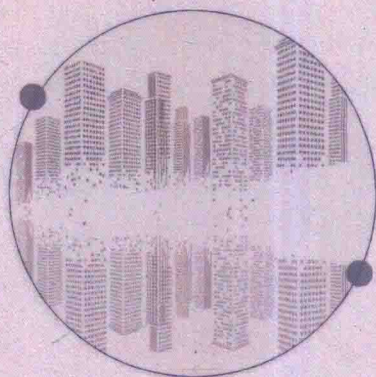




# 21世纪控制论 综述评论集

——纪念控制论创立70周年（1948—2018）

万百五 著



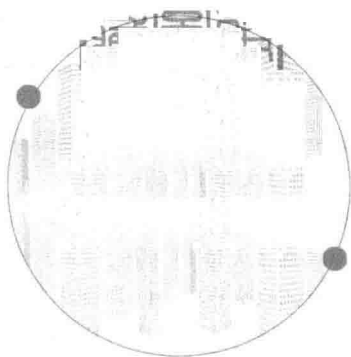
华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



# 21世纪控制论 综述评论集

——纪念控制论创立70周年（1948—2018）

万百五 著



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

21 世纪控制论综述评论集:纪念控制论创立 70 周年:1948—2018/万百五著. —广州:华南理工大学出版社,2018.9

ISBN 978-7-5623-5791-9

I. ①2… II. ①万… III. ①控制论-文集 IV. ①O231-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 203399 号

**21 SHIJI KONGZHILUN ZONGSHU PINGLUNJI—JINIAN  
KONGZHILUN CHUANGLI 70 ZHONNIAN(1948—2018)**

**21 世纪控制论综述评论集——纪念控制论创立 70 周年(1948—2018)**  
万百五 著

---

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutel3@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048(传真)

责任编辑: 刘 锋 詹志青

印 刷 者: 虎彩印艺股份有限公司

开 本: 880 mm × 1230 mm 1/32 印张: 9.5 字数: 256 千

版 次: 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 48.00 元

---

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

The world of the  
future is a  
world of persistent  
struggle to eliminate  
the barriers restricting  
our minds



未来的世界是一个为消除限制我们心灵的障碍而不懈奋斗的世界。

——诺伯特·维纳

(Norbert Wiener, 1894—1964)

## 序

为名人的著作作序实在太难,尤其是为前辈万百五教授的著作作序,让人诚惶诚恐。

万百五教授是交通大学西迁的前辈。2017年12月,习近平总书记对西安交通大学15位老教授的去信做出重要批示,又在2018年新年贺词中提及,勉励西安交通大学全体师生传承弘扬好西迁精神,指的就是万百五教授那一代西迁人的故事。

万百五教授的父辈是上海滩名人,中国卡通片的创始人“万氏三兄弟”。万百五教授是自动化界的名人,我国控制科学与工程学科大系统理论与应用方向的创始人之一。中国自动化学会公布的建国以来国内自动化领域最有影响的15本教材,万百五教授的书名列其中。

1985年,我来到西安交通大学系统工程研究所工作,万百五教授是我的直接领导,我深深折服于他的严谨治学和风趣幽默。他在学术上的远见卓识、教书育人中的责无旁贷,对我的职业生涯有深刻影响。

20世纪末开始,万百五教授从宏观角度研究控制论,取得了重要成果。本书收录了他自2008年开始在《控制理论与应用》期刊发表的8篇综述评论,以及他在《系统与控制纵横》杂志发表的4篇科普文章。

万百五教授对控制论的综述,既高屋建瓴,又深入浅出,不仅着

眼于工程控制系统,而且从宏观角度综述社会、经济、组织、环境、生态、生物等其大系统构建、发展、进化、规划及其运行过程。正如作者所指出的,对国家治理,特别是宏观经济调控、经济全球化下的协调、气候变化防治、绿色家园的建设等等,具有重要意义,非常值得相关领域的学者包括在校研究生、高年级本科生、管理者和工程技术人员一读。

祝贺万百五教授大作发表,恭祝万百五教授健康长寿。

西安交通大学系统工程研究所

管晓宏

2018 年 9 月 10 日第三十四届教师节凌晨

## 前 言

本书收集了我自 2008 年开始至 2018 年在《控制理论与应用》杂志陆续发表的 8 篇综述评论,与在《系统与控制纵横》杂志陆续所写 4 篇有关控制论的科普性文章。它们记述了我对 21 世纪控制论的思考、综述和评论。

我和控制论的渊源可以追溯到 20 世纪 50 年代。第 1 篇论文第 1 节提到一本苏联 1954 年再版,高等教育部指定、著名的自动调整(控制)领域的教科书,该书的绪论中对控制论进行粗暴无礼的批判。这正是师兄徐俊荣和我这两个交通大学的青年教师,合作翻译它作为全国各大学“工业企业电气化专业”教科书时遇到的尴尬事。我们当时决定在页末加一个“译者注”说明:“这样的说法是不全面的,请见《学习译丛》上的争议论文……”说实话,当时我们还找不到维纳(Nobert Wiener)的《控制论》书阅读。当时《学习译丛》是中央宣传部的刊物,已开始介绍苏联和东欧对于控制论的不同声音。

经历这件事后,作为国内最早按苏联教材和部定教学大纲对大学生讲授有关控制课的教师,我对控制论就特别留意了起来。其后,钱学森的《工程控制论》和邹至庄(Gregory C. Chow)有关经济控制论的几本影印英文著作和报刊上对控制论的评论,我都收集阅读了。20 世纪 50 年代,我随交通大学迁校到西安,托留在上海交通大学的徐俊荣购买了 1962 年上海刚出版的、期待近 10 年的维纳的中译本《控制论》(第 2 版)寄给我。

1978 年,我被调入我校新成立的“系统工程研究所”担任“大系

统研究室”主任。从此我的眼光不仅着眼于一些工程领域的控制系统,而是一切社会(包括人口)、经济、组织(工厂、企业、机关等)、环境、生态、生物等大系统本身的构建、发展、进化、规划及其运行过程,如生产、经营、管理、演化、决策和诊断等问题。

以我的研究工作举例,如 1984 年我和朱悦新在 *Automatica* 杂志发表了“*The parameter identification of a population model of China* (中国人口模型辨识)”。1986 年我和韩崇昭应邀在《自动化学报》发表了“控制理论与宏观经济模型”综述论文,这实际是一篇有关经济控制论的评述。

1955 年初徐俊荣和我分别仅仅为我校“电机电器制造”和“工业企业电气化”两个专业,首次按部定教学大纲讲授“自动调整理论”(即今天的“自动控制原理”)课。60 多年后的今天讲授这门或类似这门课的专业(包括研究生教育)在全国更扩大至:自动化(自动控制)、计算机、机械、建筑、锅炉、汽机、热能、军工、反应堆、经济、金融、管理、系统工程、生物、医学、生理、环境、生态、农林等等。

这标志着自动控制原理应用的推广、控制科学的发展和进步。然而,进一步分析表明,上述中不少专业所需要的与其说是“自动控制原理”,倒不如说是更高一层次的学科“控制论原理”(见本书第 8 篇论文)。

为此,在 1999 年退休以后,我拾起书架上维纳的《控制论》仔细研读、思考起来,并于 2008 年发表了 my 第 1 篇综述和评论。这是控制科学内一个不能申请基金、不生成专利、不能“转让”“投产”,不生“利”的科研课题,在国内长期无人问津。我就这样思考、探索发表评论、编写教材,度过 20 年。

期间 2002 年我和韩崇昭、蔡远利教授应邀合作作为初学者编写了《自动化(专业)概论》(武汉理工大学出版社出版),其中就对控制论做了介绍;2009 年又合作编写了非自动化类专业选用的《控制



论——概念、方法与应用》(清华大学出版社出版)。

此外,我还应邀在西安、上海几个大学、学院或自动化学会做了有关控制论的学术讲演。上海交通大学电信学院以席裕庚为首的几位教授还专门以上面提到的两种教材作为教科书,开设了非自动化专业“控制论导论”课程。

读者若仔细读完本书的综述评论后,如果回想、分析一下我国党中央对国家的一些成功的重要治理决策、对国民经济的宏观调控等,都可以找到“控制论”的影子。例如,科学发展观,建立人类命运共同体,对宏观经济的微调、提前调控、经济全球化下的协调,以及对气候变化防治、绿色家园的建设等等。

这就是控制论的力量所在,也是本书出版的目的。我相信它的基本思想和理念会对中华民族的伟大复兴起重要的作用!

我深深感激《控制理论与应用》杂志编辑部对8篇论文的发表给予免除版面费和资助本书的部分出版费用,而西安交通大学电信学院同意资助大部分的出版费用。华南理工大学高红霞教授,我的研究生,不但亲自参与,还组织一些散在各地的研究生,如上海交通大学的赵群飞、西安交通大学的阮小娥教授及其研究生等参与校对本书的样稿。此外,华南理工大学出版社对本书出版也给予了支持。这些对“孤军奋战”、无基金支持、年老力衰的我从事控制论的研究并出版本书,都极其宝贵。

也深深感谢我校电信学院院长管晓宏院士百忙中为本书作序。欢迎读者对本书内容提出批评、指正意见。

万百五

2018年4月

西安交通大学 系统工程研究所

# 目 录

控制论创立六十年(2008年) .....	( 1 )
二阶控制论及其应用(2010年) .....	( 15 )
社会控制论及其进展 .....	( 32 )
管理控制论:回顾、展望与评述(2012年) .....	( 60 )
经济控制论观点下的全球经济危机及其教训(类比研究与评论) .....	( 90 )
控制论视角下对宏观经济建模的再思考:为能预测经济危机,对建模 的审视及趋势评述 .....	( 118 )
正在形成控制论新分支的帅搏客学的研究进展(评述)(2016年) .....	( 146 )
21世纪控制论的发展态势:纪念控制论创立70周年(1948—2018) (评论)(2018年) .....	( 175 )
系统与控制的今昔与纵横 .....	( 207 )
二阶控制论及其创始人海因茨·冯·福尔斯特特的故事 .....	( 218 )
横空出世“帅搏客” .....	( 236 )
帅搏客时代已经开始 .....	( 263 )

## 控制论创立六十年(2008年)

**摘要:**本文综述控制论提出后它60年的发展历程,包括历史遭遇、对哲学引起的变革;更新它的定义和归纳它的方法论;并对目前出现的误解进行分析;对控制论的形成及其奠基人之争发表了看法;最后对控制论的推广、应用及其未来进行了评论。

**关键词:**控制论;复杂性;必需变异度;二阶控制论;实验认识论;自组织系统

**中图分类号:** T811      **文献标识码:** A

在科学的发展上可以得到最大收获的领域是各种已经建立起来的部门之间的被忽视的无人区……正是这些科学的边缘区域,给有教养的研究者提供了最丰富的机会。

诺伯特·维纳《控制论》

控制论这门学科是在20世纪40年代发展起来的。它的诞生是以美国数学家诺伯特·维纳(Norbert Wiener, 1894~1964)1948年出版的名著《控制论,或关于在动物和机器中的通信和控制的科学》(*Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*)作为标志(图1)<sup>[1]</sup>。该著作论述了要发展一门普遍适用的控制学科,并且要从统一的观点来考察各种系统的控制和通信问题。

试读结束: 需要全本请在线购买: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

1950 年维纳在出版的《人有人用处,控制论与社会》(*The Human Use of Human Beings, Cybernetics and Society*)小册子<sup>[2]</sup>中,着重论述了通信、法律、社会政策等等与控制论的联系,进一步认为控制论在社会系统中应用的可能性已经出现。其著作震惊了世界学术界,为现代科学的研究提供了一套新的思想和方法,并促进了当代哲学观念的变革。书中的这种新颖思想和观点吸引了各领域众多的学者,纷纷研究,并在自己的领域引进控制论。它被认为是 20 世纪上半叶的科学理论的伟业之一。

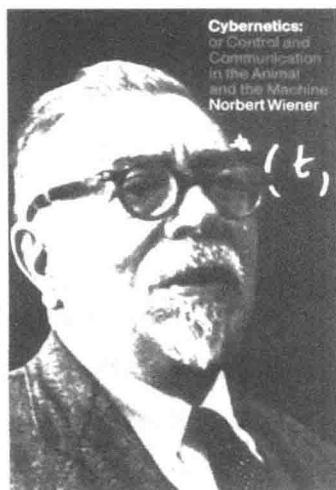


图 1 诺伯特·维纳《控制论》

## 1 《控制论》发表后的 60 年(60 years after publication of *Cybernetics*)

然而一开始,控制论的整个或部分观点,在前社会主义阵营的多数国家中受到某些官方支持的学者的抵制和批判。1956 年的苏联《大百科全书》称控制论为“反动的伪科学”。一本 1954 年再版的苏联著名的自动调整(控制)教科书的绪论(中译本)称:“控制论者的主要目的是要用机器来代替人,而在思想活动方面要建立一支能服从帝国主义需要的思维的机器……”这种出于意识形态的偏见以及自然科学与社会科学“水火不容”的教条,在 20 世纪 50 年代中期通过学术讨论被逐步克服。

此后,控制论发展出各分支在世界范围内推动了有关学科的发展,并孵化了一批新的学科,如:生物控制论(与医学控制论)、工程控制论(与机器人)、社会经济控制论(与管理控制论)、军事控制论、自然控制论(生态、环境、资源等控制)及其他。控制论的理论、概念和方法在计算机技术的支持下,已经远远超越了60年前主要为工业生产和军事装备服务的范围,广泛应用到生物、医学、生理、心理、生态、环境、资源、经济、政治、军事和社会科学的各领域及自然科学中的物理、化学等,而且往往能引导出令人意外的新发现。由于各类学科的关注,控制论研究者中还包括数学家、哲学家、心理学家、软件专家、管理专家等,他们对控制论的理解不尽一致,观点不尽相同,形成流派并派生支派,例如,一般的理论控制论、智能控制论、心理控制论等,还有其他软件控制论(software cybernetics)、计算控制论(computational cybernetics)等等。

最近30年来,控制论、信息论和系统论对国际社会、政治和法律事务等领域产生了强大影响,其中人口学的发展可能是有代表性的。20世纪80年代以来,我国控制论科学家广泛介入人口发展过程的研究,对人口系统稳定性和控制规律取得了意想不到的突破。中国政府依据这一理论,制定了中国的计划生育政策。认为只要坚持当前的政策,20~30年后中国的人口将停止增长,中国不会发生西方所喧嚷的人口“爆炸”。国务院的发展研究中心和国务院的部、委所属研究或“智囊”单位,以及全国一些社会经济控制论研究单位和学者为我国的国民经济和社会提供了多种不同用途、不同观点的宏观经济数学模型,它们和其他数据、信息在一起,帮助国务院进行宏观调控,使经济能高速平稳发展,甚至出现“过热”迹象时能使经济系统“软着陆”<sup>[3]</sup>。

与此同时,控制论与开放的复杂巨系统的研究结合起来<sup>[4]</sup>,提出

人在社会系统中既是观察者又是系统中的生产者 and 消费者,由此引出了二阶控制论(second order cybernetics)<sup>[5]</sup>。

与第二次世界大战前相比,控制论和工程控制论所推动的自动化技术发生了翻天覆地的变化。由于微电子和计算机技术的迅速进步和普及,自动控制技术已彻底改造了制造业、交通运输和第三产业。在今天的社会生活中,自动化装置和机器人更是无处不在。制造(加工)、过程工业已接近全面自动化。在国防工业、军事和航空航天技术上广泛应用的同时,自动化装置已开始应用于农业现代化,广泛进入楼宇、办公室和家庭,而机器人也已应用于农业<sup>[3]</sup>。

目前控制论思想在全世界正在广泛传播,一方面在发展新的分支,一方面控制论方法和各分支的研究在深入。在过去与自然科学“水火不容”的社会科学领域里,从教学行政工作、某一课程的具体教学方法(甚至包括体育课和体育锻炼)、思想政治工作、党政领导艺术到国家创新体系、多种管理系统(包括图书馆、网络、金融、社会犯罪、国家、土地)等等,研究者无不试图采用控制论的基本思想来解决问题或改进自己的工作。这是令人高兴的现象,远不是个别西方记者所说的,维纳和他的控制论已被人忘却。控制论正硕果累累,对各学科和社会、经济及人类生活、思想发生深远的影响。

在控制论取得光辉成就的同时,哲学上也引起了一系列的争论。控制论在哲学领域涉及以下 3 个主要问题:① 黑箱方法。应用这种方法,可以不涉及复杂系统内部的具体结构来进行功能模拟,因此,机器能“繁殖”自己。然而系统和模型是什么关系并未辨明。② 机器与思维。机器能够思维吗?机器的智能超过人吗?它涉及思维与物质的关系这一哲学的基本问题。③ 信息究竟是物质还是精神,或者是与这两者并列的“第三种东西”<sup>[6]</sup>。

## 2 控制论的定义和方法论(Definition and methodology of Cybernetics)

控制论被认为是综合性、边缘性、基础性的学科,尽管一般系统都具有质量、能量和信息 3 个要素,但控制论只着眼于信息方面,只研究系统的行为方式。以控制论、信息论和系统论的“三论”所孕育的科学方法论,是人类认识世界和改造世界强有力的武器。

对控制论的理解存在一些误区:① 控制论 = 控制理论 = 控制的理论 = 需要进行控制的道理和议论;② 控制论是一种“方法论”。

例如,一本控制论的教科书自称重点在“现代控制理论”;国外著作 *The control of Perception* 被译为《认知控制论》,“量子控制论”论文的英文标题被译为 *quantum control theory*,译著者可能有其理由,但很易使人将控制论与控制理论等同起来。发生这类情况较多,有的论著宣称控制论就是“控制的理论”,更有因部队新战士入伍,按条例将头发剃短而形成论文“头发控制论”发表。

这些误解多少涉及 Cybernetics 的译名“控制论”。前者是从希腊词 *κυβερνήτης* 的“舵手”“驾驭人”来的,维纳借用来命名了这门新学科。20 世纪 50 年代初期我国从苏联引进多种“自动控制”教科书,仿照俄文译为“自动调节”,所以 Cybernetics 才被译为“控制论”,但后来在世界范围内术语“自动调节”几乎都被术语“自动控制”所概括或代替。中国科学家钱学森 1955 年回国后曾建议将 Cybernetics 译为“控制学”,但控制论译名已经在国内广为流传。台湾译为“操控学(模控学)”,美国译为“事理学”,这至少可以避免产生误解。

上述误解①涉及控制论的定义。其中的控制理论应是自动控制理论,但它仅是控制论所应用的一种工具或方法,基本方法应包括经

典控制理论、现代控制理论、大系统理论、智能控制和智能系统四者的原理与方法。钱学森 1954 年旅美时出版的世界影响级的 *Engineering Cybernetics*(《工程控制论》)<sup>[7]</sup> 是控制论用于工程和物理系统,是分析、设计自动控制系统的理论和技术,一般认为工程控制论即是自动控制理论。

维纳以它的书名给出控制论的“定义”。60 年来,恐怕没有一门科学的定义像控制论那样诸说纷纭。笔者认为,目前“控制论”的定义宜更新表述为:利用经典和现代控制理论以及智能控制和人工智能技术,对复杂系统的通信和控制进行研究的科学,其中复杂系统包括工程系统、生物系统(包括大脑活动)、自然系统和社会经济系统等。

上述误解②涉及控制论的方法论。控制论和其他独立的学科一样,有它自己独特的方法论。方法论从学科中提炼、升华出来,但它又不是学科本身,两者不能混同。笔者认为,控制论的方法论可以归纳为:它强调对不同部门的系统进行信息分析,确定输入、输出和研究信息的处理、加工内容及过程;对系统进行闭环和反馈及其因果性质的分析;通过“黑箱”和功能模拟方法建立系统的模型,探讨系统的特性等;采用计算机进行仿真;采用类比的方法引进其他部门系统中有用的思想,如进化、适应、自繁殖、自组织、最优化、特别是智能等,来控制该系统以创建、制造、培育出能满足人们目的的更好的新机器(人造系统)。

### 3 控制论和各主要分支的进展 (Development of Cybernetics and its branches)

随着科学技术的进步和计算机的出现,控制论研究的对象越来越



越复杂,例如,工程系统中的核电站和经济系统中的社会经济模型等。因此,复杂性(complexity)的问题就提出来了<sup>[4]</sup>,其中一个重要的概念就是必需变异度律(law of requisite variety)。当一个系统变得越来越复杂,系统的控制者一定也要变得更复杂,因为有更多的功能需要调节。换言之,要调节的系统越复杂,系统的调节者——控制器就必须越复杂。必需变异度律不只可用于控制机器和人体,还可用于社会系统,这是由控制论先驱英国 R. 阿什比(R. Ashby)提出的<sup>[8]</sup>。

将控制论原理运用于社会系统引起了对系统观察者的角色的注意。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。从1948年至1970年代的控制论研究的是被控制系统,被称为一阶控制论;20世纪70年代中期后的控制论研究的是自治系统,被称为控制论的控制论(Cybernetics of Cybernetics),或二阶控制论。它将控制论的原理运用于理解“观察者”的角色。其代表性学者为美国的 H. 冯·福尔斯特(H. Von Foerster)<sup>[5]</sup>。

美国麻省理工学院教授心理学家 W. 麦卡洛克(W. McCulloch)是扩大控制论范畴的一位重要人物。他是1946到1953年期间,由梅西(Macy)基金会议赞助的一系列跨学科的、孕育控制论的学术讨论会议的主席,这些会议讨论自调节系统中的反馈环与循环因果关系。早在1943年,他已经和数学家 W. 皮茨(W. Pitts)合作提出形式神经元的数学模型(称为 MP 模型)<sup>[9]</sup>,从此开创了神经科学理论研究的时代。

麦卡洛克发现,在作为科学的神经生理学与作为哲学的一个连接点——认识论,也就是知识的学习之间有一种联系。他认识到知识是在大脑中形成的,他根据自己对神经生理学与哲学“交集”的研