

对非线性科学的理解、体验与思考

Philosophy of Nonlinear Science

高歌

(北京航空航天大学教授)

编者按 今年二月末,中国科协在北京科学会堂邀请部分科学家、技术专家就“科学与哲学”问题举行了专题座谈会。会上有十几位学者、专家结合亲历的科研、技术工作实践,谈了各自对哲学,对辩证法的体会和体验。本刊这一期发表的高歌、朱训、朱剑虹三位同志的一组文章,是作者在座谈会上的发言精要。特征得作者同意,在本刊发表,以飨读者。

作为一名在科研前沿探索前进的科技工作者,近些年来我从自身工作实践的进展中,深切体验到当代非线性科学的兴起和发展确实预示着一场空前的新科学革命的到来,并将在认识论和方法论等哲学领域引发新的推动和发展。惊喜之下,仅简述我在这方面的—些粗浅理解和认识,以向一切先于我的识者请教。

一、“复杂与单一”、“无序与有序”的揭密,标志一场新科学革命的到来

本世纪初叶发生过两次科学大革命,一次是相对论,另一次是量子力学。但是人们都是在相隔几十年后,才普遍感受到、认识到它们显现出的巨大威力和伟大意义。20世纪以来,科学研究的重大突破,实践中的重要应用,多数都与它们有关。现在,也就是最近几年,一次新的、可以和量子力学相提并论的第三次科学革命正在兴起,它就是非线性科学。非线性科学的精髓就在于它揭示了万物的复杂性是如何由简单的、单一的因子演绎而成的;揭示了表像的混沌无序是如何由隐蕴的有序机制演成的;而表观无序的混沌背后又如何形成更高层次的有序。目前,非线性科学已成为各学科、各研究领域的重要前沿。实际上,现代科学总共只有400年的历史,它是在西方自然科学观的推动下发展起来的。长期来,西方自然科学思维的基本轨迹就是将运动的现象作相对静止的处理;将整体系统的机体、机制作解剖、分割、局部化处理;把复杂的现象作简化处理。这种思维、研究的方法,在人类认识世界的过程中作出了(并将继续作出)空前伟大的贡

献,奠定了现代科学的基础。但现在看得比较清楚的是,这种方法一个很大的局限性是,客观世界存在的大量非线性问题也都被勉强地按这种模式处理了。其实这种方法只适用于线性问题的认识和处理。把非线性问题,设法先简化为线性,再来处理,这对弱非线性问题还说得过去,但对强非线性问题偏差就非常大了。最近这一二十年,非线性科学兴起来了。到目前为止,它对科学、技术、经济乃至社会发展的影响已初露锋芒,但它蕴育着的巨大潜在效力可能要在21世纪后几十年才会真正显现出来。

我从自己的科研实践中开始体验到非线性的价值和作用,也体会到非线性科学的发展是充满了辩证法的,它的发展过程是非常符合辩证法基本原理的。非线性科学的第一个序幕发生在1972年,法国数学家托姆提出了突变理论。我们知道,量变与质变是辩证法里的一个重要命题。我们往往习惯于用微积分的方法处理渐变过程,然而对分析研究突变过程,既缺乏经验,在数学上也缺乏具体的表达方法。托姆提出的突变理论论证了突变的具体形态。他从拓扑学出发,推论有七种突变形态存在。他分析了在不同条件下怎样从稳定过程发展到失稳过程,怎样在奇点上发生分叉后发生突变。这样,他就在数学上发现了一个新的规律。托姆研究突变过程用的是拓扑学的方法,而大多数科技和工程人员对拓扑学不熟悉,不习惯。因此,以后很长一段时间突变理论的推广十分缓慢。推动非线性科学第二个阶段发展的是普里高津。他因耗散结构论而获得了1977年的诺贝尔化学奖。他的理论突破了西方科学传统的偏重于静止、平衡的研究观点和方

法,着重于一种新结构形态及其过程的探讨,研究偏离原平衡态而建立新的有序结构的机制。他提出了对非线性过程的描述,指出,如果一个开放系统在与外界有物质能量交换的情况下,就将出现非线性过程,系统就会远离原平衡点,建立新的有序结构。科学界长期困惑的一个大问题是热力学第二定律。第二定律认为世界的发展总是趋向熵增的。而熵增的结果必将导致有组织状态趋向无组织状态,由有差异趋向无差异,有规律走向无规律,最后变成混沌如热寂,差异消失了。然而,我们实际所见的世界却是越来越复杂。一颗小小的种子最终竟会成长为参天大树,一个受精卵竟会发育成长为一个有百万亿个细胞的高级生命机体。我们现在的社会也要比古代猿人社会复杂得多了。因此,无论是历史,还是现实,无论是自然界还是人类社会,其变化、发展都似乎和热力学第二定律背道而驰。普氏耗散结构理论认为,非线性过程是自然界、人类社会的一个普遍的、几乎涵盖一切的现象;而非线性现象,只要是开放系统,和外界有能量物质交换,就会沿着非线性发展,就会偏离原来的平衡态,建立新的平衡态。这种观点是和辩证法哲学思想相一致的。即所有事物都是处在不停地循环发展、螺旋式上升的过程中;一切事物都不是单线循环的,都要经过集聚、消散、排斥、对立统一、反复发展的过程,最后上升到一个新的高度。普里高津耗散结构论在非线科学发展中具有非常重要的意义,对自然科学的发展来说,是一个很重要的阶段。它验证了哲学上的一个重要预言,揭示了由平衡到不平衡,再到平衡这一普遍规律的理论依据,即事物普遍经由非线性发展过程,一直达到某一奇点,经过随机扰动,最后建立新的平衡系统这一过程。在这同时,德国的哈肯提出了协同学,他研究、论证了非线性过程中各种物质间的相互联系及其共同特性的问题。但从总体上讲,哈肯的协同论不像普氏的耗散结构论那么重要。进入80年代以后,尤其是最近几年,处于非线性科学前沿的,一个是混沌学说,一个是分维学说。前者研究奇异吸引子,后者研究非线性图形的自相似规律。这些理论说来很复杂,但将它们作为具体理论来剖析就会发现,它们具有共同的哲学观点,即杂乱无章的混沌现象背后隐藏着有规律的机制,而所有这一切又都是由有序的单体现象产生出来的。这是各支非线性科学的共性。

非线性科学解开了人们对“熵增→混沌→热寂”的长期困惑,使我们更接近了真实的世界,使人类又一次站在一个新的科学大发展的门槛上了。

二、“图中有图, 涡中有涡”, 关于非线性学说的实践体验

以上我对非线性科学的粗浅认识,除来自这场革命自身的深邃魅力外,也来自我自己近几年在湍流问题的研究和突破中,应用非线性理论所得的体验和获益。

由美国数学家曼德尔布罗特(B.Mandelbrot)倡导提出的分维几何学(Fractal)是非线性科学发展中的重要前沿之一。它是研究无规则图形和混沌运动的一种新概念。它描述了我们周围的许多不规则、支离破碎的形状,并通过鉴别,找出了一族族各自相应的称为基元分维的图形;而且证明,任何客观存在的表现纷繁复杂、没有规则的各种图象,几乎都是由各个图象中某一个基元分维图形在各个维度方向,以不同的尺度迭加而成的。借用中国道教的一句古语来说,即所谓“图中有图、涡中有涡”。他在这一发现的基础上进而创立了相当成熟的理论。分维几何学实际上是描述非线性过程失稳之后产生混沌图形的最佳方式。

近年来在非线性流体力学研究中,我瞄准的课题,一个是强非线性湍流稳定性的研究,一个是强非线性湍流的物理方程问题。但是,对湍流物理本质的认识和相应控制方程的求得,却是牛顿经典力学中少数几个历百余年研究,却久攻不克的难题之一。在过去110多年中,世界物理学界、工程学界的许多前辈基本是采用统计力学的方法来观察和研究湍流问题的。这方面,美国的泰勒、苏联的戈尔马克罗夫,以及我们中国的周培源都是著名的先驱者。周培源先生在1942年就提出了湍流的平均方程,对湍流的统计理论有重大贡献。湍流的统计工作先后做了50多年,最后发现湍流表面上的紊乱现象背后隐藏着某种规律。大家知道,一旦遇到“规律”这东西存在,统计理论就不能再用了。这就必须发展新理论。而新理论却迟迟未出现,故尔湍流问题成了经典力学中旷日持久的一个待攻课题。所幸的是,在我开始涉猎这项研究时,正遇上非线性科学这一新理论的兴起和发展。借助这一新理论的指导,我终于在湍流问题上获得了突破,取得了重要成功。在研究湍流过程中我想,既然混沌学说和分维学说认为表面的混沌现象是从个别有序现象中产生出来的,那么如果湍流中的微小局部,即“个性”是有规律的,但整体,即“共性”却找不到规律,这一共性无规律的“表象”代表的并不是湍流的真实本质,因为辩证法是讲共性寓于个性之中的。爱因斯坦也指出,从个性到共性是一个直觉的思维过程,而从共性到个性是一个逻辑

辑思维过程，亦即从实践到理论，再从理论回到实践的双向过程。非线性关键是如何从个性找出共性。根据非线性科学的分维理论及其基本观点，我认为每一个具体的湍流有序结构是有个性的，是符合流体力学的基本方程——纳维-斯托克斯方程的。但众多的有序结构，尽管形状相似，但各各相位、大小不同，迭加起来，从表观看肯定是混乱无序的。因此要想解决湍流问题，就必须把原始的非线性方程作一定的处理，再进一步找到共性的新的控制混沌过程的方程。我又想，虽然是大小不同的形状迭加，但起作用的基本方程还是一个，只不过有的在小尺度范围内起作用，有的在大尺度范围内起作用，迭加在一起后产生了一个新的共性规律。但寻求这种共性规律，是不能靠直接迭加的。因为非线性量是不能相加的，必须先予处理。我就用一般的力学原理，根据非线性分维的想法，找出了一种方法，对具体量进行分析、鉴别，区分出哪些是做实功的，哪些是做虚功的，然后把做实功的加在一起，把做虚功的剔除出去。非线性量经过这些步骤的处理，便具有了可加性。最后，我通过这种方法，由湍流结构的“个性”，达到掌握湍流整体的“共性”，找到了湍流的非线性控制方程。我于1989年底和去年初，先后完成了上述两个课题，即对湍流物理本质的发现、描述和相应控制方程的论证。100多年来一直未找到的湍流物理方程终于找到了。前此100余年间，曾出现过数十种湍流学说和模型。这次找到湍流的物理控制方程后，我发现，以前的各种理论都是各抓住了一点，但“未观全豹”。控制方程共有六个湍流项。以前的各种理论都只抓住其中一项或两项作文章，对其他几项未能认识，也无从处理。这次获得湍流非线性方程的通用处理方法后，我随即着意将此方法推及流体稳定性理论的深入论证及其在湍流工程模型方面的应用，并在这两方面取得了迅速的进展。我将上述方程和模型应用于一系列流体机械的噪音和阻力控制，效果非常明显。我预计，应用这套理论、方程、模型，将会大大更新各类叶轮机、水轮机的机理和设计，其结果将是令人耳目一新的。

三、促进东西方智慧的交融， 深化科学探索

上文已提到非线性科学的一个重要分支是分维学说。分维学说中一个轰动性的发现是，空间维数不是三维，而是一个不足三维的分数维。分维学说证明，任何物质及其运动都不能填满三维空间，因此真正的维数小于3。分数维具体是多少，随具体情况而定。假如，这数是2.6维，那

么相差的0.4维就是间隙维。我们已知一切物质形态及其运动都是在这二点几维中，那么余下的间隙维中存在什么形态和存在什么运动呢？这是我们可能要面对的一个崭新的课题。分数维的发现，其意义可能是划时代的。爱因斯坦引入时间维，形成了四维时空学说。用四维方程推导洛伦兹方程得出了相对论，使牛顿力学发展到现代物理的范畴。如果现在所有自然科学里的方程不是用整数维，而是用分数维来推导的话，引起的变化比四维时空引起的变化还要大。这样一来，由于时间不再具有平移特性，空间也不再具有均匀性和旋转性。这样，现代自然科学在21世纪可能也要发生大变化。因为时空观是一切自然科学的基础。

以400多年西方自然科学成就为雄厚根基发展起来的混沌学说和非线性科学，其进展已进入了这样一个阶段，即各国科学家、学者们都在设法找到能指导非线性科学未来发展的某种哲学依据。目前，美国、德国许多研究前沿科学的科学家认为，非线性科学的哲学思想可能需要在东方人的思想中去寻找。西方科学家向东方哲学思想的这种靠拢和认同，是不无道理的。因为，混沌产生于隐蕴的规则行为，这一重要结论恰恰是与古代东方文明思想相吻合的。

我们知道，西方的哲理思想，无论是对自然、对社会都是从局部的、实证性的探索中发展起来的。而以中国古代文明为代表的东方哲学思想是从人和大自然的整体关系出发发展起来的。中国古代哲学观从来就是把人作为自然界这一整体的一个组成部分看待的，注意人与自然的内在关系。比如，我们常见的中国古画中，常常是崇山峻岭中有一条小河，小河中一叶扁舟，小舟中有一老翁正在垂钓。人与恢宏大自然的关系，可谓一目了然。而西洋画则大不同，往往是迎面一位大人物，旁边只陪衬几颗幼树、小花。可见，几千年来中国人与西方人的思维哲理差异是很大的。现在有越来越多的西方学者认为，正是从这种差异中可以窥见中国文明哲理中的整体、辩证的特色。西方学术界的这种目视东方的动向，实际上是向我们的自然科学哲学界提出了一个大课题，即如何用辩证的观点系统地挖掘、鉴别我们中国古代哲学宝藏，而不是都斥之为糟粕。多少年来“洋为中用”、“西学为体，中学为用”的争论，此起彼伏，反反复复，莫衷一是。实际上，这种争论意义不大，因为真实的世界只有一个，真理也只有一个。随着人类认识的进化，以西方科学文明为根基发展出来的非线性科学所显现出的深邃哲理正与中国古代哲学观不谋而合，就是一个重要的明证。

(下转第17页)

例将会有较大幅度的提高。为此,我们应重视发展装饰用纺织品。此外随着经济的发展,国民经济各部门对产业用纺织品的需求将不断增加。如土工布是建筑工程中重要的新材料,广泛应用于道路、桥梁、港口、机场、水坝、隧道、排水沟、护堤、挡土等。目前国际上土工布的年用量达7亿平方米,且每年正以20%的速度递增。近几年,我国铁道、林业、水利等部门曾先后购买德国、美国、日本等国的各类土工布,工程上取得了明显的效益。我国海岸线长,内河水土流失严重,水库要定期修整,还要建设铁路、高速公路等,对土工布有很大的需求。我国目前已试制成功土工布,经有关部门鉴定,性能达到国际水平,且成本较低,很有发展前途。随着科学技术的进一步发展,还将会出现性能更优的其他产业用纺织品。

要大力发展服装加工业。在我国,随着人们生活水平的提高,人们需要更多的闲暇时间,工作之余自制服装的情况将大大减少。人们对纺织品的需求逐渐由布料转变为服装成衣。为了适应这个新变化,这就要求大力发展服装加工业。在国际市场上,特别是在一些发达国家,人们对纺织品的需求趋势是成衣化、时装化。为了适应这个趋势,我国纺织品出口中应逐步加大服装出口的比重。发展服装出口还能提高纺织品出口的附加价值,提高单位纺织品的创汇量,提高纺织品出口的经济效益。

第四,加快纺织工业的技术改造。科学技术是生产力。技术进步是经济发展的保证。加速纺织工业的技术进步是提高纺织品质量、增强纺织工业发展后劲的必要手段。针对我国纺织工业技术落后的现状,应采取以下措施:对于技术明显落后、消耗高、效率低、劳动强度过大且国内已有替代产品的技术装备,实行强制淘汰的政策;

严格控制大企业将淘汰的设备转让给小企业或乡镇企业;严格按折旧年限定期更新设备,并尽可能缩短折旧时间;适当引进国外先进技术和装备。技术改造所需资金,一是利用外资,二是国家实行优惠政策扶持。

第五,建立大型的、综合性的纺织品外贸企业集团,使之成为纺织品出口的主体。这首先是顺应世界经济的发展潮流、适应当前国际竞争的客观要求。企业集团化和跨国公司化已成为当今世界的一个发展潮流。目前的国际竞争已不再是单个企业之间的竞争,已发展成为企业集团之间、跨国公司之间的竞争。目前从事纺织品出口的外贸公司过多过滥,不可避免地造成对内高价抢购货源、对外低价竞销的情况。如果由少数纺织品外贸企业集团从事纺织品出口,对集团各成员企业统一协调,实现统一的经营策略,就能避免多头对外、低价竞销、肥水外流的现象。这种大型的、综合性的纺织品外贸企业集团,应当是具有外贸、生产、科研、信息等多种功能的综合体。它应拥有自己的出口生产体系,具有自己的开拓纺织品出口新产品的科研体系和纺织品国际市场的信息调研系统。这种大型的、综合性的纺织品外贸企业集团应逐渐发展为跨国公司。通过在国外建立子公司,就能充分利用当地的纺织品原料、技术设备和市场。目前,纺织品的贸易保护正日益盛行。一些西方国家通过控制纺织品出口国的配额,保护本国纺织品生产。在我国纺织品出口配额受到严格限制的情况下,发展纺织品出口可以考虑到那些不实行纺织品出口配额限制或纺织品出口配额较多的地区去投资。南朝鲜、香港等地的一些纺织品厂商正是通过到巴拿马、墨西哥等国办厂扩大对美国的纺织品出口的。

(责任编辑 冷远猷)

~~~~~

(上接第5页)

我以为,非线性科学的兴起和发展,很可能是沟通现代科学体系与东方古代科学体系的某种契机。自然科学可能由此进入一个全新的境界,并孕育着重大的突破。在这样一个重要的历史时刻,我们应该努力促进东西方智慧的交融和合流,以深化对客观世界,对科学的探索。

我这几年对非线性研究作了些努力,但理解

仍很肤浅。我总的认为,在非线性科学中渗透着更深刻的辩证法关系。有许多现象,要从更高的思维逻辑和哲学高度上去推敲,以指导我们的研究。

(责任编辑 蔡德诚)