

[编者按] 综合集成方法是从整体上研究并解决问题的方法论, 对软科学的发展具有重大理论意义。

从定性到定量 综合集成方法及其应用

The Method of Integration

— from Qualitative to Quantitative and its Application

北京信息控制研究所副所长、研究员 于景元

1989年, 在“系统学讨论班”上, 钱学森提出了从定性到定量综合集成方法 (以下简称综合集成法), 并于1990年“自然杂志”上正式公开发表^[1]。

这个方法是钱学森在总结了现代科学技术最新发展以及国内外成功实践经验的基础上, 根据他的系统科学体系并结合以计算机为核心的高新技术成就而提出来的。综合集成方法不同于近代科学一直沿用的培根式还原论方法, 而是从整体上研究并解决问题的方法论, “是在现代科学技术条件下, 实践论的具体化”, 因而具有重大理论意义。

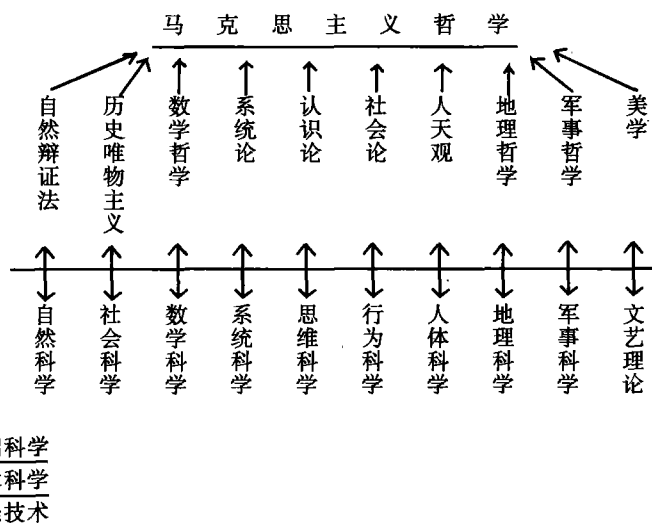
另一方面, 综合集成方法、总体设计部以及系统工程是钱学森系统科学体系的重要组成部分, 它们相互联系, 紧密结合, 又成为解决实践中复杂性问题的方法论。

我国正在进行改革开放, 这是人类有史以来最复杂的社会实践, 它向我们提出了大量的、新的理论和实际问题, 需要我们去研究和解决, 但只靠传统的方法是难以科学地回答这些问题的, 需要有新的科学方法论来研究和解决这些问题。在这种情况下, 综合集成方法的提出和应用更有重要的现实意义。

一、综合集成方法提出的理论和实践背景

现代科学技术的发展, 不仅大大丰富了我们对外观世界的认识, 也极大地提高了我们改造世界的能力, 同时还带来了科学方法论的不断进步。

现代科学技术发展的特点是既高度分化又高度综合, 如今已形成了一个庞大体系。根据不同研究对象、对象的不同层次以及不同的研究方法, 形成了不同的学科。据统计现在国内外已有4000多个学科。钱学森



前科学: 经验知识、感性知识。

图1

按照马克思主义哲学思想, 总结并提出了现代科学技术体系的矩阵式结构。(如图1)

在这个体系中, 横向有十大科学技术部门, 每个部门又有三个层次: 直接改造世界的是工程技术; 为工程技术直接提供理论基础的是技术科学; 在此基础上揭示事物规律的就是基础科学。每一个科学技术部门又有通向马克思主义哲学的桥梁。马克思主义哲学是人类知识的最高概括, 是人类智慧的结晶。

今后随着科学技术的发展, 还会产生出新的科学技术部门并进入这个体系之中, 所以这个体系是动态的和发展的。

在这个体系之外, 还有人类通过实践积累的大量感性知识、经验知识。它们的特点是只知其然不知其所以然, 因而还进入不了科学知识范畴, 故又称作前科学。但其中有许多对我们有用的东西, 我们也要十分珍惜。

这样,哲学、科学知识、经验知识就构成了人类的整个知识体系。

在科学发展史上,一切以定量研究为主要方法的科学,被称之为“精密科学”,而以思辨方法和定性描述为主的科学称为“描述科学”。例如,自然科学属于“精密科学”,而社会科学则属于“描述科学”。社会科学是以社会现象为研究对象的,由于社会现象的复杂性,其定量描述很困难。但近些年来,数量经济学研究的进展表明,这类问题是能够定量研究的,问题在于方法论的革新,特别是计算机技术出现以后,更为这种革新提供了强有力的技术手段。

德国著名物理学家普朗克认为“科学是内在的整体,它被分解为单独的整体不是取决于事物的本身,而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理到化学,通过生物学和人类学到社会学的连续的链条,这是任何一处都不能被打断的链条”。自然科学和社会科学的研究,只是覆盖了这根链条,而系统科学的研究则是把这根链条联接起来研究的科学。伟大导师马克思早就预言:“自然科学往后将会把人类的科学总结在自己的下面,正如同关于人类的科学把自然科学总结在自己下面一样,正将成为一门科学,我们称这种自然科学与社会科学成为一门科学的过程为自然科学与社会科学的一体化”。科学技术发展到今天,自然科学与社会科学已呈现出明显的一体化趋势,问题是用什么样的科学方法实现这个一体化。下面将会看到,系统科学及其方法论对实现这个一体化具有重大意义。

近些年来,国外出现了风行一时的所谓复杂性研究,这是因为他们在实际中遇到了复杂性困难,明白了还原论方法已行不通,但议来议去不见解决困难的方法。还原论方法是把事物分割开来进行研究,然后再拼凑起来。以为低层次和局部问题弄清楚了,高层次和整体问题也就自然清楚了。但系统科学的理论表明,高层次事物可以具有低层次事物所没有的性质,也就是通常所说的一加一可以大于二。还原论方法可以解决一加一等于二的问题,但解决不了一加一大于二的问题。恰恰是后面这类问题,在理论和实践中是普遍存在的。这就需要有新的方法论来研究这些问题。否则,把复杂性问题简单化,或用研究简单性问题的方法(如还原论方法)去研究复杂性问题,其结果是危险的,对此我们要有清醒的认识。

以上从科学发展和理论研究角度说明,我们需要在已有方法论的基础上,发展新的方法论。这也是科学技术发展到一定阶段必然出现的趋势。

人类的知识体系是人类认识世界所积累的宝贵财富。但认识世界不是我们最终的目的,认识世界是为了更好地改造世界。

现代的社会实践是越来越丰富也越来越复杂,它

决不是想干什么就干什么,想怎么干就怎么干。而是应该在人类整个知识体系的帮助下去实践,才有可能获得成功^[2]。

实践作为一个过程,包括实践前形成的思想、设想、规划、计划、方案、可行性等都应进行科学论证,以使实践的目的性建立在科学基础上,而不是建立在经验基础上;也包括在实践过程中,要有科学的组织管理和协调,以保证实践的有效性(效率和效益);还包括实践后的评估和总结,以便发现新的问题,发展新的理论。所有这些都需要利用已有知识体系去研究,而且还要处理有可能至今我们尚未认识的新问题。同时,实践问题一开始就具有综合性、系统性和动态性的特点,它不容许我们孤立地和静止地处理,特别是一些复杂的实践问题,更具有这种明显特点。如三峡工程就涉及到发电、运输、防洪、地质、生态环境、人口迁移、经济、综合国力等各个方面,而且是跨世纪工程。要解决上和不上以及怎样上等这样一些重大问题,就不是哪一个或几个科学技术部门所能胜任的,在方式上也不是仅靠有关领域专家座谈会和咨询一下就可以解决的。而是需要综合运用现代科学技术体系提供的科学知识甚至包括有用的经验知识进行系统的综合研究,同时要按照一定的科学方法和科学方式进行研究,才有可能得到科学的结论。我国的“三峡工程”论证就是集中了400多位专家用了近三年时间才完成的。类似的问题还很多,特别像我国的改革开放,社会主义现代化建设这样伟大的社会实践,就更为复杂,因而也就更需要研究。认识世界是个大学问,改造世界也是个大学问,而且是更大的学问。这就向我们提出了这样的问题:如何综合运用人类知识体系(哲学的、科学的、经验的知识)去研究和解决社会实践中的问题,特别是一些复杂性问题。这不仅需要有科学方法,还要有科学的组织方式。可以看出这类研究的主要指向是实践,是改造世界。其特点是高度综合性、系统性和复杂性,不是一个或几个学科的简单联合就能解决的。目前国内的所谓软科学研究其实质就是指这类研究,但这类研究不仅不软,而且很硬,它要经受实践的直接检验。已有的科学研究其主要指向是理论,是认识世界。当然这两者之间是紧密相关的,只是特点有所不同。(见图2)

以上说明社会实践在科学技术层次上,也提出了方法论的需要。这也是实践发展到一定水平所必然出现的现象。

综合集成方法就是在上述理论和实践研究双重需要的背景下提出来的。

二、综合集成方法

钱学森是我国系统科学事业的开拓者和奠基者,

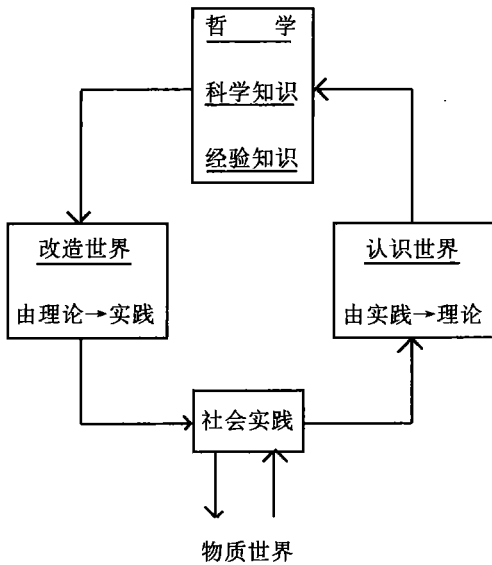


图 2

都是系统。因而系统科学的理论、方法具有广泛应用和普遍意义。

钱学森对系统科学研究的一个重要贡献，就是提出了新的系统分类以及概括出开放的复杂巨系统概念^[1]。他根据组成系统的子系统的数量和种类的多少，以及它们之间关联关系的复杂程度，把系统分为简单系统和巨系统两大类，对巨系统又分为简单巨系统和复杂巨系统，由于这些系统都是开放的（和外界有物质、能量和信息的交换），所以又称作开放的复杂巨系统。如生物体系统、人脑系统、人体系统、地理系统（包括生态系统）、星系系统、社会系统等。其中以有意识活动的人为子系统而构成的社会系统最为复杂，所以又称作特殊的复杂巨系统。复杂巨系统的主要特征之一就是层次结构，这也是它们的复杂性所在。

系统的这种分类具有重要的理论和实践意义。这里只说明两点。从以上列举的复杂巨系统的几个实例中，可以看出它们涉及到生物学、思维科学、医学、地学、天文学和社会科学。这些学科本来分布在不同的科学技术部门，而且均已有了较长的历史，但现在却都能概括在开放的复杂巨系统的概念之中，而且更加清晰更加深刻了。这个事实表明，开放的复杂巨系统的研究，不仅必将推动这些不同学科理论的发展，而且还为沟通这些理论开辟了新的前景。钱学森根据马克思创立的社会形态概念，任何一个社会系统都有三种社会形态；即经济的社会形态、政治的社会形态和意识的社会形态。相应于这三种社会形态应有三种文明建设，即物质文明建设（经济形态）、政治文明建设（政治形态）和精神文明建设（意识形态）。根据系统思想，社会主义文明建设，应是这三种文明建设的协调发展^[4]。如再加上社会系统的环境——地理系统的建设，即地理建设^[7]，那么，我国社会主义建设应是上述三个文

明建设和地理建设。最近，钱学森又提出社会主义建设的系统结构^[5]，即上述四大侧面和它们所包括的九个方面：物质文明建设包括经济建设、人民体质建设；政治文明建设包括民主建设、法制建设、政体建设；精神文明建设包括思想建设和文化建设；地理建设包括环境保护和生态建设、基础设施建设。而这九个方面是以经济建设为中心的。为了使三个文明建设之间以及与地理建设相互协调发展，以取得社会系统长期的和最好的整体效益，这就需要社会系统工程。现在，人们在总结了我国40多年社会主义建设的经验与教训之后，终于认识到中国社会主义建设是一项极为复杂的社会系统工程，而且认识到邓小平同志是我国新时期社会主义建设的“总设计师”。如何应用社会系统工程组织管理好社会主义建设，我们还有大量的工作要做。改革开放以来，我们取得了巨大成就，但也出现过一手软一手硬的问题，教育、科技、经济等体制改革还不配套，部门之间还不协调等等，这都说明改革开放需要总体分析、总体设计、总体协调、总体规划。所以，社会系统工程对我国改革开放具有重大的现实意义。

系统科学是以系统为研究对象的，系统是普遍存在的。自然界、人类社会以及人本身

明建设和地理建设。最近，钱学森又提出社会主义建设的系统结构^[5]，即上述四大侧面和它们所包括的九个方面：物质文明建设包括经济建设、人民体质建设；政治文明建设包括民主建设、法制建设、政体建设；精神文明建设包括思想建设和文化建设；地理建设包括环境保护和生态建设、基础设施建设。而这九个方面是以经济建设为中心的。为了使三个文明建设之间以及与地理建设相互协调发展，以取得社会系统长期的和最好的整体效益，这就需要社会系统工程。现在，人们在总结了我国40多年社会主义建设的经验与教训之后，终于认识到中国社会主义建设是一项极为复杂的社会系统工程，而且认识到邓小平同志是我国新时期社会主义建设的“总设计师”。如何应用社会系统工程组织管理好社会主义建设，我们还有大量的工作要做。改革开放以来，我们取得了巨大成就，但也出现过一手软一手硬的问题，教育、科技、经济等体制改革还不配套，部门之间还不协调等等，这都说明改革开放需要总体分析、总体设计、总体协调、总体规划。所以，社会系统工程对我国改革开放具有重大的现实意义。

上述不同类型的系统，还意味着有不同的研究方法。对于简单系统，可以从子系统相互之间作用出发，直接综合成整个系统的运动功能。这是直接作法，没有什么曲折，还可以借助于计算机。对简单巨系统，因为子系统数量非常多，如激光系统，应用处理简单系统的方法不行了。直接综合的方法不行，人们就想到到本世纪初统计力学的巨大成就，把亿万个分子组成的巨系统的功能略去细节，用统计方法概括起来，这很成功。这就是普利高律和哈肯的贡献，也就是所谓的自组织理论。那么，研究开放的复杂巨系统（包括社会系统）的方法论是什么呢？对于这样的系统，用还原论的方法去处理就不行了（对于一个层次的系统，还原论方法还是适用的）。因为从可观测的整个系统到子系统层次很多，中间的层次又不完全清楚，甚至有几个层次都不清楚，即使各个层次都清楚了，整个系统功能也不等于各个子系统功能的简单叠加。

钱学森对复杂巨系统研究的重要贡献就是他在以下四个开放的复杂巨系统研究实践的基础上，结合国内外进展情况，提炼、概括和抽象出来从定性到定量综合集成方法。这四个开放的复杂巨系统就是：

（1）在社会系统中，由几百个或上千个变量描述的，应用系统工程技术对社会经济系统的研究。在国内首先是由马宾推动的；

（2）在人体系统中，把生理学、心理学、西医学、中医学和传统医学以及气功等综合起来的研究；

（3）在地理系统中，用生态系统、环境保护以及区域规划等综合探讨地理科学的工作；

（4）在军事系统中，军事对阵系统和现代作战模拟的研究。

在这些研究中,通常是科学理论、经验知识和专家判断力相结合,形成和提出经验性假设(判断、设想或猜想),而这些经验性假设不能用严谨的科学方法加以证明(如同在自然科学中所作的那样)。只是在有了现代计算机技术后,可以基于统计数据和各种信息资料,建立起包括大量参数的模型,而这些模型也必须建立在经验和对系统的实际理解上。经过计算机仿真和计算得到的定量结果,再由专家分析、综合和判断,这里包括了感性的、理性的、经验的、科学的、定性的和定量的知识的综合集成。通过这种人—机交互,反复对比逐次逼近,最后形成结论。实现从感性到理性、由定性到定量的转化。这样的结论就是现阶段对客观事物认识的科学结论。当然一个方面的问题经过这种研究,有了大量积累,又会再一次上升到整个方面的定性认识、达到更高层次的认识,形成又一次认识的飞跃。这个方法的实质是专家体系(与研究问题有关的专家)、统计数据和信息资料(也是与研究问题有关的)、计算机三者有机结合起来,构成一个高度智能化的人机交互系统,它具有综合集成各种知识实现从定性到定量认识的功能(见图3)。从思维科学角度看,这个方法充分体现了辩证思维和社会思维。此外,它还具有以下特点:

(1)把定性研究和定量研究有机结合起来,并贯穿全过程,从多方面的定性认识,上升到定量认识。

(2)把科学理论和经验知识结合起来,经验知识虽不属科学知识范畴,但对解决复杂性问题,它仍有重要作用。我们要把人们对客观事物星罗点点的知识综合起来解决问题。

(3)根据系统思想,把多种学科结合起来进行综合

研究,是 $1+1>2$ 的交叉研究,而不是 $1+1=2$ 的“拼盘”。

(4)根据复杂巨系统的层次结构,把宏观研究和微观研究统一起来。

(5)应用这个方法必须有计算机系统的支持。这个计算机系统不仅具有管理信息系统(MIS)、决策支持系统(DSS)的功能,而且要有综合集成功能。这就要用到知识工程、人工智能、信息技术等高新技术。

从上述,还可以看出:

(1)这个方法发扬了自然科学定量研究方法论的长处,也弥补了社会科学定量研究的不足。

(2)避免了还原论的缺陷,能解决其难以解决的问题,是真正的综合方法。

(3)这个方法是符合马克思主义认识论的科学方法。

最近,钱学森又提出了“从定性到定量综合集成研讨厅体系”的思想^[6],这是把下列成功的经验汇总了:

1. 几十年来世界学术讨论的 Seminar; 2. C³/I 及作战模拟; 3. 从定性到定量综合集成方法; 4. 情报信息技术; 5. “第五次产业革命”; 6. 人工智能; 7. 灵镜; 8. 人机结合智能系统; 9. 系统学。

就实质而言,这个研讨厅体系是综合集成了现代科学理论和技术手段与专家体系一起构成的高度智能化系统。它由三个体系构成:知识体系、专家体系、工具体系(以计算机为核心的高新技术成果构成的)。这个研讨厅体系不仅具有知识的存储、传递、共享、调用等功能,更重要的是具有产生新知识的功能,是知识的生产系统,既可以用来进行理论研究,也可以用来进行应用研究(见图4)。虽然现在还没有这样一个研讨厅体系,但这个创世纪的科学思想,却给我们指出了—个非常重要的方向,我们应高度重视和认真研究。

三、应用

我们的实践首先应在马克思主义哲学指导下进行。这是我们党多年来一直大力倡导的。马克思主义哲学是在科学基础上概括和抽象出来的,因而它是科学的哲学。当我们应用马克思主义哲学指导实践时,也需要经过科学这个层次,才能使我们的实践真正在马克思主义哲学指导下进行,否则就很容易陷入到要么是哲学层次上的抽象指导,要么是实践层次上的经验套用。现在有了综合集成方法,就使得马克思主义哲学对实践的指导作用有了科学保证。

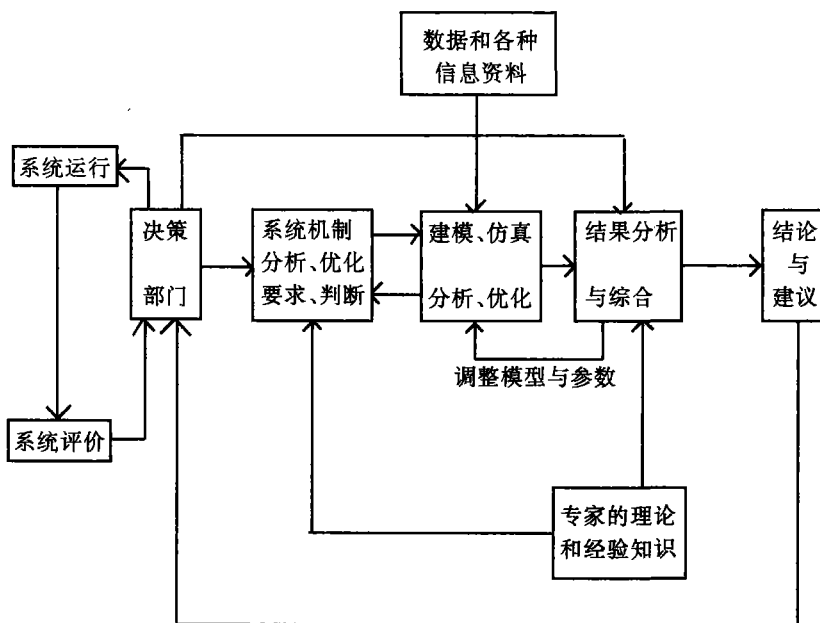


图3

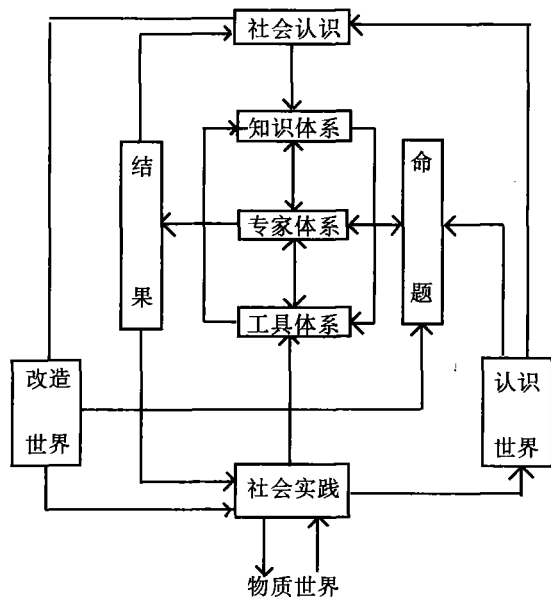


图4

综合集成方法作为一项技术又称为综合集成技术。这项技术可以用来整理千千万万零散的群众意见、提案和专家的见解，以至个别领导的判断，真正做到“集腋成裘”。特别当我们引用它把零金碎玉变成大器——社会主义建设方针、政策和发展战略，以至具体计划和计划过程的调节时，就把多年来我们党提出的民主集中制原则，科学地完美地实现了，其意义已远远超出科学技术的发展与进步。

综合集成方法是专家体系的群体工作方式，不是专家体系的简单组合，而且按一定科学方式协同工作。其实，这就是总体设计部的研究方式和工作方式^[7]。我国“两弹一星”所以能取得今天这样的伟大成就，总体设计部发挥了重大作用。周恩来总理生前曾希望把这些经验推广到其它社会领域。1979年，钱学森就提出国民经济总体设计部的建议。1990年，从党和政府宏观决策科学化的角度，又提出了社会主义文明建设的总体设计部体系的建议。

总体设计部是由多门学科的专家组成，在强大的以计算机为核心的系统支持下，应用综合集成方法和社会系统工程技术，对社会主义建设的四大侧面（物质文明建设、精神文明、政治文明建设、地理建设）和九个方面（经济建设、人民体质建设、思想建设、文化建设、民主建设、法制建设、政体建设、环境保护和生态建设、基础设施建设），进行总体分析、总体论证、总体设计、总体规划、总体协调，提出现实可行的具有可操作性的各种配套方针政策和发展战略，为决策者和决策部门提供科学的决策支持。（见图5）

总体设计部体系是以知识体系为基础的决策参谋和咨询机构，是为总设计师服务的，它的作用是保证决策的科学化和民主化。而执行机构体系是以权利和法

律为基础的决策执行机构，它的作用是保证决策实施的有效性。决策者或决策机构则把知识和权利结合起来变成改造客观世界的力量。

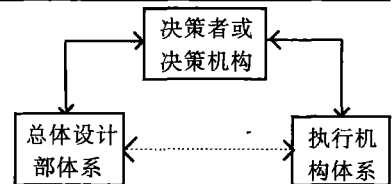


图5

从我国现行体制来看，还没有总体设计部体系。在决策机构下面应有两套体系，现在只有一套体系，两条腿变成了一条腿，结果是总体设计部应该作的事没有作好。总体设计部、社会系统工程、综合集成方法紧密结合形成了从科学、技术、实践三个层次相互联系的研究和解决复杂性问题的方法论。这是钱学森的重大贡献，具有重大意义。这套方法是对传统方法的重大突破，这就要求我们的观念也要转变，跟上现代科学技术发展的步伐。否则，理解起来就会困难，实践起来就会变样。如果真正按这套方法去实践，我们还会创造出象“两弹一星”那样的奇迹。我国社会主义建设就会全面协调发展，结构就会合理，质量就会提高，国民经济发展速度就不是六或九的问题，还会更快。

总体设计部是具有中国特色的实践方法，它不同于西方的思想库。这些思想库正如外界报道的那样“他们将永远死死拽住政治家的衣袖，焦虑地徘徊在政府与大学之间”^[8]。

综合集成方法的应用，对社会系统、地理系统等开放复杂巨系统的统计和观测提出了迫切要求。从指标体系、数据采集、计算机处理都要建立在科学的基础上。有一些问题，用综合集成方法困难，不是方法论本身的问题，而是缺少统计数据。这里我们还要强调一点，就是要加强以计算机为核心的工具系统的建设，这里边还涉及到许多高、新技术问题，也应及早进行研究。我们应为尽快建成钱学森提出的综合集成研讨厅体系而努力奋斗！

注释

[1] 钱学森、于景元、戴汝为：一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论，《自然杂志》，13卷第一期，1990年。

[2] 钱学森：我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义，《九十年代科技发展与中国现代化系列讲座》，1991年。

[3] 于景元：钱学森关于开放的复杂巨系统的研究，纪念钱老八十年诞辰的学术报告，《系统工程理论与实践》，第五期，1992年。

[4] 钱学森、孙凯飞、于景元：社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设，《政治学研究》，1989年第五期。

[5] 钱学森、涂元季：我国社会主义建设的系统结构，《人民论坛》，第九期，1992年。

[6] 钱学森给王寿云同志的一封信，1992年3月2日

[7] 于景元、王寿云、汪成为：社会主义建设的系统理论和系统工程，《科技日报》，1991年1月21日、23日。

[8] 世界各国的思想库：《参考消息》，1991年10月21~26日。