上海交通大学校史研究专著系列

智慧的钥匙

——钱学森论系统科学

上海交通大学　编

上海交通大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

“我认为今天科学技术不仅仅是自然科学工程技术，而是人认识客观世界，改造客观世界整个的知识体系，而这个体系的最高概括是马克思主义哲学。我们完全可以建立起一个科学体系……去解决我们中国社会主义建设中的问题”。

“我们是把马克思主义的认识论与现代系统工程的认识方法结合起来，这是件了不起的事”。

——钱学森

内容简介

这是一本以公务员和大学生为主要读者的钱学森“论系统科学”的原著精选。

从事力学、航空、导弹、航天的研究和实践，这是人们“熟知”的钱学森。但是 26 年前钱学森说他研究力学已是“从前”的事了。钱学森又说：“我们完全可以建立起一个科学体系。……去解决我们中国社会主义建设中问题”。阅读本书，我们走进了钱学森晚年的学术世界。钱学森创造和开发的“系统科学”有何现实意义？

2004 年胡锦涛总书记说：“落实科学发展观是一项系统工程……要把自然科学、人文科学、社会科学等方方面面的知识、方法、手段协调和集成起来，不断认识和把握社会发展的客观规律，对科学发展观进行周密的科学解释，为科学发展观提供坚实的科学理论基础”。

本书提供理解“胡总书记说的系统工程”、“集成起来”的理论体系和实践价值。

目　录

序 …… 徐匡迪
导读:钱学森与系统科学

❶《工程控制论》序(1954) …… 1
❷ 现代化、技术革命与控制论(1979) …… 4
❸ 组织管理的技术——系统工程(1978) …… 23
❹ 系统思想和系统工程(1980) …… 38
❺ 新技术革命与系统工程——从系统科学看我国今后 60 年的社会革命(1985) …… 48
❻ 我对系统学认识的历程(1986) …… 64
❼ 大力发展系统工程尽早建立系统科学的体系(1979) …… 78
❽ 再谈系统科学的体系(1981) …… 90
❾ 系统工程与系统科学的体系(1987) …… 95
❿ 关于建立和发展马克思主义的科学学的问题(1979) …… 111
⓫ 科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学(1979) …… 121
⓬ 现代科学技术的特点和体系结构(1987) …… 133

⓭ 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论(1990) …… 146
⓮ 再谈开放的复杂巨系统(1990) …… 161

⑮ 基础科学研究应该接受马克思主义哲学的指导(1989)…… 168
⑯ 要从整体上考虑并解决问题(1990)…… 178

⑰ 组织管理社会主义建设的技术——社会工程(1979)…… 184
⑱ 用科学方法绘制国民经济现代化的蓝图(1980)…… 193
⑲ 从社会科学到社会技术(1980) …… 199
⑳ 研究社会主义建设的大战略、创立社会主义现代化建设的科学(1987)…… 210
㉑ 社会主义建设的总体设计部(1988)…… 240
㉒ 创建农业型的知识密集产业——农业、林业、草业、海业和沙业(1984)…… 259
㉓ 建立意识的社会形态的科学体系(1988)…… 271
㉔ 社会主义文明的协调发展需要社会主义政治文明建设(1989)…… 285
㉕ 我国社会主义建设的系统结构(1992)…… 303
㉖ 我们要用现代科学技术建设有中国特色的社会主义(1991)…… 309
㉗ 我们应该研究如何迎接 21 世纪(1995)…… 322

附录…… 339
钱学森简要经历…… 339

需要全本请访问 www.ertongbook.com

我们正面临第五次产业革命
（1994）…… **戴汝为等** 344
信息网络建设和第五次产业革命
（1996）…… **王寿云等** 355

编后…… 377

序

钱学森院士的原著《智慧的钥匙——钱学森论系统科学》由上海交通大学编辑出版，这是全国人民在以胡锦涛为总书记的党中央领导下，落实十六大精神，按照科学的发展观，全面建设小康社会的一本重要的学习材料。对于广大公务员和大学师生来说，更是学习科学的工作方法和用马克思主义哲学研究自然科学、社会现象的一本重要指南。

近年来，“系统工程”一词大家已耳熟能详，脱口而出，但对其科学的内涵却不甚了了。甚至有少数干部以“系统工程”为遁词，来推诿群众要求解决的急迫问题，那就更是讹传误用了。

在绝大多数人的心目中，钱老是位著名科学家、我国航天事业的奠基者与领军人物，尽管他本人总是谦虚地说，工作是大家做的，功劳属于集体，但在国际学术界和中国人民的心中都确认他是“中国航天之父”。上世纪中叶前，他在加州理工学院从事空气动力学、航空工程、喷气推进、工程控制论等领域所取得的杰出研究成果，已使他蜚声世界。中国工程科技界都以有钱老这样的世界一流工程大师而十分自豪。

钱老是一位伟大的爱国者，1955 年 10 月，在毛泽东、周恩来等

老一辈无产阶级革命家的关怀下，他冲破重重阻力，回到社会主义祖国，并于 1958 年 10 月光荣地加入了中国共产党。尽管当时人力、物力等条件很差，但他以对祖国对人民的无限热爱与忠诚，满腔热情地投入我国国防尖端科学研究和人才培养工作，为我国火箭、导弹和航天事业的创建和发展，做出了历史性的卓越贡献。1991 年国务院、中央军委授予他“国家杰出贡献科学家”荣誉称号和军委的一级英雄模范奖章。1999 年为奖励他的突出功勋，中共中央、国务院，中央军委向他颁发“两弹一星功勋奖章”。

钱老作为自然科学的“大家”，思想品德高尚，学识博大精深，思维智慧超群。他关注的已不限于工程技术的线性规律分析和自然科学的简单还原论逻辑，他对哲学、特别是马克思主义哲学始终充满兴趣，并进行着不懈的探索。早在 20 世纪 30 年代，钱老由化学家马林纳介绍，参加过加州理工学院教授们的马列主义学习小组，学习和讨论恩格斯的《自然辩证法》和《反杜林论》。为此，在麦卡锡主义横行美国的 20 世纪 50 年代，他曾被美国联邦调查局无理拘押 15 天，遭受种种折磨，不但体重陡减 30 磅，随后还受到联邦调查局特务长达 5 年的日夜监视和跟踪。但是钱老以坚强的信念和非凡的才华，在人身自由受限制的情况下，把辩证唯物主义的思维方法，开创性地应用于火箭技术领域，解决了一批喷气技术中的问题，诸如：火箭的喷管传递函数、远程火箭的自动导航以及火箭发动机燃烧的伺服稳定等问题。他敏锐地感觉到，不仅在火箭技术领域，而且在整个工程技术的范围内，都存在着被控制或被操纵的系统，因此很有必要用一种统观全局的方法，来充分了解和发挥控制技术的潜在力量，以更广阔的视野、更系统的方法来观察有关问题。于是，钱老首先在加州理工学院开设了“工程控制论”这门新课（1953 年），并于 1954 年出版了英文版本的《工程控制论》（Engineering Cybernetics）。该书的出版不仅奠定了工程控制论这门学科的基础，而且立即被世界科技界所关注，引起广泛的兴趣，很快被译成德、俄、中等多种文字版本。

上世纪 70 年代初，钱老调到国防科学技术委员会担任副主任。他认为国防科学技术所从事的“两弹一星”、导弹、核潜艇等工作，都

是大规模的科学技术工作，不但技术复杂、涉及面宽、参与的部门和人数多，而且任务重、时间紧，必须按总的时间节点协调好方方面面，所以组织工作特别重要。他首先强调要抓总体，抓大总体，然后按系统分层次，把各个环节严密地组织起来，他大力倡导开展《运筹学》在国防工业管理中的应用，并具体指出下列四方面的应用内容：1. 计划的平衡技术，包括投入产出法和电子计算机的应用；2. 计划的协调技术，包括统筹学和电子计算机的应用；3. 生产统计数据，包括统计工作和电子计算机的应用；4. 质量及可靠性控制技术。

当时正值“文革”期间，正是四人帮的空洞政治口号“满天飞”、骇人听闻地迫害知识分子的暴行肆虐神州大地之时，钱老坚持抓国防科技工作并凛然提出要用科学的方法论及先进的科学手段来进行管理，这对于经历过那场浩劫，现今已 50 岁以上的读者，一定会对他肃然起敬。特别是电子计算机和可靠性技术，对当时绝大多数工程技术人员还十分陌生时，他能提出这样振聋发聩的见解，真正体现了一位科技领军人物的睿智与远见卓识。

这时的钱老已不仅是工程大师了，他从辩证唯物主义哲学的高度来看待方法与工具。他说“计划管理工作要运用科学的计算，使用电子计算机，提高计划的科学性、准确性，这包括引用博弈论。在这个方法中，我们的对方是：自然条件的变化；技术上的未知因素；阶级敌人的可能干扰；我们自己可能犯的错误，这些都是随机性的东西。当然我们不是机械唯物论者，‘局面’（即博弈的矩阵）是可以因我们的主观努力，即巧妙安排而改变的。因此在我们国家里，这门学问还应该有更新的、更丰富的内容，即如何利用客观规律来改变‘局面’，使之对我们的社会主义建设更有利。”

进入上世纪 80 年代中期，由于年龄关系，钱老辞去了国防科研一线的领导职务。这时他的科学思想更加活跃，驰骋在自然科学、社会科学和思维科学等各个领域，同时他以马克思主义哲学指导自己的研究工作，在自然科学与社会科学的结合点上，做出了许多开创性的贡献，诸如：系统工程和系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系与马克思主义哲学等。

钱老不仅将我国航天系统的实践提炼成航天系统工程理论，还致力于将此概念推广应用到整个国家和国民经济建设中，并从社会形态和开放复杂巨系统的高度，论述了社会系统。他认为，任何一个社会的社会形态都有三个侧面：经济的社会形态、政治的社会形态和意识的社会形态，从而提出把社会系统分解为三个子系统，即经济系统、政治系统和意识系统。相应于这三种社会系统，应有三种文明建设，即物质文明建设、政治文明建设和精神文明建设（意识形态）。从时间的角度和改革开放 25 年的经验来看，三种文明建设的协调发展，就是社会系统工程的最好佐证。

钱老对系统科学工作的思考和研究可追溯到 1955 年。这一年的冬天，他和许国志一起把运筹学的“种子”从它的发源地美国带回祖国。钱老对系统科学最重要的贡献是他发展了系统学和开放的复杂巨系统的方法论。在后来的研究工作中，他赋予这一方法论更广泛的含义：处理复杂行为系统的定量方法学，是半经验半理论的，提出经验性假设（猜想和判断），是建立复杂行为系统数学模型的出发点。他特别指出，当人们寻求用定量方法处理复杂行为系统时，容易注重数学模型的逻辑处理，这样的数学模型看起来“理论性”很强，其实不免牵强附会、脱离实际。与其如此，倒不如从建模一开始就老老实实承认理论的不足，而求援于经验判断，让定性的方法与定量的方法结合起来，最后定量。

这一个对复杂行为系统建模的“点”“拨”，真是发人深省，对我来说真有醍醐灌顶、茅塞顿开之感。本人于 1991 年起主持上海市综合经济（计委、财政、物资、物价等）工作，上任后不久，就力图将过去的“行政长官意志”转变为科学管理，建立上海这个经济总量最大城市的“投入产出模型”、“物资供求与价格模型”以及“生产要素（资本、土地、人力等）与经济增长的相关模型”……由于理工科的背景和对数学逻辑的“迷信”，过分追求数学模型的逻辑处理，而忽视了社会系统中的其他不稳定因素，虽然得到一套数学模型，但相关性甚低（$\leqslant 0.70$），与经验性的“毛估估”（上海土话，意即粗略估计）差之不多。以后拜访了不少老领导，了解了过去六个五年计划执行中出现过的

非经济因素(政治运动、行政干预、意识形态波动等),加以综合判断,剔除某些项目及年、月后,模型的相关性就提升到 0.9 以上,即钱老所说"求援于经验判断,让定性的方法与定量的方法结合起来,最后定量"就符合复杂系统的实际了。以后,上海市的人口预测、中小学生规模预测、外来劳动力需求总量预测等,大都采用了钱老所说的方法,取得了较满意的结果。

钱老并没有把对系统学的研究停止在这一水平上,他同于景元、戴汝为合作深入到一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论,并在 1992 年提出了从定性到定量的综合集成法的应用形式,即用计算机信息系统构成的综合集成研讨厅。他将这种综合集成工程提炼成大成智慧工程,并进而上升到大成智慧学。

20 世纪 80 年代后,人工智能成为一大热门学科,但学术思想尚未理清,亦有人把计算机仿真的控制过程简单等同于人工智能,甚至在各种专业期刊上发表文章。钱学森先生提出了思维科学这一新的概念,他认为思维科学是处理意识与大脑、精神与物质、主观与客观的科学,是现代科学技术的一大部门,推动思维科学研究是计算机技术革命的需要。他主张发展思维科学要同人工智能、智能计算机的工作结合起来。他还把系统科学方法用到思维科学的研究中,提出了思维的系统观,即首先以逻辑单元思维过程为微观基础逐步构筑单一思维类型的一阶思维系统,也就是构筑抽象思维、形象思维(直觉思维)、社会思维以及特异思维(灵感思维)等;其次是解决二阶思维开放大系统的课题;最后是决策咨询高阶思维开放巨系统。

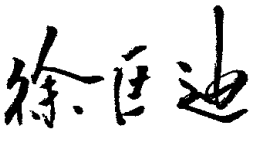
钱老晚年对马克思主义哲学的认知已达到很高的境界。他认为马克思主义哲学是人类对客观世界认识的最高概括,它的核心是辩证唯物主义。他运用系统科学的观点和方法,逐步形成了一个现代科学技术与马克思主义哲学相联系的整体构想;它将整个体系纵向分为三个层次,最高层次是马克思主义哲学,即辩证唯物主义,最下面的层次是现代科学技术的十一大部门,其间通过十一架"桥梁"把马克思主义哲学与十一大科学技术部门联在一起,这些桥梁分别是自然辩证法、历史唯物主义、数学哲学、地理哲学等,因为这十一架

需要全本请访问 www.ertongbook.com

“桥梁”分别概括了十一大科学技术部门中带有普遍性、原则性、规律性的东西，即各门科学技术的哲学。因此，也可以把它们共同作为马克思主义哲学的内容和基石。

在钱老关于系统科学的论述中，人们可以清晰地看到：综合集成思维贯穿钱学森科学研究的始终，就是把还原论思想和整体论思想结合起来的系统论思想。而把系统理论和系统技术应用到改造客观世界实践中，这就是综合集成工程。其实质是把专家、数据和信息体系以及计算机体系有机结合起来，构成一个高度智能化的人-机、人-网结合的系统，这样就能充分发挥人的思维、人的经验、知识智慧以及各种情报、资料和信息统统集成起来，在网络和计算机技术的辅佐下，使定性的认识上升到定量的知识，它的发展和应用，必将为我国现代化建设事业提供坚实的科学支持。

阅读本书的人们，一定会为钱老科学思想的深邃、涉猎领域之广泛和马克思主义哲学造诣之高而惊诧不已！钱学森先生是当代中国优秀知识分子的杰出代表，他从一名坚定的爱国者逐步成为一名共产党员，进而成为一名模范共产党员；从一位卓越的工程科学家、国防科技领军人物，成为我国系统科学的开拓者和奠基人，成为哲学家和思想家。总之，他是一位人民的科学家，他是中国人民的骄傲。



2004 年 11 月 29 日

---

* 本文作者为全国政协副主席、中国工程院院长

导读
钱学森与系统科学

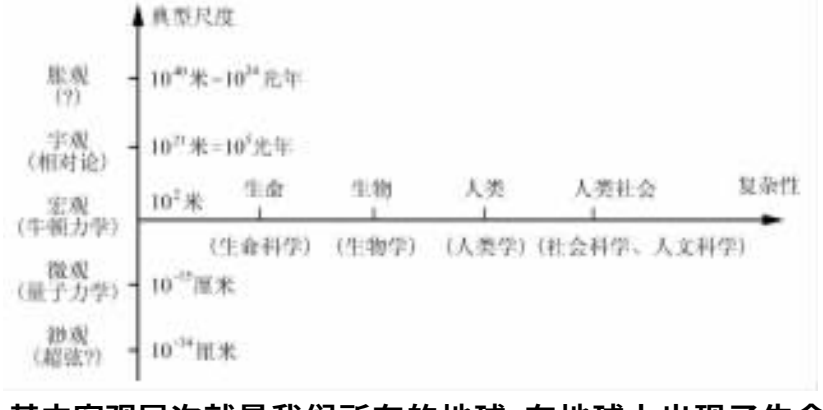
在许多人的心目中，钱学森是我国一位长期主持领导国家航天事业科研攻关和试验工作的著名科学家。由于他在我国航天事业发展中的贡献，被誉为“中国航天奠基人”，被授予党中央、国务院和中央军委颁发的“两弹一星功勋奖章”。但这不是他科学成就的全部。自从 20 世纪 70 年代末以来，在 20 多年的时间里，他在社会科学、系统科学、思维科学、人体科学、科学技术体系以及马克思主义哲学等领域，进行了不懈地探索，提出了许多新观点、新思想、新理论，为我国科学技术的发展做出了新贡献。这些成就作为他整个科学成就的“另一部分”与他在“两弹一星”方面的成就相比，毫不逊色，更显辉煌。而在他所涉猎的诸多科学领域中，系统科学是他最重视、最花心血的领域。

钱学森对系统科学的研究范围从基础理论、技术科学到工程技术，在这样广阔的研究空间中，他的精力集中在两个方面：一方面是系统工程的推广运用，一方面是系统科学理论的探索、创新。随着这两方面在我国的迅速发展和广泛应用，钱学森也被公认为是我国系

统科学事业的开拓者和奠基人。为了便于读者更好地理解钱学森关于系统科学的论述，本文就系统科学的发展情况作一简要说明和介绍。

现代科学技术的发展与系统科学

现代科学技术已有了巨大发展，人类对客观世界的认识越来越深刻，改造客观世界的能力也越来越强。今天，科学技术对客观世界的研究和探索，已从渺观、微观、宏观、宇观直到胀观五个层次的时空范围，可用下图表示[1]：



其中宏观层次就是我们所在的地球，在地球上出现了生命、生物，产生了人类和人类社会。相对于这些部分的研究，也就形成了今天所说的自然科学、社会科学、人文科学。概括地说，自然科学是关于自然规律的学问，可以概括为物有物理，简称为物理；社会科学是关于社会规律的学问，可以概括为事有事理，简称为事理；人文科学是关于人的学问，可以概括为人有人理，简称为人理。我们处理任何事物，都要物理对，事理明，人理通，才有可能取得成功。

客观世界是相互联系、相互影响、相互作用的，因而反映客观世界不同部分规律的自然科学、社会科学、人文科学，也是相互联系、相互影响、相互作用的，我们不应把这些学问的内在联系人为地加以割裂，而应把它们有机联系起来去研究和解决问题。德国著名物理学

家普朗克(M. Planck)在上个世纪30年代,就曾提出"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链条,这是任何一处都不能被打断的链条"。这段话是很深刻的,科学的发展也证实了这个论断的科学性和正确性。

现代科学技术的发展呈现出既高度分化,又高度综合的两种明显趋势。一方面是已有学科不断分化、越分越细,新科学、新领域不断产生;另一方面是不同学科、不同领域之间相互交叉、结合、以至融合,向综合集成的整体化方向发展。这两种趋势是相辅相成,相互促进的。

在这后的发展趋势中,不仅有同一领域内不同学科的交叉、结合,特别是不同领域之间,如自然科学、社会科学、人文科学之间的相互结合以至融合,这已成为现代科学技术发展的重要特点。在这一趋势中,先后涌现出系统科学、管理科学、软科学、复杂性科学等等。这些学问的鲜明特点就是跨学科、跨领域的综合性和整体性,也就是综合集成性。在这个方面上的理论和应用研究,都应引起我们高度重视,这里有很大的创新空间。特别是这方面的人才培养,显得更加迫切。这类人才是具有跨学科、跨领域能力的复合型人才。

系统科学是从事物的部分与整体、局部与全局以及层次关系的角度来研究客观世界的[1]。能反映事物这个特性的最基本的概念是系统。系统是由一些互相关联、相互影响、相互作用的组成部分所构成的具有某种功能的整体。这样定义的系统,在自然界、人类社会包括人自身是普遍存在的,这也就是为什么系统科学的理论、方法和技术具有广泛适用性的原因。

系统组成部分之间的相互关联、相互影响和相互作用是通过物质、能量和信息的传递来实现的。通常将相互关联、相互影响、相互作用的组成部分称为系统结构。一个系统以外的部分称为系统环境,系统和系统环境也是通过物质、能量和信息的输入、输出关系,相互关联、相互影响和相互作用。按照系统结构的复杂程度可将系统

分为简单系统、简单巨系统、复杂系统、复杂巨系统，而以人为基本构成的社会系统，是最复杂的系统了，又称为特殊复杂巨系统。

系统一个很重要的特点，就是系统在整体上具有其组成部分所没有的性质。这就是系统的整体性，也就是通常所说的 $1+1>2$。系统整体性的外在表现就是系统功能。我们常说“三个臭皮匠顶个诸葛亮”。三个臭皮匠所组成的系统，整体上是诸葛亮水平，而它的组成部分却是臭皮匠水平，两者相差很大。

系统科学中有一条很重要的原理，就是系统结构和系统环境以及它们之间的关联关系决定了系统的整体性和功能，也就是说，系统的整体性与功能，是系统结构内部与外部环境综合集成的结果。从这个原理出发，为了使系统具有我们所希望的功能，特别是最好的功能，我们可以通过改变和调整系统结构与系统环境以及它们之间的关联关系来实现。但系统环境通常不是我们想改变就能改变的，只能主动去适应。而系统结构却是我们能够改变、调整和设计的。通过改变系统组成部分或调整组成部分之间、层次结构之间以及与系统环境之间的关联关系，使它们相互协调，这样的系统才能具有我们满意的最好的功能，这就是系统控制、干预和组织管理的内涵、也是控制工程、系统工程所要实现的目标。

复杂系统、复杂巨系统与综合集成方法

复杂系统、复杂巨系统（包括社会系统）的研究，是系统科学研究的核心问题，也是系统工程应用难以处理的问题。对于简单系统、简单巨系统均已有了相应的方法论和方法，也有了相应的理论与技术，并在继续发展之中。但对复杂系统、复杂巨系统（包括社会系统），首先遇到的是方法论和方法问题，它不是已有科学方法所能处理的。

从近代科学到现代科学，培根式的还原论方法发挥了重要作用，特别是在自然科学中取得了巨大成功。还原论方法是把一个事物分解成部分，以为部分都研究清楚了，整体也就清楚了。如果部分还研究不清楚，再继续分解下去进行研究，直到弄清楚为止。按照这个方

法论，物理学对物质结构的研究已经到了夸克层次，生物学对生命的研究也到了基因层次。但是现在我们看到，认识了基本粒子还不能解释大物质构造，知道了基因也回答不了生命是什么。这些事实使科学家们认识到“还原论不足之处正日益明显”[2]。这就是说，还原论方法由上往下分解，研究得越来越细，这是它的优势方面，但由下往上回不来，回答不了整体问题，这又是它的不足一面。所以仅靠还原论方法还不够，还要解决由下往上的问题，也就是复杂性研究中所说的涌现(emergence)问题。著名物理学家李政道曾讲过“我猜想21世纪的方向要整体统一，微观的基本粒子要和宏观的真空构造、大型量子态结合起来，这些很可能是21世纪的研究目标”[3]。这里所说的把宏观和微观结合起来，就是要研究微观如何决定宏观，解决由下往上的问题，打通从微观到宏观的通路，使宏观和微观统一起来。

上述事实也表明，还原论方法处理不了系统整体性问题，特别是复杂系统和复杂巨系统的整体性问题。从系统角度来看，把系统分解为部分，单独研究一个部分，就把这个部分和其他部分的关联关系切断了。这样，就是把每个部分都研究清楚了，也回答不了整体问题，系统整体性并不是这些组成部分的简单“拼盘”。

意识到这一点更早的科学家是贝塔朗菲(L. von Bertalanffy)，他是一位分子生物学家。当生物学研究已发展到分子生物学时，用他的话来说，对生物在分子层次上了解得越多，对生物整体反而认识得越模糊。在这种情况下，他提出了整体论方法，强调还是从系统整体上来研究问题。但限于当时的科学技术水平，整体论方法没有发展起来，还是从整体论整体，从定性到定性，解决不了问题。但整体论方法的提出却是对现代科学技术发展的重要贡献。

20世纪70年代末，著名科学家钱学森提出了把还原论方法和整体论方法结合起来，即系统论方法[1]。应用系统论方法研究系统时，也不要将系统分解，在分解后研究的基础上再综合集成到系统整体，实现1＋1＞2的涌现，达到从整体统一研究和解决问题的目的。

系统论方法吸收了还原论方法和整体论方法各自的长处，同时

需要全本请访问 www.ertongbook.com