

控制论^与 科学方法论

金观涛 华国凡 著

新星出版社 NEW STAR PUBLISHER

控制论与 科学方法论

金观涛 华国凡 著

新星出版社 NEW STAR PUBLISHER

图书在版编目(CIP)数据

控制论与科学方法论/金观涛著. --北京:新星出版社,
2005.4

ISBN 7-80148-809-1

I. 控… II. 金… III. 控制论 IV. O231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 041902 号

出版发行:新星出版社

出版人:谢刚

社址:北京市东直门南大街9号华普花园

邮政编码:100007

电话:010-84094409

传真:010-84094789

E-mail: newstar_publisher@163.com

印刷:山东新华印刷厂临沂厂

开本:880×1230 1/32

印张:7.125 字数:143千

版次:2005年5月第一版 2005年5月第一次印刷

印数:0001~6000 定价:16.00元

版权专有 侵权必究·如有质量问题,请与印刷公司联系调换

(电话:0539-2925659)

台湾版序

台湾读者一定听说过这些年来席卷大陆的控制论、系统论、信息论(也称三论)热潮。本书就是这方面的著作之一。

这本书从写作、出版差不多历时十个年头。最初是我们给学生写的讲座,在“文革”后期(1974—1975)曾以油印本在地下流传。1983年才正式出版。今天书中的内容、概念以及各种词汇已十分普及。

当初,我们是本着向中国读者普及控制论和科学方法论的目的写这本书的,故没有对书中的很多概念的来由做清楚的交待。其实书中的一些概念已融入了我们自己的创造。本书的写作尽力取中国人喜闻乐见的形式。同时我们也加进了很多自己多年思考的成果,例如:可能性空间、共轭控制、突变理论和质变的关系、组织论模式等等。因此,台湾读者不必因本书构架和许多概念和 cybernetics、control theory 有所不同而奇怪。我相信台湾读者会对书中的内容感兴趣的,并通过本书看到作者的探索道路。

因本书另外一位作者华国凡先生目前在美国旧金山,故只能由我一个人来撰写台湾版的序言。

金观涛 1988年春节前夕于中关村

序 言

最伟大的东西是世界上最简单的东西，它和你自己存在一样简单。

辨 喜(19世纪印度哲学家)

这是一本试图运用控制论、系统论的某些概念来介绍科学方法论的书。

促使我们来写这本小册子的，是十年前一个偶然的事件。

有一次，我们向一位化学界的老教授谈起控制论，认为这门和电子计算机一起成长起来的边缘科学提供了许多有益的方法论启示。他不相信，他认为一切被称为方法论的东西无非是事后诸葛亮，对科学研究无济于事。在争论中，他向我们提出了挑战。当时他正在探索“的确良”合成的新工艺，实验遇到巨大的困难；做出来的产品的黏度总是太低，一个多月来，还没有找到失败的原因。他说，如果你们的控制论真对科学方法论有所建树，就应该拿出解决的办法来。在他的提议下，我们这些既没有做过聚合实验，又没有足够的

化学知识的外行帮助他分析起问题来。我们发现,老教授虽然对这一具体的化学问题有比我们丰富的知识,然而,有一些在我们搞控制论的人看来极为简单的原则却被忽视了。比方说,反应釜是一个黑箱,实验的目的是要控制化学反应朝某个方向进行,从控制论的角度来分析,很显然,为了控制反应,我们必须获得关于反应进行程度的足够的信息,并使信息系统构成负反馈体系。在分析了实验过程后,我们认为失败的关键在于未能获得足够的信息量,因此不能形成有效的控制。这不是一个化学问题,而是一个控制方法的问题。为此,我们提出了一个简单的改进办法,例如建立一个新的仪器系统,准确及时地取得反应釜中变化的信息以及考虑信息的反馈。最初,老教授半信半疑。第二天,他和助手们开始考虑我们的方案,不到一个星期,实验成功了。从此以后,老教授对控制论的方法论发生了浓厚的兴趣。并运用有关的原理又陆续完成了一些很出色的工作。他建议我们把控制论的方法论讲一讲,认为这是一件有意义的事情。这本小册子就是在几个讲座的基础上开始写作起来的。

如果我们去追溯控制论思想的源流,就能发现它至少是三条悠长的支流汇合的结果。

一条是数学和物理的发展。特别是19世纪末20世纪初,吉布斯提出了统计力学,20世纪20年代后,量子力学又建立起来了。有不少科学家认为:与其说我们这个世界是建立在必然性之上的,倒不如说是建立在偶然性之上的,许多物理定律仅仅是大量事件统计平均的结果。科学的发展迫使人们回答必然性和偶然性之间的关系。于是,确定性与非

确定性以及它们之间关系的研究成为科学界最热门的课题。概率论的成熟,热力学中的熵直至信息概念的提出,就是这一研究的逐步深入。

另一条支流是生物学和生命科学的进展。科学家早就发现,生物界不是一个充满必然性的机械世界,另一方面,生物个体行为也不能用统计力学和量子力学所用的纯或然语言来刻画。生命的活动中既有或然性,也有必然性。生命是怎样把必然与偶然统一起来的?科学家对生命的机制发生了浓厚兴趣。20世纪三四十年代,生物学家提出了“内稳定”概念,意味着人类对这一问题的认识已推进到新的阶段,它直接为控制论的诞生奠定了基础。

第三条支流是人类对思维规律的探讨。它集中地反映在计算机制造和数理逻辑的进展。数学家特别是计算机的研制者们企图用数学语言来模拟人的思维过程。第二次大战前后,电子计算机的制造成为控制论成熟的前奏曲。

在20世纪40年代,标志着这三条支流汇合的科学著作终于出现了。1947年,维纳的《控制论》就是作为统一它们的最初尝试。尽管维纳的这本书中有许多错误,有很多大胆的但后来被证明是不妥切的设想,但这本书震动了科学界。科学家们被建立各门学科的统一方法论的雄心所吸引。一大批各个领域中的专家纷纷互相对话,控制论、系统论成为二次大战后直至今天的不可忽视的科学思潮。

由于控制论中含有把各门学科分支统一起来的科学方法论,它在各个领域中的运用都取得了辉煌的成果。经济控制论、社会控制论、工程控制论、生物控制论、信息论、教育控

制论……一座座新兴的科学大厦在迅速建造中。但另一方面,对控制论方法本身的研究,特别是从科学方法论角度来清晰地阐述和总结它,反而显得薄弱了。这就造成一种印象:控制论方法是一种极度抽象高深的东西。特别是初学控制论的人,在碰到控制论中“信息”、“通道容量”、“滤波”、“超稳定系统”等一大堆名词时,往往被弄得晕头转向。控制论所运用的数学工具,往往令人望而生畏。那么是不是不懂高等数学,就无法掌握控制论的基本方法呢?不是,控制论不是一门只能用数学来表达的科学。这本书我们就打算撇开数学,从科学方法论的角度来谈谈控制论。我们力求使所涉及的问题以通俗的方式得到说明,以便让从来没有接触过高等数学的读者也能毫不费力地跟大家一起参加讨论,不至因数学语言的隔阂而妨碍他对方法论的兴趣。

我们的讨论不一定局限在经典控制论和系统论中,而是拓展到整个科学领域。比如我们花了很大篇幅讨论了近年来出现的突变理论及其对哲学的贡献。而突变理论的出发点,是控制论中有关系统稳定性的问题。

读者显然不能指望从这本小册子了解到控制论的全貌。书中所引述的例子,一部分来自科学和生活等各种领域,一部分来自中国古典哲学。这是因为现代科学的某些思想往往在今天我们能够以精确的方式表述之前,就被我们的祖先注意过,有的甚至还被认真地研究过。

我们赞同一句格言:“与其不断重复一句不会错的话,不如试着讲一句错话。”它经常鼓励我们去考察那些虽不成熟但富有吸引力的新鲜思想,并把它们收集起来跟大家一起

讨论。

我们并不鼓励读者完全接受书中的每一个观点,但希望本书所提供的思考方式会有助于打开读者的思路。希望读者在读完本书后能提出更多的问题并斧正本书的种种谬误。

金观涛 华国凡

1979年

目 录

台湾版序	1
序 言	1
第一章 控制和反馈	1
1.1 可能性空间	1
1.2 人通过选择改造世界	5
1.3 控制能力	8
1.4 随机控制	14
1.5 有记忆的控制	19
1.6 共轭控制	20
1.7 负反馈调节	24
1.8 负反馈如何扩大了控制能力	27
1.9 正反馈与恶性循环	30
第二章 信息、思维和组织	34
2.1 什么是知道	34

2	控制论和科学方法论	
2.2	信息的传递	38
2.3	信息是一种客体吗	44
2.4	通道容量	46
2.5	滤波:去伪存真的研究	51
2.6	信息的储存	60
2.7	信息加工和思维	65
2.8	信息和组织	70
第三章	系统及其演化	75
3.1	系统研究方法中的因果联系	76
3.2	相对孤立系统	81
3.3	系统的稳态结构	84
3.4	稳态结构和预言	89
3.5	均匀和稳定	93
3.6	不稳定和周期性振荡	97
3.7	超稳定系统	101
3.8	系统的演化	105
3.9	系统的崩溃:自繁殖现象	112
3.10	自组织系统	118
3.11	智力放大与超级放大器	125
第四章	质变的数学模型	129
4.1	哲学家和数学家共同的难题	130
4.2	质变可以通过飞跃和渐变两种方式实现	133
4.3	事物为什么具有确定的性质	138

4.4	稳定机制：稳态结构的数学表达	141
4.5	事物性质的不变、渐变和突变	147
4.6	怎样判别飞跃	150
4.7	飞跃和渐变的条件	155
4.8	关节点：蝴蝶、燕尾及其他	157
4.9	矫枉必须过正吗	163
4.10	极端共存	166
4.11	共同的使命	168
第五章 黑箱认识论		170
5.1	认识对象和黑箱	170
5.2	认识论模式	178
5.3	可观察变量和可控制变量的限制	181
5.4	理论的清晰性	184
5.5	模型逼近客观真理的速度	189
5.6	反馈过度	193
5.7	可判定条件	196
5.8	科学和人	202
附 录	关于 12 个乒乓球问题 沈学宁 陈宗泽	206

第一章 控制和反馈

有始也者,有未始有始也者,有未始有夫未始
有始也者。

庄 周

1.1 可能性空间

一切科学研究都必须有一个出发点。几何学的大厦是建立在公理基础上的,控制论和系统论的研究则始于可能性空间。

什么是可能性空间呢?我们先来举一个化学方面的例子。很久以来,化学家发现有两种氨基酸分子,它们的化学组成完全相同,不同的是原子的排列方式,化学家分别把它们称为 L 型和 D 型旋光异构体。它们的化学性质是相同的,照理说它们都可能组成蛋白质。奇怪的是,人们发现今天地球上所有生物的蛋白质都是由 L 型氨基酸组成的,这是怎么回事儿呢?原来,D 型氨基酸只能与 D 型氨基酸组成蛋白质,L 型也只能与 L 型组成蛋白质,D 型不能与 L 型组成混合的蛋白质链。同一型氨基酸组成的生物才能形成一个生

命系统。这样,在生命起源的最初阶段,大自然就面临着一个重要的选择:是选择 D 型呢还是选择 L 型?看起来这有点像掷硬币游戏,掷中正面还是掷中反面往往可以决定赌棍的命运。也许,后来发展出生命的那个原始的核蛋白凑巧是 L 型氨基酸构成的,它通过自我复制和生存竞争,繁衍出了清一色的后代。L 型氨基酸具有左旋的光学性质。有人开玩笑地说,上帝在创造生物时单单选中了 L 型,看来上帝是个左撇子。

不过这件事给我们一个启发:世界上许多事物并不是从一开始就注定要发展成现在这个样子的,在事物发展的初期,它们往往有多种发展的可能性,由于条件或者纯粹机遇的关系,最终才沿着某一个特定的方向发展下去。既然事物的发展都是从最初的可能性开始的,就不能不使人们对它发生浓厚的兴趣,如果对它作更深一步的研究,可以发现它跟控制论中“控制”这个概念有着密切的关系。

顾名思义,控制论是关于控制的理论。“用计算机控制宇宙飞船”、“基因控制着遗传”、“这个病人的癌症已经不可控制了”……现在“控制”这个词,已成为人们习以为常的口语了。如果我们仔细地分析各种不同的控制过程,发现虽然“控制宇宙飞船”、“控制遗传”、“控制癌症”的控制对象不同,但作为控制过程,有几点却是它们共有的:

(1) 被控制的对象必须存在着多种发展的可能性。如果事物的未来只有一种可能性,就无所谓控制了。比如光在真空中的传播速度是确定的,每秒 299 793 公里,既不会高于这个速度也不会低于这个速度,只有一种可能性。因此人们不

会说“控制了光在真空中传播速度”之类的话。某一事物在发展变化中的未来有哪些可能性,是由事物本身决定的。对于鸡蛋,它下一时刻面临的发展可能有鸡蛋、小鸡、碎鸡蛋等几种,而石头面临的可能性就完全不同。

(2) 被控制的对象不仅必须存在多种发展的可能性,而且,人可以在这些可能性中通过一定的手段进行选择,才谈得到控制。比如一座火山,它在下一时刻面临着爆发或不爆发两种可能性,但目前人类的能力还不能在这两种可能性中选择。所以,我们也不会说“控制了火山爆发”这样的话。所谓我们不能控制,就是无法选择或不存在选择的余地。

由此可见,控制的概念与事物发展的可能性密切相关。我们将事物发展变化中面临的各种可能性集合称为这个事物的可能性空间。它是控制论中最基本的概念。

任何事物,都有它一定的可能性空间,但这仅仅是可能性而已,至于事物具体发展成为可能性空间中哪一个状态,要看条件而定。当事物变到某一状态后,它又面临着新的可能性空间。鸡蛋一旦变成小鸡,它下一时刻面临的就是活鸡、死鸡等可能性了(图 1.1)。因此,一个事物发展过程中的可能性空间就像树枝一样向无限远处伸展开去。

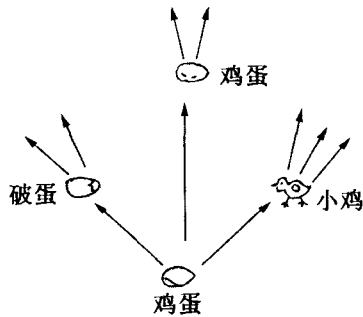


图 1.1

世界上第一个认真考虑过事物可能性空间性质的可能是中国战国时期著名的哲学家杨朱。《列子》里有一个“歧路亡羊”的故事,说有一天杨朱的邻居走失了一只羊,许多人去找也没找回来。杨朱问邻居是怎么回事儿,邻居说:“岔路太多了,而且岔路之中又有岔路,不知道它到底跑到哪条路上去了。”杨朱听了很有感触,终日沉默无言,闷闷不乐。“歧路之中,又有歧焉”,这位哲学家所感叹和研究的,正是事物可能性空间这种重要的展开方式。

这方面最令人感兴趣的例子便是生物进化。如果我们不否认生命在地球上只起源过一次,我们就得承认所有的物种,包括蚊子、牡丹、企鹅、人类和酵母都有着共同的祖先。生命的多样性来自连续不断的进化过程,在这个过程中一个种产生几个后代种。这实际上就是生物发展和适应环境的几种可能性。

生物学家常常用生命之树(图 1.2)来表达生物的进化过程,这种生命之树正是物种在其发展过程中按可能性空间展开的形象体现。

人们估计现在生存着约五百万到一千万种生物,其中每个种都跟它最近的亲族有显著的差异,每一个种内的千万个成员又有不同的遗传特征,这还不包括地球上曾经生存过但已灭绝的为数更多的物种。生物界众生纷纭变异多端的可能性空间,凭人的想像几乎难以琢磨。研究生物在一定条件下按可能性空间展开的方式,成为群体生物学的中心问题。它回答现有动物、植物、真菌的种类和数量是如何来的,什么力量作用于这些群体使它们保持现状或发生变化,以及对某

些物种发展的可能性可以作出哪些预测等等。

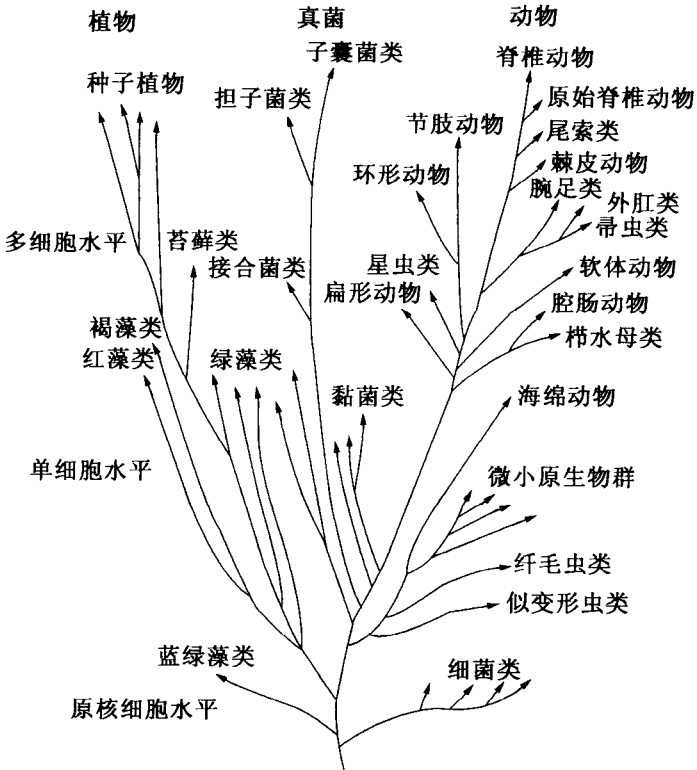


图 1.2 生命之树

1.2 人通过选择改造世界

事物的可能性空间为什么总像图 1.2 那样是树枝状的,而