

复杂性科学的几大学派及其研究特点

柴立和 杨 战

(天津大学环境科学与工程学院 300072)

近几十年来,国际学术界出现了一门新学科——复杂性科学,它致力于复杂系统理论与现有传统学科交叉的研究,目前已掀起了一股研究复杂性和非线性问题的热潮,数学家、物理学家、经济学家、生物学家和计算学家等都在共同开展这一问题的研究,复杂性科学将成为一个驾驭在 21 世纪生命科学、信息科学、材料科学等高新领域之间的一个横断学科,被誉为“21 世纪的科学”。

本文从哲学角度分析了现代科学中还原论和简单性思维方式的起源以及复杂性科学诞生的背景,研究了目前复杂性科学研究的几大学派的基本特征,指出应汲取各大学派的优点,结合我国的实际情况,全面推进我国的复杂性科学研究。

人类面临的实际世界是复杂多变的,存在涉及到多种因素和多方面相互作用的千姿百态的复杂现象。在古希腊和古代中国,人们在对自然界复杂现象的认识过程中,产生了朴素的唯物主义认识观,它

是人类智慧的结晶,是人类文明长河中的宝贵财富。但由于当时科学技术水平的低下,人们对客观世界复杂性的认识还只能说是停留在猜测和思辨的水平上,还没能提出非常有科学依据的理论体系;所以,在西方近代科学产生之前,特别是在中世纪,人们对世界的看法基本上是混乱的,总是需要这样或那样的神来主宰世界万物,这时候的科学往往被披上神学的外衣,科学的发展从而受制于社会政治和意识形态的干扰。400 年前,随着近代西方自然科学的悄然兴起,尤其是文艺复兴之后,人们对世界的认识进入了一个崭新的境界。人们通过对自然现象的分析、综合和判断而诞生的牛顿力学和微积分学使人类悟出了一套大自然的规律,从此机械决定论取代了神决定论,人们开始试着用数学的语言和方法来了解周围的一切,这深深影响了人类后 200 多年的信念、认知途径和思维方法。人们把世界和谐与有序的基础简单地理解为简单性,认为世界最终是由

(光子)来以无法破译的密码传输信息。任何想测算和破译密钥的人,都会因改变量子状态而得到无意义的信息,而信息合法接收者也可以从量子态的改变而知道密钥曾被截获过。单量子态有两个特殊的脾气,使它能“守口如瓶”:一是根据量子不可克隆原理,未知的量子态不能被精确复制,所以人们不能像复制钥匙一样复制量子态;二是由于量子不确定性原理,任何试图对它“不轨”的举动,都会毁坏套在信息上的量子密钥“信封”,使盗贼自曝形迹。从理论上来说,用量子密码加密的通信不可能被窃听,安全程度极高。

假设黑客入侵网络,黑客必须用一个特殊的接收设施从一连串的量子中“吸”出一个来获取信息,但这样一来,发出量子密码的一方立即就会发现量子流中出现了空格。为了避免被发现,一般黑客会再发射一个量子来填补这个空格。但是,由于“量子密码”是采用量子的极化方式(波的运动方向)来编排密码的,而根据量子学原理,要同时检测出量子的 4 种极化方式,几乎毫无可能,黑客填补进去的量子只能是根据自己的猜测随便发射的——这样,这个

“不合群”的量子很快就会被发现,从而防止信息被窃取。

华东师大研制的量子保密通信样机由一对身高 1.2 米的“情侣”组成:发送信息的叫“爱丽斯”,接收信息的叫“鲍勃”。且看这对“情侣”如何使用量子密钥互通“保密情书”。首先,爱丽斯发出一串单光子的脉冲序列。通过长达 50 千米的光纤,鲍勃接收到了这串“爱的信号”。然后,根据量子们的完整情况,鲍勃会判断是否有“第三者”想“插足”。如果一切正常,这对“情侣”就同时获得一串密钥。现在,爱丽斯用量子密钥把情书“上锁”,通过公共信道发送给鲍勃。量子密钥采用完全无章可循的真随机数,而且密钥长度等于书信长度。这串密钥就像魔术师一样,对情书施展障眼术,使得它在旁人看来只是一群纷乱的麻点。当鲍勃用密钥打开“量子锁”,情书内容才真相大白——原来是爱丽斯的玉照!在密钥的传输过程中,任何对密钥的偷窥和复制都会被鲍勃识破。而且为确保安全,这串密钥在新的情书传递中将不再被使用,也就是说,每封情书都有各自的密钥,故而量子密钥也称为“一次性便笺”密钥。

一些在逻辑上非常简单,而数量上又非常少的普遍原理支配着的。概括性最大或最简单的原理便成了科学理论当中“美”的标志,这种“美”就成了科学家们孜孜不倦追求的梦。这种思想在科学分析上导致了简化论和还原论,在科学分类上,这又紧接着导致了由古希腊时期的统一的科学体系分化成了极为精细的众多分支学科。还原论成为了科学界的主流,科学家们所做的无数不懈的努力都是为了寻找那些代表这种简洁关系定理、定律,简单性就被视为是世界的基本属性。

从上世纪上半叶开始,随着人类认识水平的提高,科技的迅速发展,简单性的观念和方法开始受到了不断的冲击,文艺复兴时期以来还原论的框架开始不断地被突破。

首先,量子力学等微观物理学开始向人们揭示微观世界中意想不到的奥妙,那些曾经被认为组成世界的所谓基本元素,正在一天天地证明是越来越复杂的,“基本粒子”并不基本,它显出内在的复杂差异。此时,正如普里高津所说的,“微观的简单性”这一古老的格言再也不适用了。“微观世界是简单的信念”在量子领域首告破灭。其次,人们在原以为已功德圆满、基本定律已一清二楚的宏观领域中也猛然发现,现有科学所认识清楚的东西仅是那么的一小部分,还有太多太多的与人类休戚相关的现象和过程远未被破解,一些基本问题还远未得到解决。物理学中的湍流、化学中的反应波、演化的天体、发展的地貌等都是我们常见的典型复杂系统,在这些宏观领域里,我们所面临的都是简单性思想和还原论方法无法处理的复杂对象。再次,在生物界中的生命现象和生态问题、在人类社会领域中经济学上的股市和国民经济规划、社会学中的政治和人口问题之复杂性更是不言而喻,他们所表现出来的复杂过程和复杂程度,根本不能用简单性和简单方法来描述和处理。总之,在非生命科学领域,我们并没有完全了解河流系统的演化、街道的形成(人类文明的进化)、地貌形成的机理,在生命科学领域,人类也并没有完全洞穿细胞的复制、胚胎的发育、微生物的聚集、成群生物的斑图、动物表面的花纹之奥妙。

正因如此,20世纪出现了专门探索复杂性的复杂性科学。它的发展可以追溯到20年代。自20世纪20年代到60年代为第一阶段,贝塔郎菲提出的一般系统论、维纳提出的控制论、申农提出的信息论、诺依曼提出的元胞自动机等是这个时期复杂性

研究的代表性成果,标志着复杂性研究的起源和萌芽。60年代到80年代为第二阶段,科学界掀起了一场探索复杂性的热潮,并开始不断地与各种学科交叉融合,普里高津的耗散结构、哈肯的协同论、艾根的超循环论等自组织理论、汤姆的突变论、混沌学理论以及后来的分形论是这个阶段的代表性成果,标志着复杂性研究在自组织理论、非线性科学方面已经取得了比较明确的成果,在诺贝尔得主普里高津的建议下,1984年联合国大学在Montpellier举办了“复杂性科学与应用研讨会”,对复杂性问题的研究起到了先导和促进作用。80年代至今为第三阶段,它是复杂性科学真正诞生的时代,它是在自组织理论和非线性科学理论的基础上发展起来的,1984年,诺贝尔物理学奖获得者盖尔曼、安德逊和诺贝尔经济学奖获得者阿若等人,聚集了一批从事物理、经济、理论生物、计算机等科学的研究人员,组成了桑塔费研究所,专门从事复杂性科学研究。另外自90年代初以来,中国的钱学森教授领导的系统科学学派也在复杂性科学研究中进行了许多创造性的探索,提炼出了复杂巨系统的概念,并创造性地提出了“从定性到定量的综合集成法”以及“从定性到定量的综合集成研究厅体系”,复杂性科学从此真正走进了人们的视野。

从古希腊时代和古代中国时期的朴素唯物论性的科学到文艺复兴以来的以还原论为手段、以追求简单性为目标的近代科学,再到20世纪七、八十年代复杂性学科的全面兴起,体现了人们对客观事物认识的螺旋式上升,向辩证唯物主义的回归。

欧洲兴起的自组织理论、美国的桑塔费复杂性科学研究所、中国的钱学森教授领导的系统科学学派等以及后来的一系列复杂性科学研究所的创立和兴起大大促进了复杂性科学研究的发展,复杂性科学研究从此引起了国际社会众多有识之士的高度关注,目前人们已提出并发展了复杂适应系统的概念,在经济系统的演化、免疫系统的形成、人工生命、基因和神经网络的计算等方面已取得了巨大的进展。

复杂性研究和复杂性思维是人类文明的重要支柱,它是在传统经典科学的基础上汲取了自组织理论、非线性科学理论、系统论和人文精神而发展起来的新学科和新思维,是发展21世纪国民经济、科学技术的思想和理论基础。对复杂性科学的研究,尽管历史短暂,但它却是当今最热门的科学前沿之一,代表了21世纪新思维的科学浪潮,一场新的激烈的

国际竞争正在进行,这场国际竞争显然一点也不逊色于上世纪的超导革命及当前纳米技术革命带来的国际竞争;显然哪个国家能在这方面遥遥领先,或许就会在 21 世纪的现代高新科技竞争中掌握主动权。目前,几乎所有的发达国家和许多发展中国家都加入了复杂性科学研究的行列。

从复杂性科学诞生起到 21 世纪的今天,纵观科学界探索复杂性科学所取得的成果,我们会发现,它们可以大概地分成三个学派或三条主线:以数学设计信念为特点,并带有强烈的哲学思想和人文情怀的欧洲学派;以实验科学,计算机模拟为主要研究手段的美国学派;以中国传统文化思想为根基,以综合集成法、物理-事理-人理结合法等为中心的中国学派。这三个学派都为复杂性科学的研究做出了相当大的贡献,下面我们就从哲学角度逐一探究各个学派思想渊源、发展及其特点。

欧洲学派

现代科学源于欧洲的文艺复兴运动,欧洲公认为是世界现代科学文明的发祥地。我们可以认为西方的科学思想来源于坚信“客观世界一切现象都可以遵循数学设计”的理念,因为西方科学结构起源于欧几里德几何的公理化思想的复兴,而公理化思想就是提倡由少数几个基本概念和基本公理出发,定义出其他所有的概念以及推演证明其他所有定理的思想,由此形成的理论体系就称为公理系统。从古希腊的柏拉图到近代的笛卡尔、从康德到萨特,西方哲人总是追求对“存在”做出诠释,总是力图回答世界“是什么”的本源问题。这种孜孜不倦的追求导致了对客观世界及客观世界的所有现象进行分解、分析和演绎,对每一个分解的部分都建立起一套符合逻辑的公理化体系来加以解释和说明。牛顿力学、微积分以及 20 世纪量子力学和爱因斯坦的相对论都是利用公理化方法来建立理论体现的典范,西方世界孕育的公理化思维方法不仅导致了几百年前欧洲近代科学的发源,而且也成为当前全世界现代科学理论体系创立的规范。

欧洲学派无疑在现代复杂性科学的研究中处于领先地位,他们取得了令人瞩目的研究成果。

贡献最大的当推以普利高津为首的布鲁塞尔学派,他们的贡献主要是:早在 1969 年就开展了远离平衡态热力学的研究,提出了耗散结构论,从热力学角度为世界各地复杂性研究提供了共同的思想理论武器,他们在 1984 年又明确提出了“探索复杂性”的

目标,尽管他们的理论在实际应用方面显得有限,但其创新性的概念及开拓性思想,特别是关于复杂性的哲学观点、科学思想、方法论等方面,普利高津学派影响深远,我们可以说普利高津学派在复杂性科学研究中充当了思想上的开路先锋的角色。

其次是哈肯学派,他们提出了协同学理论,论证了客观世界的复杂性是通过自组织的方式演化而来的,自组织是刻画复杂性的科学概念。协同学是一门硬科学,它解决问题的方式是基于数学模型,主要是常微分方程组。尽管他的方法局限性比较大,例如如果宏观序参量过多,或无法建立有效的序参量方程,协同学也只能提供定性分析,另外该理论在处理我们当前面临的复杂巨系统问题时也常常困难重重。但只要我们能有效确定序参量,且个数较少,这时就能够建立起序参量方程,系统的自组织即可用数学方法精确刻画,与硬科学并无二致,在这一点上协同学远胜于普利高津学派的理论,可以说协同学是一门探索复杂性的非常有用的硬科学理论。

显而易见的是,研究复杂性科学的欧洲学派不仅在继承现代自然科学方面有着得天独厚的优势,而且西方哲人的传统哲学思想和人文情怀也对其产生了极为巨大的影响,其中的人文情怀对其影响是非常特殊的。

科学家的科学活动是一种高度复杂的创造性活动,因而在其过程中,创造性思维的培养与激发是至关重要的。科学家的创造性活动,离不开形象思维,科学家的发现和艺术一样,同样需要想像、直觉与灵感。凯库勒发现苯环结构的直觉顿悟可能与他以前学过建筑和当过法庭陪审很有关系。由此可见,科学研究需要广阔的与合理的思维结构和创新品质,而科学家的人文情怀则有助于优化思维结构与激发创造性思维。如德国的民族文化孕育了像爱因斯坦、赫尔姆霍兹、普朗克等一大批集科学家与哲学家于一身,并具有广泛兴趣与爱好的大师。

科学研究中的创造与人文社会科学创新也具有高度的一致性,二者可以互动与相互启示。在一切创新过程中,都高度依赖于直觉与想像。正如爱因斯坦所说:“要通向这些定律,并没有逻辑的道路,只有通过那种以经验的共鸣的理解为依据的直觉,才能得到这些定律。当然,创造性思维往往是互补性的,按库恩的说法,应在收敛性思维与发散性思维间保持张力。而科学创造需要宽松的环境与自由的学术空气,如牛顿的万有引力定律和达尔文的进化

论的提出,显然得益于英国剑桥大学的良好的人文环境。

科学家的人文情怀还有助于科学家克服某一学科或专业的固有思维定势,在各学科间取长补短,融汇贯通,共同进步。科学史表明,知识偏窄的人进行科学思维时具有很大的局限性,一碰到专业以外的问题就会感到无能为力。显然,具有多种知识和经验的科学家更易产生直觉、联想与创见,做出更大的成就。尤其是到了科学日益综合化的今天,对人文科学的关注与涉猎是非常必要的。这有利于科学家开阔眼界、增长见识、活跃思维,触类旁通,以及想像力的充分发挥。

复杂性科学正是一种多学科交叉的领域,欧洲在自然科学方面得天独厚的优势、对西方哲人的传统哲学思想继承、浓厚的人文情怀无疑加快了欧洲学派的前进步伐。

美国学派

美国是当今世界上最发达的资本主义国家,其雄厚的经济实力吸引了无数世界顶尖的科学家,美国的复杂性科学的研究就是在这样的经济基础和科研背景下逐步展开的。目前,美国学派的复杂性科学研究主要分为两大学派。

桑塔菲研究所的特点是对世界各国开放,成员流动,众多世界级的科学家参与,开展规模空前的跨学科、跨文化的综合研究,加上强大的硬、软件支持,声势夺人、影响巨大,被称为当今世界复杂性科学研究的中枢。他们提出的一些概念和方法,往往被看作“代表着一种新的态度、一种看问题的新角度和一种全新的世界观”。其研究课题涉及地球上出现生命之前的化学演化和之后的生物演化、哺乳动物的免疫形成系统理论、人类与动物个体的学习、适应和思维、人类文化和语言的演变、全球经济作为复杂系统的演化、计算机和程序设计的全新战略等等。由于有强大的经济实力作后盾,桑塔菲研究所拥有世界其他研究所无法比拟的计算机软、硬条件,他们能够对从核酸大分子、人工生命,到社会组织、股票市场等复杂系统进行模拟与运算,通过海量的数据和图像,来解释复杂性科学中所出现的问题。

乔治·梅森大学成立了集成科学现代研究所,以沃菲尔德为代表,围绕管理问题研究复杂性科学。他们以西方(特别是皮尔斯)哲学为指导,通过总结管理经验,提出交互式管理的新概念,称为结构基础学派。基本观点认为复杂性科学的核心是由三个相

关的方面构成的集合,简记作LTI集:LTI集={复杂性的20个定律,这些定律的分类,复杂性的5个指标}。他们对复杂性科学的研究也是颇有建树的。

由于以普里高津为代表的欧洲学派的复杂性科学的理论,有时抽象到哲学,有时又具体到理论物理,其间有较大的距离。桑塔菲研究所所作的工作恰恰可以弥补这些空白,成为复杂性科学研究的重要力量。尽管它的目标太大,如建立复杂系统的一元化理论,在可预见的将来难以实现这个目标,但他们的工作是许多科学理论和实践的产物,他们工作的实质在于:用相应的数学分支语言对客体进行描述,即建立数学模型,整个研究过程主要是对数学模型进行分析,而不是单纯同客体本身打交道,这是和经典实验方法不同的地方。对象的数学模型,是以符号公式来反映各个量之间的数量关系。和研究对象的一定性质相对应的客体或者现象受其内部或外部各种因素的影响,以及影响的方式,都可以在模型中以量的形式反映。数学模型将反映客体性质的量(包括时间)的值都联系起来。人们把这个揭示客体性质的量的相互关系的过程,称为数学模型的分析、求解过程。作为对事物进行研究的一种方法,可以将数学模型理解为一种抽象的结构。但仅停留在抽象的概念上,要对客体的行为进行确定和预测是实现不了的,为了做到这一点,桑塔菲的研究依靠各类确定模型(代数方程,微分方程等)的特殊性质,亦即要针对具体对象制定具体的模型。任何一门学科,当它力求向精确化的目标迈进时,就离不开建立数学模型的思维方法。然而,数学模型是以描述事物的物理模型,即人们对事物和过程的形象化认识为基础的,从根本上说,是以人们在自然界中的实践活动为基础的,这种实践活动在科学中就表现为对事物物理、化学等方面所做机理性分析、考查以及科学实验活动。科学活动实际上是从实验到抽象分析的活动。模型化方法是将人的抽象思维量化的一种科学方法,模型化方法与通常的实验方法不同,它不是对事物、过程和现象本身进行科学实验,而是通过模拟这些事物、过程和现象在各种情况下的变化来寻求事物发展的规律。这种方法可以研究根本无法仅仅依靠实验进行分析的问题,如桑塔菲研究所的很多分析对象——天体运动、人体生理、生活经济现象等;因此,模化方法有其区别于通常实验方法的独到之处。

模型化方法作为一种研究方法,把演绎和归纳两种方法的特点结合于一身。从模型的初始状态推出的一系列的结论(演绎),是通过观察客体在给定条件下的一系列计算结果而得到的,关于现象的规律性关系的发现,是通过概括(归纳)许多这类观察而做到的。在这方面,计算机仿真实验也与实物实验相类似。

在模型化方法中,理论方法与实验方法结合在一起,这就决定了它在科学认识中具有非常重要的作用。模化方法的特点,是它的通用性。在分析此类现象时所用的模型和方法,也可用来发现性质完全不同的(物理的,化学的等等)彼类现象,只要两者是用同一类方程来描述的。

模型化方法与理论分析一样,具有做出预言的能力。因此在许多情况下,它是唯一可能的实验形式。这里所指的,既有如核物理学这样的知识领域,也有社会过程的研究领域。例如由于人的生产活动而造成的环境污染。

模型化方法真正得到广泛应用,并显示其巨大的优越性,还是在电子计算机技术高度发展之后才得以实现的。桑塔菲研究所的工作具有上述特点,具有可靠的哲学依据,因此在他们科学研究结果及科学方法应受到我们的普遍重视。

中国学派

中国古代朴素的复杂性科学的思想早在两千多年前就已经形成了,最早是出现在八卦与周易中。易经把世界看成为一个由基本要素组成的系统整体,以代表天地的乾坤二卦作为起始形成八卦,八卦重叠形成六十四卦,从而形成了囊括天地间万事万物的世界体系。易经又把世界看成是一个由基本矛盾关系所规定的层次系统整体,它是一个动态的循环演化的系统整体。早在两千多年前,以老子为创始人的道家对系统的复杂性发表了精辟的看法,他们认为道是事物之本原,又是事物的法则,天、地、人都是道的产物,所谓“道生万物”,它们具有统一性。道是天、地、人的主体,也是天、地、人运动必须遵守的规律和行动法则。能体现中国古代复杂性思想精华的还有《黄帝内经》,在该书中,人体不仅被看成是一个有机和谐的整体,而且也是自然界的一部分;因此人的养生规律是与外界自然环境密切相关的,故有“天人相应”的医疗原则,主张把生理现象与自然现象相联系,提倡整体辩证施治的观点。《孙子兵法》是另一部能体现中国古代复杂性思想精髓的著

作,它创立了将复杂性思想用于军事中的典范,至今仍熠熠生辉。

现代中国复杂性研究的核心是系统科学,钱学森教授领导的学派早在20世纪80年代中期就洞察到这个科学新方向的重要性,他们通过系统学讨论班聚集起一批力量,以开放的复杂巨系统(OCGS)理论为学术旗帜开国内复杂性研究之先河;其概念形成经历了三步曲:巨系统—复杂巨系统—开放的复杂巨系统,主要贡献是提出了“从定性到定量的综合集成法”以及“从定性到定量的综合集成研究厅体系”。在认识论方面,强调解决复杂性问题必须利用整个现代科学技术体系的知识,对各种理论知识综合集成,对科学知识与非科学知识综合集成,对逻辑思维与非逻辑思维、形象思维综合集成,对机器“智能”和人的智能综合集成,对定性材料和定量数据综合集成。在具体方法层次方面,面对复杂巨系统工程,建立综合集成研讨厅体系,用于复杂巨系统的预测和决策,有很强的可操作性。

在中国学派的复杂性研究中颇具特色的还有以顾基发教授等为代表的物理-事理-人理(WSR)复杂性系统工程方法论。在这一理论中,认为处理复杂性问题,必须要做到既要知物理,又要明事理,还要通人理。它将现代工业、商业的系统标准研究、系统综合评价与中国传统思想中的精髓结合起来,收到了良好的效果。

中国的复杂性科学研究学派的鲜明特点是继承了中国悠久的传统文化的精髓,汲取了现代系统科学的特色,其哲学思想多以马克思主义为指导,同时还具有以实际应用为目标,以为中国的社会主义现代化建设为宗旨等鲜明的中国特色。

中国传统文化源远流长,其中的思想是中华民族几千年智慧的结晶,对于现代科学的研究有相当重要的指导意义;尤其是当科学发展到今天,研究深入到复杂性科学这种跨学科领域的时候,人们认识到世界并不是由简单几个公式就可以描述的,宇宙的秩序也不是自然存在的,如何从整体上把握不断演化的复杂系统这个问题是开拓21世纪复杂性科学研究的必由之路,它带来的将是一场可以与文艺复兴等量齐观的革新运动。当前,复杂性科学在西方兴起,而西方科学在指导思想上显得有些力不从心,但复杂性科学却与中国的传统文化和马克思辩证唯物主义在思想上不期而遇,最终解决复杂性问题离不开伟大的东方文化、伟大的中华文明的宝库,

光通信的未来生力军——光孤子通信

李 卿

(华中师范大学物理科学与技术学院 01 级通信工程 武汉 430079)

自从 1966 年英籍华人高锟提出光纤通信的概念以来,光纤通信有了长足的发展,这种以光代电的传输手段是通信史上的一场深刻革命,在信息基础设施方面扮演着重要的角色。20 世界 90 年代以后涌现出了一批极具生命力的光纤通信新技术,如光波分复用、光放大器、光孤子通信等。本文则主要介绍光孤子的产生,光孤子通信系统的构成、部件特点、主要技术和发展现状等。

众所周知,在光纤通信中,其传输距离和传输速率受到光纤色散和非线性效应的影响,当色散和非线性效应单独作用时均会限制光通信系统的性能。色散使传输波形展宽,特别是高速传输会引起码元重叠产生误码;而非线性效应会使光纤放大器产生噪声累积,导致波形变陡,妨碍传输距离。但是如果选择适当的相关参数,使两种效应相互平衡,就可以提高系统性能。

光孤子的产生正是光纤的群速度色散和非线性效应相互平衡的结果,它是一种经光纤长距离传输后,幅度和宽度都保持不变的超短光脉冲(ps 数量级)。光孤子通信就是利用光孤子作为载体的通信方式,它的传输距离可达上万公里,乃至几万公里。

1. 光孤子通信系统的构成

图 1 示出光孤子通信系统的构成:孤子源是一个光孤子激光器,用来发射光孤子;调制器用来对光孤子进行编码,使之承载信息;孤子放大传输线路包括传输光孤子的色散移位光纤和周期性地放大孤子

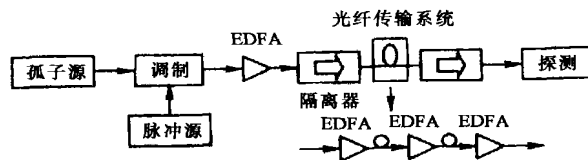


图 1

的光纤放大器;探测器对光孤子进行探测;除此之外,还有光隔离器、超高速光电子继承电子线路等。其工作原理是,光孤子源产生一系列脉冲宽度很窄的光脉冲,即光孤子流,作为信息的载体进入光调制器,使信息对光孤子流进行调制。被调制的光孤子流经掺铒光纤放大器和光隔离器后,进入光纤进行传输。为克服光纤损耗引起的光孤子减弱,在光纤线路周期地插入 EDFA,向光孤子注入能量,确保光孤子的稳定传输。在接收端,通过光检测器和调制装置,恢复光孤子所承载的信息。

1.1 光孤子源

典型的光孤子源有色心孤子激光器、半导体孤子发生器与增益开关、掺铒光纤孤子激光器、喇曼孤子激光器及参量孤子激光器等。光孤子通信系统要求光孤子源工作在接近 $1.55\mu\text{m}$ 波长区,因为该窗口光纤损耗最小,并且可采用 EDFA 实现光纤损耗的补偿。

以下介绍现在应用较广的两种孤子源:

掺铒光纤孤子激光器,在掺铒光纤激光器中引入有源的或无源的锁模器件即可实现光纤激光器锁

具有优秀传统文化及重视辩证唯物主义的中国科学家应该而且一定能够作出自己的特殊贡献。

以上浅谈了复杂性科学研究的三个主要学派:欧洲学派、美国学派和中国学派,他们在研究思路和方法上风格各异,本文从哲学角度分析了他们研究的基本特征,作为现代复杂性科学研究前沿的典型代表,我们应当汲取各个学派理论思想中的精髓,只有这样,才能对复杂性科学有一个更深层次的认识,把我国的复杂性科学研究推进到世界的最前列,并服务于 21 世纪祖国的社会主义建设。

作者简介

柴立和,男,1972 年 7 月生,汉族,现为天津大学环境科学与工程学院副教授,1995 年东南大学本科毕业,2000 年 3 月获清华大学硕士和博士学位,2000 年 4 月至 2002 年 4 月于日本东京大学任日本学术振兴会特别研究员,主要研究方向为环境科学与工程、航空航天领域下的微重力热科学及相变传热的现代非线性理论、环境化学和复杂系统理论等,从事过多项国家自然科学基金项目的研究。在国内外刊物及会议上发表学术论著近 70 篇。