

第一章 引言

从农耕时代到工业时代再到信息时代,技术进步不断推动人类创造新的世界。20 世纪是科学技术空前辉煌的世纪,人类创造了历史上最为巨大的科学成就和物质财富。物理学方面,量子力学和相对论的提出,革新了人类对微观世界、时空世界的认识。生命科学方面,DNA 双螺旋结构的发现、基因组计划的实施等,使得人类在认识生命的道路上取得了实质性的进步。计算机、互联网等信息技术的普及,推动着人类跨入第三次技术革命。这些成就深刻地改变着人类的生产方式和生活质量,同时也深刻地影响着人类的思维观念和对世界的认知,极大地推动了社会的进步和文明的发展。

虽然人类认识世界和改造世界的能力得到了空前增强,但是物质之间的关联过于复杂,很难充分和清楚地认识系统内及系统间的相互关联和相互影响,使得人类在应对系统的突变和冲突时常常显得力不从心。复杂系统理论的发展和大数据技术的进步为解决这些复杂系统的问题提供了新的思路 and 工具。

大数据时代的到来,无处不在的数据已成为我们的虚拟世界与现实生活的重要组成部分。大数据技术使得人们在认识复杂性问题的道路上,又多了一个重要的工具。一方面,人们通过理性思考逻辑推演和构建的理论体系来尝试解开自然的奥秘;另一方面,信息技术空前发展记录了海量的内容丰富的数据,深入分析数据间的关联关系,为人类认识自然演变和社会发展的复杂性问题的开辟了另外一条道路。可持续发展已是人类对发展的共识,规划一个可持续发展的未来,首先要去度量和预测未来可能发生的情形,并通过情形模拟的方式来演绎未来发展的路径。构建基于复杂系统理论和大数据技术的综合决策系统,为规划可持续发展的未来提供了一个演算平台。

“大数据战略”是当下全球技术发展的重要领航标,大数据技术将开启一次重大的时代转型。从因果关系到相关关系的思维变革是大数据技术的关键,建立在相关关系分析法基础上的预测是大数据技术的核心,而基于大数据的决策系统,能为我们提供更多的探索复杂世界的新思维、新工具、新方法。因此,研究解决复杂系统问题的对策,以及构建以复杂系统理论和大数据技术为基础的综合决策系统,便是本书关注并致力于研究的重点。

在蒋正华副委员长带领下,中国人口与发展研究中心和神州数码公司历时三

年完成了“十二五”国家科技部重点支撑项目“人口与发展数学模型与综合决策支持系统”的课题研究和软件系统开发。本书的内容就是对课题研究的归纳和总结,著者希望本书能帮助到致力于研究可持续发展系统的研究人员和系统开发人员,也希望本书能对各级政策的制定者和实施者在系统化思考和量化决策上提供参考。由于著者水平有限以及时间仓促,书中难免有纰漏,欢迎读者指正。

第二章 发展的困境

自然界和人类社会本身就是一个复杂系统,往往是以区域或团体的形式存在,其复杂性没有被充分认识。在当前全球化进一步深入的大背景下,复杂系统的规模扩大,层次结构趋于复杂,所包含的要素更加多样,不确定性也随之增加。自然界和社会各个领域的问题日益突出,亟须运用系统化的思维方式,解决当前面临的问题。2003年SARS(传染性非典型肺炎)的全球肆虐、2004年的印度尼西亚海啸、2008年的汶川地震、2010年的菲律宾台风等自然灾害的发生;不断出现的食品安全、药品危机问题、交通拥堵等社会难题;2008年美国股票灾难及其引起的世界范围内的经济危机、希腊主权债务违约导致的欧洲经济问题……诸如此类的问题都是局部爆发并迅速在系统内蔓延,从而导致大面积崩溃的系统性问题。

在以互联网为代表的信息技术飞速发展的今天,以信息安全、知识爆炸等为代表的信息系统愈加复杂;全球气候变暖、环境污染、资源衰竭为代表的生态系统问题,都需要依靠复杂系统技术来解决。人们在解决这些问题方面已经作出了很多努力,研究分析方法,不断改进解决方案,尽管取得了多方面的进步,但这些问题依然严峻。原因在于各个行业和领域在不断发展的同时,都遇到了数据量大、数据结构复杂等问题,导致解决这些问题所需要的数据处理和分析过程越来越复杂,而且还包含了众多大小各异且相互关联、依赖和影响的因子和子系统。再加上整个系统的性质并非完全对应各部分之和,只对系统分量的了解并不能完全解释系统的整体性质。

总之,解决单一的因子或子系统问题的方案并不能解决整个系统的问题,因此,各领域面临的困境根源实质就是复杂系统所固有的问题。这些问题深深嵌入在复杂系统的内在结构之中,难以被摆脱或转移。要解决这些复杂系统当中的问题,要求必须对复杂系统的内部结构有足够清晰的认识。

自然系统中,对自然灾害的预测一直都是巨大的挑战,科学家们试图从海量的地理学、气象学和地质学等数据中找出地震、海啸、台风等自然灾害的发生规律和应对方案。在社会领域中,各类因素之间的相互影响和联动,影响本国经济的运行情况,甚至可以引发经济危机等系统性金融风险,经济学家开始研究大量的数据并试图从中找到解决方案。在军事领域,对战斗力的衡量随着科技的进步和新技术的应用日益复杂化,战斗力对比已经不再是小维度的量的对比,使得对军

事行动的预测和推演变得更加困难,军事学家们面对此类问题开始尝试从数据中找到突破点。这样的例子不胜枚举,在小数据时代,人们会假想世界是怎么运作的,然后通过收集和分析数据来验证这种假想。在不久的将来,人类会在大数据的指导下探索世界,而不再受各种假想的制约。研究始于数据,也正是因为数据发现了之前未曾发现的联系。

第一节 自然环境

一、气候变暖

长期以来,地球的气候一直处在不断地变化之中,特别是在最近一百余年里,全球平均气温大约增长了 0.8°C 。使用计算机模型对未来的气候作出的预测显示,到21世纪末,全球的平均气温将会增长 $1.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 。研究显示,全球气候变暖不仅与高温热浪、强降水等极端天气和自然灾害有关,还有可能通过各种复杂的过程影响全球与地区的能量流动与水循环、台风强度以及造成区域内的干旱与洪涝等。

1979年联合国第一次在瑞士日内瓦召开了世界气候大会,科学家们警告说,大气中二氧化碳浓度增加将导致地球表面升温。气候变化第一次作为一个受到国际社会关注的问题被提上议事日程。但是国家和地区间的经济、政治及文化差异使得气候变化未能引起全球各国的普遍重视,一些发展中国家的自然环境在无节制的开发与破坏之下趋于进一步恶化。

2009年年底,联合国在哥本哈根举行了第十五次全球气候变化大会,大会形成了《哥本哈根协议》,然而遗憾的是,由于世界各国国情存在较大差异,在减排承诺、长期目标、资金技术等问题上却未能达成实质性成果,摆在全人类面前的环保问题依然任重道远。

2015年年底,在法国巴黎举行了联合国第21届气候变化大会,在这次大会上,从“清洁煤炭”的传播者到太阳能的拥护者,大部分的专家都认为从根本上解决气候变化的关键在于尽快转变全球生产和能源利用的方式,并且大部分与会者认为,在未来几十年之内,全世界将不得不逐渐摆脱对煤炭、石油及天然气的依赖,实现能源供给结构转型。在全球范围内人均耗能逐年提高的趋势下,这将是一场史无前例且投资巨大的转变。

全球气候变暖是受多种因素综合影响的线性与非线性结合的复杂问题,已经成为当前人类无法回避的重要的问题。科学界普遍的结论是人类活动与全球气候变暖有着很高的关联性,由于人们大量消耗石油、煤炭等化石燃料,大量温室气

体被排放到大气层中,地面吸收的太阳辐射能量的增加,造成了温室效应,导致了冰川、冻土的消融。

寻求减缓全球气候变暖及其危害的对策是一项涉及科学技术、经济、社会、环境、生态等诸多方面的复杂系统工程,已成为一个复杂系统难题。研究全球气候变暖所带来的影响是一个极为复杂且漫长的科学过程,涉及物理学、生态学、地理学、生物学、气候学等多个学科的交叉,目前尽管关于气候变暖的响应及反馈机制已经取得大量的研究成果,但由于气候变暖所导致的宏观和微观过程非常复杂,该领域的诸多课题仍然亟待研究。

二、自然灾害

自然灾害是人类依赖的自然界中所发生的异常现象,通常会给人类社会和人类生存造成危害。人们在面对不可抗拒的自然灾害时,往往无能为力。所以灾害预警成为了人们减小自然灾害带来损失的主要措施。

以地震预警为例,地震预警是一个复杂的系统,与预知飓风、海啸等自然灾害相比,地震预警更加复杂。地震预警系统包括地震监测、信息传递、信息发布等诸多子系统,每个子系统都应有效地开展工作,才可以保障整个系统的有效运行。地震的发生,会造成灾区房屋受损、交通瘫痪,严重危害人民群众的正常生产生活,甚至造成灾难性的影响。我国地域广阔,自然环境多种多样,人口、资源、环境、经济等发展不均衡,导致预测地震灾害的风险性、减少灾害损失及抗灾能力不平衡。同时由于地质现象纷繁复杂,在人类当前的认知水平、监测手段和预测能力条件下,目前还难以对每一次地震做出精准的预测。

就系统组成而言,地震数据获取系统结构非常复杂,包含电路在内的很多部分。但就内部信号而言,却只有两种信号,即地震信号和控制信号。地震预警技术还不成熟,实时震级计算仍是地震预警复杂系统中最复杂、最困难的部分之一。目前即使是日本这样的发达国家,地震预警系统出现“漏报”或“误报”的情况也时有发生。“紧急地震速报”预警系统也无法实现 100% 的准确度。导致地震预警系统研究与发展陷入困境的原因,主要是地球本身就是一个极为复杂的系统,在非线性发展过程中以及具体的实施过程中,会遇到多种复杂性挑战。

三、环境污染

由于人们对工业高度发达的负面影响预料不足、预防不利,导致了全球性的三大危机:资源短缺、环境污染、生态破坏。环境污染是指自然的或人为破坏,向环境中添加某种物质超过环境的自净能力而产生危害的行为,其危害使生物的生长繁殖和人类的正常生活受到有害的影响。按照环境要素分类,主要分为大气污

染、土壤污染和水体污染。环境污染主要是由人类不合理的生产方式引起的,伴有工业、城镇外部系统和工业内部系统的双重作用,造成生产的环境要素——大气、水体、土壤、生物等层面直接的、复合交叉的和循环式的立体综合污染,因此环境污染是一个复杂系统问题。工程国际气候变化委员会发布的评估报告指出:“人类活动的排放物,正在使大气中温室气体的浓度显著增加,这将加剧温室效应,并导致地球表面温度进一步升高。”由此可见,解决环境污染问题必须动员全社会的力量,从多层次、多方面努力,采取综合手段才能实现。

环境污染治理是一个由相互关联、相互制约的众多因素构成的复杂系统,指标权重采用直接获取的方法,误差较大,传统的解决方法难以解决环境污染治理问题。例如,水体污染问题就是一个多变量、多目标、多层次的复杂系统,污染的直接对象是水体,涉及整个流域的社会、经济、文化、地理、地貌、水质现状、污染负荷和水文水力的特性等宏观和微观因素以及污染源参数、水质参数、水文条件参数等大量数据,需要跨部门、跨行业地考虑问题,并考量人力、物力、财力,选择最佳方案将会变得异常困难。

第二节 社会发展

一、交通运输

随着人民生活水平的提高、科技的发展,交通运输业的规模也随之持续增长。由于交通运输行业的基础设施投资规模大、周期长,涉及的资金、技术、管理环节多,对于发展规模较大的城市,复杂的功能需求因道路网络规模庞大、结构复杂,且因其具有很强的非线性、随机性、动态性以及不确定性,使得交通运输系统拥有极其复杂的网络结构。交通运输面临的巨大挑战来自于基础设施的各个复杂系统间数据无法得到充分的共享和分析,以至于难以满足人们日益增长的交通需求。例如航空交通领域,航空交通网络是一个庞大的复杂系统,航班、乘客和机组作为研究对象,机场和航线形成复杂网路,同时也不得不综合考虑安全、经济、环境和人力等诸多因素,很难精确合理地规划其运输的规模和负荷。

伴随网络信息技术的发展,人们乘坐的交通工具越来越具个性化,交通运输基础设施的运营也越来越复杂,使得交通运输从数据贫乏转向数据丰富的大数据时代。如北京市6万余辆出租车一天就会产生数亿条GPS数据,车牌识别、交通监控视频等数据量则更加可观。交通相关的数据量级已从TB级别跃升到PB级别,对智能交通运输系统的运营和管理产生了巨大影响,需要运用大数据

技术对这些海量数据进行有效的处理和分析,改善交通运输信息化持续发展能力,努力实现发展决策数据化、运输服务智能化、行业管理一体化、出行服务多样化。

二、医疗卫生

疾病是威胁人类生命健康的重要因素之一,尽管几个世纪以来人类在攻克疾病方面做出了艰苦卓绝的努力。但 21 世纪的今天,诸多疾病的发病机制尚不明确,治疗方案有待研究和完善,在其他领域陆续取得突破和形成解决方案之际,医疗卫生领域仍有诸多难以攻克的疾病,威胁着人类的生命健康。

众所周知,医疗卫生信息具有数据量大、结构复杂等特点。医疗卫生“大数据”资源包括医疗服务的电子健康档案(EHRs)数据、医院与医保的结算与费用数据、医学研究的学术、社会、政府数据,医疗厂商的医药、医械、临床实验数据,居民的行为与健康管理数据以及政府的人口与公共卫生数据以及我国公共社会经济生活中网络产生的数据。因此,医疗卫生“大数据”是一个庞大的系统,传统的数据存储、统计和决策分析方法已经很难适应公共卫生事业的发展。在中国,据统计,一个中等城市 50 年所积累的医疗数据量可达到 10PB 级,数据量大且数据结构复杂。同时,居民的就诊病历档案与健康信息,通常得不到实时更新与分析,医院也得不到临床效果的及时反馈,造成了大部分患者无法及时预判自己的病情。因此医疗卫生行业仍然面临很大的发展困境。

医疗卫生信息化建设是一个与多系统、多因素相关联的复杂系统。无论是药品和医疗设备采购、门诊挂号收费、急诊、住院管理、病历管理、人事财务管理、还是医疗统计、临床研究等多个方面,都涉及对庞大的数据资料的存储、分析和管理工作。临床管理方面,过度治疗、错误治疗和重复治疗的问题依然存在,如何降低系统成本、提高工作效率、改进和提升治疗质量任重道远。

第三节 金融经济

一、金融危机

美国次贷危机引发的全球金融危机显示出房地产波动对宏观经济的巨大冲击,金融危机给各大银行业造成的系统性风险复杂和多变,信用风险仍然是金融市场中最为重要的风险并且愈加复杂。因此,金融危机引发的经济领域的复杂系统问题,尤其是金融产业的信用风险计量问题,已经引起了人们足够的重视,各大公司都试图建立信用风险的内部计量系统,以期对金融危机作出科学预测。寻找

和构建新型信用风险评估建模的方法、提高系统运行效率将为信贷金融业发展提供技术基础。

由于金融危机所引发的系统性风险属于复杂系统问题,需要运用定性和定量分析的方法对相关指标进行分析。由于传统的分析模式无法满足大数据时代对海量数据分析的要求,金融业所处的复杂系统所面临的巨大挑战,只有建立科学的决策才能有利于降低金融风险,才能有效地降低不良贷款率,缓解金融危机难题。金融业监管的前瞻性、针对性和权威性也有待提高。

二、股票灾难

证券市场是涉及政府、上市公司、证券公司、证券交易所、中介机构和各类投资者等多元利益主体之间互动博弈的复杂系统,是一个典型的具有多变量、高阶次、非线性的动态反馈复杂的大系统。证券的收益和风险都是不确定的,这使得投资者需要在一个不确定的环境下做出决策。各种证券化产品、金融机构与债务市场一起构成了一个复杂系统,当其中一个部分出现危机的时候,很快会相互传染最后导致整个证券市场崩溃,股价受影响甚至引发股票灾难。

股票市场是个极其复杂的系统,其具有的动荡性、非线性、高噪声等因素决定了股票预测过程的复杂与困难,即传统预测方法很难胜任,难以建立精确有效的数学模型。同时,股票市场又是一个极其复杂的动力学系统,投资者的盲目任意性等因素决定了股票预测的复杂与困难程度。应用现有的技术分析方法,预测结果往往不尽如人意。再加上造成股票市场波动性的各种因素之间关系纷繁交错、不断变化,投资策略又选择多样,股票市场因其众多影响因素及层次构成而且各因素之间有着复杂的相互作用,使其表现出复杂性及不可预测性。股票市场等在一定时段难以预测的比较复杂的系统中,一个微小的出错的机制,一旦不加以及时的引导、调节,就会使广大的股票投资者蒙受巨大的损失,成为“股票灾难”。

三、养老保险

随着世界范围内老龄化速度加快,越来越多的国家面临养老保险支出的缺口和风险。如何科学、长期、有效地管理养老保险基金,使之既能满足现代社会福利制度的需要,又能成为促进社会稳定和繁荣的机制,已经成为摆在各国政府面前一道亟待解决的难题。

养老保险系统是一个涉及层面广、延续时间长、结构复杂、影响巨大的多变量系统。我国的保险体系是一个复杂的系统工程,涉及面广,影响因素复杂,各个层次、各种因素相互交织、渗透、影响,可变性很大。其内容涉及经办机构的各个部

门、各项经办业务,贯穿于社会保险管理工作的每一个环节,其中社会养老保险制度是社会保障体系建设中的一项复杂的系统工程,涉及人力资源和社会保障系统、组织、民政、国土、计划生育等众多部门及其相关政策法规,然而当前各部门相关政策缺乏有效衔接,必然会对新型农村社会养老保险制度推行造成影响。养老保险数据的存储量巨大,与养老保险业务经办有关的数据每年新增几十亿条,为了满足不断激增的数据量储存需求,无奈之下部分社保经办机构只能保存近期数据,对过往数据的存储和调用面临诸多困难。社会养老保险制度是一个复杂的系统,特别是在目前群体分割、多项制度并存的情况下,以往数据可能被删除或存在丢失现象,可以借助大数据与存储以及云处理技术将大量的企业职工养老保险账户存储,坐实企业与个人的养老保险账户,减轻了国家审计部门的工作任务量,并大大降低了针对养老保险管理成本。因此,我国的养老保险仍需在风险的识别与评估、建立风险偏好体系、设立经济资本风险计量模型、建立关键风险指标、建立风险损失数据库、建立风险管理信息系统方面展开研究。并建立一整套相应的风险管理工作制度。

第四节 军事领域

一、军事战争

目前,军事战争中的战斗力已经成为军事理论研究的热点。战斗力是一个典型的复杂系统,在战斗力的理论和实践上,存在许多悬而未决的难题,比如战斗中各种支离破碎的现象之间存在着某种有机的联系等。战争复杂系统研究中的四大集成问题面临战争复杂系统研究的挑战,尤其是战争复杂系统研究中的三大悖论和四大鸿沟的挑战,战争复杂系统的研究中需要完成以下四个方面的集成——战法与装备的集成、未来情境和干预策略的集成、异质群体专家智慧的集成、定性分析与定量分析的集成。战法与装备的集成体现了战争复杂系统研究的目标维度;未来情境和干预策略的集成体现了战争复杂系统研究的逻辑维度;异质群体专家智慧的集成体现了战争复杂系统研究的组织维度;定性分析与定量分析体现了战争复杂系统研究的技术维度。

信息化战争形态的变化发展,迫切要求战斗力生成模式实现四个转变,即由数量规模向质量效能、人力密集向科技密集、火力和机动力主导向信息力主导、相对分离的系统向高度融合的一体化体系转变。战斗力提升要由“经验汲取”型向“虚拟实践”型转变,通过“虚拟实践法”实现战斗力建设的跃升。要把军队信息化建设的着眼点、军事斗争准备的着力点、提高完成多样化军事任务能力的根本点,

聚集于提高基于信息系统的体系作战能力上。未来信息化战争变得更加复杂,这给战争复杂系统的研究带来更大的挑战。

二、反恐活动

反恐怖活动的策略反恐斗争是一项极其复杂的系统工程,需要社会方方面面的有效配合。目前,我国恐怖活动动力学建模则吸收了复杂系统建模的研究思想,从恐怖组织和个人的角度去考察整个恐怖活动的策划和实施过程,模型较为复杂,对数据收集要求较高,目前仍处于探索阶段。恐怖活动,尤其网络恐怖活动,因其具有更大隐蔽性、跨域性、快捷性等特点,从而极大地增加了从网络海量大数据中发现、预测、预警、搜集恐怖活动的信息及证据等的反恐难度,解决网络恐怖难题变得更加复杂。

目前,军事上还未能实现对恐怖组织的恐怖活动进行有效预测,恐怖组织的恐怖活动并没有什么规律可言,这使得对恐怖组织的活动进行有效预测变得颇为困难。犯罪团伙成员之间的蛛丝马迹以及各种人群之间的关系,可以有效地为疑难案件提供分析线索的一种思路和方法,这在反恐怖活动工作中具有科学决策的价值。

三、生化危机

生化危机爆发造成的死亡数量看起来呈幂律分布:大多数攻击造成的伤亡很少;但少量的攻击杀死了很多人。鉴于目前的情况,出现一种由生物恐怖主义引发的全球性传染病的风险似乎很低,但第二次世界大战期间,日本的生物战可能就杀死了40多万人。而且,随着生物技术突飞猛进的发展,非常难对付的病原体可能更容易被设计出来,使疾病变得更严重。其中最著名的一个例子是将一种外部基因引入鼠痘(老鼠的天花病毒)内,这会使鼠痘变得更致命,而且,已经接种天花疫苗的人也会感染。最近对禽流感的研究也表明,一种疾病的接触传染性可以被显著提升。

医疗卫生行业的复杂生物系统需要医学研究者进行科学决策分析,需要运用复杂数据分析和网络技术对医学上的基因组学和代谢组学进行分析与预测。例如,随着抗生素的使用,许多微生物产生了耐药性,而抗真菌的药物通常具有显著的细胞毒性,目前的药物体系还难以在分子生物学角度做到药到病除,而肿瘤治疗领域的病毒感染和药物的使用依然让医生感到棘手、让患者感到担忧。

第五节 科技发展

一、科学研究

随着学科门类的发展和细分以及交叉学科逐渐形成,基础研究也趋于深入,科研课题存在周期时间长、进展缓慢、团队分散等特点,制约了科研平台的高效利用,也使得人类共同致力于科学研究这一宏伟目标遇到了人为的障碍。尽管科研成果的获取、分享和交流受益于互联网技术的发展已经变得十分便利,但科研平台协作、科研成果共享和大规模项目的分工和协调依然需要耗费科研工作者的时间和精力。大规模科学研究和分工协作中的困难,一定程度上限制科学研究人员思路,不利于科研经费的有效利用,更有可能影响国家、社会所亟须的科研课题的进程。在方法路径方面,科研方法正在从传统的假说驱动型方法转向基于数据的探索型方法。科研人员不再问“我如何设计实验来验证这一假说”,而是问“我可以从数据中发现什么”。通过数据分析,可以发现自然和人为现象背后的模型。

在部分科学领域,现有的理论知识仅仅能够研究实验室中的简单模型,对于复杂的真实世界却无能为力。一些地理跨度很大的科研课题,如海洋研究,为了能够实时地、同时地记录和测量海洋中的状况和状态的变化,将需要建立一套电光电缆观测系统。该系统将通过遍布海洋、海汽界面、海底及海底之下的传感器、仪器、机器人来即时捕获海洋中的各项参数测量数据。而在物理学领域,数字化大型强子对撞机和巨星射电望远镜所产生的千万亿字节的数据由来自多个国家、使用不同语言的科学家进行研究分析,也需要科学、高效的数据的共享和交流途径。在天文学领域,各种陆地和太空望远镜所获取的海量观测图像也需要有效的共享、存储和分析。在生命科学领域,基因数据的分析需要大量的并行计算过程,如将一个 DNA 样本的测序结果与大量的 DNA 序列进行匹配,或者在深度测序的基因序列样本中发现与某些疾病和特定生命活动关联的位点,从而助力药物开发和疾病的机制研究。随着基因测序技术的发展,每 12 个月的人类基因组测序样本数就会增加一倍,在生命科学研究领域,挖掘数据的能力落后于生成数据的能力。基因数据库在飞速增长,而数据库访问量的增速则相对较慢。在医学检查的数据分析中,脑部功能性磁共振成像扫描图像中的异常也需要大量的计算来发现和排查。微观领域,神经科学掌握了神经元通过突触传递信息的机制,却无法洞察神秘的大脑。在环境科学领域中,雷达的时态流中隐含了异常天气的信息和预兆,对大范围内的雷达数据分析能够帮助预测恶劣天气。

二、信息灾难

无论从混沌系统到复杂网络系统,还是从人体细胞内分子运动到世界各国的相互联系,网络无处不在,我们都是网络中的一部分,网络分析已经推广到众多学科领域,这充分表明网络科学具有广泛的交叉性、前沿性和应用性。有时候,大规模采集的数据并不代表有效信息,这些信息也并不一定可以代表就能改善系统各类指标的知识。相反,在某些场景或针对某些操作人员时,纷乱的数据和大量的无效信息是一种负面的效应甚至是灾难。以美国红河谷洪灾事件为例,需要建立微博信息生产、分配和组织的机制,设计验证信息准确性和抽取灾难信息的方法和系统。然而,即便拥有再先进的网络技术,在突发性灾难事故面前也会出现信息失灵。

在重大突发事件,尤其在一些灾难事故、群体性事件中,倘若有关部门对信息进行封锁或者对事故处置不利,很容易造成群众不满情绪的蔓延,而微博很可能成为公众宣泄这种不满情绪的工具,微博上一些谩骂的声音、不满的情绪充斥,在经网友的大量分享、转载和传统媒体的进一步渲染之后很可能激起众怒,网络上的不满进一步演化成现实中的行动,引发大规模的群体事件,等等。这说明消极事件带给高社交焦虑者的情感冲击很大,一旦出现消极信息,他们的消极情绪体验马上就被唤醒,从而进入消极化、灾难化解释的通道。任何事物都有两面性,这些信息在充当资源的同时,也带来了一场信息污染的灾难。解决信息灾难问题,也是推进应急信息大数据、云计算建设以及加快推动突发事件预警发布信息化、现代化的一个过程。

第六节 小 结

综上所述,随着人类社会不断地前进,人们所处的“环境”也在发生着翻天覆地的变化。温室效应、金融危机、人口过量、信息灾难等都让这个“环境”变得越来越错综复杂,而人却也因此与“环境”之间的依赖越来越深。在这个大“环境”中,一方面,人类所处的“环境”中的个体数量越来越多且越来越复杂。另一方面,不同的“环境”之间也是存在着交流与联系。如自然环境与生态系统之间就有存在着关联。自然环境的改变会直接刺激到社会发展与经济效益,甚至影响到军事领域。同样的,自然环境的改变常常也是由其他因素刺激而引起的。

总而言之,人类所处的系统正变得越来越复杂,相互依赖也越来越深,系统面临的困境也越来越复杂。我们的世界中,存在着大量的系统。一方面,这些系统内部的元素具有复杂的相关性。而且随着社会进步,每个系统中的元素类型往往

会越来越多,其相互关系也变得更加复杂。另一方面,系统与系统之间也不是独立的,如自然系统与生态系统就有直接的关联。自然系统的改变会刺激到社会系统和经济系统,甚至影响军事系统。同样的,自然系统的改变常常也是由其他系统刺激而引起的。

因此,我们在解决大规模问题时,需要跳出问题本身所包含的元素,考虑一个更大范围的复杂系统。在这个复杂系统中,会有海量的数据,且数据会随时间的推移爆炸式增长,这些数据结构多样,关系复杂。因此使得在系统中做决策变得十分困难,我们需要一种新的科学决策方法来帮助我们解决复杂而纠缠不清的系统问题。因此设计一个基于复杂系统的科学决策支持系统成为目前亟待解决的问题。

第三章 复杂系统的技术和发展

第一节 科学决策的技术发展

决策一直是管理领域的重要概念,根据大数据时代的特点和带来的变化,大数据时代的核心是从数据到决策。管理及决策学者普遍认为:决策是对目标进行选取,并对实现目标的各种方案进行抉择的过程。从该定义可看出,决策实际上包括三个过程,明确问题和目标、提出各种可行方案、从方案中选取最优方案。决策具有以下一些重要的特征。首先,是目标性。没有目标,就不存在决策;没有明确的目标,就没有准确的决策。其次,是选择性。要进行决策,就要有可供选择的多个方案,各个方案可以比较,否则决策就没有存在的必要。最后,就是决策的主观性和科学性。决策一方面是一个主观的思维过程,是人的活动。同时,决策有一定的规律,任何决策都是在一定的条件和信息下进行的,信息越完全,决策越准确。因此如何让决策更加准确可靠,使决策更加科学,也成了众多复杂科学研究者共同努力的方向。我们在解决大规模问题时,如果运用科学决策的方法,则可以事半功倍。在错综复杂的大环境中,帮原本扑朔迷离、繁杂无序的问题找到一个清晰的解决方案。随着科技的发展、人类的不断进步、我们所处的环境的日益复杂,数据正在爆炸式的增长,充分利用决策的三种特性,则能化难为易,化繁杂为简单。决策系统的出现正是解决了这些复杂的问题。

一、各领域复杂科学的发展现状

复杂性科学在世纪之交后的 20 多年时间里发展迅速,渗透于社会、经济、环境、科技等各个领域,被立即定位为 21 世纪科学发展的方向。但是由于复杂性科学的研究主要集中在哲学与科学等思想、思维、认识层次等传统的决策方法上,因此更多的是对科学家的思维方式产生了一定的影响,而对大众的工作、生活影响不大,对社会、经济和产业也还没有形成很大的冲击。伴随着各大领域高新技术的不断发展,其产生的数据量日益增大,人们马上就感受到了大数据技术的冲击力,各种功能和需求也随之猛增,甚至将彻底改变我们的日常工作方式和生活方式,当然也改变了我们的思维方式。

目前的复杂性科学在各领域的发展现状多有层次结构,比如可持续发展问题,涉及自然层次、社会层次、人文层次,涉及自然科学、社会科学、人文科学,如何进行多学科、多领域的交叉研究以解决复杂性科学面临的困境,我们需要了解并分析其在各大领域的发展现状,主要集中为以下四大领域:社会领域、经济领域、科技领域、生态领域。通过分析这些复杂科学遇到的困境,能够帮助我们更好地看待传统决策方法与大数据技术对复杂科学所产生的影响。

(一) 社会领域发展现状

复杂性科学在社会领域方面的发展现状主要集中三个方面:

1. 在决策方面,随着社会迅速地发展,决策者面临着错综复杂、瞬息万变的环境,要想做出尽可能正确的决策,除了改进决策技术之外,还必须依靠群体智慧。比如在运用对策论、决策论的方法基础上,还应发挥人的主观能动作用,群策群力,方能做出正确决策。

2. 在管理创新方面,复杂性科学将创新看作是已有知识和组元重新组合而造成的突现现象。创新的产生主要取决于组织与激励,创造让全体职工通过联系与交流关心企业全局的条件,关心企业的生存与发展。创新就是系统为适应环境变化所做出的调整。

3. 在企业组织方面,随着复杂性科学的发展,更加强调组织的进化和应变能力。一个组织要想在错综复杂、瞬息万变的环境下生存与发展,就必须能够从外部准确而及时地获取信息,迅速调整自己的内部结构以适应环境的变化。因此在组织方式上提出了无固定边界的非正规组织、层次很少的扁平组织、成员之间能有效沟通的网络状组织、有利于鼓励内部创新的半自治组织等。

在社会系统发展领域的许多复杂性问题的研究上还主要停留在定性的层面,定量分析和模型的建立仍需要加强。同时还应在以下方面有所给予大力支持:灾害复杂性的控制与管理方法,基于网络系统的管理复杂性,复杂社会系统的建模、控制与管理。

(二) 经济系统领域的发展现状

经济系统是一个开放的系统,经济系统中存在着大量的复杂性现象,经济工作者可根据实际情况对系统的复杂性行为实施控制。从微观层面的企业库存控制、产品设计、生产过程、组织管理、企业系统管理到宏观层面的经济系统、国际石油市场、金融危机的控制、可持续发展战略的实施,都可以利用混沌理论进行分析和控制。因此要客观地分析经济运行规律,就必须正确研究经济系统中的非线性和混沌现象。最近,把复杂性理论应用于经济研究中的一些主要方法有:相互作用的粒子系统相变适应模型、自组织临界模型和人工股票市场模型。

在经济领域方面,复杂性科学对传统经济学理论提出了挑战,它不再将经济

看成是市场稳定和供求均衡的结果,而看成是由许多相互作用的个体在不稳定状态下彼此不断调整关系的结果。每个个体都根据它对未来的预测及其他个体的反应来采取行动,并且在不断学习和适应。由此会突现出新的经济结构和模式,而组成经济的机构、行为及技术等因素也会不断形成和重组。经济的某些部分可能会达到暂时平衡,而另一些部分则可能会不断地演化。

复杂性科学对传统经济学挑战是从阿瑟在一些日常经济现象中发现递增回报开始的,他提出由于递增回报的存在,造成了高技术企业集中在硅谷等特有形式和可能性。因此建立在均衡、稳定、决定性等物理学基础上的旧经济学应当被建立在结构、特有形式、自组织、生命周期等生物学理论基础上的新经济学所取代。阿瑟还提出经济发展是路径依存的,就像下棋一样,当采取某一步骤之后,就会影响到以后所采取的若干步骤及其后果。

尽管复杂性科学在经济领域内有了一些发展,但其复杂性研究仍存在一些主要的问题:

1. 对管理系统复杂性的机制缺乏深入的研究。如经济领域的复杂性的主要表现形式是什么?经济领域的复杂性的含义与动因是什么?经济领域内的复杂性组织的演化规律是什么?

2. 关于适用于复杂管理系统的管理与控制方法缺乏科学而深入的研究,还停留在非线性方法和混沌理论在管理中简单应用的阶段。

3. 对复杂管理系统所需要的组织结构、组织设计、组织文化、组织战略与计划以及组织决策,缺乏系统深入的研究。

4. 从方法论上来看,要么生搬硬套自然科学里的复杂性研究方法应用于管理复杂性问题;要么利用计算机进行硬性仿真模拟;要么只注重系统的客观复杂性,忽略了包含人的因素在内的管理系统与自然科学的区别;要么只关心系统的主观复杂性而对复杂性的客观本质视而不见。

因此,难以发挥定性与定量、数学推理与计算机仿真模拟、局部分分析与整体优化、客观研究与主观分析相结合等各种不同方法的不同优势。

(三)科技领域发展现状

传统的复杂性科学决策方法是从毕达哥拉斯的“美与和谐”的思想到奥卡姆的被后人称为“奥卡姆剃刀”的原则;从牛顿的三大定律到爱因斯坦的“逻辑简单性”标准,似乎所有的事实与理论都在证明一件事情——世界是简单的。自然科学,尤其是在16世纪文艺复兴后的近代欧洲科学革命之后发展起来的建立在经典力学和机械唯物主义自然观基础上的科学体系,其主要特征可以用以下几个概念来刻画:还原论、可逆性、线性有序性、因果性、决定论等。经典科学认为,复杂性是现实的表面现象,追求结果的简单性和统一性则构成了它的本质特征。这些

原则支配着经典科学对世界的理解方式,同时,这些原则在从牛顿的万有引力到爱因斯坦的相对论的整个科学发展的过程中显示了巨大的生命力。

20 世纪 80 年代以来的最突出的特点是:随着计算机技术的成熟,计算机仿真与建模成为研究的重要方法。此外,复杂性在研究思路也有了本质变化。人们从研究“死”的自组织对象转向“活”的智能体(agent),催生出进化计算、网络动力学、群体智能、复杂适应系统等很多交叉性的新研究分支。

近年来学术界对于复杂网络的研究方兴未艾。特别是,国际上有两项开创性工作掀起了一股不小的研究复杂性网络的热潮。一是 1998 年 watts 和 strogatz 在 Nature 杂志上发表文章,引入了小世界(Small - World)网络模型,以描述从完全规则网络到完全随机网络的转变。小世界网络既具有与规则网络类似的聚类特性,又具有与随机网络类似的较小的平均路径长度。二是 1999 年 Barabasi 和 Albert 在《Science》上发表文章指出,许多实际的复杂网络的连接度分布具有幂律形式。由于幂律分布没有明显的特征长度,该类网络又被称为无标度(Scale - Free)网络。而后科学家们又研究了各种复杂网络的各种特性。国内学术界也已经注意到了这种趋势,并且也开始展开研究。

复杂性科学中的混沌理论在信息处理和智能化领域也取得了很好的引用效果,混沌理论除了在处理智能心理方面得到了应用外,也应用在保密通信、图像数据压缩和高速检索等方面。

复杂性科学在科技系统领域方面的发展可以应用于材料领域方面:材料科学的研究领域包括薄膜材料、金属材料及合成材料、陶瓷材料、复合材料、电子材料、高分子材料等。远离平衡态条件下的非线性动力学的进展正在有力地冲击着材料科学的发展。新材料的合成是对新技术的发展起决定性作用的重要因素。在很多情况下,材料的生长是被一些远离热平衡条件下进行的过程控制着的。

(四)生态系统领域的发展现状

除了在科技系统领域方面的发展,复杂性科学还可以应用于生物领域方面,复杂网络可以对基因组的大规模代谢进行分析并预言。可以预见,随着基因组学、蛋白组学、代谢组学研究的发展以及细胞动力学信息的积累,在细胞网络的复杂动力学的研究方面,将取得更多的成果。这些研究将有助于对复杂生物系统的建模和动态模拟,并具有潜在的生物医学应用价值。

生态系统是一个典型的复杂适应系统,处于混沌的边缘或临界态。内部作用是生态系统复杂化、有序化及自组织的主要推动力。复杂性科学应用于生态系统领域的研究,旨在更好地了解生物及其环境组之间的相互作用以及生态系统复杂性的动态特征与演化机制。

现代生态学研究的基本单元是生态系统,生态系统作为社会—经济—自然三