

二阶控制论及其应用

万百五

(西安交通大学 智能网络与网络安全教育部重点实验室 机械制造系统工程国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要: 本文综述二阶控制论学派的缘起和成就, 包括它的创导人冯·福尔斯特和他的BCL实验室, 以及它的主要论点和与前期控制论的差异. 介绍了二阶控制论在对话和理解协议方面、以及管理和经济系统方面的应用. 最后本文作者对学派的工作进行了分析和评论.

关键词: 二阶控制论; 观察者; 构建主义; 自繁殖; 对话理论; 人工适应主体; 活力系统模型

中图分类号: T811 **文献标识码:** A

Second-order Cybernetics and its applications

WAN Bai-wu

(MOE Key Lab for Intelligent Networks and Network Security, State Key Laboratory of Manufacturing Systems Engineering,
Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi 710049, China)

Abstract: This paper briefly reviews the origination and achievements of the second-order Cybernetics, including the initiator H-von Foerster and his BCL(biological computer laboratory), main theories as well as the differences between the second-order Cybernetics and its predecessor Cybernetics. The paper also describes its application to the agreement through conversation and understanding, and the applications to management and economic systems. Finally the author gives his investigation results and comments on the second-order Cybernetics.

Key words: second-order Cybernetics; observer; constructivism; autopoiesis; conversation theory; artificial adaptive agent; viable system model

1 引言(Introduction)

人在社会系统中既是观察者又是动作者, 由此引出二阶控制论及其学派, 或被誉为“新一代”控制论^[1]. 国内学术期刊还没有对二阶控制论的论点及其应用进行过介绍.

早期研究者认为, 不管哪类对象, 只要符合下列4个条件的系统, 就可以用控制论的方法进行研究:

- 1) 系统具有目标; 2) 系统朝向目标的运动受到环境的干扰; 3) 系统对目标和现况的偏差进行测量; 4) 系统采取纠正动作.

为了研制和确保一个高性能的系统, 需要建立系统的模型来进行仿真研究. 模型的建立必须是客观、以必要维数的变量来表示, 因而是量化的, 并且经得起重复验证的.

这被二阶控制论学派称为一阶控制论.

2 二阶控制论缘起和发展(Origination and development of second-order Cybernetics)

二次大战结束后的1949年, 出生奥国的物理学家

海因茨·冯·福尔斯特(Heinz von Foerster)博士揣着自己的“记忆—以量子物理研究”(The memory—An investigation in quantum physics)德文小书前往美国谋职. 小书被推荐给了美国麻省理工学院(MIT)教授W·麦卡洛克(McCulloch)并得到他的赏识. 当时, 麦卡洛克是梅西(Macy)基金会支持的、导致控制论诞生的“生物和社会系统中的循环因果关系与反馈机制”讨论会的主席, 他邀冯·福尔斯特参加了当年的上述讨论会, 成为最年轻的与会者和报告人. 会上他被许多顶级科学家参加的此次高峰会议指定为此次和前4次会议论文集和纪要的编辑. 在编辑过程中冯·福尔斯特要处理著名女人类学家玛格丽特·米德(MMead)的一篇无题发言稿, 在无法联系上她时他将她稿中警句“以控制论的方法探讨控制论”(speaking about Cybernetics in a cybernetical way)改成为“控制论的控制论”(Cybernetics of Cybernetics)作为她发言的标题.

1951年冯·福尔斯特到伊利诺斯大学任教(图1). 6年后他得到美国军方资助成立了生物计算机

实验室(biological computer laboratory, BCL). 实验室存在的20年(1957~1976)间, 作为研究对象之一的控制论, 从机器、生命系统发展到社会系统和认知科学, 并理解观察者角色的重要性. 英国著名控制论学家R·艾什比(Ross Ashby)参与了该实验室. 他是《控制论导论》^[2]和《大脑设计》^[3]两书的作者, 来实验室后的代表性著作有《自组织系统原理》(principles of the self-organizing system)^[4]. 他们俩人指导和培养了一大批研究生, 其中包括后来担任过美国控制论学会(American society for Cybernetics, ASC)会长、美国乔治·华盛顿大学教授S·翁玻尔贝(Stuart Umpleby). 参与实验室并对二阶控制论有大贡献的其他学者有: 英国的G·帕斯克(Gordon Pask), 他的核心工作是对话理论(conversation theory)^[5], 智利的生物学家H·马图拉纳(Humberto Maturana)和他的合作者智利的F·瓦雷拉(Francisco Varela)等, 俩人的代表性著作有《自繁殖和认知(autopoiesis and cognition)^[6]. 此外, 在英国二阶控制论著名学者S·比尔(Stafford Beer), 他是管理控制论的首创者, 认为控制论是关于有效的组织的科学, 代表性著作有《变动用的平台》(platform for change)^[7].

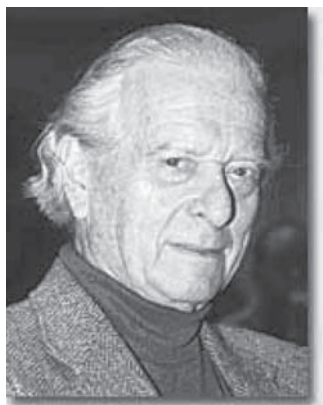


图1 二阶控制论创导人美国H·von福尔斯特, 1911–2002

Fig. 1 Initiator of the second-order Cybernetics American H·von Foerster, 1911–2002

20世纪70年代中叶冯·福尔斯特创导“二阶控制论”(“控制论的控制论”提法的变种), 掀起了一场“革命”^[8~12]. 他的团队也随着发表一系列的新见解. 一时BCL成为控制论新思想的中心, 对认知科学和哲学的构建主义有重要影响. 后来团队和翁玻尔贝及美国控制论学会也花费近20年时间进一步推动了这方面的研究和举办系列讲座. 1992年起在英国出版季刊《Cybernetics & human knowing》(控制论与人类认识): 一个二阶控制论、自繁殖和赛伯符号学(Cyber-Semiotics)的杂志, 主编是S·布理安(Brier).

2002年学派创导人冯·福尔斯特逝世后, 翁玻尔贝指导的研究生胡继旋认为“二阶控制论正在走下坡路, 激动人心的成果的数量已经不如过去”^[13].

3 二阶控制论的主要论点(Main concepts of second-order Cybernetics)

1) 将控制论发展分为3个时段.

冯·福尔斯特逝世后二阶控制论学派的领军人翁玻尔贝对控制论发展的时段划分为^[14]:

一阶控制论时段(1940中叶~1974): 跨学科的定位, 工程研究法, 聚焦于控制系统(实物系统), 负反馈和循环因果, 内稳态以及构造智能机器; 必要变异度定律, 自组织系统;

二阶控制论时段(1974~1990中叶): 观察者角色, 聚焦于生命系统、社会系统, 研究形态形成和正反馈而不是内稳态及负反馈, 理解人类的认知及对理解的理解, 自治系统;

社会控制论时段(social Cybernetics)(1990中叶迄今): 研究理念和社会的互动作用, 思想运动的设计.

2) 以控制论的方式探讨、研究控制论.

冯·福尔斯特这样通俗地解释二阶控制论的思想: “一个大脑被要求写出大脑的理论”, 就是说大脑理论的作者必须考虑进他自己的大脑活动. 因为大脑的功能本身是一个控制论的问题, 这样控制论被应用到它自己, 成为“控制论的控制论”, 即二阶运作—二阶控制论. 图2为人类学家G贝特森(Bateson)和米德对两类控制论系统在1973年所作的对比^[9], 其中上部为由检测及控制器组成的反馈, 设计工程师在系统之外; 下图中添加由维纳、贝特森、米德作为观察者-动作者形成的外反馈回路^[15]. 下一类控制论系统将观察者-动作者的反馈包含在内. 这类系统后来就被冯·福尔斯特命名为二阶控制论系统.

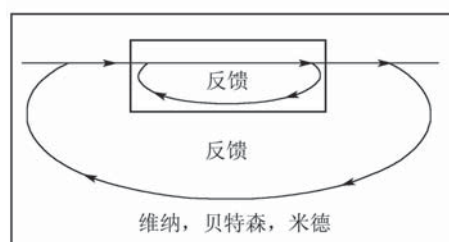
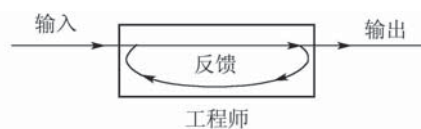


图2 上类控制论系统和下类控制论系统的对比

Fig. 2 Contrast between upper and lower cybernetical systems

3) 将控制论的原理运用于理解观察者的角色.

观察者在试图研究和理解一个社会系统时, 是无法将自己与系统分离开来的, 也无法阻止自己对系

统产生影响.

翁玻尔贝列表总结了一阶控制论和二阶控制论的定义及要点的差别, 列表1^[14,16].

表 1 一阶控制论和二阶控制论的定义及要点

Table 1 Definition and concept of first and second-order Cybernetics

提出者	一阶控制论	二阶控制论
冯·福尔斯特	被观察系统的控制论	观察着的系统的控制论
帕斯克	模型的目的	建模者的目的
瓦雷拉	被控系统	自治系统
翁玻尔贝	系统中变量的互动	观察者与被观察系统的互动
翁玻尔贝	社会系统的理论	理念和社会间互动的理论

对社会系统和组织进行研究的控制论学者很容易理解观察者作用的重要性. 从表中可以看出: 第2行被观察系统指observed systems, 而观察着的系统是指observing systems, 表示从观察者的角度, 它就是观察者(兼做动作者)加上被观察系统. 显然, 在一阶控制论中被观察系统被认为是独立于观察者的, 而二阶控制论学者认为在社会系统和组织中由于观察者自己的立场、观点和理念很难做到完全独立, 也无法阻止自己对系统产生影响. 而第3行的建模者也就是由观察者兼任.

第4行解释为: 二阶控制论学者认为一阶控制论研究的是被控系统, 它的目标、目的(如给定值)是由外界(观察者、建模者)施加上去的; 而自治系统(autonomous systems)是自己定义目标的系统, 观察者处在系统之内, 如一个具有自组织能力的国家或企业. 建模者的目的这时就成为目的的“目的”了^[10]. 引号中的目的正是二阶控制论强调要研究的要点, 就是把建模者和被建模的系统结合在一起研究, 提出“目的”的人就在系统之中, 因此, 系统才能是自治的或自设定的(self-referential). 自治或自设定是二阶控制论的中心思想之一^[17].

第6行理解为一阶控制论的一些论点和方法, 如反馈调节、自组织系统和必需差异度律等可以应用到社会系统解决某些问题, 但二阶控制论的理论是观察者(管理部门、领导阶层)的理念和社会间互动的理论, 即为达到目标一致、相互理解建成和谐社会的理论.

显然, 曾是物理学家的冯·福尔斯特, 受到爱因斯坦的相对论和海森堡(WHeisenberg)不确定性原理的启发, 将观察者角色和效应这个问题应用到

控制论中来^[17], 并且认为观察者这个问题存在于科学的各个领域^[12].

4) 认识论和哲学.

与一阶控制论认为知识是实在的一幅图画的观点不同, 二阶控制论基于生物学的认知论点是: 脑是如何起作用, 以及个人是如何构建一个“实在”. 关键的假定是关于知识的理念必须根源于神经生理学. 每人构建的“实在”是基于他的经验^[14]. 独立于观察者特性外的观察实体上是不可能的.

一阶控制论认为具有重复性、规律性和能预测的“实在”(自然过程)是客观的, 是独立于观察者的, 可以用科学定理加以解释的. 二阶控制论学派的哲学从一阶控制论学者的实在主义(realism)、基于反馈的目的论(teleology)走向构建主义(constructivism). (本文作者按: 建构主义者认为世界是客观存在的, 但是对于世界的理解和赋予意义却由每个人自己决定. 人们是以自己的经验为基础来建构或解释现实). 二阶控制论学者认为人们对世界的知识是受到人们感觉的修整; 与人沟通后, “实在”可以被增强或削弱. 客观是不存在的, 客观是本征行为的表现(objects: tokens for eigen behaviors)^[11,13]. 即人们对事物的感知, 实际上是大脑认识系统的一个本征行为的表现. 本征行为类似于映射中的不动点, 不过出现于大脑神经网络的复杂连接中. 感知是对世界描述的计算, 认知是对世界描述的计算的计算的计算... 神经系统是这样组织它自己, 以至于把外面的现实计算为一个稳定态, 即本征行为. 观察者的任何陈述根本上是关于观察者本身的陈述^[14]. 显然, 一些观点是与马克思主义哲学是不同的.

5) 序源于噪声原理.

自组织系统理论研究, 系统是如何自动地由无序走向有序, 由低级有序走向高级. 无序就是混乱. 冯·福尔斯特认为: “序源于噪声”. 这是他的序源于噪声原理(order from noise principle). 自组织系统可由其状态的摄动(噪声)发展到更高的组织化(有序)^[9,11].

6) 自繁殖.

马图拉纳和他的合作者瓦雷拉, 把生命看作一个自我繁殖(autopoiesis)的系统, 即自己生产自己的一个自治动态系统, 即将自治系统的理论引入于生命研究中. 任何对生命系统的解释都应该是非目的论的. 对自繁殖系统的一个更加明确的定义是: 一个动态的系统, 它是一个由部件生成的网络合成的实体, 该实体满足: ① 通过相互作用递归地再生产产生它们自己的网络; ② 用一个空间上的实体来实现这个网络. 该实体要能产生出与它所在的相互作用的背景分离的边界^[6,17].

生命系统的任何可观察现象都应该来源于纯粹的相邻内部组件之间的相互作用. 而对于那些能够表现出某种与整体相关功能的观察仅能够被外界观察者, 也就是能够描述部件、整体以及二者之间关系的人做出.

后继研究者将这些思想应用到社会系统.

7) 控制论的革命和科学的革命.

二阶控制论学派认为从一阶控制论发展到二阶控制论, 是一场控制论的“革命”, 犹如爱因斯坦的相对论之对牛顿的古典力学一样^[14].

二阶控制论学派将观察者的理论应用到社会系统, 这常常引起争论: 诸如“管理科学是科学吗”等类的问题. 讨论的焦点是当代的科学的哲学是否适宜于处理社会系统, 或二阶控制论这部分的研究是不是合乎古典的科学^[12].

因为近几十年来控制论学者曾建议了一种生物学上的认识论观点, 而不是标准的或社会学上的认识论观点. 前者的结论是: 必须拒绝一个重要的、科学的哲学原则—观察是独立于观察者的.

翁玻尔贝声称要修改和扩充科学的定义使之能处理社会系统^[12], 其办法是应增加一维(dimension)—“观察者和被观察者间的互动作用”. 这就是说二次大战后, 系统科学沿着8维迅速发展: 它们是因果(causality)、宿命(determinism)、关系(relationships)、整体(holism)、环境(environment)、自组织(self-organization)、折回(reflexi-

vity)和观察(observation)^[16]. 这样, 控制论才能和科学的最大限度的基本传统相容, 因而, 成为科学的一部分. 这就是二阶控制论学派发起的“科学的革命”. 这些论点得益于冯·福尔斯特的支持.

8) 伦理学观念.

伦理学(ethics)是关于道德的科学. 既然客观是不存在的, 冯·福尔斯特认为“伦理是观察者的财富, 并不能作为论点而加于一般观察者”. “……很困难提出一个统一的伦理观点”^[17]. 不是简单地“谁对”, “谁错”; 不是真理(truth)在哪边, 而是双方的彼此信任(trust)^[10]. 因此, 重要的是理解, 对理解的理解, 谋求共识来解决矛盾. 要推动社会使之增加容忍、宽容. 这些与马克思主义的伦理观、真理观不同.

4 二阶控制论的应用(Application of second-order Cybernetics)

1) 对话通讯、沟通、理解和共识协议的形成上的应用.

二阶控制论学派认为系统内的不同观察者由于利益而形成立场、观点和理念的不同, 对系统的建模和优化决策结果是不同的, 不存在客观, 客观就是“共识”^[13]. 因此, 认为, 要尊重别人的意见, 进行人际、组织间的沟通和国家间的沟通, 必要时各人要调整自己的立场, 通过语言沟通以取得共识, 达成协议. 这是一种对社会改变的努力—增加容忍和宽容. 研究理念对社会的互动作用. 通过说服而不是强迫, 改变社会的系统的概念、理念从而改变社会^[14]. 这些引出冯·福尔斯特的新伦理学观念^[10]. 对话本身当然是循环的, 对话也可以用来谈论对话本身. 所以这是一个二阶控制论系统. 甲说了话, 乙听了并在他的理解的基础上用自己的言语作了回答; 甲从回答中可理解: 乙对自己的说话的理解. 这就是对理解的理解^[11].

帕斯克致力于这方面的研究并提出“对话理论”^[5]. 它是一个控制论式和对话式的框架, 提议以科学的理论来解释互动如何能导致“知识的构建”, 或“认知”: 希望能既保存对话的动态/动力学的特性, 又保住理解者存在的必要性.

对话理论涉及诸如符号、语言定向的系统, 其中响应依赖于一人对于另一人行为的解释, 以及其中通过谈话同意对方的意向. 但是意向虽是被同意了, 而协议可能是虚幻的和暂时的, 理论研究需要在人类处理事务中定出一个稳定的参考点, 以便能复制对话成功的效果. 它可以用来帮助人

们之间有时是人与机器之间如何进行对话,以及帮助和测试学生学习某些事物或理论(在计算机辅助学习系统(CAL)中应用),并有效地应用在家庭心理治疗上^[18].

2) 管理上的应用.

比尔热衷于将控制论原理应用于组织、企业和机关.他并不回避它们的复杂性,而在建模时设法都包括进去加以研究,并将经理或管理者的领导活动着重地包括进去,即他们是系统中的一部分.比尔还尽量将对象中的过程处理成闭环的,也即作用能递归的.它创建了管理控制论,特别是活力系统模型(viable system model,简称VSM)和活力规律(the law of viability)^[19].后者指出,一个有活力的系统必须能适应持续变动的环境,必须能保持它的特性和能吸收及利用它的经验,必须能学习和能继续发展.

依据VSM理论,一个VSM组织有3个部分,如图3所示:环境部分(不规则形状)、管理部分(矩形子系统3,4,5;三角形子系统2,3)和运作部分1(圆形).运作部分执行全部基本业务的功能(例如生产、分配、销售等),可以被划分成一些相互独立的子自组织系统(如各车间、部门,其中也有管理子系统),它们相互之间保持一种协调的关系,如图3所示.管理部分的功能是为运作部分提供服务,以确保整个组织以某种整合的方法协同工作,使整个组织在具有高度多样性和复杂性的环境中能够保持稳定发展.三角形管理子系统2和三角形子系统3构成了自主控制体系,它们之间的协同作用能够保持组织内部的稳定性.管理子系统3执行协调职能;子系统4(观察者)执行优化控制职能,并观察外部环境的变化以及制定未来计划和预测未来环境的变化;子系统5执行决策的职能,并负责制定组织的整体政策(动作者).由于吸收和利用环境部分的信息,管理部分具有智能,因而能向环境学习.

基于二阶控制论的VSM模型就是一种为了使组织更好地适应环境的变化而维持自身发展的模型.它具有两大定性判断的功能:构建和诊断.构建功能是指在构建组织时必须按照VSM模型的要求使组织具备2个部分和5个子系统,无论该组织是只有一个人的小公司还是超大型跨国公司都必须如此.诊断功能是指对已有组织作出诊断,判断组织在稳定性及活性方面所欠缺的元素,以便组织在结构及管理方法上及时作出调整.文

献^[20,21]反映国内这方面的应用研究成果.

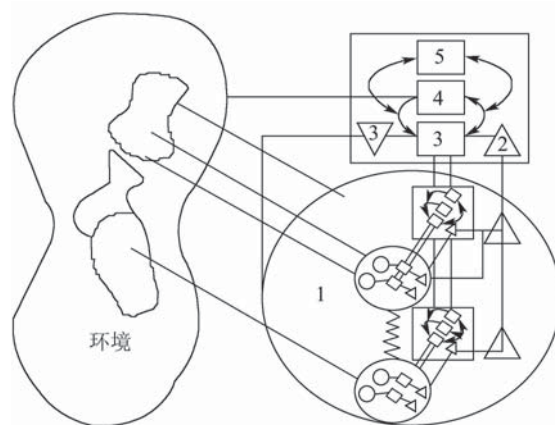


图3 VSM模型结构^[20]

Fig. 3 VSM structure^[20]

3) 经济系统上的应用.

20世纪90年代末以来,经济学者们开始把经济当作一个由智能化微观模拟模型组成的演化的复杂系统,放弃过去基于经济特征量间解析关系式所描写方程组采用的“刺激-反应”模式——“动态系统研究法”,而采用人工适应主体(artificial adaptive agent)技术来描述经济系统中的微观模拟模型(本文作者按:agent被译为“主体”,或“代理”或干脆沿用原文).用主体行为的局部微观模型自底向上地产生社会的全局宏观规律.这样形成把经济看成由自主、相互作用的主体组成的演化系统——“复杂性研究法”.主体应具有自治性、通信感知能力、优化能力、目标驱动能力、推理和规划能力、协作协商能力和适应能力.

从二阶控制论的观点看来,每一个主体就是一个观察者和动作者.文献^[22]认为基于二阶控制论思想“模型影响它所假定能模拟的系统”的最优秀的计算机仿真之一,是由著名的美国圣菲研究所(santa fe institute)的W.Brian Arthur等一批经济学家取得的^[23].

文献^[24]是由美国能源部委托由Sandia国立实验室研制的,提供一个基于1000个家庭主体、4个单一行业企业主体和一个政府主体等微观个体所组成的著名的宏观经济模型ASPEN.主体之间的相互作用均通过产品、劳动力和金融3个市场来完成.用C++Build语言在微机上编程实现了上述模型.该模型主要用于分析经济周期波动.模拟实现结果与经济理论推断基本吻合.模型ASPEN的扩展版本又引入2个银行主体、1个联邦储备主体、1个房地产经纪主体和1个资本品生产主体,企

业主体也被扩充为3个食品企业、2个非耐用品企业、2个汽车企业和2个房地产开发企业,该模型主要用于分析货币政策的作用机制.国内也兴起这方面的研究,如文献[25]提出一个基于主体的针对中国的ASMEC-C宏观经济模型.

研究者将生态系统也看成复杂适应系统,也采用人工适应主体技术的建模和仿真方法,提出基于主体的细胞自动机的演化模型,如文献[26]的Cropland以天敌害虫捕食现象为例,对农田害虫的演化进行模拟.并采用自底向上的思想,利用人工主体的局部连接规则建立复杂生态系统的整体模型.用来在不同环境下的作物生长及害虫的演化进行仿真研究.

采用人工适应主体的“复杂性研究法”更可以推广到人工生命和人工社会的研究^[27].

5 结束语(Concluding remarks)

早期这些在还原主义气候下形成的“一阶控制论”观点和成就,已给今日科学和工程带来巨大的进步.二阶控制论学者强调对认识论、心理学对象和社会对象的研究中关注观察者的角色,这对于前期控制论研究者的观点是一个值得欢迎的补充.但对于二阶控制论的其余观点也有相当对立的不同意见甚至否定态度.

1) 对一阶、二阶控制论划分的评论.

即便是美国控制论学者并不都同意这样将“一阶控制论”到二阶控制论的截然划分和“一阶控制论”的提法.他们认为后者是前者的继续和发展,未见两者中有什么“鸿沟”而需要什么“革命”.参与二阶控制论观点创立的人也都是梅西基金会支持的“生物和社会系统中的循环因果关系与反馈机制”讨论会的参加者.而原先控制论的最早奠基者们或明或隐地同意自治系统和建模的主观性等的观点,很难将他们塑造成“一阶控制论”学者^[22].

2) 二阶控制论学者的忽视应用的倾向.

控制论学者往往还是某一控制论分支的研究参与者.例如维纳在二次大战期间对工程控制论很有建树,他将随机信号和统计学引入自动控制论,创立了控制系统统计动力学.二战后他参与对生物控制论、神经控制论的研究.上世纪60年代他参与主持有关控制论的会议,曾与J.谢德(Schade)合编《神经、大脑和记忆模型》(二卷),1964年又合编《神经控制论》和《生物控制论进展》(三卷).

二阶控制论学派的主流学者强调研究者要懂得神经生理学、数学、哲学和心理学,研究兴趣更多在于理解人类的认知和理解人类自己.因而被认为出现了“理论控制论”、“纯粹控制论”的学者或分支,只“研究复杂系统组织的一些抽象原则”^[22].有人称冯·福尔斯特除控制论家外,还称他为“理论家”、“极端的构建主义者”和“哲学家”;称二阶控制论为“软控制论”.文献[22]还尖锐地认为“二阶控制论运动的推动热情可能已经带领人们走得太远.对于系统-观察者各种互动的不可减少的复杂性的强调以及对于建模主观性的强调,已经导致许多人放弃了正规的研究法及连同一一起的数学模型建模工作,局限他们于哲学或书卷气的论文中”.

3) 未完成的科学革命.

二阶控制论学派认为,他们启动了一场“新的科学革命”.但在二阶控制论学派蓬勃发展的20年中,其主要思想在广大科学界传播缓慢,仅“播下种子”.与当时的其他新思想如“混沌”相比,在广大科学界影响甚小.这场科学革命看来远未“完成”^[28,29].

4) 人工适应主体技术与巨系统研究法相结合.

应用人工适应主体技术所研究的宏观经济问题的对象,其规模都还远未达到一个国家的水平.要真正研究一个国家的问题,如中国,家庭主体有数亿个、规模以上企业有数十万家.所以这是钱学森所创导的巨系统问题.人工适应主体技术与巨系统研究法相结合,必将为复杂、宏观经济巨系统的研究开辟一个新方向.

最后,控制论的观察者和动作者融合于系统中的思想实际上正融入许多学科的工作和研究中.最重要的最近的控制论发展或者是采用人工适应主体技术的复杂自适应系统研究趋势的增长,反映在John Holland^[30,31]、Stuart Kauffman^[32]及Brain Arthur^[23]等人的著作以及子领域“人工生命”^[27]的研究成果中.而这些都不是二阶控制论学者作出或参与的,这不免有点讽刺.在跨学科边界的复杂系统的数学模拟中不在乎目标定向和控制,而采用人工适应主体技术对复杂自适应系统进行研究,并运用现代计算机的能力进行仿真、试验和发展控制论许多概念的趋势,看来在今日已经接过控制论的旗帜^[22].

参考文献(References):

- [1] 万百五. 控制论创立60年[J]. 控制理论与应用, 2008, 25(4): 597 – 602.
(WAN Baiwu. Sixty years of Cybernetics since funding[J]. *Control Theory & Applications*, 2008, 25(4): 597 – 602.)
- [2] ASHBY W R. *An Introduction to Cybernetics*[M]. New York: Wiley, 1956.
(R艾什比(Ashby). 控制论导论[M]. 张理京, 译. 北京: 科学出版社, 1965.)
- [3] ASHBY W R. *Design of Brain: The Origin of Adaptive Behavior*[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1960.
(R艾什比(Ashby). 大脑设计: 适应性行为的起源[M]. 朱秀成, 等, 译. 北京: 商务印书馆, 1990.)
- [4] ASHBY W R. Principles of the self-organizing system[M] //VON FOERSTER H, ZOPF G. *Principles of Self-Organization: The Illinois Symposium on Theory and Technology of Self-Organizing Systems*. London: Pergamon Press, 1962, 255 – 278.
- [5] PASK G. Developments in conversation theory: part 1[J]. *International Journal Man-Machine Studies*, 1980, 13, 357 – 411.
- [6] MATURANA H R, VARELA F J. *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*[M]. Holland: Kluwer, 1991.
- [7] BEER S. *Cybernetics and Management*[M]. London: English Universities Press, Wiley, 1959.
- [8] VON FOERSTER H. *Cybernetics of Cybernetics*[M]. Second Edition. Minneapolis, MN: Future Systems Inc, 1995.
- [9] VON FOERSTER H. *Observing Systems*[M]. Salinas, CA: Intersystems Publishers, 1981.
- [10] VON FOERSTER H. Ethics and second-order cybernetics[M] //YVELINE R, BERNARD P, eds. *Systemes, Ethiques: Perspectives en Therapie Familiale*. Paris: ESF Editeur, 1991, 41 – 54.
- [11] VON FOERSTER H. *Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition*[M]. New York: Springer, 2002.
- [12] UMPLEBY S A. The science of Cybernetics and the Cybernetics of science[J]. *Cybernetics and Systems*, 1990, 21(1): 109 – 121.
- [13] 胡继旋. 对理解的理解: 介绍海因茨冯·福尔斯特及二阶事理学(二阶控制论)学派[C/OL]. www.wintopgroup.com/readings/articles/foerster.pdf, 2005.
(HU Jixuan. *Understanding Understanding: An Introduction to Heinz von Foerster and Second-order Cybernetics School*[C/OL]. www.wintopgroup.com/readings/articles/foerster.pdf, 2005.)
- [14] UMPLEBY S A. Fundamentals and history of Cybernetics, Part1, 2, 3 and 4[C/OL] //A Tutorial Presented at the World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics, and Informatics. Orlando, Florida: [s.l.], 2006. www.gwu.edu/~umpleby.
- [15] BRAND S. For god's sake, margaret: conversation with gregory bateson and margaret mead[J]. *CoEvolution Quarterly*, 1973, 10: 32 – 44.
- [16] UMPLEBY S A. A history of the Cybernetics movement in the United States[C/OL]. www.gwu.edu/~cybernetics/2005_WAS_History_of_Cybernetics_Movement.doc, 2005.
- [17] GLANVILLE R. Second order cybernetics[M] //Encyclopedia of Life Support Systems. Oxford: EOLSS Publishers, 2002.
- [18] WIKIPEDIA. *The Free Encyclopedia, Family Therapy*[C/OL]. en.wikipedia.org/wiki/Family_therapy.
- [19] BEER S. *Brain of the Firm*[M]. London: Penguin Press, 1972.
- [20] 郭冰晴, 陈勇. 基于控制论的VSM模型在工业企业管理上的应用[J]. 工业工程, 2005, 8(2): 74 – 78.
(GUO Bingqing, CHEN Yong. Diagnosis of enterprise management based on VSM model of Cybernetics[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2005, 8(2): 74 – 78.)
- [21] 仲秋雁, 曲刚, 金淳. 管理控制论在企业间协作中应用的实证研究[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2006, 27(4): 5 – 11.
(ZHONG Qiuyan, QU Gang, JIN Chun. An empirical research on application of managerial Cybernetics in inter – organizational coordination[J]. *Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences)*, 2006, 27(4): 5 – 11.)
- [22] HEYLIGHEN F, JOSLYN C. Cybernetics and second-order cybernetics[M] //MEYERS R A, eds. *Encyclopedia of Physical Science & Technology*(3rd edition). New York: Academic Press, 2001.
- [23] BRIAN ARTHUR W. *The Economy as an Evolving Complex System II*[C/OL]. 1997, <http://www.pinggu.org/bbs/viewthread.php?tid=371275&page=2>.
- [24] BASU N, PRYOR P, QUINT T. ASPEN: a microsimulation model in economy[J]. *Computational Economics*, 1998, 12(3): 223 – 241.
- [25] 张世伟, 赵东奎. 一个基于主体的宏观经济模型[J]. 管理科学学报, 2005, 2(8): 7 – 12.
(ZHANG Shiwei, ZHAO Dongkui. Agent-based model of economy[J]. *Journal of Management of Sciences in China*, 2005, 2(8): 7 – 12.)
- [26] 撤力, 熊范纶, 王儒敬, 等. 一个人工生态系统的构建[J]. 模式识别与人工智能. 2005, 3(18): 345 – 49.
(SA Li, XIONG Fanlun, WANG Rujing, et al. Agent-based artificial ecosystem model[J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2005, 3(18): 345 – 49.)
- [27] 王飞跃, 史帝夫兰森. 从人工生命到人工社会-复杂社会系统研究的现状和展望[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(1): 33 – 41.
(WANG Feiyue, LANSING J S. From artificial life to artificial society-new methods for study of complex social systems[J]. *Complex Systems and Complexity Science*, 2004, 1(1): 33 – 41.)
- [28] MÜLLER A, MÜLLER K. (eds.). *An Unfinished Revolution?: Heinz von Foerster and the Biological Computer Laboratory BCL 1958 – 1967*[M]. Echoraum: Vienna, 2007.
- [29] FRANCHI S. *Blunting the Edge of Second-order Cybernetics: The Heritage of Heinz von Foerster*[C/OL]. Texas A&M University, franchi@philosophy.tamu.edu.
- [30] HOLLAND J, MILLER J. Artificial adaptive agents, in economic theory[J]. *AEA Papers and Proceedings*, 1991: 365 – 370.
- [31] HOLLAND J, MIMNAUGH H. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*[M]. Reading MA: Addison-Wesley, 1995.
- [32] KAUFFMAN S. Autonomous agents[M] //BARROW J D, DAVIES P C W, HARPER J. *Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology, and Complexity*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

作者简介:

万百五 (1928 —), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为大工业过程递阶稳态优化控制、智能控制和工业产品质量模型与控制论及控制论等, E-mail: wanbw@mail.xjtu.edu.cn.