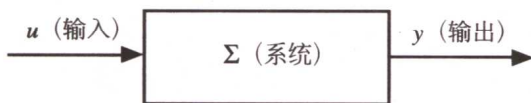


图1 控制系统

图1是一种典型系统的图示法：用一个方匣子表示一个系统。 Σ 是这个系统的模型。方匣子有一个输入，我们通常把它称为控制输入，用 u 表示。 u 经过系统加工，得到一个输出，记作 y ， y 也称为观测输出。我们不能直接看到匣子里的东西，只能看到 y 。这有点像电子游戏机。 u 像手柄，你可以把它放到不同位置。 y 像图像。比如小人。不同的 u （即手柄转到不同位置），小人就会有不同的动