

还原论和系统论*

宋肇 中国工程院

系统论的创始人，奥裔美籍生物学家冯·贝塔朗菲（Ludwig von Bertalanffy, 1901–1972）和钱学森先生（1911–2009）都认为控制论、信息论、运筹学、排队论、决策论、博弈论、系统工程等都是系统论的组成部分。系统论是信息时代的旗帜^[1, 2]。

20世纪以来，人们已习惯把由众多元器件组成的人造机器、工程或大自然造化的有机体、物体称为系统。系统由分系统或子系统组成。由基本组分的特性和相互作用去表述、演绎、归纳和综合系统的功能和性质称为系统分析。媒体和哲学家近谑称之为“决定性的还原论（Deterministic Reductionism）”。分析和综合是历代哲学研究的基本方法。姑且随俗简称分析——综合法为还原论。物体是分子、原子的组合体，思想是对客观事物的观察、实验经验和理性思维的组合体。在经典科学中，以分析——综合为中心的还原论的规约是：对系统性质的描述都应该是实验证实了的陈述；不与组分的性质矛盾；系统的运动规律是子系统运动和相互作用的综合；故系统的性质和运动规律都可以从子系统或组分的性质和相互作用中得到科学解释^[3]。

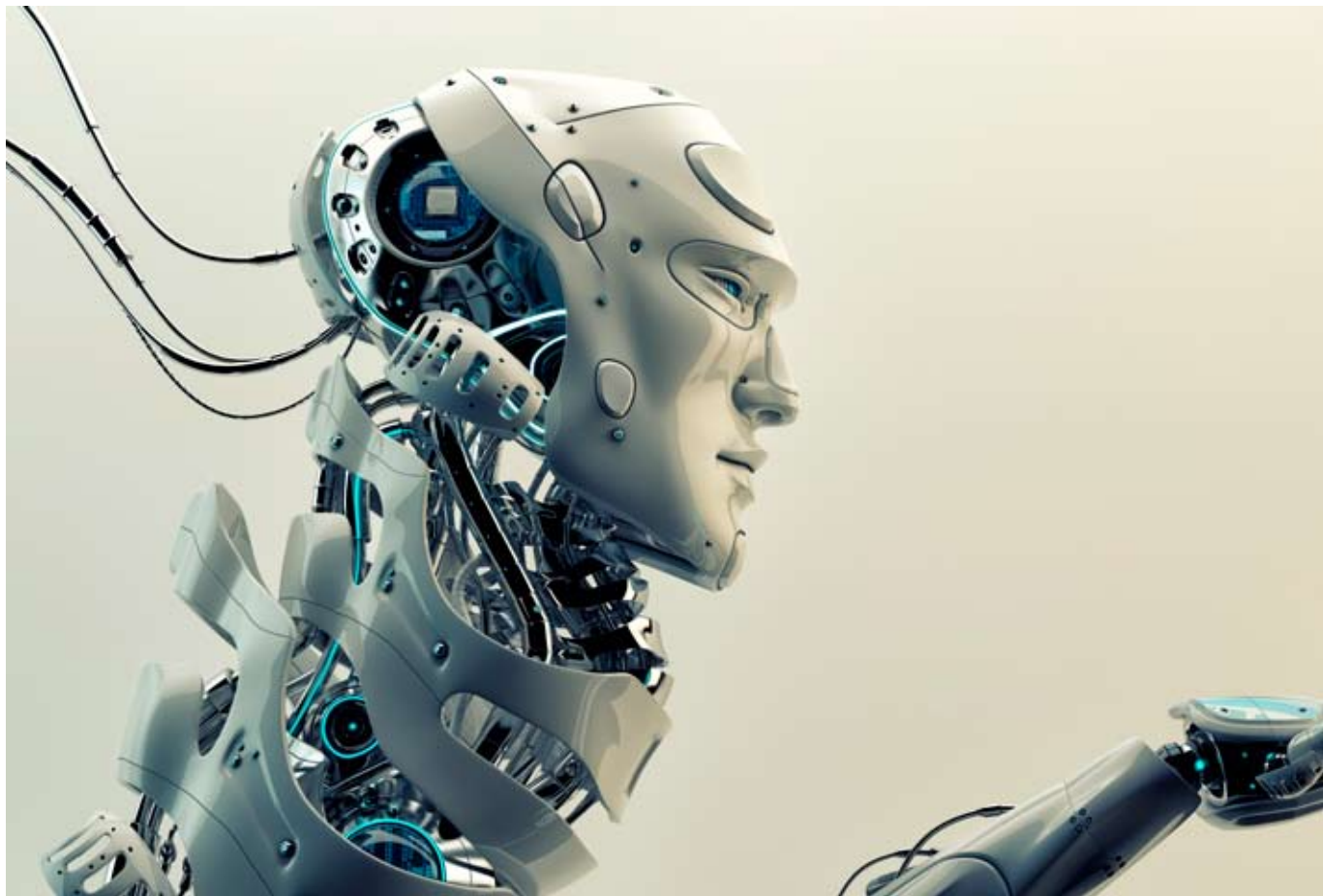
在上述意义下，牛顿力学是还原论的主板。整个近代物理学都建筑在还原论基础之上。电动力学完全建立在电磁现象实验观察之上。相对论的主根是真空光速不变实验与引力和加速度等价原理。统计力学和量子力学的出发点是牛顿力学，支柱是电子、原子的波粒二象性实验。薛定谔方程是决定性（还原论）的演变^[4, 5]。钱学森先生的专著《物理力学》充分阐明了气体热力学的还原论渊源^[6]。粒子物理以至新兴的弦论的出发点也离不开经典力学的最小作用原理。

遗传基因DNA双螺旋结构的发现是20世纪生物学的历史性成就，是由核酸分子非共价化学键规则推知，用X光衍射证实的，与化学基础理论和物理实验惬意相洽，是还原论的伟大胜利^[7, 8]。

微电子计算机的成功开辟了智能时代。当代计算机科学依赖半导体集成电路微型芯片的开发，归结到半导体物理、量子力学和工程师们对晶体结构的精细操控。还原论主导着整个计算技术的全过程。

数学为系统分析提供了基础和宏观结构。数字仿真已成为自然科学和工程技术中不可替代的实验装备。有数学家认为，数学是关于形与数的科学，其宗旨有三：一是描述和研究客观世界，二是面向主观思维，三是柏拉图式虚幻遐想。

* 此为宋健近述《回忆录》中的一节



获国家最高成就奖的当代杰出数学家吴文俊院士断言，就上述前两部分而言，尽管适应于一切数学问题的万能程序不可能有，大部分数学问题都可以机械化。人工智能所应用的几何、代数、微分方程、定理证明、逻辑推理、概率统计、大数据搜索、感知识别、学习理解、设计规划等都可以由智能机械化完成。旅美数学家王浩（1921—2005）用计算机证明了怀特海和罗素名著《数学原理》中数百个命题，开创了数学机械化的新时代。吴文俊院士的研究展示了几何定理的证明都可以高度机械化^[8]。美国数学家K.Appel 和 W.Haken 于1976年用计算机证明了地图四色难题。1991年5月和2003年1月两次人机象棋大战，

IBM的“深蓝”（Deep Blue）和“小深”（Deep Junior）计算机先以2胜1负3平战胜国际象棋冠军 Gary Kasparov, 后以1胜1负4平言和，引起全世界轰动。苟将下棋软件装到它的“脑袋”里，机器人会下棋已无人怀疑。计算机是由加、减、乘、除、比较和存储电路依序堆垒而成，每条指令的执行都是由“原生”器件协同完成的，勿须还原。

进一步说，如果把经典物理、化学、数学、技术经验都称为原理，那么今日之飞机、飞船、火箭、舰船、高铁、大桥、电站、冰箱、手机等都是还原论所赐之惠。300年前开始的产业革命，100年前的电气化运动，50年前出现的自动化、信



息化热潮和医疗卫生保健事业等，整个工业和工业后文明都是在还原论旗帜下取得的伟大成就。

美国理论物理学家，诺奖获主史蒂芬·温伯格（Steven Weinberg）在他新著《解读世界》中自称为“广义还原论者”，认为21世纪的科学研究仍应沿着伽利略和牛顿所开拓的道路前行^[9]。俄科学院院士布恰陈柯（Bukhachenko A.L.）最近呼吁：还原论是检验真理的标准，凡与经典科学原理和实验观察相悖的理论、观点和技术都应小心对待。任何新理论、新观点不应与已被证实了的原理和实验矛盾。相对论并不与牛顿力学矛盾，而是延伸了它的范围。DNA的双螺旋结构是化学基本定律的凯

旋^[5]。

但是，历史无绝代，社会无终态，科学无止境，真理无绝论。还原论，从现有知识和经验中演绎归纳而来的规律可能不都是最后的绝对真理。从牛顿的《自然科学的哲学原理》（1687）算起，现代科学经历了仅约300年的历史，还资浅年轻。人的视野有限，观察和实验手段受制，未及穷窥万象，阅尽世态，积累的知识尚欠丰赡，离看穿世界，理解万物仍很遥远。系统论者早就觉察到，尽管经典科学技术已经取得了辉煌成就，对文明进步和社会发展做出了伟大贡献，但还是提出了四大质疑^[1, 4, 7]。

第一，忽略了信息。经典力学、量子力学、

粒子物理等都以质量、动量、能量、电荷等基本量为中心。在有机世界中，社会、生物的生存和发展是靠物质、能量和信息三者驱动的。植物向阳趋光，落叶御寒，动物冬眠春繁，觅食避灾，组队成群，都靠信息。人造自动化系统，如航空、航天、航海、电站、机器人，缺乏信息就不可能运行。故系统论者近来把信息与物质、能量并列为宇宙三基元。

第二，日常观察使人确信，系统有层次之分。所有的复杂系统，人造的或天然的，都具有等级层次结构。不同层次的性质、结构、功能各异，控制规律抑扬不一。整体的功效行为常由子系统相向加强，也可能与子层目标相逆。如花开蒂落，秋叶飘零，为全局利益而局部牺牲。系统论者认为，经典力学中缺乏系统要领，不足以描述复杂系统高层次的运动规律，疑另有定律。即使找到万物之理（Theory of Everything）也不可能覆盖各层。未来学者A·托夫勒谑称，“我们最善于拆零，常忘掉总体”，“总体大于子和”。

第三，生命的产生和行为是系统论者的参照标杆。复杂系统中的新秩序是如何建立的是争论的另一中心命题。经典物理断言，封闭系统中的熵总在增加，秩序趋于混乱，那里没有发现形成新秩序的机制。工程技术界相信，依靠还原论可以创造新秩序，所有人造系统都井然有序就是铁证。实验生物学家已订立合成生物计划，试图依还原论为据人工合成生命，虽已取得初步成就，人工合成了蛋白和DNA片段，能否合成生命，尚无定论。达尔文认为，地球上高度有序的生物抑或是35亿年前在混乱、混沌的环境中出现的。既然组成生命的元素在地球上齐备，在适当的环境中，如水塘、浅海、海底热泉边，生物分子可能偶然聚合而涌现出生命。系统论者疑义存在一种科学尚未认识的“自组织原理”，催化有机分子



结合而肇始了生命。20世纪的进化生物学和分子生物学认为已有充分证据表明,地球上包括人类在内的千万种奇形异状的生物都是同源同宗,有共同的祖先,盖由35亿年前的原核微生物逐步进化而成。还有一批天文、生物学家,如英国天文学家霍伊尔(F.Hoyle, 1915–2001),生物学家克里克(F. Crick, 1916–2004)、温特(C. Venter)等,怀疑最初的生命之源不是地球上的土产,既不相信还原论能人造出生命,也不笃信大分子偶然能聚合出生灵,那是概率极微弱的事件,姑且把难题推给未知,可能是从外星飘来的“泛种(Panspermia)”肇始了地球生物界^[12]。

第四,经典力学描述的自然过程都是可逆过程,时空反映对称。牛顿力学、电磁方程、相对论、量子力学、粒子物理均然,这与热力学定律失洽。达尔文深信,科学史也证明,一切随机事件如冰期、热浪、天体碰撞、火山爆发对地球生物进化有根本性影响。数学家们经过半世纪的艰苦努力,捋清了布朗运动、鞅类、马尔可夫等典型随机过程对扩散和可控过程的影响,证明了所有随机过程的时序是不可逆的^[13–19]。普里戈津(Prigogin I.)认为,生命从混沌产生,生物进化不可逆。时间不能倒流是经典物理与热力学和系统论的分水岭^[8]。覆水不能复收,堕甑不能再圆,似水年华不再,史事一去无返,这是系统论的公设,与还原论对峙。

系统论对还原论的挑战,方兴未艾,引发无尽期冀。然而,有一命题可深信不疑:系统论苟有突破,必定是开放的,包容的。现代科学的工具箱篋,丰富多彩。观测、实验、分析、综合、演绎、归纳、假说、求证,都是利器,分际适用;高维、低维、史实、进化、分形、显微悉备时空舞台;分解还原,整体抽象各有所长。曷益悲花怜月,贬褒桃李。

参考文献

- [1] 冯·贝塔朗菲. 一般系统论. 魏宏森等译. 清华大学出版社, 1987.
- [2] 钱学森. 论系统工程. 湖南科技出版社, 1982.
- [3] 英大百科. 中文版, 卷4, 1985.
- [4] 普利戈津. 从混沌到有序. 曾庆宏、沈小峰译, 上海译文出版社, 1984.
- [5] Bukhachenko A.L. (院士). 还原论—检验真理的标准. 俄罗斯科学院通报(俄文), 卷83, 第12期, 2013.
- [6] 钱学森. 物理力学讲义. 科学出版社, 1962.
- [7] Maxwell N. The Comprehensibility of the Universe. Clarendon Press · Oxford, 2003.
- [8] 吴文俊. 计算机时代的脑力劳动机械化与科技现代化. 见蔡自兴、徐光佑著《人工智能及其应用》一书的代序. 清华大学出版社, 2004.
- [9] Steven Weinberg. Lake Views—This world and Universe. Belknap Press of Harvard University, 2011.
- [10] 吴杰. 系统哲学. 人民出版社, 2008.
- [11] 李喜先等著. 科学系统论. 科学出版社, 1995
- [12] Venter Craig. What We Believe But Cannot Prove. Edit. J Brockman, Harper Perennial, 2006.
- [13] Wiener N. Differential Space. J. Math. Phys. 1923, 3: 131–174.
- [14] Wiener N. Un Probleme de Probabilities Denombrables. Bull. Sos. Math. France, 1924, 52: 569–578.
- [15] Kolmogorov, A.N. Uber die Analytischen Methoden in der Wahrscheinlich-Keitsrechnung. Math. Ann, 1931, 104: 415–458.
- [16] Ito K. Stochastic Intgral. Proce Imp. Acad. Tokyo 20, 519–524, 1944.
- [17] Chen H.F. (陈翰馥)、Guo L (郭雷). Identification and Stochastic Adaptive Control. Birkhauser, 1991.
- [18] 侯振挺、郭先平. 马尔可夫决策过程. 湖南科技出版社, 1997.
- [19] Yong Jiongmin (雍炯敏) and Zhou XY (周迅宇). Stochastic Control. Springer, 1999.



【作者简介】宋健(笔名宋毕), 控制论、系统工程和航空航天技术专家。1960年毕业于莫斯科包曼高等工学院研究生院, 先后获副博士和科学博士学位。曾任国家科委主任、国务委员、国家科教领导小组副主任、中国工程院院长、全国政协副主席等职。现任中国工程院主席团名誉主席、中华环保联合会主席。

中国科学院和中国工程院两院院士; 俄罗斯科学院、美国国家工程院、瑞典皇家工程科学院、南斯拉夫工程院外籍院士; 墨西哥国家工程院、阿根廷国家工程院通讯院士; 国际宇航科学院院士。

在控制论研究、航天技术和人口控制论三方面做出了系统的、创造性的成就和贡献。建立了最优控制场论, 完整地解决了线性系统的最速系统的综合理论; 首创人口控制论新交叉学科, 研究建立了人口控制模型, 发现和证明了“人口生育双向极限定律”; 发起并主持了面向农村的“星火计划”和发展高技术产业的“火炬计划”; 组织实施了“863计划”; 发起了“夏商周断代工程”; 为推动中国科学事业发展及确立“科教兴国”战略作出了重大贡献。

曾获国家科学大会奖、国家自然科学基金成就奖、国家科技进步一等奖、香港“何梁何利科技成就奖”以及国际数学模型协会艾尔伯特·爱因斯坦奖、意大利雷昂纳多·达芬奇奖等多个国内外重要奖项。

2014年10月8日, 国际小行星命名委员会批准, 将中国科学院紫金山天文台2007年8月16日发现的国际编号为210210号小行星正式命名为“宋健星”。