

从工程控制到社会管理: 控制论Cybernetics本源的 个人认识与展望

王飞跃[†]

(中国科学院 自动化研究所 复杂系统管理与控制国家重点实验室, 北京 100190;
国防科学技术大学 军事计算实验与平行系统技术研究中心, 湖南长沙 410073)

1 《工程控制论》与《科学革命的结构》

回顾自己的专业发展过程, 曾有两本书几乎是戏剧性地拓展了我的研究视野, 先是从力学到控制, 后再从理工到社科. 在这两次变化之中, 钱学森先生的《工程控制论》^[1-2]都直接或间接地起了重要的作用, 也使我有机会从个人的角度理解控制论的历史和本意. 今年正值《工程控制论》英文版发表60周年, 匆忙成文, 谨以此向钱先生表示感谢与怀念.

第一次变化发生在30年前, 那时我还是浙江大学力学系的一个研究生, 刚刚完成《正交各向异性圆柱形中厚壳的一个精化理论》的硕士论文答辩, 立即花了近一周的时间细读了库恩的著作《科学革命的结构》^[3], 这是我偶然在一次物理学讲座上知道的一本“反”科学的书. 硕士期间, 我已在板壳力学、弹性理论和应用数学等领域完成了12篇论文, 并计划把基于公理体系的理性力学作为未来的研究方向. 但内心里, 一直有一种深深的彷徨与不安, 觉得所学习和研究的对象与内容太机械、经典、被动, 并不十分确定这就是自己一生的专业. 库恩一书对科学的反省与反思, 给了我很大的冲击, 使我对纯的理性研究有了不同以往却更实际的认识^[4], 更加觉得自己的研究方向“机械”、“被动”, 决心转到一个开放、主动的领域. 就是在这种心境之下, 我望文生义想到了控制论, 因为“控制”一定是“主动”的.

选择控制论的另一个重要原因就是钱学森教授, 不单单是由于他的《工程控制论》, 还因为钱学森与冯卡门关于柱壳屈曲研究的论文是铁木辛柯《板壳理论》中所引为数不多的华人文章之一, 这使我较深地了解到他在力学上的成就. 30多年前的环境与体制, 对一位刚毕业的硕士研究生而言, 跨行换专业绝对是一件大事, 但钱学森教授从力学到控制的巨大成功, 确实给了自己很大的鼓励和信心. 不过, 我开始读的,

不是钱学森《工程控制论》的原版^[1], 而是20世纪80年代初钱学森与宋健合著的修订版《工程控制论》上下两卷^[2]. 这是我大学时就买下的非本专业“闲书”, 印象深刻的就是钱先生的序, 洋洋十余页高屋建瓴地阐述了控制论与技术革命和现代化的关系.

由于当时没有读原版, 并不知道新版与原版的具体差别, 甚至还不知“控制(control)”和“控制论(Cybernetics)”在英文里根本就是不同的两个词, 因此心中不时出现文字上的“疑惑”: 为什么要叫“工程”控制论? 控制不就是工程系统的控制吗? 特别是读完两大卷本和其他控制专著之后, 更觉得《工程控制论》的“工程”两字是画蛇添足, “疑惑”更深了.

2 《工程控制论》与《开放社会及其敌人》

这一“疑惑”跟随着我差不多十年, 直到我开始自己研究视野的新拓广. 那时我已转入智能控制研究多年, 这是一个刚刚兴起、融合了人工智能、运筹学和控制的新方向, 主要应用在智能机器人、智能制造和智能交通系统等领域. 1990年完成题为《智能机器的协调理论》的博士论文之后, 我一直在亚利桑那大学教书, 并主持机器人和自动化以及计算机集成制造两个实验室的工作. 当时心里很苦恼, 因为智能控制的对象应为复杂系统, 由于互联网等网络技术还很原始, 构造复杂系统往往需要昂贵的硬件和软件投入, 经费巨大; 再加上那个时期许多智能控制的论文是哲学式或漫无天际的空谈, 自己除了几个机器人之外, 也没有多少“复杂系统”的实践, 很难理论联系实际, 常常有研究的是“屠龙术”之感.

同事中有位资深的老教授, Russell Ferrell, 学士修的是纯文科, 英国文学, 但博士攻是纯工科, 毕业于MIT的机械系, 还是远程控制、机器人和人机系统的创始人之一Thomas Sheridan教授的第一位博士毕业生, 而Sheridan恰好又是我自己博士导师George Sari-

dis教授的好朋友.可能是这些原因,Russ与我很谈得来,我也常同他说起自己的苦恼.Russ告诉我,问题太复杂了,就会对人的能力和智力产生过分甚至非分的要求,自然而然地导致大而空,甚至造假骗人的文章;他还向我推荐了波谱尔的《开放社会及其敌人》^[5]一书,说波谱尔之所以在书中批判了柏拉图、黑格尔等,就是因为他们的学说过于宏大复杂,容易导致“乌托邦社会工程”,进而对政治家们的能力提出非分的要求;政治家能力不够,无法实现“乌托邦”,最后只好“独裁”了事.Russ负责教授“人因工程”、“工程统计”和“质量与可靠性工程”等课程,还热心社区的政治活动,是当地民主党的积极分子,可能因为这些原因,他建议我考虑一下智能控制在人和社会系统中的应用,因为一有了人,系统就复杂了,还要我一定再读一下维纳的《控制论》^[6],或许能有新的启发.

说来惭愧,其实那时维纳的《控制论》我虽翻过但连一遍都没有读完,而波谱尔的《开放社会及其敌人》在中国曾一直是禁书,就更没有看过了,不过Russ的话使我认真地读了这两本书.好在20世纪90年代初,我已涉足“Day Trader”的行业,并开始了语言动力学的研究^[7],本来就对社会经济系统有兴趣,但波谱尔在书中描述的“开放社会”,特别是“零星社会工程”的概念,给我的冲击不亚于库恩的《科学革命的结构》,更使我相信网络化的普及和信息化的深入,必然导致去中心、分布、扁平的“开放社会”结构与生态,从此开始认真地考虑把计算和控制方法用于社会问题的研究.有趣的是,维纳在其《控制论》的最后一章“信息、语言和社会”也认为随着信息通讯技术的发展,“小小乡村社会”要比“大社会”稳定并优越的多,这与波谱尔批评“乌托邦社会工程”、提倡“零星社会工程”异曲同工.不过,自己这方面的兴趣真正结果却又是差不多十年的光阴之后:随着网络数据和社会媒体的兴起,情报与安全信息学^[8]及社会计算^[9]应运而生,成为自己最近十多年来的主要研究领域之一.

3 《工程控制论》与《控制论》: Cybernetics的本源

学习维纳《控制论》的同时,使我回想起钱学森的《工程控制论》,以及自己对为什么要叫“工程”控制论的疑惑.于是,找来《工程控制论》的英文原版,翻开第1页,结果就发现钱先生在其简短前言的第1行里就已为我解了“惑”:“著名的法国物理学家和数学家安培曾经给关于国务管理(Civil Government)的科学取了一个名字——控制(Cybernetique)(Part II of “Essai sur la philosophie des sciences”,

1845, Paris)¹. 安培企图建立这样一门政治科学的庞大计划并没有得到结果,而且,恐怕永远也不会有结果”^[1].原来,控制(Cybernetics)的本意委婉含蓄地说是“国务管理”,直截了当地讲就是“社会控制”,所以钱学森必须在“控制论”之前加“工程”二字予以修饰,否则仅是“控制论”就无法结果!

读完维纳的《控制论》和钱学森的《工程控制论》,我突然意识到其实很少有人有机会仔细甚至直接去读经典的原文,以致多数人对其意义和作用或许有误解.因为维纳的《控制论》除了反馈的思想外,形式上几乎没有现代控制理论的影子,书中大批的数学公式,虽然已成为许多科学分支的基础,但与今日熟知的控制方程风马牛不相及,可以说没有一个能在大学标准控制教科书里找到,内容也大相径庭.其实,维纳的《控制论》很大程度上有随笔和随感的性质,更应看成是今天的控制科学、计算生物、计算大脑或计算智能等的精神和思想上的开端,而不是现代控制科学的奠基之作,这与许多控制专业人士的通常观念很不一样.实质上,维纳《控制论》的副标题:“或关于在动物与机器中控制和通信的科学”,已经充分说明这个问题.而且,我个人认为,维纳的《控制论》确实是一部划时代的巨著,但维纳书中或心目中的“Cybernetics”,至今仍然没有真正地实现,不过当下的互联网、物联网、万联网、特别是Cyberspace、人机、认知、云计算和计算大脑等技术和研究的兴起,正是落实维纳“Cybernetics”科学的大好时机.只是,为了清晰起见,建议我们为“Cybernetics”另寻一个中文名之.

反观钱学森的《工程控制论》,尽管与后来钱学森、宋健的新版有很大差别,但与近代控制理论的相关表述一致,书中的数学公式也具有今日控制同类公式的影子,理应作为现代控制科学真正的奠基之作.可惜当时自己没有时间进一步的深究这一问题,但却开始了搜集钱学森《工程控制论》英文原版的爱好.自此十余年,收藏30余本;回国之后,多赠于从事控制理论与应用的科研机构与人员,包括钱学森母校西安交大、钱学森之子钱永刚先生(后藏于上海交大),就是希望国人能对钱学森在控制理论方面的贡献有更加实际的认识.

实际上,钱学森可能是世界上最早把维纳的“Cybernetics”明确为“机械和电机系统的控制和导航科学(the science of control and guidance of mechanical and electrical systems)”学者之一(见钱学森《工程控制论》英文原版开篇的第3句话),但他明白其实维纳的《控制论》并没有给出控制机械或电机系统的具体

¹⁰ 维纳在其《控制论》^[6]的引言里称“控制论这个词的产生不早于1947年夏天(the term Cybernetics does not date further back than the summer of 1947)”.根据Wikipedia,安培在其著作《论科学的哲学》(Essai sur la philosophie des sciences第1部发表于1834年,第2部1843,不是钱学森序言中所说的1845年.)

方法,而当时的伺服机构和经典控制又被钱先生认作是“工程实践(*engineering practice*)”,远非他所心仪并且大力倡导的“工程科学(*engineering science*)”(斜体为钱学森先生自己所加),因此,他要写一本关于机电系统的控制科学的书,想必这就是《工程控制论》的原始动机和成因。

对我而言,更为重要的还是钱学森的《工程控制论》英文原版开头的话,特别是“国务管理”“恐怕永远也不会有结果”之言,从此铭刻在心。十多年后,引发了我对社会信号与社会管理问题的关注、思考与研究^[10],成了自己最新的研究方向。

4 从工程控制到社会管理:本源的回归

一百多年前,安培在其著作《论科学的哲学》里进行科学分类时,就把管理国家的科学称为“控制论”,把相应的希腊文译成法语“*Cybernetique*”,在此意义下,“控制论”一词被编入19世纪许多著名词典中。因此,用今天更通用的术语,从政治国务角度而言,“控制论(*Cybernetics*)”更直接的定义就是“社会控制”,从社会事务角度理解,“控制论(*Cybernetics*)”可以委婉地定义为“社会管理”。

所以,“工程控制论(*Engineering Cybernetics*)”不是文字上的“画蛇添足”,但“社会控制论(*Social or Socio Cybernetics*)”在原意之下、文字之上却是真正的“画蛇添足”。这就是为什么2010年,在IEEE SMC(系统、人和控制论)学会的理事会(BoG),我反对欧洲学者提出成立“*Social Cybernetics*”技术委员会的原因,建议使用“计算社会系统(*Computational Social Systems*)”一词,并被IEEE SMC新的汇刊采用。

文字上理清了“控制论”的本意,但在《工程控制论》发表60年后的今天,本意下“控制论”还是如钱先生所言的“恐怕永远也不会有结果”吗?

实际上,在钱先生《工程控制论》问世的三年之前,美国著名的政治学家David Truman发表了《国务过程(*Governmental Process*):政治利益与公共舆论》^[11]的重要著作,主张根据观察到和可观测的行为来解释国务现象,要求采用科学的、定量的、经验的、解析的分析方法来代替哲学的、定性的、规范的、主观的分析方法,从而把国务学从“政治哲学”转换为“政治科学”,在社会学界产生过极大的影响。然而,当时没有实时的“社会信号”,实时反馈式的“国务管理”还不可能。但是,那时已经有各种各样的物理传感器,如温度、压力、电流传感器等等,可以产生充足、实时的“物理信号”,为“工程控制论”的创立与实施提供了条件,现代的工业,正是建立在有此而来的工业控制与自动化的基础之上的。

所以,在当时的历史条件下,钱先生是正确的,没有相应的实时“信号”,安培庞大的“国务管理”计

划自然“不会有结果”,时代的技术只能是走向其《工程控制论》里所描述的“工程控制”。

然而,时至今日,从社会媒体、社会网络、社会计算,甚至计算社会,基于因特网和Cyberspace的虚拟社会体系技术已经发展并成熟起来,迅速地跨入了海量的“大数据”时代,而且以社会事务的数据为主体,从微博到微信,“社会信号”扑面而来,而且几乎是无所不在、无时不在。针对这一新的历史性发展与阶段,我们必须重新审视控制论的本意。因为我们关于社会和政务的数据及信息,现在不但充分且实时,而且有时还出现“超载”现象,这种情况下,面向其本意的社会管理之“控制论”难道还是“恐怕永远也不会有结果”吗?

如文[10]所指出的,在工业生产过程中,自然中的许多物理化学过程的动态变化在人造环境中被强化、加剧,使我们不得不借助于工程控制论加以控制,形成了目前几乎已标准化的可编程控制器(*programmable logic controller, PLC*),分布式控制系统(*distributed control systems, DCS*)等等。因为如果还是按农业时代的“自然”方式处理这些过程,就会在生产过程中产生许多“爆炸”(如化学反应失控等)和灾难。

现在,我们正从工业时代向知业或智业时代迈进,社会中的许多组织过程的动态变化在人工环境中,特别是网络化的环境中被加剧强化,也必将催发未来的新型社会管理产业,今天的企业资源规划(*enterprise resource planning, ERP*),社会资源规划(*social resource planning, SRP*)和文化资源规划(*cultural resource planning, CRP*)等等只是滥觞。将来,我们必须有各种各样的“社会管理器”,就像PLC和DCS一样,否则,就会在社会过程中产生许多“爆炸”(大型动乱的加强、小型化与常规化等等),其效果会像由于控制不当在复杂生产中发生的重大事故一样,甚至过之。因此,我们必须创新社会管理,必须重新审视面向社会和政务的控制论之原意。为此目的,我们首先必须考虑社会信息的采集、处理和分析等重要的基础问题^[10]。

针对这一考虑,我在文[10,12-16]就复杂系统的建模鸿沟、牛顿系统与默顿系统、牛顿定律与默顿定律、社会信号的刻画与描述、社会传感网络和计算辩证推理及其解析、社会计算、平行系统、平行管理、平行应急、平行控制、知识自动化等问题展开讨论,希望在此基础上建立面向社会信号获取、分析、解析、执行和应用的一般框架与方法体系,使“控制论”的本意能够生花结果,得以实现。

我个人认为,钱先生在晚年已经开始了他自己的回归“*Cybernetics*”本源之路,他所倡议引导的系统工程、系统科学、系统集成、开放复杂巨系统、社会主义建设的总体设计部等等,都清楚地揭示这一升华之

后的回归,特别是他在自己合著的《工程控制论》修订版之序言里,清晰地展示了这样的信念:“在社会主义条件下,一门新的科学终将诞生,这就是社会控制论。”实际上,序言中下面的两段话,讲得十分明白^[2]:

“维纳在一九四八年曾经说过,那种认为控制论的新思想会发生某种社会效益的想法是‘虚伪的希望’,‘把自然科学中的方法推广到人类学、社会学、经济学方面去,希望能在社会领域里取得同样程度的胜利’,这是一种‘过分的乐观’.控制论的现代发展证明维纳1948年的观点是过于保守的.把一些工程技术方法推广应用到社会领域也不是‘过分的乐观’,而是现实.运筹学已用于经济科学,并将应用于更大的社会领域.”

“恩格斯曾经预言,在社会主义条件下,‘社会生产内部的无政府状态将为有计划的自觉的组织所代替’.充分利用社会主义经济规律的调节作用,能够组织自觉运转的经济系统,这样的系统实质上也是一种自动系统;充分利用社会主义建设的客观法则和统计规律的调节作用,如恩格斯所预言,可以实现社会生产的‘有计划的自觉的组织’,实质上这就是一种巨型的系统,所以,控制论所研究的系统的运动形式,在高级形态的系统-社会系统中,也是存在的.因此,没有理由认为控制论的社会应用是一种‘虚伪的希望’.这是一种已经看得见曙光的真实的希望.在社会主义条件下,一门新的科学终将诞生,这就是社会控制论.这样一门科学不会在资本主义制度下出现,因为‘资产阶级社会的症结正是在于,对生产自始就不存在有意识的社会调节’.”

由此可见,《工程控制论》英文原版30年后,钱先生就认为本意下的“控制论”,在一定条件下,是“会有结果”的.当然,回归“Cybernetics”本源之路,目前还只是一个开头,而且,“乌托邦”式的“国务管理”科学,恐怕还是会像钱先生所预言的那样,只能是文学上的理想,永远不会有科学上的结果.

5 结束语

今年是钱学森教授《工程控制论》英文版发表60周年之际,这是一部在我的学术生涯中产生过十分重要影响的著作.饮水思源,万千心绪,谨以本文表示纪念.主要观点:1) 维纳的《控制论》是今天的控制科学、计算生物、计算大脑、计算智能等许多学科的思想开端,但非实质上的奠基之作;实际上,维纳倡导的“Cybernetics”,作为一个学科,至今仍然没有真正地实现.2) 钱学森是世界上最早把维纳的“Cybernetics”明确为“机械和电机系统的控制和导航科学”的学者之一,并给出具体的方法,把伺服机构和经典控制等“工程实践”升华为“工程科学”,《工程控制论》理应作为现代控制科学真正的奠基之作.

3) 安培“控制论(Cybernetique)”之本意是“国务管理(Civil Government)”或社会控制,但最初维纳和钱学森都认为这一设想无法实现的;用维纳的描述是“虚伪的希望”或“过分的乐观”,用钱学森的语言就是“恐怕永远也不会有结果”;但钱学森晚年的看法有了变化,认为“维纳1948年的观点是过于保守的”,而且,相信“一门新的科学终将诞生,这就是社会控制论”.

综观钱学森先生的一生,无论在科学、技术还是工程上,都是辉煌的一生;他驰骋在力学、控制、航天、管理、认知、系统工程和科学等许多科技领域里,而且都作出了杰出和巨大的贡献,为后辈学者立下了一座难以逾越的丰碑.《工程控制论》只是他早年的重要成果之一,本文也只从个人的经历和角度来纪念其发表60周年,更希望年轻学者扎实学习、认真研究、不断创新,利用新时代的新思想、新方法、新技术,早日取得超越《工程控制论》的成就,努力给“钱学森之问”一个合格的答复.

致谢 十分感谢吴宏鑫院士和黄琳院士在很短时间里认真地审阅了本文初稿,并提出十分具体的建设性意见.本文反映的完全是个人的一些不成熟的观点,特此说明.

参考文献(References):

- [1] TSIEN H S. *Engineering Cybernetics* [M]. New York: McGraw Hill, 1954.
(戴汝为,何善瑜,译.工程控制论[M].北京:科学出版社,1958.)
- [2] 钱学森,宋健.《工程控制论》修订版(上、下卷)[M].北京:科学出版社,1980和1981.
(QIAN Xuesen, SONG Jian. 《Engineering Cybernetics》 Revised Edition(Vol.1 and Vol.2)[M]. Beijing: Science Press, 1980 and 1981.)
- [3] KUHN T S. *The Structure of Scientific Revolutions* [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1962.
- [4] 王飞跃.库恩的思想与对学人、学科、学问的认识[J].世界哲学, 2004, (3): 16-18.
(WANG Feiyue. Kuhn's thinking and understanding of scholars, schools, and studies [J]. *World Philosophy*, 2004, (3): 16-18.)
- [5] POPPER K R. *The Open Society and Its Enemies* [M]. London: Routledge, 1945.
- [6] WIENER N. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine* [M]. New York: John Wiley, 1948; Cambridge, MA: MIT Press; 2nd revised ed. 1961.
- [7] 王飞跃.《语言动力系统与二型模糊逻辑》前言[M].北京:中国科学技术出版社,2013.
(WANG Feiyue. Preface for 《Linguistic Dynamic Systems and Type-2 Fuzzy Logic》[M]. Beijing: Science and Technology of China Press.2013)
- [8] 王飞跃,王珏.情报与安全信息学研究的现状与展望[J].中国基础科学, 2005, 7(2): 24-29.
(WANG Feiyue, WANG Jue. Intelligence and Security Informatics:

- The State of the Art and Outlook [J]. *China Basic Science*, 2005, 7(2): 24 – 29.)
- [9] 王飞跃, 李晓晨, 毛文吉, 等. 社会计算的基本方法与应用 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010.
(WANG Feiyue, LI Xiaochen, MAO Wenji, et al. *Social Computing: Methods and Applications* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2013.)
- [10] 王飞跃. 社会信号处理与分析的基本框架: 从社会传感网络到计算辩证解析方法 [J]. 中国科学: 信息科学, 2013, 43(12): 1598 – 1611.
(WANG Feiyue. A framework for social signal processing and analysis: from social sensing networks to computational dialectical analytics [J]. *Science China Information Sciences*, 2013, 43(12): 1598 – 1611.)
- [11] TRUMAN D B. *The Governmental Process: Political Interests and Public Opinion* [M]. New York: Knopf, 1951.
- [12] 王飞跃. 平行系统方法与复杂系统的管理和控制 [J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 485 – 489.
(WANG Feiyue. Parallel system methods for management and control of complex systems [J]. *Control and Decision*, 2004, 19(5): 485 – 489.)
- [13] 王飞跃. 平行控制——数据驱动的计算控制方法 [J]. 自动化学报, 2013, 39(4): 293 – 302.
(WANG Feiyue. Parallel control: a method for data-driven and computational control [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2013, 39(4): 293 – 302.)
- [14] 王飞跃. 平行应急管理系统PeMS的体系框架及其应用研究 [J]. 中国应急管理, 2007, 1(12): 22 – 28.
(WANG Feiyue. Research on architecture and application of parallel emergency management systems (PeMS) [J]. *China Emergency Management*, 2007, 1(12): 22 – 28.)
- [15] 王飞跃, 王晓, 袁勇, 等. 社会计算与计算社会: 智慧社会的基础与必然 [J]. 科学通报, 2015, 60(1): 1 – 10.
(WANG Feiyue, WANG Xiao, YUAN Yong, et al. Social computing and computational societies: The foundation and consequence of smart societies [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(1): 1 – 10.)
- [16] 王飞跃. 软件定义的系统与知识自动化: 从牛顿到莫顿的平行升华 [J]. 自动化学报, 2015, 41(1): 1 – 8.
(WANG Feiyue. Software-defined systems and knowledge automation: a parallel paradigm shift from newton to merton [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2015, 41(1): 1 – 8.)

作者简介:

王飞跃 (1961–), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究领域为智能控制、社会计算、平行系统、知识自动化等, E-mail: feiyue@ieee.org.