

系统论、信息论、控制论
与现代科学方法论

魏宏森

学术报告资料

系统论、信息论、控制论 与现代科学方法论

魏宏森

北京自然辩证法研究会
北京系统信息控制科学研究会 编印

1981年2月

引 言

早在本世纪初，列宁就指出：自然科学正在曲折地、自发地“走向唯一正确的方法和唯一正确的自然科学的哲学”。他还说：现代物理学正在产生着辩证唯物主义。^①二十世纪自然科学和技术发展的历史生动地证明了这一预见。特别是近三十年来，人类认识自然和改造自然的能力空前提高，现代科学技术一系列惊人发现和发明，使社会生产力迅猛发展，并对社会生活各个方面产生了深刻影响，开始了一场意义更为深远的科学技术革命，其规模、速度和深度都是历史上任何一次所不能比拟的。这场革命的重要标志之一，是解放人类的智力，而以往则主要围绕解放人们的体力。电子计算机的诞生为达到这一目标迈出了可喜的一步。实现了部分脑力劳动机械化和自动化，初步解放了人脑，极大地提高了脑器官在认识和改造客观世界的作用。提高了人类对自然界的控制能力。同时，对当代科学技术的发展和人们的思维方法产生了深远的影响。以往四百年来，科学技术发展趋势是科学分化占主导地位，而现代科学技术革命发展综合有占主导地位的趋向。科学与技术，各门学科之间彼此渗透、紧密联系，既高度分化又高度综合。而且分化反成为综合的一种表现形式。这种既高度分化又高度综合的一致性，使科学形成了统一完整的科学体系，形成一些共同的语言、概念和方法，彼此相互促进，使每一门学科只有在整个科学体系的相互联系中才能得到发展，从而导致了现代科学发展的整体化趋向。现代科学技术革命的内容和特点的

^① 《唯物主义与经验批判主义》人民出版社1971年版第313页

这种根本变化，客观上需要一些不同于传统方法的新的科学研究方法与之相适应。它迫使自然科学家接受唯物辩证法，寻求认识和改造客观世界的新方法。战后崭新的横断科学的崛起，如控制论、信息论、系统论等从不同侧面揭示了客观物质世界新的本质联系和运动规律。为现代科学技术的发展提供了新思路、新方法，沟通了自然科学与社会科学的联系。它使人们摆脱了传统方法的束缚，摒弃那种把本来是运动着的，活的有机体的动态问题，看成是静止的，孤立的，死的东西；把某些明明是复杂系统硬分解为互不联系的简单系统，企图用简单系统来解释复杂系统的习惯。它如实地把对象视为完整的有机体和复杂系统，找到了解决具有行为目的的通讯和控制系统以及复杂系统的方法。成功地把定量分析的方法引入迄今盛行的只进行定性考察的学科中，使科学研究方法产生了质的飞跃。有人认为：控制论和系统论是继相对论和量子力学之后，又一次“彻底地改变了世界的科学图景和当代科学家的思维方式”。^①这种方法在现代科技的研究中日益发挥出重大作用，大大丰富了辩证唯物主义。它又一次生动地证明：唯物辩证法是唯一适合于现代科学发展的思维方式。值得注意的是国内对三论的方法论作用、意义以及在方法论研究中的地位远远没有引起足够的重视。本书试图把三论作为一组科学，从它们产生的历史考察中，阐明它们产生的背景；它们所具有的方法论性质和在方法论研究中的地位，并进一步提出建立以三论为基础的现代科学方法论——系统科学方法论的初步设想，着重介绍系统科学方法论的基本特征和基本方法。及其在现代科学技术发展和我国实现四化中的意义与作用。

① 《哲学译丛》1979年第1期第49页

目 录

引言.....	I
一、控制论、信息论、系统论产生的历史回顾.....	1
二、“三论”是现科学技术革命发展的必然产物.....	8
三、“三论”在方法论研究中的地位与特征.....	13
四、建立现代科学方法论的初步设想——系统科学方法论.....	21
五、系统科学方法论的一些基本方法.....	26
1. 功能模拟法.....	26
2. 信息方法.....	32
3. 反馈方法.....	41
4. 系统方法.....	46

一、“控制论”、“信息论”、“系统论”产生的历史回顾

控制论是自动控制、电子技术、无线电通讯、神经生理学、生物学、心理学、医学、数理逻辑、统计力学等多种科学相互渗透的产物。它的思想可以追溯到古代和近代自动机以及社会管理方面的影响。但它产生的直接原因还是三十年代以来现代科学技术革命的推动、综合以上几方面的新的理论成果的结晶。它的形成大体可以分为三个阶段：一九四二年以前是酝酿级段，一九四二至一九四八年是形成级段，五十年代以后是发展阶段。

从三十年代开始，N·维纳等人就一直在酝酿着要创立一门新学科：酝酿阶段结束标志是一九四二年维纳与别格罗·罗森勃吕特三人共同发表了《行为、目的和目的论》。这篇论文的发表意味着控制论思想的萌芽。在这期间对控制论思想直接有影响的科学成就有：西方的谢灵顿和苏联的巴甫洛夫神经生理学的研究。他们主要搞清了神经系统是一个神经网络，神经细胞由神经元、轴突、树突组成，通过突触的联络形成一个网络、神经系统的功能是由其结构决定的。而且神经细胞又可区分为兴奋与抑制两种状态。数理逻辑的成就特别是申农的类布尔代数（二进制逻辑）在电工开关系统研究中的应用以及维纳与布希和李郁荣等人在滤波和开电路计算机方面的研究。一九三七年英国图林发表了“理想计算机”——称图林机。第一个提出把机器的逻辑可能性作为一种智力实验工具的设想……更为紧迫的是战争需要自动火炮和快速计算机。维纳参加了这些研究。一九四二年他与别格罗、罗

森勃吕特在讨论反馈机制时直接导致这一新思想的萌芽。维纳于一九五三年八月来中国在清华大学任客座教授，一九三六年五月去欧洲奥斯陆参加国际学术会议，会后在欧洲与许多知名学者进行了学术思想交流。他称之为“中国和周游世界”。他在自传中回忆说：这是他产生要建立控制论这门新学科的起点。回美国后，他与罗森勃吕特等人组织了每月一次的科学方法论讨论会。在这里有许多科学家、工程师、专家对控制论的产生作出了贡献。维纳之所以在一九四八年写出了控制论，是与这些创始者们的思想、成就分不开的，这里特别要提出的是：

一九四三年至一九四四年冬，由维纳与冯·诺意曼发起在美国普斯林顿召开了由工程师、生理学家、数学家代表参加的讨论会，他们都从各自的学科出发提出了他们研究工作的方法和目标，他们都懂得，在不同领域的工作者之间确实存在着一个实在的共同思想基础，每一个集体中的人都可以采取一些步骤来获得共同的词汇。

一九四六年春，由麦克卡洛与梅氏基金会主持在纽约首次召开了专门讨论反馈的会议，会议还吸收了心理学家和社会学家、经济学家参加，会议认为，控制论所包含的思想对与会者十分重要和有趣，建议每隔六个月继续举行一次。

这两次会议对控制论的诞生起了推动作用。

与此同时一系列的学术成就又为控制论提供了理论根据和实验装置。这就是神经生理学家匹茨和数理逻辑学家麦克卡洛合作在神经生理学方面取得的成就，他俩于一九四三年发表了“神经作用中的内在概念的逻辑演算”。以及冯·诺意曼与经济学家摩根希吞合作创立的“博弈论和经济行为”于一九四三年发表，更主要的是一九四六年电子计算机诞生和运行。在这期间维纳与电

子计算机的设计者和改进者，如艾肯、戈德斯汀、冯·诺意曼等交往密切。而且他本人曾参加过电子计算机的设计，对电子计算机的改进曾提出过很好的见解。因此，电子计算机的设计制造、运行过程，可以说是控制论思想的一次实践。它的诞生反过来迫切要求，人们从理论上阐明控制论思想，这就加速了这门学科的诞生。

除此以外，在形成过程中还是有两项直接有关的开创性实践。一项是一九四六年夏至一九四七年秋，维纳到墨西哥国立心脏研究所与罗森勃吊特共同进行涉及反馈主题的神经方面的实验工作。在这里维纳取得了许多解释控制论的实验数据。另一项是一九四一年春麦克卡洛和匹茨运用控制论思想设计了一台盲人阅读装置。以耳代目进行阅读。这些实践都为控制论的创立提供了有力的科学根据。

一九四七年维纳参加了法国南锡举行的调和分析的数学会。就在这次会议上维纳接受了赫曼书店弗里曼的要求，于是一九四八年出版了《控制论》宣告这门学科的正式诞生。

五十年代以后是控制论的发展时期。一九五四年我国科学家钱学森在美国运用控制论的思想和方法。首创了工程控制论，把控制论推广到工程技术领域。接着神经控制论、生物控制论问世，到六十至七十年代相继出现了经济控制论和社会控制论。一九七五年在罗马尼亚召开的第三届国际控制论和系统会议的主题是经济控制论，一九七八年在德累斯顿召开的第四届国际控制论和系统会议的主题则是社会控制论。目前控制论向许多方面渗透，并向纵深发展，正在形成大系统理论和智能控制。

从控制论产生的历史回顾中，人们不难发现，无论就其科学研究的战略思想，还是具体的研究方法都有许多重要的方法论启

示。

首先，维纳等人之所以能创立这门新学科，正是由于他在战略思想上有独到之处，高屋建瓴、统观全局，及时抓住了当代科学技术发展的特点，认识到各门学科之间的相互渗透已成为科学发展的一种潮流，因而确立了自己的研究领域和目标。他认为：在科学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，即科学的边缘区域，他称之为科学的处女地，它给有修养的研究者提供最丰富的机会和领地。而在这块处女地上进行查勘和开垦工作，必须组织各种学科的科学家，进行合作才能见效。在这种思想指导下，维纳等人利用每月一次聚餐的方式，组织科学方法的讨论会，进行学术交流，活跃思想，坚持多年。结果表明，参加讨论会的志同道合者们，在开垦中付出辛勤劳动，获得了丰硕成果。参加聚餐会的人中，除维纳创立控制论外，冯·诺意曼成为博弈论奠基人、二进制电子计算机的创始者之一，别罗格和戈德斯汀都是电子计算机设计的最早参与者，麦克卡洛和匹茨成了神经控制论和人工智能奠基人，罗森勃吕特成了控制论开拓者之一……，他们所创立的这些新学科，都是现代科学技术史上闪闪发光的明珠。

其次，维纳把控制论又称为“关于在动物和机器中控制和通讯的科学。”这就明确的指明，他所创立的这门新学科，既突破了动物和机器的界限，又突破了控制工程与通讯工程的学科界限，他把动物的目的性行为赋予机器，将动物和机器某些机制加以类比，从而抓住一切通讯和控制系统中所共有的特征，站在一个更概括的理论高度加以综合，形成一门具有更普遍意义的新理论。他把寻找学科之间共同联系的纽带作为创立控制论的目的。他说：“控制论的目的在于创造一种语言和技术，使我们有效地研

究一般的控制和通讯问题，同时也寻找一套恰当的思想和技术以便通讯和控制问题的各种特殊表现都能借助一定的概念加以分类。”^①他把既是机器又是动物中的控制和通讯理论的整个领域叫做控制论。

第三，维纳在控制论研究工作中，还突破了传统方法的束缚，为现代科学技术研究提供了新方法。他根据自动控制系统周围环境的某些变化来决定和调整自己运动的特点，摒弃了牛顿和拉普拉斯的机械决定论，把控制论建立在新的统计理论的基础上；他撇开对象的物质和能量的具体形态，着重从信息方面来研究系统的功能；他不是研究系统此时此地的行为，而是着重研究所有可能的行为方式和状态，及其变动趋势。他把功能模拟法、系统法、反馈法、信息法作为科学方法自觉地运用于控制和通讯系统的研究中。实践证明，这些方法已被日益广泛地运用于生物学，神经生理学，心理学，医学，工程技术以至经济管理和企业管理等许多领域，并取得了显著成就，这些方法有力地促使科学理论向整体化，系统化，综合化方向发展，具有普遍的方法论意义。

信息论是控制论的基础，狭义信息论本来是一门应用数理统计方法来研究信息处理和信息传递的科学。它研究存在于通讯和控制系统中普遍存在着的信息传递的共同规律，以及如何提高各信息传输系统的有效性和可靠性的一门通讯理论。现在发展成一种广义的信息论，它被理解为凡是利用狭义信息论观点来研究一切问题的理论。在美国常称为信息科学，西欧称为信息系统。

现代信息论思想的形成可以追溯到二十年代，特别是

① 《维纳著作选》第三页

一九二八年哈特莱发表了“信息传输”一文首次提出了消息是代码、符号、序列而不是内容本身。这就排除了主观成分，实现了概念上的突破，他还第一次提出了信息量的概念并企图用数学公式加以描述。为信息论的创立提供了思路，这对信息论的创始者申农有很大影响。二次大战中由于雷达的发明、真空电子管的广泛利用、通讯技术、自动控制计算技术的发展以及防空系统的需要促使许多科技工作者同时在不同的国家和单位进行大量的研究。当时对信息论有独特贡献的有：美国的维纳，他从控制和通讯的角度进行长期的研究，提出了著名的维纳滤波理论、信号予测以及在负延迟下的有噪声信号的接收理论，他还独立的提出了与申农一样的测量信息量的数学公式，他从控制论的角度给信息下了定义并把它作为处理控制和通讯系统的基本的概念和方法。在苏联则有戈尔莫戈洛夫，他在一九四一年提出了“在无噪声情况下予测信号”一文，他们的工作主要着重于接收信号的研究。美国另一名统计学家R·A·费希尔则从古典统计理论的角度研究了信息理论。而当时在贝尔电话研究所工作的申农，为了解决信息的编码问题，突破了框框，把发射和接收作为一个整体，当作一个通讯系统进行了研究，他在一九四八年与魏维尔一起提出了“通讯的数学理论。”从此，信息论就正式问世。在信息论的发展中还有英国神经生理学家W·B·艾什比，他在一九六四年发表的《系统与信息》是研究信息论的重要著作。旅居美国的法国物理学家L·布里渊从热力学中熵的概念、信息量的表达式以及生命等问题出发探讨了信息论。他在一九四九年发表的“生命、热力学和控制论”以及一九五一年发表的“科学与信息论”都是研究信息论的主要著作。他运用这些理论使争论了一个世纪的麦克斯威尔妖的佯谬得到满意的解释。

一般系统是美籍奥也利生物学家L·V·贝塔朗非创立的一门逻辑和数学领域的科学，它的主要目的是企图确立适用于系统的一般原则。它运用完整性、集中化、等级结构、终极性、逻辑同构等概念，从而找出适用于一切综合系统或子系统的模式、原则和规律。后来又发展成为试图包括一般系统论、控制论、自动机理论、信息论、集合论、图论、网络理论、系统数学、对策论、判定论、计算数学、模拟……的理论和方法统称为系统论。这种把事物（包括生物界、社会和技术的某些部门）作为有机整体进行研究的思想很早就有，尤其是与唯物辩证法关系非常密切。但现代系统论的产生直接来源还是与三十年代前后生物学中的机体概念以及对活的有机体研究有关。一九二五年英国数理逻辑学家哲学家怀德海发表了《科学与近代世界》一文，他认为分析由于它的本质在哲学问题上容易把人引入歧途，因此提出用机体论来代替科学上的决定论，主张把科学体系重新改造建立在机体这一综合概念的基础上。差不多与此同时，劳特卡（一九二五年）和柯勒尔（一九二七年）提出了系统论的基本原理。这些对当时科学界都产生了影响，对贝塔朗非亦有启发，他本人曾于一九二五至一九二六年提出了生物学中的有机概念，它强调把有机体当作一个整体或系统来考虑，而且认为生物科学的主要目标就在于发现种种不同层次上的组织原理。一九三二年他发表了《理论生物学》，一九三四年又发表了《现代发展理论》提出用数学和模型来研究生物学的方法和机体系统论概念。他认为这是系统论的萌芽。一九四五年三、四月又在《德国哲学周刊》18期上发表了《关于普通系统论》，但很快毁于战火几乎未被人们所知。战后一九四八年贝塔朗非在讲课和专题讨论中阐述了系统论思想。虽然他再三重申系统论是与控制论、信息论同时出现的，但这门学科

在当时的影响却远远不如前者，几乎没有引起重视。直到一九五四年在“美国科学促进协会”（AAAS）的年度会议上才确定成立“一般系统研究会”，学会的主要目的是“促进可应用于不只一种知识部门的理论系统的发展”。并出版了“系统年鉴”。就现有资料分析，系统论真正受到人们重视还是六十至七十年代的事。那时由于从四十年代在军事和通讯控制工程中运用系统方法逐渐形成了系统工程学，战后推广到组织管理方面取得了很好的效果，一九五七年美国麻省理工学院哥德、迈克尔发表了专著《系统工程》，特别是这种方法在研制原子弹曼哈顿计划以及后来的阿波罗登月计划中所取得的显著成效，充分显示了这门学科的生命力，引起人们的广泛重视。正是在这种情况下贝塔朗菲的一般系统论，作为一般科学方法论的一些基本原则吸引越来越多的人的注视。一九六八年他发表的《一般系统论：基础、发展和应用》一书是他根据战后系统方法应用在各方面取得的实际成效进一步历史地系统地阐明了他的思想，这是目前能见到的比较全面地论述系统论的完整著作。目前一般系统论以一种时髦的方法论流派的面貌活跃于国际学术界。许多国家都纷纷建立了专门机构，掀起了一股“统热”热潮。

二、“三论”是现代科学技术革命发展的必然产物

假如说第一次科学革命是从一六七〇年开始至一七四〇年结束，接着就发生了第一次工业革命。那么可以说，从本世纪三十年代开始，接着四十年代中电子计算机的诞生标志着第二次工业

革命的兴起。我们只有从这两次科学技术革命的对比中才能真正理解三论是现代科学技术革命的必然产物。

大家知道第一次科学革命是发生在人类社会由农业社会向工业社会转变的关键时期，新生的资本主义有力地推动社会生产力的发展，它使得自然赋予人的体力的局限性很快地暴露了出来。生产力的发展迫切需要有新的原动力来克服人力畜力的限制。因而，为新的动力系统的产生、利用寻求新的理论基础，就成了第一次科学革命的中心课题，它的主要目的是要突破人的体力的局限性。

牛顿经典物理学理论体系的建立，以及在这一理论影响下建立的整个自然科学体系是这一次科学革命的主要理论成果。它的主要物质成果是蒸汽机。一七六八年蒸汽机的使用标志着人类历史第一次工业革命的开始。二百多年来各种能源的开发利用和各种动力机械的发明，只不过是这场工业革命向纵深发展的里程碑。动力机和工作机的结合，使人的部分体力劳动实现了机械化，人类开始从繁重的体力劳动中解放出来，大大增强了改造自然的能力，为人类社会带来了现代物质文明。

本世纪三十年代以来在科学与技术的发展中出现了许多前所未有的新变化。例如：

1. 人们作用于客观劳动对象的方式发生了变革。

从前人是通过工具（或工作机）作用于劳动对象，经过第一次工业革命，人对劳动对象的作用则是通过动力机——传动机——工作机来完成的，这时机械化程度提高了，人看管的机器增多了，机器运转速度也加快了，靠人的精力和体力难以完成操纵大机器的生产任务。对机器系统实行操作管理的需要，又推动人们在主体作用于劳动对象的机器系统中增加新的机器——控制机，

从简单的控制到电子计算机控制。同时在许多人类无法到达或工作的地方需要有智能机器代替人去实现对动力机、传动机、工作机的控制，以便作用于劳动对象。随着社会生产的发展人们对劳动对象的作用需要许多机械系统联合操作才能完成，随着电子计算机在生产中的广泛应用形成了许多人——机系统。

2. 信息在社会物质生产和人类生活中显示了越来越大的作用，解放脑力已成为刻不容缓的任务。

材料、能量、信息是组成社会物质文明的三大要素。自从人类发明了冶炼技术特别是炼铁以来，材料已不是社会生产力发展的主要矛盾。第一次科学革命时影响社会生产力发展的主要因素是缺乏强大的动力，因此能量被提到首要位置。这时期机器虽然功率越来越大，但其中信息处理是极简单的，社会生活和生产管理中的信息处理亦不复杂，人们还不十分体会信息在人类生活中的作用与地位，但到了本世纪三十年代以后，情况发生了很大的变化。在许多情况下光靠增加机器的功率已不能解决问题。信息处理问题日益尖锐的提了出来，成了社会发展的主要矛盾。出现了诸如“情报爆炸”、通讯、图象信息的自动处理和识别、对自动化系统特别是大系统的控制、宇宙航行和许多军事系统中的控制等等问题。这些都说明随着人类活动领域的日益扩大和研究问题的深入，信息的作用也越来越显著，以往那些原来只依靠人的脑力来进行信息处理的工作方式已不能适应，于是，自然赋予人的脑力的局限性暴露出来了。突破人脑的局限性已成为刻不容缓的任务。

3. 科学与生产技术相互关系发生了重大变化、科学、技术、生产相互渗透逐渐形成了统一的有机整体。揭示整体的运动规律具有重大意义。在第一次科学革命与技术革命中，反映认识客

观世界的运动规律的科学进步与反映生产技术不断完善的技术进步，这二者之间是平行发展的，有时是相互交错相互影响的，但并未有机地联系起来。现代科学技术革命就不同了，一方面，科学革命依赖于技术，要求为科学研究提供先进的技术装备和强大的工业基础。这就常常使科学试验单位、研究机构直接同生产单位合并，越来越多的科学试验性研制工作直接在大企业和生产领域中实现。另一方面，生产技术的重大突破都必须在科学理论的直接指导下才能发生。科研的成果直接体现在生产产品之中。科学变成了直接的生产力，由科学——技术——生产组成的大系统、复杂系统日益成为科学本身考察的对象。有些复杂系统甚至包括了社会系统在内。为了实现对系统的有效控制，就要求人们不能满足于搞清系统中某件事物的运动规律或停留在系统的经验的、定性的描述上，而要定量地、精确地揭示整个系统的运动规律。

4. 现代科学技术理论发展出现了整体化趋向。

人们都知道，科学是以理论形态出现的，是关于客体的系统化了的的知识。理论的作用不仅把被认识的客体的知识整理为体系，更重要的是这种体系还要为获得新知识开辟道路。由于人们在各个不同时期对事物认识的深度和广度不同，理论所反映的对象不同、角度不同，描述的方式方法也不同。因此，形成科学理论的多样性。不仅不同客体有不同理论，就是对于同一客体也存在几种不同的理论。能否用一些新的概念、原则在更高层次上对现有理论进行综合概括，以至形成统一的、完整的理论体系呢？这就是现代科学本身发展的客观要求。三十年代以后更为明显。当时法国的布尔巴基学派提出了结构概念，试图把数学的核心部分在这一概念上统一起来。美国的麦克莱恩与艾伦伯格又提出范畴与

量子理论，作为统一数学的基础。爱因斯坦把后半生献给了引力理论与电磁理论的一统场论的研究……这些都反映了科学发展的整体化趋向。近来这种趋向更为明显，已取得了一些可喜的成果，并且由于自然科学与社会科学的相互渗透，出现了整个科学体系的整体化趋向。

5. 科学管理问题显得更为突出。

随着人类实践活动对客观世界作用能力的日益增强，如何最佳地组织、利用人力、资源、资金、维持人类活动生存空间的最优环境，如何管理好社会，使其维持稳定，尽可能减少不必要的损失，如何组织管理好企业和科学研究机构，以期获得最佳成果……这类问题有些是全国性的，以至是国际性的。它的规模之大、人数之多、科学技术问题之复杂程度、影响因素之随机性都是前所未有的，传统的管理理论、组织形式、方法、手段都已很不适应现代化管理的需要。科学管理成了能否使社会集体劳动生产能力得到充分发挥的关键。

把这些变化与第一次科学和技术革命进行比较，我们对第二次科学技术革命可得到以下几点认识：

1. 这次科学技术革命的目的是突破人的脑力的局限性。为高效率信息处理系统的产生、控制和利用寻找理论基础和物质技术条件。

2. 这次科学技术革命的核心问题是信息以及信息系统的建立，它的物质成果是电子计算机以及各种智能机器及其控制下的各种大系统和复杂系统。

3. 这次科学技术革命的理论成果，将是信息科学、智能科学与系统科学的建立以及有利于科学理论整体化学说的形成。

4. 这次科学技术革命将使人的部分脑力劳动实现机械化和