

# 经济控制论初步

JI LUN CHU BU

**经济控制论初步**

杨小凯 著

责任编辑：吴辛

\*

湖南人民出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

\*

1984年1月第1版第1次印刷

字数：366,000 印张：17.125 印数：1—5,750

统一书号：4109·165 定价：2.90元

# 目 录

序言 .....	1
导言 .....	2
第一章 变异和系统 .....	20
§ 1.1. 差异、运动和数 .....	20
§ 1.2. 状态变量和控制变量 .....	24
§ 1.3. 系统与变换 .....	25
§ 1.4. 边际概念和微分方程 .....	29
§ 1.5. 模型和“黑箱”原理 .....	40
§ 1.6. 矩阵代数 .....	48
第二章 经济耦合 .....	56
§ 2.1. 耦合 .....	56
§ 2.2. 方框图和网络图(信号流图) .....	59
§ 2.3. 变换算子 .....	65
§ 2.4. 反馈和经济控制论基本公式 .....	71
§ 2.5. 经济组织和矩阵转置 .....	75
§ 2.6. 投入产出分析 .....	88
第三章 经济动态系统 .....	99
§ 3.1. 状态空间 .....	99
§ 3.2. 相空间 .....	101
§ 3.3. 经济系统的稳定性 .....	105
§ 3.4. 经济加速度和经济动能 .....	106
§ 3.5. 概率 .....	107

第四章	经济信息	119
§ 4.1.	差异度、信息和熵	119
§ 4.2.	自由度与剩余度	129
§ 4.3.	信息传输	132
§ 4.4.	分工、信息与经济动能	152
§ 4.5.	经济竞争与熵	158
§ 4.6.	词的信息量和合伙竞争的熵	166
§ 4.7.	控制的能力	169
§ 4.8.	经济组织程度	176
§ 4.9.	突变、存储、记忆	178
第五章	分工放大器	182
§ 5.1.	分工度的测度	182
§ 5.2.	分工的放大效应	190
§ 5.3.	分工的带动作用和自我繁殖系统	193
§ 5.4.	开关元件与分工发展的起动力	199
§ 5.5.	差分方程	203
第六章	比例放大效应	209
§ 6.1.	比例平衡度	209
§ 6.2.	用线性规划求最优比例	214
§ 6.3.	单纯形法	218
§ 6.4.	用对偶规划计算影子价格	224
§ 6.5.	生产价格、影子价格和放大效应	232
§ 6.6.	动态比例平衡	234
§ 6.7.	比例问题的相对性	240
§ 6.8.	人力的影子价格——影子工资	251
第七章	经济系统中的反馈	255
§ 7.1.	经济反馈的不同形式	255
§ 7.2.	有效性判据和经济反馈的平等度	268

§ 7.3.	价格的调节作用	280
§ 7.4.	反馈效率和反馈强度	289
§ 7.5.	分工度与反馈效率	296
§ 7.6.	所有权	303
<b>第八章</b>	<b>经济控制</b>	<b>309</b>
§ 8.1.	经济系统的自动控制	309
§ 8.2.	随动系统和跟踪控制	317
§ 8.3.	开环控制、提前控制和程序控制	320
§ 8.4.	自适应控制	325
§ 8.5.	学习过程	326
§ 8.6.	最优控制和波特里雅金最大值原理	335
<b>第九章</b>	<b>经济竞争与对策论</b>	<b>350</b>
§ 9.1.	经济竞争与对策论	350
§ 9.2.	二人 0 和对策	365
§ 9.3.	非 0 和对策、交涉对策	369
§ 9.4.	合伙对策	382
§ 9.5.	对策与控制论方框图中的反馈耦合	388
<b>第十章</b>	<b>竞争与可靠性理论</b>	<b>394</b>
§ 10.1.	反馈效率与可靠性	394
§ 10.2.	用可靠性不高的元件设计制造可靠性高的大系统	397
§ 10.3.	最优可靠性	404
§ 10.4.	分层多极串联系统的可靠性	406
<b>第十一章</b>	<b>流通的控制功能</b>	<b>414</b>
§ 11.1.	流通在经济系统中的作用	414
§ 11.2.	分工与流通的关系	422
§ 11.3.	经济布局的集中程度、城市化与流通量	436
§ 11.4.	竞争与流通	444
§ 11.5.	流通与反馈效率、比例平衡度	448

<b>第十二章 马尔柯夫分析和动态规划</b> .....	450
§ 12.1. 马尔柯夫链 .....	450
§ 12.2. 马尔柯夫过程的平衡状态 .....	455
§ 12.3. 序贯决策和动态规划 .....	462
§ 12.4. 贝尔曼最优原理 .....	468
<b>第十三章 库存控制和排队论</b> .....	471
§ 13.1. 库存论 .....	471
§ 13.2. 市场需求随时间变化时, 生产计划和库存的最 优控制 .....	482
§ 13.3. 用价格控制库存 .....	486
§ 13.4. 排队论 .....	491
§ 13.5. 蒙特卡洛法 .....	497
<b>第十四章 经济大系统</b> .....	505
§ 14.1. 大系统的不同控制方式 .....	505
§ 14.2. 分解度、联系数、集中度和分散度 .....	510
§ 14.3. 分层控制的放大效应 .....	515
§ 14.4. 最优分层控制 .....	521
§ 14.5. 麦克斯韦妖精 .....	523
<b>参考文献、资料</b> .....	527
<b>后记</b> .....	542

# 序 言

经济控制论虽然在国外早已开始研究，但就我国来说，还是一个新的课题。经济控制论在我国能不能发挥作用？学术界曾有过一些不同的看法。然而，对此持肯定观点的人逐渐增多起来了，越来越多的专家、学者开始研究这个问题，并且试图用它去解决一些实际问题。有些同志还认为，由于我国社会主义制度性质所决定，控制论在我国可能比在西方资本主义国家发挥更大的作用，更有利于发挥社会主义制度的优越性。因此，《经济控制论初步》一书所讨论的课题是很有意义的。

控制论在我国才开始研究，特别是用于我国社会主义经济建设还处于探讨阶段，本书提出的一些一般性观点和方法，对于这种研究和探讨无疑是有益的。书中涉及的某些具体问题的观点和结论，也可以引起学术界的讨论，能够起到广开思路的作用。

本书所论述的问题比较全面，写得也比较通俗。它不仅对于从事经济研究和控制论研究的人员具有参考价值，有助于沟通这两部分人的认识和进行学术交流，而且对于具有一定文化程度的读者来说，也可以开阔眼界，增长知识。

郭仲伟

1982年1月22日

## 导 言

在很多人心目中，控制论似乎是电子工程技术的一部分，其实这是一种误解。控制论是在多种学科边缘上生长起来的研究科学方法论的一门学科。而经济学从亚当·斯密时起，就不自觉地大量使用调节等控制论概念了。

本世纪三十年代，美国的哈佛医科学学校有一个别具风格的科学家的学术“沙龙”，这个沙龙充满着自由和创造性的气氛，并且对学术问题抱着极严格的科学态度。参加这个小团体的有医学科学家、神经生理学家、物理学家、数学家和工程师。他们每个月聚餐一次，饭桌上大家毫无拘束地讨论着各个科学领域的问题，饭后，由这个团体中的一员或请来的客人宣读一篇关于某个科学方法论的论文，然后大家对这篇论文进行一番诚恳但却异常尖锐的批评，那些受不了的人下次就再不敢来了，但真正的学者却感到这种聚会科学的进展有着重大贡献。这个小团体的主要成员阿托罗·罗森勃吕特，罗伯特·维纳等人以一种关于科学发展趋势的深刻思想影响着大家。他们认为从牛顿以来，专门化使科学得到迅速的发展，但是科学界逐渐盛行起一种狭隘的专门化思想，专家们对别的领域的工作漠不关心，对外行的意见一点也不尊重，各种专家有时用不同的术语和方法在那里讲着本质上是共通的理论。有时这个领域对某些理论已有了成熟的研究成果，但却找不到它发展和应用的天地，而另一些领域却在



这些问题上缺乏理论工具。那些关于各个领域中共通的方法论的研究本来是科学发展潜力最大的方向，但在片面专业化的思想影响下，这些领域却成了被人忽视的“无人区”。开拓这些边缘的“无人区”成了这个小团体的宗旨。他们互相认真了解别的专业的知识，并向其他专业的人提出本专业的问题，探索有否类同的经验、理论可资借鉴或可从中得到启发。他们不但要求自己精通本行，而且要求自己对邻近的领域有十分正确和熟练的知识，习于与其他专业的人共同工作，熟悉对方的思想习惯，并深刻理解对方的理论、思想在自己这个专业中的意义。为达此目的，这个小团体的成员进行了自由交流，搞神经生理学的人去搞一段物理和工程方面的研究工作，搞数学的去参加一段生物学研究等等。

这个小团体的自由和创造性的学术活动终于结出了硕果，首先是数学家、物理学家维纳与神经生理学家罗森勃吕特等三人发现了伺服机构、电机和人的神经生理现象中有着共同的反馈控制功能，他们三人写出了关于这种观点的论文，并且预见这方面能发展出一个崭新的研究领域<sup>[1]</sup>。

接着他们发现控制问题与通讯工程问题分不开，不管是自动机，还是人的行为，或生命遗传、社会组织等现象，都是以信息的传递和反馈为基础的。维纳在研究电滤波器的噪声与消息问题时，用统计力学中的熵概念研究了通讯工程和控制工程中的信息问题。

值得指出的是，控制论不但是这个小团体内的科学家们互相协作的创造物，而且当时还有另外一些类似的研究，为

---

\* 为便于读者参考，本书后面附有经济控制论主要参考资料目录，并在书中有关处用方括号〔〕标明序号。

以后控制论的发展打下了基础。

1928年和1940—1941年这两段时间内，由约翰·冯·诺意曼发展起来的对策论成为控制论的另一个发源地。诺意曼用一种新的数学方法研究社会经济行为，得出了一套经济控制的理论。〔2〕

同时，统计学家R·A·费希尔和申农都独立地建立了信息论，并使之成为控制论诞生的助产婆。

但控制论这个新名词还是由围绕在维纳和罗森勃吕特周围的一群科学家提出来的。他们认识到有关通讯、控制和统计力学的一系列核心问题之间的本质上的统一，不管这些问题是机器中的、活的生命体中的还是社会经济组织中的。经过认真商讨，他们决定用“cybernetics”作为这门新学科的名称，这个字来自希腊文，选择这个字的用意是纪念麦克斯韦1868年发表的关于调速器的第一篇反馈机构重要论文。

计算机专家和数理逻辑专家也参加了这些人的自由的学术活动，大大促进了控制论的诞生。

1943年在美国普林斯顿召开了第一次关于控制论的专门会议，工程师、生理学家、数学家、计算机专家、经济学家都参加了，其中很多人在多年跨专业的学术活动中都成了双重或三重专家。例如冯·诺意曼既是计算机专家又是经济学家、数学家。

1946年在纽约召开专门讨论反馈问题的会议时，这批对控制论感兴趣的人中增加了一些社会学家、人类学家、心理学家和经济学家，科学家们认识到信息和通讯作为组织化机制不但对生物个体是重要的，而且对于社会组织集体也是重要的。

在众多科学家跨学科的共同研究的基础上，维纳于1948年发表了著名的《控制论(或关于在动物和机器中控制和通讯的科学)》。维纳在此文中专门写了一章“信息、语言和社会”，他在这一章中提出了很多经济控制方面的问题。他强调了社会内的通讯问题对社会组织程度的意义，测度一个团体的信息传递的有效程度与这个团体自治程度的关系。他认为以往的经济学中关于自由竞争的调节作用的分析太笼统也不科学，必须使用对策论的方法才能分析经济控制中的问题。他指出发达的大社会内稳定性降低，通讯工具发展助长了不稳定，但另一方面“任何组织所以能够保持自身的内稳定性，是由于它具有取得、使用、保持和传递信息的方法。”

但是维纳对控制论在经济学中的应用抱着一种悲观的态度，当时有不少科学家希望维纳用大部精力发展经济控制论，但维纳认为，在经济学领域中，研究者与研究对象耦合得太紧密，因此很难得出客观的结果，另一方面统计游程太短，看不出严密的规律性；经济数字可信程度不高。所以他没有专门研究经济问题。维纳的那个小团体缺少一位高明的经济计量学家，因而使它对控制论最有发展前途的一个领域没有给予充分重视。

当时，数理经济学、经济计量学、运筹学、系统理论正在迅速发展，为经济控制论的发展准备了肥沃的土壤。现代科学发展非常迅速，分支如雨后春笋，各学科理论深化极快，而且互相渗透，分界不明显，这些特点使维纳这种思想非常活跃的科学家也难以完全跟上迅速发展的形势。

实际上，翻开经济学文献，可以看到，从古典经济学起，几乎所有经济学著作都在研究经济系统的调节、控制问题，

只是不自觉罢了。例如亚当·斯密把自由市场的竞争描绘成一支“看不见的手”，它自动地控制着供求关系及经济比例；马克思主张用社会主义计划经济来自觉地控制经济的发展，而凯恩斯提出了一套由国家调节控制经济的理论。奥斯卡·兰格证明马克思和凯恩斯的理论都能用经济控制论来加以分析，兰格把马克思的再生产模型用经济控制论中有串联和并联的反馈控制回路写出来了，而图士丁、菲利普斯和艾伦却把凯恩斯理论写成了经济控制论模型。（参见〔4〕、〔5〕、〔6〕、〔7〕）

对策论的创始人诺意曼却正好与维纳相反，他对经济控制论的前景抱着非常乐观的态度，他在著名的经典著作《对策论与经济行为》中有力地批驳了对经济学中应用数学方法持否定态度的观点。

冯·诺意曼在《对策论与经济行为》的导言中写道：

“人们常说：（在经济学中）由于人的因素、心理学的因素，对于一些重要的因素没有办法度量，因此数学无法应用，这些说法是完全错误的。好几世纪以前，在那些现在以数学作为主要分析工具的科学领域里，差不多所有这些反对论调都被提出来过。……让我们设想自己是处在物理学、化学或生物学进入它的数学阶段或差不多是数学阶段之前，这对物理学来说，是16世纪，而对化学和生物学来说，是18世纪，我们可以把那些从原则上反对数理经济学的人的怀疑态度，当作很自然的事，因为物理学和生物科学在这些较早时期中的形势，绝不比当前经济学的形势要更好一些。

“至于说到对最重要的因素缺少量度方法，那么，热学理论的例子是最能说明问题的，在数学理论获得发展以前，

对热学中的数量的量度，较之今天在经济学中对数量的量度，令人感到可能性更小，对热的量与质（热能和温度）的精确的量度，乃是数学理论发展的结果而不是它们的前提。这个情况应当与经济学中的下列事实作一对比：价格、货币和利率的数量的精确的概念，早在几个世纪以前就已形成了。”

接着冯·诺意曼逐条批驳了认为经济变量不连续因而不能应用数学等观点，他认为经济学的发展要求有新的数学方法。物理学创立时并不是有了现成的可应用于自然现象的数学，而是牛顿相信自然现象一定可以用数学来描述，因而创造了一门崭新的微积分学来描述“苹果落地”这类自然现象，奠定了物理学的基础。而微积分这一“不可思议”的抽象工具直到牛顿那一代科学家几乎全部不在人世后才被世人所普遍接受。一般的工程师只善于应用现成的数学进行计算，而真正有创见的科学家却善于把那些看来与数学毫无关系的事物变成数学语言，并为此创造出新的数学理论和新的科学。正如兰达尔（J. H. Randall）所说：“科学产生于用数学解释自然这一信念”。

冯·诺意曼批评了以往经济学研究中热衷于建立包罗万象的体系的方法，这种方法常常使经济科学一般化，不能实现精确预测、精确设计，精确控制。科学的方法应该是热心于深入钻研类似“自由落体”这类被常人熟视无睹的“小问题”，使之精细到能自由地用数学理论处理，这就能使科学取得实质性的不朽的进展，并产生划时代的有应用意义的成果。冯·诺意曼诚恳地告诫人们，不要急于马上用理论解决实际的问题，“较先进的科学如物理学的经验告诉我们：这种性急的做法只能延误科学工作的进展，也会延误应用的进展，

我们没有理由假定捷径的存在。”科学往往要经历三个阶段，最初理论用于一些显而易见，不需理论去证明的问题，这时研究的目的是为了印证理论本身；然后理论被用于较复杂的情况，“这种情况可能在一定程度上已经不是显而易见和为人们所熟悉的了，而在此时，理论就发展到了一个新的阶段，在这里，理论和应用是同时相互印证的；越过这个阶段，就达到了真正的成功的境地：从理论得到真实的预见。”这中间必须经历长年众多学者的文献积累工作，每人都专门研究理论的一个专题，取得具有不朽的“文献价值”的实质性进展。学会这种踏实的科研方法不但是一种手段上的需要，而且是一种尊重别人创造权利的道德态度，是一种组织科学研究，发掘其巨大潜力所不可少的文化秩序。

第一篇经济控制论的文献应该归于冯·诺意曼的著作。

1943年冯·诺意曼出版了《对策论和经济行为》〔2〕一书，此书的目的是发展一种新的研究经济行为的数学理论，他用一套数学方法分析了经济中的竞争行为，从最简单的二人0和对策到三人0和对策及 $n$ 人非0和对策，并定义了经济竞争的支付矩阵及“分配”、“转归”概念，以及各个转归之间的优序关系，他用严格的数学方法定义了经济控制概念，即当甲转归优序于乙转归时，甲控制乙。他还用非0和三人及多人对策分析了市场中的多极的合伙竞争及其控制功能。

令人遗憾的是，冯·诺意曼的理论与维纳的控制论并没有很好地互相渗透和结合，他对经济竞争中的控制机制的研究没能渗进维纳的文献中去，而他触及到的所有问题几乎都与反馈、耦合等概念有关，但他却没能应用维纳等人对这些概念的研究。实际上冯·诺意曼创始的对策论与维纳创始的

经典控制论是经济控制论的两个发源地，他们的互相结合是会产生一些有重大意义的成果的。

第一本证明电网络理论能用来研究经济系统并调节控制经济的专著，是电工教授 A·图士丁1953年发表的《经济系统的机制》〔4〕。图士丁用控制论方框图、信号流图描述了凯恩斯关于投资、消费、收入之间关系的理论，并用正弦函数、富里哀分析研究了经济系统的振荡等问题。他对控制论在经济系统中应用的方法特点提出了自己的看法，他认为，由于经济控制系统多是非线性系统，因此拉普拉斯变换不适用于用来解决经济控制论问题，至少不能找到适合给定数据模型参数，以求出一个完全解，所以他觉得在经济控制论中使用时间序列和差分方法比较实用〔4〕。

1954年，A·菲利普斯在伦敦的《经济学杂志》上发表了《封闭经济中的稳定政策》，1957年又在该刊上发表了《稳定政策和滞后反应的时间形式》。这两篇论文把凯恩斯调节经济的政策手段用带时间滞后的控制论方框图写出来，并指出要有效和稳定地控制这一经济系统，必须在政府用于调节经济的支出上采用比例-微分-积分控制器，菲利普斯利用电子计算机模拟了这个控制过程，并记录了其结果，他还搞出了使用比例-微分-积分控制器的有时间滞后的存货控制模型〔5〕，〔6〕。

数理经济学家艾伦对经济控制论的发展作出了突出的贡献，1957年他发表了《数理经济学》，此书用经济控制论的方框图描述了菲利普斯乘数加速器模型、希克斯模型、卡列斯基模型及戈德文模型，比较系统地阐述了经济控制论的一些基本概念，方法及理论，把算子运算、传递函数、反馈、闭

环控制、振荡及稳定性等理论、方法引进经济分析中，同时此书还详细介绍了与经济控制论密切相关的一些理论，如投入产出分析、对策论、线性规划，活动分析等。〔7〕

西莫1956年和德尔1957年在《经济计量学》杂志上发表论文，分析了控制理论中的二次高斯问题的“可分性定理”，但他们是用经济计量学的语言研究的，这一定理在经济计量学中称为“必然等价原理”〔8〕，〔9〕。

1960年荷尔特、莫德·格里安里、莫斯和西莫合著的《计划生产、库存和劳动力》一书中熟练地运用控制论中的动态规划方法解决了经济中的线性二次问题〔10〕。

这里再次出现了控制论诞生前的那种情况：各学科用不同的语言和方法研究着共通的理论，但却互不通信息。

波兰杰出的数量经济学家奥斯卡·兰格于1965年发表了专著《经济控制论导论》，系统地论述了经济控制论的概念、方法、理论，书中有到六十年代初为止的经济控制论主要文献的目录。兰格用马尔柯夫过程研究动物对刺激的反应问题，把可靠性理论引入经济控制论，他在给出经济控制论中的微分-差分方程的解，分析其稳定性方面都作出了贡献。不幸的是，兰格创立经济控制论的工作开始不久，他就逝世了〔11〕。

希尔1966年在《关于最佳经济增长理论的论文集》〔12〕中以及道柏尔1970年在《经济增长的数学理论》〔14〕中应用了波特里雅金的最大值原理，他们的论文证明控制论中的非线性动态和非二次指标在不涉及状态变量时，对最优经济计划是有用的。

这段时期内控制论的作者很少引用经济计量学文献，经



济计量学作者也很少引用控制论文献，但双方都大量引用数学家和统计学家的文献。这时控制论还处在经典理论的阶段，它使用的主要是传递函数的分析方法而不象后来的现代控制理论大量使用状态空间方法。经典控制论只适于处理线性问题，而不适于处理经济中的非线性问题。这时经济计量学也处在不很成熟的阶段。由于这方面的原因，这个阶段只有少数工程师和经济计量学专家热心于经济控制论的发展，这方面的重要文献屈指可数。

直到六十年代末、七十年代初，现代控制理论发达起来，经济计量学日趋成熟，这时，经济计量学专家才发现要改变人们对经济数学方法的怀疑，最终巩固经济数学理论的地位，有赖于经济控制论的发展。而控制论专家也才发觉经济控制论是控制论最有发展前途的领域，其潜力甚至超过空间技术领域。

不少科学家为数量经济学与控制论的结合作出了巨大努力。英国的布雷组织控制工程师和经济学家共同制定了英国皇家学院和帝国大学的经济计量学方法的研究规划，在规划中要求把经济计量学和控制论结合起来，并提交政府解决下列问题：研究对经济的管理和控制中应用控制理论，发展有关的方法论，建立切实可行的算法，从而帮助解决那些被认为是难以控制的经济问题。1965年，美国经济学院的罗德·道伯尔和控制组的何毓其合作建立了教育与经济增长的经济控制论模型<sup>[13]</sup>。

1966年兰西·费罗尔、大卫·柯德里克与阿苏尔·普鲁逊合作，利用莱曼·梅拉的共轭梯度法程序，解出南朝鲜的最优计划模型<sup>[16]</sup>。