第一章　概　论

§1　控制论的产生及其发展

在整个人类历史上,由于需要认识、研究、调节和控制自然界与社会中存在的各种现象的复杂机制并预测其发展趋势，人们综合了各种最新的科学知识,并以信息论、动力学系统理论、算法论、概率论等理论为基础,定量地研究各种各样系统中的控制问题,从而采取适当行为,使自然界和社会中的各种过程朝着人们所希望的目标发展. 所以,控制论(Cybernetics)是研究复杂动态系统中的指挥、控制调节和自调节等问题,并从整体观点来强调系统运动和演变规律的科学.

从2000多年前我国西汉时期的指南车,17世纪帕斯卡(Pascal)和莱布尼茨(Leibniz)设计数字计算机的设想,18世纪蒸汽机调速器的发明,19世纪麦克斯韦(Maxwell)和维什涅格拉特斯基提出关于控制与反馈系统的理论，到苏联的谢斯塔科夫和加甫里洛夫以及日本的中岛等用逻辑代数研究关于电路方面的理论和1928年由约翰·冯·诺伊曼发展起来的对策论、统计学家R.A.费希尔和申农建立的信息论，就有了系统控制论基本的概念和萌芽. 正如波兰经济学家奥斯卡。兰格在《经济控制论导论》一书前言中指出的那样,控制论的前身是"伺服机构理论",伺服就是服务的意思，伺服机构就是用来代替人去控制机器装备或工艺过程的机械",也就是20世纪40年代所形成的自动控制理论.

控制论的发展可分为三个阶段：

第一阶段20世纪50年代末以前，称为经典控制论阶段，或者说是控制理论产生阶段。

经典控制论是自动控制、通信工程、计算技术、神经生理学和病理学相互结合的产物. 它主要是在第二次世界大战期间，为了满足提高武器发射命中率的需要发展起来的,主要研究线性、定常、单输入一单输出以及一些简单的线性系统,系统数学模型的基本形式是传递函数,线性定常系统的主要分析方法是采用频率法和根轨迹法,使系统的数学模型(微分方程和差分方程)通过数学变换,化成代数方程,对于非线性系统则采用

相平面法和描述函数法，主要广泛用于工业生产系统之中.

经典控制论的主要贡献在于建立了系统、信息、调节、控制、反馈、稳定性、黑箱等控制论的基本概念和分析方法. 但是经典控制论的设计带有试凑的特点，因而无法设计出高精度的最优控制系统、适应性控制系统和其他复杂系统. 在这一阶段经济控制尚未被人重视.

第二阶段:20 世纪 50 年代末到 70 年代初为现代控制论阶段.

控制论的诞生是以 1948 年美国数学家 N.维纳的《控制论》一书的出版为标志的.在这本书中，维纳总结了众多科学家跨学科共同研究的成果,创立了控制论这门学科. 他在书中提出了很多经济控制方面的问题. 他强调社会内的通信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；他提出经济学中关于自由竞争的调节作用，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 发达的社会内部稳定性降低,通信工具的发展助长了不稳定性 ;但另一方面,任何组织所以能够保护自身的稳定性,是由于它具有取得、使用、保持和传递信息的方法.

另一方面,在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初,由于导弹、航天、航海的制导、导航等空间控制技术的发展和生产过程的日趋复杂,需要研究大量非线性系统及时变系统,而且它们的参数受到某些限制,控制过程也往往要求实现多参数调节,某些系统还要考虑各种随机因素和随机干扰,并要实现工程技术中的多变量控制、最优控制、自适应控制等,经典控制论已不能满足要求，于是自动控制理论经历了一场大的变革. 随着计算机技术的迅速发展,状态空间概念被引进到自动控制领域,用状态来描述系统的行为，系统的数学模型是状态方程，主要分析方法是状态空间分析法. 对于非线性系统，常用状态微分方程来描述，使数学处理大大简化，而且所设计的控制系统便于用数字计算机来实现，扩大了现代控制论的应用范围.

在这一时期,只有少数人在研究经济控制论,如艾伦、兰格、菲利浦斯、图士丁等人,使用的方法仍然是经典控制论方法.

第三阶段 从 20 世纪 70 年代初到现在，控制论进入大系统理论阶段.

这一时期，经济控制论成为控制论研究的主要内容。大系统理论是控制论、信息论、经济学、生物学、生态学、运筹学等互相渗透的结果. 由于所要处理的实际系统愈来愈大、愈来愈复杂,例如 宏观经济系统、资源配置系统、生态系统、环境系统、人工系统(出生率控制)、能源系统(电力

网络的经济运行、国家的能源策略)、交通运输系统、文化教育系统、社会保健系统(医疗布局)、大型企业的经济管理系统等都是复杂的大系统,因此现代控制论的状态空间分析方法已不能适应. 处理大系统的方法主要有:分解一协调原理、分散最优控制理论原理、向量李雅普洛夫稳定性理论等. 总的来说,对于大系统的分析和研究还没有一套统一的方法,大系统理论本身还在发展之中.

由于许多大系统的信息不完备,很难建立精确的数学模型,控制效果较差,因此,控制论工作者又探索了一些新的处理方法. 例如,1965 年美国控制论专家 L. A. 查德(Zaden)创立的模糊集理论. 他所定义的隶属函数,就是用数学方法来刻画和描述定性信息的度量. 目前发展的模糊控制,就是通过模拟人的思维方法,对一些无法构造数学模型的系统进行控制,尤其是他所用的隶属函数表达定性信息的能力和简明的控制方法,获得了广泛的应用和发展.

模糊控制论的主要缺点是:由于它用的是逻辑运算,信息利用率不高,控制粗糙,精确度低,显然在高精度场合就难以胜任,也无法揭示被控制对象的内在变化规律.

模糊控制论研究的是模糊系统,经典控制论和现代控制论研究的是分明系统. 对于只掌握部分信息系统的控制问题,我国长期从事自动化、控制论研究的邓聚龙教授,1979 年开始研究参数不完全的大系统、未知参数系统的控制问题,1982 年正式发表了灰色系统的控制问题的论文,创立了灰色理论,使控制论发展史上有了白箱、黑箱和灰箱之分. 箱表示有界范围(系统),凡是箱内的结构参数全知的称为白箱,完全未知的称为黑箱,介于二者之间的称为灰箱. 现有的控制理论只能对白箱求解并进行控制问题的研究,对于黑箱,只能从外部输入和输出关系来研究它的内在变化规律,如果对于灰箱也当作黑箱来处理,这就浪费了灰箱中部分白色信息. 因此,邓聚龙教授把灰箱扩展为灰色系统的概念,主张充分利用灰色系统中的白色信息来求解控制问题,用灰色参数、灰色方程和灰色矩阵来描述灰色系统的行为,使大系统理论有了一定的发展.

综上所述,控制论的出现,大大丰富了探索自然、社会现象和过程控制的最优化技术.控制论的应用,对促进近代科学技术,提高社会劳动生产率、有效进行经济管理、推动社会全面发展,以及确保人类社会、经济和生态环境持续发展有巨大贡献.

§2 控制论的定义

控制论的定义有很多种，但基本涵义都差不多.

N.维纳把控制论定义为：关于动物和机器中控制和通信的科学（N.维纳，1963）

钱学森的定义是“控制论的对象是系统”“为了实现系统自身的稳定和功能，系统需要取得、使用、保持、传递能量、资料和信息，也需要对各个部分进行组织”“控制论是研究系统各个部分如何进行组织，以便实现系统的稳定和有目的的行动”（钱学森、宋健，1980）.

兰格的定义是：“控制论是一种研究由各种相关元素组成系统的调节和控制一般规律的科学”.“控制论是一门研究耦合运行系统的控制和管理的科学”（奥·兰格，1982）.

M.曼内斯库的定义是：控制论是研究复杂动态系统中的指挥、控制、调节和自调节等问题，并从整体的观点来强调系统的运动和演化规律.

由上述定义可以看出，控制论是研究系统的调节与控制一般规律的科学，其任务是实现系统的稳定性和有目的的行为

由于控制论是一门实用的学科，所以自从它诞生以来，就以强大的生命力活跃于自然科学和社会科学的各个领域，在工程技术、生物、社会、经济等领域都得到了广泛应用，并且取得了可喜的成就，还相应地形成了工程控制论、生物控制论、经济控制论、社会控制论、人口控制论等新控制论分支

§3 经济控制论的定义

兰格的定义是：经济控制论是用现代控制论的科学方法分析经济过程的科学.

M.曼内斯库的定义是：经济控制论是从定性和定量两个方面来研究国民经济体系各组成部分优化、平衡、按比例增长的规律，以及建立有关的概念、模型、技巧和方法，从整体上认识和控制经济机制.

也有人将经济控制论定义为：经济控制论是研究控制论的一般规律在经济活动和经济管理过程中如何应用的科学.

显然，上述定义都表示用控制论的方法来研究经济系统. 因此，我们可以认为，经济控制论是控制论的一般原理和方法应用于经济系统的一

门学科.

西方国家很少用经济控制论这个名称，而是用 20 世纪 30 年代发展起来的控制理论(Control Theory)来研究分析经济问题. 只有前苏联和东欧各国都用经济控制论(Economical Cybernetics)这个名称,将其作为一门独立的学科. 严格来说，控制论比控制理论的范围广，它包括信息论、对策论、运筹学、系统工程等很多领域的内容. 但是,控制论在理论体系及应用方面又不如控制理论成熟. 美国有些经济控制理论专家认为，控制论的哲学味太浓，比较空洞，不如控制理论实在. 而钱学森等却认为，正因为控制论的边缘性强，因此是一门很有发展前途的基础理论科学。

§4 经济控制论的起源与发展

上述经济控制论的定义似乎表明,先有控制论,后有经济控制论,其实并非如此.在早期，控制论与经济控制论是各自独立发展，并相互影响的,只是后来由于工程技术的蓬勃发展,使控制论发展得较快一些,成为一门新兴的学科，然后应用到经济系统，促进了经济控制论的进一步发展. 另外,从经济学文献中可知,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、反馈、控制、稳定性等问题,只是不自觉罢了. 这些基本概念后来被应用到控制论之中. 例如,经济学家亚当·斯密把经济看成是一种‘自我调节’的系统,他把自由市场的竞争描绘成‘一只看不见的手’. 它以一种和谐方式调节经济系统，自动控制供求关系及经济比例,使之达到平衡.用控制论语言来说，一只看不见的手就是沟通生产与市场关系的反馈控制器,用控制论的方框图可表示为图 1－1.

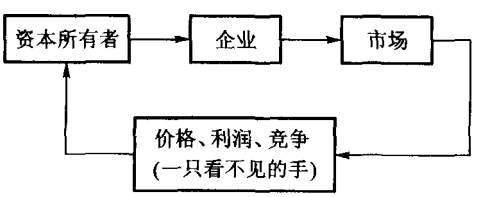


图 1－1

兰格指出：经济的自我调节可能会引起长期失业、资源浪费等. 凯恩斯认为 经济自我调节不一定能达到社会所需要的结果,应该按所需要的方向控制经济过程的模式，因此必须有国家干预. 马克思在论述资本主义生产时指出：由于工厂生产的组织性与整个社会生产的无政府状态的

对立,其结果必然是恶性循环,出现经济危机,因为资本主义经济的自我调节系统是一种不稳定系统. 因此，马克思主张用经济计划来自觉地控制经济发展.

马克思在分析价值规律时,把价值规律当作商品生产的调节器,说明控制论中的调节理论在马克思的著作中早就有了它的地位.

1943年,冯·诺伊曼出版了《对策论和经济行为》一书,他用一套数学方法分析经济中的竞争行为及其控制功能,冯·诺伊曼的对策论与维纳的控制论是经济控制的两个发源地.

1953年,电工学教授 A. 图丁发表的《经济系统的机理》是研究经济系统和调节控制经济的专著. 他用控制论方框图、信号流图来描述凯恩斯关于投资、消费、收入之间关系的理论,并用正弦函数、傅里叶分析方法研究了经济系统的振荡等问题. 他对经济系统中控制方法提出了自己的看法. 他认为,由于经济控制系统都是非线性系统,因此,拉普拉斯变换不适用解决经济控制论问题,至少不能找到适合给定数据模型的参数,以求出一个完全解，而使用时间序列和差分方法则比较实用.

1954 年,A. 菲利浦斯在伦敦的《经济学杂志》上发表了《封闭经济中的稳定政策》,1957 年又发表了《稳定政策和滞后反应的时间形式》. 这两篇论文将凯恩斯调节经济的政策手段，用带时间滞后的控制论框图反映了出来,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. 同时,他利用计算机建立了使用比例 -微分 - 积分控制器有时间滞后的存货控制模型.

1957年,数理经济学家艾伦发表了《数理经济学》,他用经济控制论的方框图描述了菲利浦斯乘数加速器模型、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和方法引入到经济分析中。同时,他还介绍了与经济控制论有关的一些理论,如投入产出分析、对策论、线性规划、动态分析等.

1956年和 1957年,西蒙(Simon)和希尔(Thiel)提出了控制论中的二次高斯问题的‘可分解定理’;在计量经济学中称为‘确定性等价原理’.

1960年,在荷尔特、莫德·格里安里、莫斯和西蒙合著的《计划生产、库存和劳动力》一书中,运用控制论中的离散时间最优控制方法解决了经济中线性的二次型问题.

1965年，波兰杰出的数量经济学家奥斯卡·兰格出版了古典经济控制论的代表著作——《经济控制论导论》一书.该书系统地论述了经济控

制论的概念、方法和理论．他用马尔可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．他在如何求经济控制论中的微分－差分方程的解，分析其稳定性方面作出了重要贡献．

1966年，希丁在《关于最佳经济增长理论的论文集》中以及1970年道柏尔在《经济增长的数学理论》中应用了庞特里雅金的最大值原理，证明了控制论中的非线性动态和非二次型性能指标在不涉及状态变量时，对研究最优经济计划(经济增长、消费与投资的动态最优比例以及资源最优分配等)是有用的．

这个时期的控制论基本上还处于经典理论阶段，使用的方法主要是传递函数分析法，并且大多数处理一些线性问题．只有少数经济计量学家和工程师热衷于经济控制论的发展研究，但这方面的文献很少．

直到20世纪60年代末、70年代初，现代控制论才逐渐发展起来，经济计量学日趋成熟．这时经济计量学专家才发现要提高经济数学理论的地位，只有发展经济控制论．而控制论专家也发现经济控制论是最有发展前途的领域，其潜力甚至超过空间技术领域．

总之，不少科学家为数量经济学与控制论相结合作出了巨大的努力．

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．

1966年，兰西·费罗尔·大卫、何德里克与阿苏尔·普鲁逊合作，利用莱曼·梅拉的共轭梯度法程序，解出了韩国的最优计划模型．

从20世纪60年代起，经济控制论在东欧、前苏联受到极大重视，政府设立了各种专门研究经济控制的机构，制定了许多具体模型、算法和程序，例如编制动态投入产出表，用经济控制论研究资源利用最优化、物资供应技术最优化、基本建设投资最优化、生产力地区布局最优化以及经济预测、人口预测、科技发展预测等问题．在企业管理中，经济控制论被用来实现库存控制最优化、维修作业最优化、运输调度最优化和设计综合管理系统等．

M.曼内斯库对经济控制论的发展作出了重要贡献．在他担任前罗马尼亚总理期间，制定了几个宏观经济模型，为指导、控制和调整罗马尼亚经济，使之最优而平衡地按比例增长，作出重要贡献．他于1980年出版的《经济控制论》一书受到了国际社会的广泛重视．

在前苏联的大学里也开设了经济控制论课程，并出版了不少经济控制论专著．

20世纪70年代以后，由于空间及导弹技术的发展进一步促进了控

制理论的发展,使经典控制论发展为现代控制论,其研究领域扩大到微分对策等方面. 而对策论、规划论、排队论却是由数量经济学家发展起来的,于是一部分控制理论家开始阅读数量经济方面的文章,他们发现随机排队和对策问题中最困难的方面正是控制理论的用武之地.

1971年,控制理论专家 B. 狄克解决了一个确定性二次跟踪控制问题,这是一个含 28 个状态变量的美国经济模型,他使用了超额税、政府支出和货币供应等三个控制变量,说明反馈控制方法在金融和财政政策的制订中是极其有用的.

1972年 3 月,美国电气及电子工程协会(IEEE)的控制系统学会成立了经济系统技术委员会,专门研究随机控制理论及其在社会经济中的应用问题.

1972 年 9月,美国联邦储备委员会(FRB)使用最优控制方法(线性二次型问题的方法),制定涉及失业一通货膨胀交替变化的控制政策,以调节美国经济.

1973年,召开了关于动态模型和国民经济控制问题的国际会议,会议上发表了很多关于现代经济控制理论的重要文章.

1975 年召开的第三届控制论与系统的国际会议,也把主要注意力集中在经济控制方面.

由上所述,经济控制论迅猛发展,受到了人们的普遍重视,终于发展成为一门学术界公认的学科.

现代控制论研究的经济问题,包括宏观、微观及经济计划等方面,具体从财政、金融、商业、企业管理到教育规划等.从方法上来划分,有离散与连续控制、确定型和随机型控制、微分对策和规划等.

从现代经济控制论的由来来划分可分为两类:

一类是数量经济学范畴. 它是由数量经济学、管理科学、经济系统科学、运筹学等与控制论相结合对具体的经济过程进行控制和管理,侧重研究控制方式及事物的动态特性,这类经济控制论把人和物及各种参数都看作被控制的对象.

其主要内容有 应用最优控制理论建立宏观经济计量模型,如邹至庄的专著——《动态经济系统之分析和控制》. 用庞特里雅金最大值原理建立最佳经济增长模型,研究最佳消费投资比例的控制论模型、最佳广告费的控制论模型、科技人员最佳分配的控制论模型,研究最佳教育、培训投资规划以及生产与库存的动态优化问题,研究机器保养与更新的最佳控制问题,研究商品的最优价格及自适应控制问题。用随机控制模型来分

析国际贸易中的商品稳定化方案．用卡尔曼滤波研究有价证券选择、金融市场的开环最优控制问题．用控制论中的噪声分析和识别理论进行经济模型的估价及研究资源利用最优化、基本建设投资最优化、厂址选择和规模确定最优化以及生产力配置最优化等问题．1974年柏沙等撰写的《现代控制理论在管理中的应用》，比较系统地介绍了现代经济控制理论．

另一类是由对策论发展起来的现代经济控制论．它把人看作有其内在动力结构的因素，人与人之间的关系既是协作的又是竞争的，人与人的这种关系形成社会经济的一种主动结构，这一结构形成了经济系统的控制功能．经济系统有四个层次：一是具体的生产技术效率；二是经济中人与人分工协作的组织结构；三是通过价格、收入、利润、利息等来控制分配，构成反馈网络；四是通过经济立法来控制第三个层次．这四个层次形成复杂的、既有串联耦合又有并联耦合的多级控制网络．这类经济控制论研究人的积极性的主动结构，涉及物质刺激、责任问题、竞争等不同层次的控制功能．

这类控制论的主要文献有：1971年L. F. 保发表的《促进发展的经济系统中的控制、冲突和合作》，1972年发表的《非线性分层系统的控制》以及1973年发表的《宏观经济中各部门之间的微分对策》

§5 研究经济控制论的意义

综上所述，近百年来，数学与系统控制论的原理和方法不断渗入到经济学之中，使经济学日益发展成为一门依靠数学和逻辑的科学．因此，一向被认为属于社会科学范畴的经济学在其理论框架的逻辑化、数学工具的模型化和假设前提的简明化上，普遍认为只有纳入自然科学才具有特色，从而促进并形成了自然科学与社会科学的融合，为数学和系统控制理论在经济中的应用开拓了广阔前景．没有数量经济的分析，就谈不上现代化的经济管理，这说明经济学需要借助于数学已成为时代的发展趋势．

“科学能转变为直接的生产力”这个辩证唯物主义的预言，已被当今世界的发展所证实。生产和科学的相互关联以及科学技术对生产过程的影响，已成为促进最优经济增长和整个社会进步的能动因素。但是经济增长决定于管理效率、方案和决策．

控制论在生产过程和管理中的应用，对技术进步、提高劳动生产率和经济效益等都起着重要的作用．

从过去30多年的发展趋势来看，运用现代控制论和大系统理论的一

般原理,在解决经济分析、规划、决策和管理问题方面,都取得了重大突破. 正如兰格所指出的那样,经济控制论“可用来研究系统和经济过程如何发挥其功能”(对经济系统进行分析),如“对合理地控制经济过程提供新的见解”(对经济系统进行控制、管理、决策和规划),它“提供了一种有效地计划和管理国民经济及其各部门的新工具”.

按照控制论的观点,经济系统是有组织的受控系统,例如生产、消耗、积累、工资、价格、税收、利润、投资、资源配置、通货膨胀、最优化、平衡、按比例增长等经济现象都与经济控制论密切相关. 根据各种经济现象影响的大小和结构上的差异,可以划分为宏观经济系统和微观经济系统。由于社会的发展,经济规模越来越大、越来越复杂,劳动分工越来越细,使经济系统成为复杂的大系统. 因此要做到有效的最佳控制,达到供需平衡,合理配置资源,确定最佳投资政策,进行经济调整,改革经济结构,使经济持久、稳定、快速、最优增长等,这就需要在正确的经济理论指导下,运用控制论的一般原理与方法,研究和解决经济系统中大量的控制、管理、决策和规划等问题. 从我国经济现状来看,研究我国的经济体制问题,为经济立法和体制设计提供科学理论基础和工程技术化的手段,乃是经济控制论在我国发展的重要任务.

兰格指出:经济控制论是用控制论研究经济过程的学科. 这一学科与其他学科的关系非常密切。控制论与数学理论、信息论是平行的,它们都是居于一般科学之上的方法论科学;大系统理论是控制论的一个最新分支 数量经济学与经济控制论基本上是平行关系 对策论是经济控制论的主要组成部分,但对策论还包括一些经济领域之外的博奕问题. 管理科学是经济控制论大有作为的领域. 至于农林系统的经济控制问题,在国内外还是个空白点,有待开拓. 总之,学习和研究经济控制论,对探讨经济计划最优化,提高国民经济管理科学水平和经济增长速度,促进社会经济持续和谐发展具有重要的战略意义.

第二章　调节和控制的一般原理[①]

§1　系统和控制系统的概念

所谓系统,兰格的定义是 依靠因果关系联结在一起的元素所组成的集合.

钱学森的定义是：相互制约的各个部分组成的具有一定功能的有组织的整体.

邓聚龙的定义是：一个由相互关联而又相互制约元素所组成的具有某种功能的整体.

M.曼内斯库的定义是：各种控制系统是由处在一个复杂结构中互相制约的有序元素组成的各种集合. 这些集合以合乎逻辑方式形成一个统一的整体,它们像一个均质的整体,从运动的角度看,具有自己的特征和功能，而与组成它们的元素具有本质区别. 如一个生产单位、一个工业公司、一个经济区域,甚至整个国民经济都可视为一个经济控制系统.

A.Я列尔涅尔的定义是 被控对象和控制装置连接在一起,构成一个控制系统.

任何一个系统，总是包含着若干子系统，同时又被若干子系统所包围,因为,对于构成整体的系统元素来说,这些元素是该系统的部分 而对于这些元素的自身结构来说，又是一个系统. 因此,经济控制系统的每个元素都可以表示为一个子系统，而且又隶属于它的系统. 应该指出,系统、子系统和元素这些概念之间的区别是相对的，决定于分析问题的性质. 按辩证法的原理，所有系统都是由各种相互作用的其他系统以多级递阶形式组成的整体.

从这个意义上说,经济控制论把生产看作是由许多子系统,如 工业、农业、建筑、运输、产品流通和其他部门构成的一个复杂系统. 同样,这些子系统还由更小的子系统所组成. 例如,森工系统是由采伐、电力、热力、机器制造、交通运输、化学、轻工业等所组成,而轻工业又是由许多子系统

①本章参考了中国人民大学数学教研室编的《经济控制论讲义》[1985]部分内容。

所组成的.

还必须指出，系统的所有性质并不是组成系统的元素都具有的. 因此,国民经济是一个复杂的经济控制系统,它是一个均质的有机整体,而不是各个系统和子系统的简单叠加，一个系统的各组成部分联结成一个统一整体，使该系统能完成其组成元素所不能单独完成的许多活动.

显然,系统的概念是极其广泛的,有工程技术系统、生物系统、生态系统、农业系统、水利系统、经济系统、社会系统、工业系统、交通运输系统等各式各样的系统. 但是,系统的概念又是相对的,一个系统可以是另一个系统的一部分或一个元素,称为后一个系统的子系统或分系统,例如工业、农业、商业、交通运输等系统是整个国民经济系统的子系统,而重工业、轻工业又是工业系统的子系统. 可见,系统又有大系统、小系统之分.

根据各种系统的特殊性，可将系统分成硬系统与软系统两大类. 如图 2－1所示.

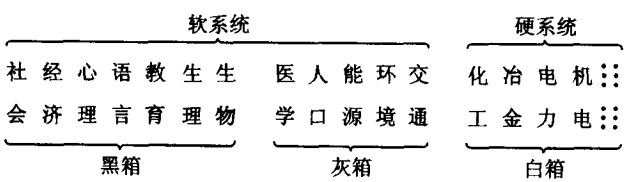


图 2－1

硬系统的特点是:① 随机因素较少,有许多客观规律和定理可用,多采用分析的方法;②数学模型精度高,多采用连续模型.

软系统的特点是:① 随机因素多,多采用概率论、数理统计和模糊数学方法处理;② 数学模型精度低,一般采用离散模型.

§2　控制系统的自动调节

2.1　控制变量和状态变量

为了解决控制系统自动调节或用图形描述自动调节过程的功能，我们先举自动恒温器的例子,装置如图 2－2、图 2－3所示,从而引进控制论的几个基本概念.

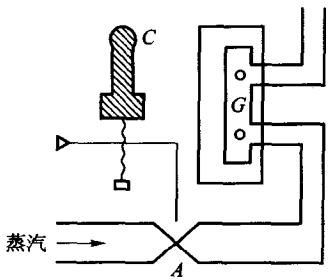


图 2－2

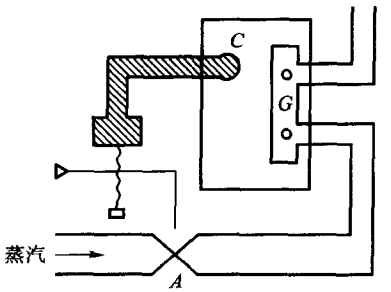


图 2－3

图中 G 是对房间供暖的加热器，使房间的温度稳定在某一要求范围内；A 是控制蒸汽量大小的阀门；C 是传感器，其作用是根据室内外温度变化自动调节蒸汽阀门 A 的大小，使室内温度稳定在某一要求范围内.

显然，这个自动恒温器有 4 个基本因素：①蒸汽量，这是可能调节的输入量，称为控制输入变量，在数学上称为自变量，它是人们在一定的正常输入变量和干扰输入变量条件下，为达到所欲输出而从外界输入系统的变量；②室外温度，这是影响室内温度的另一个输入变量，是无法调节的，称为干扰输入变量，它是指人们不希望的或不规则的外界对系统的作用；③室内温度，这是自动恒温器所要观测的量，称为输出变量，在数学上称为因变量；(4) 室内恒温，这是自动恒温器的[illegible]或功能，称为控制目标.

控制输入变量、干扰输入变量、输出变量和控制目标是一般控制系统的 4 个基本因素.

现代经济控制论把控制输入变量称为控制变量，把其他输入、输出变量统称为状态变量. 例如，某地林业每年生产费用为 100 万元，产出的销售值为 150 万元，这构成一个输入输出系统(图 2－4)，则输入 x 和输出 y 为状态变量.



图 2－4

控制变量有时可用参数表示. 参数是指参与系统起作用的量. 参数不但可以作为一种变量，有时也可以作为已定或待定常数. 这样处理可以把一个三变量系统化为若干个二变量系统，即假设控制变量取不变常数时，分析输入输出怎样变化，这样就可以把一个复杂问题化为若干个简单问题来分析.

在高等经济计量理论中，参数又被看成是模型中的常数，而与内生变

量(因变量)和外生变量(自变量)相区别.

2.2 控制系统的功能

我们仍以上例进一步讨论控制系统的功能.

2.2.1 室内外温度与蒸汽量的关系

根据热力学的热平衡原理，这三个物理量的关系式为：

$$a\frac{dT}{dt} + T_i = T_e + bQ \qquad (2-1)$$

式中：$T_i = T_i(t)$ 为 t 时刻的室内温度(单位：℃)；$T_e = T_e(t)$ 为 t 时刻的室外温度(单位：℃)；$Q = Q(t)$ 为 t 时刻的蒸汽量(单位：kg/s)；$a = RC_i$，$b = RC_\theta T_\theta$，R 表示从室内到室外墙壁的放热阻(单位：℃/W)，C_i 表示室内空气的热容量(单位：J/℃)，C_θ 表示蒸汽量比热容(单位：J/kg·℃)，T_θ 表示蒸汽温度(单位：℃)，R、C_i、C_θ、T_θ 均为已知参数.

由(2－1)式可得出下列三点结论：

(1)如果室外温度 T_e 已知，给定蒸汽量 Q 则由(2－1)式可求得相应的室温 T_i；

(2)若已知 T_e，要把室内温度维持在一定水平，则由(2－1)式可求出需要的蒸汽供应量 Q；

(3)如果室外温度 T_e 上升，而蒸汽供应量不变，则 T_i 也上升，这时要室内温度维持在一定水平，就必须减少蒸汽供应量 Q；反之，若室外温度下降，就必须加大蒸汽供应量.

2.2.2 控制恒温的方法

由于室外温度时刻在变化，而人工又无法控制，因此要使室内温度维持在一定水平，惟一的办法就是控制蒸汽量大小。通常，控制室内温度的方法有三种：

(1)平衡偏差法. 根据室内要求的温度 T_o 和室内实际温度 T_i 的偏差情况，调节蒸汽量 Q 的大小，从而达到恒温 T_o，这种方法称为平衡偏差法. 平衡偏差法的装置叫做调节器，它是根据系统的实际输出与理想输出的偏差，调节系统的输入变化.

平衡偏差法的特点是要求信息量较多，特别是当外界干扰很频繁而不能预计时. 干扰强度与效应无法用函数关系描述时，采用此法的效果较好，因此，在工程技术中获得广泛应用. 另外，这种方法是根据系统输出变化来确定输入变化，所以按这种方法设计的系统具有“反馈控制机制”，系统元素的耦合关系是封闭的，因此这种方法叫做“闭环控制”.

(2)补偿干扰法．根据室外温度(外界干扰)的变化规律及热平衡原理确定蒸汽量的变化规律，从而达到恒温的目的．这就要求随时知道室外温度的变化规律．确切地说，补偿干扰法就是根据外界干扰的变化情况,调节输入变化,从而间接地调节输出的变化,这种用来补偿外界干扰的装置叫做‘补偿器”．

补偿干扰法的特点是：既要知道输入和输出信息，又要知道干扰信息，特别是当干扰因素很多而且不断变化时，所需要知道的信息就更多．由于补偿干扰法不是根据输出变化规律来调节输入变化，因此用这种方法设计的控制系统没有反馈,系统元素之间的耦合关系是开放的,所以这种方法叫做‘开环控制”．

(3)排除干扰法．将房间的墙壁用绝缘材料建造,尽可能减小室外温度的影响,这样当蒸汽输入量达到一定程度时,室内温度就可达到规定的T_e,就不必再调节蒸汽量．例如,热水瓶就是根据这种原理设计制造的．

类似于恒温器的自动调节技术装置方法很多，这里不再一一介绍．同样，类似于恒温器自动调节的经济例子也很多．例如 农民每年收入与农业收成密切相关,丰收年,收入就多 欠收年,收入就少．为了使农民收入稳定在某一水平,或逐年有所提高,可按上述三种方法进行调节．

平衡偏差法,是指收成好的年份就多积累一点基金,如卖债券,保险等,到欠收年时拿出来,保证农民每年收入基本稳定．这是一种根据收入(即输出)变化进行调节的方法．

补偿干扰法,在这里是指根据天气变化、自然灾害情况,随时采取灌溉、排涝、施肥、灭虫等人工办法,以争取更好的收成．显然，这种办法是可行的．

排除干扰法,在这里是指天旱时要天下雨,雨多时要天少下雨等,即要求能控制天气变化．一般来说，这种办法在目前的科学技术条件下是难以实现的．

当然,在农业生产实践中,究竟采取哪种方法,要根据具体情况而决定,这是一种经济决策问题．

§3 调节理论的基本概念与基本公式

上一节提到了输入、输出和反馈三个概念，它们是控制论中最基本、最重要的三个概念,有必要再作进一步说明．

3.1 几个基本概念的定义

先看两个例子.

例 1 电灯和开关

我们知道,灯泡亮与不亮,是由开关接通与断开决定的,开关接通,灯泡就亮,开关断开,灯泡就不亮,如图 2－5 所示.

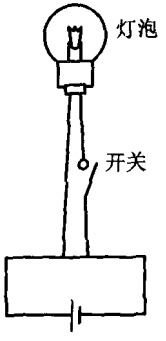


图 2－5

例 2 恒温室

如图 2－2、图 2－3 所示,室温的高低是由蒸汽阀门开的大小，即蒸汽量供应多少而决定.

这两个例子虽然简单,却有不少共同之处,据此我们可以定义一些基本概念.

(1)这两系统都有一个“被控制”对象,灯泡亮与不亮、房间温度,称为“被控制对象”或“被调节系统”.

(2)这两个系统都有一个进行控制的装置，即开关、蒸汽阀门，称为“控制器”.

任何一个控制系统都是由被调节系统和控制器两部分所组成. 它的特征是,在控制器作用下,能改变自己的运动,并进入各种状态,如通过开关使灯泡亮与不亮,如果没有调节的选择,就不可能有控制.

(3)都有一个影响控制系统状态变化的外界量,如电源、蒸汽,称为控制输入,干扰或破坏控制系统达到预定要求的输入,称为干扰输入,如冬季室外温度影响室内温度,就称为干扰输入

(4)都有一个影响控制系统外界(状态)的量,如灯泡的亮与不亮、室温的高或低,称为控制系统的输出. 在控制论中，将输出叫做控制系统对输入的响应.

对于任何一个控制系统来说，一定的输入就会有一定的输出；反之,任何输出都对应于一定的输入. 比如,对工业系统来说,农业、商业、交通运输业、服务行业、文教卫生事业等状况,都会影响工业系统的状况,因此,农业等社会经济系统的状况,可看作是工业系统的输入,而工业系统的产量可看作是工业系统的输出。

经济控制系统的输入和输出之间的函数关系，反映该系统的结构和活动效率.

3.2 耦 合

耦合是指各因素之间的关系. 自然界一切事物都是相互影响、相互

关联的，这种相互影响的因果关系链就构成了耦合．控制论一般不关心系统内各事物本身是什么，而只关心事物之间的耦合．经济控制论只关心经济系统中各因素的耦合．

在自给自足的社会中，人们的经济活动可以当作各元素互相孤立的系统来处理，而一个分工细密、社会化水平高的社会，则是一个各元素相互依赖、耦合得十分紧密的经济系统．

图 2－6 表示自给自足的经济系统．$S_i(i=1,2,3)$ 表示三个家庭，$x_i(i=1,2,3)$ 表示第 i 个家庭收入，y_i 表示第 i 个家庭对自然界的作用（劳动支出）．这种系统内生产中的耦合关系很松散，只有家庭内部的男耕女织方面的分工协作，家庭外部除超经济强制耦合（如战争、赋税等）外基本上没有什么耦合关系．

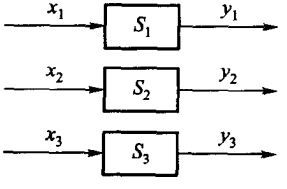


图 2－6

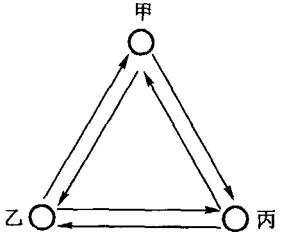


图 2－7

图 2－7 表示甲、乙、丙三人分工协作生产的经济耦合关系．甲从事农业，乙从事林业，丙从事牧业．甲对乙、丙的输出就是乙、丙的输入，即甲生产的粮食供三人消费 乙对甲、丙的输出也就是甲、丙的输入 丙对甲、乙的输出也就是甲、乙的输入．

经济耦合有不同的形式，最基本的形式有串联耦合、并联耦合和反馈耦合三种．

比如，一种原料 x，经过第一个工厂 S_1 加工后成为半成品 x_2，又进入第二个工厂 S_2 加工后变成零部件 x_3，再经过第三个工厂 S_3 变成最终产品 y，则整个生产形成一个串联耦合系统如图 2－8 所示．

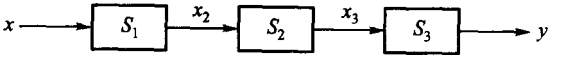


图 2－8