

专题报告

[编者按] 今年12月11日,是世界著名科学家、中国科学院和中国工程院院士钱学森同志90寿辰。在几十年的科学研究历程中,钱老在力学、工程控制论、航天科技、系统工程、思维科学、管理科学、系统科学、地理科学、建筑科学、人体科学、社会科学、技术美学和哲学等领域都进行了开创性的工作,对推进现代科学事业的发展做出了突出贡献。钱老是一位孜孜不倦、涉猎广博的科学大师,他以辩证唯物主义原理为指导,创造性地构筑了现代科学技术体系,开拓并创立了许多交叉学科和边缘学科。特别是在老一辈无产阶级革命家的领导下,在新中国火箭、导弹和航天器研究与开发的开创和大发展时期,以他渊博的学识和对人民事业的热忱,为组织领导我国航天科技事业做出了卓越贡献。为此,在国内外科技界享有崇高声誉。

为了庆贺钱老90华诞,弘扬他的科学精神、卓越成就和崇高品格,今年7月22日至8月8日,北京大学现代科学与哲学研究中心举办了《钱学森与现代科学技术》大型学术研讨会。我刊在举办单位的支持下,从本期开始将陆续刊登相关领域专家、学者研讨钱老科技活动的专题论文。希望科技工作者能够从钱老的科技实践中得到启示,在推进我国现代工程科学技术发展的进程中努力进取,自觉地运用马克思主义世界观、方法论指导科研活动,不断有所发现,有所发明,锐意创新,为实现中华民族振兴的宏伟事业贡献智慧和力量。

钱学森与系统科学

苗东升

(中国人民大学哲学系,北京 100872)

[摘要] 简要考察了钱学森在系统科学体系、系统工程、控制论、运筹学和系统学方面的主要贡献,论证了他作为中国系统科学导师的地位。

[关键词] 钱学森;系统科学;系统学

1 中国系统科学的导师

钱学森研究系统科学的起点在哪里?一种流行的观点认为,“钱学森对系统科学的工作可以追溯

到1955年”^[1],其根据是他在这一年把运筹学的种子带回国内。这似乎值得商榷。只要承认控制论是系统科学的一个分支,其重要性不在运筹学之下,而钱学森在这里有举世瞩目的贡献,那么,最迟也

应当把这个起点定为他开始研究控制论的1950年。

如果说20世纪50年代的钱学森还只是某个分支学科的系统科学家,那么,70年代“二次出山”的钱学森已经跳出了控制论这个局部,站在整个系统研究群山之巅,尽览此一新兴领域的方方面面,形成关于发展系统科学的独特战略思想,对系统科学的不同层次、不同学科都有了独到的见解。

近20多年来系统科学在中国的迅猛发展,客观根源当然是中国社会的空前大发展。但是,“算事业,须由人做。”80年代掀起的全国性系统研究高潮(有人称之为“系统热”),对系统科学在中国奠定基础 and 巨大发展起了重要作用。它的起点是1978年文汇报发表的“组织管理的技术——系统工程”一文^[2]。以钱学森的辉煌科学技术成就所形成的巨大感召力为背景,这篇里程碑式的文章吹响了中国科学技术界学习、应用、研究系统科学的号角,掀起一场空前的系统运动。钱学森不仅是这场系统运动的主要倡导者、指导者,提供了持续的推动,做了大量的宣传组织工作,而且是最具创造力的研究者,是新概念、新思想、新方法、新思路的主要提出者。包括有关系统研究的外文著作大量而持续地翻译出版,都得力于钱学森的推动和他的巨大名望。

钱学森对中国系统科学发展的贡献是全面而巨大的,主要是:**a.** 阐明系统科学的体系结构,为中国系统科学的发展提供了指导思想和行动指南;**b.** 总结我国航天系统工程的实践经验,提出一套具有中国特色的系统工程理论;**c.** 深入探讨系统科学的研究对象、学科特点、建立途径等,提出一系列指导性意见;**d.** 制定开放的复杂巨系统理论粗框,使我国的复杂性研究在世界上独树一帜;**e.** 提出建立系统科学的哲学即系统论的学科任务,对如何完成这一任务提出许多原则性意见;**f.** 团结和培养了几代从事系统科学和系统工程研究的学者,形成一支庞大的队伍,指导他们在系统科学的不同层次和不同分支开展广泛的研究,并应用于解决实际问题;**g.** 坚持以马克思主义哲学指导系统科学的发展,不仅以极大的热情宣传这个原则,而且身体力行,为系统科学界树立了一个好榜样;**h.** 探讨把系统科学原理和方法应用于其他10大部门的可能性、必要性和可行途径,对我国科学技术各方面的发展都产生积极的影响。

这一切,导致形成一个具有显著特点的系统科

学的中国学派,也就是钱学森学派^[3],使中国在世界系统科学界占有重要地位。钱学森是中国系统科学当之无愧的导师,系统研究大军的核心理,是中国系统科学界迄今为止真正有世界影响的唯一科学家。

2 系统科学体系的钱学森框架

20世纪70年代末的系统科学,既拥有众多的学科、丰富的内容,显示为一个庞大而欣欣向荣的领域,又存在明显的术语混乱、概念混乱、学科划分混乱,不成其为科学体系。为改变这种面貌,钱学森运用系统思想,特别是整体性、有序性、动态性观点,考察和疏理这个领域,把它整合为一个高度有序的知识系统。他在这方面的贡献主要有以下几点:

1) 关于学科命名 系统科学一词出现于20世纪60年代。贝塔朗非第一次使用这个术语大约在60年代末,还特别地加上引号,表示尚在斟酌。70年代以后,系统科学一词开始在国外学术界流行起来。但钱学森决定采用这个概念是很慎重的。1978年的那篇宏文已经在思考整个系统研究的体系问题,划分为工程技术、科学理论和哲学三个层次,却没有提及系统科学。在其后的一年多里,为了确定系统工程的学科归属和指导它的科学理论,考察由系统工程所带动的一系列科学发展,如系统分析、系统研究、系统工程、运筹学、控制论、信息论、管理科学等,分析整个领域的现状和趋势,学习恩格斯对系统概念的哲学论述,思考建立系统科学体系的提法是否符合马克思主义认识论的问题,终于认识到“我们应该回到系统这一根本概念,采用‘系统科学’这个词”^[2]。

2) 明确系统科学在现代科学技术体系中的地位 西方学者虽然早于钱学森提出系统科学的概念,但对于这一科学部门的对象、特征、在现代科学技术总体中的地位、与其他科学部门的关系等都缺乏清晰的认识。他们跳不出按照研究对象划分学科的传统观点,对系统科学归属自然科学还是社会科学、或者算作交叉科学争论不休。钱学森提出以观察客观世界的不同角度来划分学科的观点,把现代科学技术划分为11大部门,判明系统科学是不同于自然科学、社会科学的另一大部门,尽管它所处理的问题有自然界的,也有社会的,五花八门,但“统一在系统的观点”。由此给出这一学科的正

确界定：“系统科学的特征是系统的观点，或说系统科学是从系统的着眼点或角度去看整个客观世界”。^[2]

3) 构筑系统科学的结构体系 鉴于系统研究的迅猛扩张和混乱局面带来的问题，从60年代末起，系统理论家着手构筑它的学科体系以消除乱相。其中有影响的主要是贝塔朗非纲领、市川悖信角塔和钱学森框架，我们曾有较详细的分析比较^[4]。其实，贝氏与市川都没有真正理清系统科学的体系，认识仍然混乱，科学性不够。真正成功的是钱学森，其贡献在于：a. 用“三个层次一座桥梁”^[2]的框架揭示这个新学科固有的有序结构，使系统科学成为一个有准确含义的科学概念，消除了长期存在的混乱；b. 20世纪40年代产生了一批研究系统问题的学科，都是系统科学这个系统的构件，尚未找到把它们有序地组织为一个有机整体的结构方式，因而还属于一种非系统的存在。贝塔朗非、哈肯等人曾致力于这种整合工作，但未成功。钱学森框架的提出标志着这一整合工作的完成，系统科学从此成为一个名副其实的现代科学部门；c. 钱学森框架对系统科学的进一步发展有预测功能和重大指导作用，同国外比较，中国学派的特点和优势首先在于有此框架做指导。

3 建立有中国特色的系统工程理论

严格地说，钱学森关于系统科学的探索是在美国加州理工学院学习和工作时期从研究航天系统工程起步的。抱着科学技术救国理想出国留学的他，选择了应用力学，同时热衷于火箭研究，终于成为美国航天科技的重要奠基者之一。航天科技属于典型的大科学、高技术，需要组织成千上万科技人员协调工作才能成功，因而是产生系统工程这种组织管理技术的良田沃土。他供职多年的加州理工学院喷气推进中心(JPC)是美国航天工程系的发源地，据该室早期负责人之一的匹克林的回顾^[5]，钱学森担任古根海姆实验室领导职务期间(40年代末)，恰是JPC发展系统工程的时期。钱学森无疑是其中的重要角色。

钱学森的系统工程思想虽然孕育在美国，却是在中国真正确立起来并走向成熟的。作为中国航天科技的主帅，钱学森所得到的系统、全面、长期运用系统工程解决问题的实践机会是他人无法比拟的，更是他如果继续留在美国所不可想象的。在此

期间，他密切注意国外同行在这方面的技术创新，及时引进我们的航天研究中。例如，从原苏联引进总体设计部方法，从美国北极星导弹研制中引进计划协调管理技术，并根据我们自己的经验加以检验、补充、修正、发展。中国发展航天科技的特殊困难和问题，向这支队伍的组织管理提出尖锐的挑战，只有创造性地应用系统工程方法才能解决。中国航天事业的极大成功使他积累了最为丰富而独特的实践经验。这个时期的钱学森虽然无暇作系统的理论总结，但勤于并善于对工程实践进行理论总结的他必定有许多理论思考。关于这一点，从他在那个时期公开发表的少数几篇文章中可以得到有力的印证。

1978年以后，钱学森从国防科技工作主要领导岗位上退下来，重新转向学术理论研究，第一项工作就是对中国航天系统工程的实践经验进行理论总结和推广。从1978年在文汇报上发表的那篇被公认为中国系统科学发展第一个里程碑的著名文章开始，在短短几年中发表了一系列文章、讲演、书信，以极大的热情宣传和推广系统工程，策划建立有关研究机构和教学基地。从那时以来，中国系统工程获得极大发展，形成一支庞大的研究、教学和应用队伍，对中国经济、政治、科技、文化、军事、体育等方面的建设，对国家改革开放的大业，都起到不可低估的作用。这一切成就都与钱学森的努力分不开。

但是，最值得我们回顾的是他有关建立系统工程理论的工作。钱学森以清除国外同行有关系统工程的混乱认识为切入点，对工程学的产生背景、发展历史、研究对象、主要内容、学科性质和归属、指导理论、应用前提、社会意义、存在问题、发展方向等给出深入分析论证，形成具有中国特色的系统工程理论。鉴于其内容丰富多样，我们将专文论述。这里只讨论这种中国特色的来源。在我国，从航天系统工程到其他领域的系统工程，都只能立足于中国的国情，用系统工程解决中国的实践问题，又从这种实践中发现进一步发展系统工程的问题和经验材料。中国是社会主义国家，钱学森从准备回国时就在思考把系统工程的应用与社会主义制度的特点协调起来。这些是中国特色的社会来源。与西方系统工程界不同，钱学森坚定地信奉马克思主义哲学，坚持用辩证唯物主义指导系统工程，尤其重视运用《实践论》、《矛盾论》等著作。

这是中国特色的哲学来源。钱学森特别看重中国共产党创造的民主集中制原则，视之为系统工程的精神实质，认为毛泽东等成功指挥的三大战役就是极为出色的系统工程实践，只不过他们当时不可能运用数学模型方法和电子计算机这种工具。对于中国传统文化，钱学森那一辈科学家大多都有比较雄厚的家学渊源，对中华民族自古以来长于整体思维、重视和谐协调的传统深有了解，在制定系统工程理论时又认真总结中国历史上应用系统工程方法的成功范例。这是中国特色的文化来源。此外，钱学森不是个人，推动中国系统科学发展的是“钱学森加大家”^[6]，钱老是中國系统工程集体的代表，他的理论总结也是这个集体的智慧结晶，是他们共同铸造了这种中国特色。

4 对控制论的新思考

历史地看，钱学森在系统科学中的地位首先是由他在控制论方面的业绩确立的。众所周知，在被迫滞留美国期间，他吸收维纳名著《控制论》中那些能够直接用于工程设计的内容，结合二次大战发展起来的控制与制导工程技术的实践经验，写成引起世界性反响的著作《工程控制论》，表明钱学森理应属于控制论的创立者之一，他在这一领域的影响不亚于英国控制论专家艾什比。这也就奠定了他在系统科学早期发展中的重要地位。

学术界对《工程控制论》早有崇高评价：它的传播帮助维纳摆脱“反动分子”“伪科学家”的形象，使世界科学界迅速接受了控制论这一新学科^[7]（宋健）；开控制论分支化的先河^[7]（杨嘉墀）；已经触及系统学问题（许国志等《论系统工程》前言）。我们赞同这些看法。这里要补充另一些重要而被忽视的方面：**a.** 20世纪60年代勃兴的现代控制论是控制科学最引人入胜的成就，但稍加比较就会发现，《工程控制论》乃现代控制论的滥觞。**b.** 由于维纳著作未指明系统是控制论的根本概念，可能使读者把它当作一个一般术语，模糊了控制论属于系统科学这种学科性质。而钱学森在50年代初就指明：“控制论所讨论的主要问题是一个系统的各个不同部分之间的相互作用的定性性质，以及整个系统的总的运动状态”^[8]。这话包含了把控制论划归系统科学的思想萌芽。**c.** 维纳把信息与物质能量区分开来，强调控制问题的关键是环绕着消息概念而不是电工技术，从而揭示出控制

论与自然科学性质上的区别。钱学森从另一方面发现这种区别，指出：“这门新科学的一个非常突出的特点就是完全不考虑能量，热量和效率等因素，可是在其他各门自然科学中这些因素却是十分重要的。”^[8]1978年作了进一步发挥，在说明相对论和量子力学是关于物质运动的基础理论之后指出：“控制论则不然，它的研究对象似乎不是物质运动”，“而是代表物质运动的事物因素之间的关系”^[9]。这些言论表明他那时的思想已经超越控制论，获得对一般系统思想和系统方法的深刻理解。这对他20多年后关于系统科学的探索深有影响。

回国以后的钱学森没有再从事控制论的具体研究，但仍在关心它的发展，除指导宋健等人撰写《工程控制论》修订版外，还提出许多对控制论发展很有价值的意见：**a.** 明确控制论也是系统工程的理论基础；**b.** 指出目前的控制论主要研究无人参与的自动控制，把人包括进去的通用理论还没有建立起来；**c.** 提出把技术科学层次的控制理论称为控制学，并作出这样的界定：“控制学，那是讲系统成员关系的人为调控以及达到整体运行的优化”^[10]，这样的控制学显然应是把人包括进去的通用理论；**d.** 提出控制论应“向巨系统方向推进”^[2]；**e.** 提出“跳出就大系统论大系统”^[11]这个重要方法论观点，推广开来，我们应当跳出系统看系统，或者跳出运筹学看运筹学，跳出系统科学看系统科学。事实上，钱老本人正是由于跳出系统工程看系统工程才走向系统科学和系统学，由于跳出系统科学才理清系统科学的体系结构和发现存在缺环。

5 从运筹学到事理学

钱学森没有发表过有关运筹学具体内容的专门论著，他对中国运筹学的贡献，首先在于宣传和组织运筹学的研究和应用。1955年回国后，他受命组建科学院力学所，运筹学是它的六个研究室之一。中国运筹学能有今天的成就，与钱学森的组织 and 推动分不开，此乃学界公认的事实。所以，把1955年定为中国系统科学发展的起点是合理的。

尽管运筹学创立已近60年，关于它的学科性质、它与系统工程的关系等问题，在它的发源地英美等国仍然存在许多混乱认识。1978年以后，钱学森着手消除这种混乱，理清了运筹学和工程的区别和联系。他主张把有关的数学理论划归运筹

学，把有关的工程实践内容划归系统工程，由此正确地确定了二者的学科层次：在系统科学中，系统工程属于工程技术层次，运筹学属于技术科学层次，它给系统工程提供理论指导（包括具体算法），又从系统工程中发现新问题，吸取“原材料”发展自己。这些新观点的提出，引导我国运筹学和系统工程进入有序发展的新阶段。

1939年，英国科学家把他们在雷达系统有效使用方面创造的新方法命名为 Operationnal Research（美国人后来改称 Operations Research），反映那时认识的肤浅和狭窄，未能把握运筹学的本质特征。我国最初译为运用学，也表明这一点。后来改译为运筹学，代表认识的深化，但仍然不能明确反映运筹学研究的不是物质运动本身，而是代表物质运动的事物因素之间的关系这个性质，因而没有揭示出运筹学与自然科学的根本区别所在。

善于从整体上把握事物，善于用哲理眼光审视科学研究，使钱学森比一般运筹学家更易于洞察运筹研究的深层本质。前述他对控制论的卓越认识迟早会推广到运筹学。果然，在1978年的那篇文章中，他们提出“事理”这个崭新的科学概念^[2]，在科学上第一次区分了物理和事理。物有物理，事有事理。物理即物质运动的规律，事理即办成办好事情的规律。运筹属于事理，运筹学属于事理学，它所研究的不是物质能量的运动转化，而是事理运动。运筹学是办事的数学理论，系统工程是办事的技术。这就透彻地揭示出运筹学区别于自然科学，系统工程区别于传统工程的本质特征。这些新的概念和观点应是70年代以来钱学森对运筹学最重要的贡献，比提出某些具体算法更有长远价值。

有效使用、制定规划、排队、竞争等都属于事理问题，运筹学制定了有效的数学理论。但人类要处理的事理问题远不止这些，其中大多属于所谓“结构不良”问题，无法靠运筹学来解决。可见运筹学不等于事理学，它们属于系统科学的两门技术科学。钱学森考察了这个问题，给出界定：“运筹学，那是在一定外部规范及信息条件下，使系统取得最佳运行的学问”，“事理学，那是专门研究系统内部各种运行的条件和法律、法规，目的是使系统运行优化”^[10]。又说：“运筹学和事理学都是利用环境以求最佳效益，不同之处在于运筹学是及时效益而事理学是长期的效益。对一个系统的多次运筹考虑后也自然会发现事理学性质的启示。”^[10]虽然

这些见解还是初步的，但无疑是新颖独到的，极有开发价值。由此引发了国内学者对事理学的跟踪研究，开辟了又一个前景可观的科学新领域。

6 建立系统学的艰难探索

通过对系统工程的理论总结，钱学森认识到作为系统工程理论指导的运筹学、控制论、信息论都是技术科学，理论层次还不够高，提出在它们之上是否还有更深刻的理论（如理论运筹学或理论控制论或理论事理学）的问题。另一方面，在明确了这些学科都属于系统科学之后，再用他的“三个层次一座桥梁”框架看，发现系统科学的体系结构很不完整，最关键的是基础科学层次还是空白。他把系统科学的基础科学命名为系统学。从1980年至今的21年中，建立系统学的努力一直是钱学森学术活动的中心，大约分三个阶段：

1980~1985年是第一阶段，主要工作是判明系统学的学科性质、任务、建立它的必要性和可能性，探讨系统学的构筑材料和建立途径。起先从科学体系的层次结构看，认识到系统学的建筑材料需要从系统工程、特别是技术科学层次的运筹学、控制论、信息论中发掘，因为一切科学部门（如自然科学）的基础理论都是对应用理论进一步概括的结果。进一步是走出系统工程，到更大范围考察，发现生物学、物理学、化学、数学等基础科学已有许多人从事系统理论研究，提出了一般系统论、耗散结构论、协同学、超循环论、突变论、微分动力体系、混沌论等。他从这一态势中看出建立系统学的客观条件已经具备，系统学已有丰富的构筑材料，并指明建立途径：把所有这些理论成果融会贯通，综合起来，用他当年建立工程控制论所用的那种“框架法”^[12]形成一个有序的概念体系，就是系统学。用钱老的话说，此时他的头脑中已经“有了一个系统学的形象轮廓了”^[2]。

第二阶段从1986年到1990年，在上述认识基础上，发起成立系统学讨论班，开始有组织地研究系统学。小讨论班由我国系统科学界的几位著名中青年学者组成，在钱老亲自指导下负责撰写《系统学》一书。在自由参加的大班上请各方面专家报告，然后集体讨论，目的是开阔思路，收集材料，发现问题，争鸣辩论，相互启发，最后由钱老总结，提炼新思想。讨论班取得了许多理论成果，如区分了两类巨系统，给出新的系统完备分类^[13]，

提出开放的复杂巨系统概念,明确了系统学包含简单巨系统学和复杂巨系统学两部分。令人惋惜的是,由于某些原因,《系统学》一书未能写出来。

第三阶段从1990年至今,重组写作班子,全力开展建立开放的复杂巨系统理论的工作,提出从定性到定量综合集成法、研讨厅体系、大成智慧等重要概念,总结出“从繁到简”^[14]的建立系统学之路。至此,汇总20年的努力终于有了一个关于系统学的理论粗框,其主要理论成果总结于《开放的复杂巨系统》一书,主要应用成果是有关经济发展的从定性到定量综合集成研讨厅体系的研究已被国家立项。这是中国系统科学发展的一个重大进展。

综上所述,作为系统科学家,钱学森的科学探索遍及系统科学的所有层次,在每个层次上都有令人瞩目的工作;涉足系统科学的所有分支,在有些分支中做出世界领先的工作,在另一些分支虽然没有具体的工作,但在科学思想和方法论方面提出许多极富启发的论述。可以毫不夸张地说,像钱学森这样全方位的系统研究,在世界系统科学界是独一无二的。当然,在建立系统学方面,收获至今仍然是很初步的,系统学的特有概念尚未形成体系,完整的系统学著作尚未写出来,系统科学界仍然任重道远。然而,重要的是开放的复杂巨系统学终于“有了第一步了”^[14];有了第一步,不就应该迈出第二步了吗!

参考文献

- [1] 王寿云,戴汝为,陈信,等. 钱学森传[A]. 中国科学技术专家传略工程技术编力学卷[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993.145
- [2] 钱学森等. 论系统工程(增订本)[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1988.18,33,186,246,300,458
- [3] 苗东升. 系统科学精要[M]. 北京:中国人民大学出版社,1998.21~24
- [4] 苗东升. 系统科学原理[M]. 北京:中国人民大学出版社,1990.7~28
- [5] 许国志,戴汝为,顾基发答记者问. 面向21世纪的系统科学与工程[N]. 文汇报(上海),2001-03-21(11)
- [6] 钱学森. 用马克思主义哲学来指导系统科学的工作[J]. 系统工程理论与实践,1992,(5):1
- [7] 许国志主编. 系统研究[M]. 杭州:浙江教育出版社,1996.2,16
- [8] 钱学森. 工程控制论[M]. 北京:科学出版社,1958.原序
- [9] 钱学森,宋健. 工程控制论(修订版)[M]. 北京:科学出版社,1980.序, X I V ~ X V
- [10] 张锡纯. 工程事理学发凡[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1997.前言4~5
- [11] 郭俊义. 试论系统论的创新问题[J]. 系统工程理论与实践,1986,(6):13
- [12] 钱学森. 人体科学与当代科学技术发展纵横观[M]. 北京:人民出版社,1996.184
- [13] 许国志主编. 系统科学[M]. 上海:上海科技教育出版社,2000.23
- [14] 王寿云,于景元,戴汝为,等. 开放的复杂巨系统[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1996.276,299

Qian Xuesen and System Science

Miao Dongsheng

(Department of Philosophy, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

[Abstract] This paper observed Qian Xuesen's contribution to system science, system engineering, control theory and systematology in China, and showed his position as the tutor of Chinese system science.

[Key words] Qian Xuesen; system science; systematology