

· 科学论坛 ·

## 供应链韧性与安全中的关键科学问题<sup>\*</sup>

洪流<sup>1</sup> 赵晓波<sup>2</sup> 汪寿阳<sup>3</sup> 霍红<sup>4</sup>  
章魏<sup>4</sup> 宋洁<sup>5</sup> 肖勇波<sup>6</sup> 李健<sup>7\*\*</sup>

1. 复旦大学 管理学院/大数据学院, 上海 200433
2. 清华大学 工业工程系, 北京 100084
3. 中国科学院 数学与系统科学研究院, 北京 100190
4. 国家自然科学基金委员会 管理科学部, 北京 100085
5. 北京大学 工学院/大数据分析与应用技术国家工程实验室, 北京 100871
6. 清华大学 经济管理学院, 北京 100084
7. 北京工业大学 经济与管理学院, 北京 100124

**[摘要]** 如何提升供应链的韧性与安全,是政府部门、工业界和学术界共同关心的话题。基于第306期“双清论坛”,本文从复杂供应链网络建模与风险传播机理,全球供应链竞争、合作与协调机制,供应链安全策略、韧性提升与动态风险管理三个层面梳理了供应链韧性与安全的相关概念以及国内外的研究现状,提出发展趋势和方向,凝炼了该领域未来5~10年的重大关键科学问题,探讨了前沿研究方向和科学基金资助战略。

**[关键词]** 供应链韧性与安全;风险管理;应急管理;运营优化;数字化时代

当前,全球供应链面临着严峻的挑战。中美贸易冲突导致芯片断供,给我国个人电脑、汽车等产业带来巨大的冲击;俄乌冲突造成全球能源短缺,飞涨的能源价格给工业企业带来巨大的成本压力;新冠疫情导致生产停工以及产品需求剧烈波动,国民经济面临着严峻考验。上述情况暴露出了全球供应链在供应端、需求端、物流流通等环节的供应链中断风险,也反映出全球供应链的脆弱性。此外,拜登“关于美国在世界上地位的讲话”中已把中国视为“最严峻的竞争者”,并且在实践中推动去中国化的美国供应链重塑,加剧了对中国的摩擦和遏制,而此举也进一步增加了全球供应链中断风险。同时,英国脱欧、中美贸易战等仍继续推动“逆全球化”的进程,并且有愈演愈烈的发展趋势。在高度不确定和充满风险的环境中,韧性成为供应链建设必须考虑的问题<sup>[1]</sup>。在当前环境下,如何提升我国供应链的韧性和安全,是政府部门和工业界面临的一个重大问题,也是学



洪流 复旦大学特聘教授、弘毅讲席教授、大数据学院副院长和管理科学系主任等,曾任香港城市大学管理科学讲座教授,香港科技大学教授和金融工程实验室主任等。主要研究方向为随机运筹学、供应链管理和风险管理等,在 *Operations Research*、*Management Science*、*Journal on Computing and Production and Operations Management* 等UTD期刊上发表论文近30篇。目前担任中国管理现代化研究会风险管理专委会主任、中国运筹学会金融工程和风险管理分会副理事长,曾任INFORMS仿真分会主席。



李健 北京工业大学经济与管理学院教授、区块链研究中心主任。研究方向主要为供应链管理、金融科技和应急管理等,论文发表期刊主要包括 *Decision Support Systems*、*Computers & Operations Research*、*International Journal of Production Economics*、《管理科学学报》等。目前担任中国系统工程学会理事、中国工业与应用数学学会区块链专委会副秘书长、中国指挥与控制学会安全防护与应急管理专委会副主任委员。

收稿日期:2022-09-16;修回日期:2023-03-04

\* 本文根据第306期“双清论坛”讨论的内容整理。

\*\* 通信作者,Email: lijiansem@bjut.edu.cn

术界重点关注的一个领域。

根据时代需求和内外环境的转变,新中国对保障产业链供应链安全的探索可以划分为 3 个阶段,先后取得了令人瞩目的历史成就:1949—1978 年在重工业优先和向内陆布局中构建独立自主的完整工业体系;1979—2011 年在改革开放中深度融入全球竞争和分工体系;2012 年党的十八大以来在高质量发展中增强核心竞争力<sup>[2]</sup>。期间,《求是》杂志在 2020 年第 21 期发表了习近平总书记的重要文章《国家中长期经济社会发展战略若干重大问题》。文章强调,“产业链、供应链在关键时刻不能掉链子,这是大国经济必须具备的重要特征”。面对更趋复杂严峻的外部环境和经济恢复发展面临的困难与风险,强化产业链供应链韧性的紧迫性凸显。下一步,要把提高产业链供应链稳定性和竞争力作为重中之重,着力补短板、锻长板,提升产业基础高级化、产业链现代化水平,筑牢制造强国的根基和现代化经济体系的底盘。时至今日,国家领导人多次强调供应链韧性与安全的重要性,并首次将“产业链供应链韧性与安全”写入党的二十大报告,这意味着我国已将“供应链安全”提升到宏观的国家安全体系的层次。党的二十大报告专门强调“产业链供应链韧性与安全”,这也是我国首次把“供应链安全”提升到宏观的国家安全体系的层次。这对于推动高质量发展、加快建设现代化经济体系、维护国家产业安全具有重要指导意义。另外,随着信息技术的发展,数字经济时代到来,数字化技术正在催生供应链结构、协作机制发生显著变化。因此,还需依托数字经济大力推进产业链数字化升级,加快打造新型数字示范平台,推动数字化与智能化赋能企业发展,管理好更加不确定、复杂的生产供应链系统,推动产业链向更完整、更稳定、更强健的方向发展,不断提升我国产业链韧性,早日实现产业链安全可控。

在此背景下,为更好地促进该方向的跨学科交叉研究,2022 年 4 月 28—29 日,国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)第 306 期双清论坛“供应链韧性与供应链安全”在北京成功举办。本期论坛由自然科学基金委管理科学部、信息科学部、数学物理科学部和政策局联合举办。论坛主席由复旦大学洪流教授、清华大学赵晓波教授和中国科学院数学与系统科学院汪寿阳研究员共同担任。自然科学基金委党组成员、副主任王承文、管理科学部主任丁烈云、计划与政策局副局长姚玉鹏、管理科学部副主任刘作仪出席论坛。来自高等院校、中国

科学院、华为技术有限公司等多个学科领域的 30 多位专家代表参加了论坛。

第 306 期双清论坛围绕“复杂供应链网络建模与风险传播机理”“全球供应链竞争、合作与协调机制”“供应链安全策略、韧性提升与动态风险管理”3 个议题,进行了 5 个大会报告和 28 个专题报告。与会专家针对议题开展了深入研讨,并对未来 5~10 年自然科学基金委如何支持供应链韧性与供应链安全研究、如何在顶层设计和队伍组织等方面发挥更大作用、如何促使我国科学家把握这次重大机遇提出了具体建议。

## 1 供应链韧性与安全的概念

国际标准化组织将供应链安全定义为“对供应链遭受损害或破坏的抵抗力”,是指消除供应链的中断或被破坏风险,确保供应链稳定、可靠运行的一种状态<sup>[3]</sup>,而供应链安全管理是运用政策、程序和技术等来保护供应链资产免遭盗窃、破坏或恐怖主义威胁<sup>[4]</sup>。维护供应链安全的关键就是要控制供应链中断风险。学者们分别提出“韧性供应链”“柔性供应链”等概念,为解决“供应链安全”问题提供了较为科学的思路。在当前国际形势下,“韧性供应链”研究的重要性更加凸显。

洪流教授借鉴材料力学中韧性的概念,认为供应链韧性也包括弹性和塑性两个阶段:弹性阶段是在现有供应链网络结构没有发生变化的情况下,可以通过一些库存或者通过一些额外的产能,抵消部分供应链面临的风险;而塑性阶段是供应链网络进行重组,以吸收更多的风险。可见,供应链安全与韧性的本质要求是相通的,供应链韧性是供应链安全的本质要求。供应链韧性存在网络复杂性、多主体交互、动态变化性、多重不确定性等特点。通过提升供应链的韧性,能在供应网络受到突发事件重大冲击时,做到快速恢复,甚至快速达到优于以前的状态。在全球供应链面临严峻挑战的背景下,供应链韧性在研究范式、研究的问题、高度、方法、创新性愈发不同。研究供应链韧性需要做到“六新”,即新理念、新理论、新战略、新组织、新方法、新技术。这“六新”需要在研究当中始终贯穿。

## 2 供应链韧性与安全的主要研究内容及进展

面临当前严峻复杂的外部环境,打造自主可控、安全可靠的供应链,全面提升我国供应链的抗风险

能力是新时代我国经济社会高质量发展的重要要求。全力打造安全可靠的大规模复杂供应链管理体系,需要管理、信息、数学等领域的专家学者密切合作。针对供应链韧性与安全这一重要研究问题,结合306期双清论坛的议题,本文按照“刻画问题—重视并探究问题—解决问题”的逻辑顺序,依次从供应链网络建模与风险传播机理,全球供应链竞争、合作与协调机制,供应链安全策略、韧性提升与动态风险管理这三个层面梳理了供应链韧性与安全领域的研究现状、凝练了关键科学问题。

## 2.1 复杂供应链网络建模与风险传播机理

复杂供应链具备显著的网络特征和不确定特征。一方面,差异明显的上下游行业之间联通,导致异构的网络组成与多样化的节点性质;另一方面,国内外多维度风险冲击、异质的供需匹配、路径依赖的风险传播、以及风险测量中的误差等,造成供应链不确定因素积聚。因此,针对先进制造、智慧物流与仓储、服务与能源系统、疫情供应链管理及多级供应链网络管理等复杂、多样、不确定的供应链网络,科学决策应以协同性、公平性和经济性为目标,依托数学规划与仿真优化等核心技术支持,并立足于模型建立相关的通用基础原理以及面向特定行业的定制化实现。

### (1) 供应链网络的多源风险辨识与度量

供应链风险源于供应链的某一个节点,往往产生“涟漪效应”<sup>[5]</sup>,在整个网络中进一步传播,并造成放大的影响。供应链中某个节点的风险或中断,可能导致整个供应链系统的崩溃。供应链风险沿着供应链网络以类似于产品生命周期的方式传播<sup>[6]</sup>。由于网络中不同利益相关者的依赖性,风险影响既可能从需求端向供给端传播,形成熟知的“牛鞭效应”<sup>[7]</sup>,也可能沿着供应交付方向向需求端传播,形成“反向牛鞭效应”<sup>[8]</sup>。

供应链网络的风险度量方法研究旨在利用观察到的数据来对风险概率和其他相关指标进行准确估计<sup>[9]</sup>。风险产生的影响是供应链风险度量中最常见指标,影响指对供应链绩效的影响程度,具体可分为风险持续时间<sup>[10]</sup>、风险控制能力<sup>[11]</sup>、经济损失<sup>[12]</sup>、恢复时间(供应链中断后恢复正常所需的时间)<sup>[13,14]</sup>、生存时间(中断后系统可以在没有性能损失的情况下运行的最长时间)<sup>[15]</sup>等。除了影响,风险发生的概率也是风险度量中的常见指标。由于风险的不确定性,学者们试图通过专家判断、建模仿真或统计分析等方法来估计风险发生的频率。风险度

量过程中有时会涉及多个指标,那么就需要对多个指标进行优先级排序,以计算综合的风险指标,例如综合风险暴露指数<sup>[16]</sup>、风险优先数方法<sup>[17]</sup>、在险价值等。其中,在险价值最早应用于金融风险度量领域,反映了在正常的市场条件和一定置信水平下,金融资产或投资组合在一定时期内所面临的市场风险的大小和可能遭受的最大潜在损失,是应用最广泛的总体金融市场风险的衡量方法<sup>[18]</sup>。此后,人们逐渐将金融工程领域中的风险度量工具和准则应用到供应链风险管理领域,应用最广泛的三个风险度量准则为:在险价值、均值方差和条件风险价值<sup>[19,20]</sup>。

供应链网络风险传播研究的方法较为丰富。其中,仿真方法是建模的有效工具,离散事件仿真和蒙特卡洛模拟已被广泛使用<sup>[21,22]</sup>。也有文献基于复杂网络的传播动力学模型<sup>[23]</sup>、贝叶斯网络<sup>[24]</sup>等构建供应链风险传播模型,研究风险的传播、影响和相互作用情况。此外,供应链网络风险研究的范围也在持续拓展。例如,随着供应链的复杂化,供应链风险的范围也从传统的物流中断延伸到资金流断裂,供应链金融方向也应运而生。同传统供应链风险管理专注于采购策略相比,供应链金融通过上下游融资策略来减轻供应商的中断风险<sup>[25]</sup>。此方向目前推进到多层供应链中的融资问题进行建模,并有学者研究诸如区块链等新技术对供应链相关融资策略的影响<sup>[26]</sup>。

未来关于复杂供应链网络的研究可围绕如下三个方面:1)考虑行业重大问题对复杂供应链网络的驱动,如何通过不同行业分布式的数据融合和价值提炼引导关键科学决策;2)如何进行多尺度建模,横跨从运营层面结合微观大数据的数据模型到服务国家安全战略层面涉及核心供应链的系统模型;3)在方法论层面如何进行机理和算法的融合,关注理论层面的可解释性,同时兼顾数据驱动的在线优化学习。

### (2) 数据模型双驱动的复杂供应链网络韧性建模与图景感知

整体看,当前复杂供应链网络的建模面临跨尺度耦合、信息物理交互、多层级、多主体等新挑战。为此,一方面需要考虑多时空尺度物流、信息流、资金流的三流全局整合问题<sup>[27]</sup>,研究多尺度供应链韧性的定义、测度与建模方法;另一方面需要研究多级供应链与多供应商情况下的行为博弈,基于动态数据刻画各主体之间复杂动态博弈和非理性行为<sup>[28]</sup>,进而设计多级供应链的信息共享管理机制,促进信

息流通,发挥数据价值。大规模供应链网络管理的仿真优化面临场景复杂、维数灾难等问题。对此,一方面需要结合精确算法与启发式算法,利用在线聚类、强化学习、小样本仿真、高维仿真元模型等工具,研究适用于供应链网络特征的大规模混合整数规划求解方法;另一方面需要融合机理与算法,通过数字化、智能化技术手段赋能,研究大规模供应链网络的数字孪生,实现基于行业大数据的分布式供应链网络在线优化学习,以及实现高效、低成本与稳健并存的供应生态体系<sup>[27, 29]</sup>。

供应链网络中各级供应商和采购企业分布在不同的节点,节点之间的联系链由物流时效性等客观因素决定。网络中的个体具备自身的经济激励、运行约束、上下游链关系,并可能只能获取局部的网络状态数据信息,其独立决策局限性较大。

未来关于复杂供应链网络韧性建模的研究可尝试如下三个方向:1) 如何通过与客户、供应商甚至是竞争者协作信息共享以实现自身效益的提升;2) 如何站在构建韧性供应链生态的角度,基于模型数据双驱动的分析方法感知网络中的瓶颈联系链及脆弱节点;3) 如何有针对性地强化对应节点之间的运力或节点主体的灵活性(库存容量、资金额度等),最终实现供应链网络的效率和韧性提升。

(3) 能源供应链及高耗能供应链网络的风险管理与韧性提升

与一般供应链相比,能源供应链通常包含更多的节点,结构更加复杂。能源供应链的安全稳定运行对保证能源安全具有重要意义,一旦出现中断不仅会对负责能源生产、配送的公司产生重要的经济影响,还会对社会其他部门造成巨大影响<sup>[30]</sup>。能源系统由不同能源供应链网络构成,低碳转型对整个能源系统带来新的不确定性,如能源供给侧的低碳化将会引入更多随机和多变的分布式新能源。同时,新冠疫情、中美贸易战和俄乌冲突等突发公共事件对能源供应链中的供给和运输造成巨大冲击。为了降低低碳转型及突发事件带来的影响,保证能源供需之间不会中断,亟需提升能源供应链的韧性<sup>[31]</sup>。为了提高能源供应链的韧性,学者们采取了多种策略,如建设微电网<sup>[32]</sup>、多个能源系统互联<sup>[33]</sup>、分散供应商<sup>[21]</sup>等。此外,针对数据中心等计算资源的高能耗问题,可推动从“西电东送”到“东数西算”,最大发挥信息流的作用,促进行业集约化、规模化和绿色化发展。

在国家“双碳”目标的大背景下,高耗能供应链

网络也面临着新的风险。例如更多随机和多变的分布式新能源的引入,给高耗能供应链网络带来能源供给的更多不确定性,低碳转型也给高耗能供应链网络提出了更高的要求,因而亟需提升自身风险管理水平与韧性。构建深度融合信息流和能源流的信息物理融合能源系统是实现安全绿色节能优化调度的基础。

未来能源供应链的风险管理与韧性提升研究可围绕以下五个方面:1) 对能源供应链尤其是电力系统本身的风险与韧性进行建模与管理;2) 对能源供应链风险在下游供应链网络中的传播机理进行建模与分析;3) 对能源与高耗能供应链网络的协同韧性提升策略进行探讨,如增加/减少供应链网络之间的能源耦合与转化、共享能源供应链和紧急备用能源设施、增加灵活移动能量枢纽等;4) 对多行业耦合共享关系对韧性的影响机理进行分析;5) 对供应链网络多节点协同韧性提升策略和效益进行分析。

## 2.2 全球供应链竞争、合作与协调机制

加强供应链韧性是大国竞争态势主导下引发的,各国越发关注本国供应链的韧性和安全。例如,2022年7月20日,美国及17个伙伴经济体的政府在供应链部长级论坛发表声明,要加强合作,致力于促进多元化,并提高全球能力,使重点行业在材料与输入、半成品和成品方面具有多重、可靠和可持续的来源,同时具备物流基础设施能力,提高供应链的韧性。这使得当前供应链运营策略的研究在经济利益的基础上,也要更多考虑国家意志。因此,当前供应链韧性的研究从企业层面、产业层面上升到了国家层面,外部环境从以合作为主流变为更突出对抗甚至冲突,风险源融入了人为因素、政治因素和其他非经济因素等。

(1) 核心产业供应链的地缘博弈分析与极端中断风险应对

当前,学者通过描绘对全球供应链网络图景的现状与挑战<sup>[34, 35]</sup>,进行供应链韧性在不同类型经济主体间(如区分重点行业)的异质性刻画与风险预警<sup>[36]</sup>,阐明重大事件对供应链网络的影响机理<sup>[37]</sup>,进行重大事件背景下供应链风险评估及稳链策略研究等<sup>[38]</sup>。此外,也有观点认为,在传统的库存管理、采购和需求柔性管理外,企业选址和供应链协作也是重要的供应链韧性提升措施<sup>[39]</sup>。

在中美贸易战和俄乌冲突的国际政治大背景下,以芯片、原材料为代表的核心供应链稳定直接涉及到国家安全的问题,对企业和国民经济、社会稳定

均会产生非常巨大的影响。许多“卡脖子”的关键技术也将会成为未来科技竞争的核心。

未来对核心产业供应链的研究可尝试如下三个探索方向:1) 如何预判地缘政治博弈对核心产业供应链的影响;2) 如何预防非合作的博弈双方利用对方供应链中的痛点进行打击;3) 从被动型的风险管理理论研究转向进攻型或进取型风险管理理论研究。

(2) 面向闭环风险的供应链成员竞争和合作研究

传统供应链研究关注外生风险。然而,风险也可在复杂供应链网络中由供应链成员的竞争合作而内生,并反过来影响供应链成员间的竞争/合作,形成风险和竞争/合作的闭环,最终影响企业发展的长期走势。这种闭环风险的产生可能是经济发展的必然冲突。譬如,新兴企业在创业初期,由于资金、技术等方面的限制,常常谋求与供应链上成熟企业的合作。而随着新兴企业发展到一定阶段,就会与成熟企业产生竞争,对它形成威胁。一旦双方争夺目标市场,即会制造冲突,产生风险,最终形成风险闭环。风险闭环是循环式前进的,这个过程是由双边、多边的复杂博弈形成的过程,影响因素众多、影响规律复杂。

我国学者已开始运用博弈论、优化、机器学习等知识和方法,从多阶段、多智能体的博弈角度出发,在考虑资源投入、研发、产品差异化、竞争等影响因素的情况下,进行风险机理和相关决策的分析。相关研究为理解供应链内生风险的产生和传播机理、构建我国供应链风险防控的理论和实践方法提供新思路和新方法<sup>[13,16-19]</sup>。我国学者还从产品设计演进视角出发,以产品设计与供应链同步演进复杂网络建模为基础,着重研究面向协同制造供应链系统的弹性评估指标体系、考虑产品设计变更的供应链中断恢复策略<sup>[40]</sup>,以及基于风险分析的供应链弹性提升策略等<sup>[41]</sup>。

整体看,闭环风险在当前全球供应链面临着全球化/逆全球化转型不确定性、以及疫情等宏观不确定环境下,对其重要性的认知目前还处于初级阶段。

未来针对闭环风险的研究可围绕如下四个方向:1) 产品特性和投资特性如何导致竞争风险;2) 企业研发投入如何导致市场份额的变化;3) 企业如何通过内循环主动抵御外循环的竞争风险;4) 如何制定主动防御策略。

### 2.3 供应链安全策略、韧性提升与动态风险管理

供应链的安全策略、韧性提升和动态风险管理愈发重要的原因在于供应链运营策略的研究背景发生了重要转变,即面临多维度风险对供应链全链条产生并发冲击,以及多主体竞合关系对全球供应链进行的重构再造。在此新背景下,需要重新梳理并探索供应链韧性的影响因素、研究方法、提升路径等。

此外,供应链韧性提升具体可从战略、运营两个层面出发。一是战略层面,即从供应链顶层设计角度,包括从国内外环境和国内—国际双循环角度思考,从供应链终端产品角度分类设计,以及从供应链对应的产业链国际布局角度分析;二是运营层面,即从供应链具体实施角度,明确主体,包括建立一套应对各类突发事件的应急对策,收集、处理和挖掘综合全局信息和数据并提出预警,以及利用智能决策、快速响应并降低损失。

#### (1) 供应链韧性影响要素的识别与量化

供应链韧性区别于供应链柔性的特点在于考虑小概率事件的干扰,需将小概率风险与常规风险联合优化<sup>[42]</sup>。但并不是所有小概率的事件都要考虑供应链韧性,应首先根据影响事件及其后果的重要性、产品物资服务的生产过程、事件与人生活和生存发展的关系确定供应链韧性提升的范围与对象。

供应链韧性的定量评价,对设计、重构供应链网络具有重要指导意义。目前已有的供应链韧性识别与度量主要从四个层面出发:1) 以关键性能量化韧性。将供应链韧性分解为几个关键性能,包括灵活性、可见性和敏捷性等,进而展开评分<sup>[43-45]</sup>;2) 以直接定量指标量化韧性。这类方法所用的定量指标包括供应链受冲击后恢复到原有状态或更加理想状态所需要的时间、恢复的程度、以及恢复期内供应链绩效的损失程度等<sup>[46,47]</sup>;3) 以供应链绩效评价指标量化韧性。这些指标包括客户服务水平、市场份额和中断后的财务表现等<sup>[48]</sup>;4) 以拓扑指标量化韧性。这类指标主要是从复杂网络的视角来对韧性进行量化,例如,在供应链网络中,供应链韧性可以表示为未导致供应链网络中断的节点/边中断的数量除以所有可中断的节点/边的数量<sup>[49]</sup>;还有基于多层复杂网络理论构建关键矿产资源全球贸易模型,并根据风险传导机制对贸易网络突发风险进行仿真分析,最后运用多风险场景仿真结果对网络节点的风险韧性进行评价<sup>[50]</sup>。此外,具体的量化

评估方法包括多层次评估、仿真实验、系统动力学等。

为了构建标准化的供应链韧性评价指标体系,学者在不同评价层面上持续挖掘影响因素。Hosseini 等<sup>[38]</sup>对供应链韧性进行了系统的文献综述,回顾了其定性和定量影响因素,并进一步将定量影响因素分为吸收能力、适应能力和恢复能力。Behzadi 等<sup>[46]</sup>回顾了现有的供应链弹性指标,并引入了一个新的指标——利润损失的净现值,来衡量供应链韧性。也有研究<sup>[51]</sup>从准备、响应、恢复 3 个阶段,11 重能力及 11 个绩效指标来构建供应链安全的核心能力与绩效指标框架,但其中在安全性、领导力和知识管理三方面能力下没有找到对应的绩效指标。

未来研究供应链韧性的影响因素与度量指标可尝试如下两个探索方向:1) 宏观层面的多维体系、综合协调;2) 企业层面的循序渐进、持续改进<sup>[48,49]</sup>。

#### (2) 韧性供应链的管理理论和方法

现有供应链韧性的研究,最常采用的理论是资源基础观、动态能力理论、关系理论和复杂性理论/复杂自适应系统<sup>[52]</sup>。资源基础观认为,在复杂多变的环境扰动下,企业需要不断整合、构建和重新配置内外部资源,以增强供应链韧性。为了考虑环境动态性的影响,学者们又采取了动态能力理论和关系理论对资源基础观在动态环境条件下进行拓展<sup>[43,53,54]</sup>。此外,在对供应链是复杂系统认知的基础上,学者又利用了系统理论/复杂自适应系统理论来对供应链韧性进行研究<sup>[55,56]</sup>。

供应链韧性的定量研究主要包括优化、决策分析、网络建模和模拟四大类<sup>[52,57]</sup>。其中,对于评价供应链的韧性水平,通常采用多准则决策分析法、层次分析法和网络分析法等决策分析方法<sup>[38]</sup>;研究目标韧性水平下的最优供应链结构,一般应用多目标线性规划、随机规划和目标规划等数理建模方法<sup>[13,58]</sup>;刻画供应链网络成员之间的交互作用以及对供应链韧性的影响,主要采用贝叶斯网络和聚类供应链网络等网络建模方法<sup>[59]</sup>;为解决多主体系统优化问题,通常基于 agent 的仿真模拟和离散事件仿真模拟等模拟方法<sup>[49]</sup>。另外,对于研究提升供应链韧性水平的影响因素,通常采用决策实验分析法和解释结构模型法<sup>[60,61]</sup>。

未来韧性供应链管理理论的创新可尝试如下七个探索方向:1) 对决策者的行为偏好进行建模;2) 对供应中断参数进行评估;3) 评估供应中断对供

应链的影响;4) 供应中断中的行为研究;5) 对供应链韧性策略的事前、事后策略整合;6) 内生性供应中断的评估,例如由战争、中美贸易战等事件造成的中断等;7) 内生性供应链中断的管理。

#### (3) 供应链平台数智化赋能与数智运营风险

物联网、大数据、人工智能、区块链、5G 等新一代信息技术,以及 3D 打印与信息技术的融合形成的智能制造技术,对供应链的物资流、信息流和资金流均产生了深刻的影响,传统供应链向数字化平台供应链进行转变已成为我国政策大力推动的战略性方向。数据与信息技术的深入结合使供应链三流协作式风险管理成为可能。以信息为基础的合作可以降低全产业链的成本,提高客户服务价值,包括减小库存、加速新产品的设计、缩短订单履行周期、推动流程再造与协调供应链活动等<sup>[62]</sup>。这也为供应链韧性的提升提供了新的抓手。

学者研究了工业 4.0 背景下数字技术对供应链风险管理以及韧性供应链建设的影响,认为数字技术可以提供降低中断风险的新方法<sup>[63-65]</sup>。Spieske 和 Birkel<sup>[66]</sup>证实了在新冠疫情下,大数据分析技术对提升供应链韧性发挥了显著的作用,工业 4.0 全面支持中断前的韧性措施,从而实现更有效的主动风险管理。Lohmer 等<sup>[67]</sup>研究证实了区块链技术对供应链韧性策略产生积极影响,特别是协作能力、可见性、敏捷性和复原速度的加强。Gu 等<sup>[68]</sup>通过分析从 206 家中国制造商处收集的数据,考察了公司应如何与供应链合作伙伴一起实施不同的信息技术,来获得供应链韧性。林文广等<sup>[69]</sup>分析了韧性制造系统的激励来源、韧性响应过程和特征以及关键支撑技术,提出了面向大规模个性化生产的韧性制造系统的评估指标与优化策略。宋华<sup>[70]</sup>解析了数字化技术与供应链韧性之间的关系,以及数字化供应链韧性建设的关键要素,指出了数字供应链韧性建设主要包括的四个阶段。陈晓东等<sup>[71]</sup>提出应依托数字经济大力推进产业链数字化升级,加快打造新型数字示范平台,推动产业链向更完整、更稳定、更强健的方向发展,不断提升我国产业链韧性,早日实现产业链安全可控。

供应链韧性的建立比以往更加需要数据科学的支持<sup>[65]</sup>。颠覆性数据共享技术可以实现供应链的数字化与智能化,其中服务互联网和物联网等技术可以通过连接设备帮助实现信息的实时共享和收集<sup>[72]</sup>;无线传感器技术和物联网可以减少需求—供应的差距,并解决食品质量和安全的关键问题<sup>[73]</sup>;

数字化平台的数据整理与挖掘能帮助从业者提炼出有价值的信息,从而通过数据驱动的决策提高生产力<sup>[74]</sup>。总之,信息、数据共享是预防供应链中断、降低潜在风险的有效方法,有助于提升供应链的灵活性。然而,数据驱动的供应链管理也在数据存储、数据收集和数据可视化等领域面临挑战。相关问题包括并不限于数据隐私、数据安全、数据准确性和数据访问<sup>[75]</sup>。

未来数智供应链平台的研究可围绕四个方向:1)如何打通供应链的生态,供应链全场景的数据流,如何统一数据的标准,构建数据的价值度量和评估体系,建立起数据共享的机制;2)如何在风险事件多发的复杂系统中构建风险感知能力和风险量化能力,澄清多平台基础设施协同作用下的供应链生态系统的结构风险传播机理;3)在外部隐私信息保护规制策略、平台保护策略和保护技术、以及用户的信息隐私保护行为三者交互作用下,研究探讨外部隐私保护规制如何在供应链中传播;4)如何构建数字化的智能决策能力。

### 3 未来5~10年供应链韧性和安全发展目标及资助重点

#### 3.1 发展目标

如前所述,当前逆全球化、中美贸易战、新冠疫情、俄乌冲突等外部环境变化,对我国供应链韧性研究应用的理念、理论、战略、方法、技术、组织等都提出新的挑战,急需建立新型决策范式,决策模型和方法,采用更加主动、全面的视角,面向未来可能发生的场景和情境进行积极的预测,并将这些前瞻性分析应用于复杂供应链网络风险管理、全球供应链竞合机制、企业运营决策等方面研究,提升我国供应链韧性水平,切实解决国家重大战略需求。供应链韧性提升涉及诸多学科知识和技术,需要管理科学、心理学、数学、物理与计算机科学等多学科的深度交叉融合,需要聚焦于涉及国家核心竞争力的产业(如芯片、新能源汽车等)。因此,在未来5~10年,需要建立供应链韧性管理学科方向,凝练学科内涵、发展目标、核心科学问题、关键技术问题和典型应用场景;夯实学科理论基础,创新方法,培养供应链韧性管理方向人才,以应对日益复杂的国际环境下的供应链韧性管理人才需求与技术需求。

#### 3.2 资助重点

本次双清论坛与会专家经过深入研讨,凝练了

供应链韧性与供应链管理重大关键科学问题,并建议未来5~10年应着重围绕以下领域,通过多学科交叉开展原创性研究。

(1) 基于复杂网络系统视角的供应链韧性提升路径

现代供应链是一个开放的系统,其已由链条结构转变为纵横交错的复杂网络结构。在这个复杂网络系统中,任何一个环节的变化都会牵一发而动全身,这就使得现代供应链变得越来越脆弱。这就要求我们从复杂网络系统的视角加强对供应链的风险管理与韧性提升问题的研究,这对经历了数年全球化的今天我国产业链供应链的韧性和安全性提升具有重要的现实意义。在复杂网络系统视角下利用量化模型分析供应链风险的传导机理,探索供应链韧性提升路径和优化策略,这对供应链风险与韧性问题的研究具有重要的理论创新意义。

因此,我们建议资助重点为:1)复杂网络系统视角下供应链的风险识别及传导机理;加强对复杂网络系统背景下供应链的风险识别模型与方法、供应链风险的传导特征与机理等问题进行深入研究。2)复杂网络系统视角下供应链韧性评估与提升路径;加强对复杂网络系统背景下供应链网络脆弱节点与薄弱环节、供应链韧性评估模型与方法、供应链韧性提升路径与强化策略等问题的分析。

(2) 基于国际竞合关系的供应链风险识别、预警与应对机制

日益复杂的国际局势使得过去以追求低成本和高利润为目标的供应链企业决策变得非常脆弱,供应链所涉区域之间的贸易或地缘政治博弈对供应链安全风险和决策将产生更加深刻和全面的影响。此外,我国在供应链布局中除了考虑经济层面的因素,也更应该考虑供应链的安全性因素,特别是对于在中国重要产业供应链的节点布局规划中,我们应该把供应链的稳健性和安全性作为重要的甚至首要的问题来考虑,这对中国重要产业供应链的稳健安全快速发展具有重要意义。

因此,我们建议资助重点为:1)考虑贸易或地缘博弈下供应链风险的识别与评估;加强对供应链所涉区域之间贸易或地缘博弈产生的风险评估。2)考虑贸易或地缘博弈下供应链的风险预警机制与方法;融合博弈算法与数据驱动算法,构建供应链风险预警指标体系与风险动态演化模型,提升供应链风险预警的及时性与有效性。3)考虑贸易或地

缘博弈下供应链的风险防范机制设计; 构建供应链风险事前防范控制模型及风控算法, 构建基于动态博弈的运营与金融工具结合的风险防控体系, 提升供应链风险事前防控协调性; 构建供应链风险损失动态预测及评估模型, 构建风险应急管理决策支持系统, 提升复杂供应链网络风险事后应对能力。

4) 兼顾安全性和经济性的中国重要产业供应链的节点布局优化: 考虑多风险因素、成本、利润等经济层面因素下构建多目标供应链节点选址理论模型, 发展兼顾安全性和经济性的供应链节点选址理论、技术和方法, 对中国重要产业供应链的系统性风险进行评估。

### (3) 基于数字技术的供应链的韧性塑造与提升

探索数字技术在我国重点产业供应链的韧性塑造与提升中的应用是我国当前的重大战略需求之一, 这能有效促进我国数字产业与其他重点产业的融合发展, 有效促进我国重点产业链供应链的稳健性和安全性。同时, 基于数字技术的平台供应链与传统供应链在网络结构、信息和风险传播机理等方面存在着本质上的不同, 是值得重点研究的方向。

因此, 我们建议资助重点为: 1) 数字技术在我国重点产业供应链中的应用及交互机制: 从多角度、全方位分析我国重点产业供应链各端的特征以及数字技术在各端内的应用和交互情况, 进一步研究数字技术在我国重点产业供应链“端一端”间的应用及交互机制。2) 基于数字技术的我国重点产业供应链的信息协同机制: 探索基于数字技术的供应链的风险信息、库存信息、物流信息和需求信息的预测、获取及分享策略; 分析风险信息对库存、物流和需求状态的影响机理; 探究各信息之间的交互机制及其对供应链韧性的影响机制; 探索数字技术在我国重点产业供应链的信息协同中的最优组合应用。3) 基于数字技术的我国重点产业供应链全链路机制设计: 研究不同信息分享机制对供应链各环节决策机制的影响; 探索不同风险共担机制对供应链战略库存、产品调度及市场定价机制的影响; 探索各机制之间的交互作用及其对供应链整体韧性水平的影响机理。

## 4 结 语

当前逆全球化回潮、贸易保护主义抬头、俄乌冲突、新冠肺炎疫情等国际环境影响下, 供应链韧性和安全成为供应链网络建设必须考虑的问题。而从成

本效益导向转变为韧性安全导向将对传统供应链研究的理念、理论、战略、方法等都提出新的挑战。但是, 相关研究尚处于萌芽阶段, 属于国际前沿交叉领域, 相关研究亟待布局推进, 我们需要采用更加主动全面的视角面向未来发生的复杂场景进行积极的推演预测; 需要管理科学、心理学、数学与计算机科学等多学科的深度交叉融合; 需要聚焦于典型应用场景充分利用供应链韧性管理的优势。我们根据相关研究热点与趋势, 凝炼出了该领域未来 5~10 年的重大关键科学问题, 探讨了前沿研究方向和科学基金资助战略。今后仍需要进一步凝练研究方向, 规划和推进跨学科攻关团队的培养, 深入开展供应链韧性管理基础理论研究, 促进相关研究成果的应用与推广。

## 参 考 文 献

- [1] Cohen MA, Kouvelis P. Revisit of AAA excellence of global value chains: robustness, resilience, and realignment. *Production and Operations Management*, 2021, 30(3): 633—643.
- [2] 李天健, 赵学军. 新中国保障产业链供应链安全的探索. *管理世界*, 2022, 38(9): 31—41.
- [3] 张立, 罗瑶. 美日印澳供应链安全合作的进展、前景及影响探析. *印度洋经济体研究*, 2022(3): 67—83, 153.
- [4] Williams Z, Lueg J, LeMay S. Supply chain security: an overview and research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 2008, 19(2): 254—281.
- [5] Dolgui A, Ivanov D, Sokolov B. Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature. *International Journal of Production Research*, 2018, 56: 414—430.
- [6] Snyder LV, Atan Z, Peng P, et al. OR/MS models for supply chain disruptions: a review. *IIE Transactions*, 2016, 48(2): 89—109.
- [7] Cheng S, Kam B. A conceptual framework for analysing risk in supply networks. *Journal of Enterprise Information Management*, 2008, 21(4): 345—360.
- [8] Bueno-Solano A, Cedillo-Campos MG. Dynamic impact on global supply chains performance of disruptions propagation produced by terrorist acts. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2014, 61: 1—12.
- [9] Tran TH, Dobrovnik M, Kummer S. Supply chain risk assessment: a content analysis-based literature review. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 2018, 31(4): 562—591.



- [10] Ghadge A, Dani S, Chester M, et al. A systems approach for modelling supply chain risks. *Supply Chain Management: an International Journal*, 2013, 18(5): 523—538.
- [11] Aqlan F, Lam SS. A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment. *International Journal of Production Economics*, 2015, 161: 54—63.
- [12] Aldrighetti R, Battini D, Ivanov D, et al. Costs of resilience and disruptions in supply chain network design models: a review and future research directions. *International Journal of Production Economics*, 2021, 235: 108103.
- [13] Klibi W, Martel A. Scenario-based supply chain network risk modeling. *European Journal of Operational Research*, 2012, 223(3): 644—658.
- [14] Simchi-Levi D, Schmidt W, Wei YH, et al. Identifying risks and mitigating disruptions in the automotive supply chain. *Interfaces*, 2015, 45(5): 375—390.
- [15] Pereira MM, Frazzon EM. A data-driven approach to adaptive synchronization of demand and supply in omnichannel retail supply chains. *International Journal of Information Management*, 2021, 57: 102165.
- [16] Gao SY, Simchi-Levi D, Teo CP, et al. Disruption risk mitigation in supply chains: the risk exposure index revisited. *Operations Research*, 2019, 67(3): 831—852.
- [17] Venkatesan SP, Kumanan S. Supply chain risk prioritisation using a hybrid AHP and PROMETHEE approach. *International Journal of Services and Operations Management*, 2012, 13(1): 19—41.
- [18] Smithson CW. *Managing financial risk: a guide to derivative products, financial engineering, and value maximization*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1998.
- [19] Tapiero CS. Value at risk and inventory control. *European Journal of Operational Research*, 2005, 163(3): 769—775.
- [20] Dixit V, Verma P, Tiwari MK. Assessment of pre and post-disaster supply chain resilience based on network structural parameters with CVaR as a risk measure. *International Journal of Production Economics*, 2020, 227: 107655.
- [21] Schmitt AJ, Singh M. A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain. *International Journal of Production Economics*, 2012, 139(1): 22—32.
- [22] Mizgier KJ, Wagner SM, Jüttner MP. Disentangling diversification in supply chain networks. *International Journal of Production Economics*, 2015, 162: 115—124.
- [23] Serrano A, Oliva R, Kraiselburd S. Risk propagation through payment distortion in supply chains. *Journal of Operations Management*, 2018, 58: 1—14.
- [24] Ojha R, Ghadge A, Tiwari MK, et al. Bayesian network modelling for supply chain risk propagation. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(17): 5795—5819.
- [25] Kouvelis P, Zhao WH. Financing the newsvendor: supplier vs. bank, and the structure of optimal trade credit contracts. *Operations Research*, 2012, 60(3): 566—580.
- [26] Dong LX, Qiu YZ, Xu FS. Blockchain-enabled deep-tier supply chain finance. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2022, doi: 10.1287/msom.2022.1123.
- [27] 陈剑, 刘运辉. 数智化使能运营管理变革: 从供应链到供应链生态系统. *管理世界*, 2021, 37(11): 227—240, 14.
- [28] 罗子健, 熊文军. 基于网络理论的供应链研究综述. *南京信息工程大学学报(自然科学版)*, 2020, 12(5): 521—529.
- [29] Govindan K, Fattahi M, Keyvanshokoh E. Supply chain network design under uncertainty: a comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research*, 2017, 263(1): 108—141.
- [30] Emenike SN, Falcone G. A review on energy supply chain resilience through optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 134: 110088.
- [31] Hoggett R. Technology scale and supply chains in a secure, affordable and low carbon energy transition. *Applied Energy*, 2014, 123: 296—306.
- [32] Liu XD, Shahidehpour M, Li ZY, et al. Microgrids for enhancing the power grid resilience in extreme conditions. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2017, 8(2): 589—597.
- [33] Zhang YW, Liu WX, Shi QX, et al. Resilience assessment of multi-decision complex energy interconnection system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2022, 137: 107809.
- [34] Sheffi Y. Supply chain management under the threat of international terrorism. *The International Journal of Logistics Management*, 2001, 12(2): 1—11.
- [35] Inoue H, Todo Y. Firm-level propagation of shocks through supply-chain networks. *Nature Sustainability*, 2019, 2(9): 841—847.
- [36] Bonadio B, Huo Z, Levchenko AA, et al. Global supply chains in the pandemic. *Journal of International Economics*, 2021, 133: 103534.
- [37] 高翔, 徐然, 祝坤福, 等. 全球生产网络视角下重大突发事件的经济影响研究. *国际贸易问题*, 2021, 7: 1—20.
- [38] Hosseini S, Ivanov D, Dolgui A. Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 125: 285—307.
- [39] Snyder LV, Atan Z, Peng P, et al. OR/MS models for supply chain disruptions: a review. *IIE Transactions*, 2016, 48(2): 89—109.
- [40] Chen JZ, Wang HF, Fu YP. A multi-stage supply chain disruption mitigation strategy considering product life cycle during COVID-19. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022: 1—15.

- [41] Wang JW, Muddada RR, Wang HF, et al. Toward a resilient holistic supply chain network system: concept, review and future direction. *IEEE Systems Journal*, 2016, 10(2): 410—421.
- [42] Ivanov D. Introduction to supply chain resilience: management, modelling, technology. Springer Nature, 2021.
- [43] Chowdhury MMH, Quaddus M. Supply chain resilience: Conceptualization and scale development using dynamic capability theory. *International Journal of Production Economics*, 2017, 188: 185—204.
- [44] Zouari D, Ruel S, Viale L. Does digitalising the supply chain contribute to its resilience? *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2020, 51(2): 149—180.
- [45] 樊雪梅, 卢梦媛. 新冠疫情下汽车企业供应链韧性影响因素及评价. *工业技术经济*, 2020, 39(10): 21—28.
- [46] Behzadi G, O'Sullivan MJ, Olsen TL. On metrics for supply chain resilience. *European Journal of Operational Research*, 2020, 287(1): 145—158.
- [47] 魏琳, 耿云江. 新冠疫情背景下企业韧性评价指标体系的构建. *当代经济*, 2021(8): 108—113.
- [48] Hohenstein NO, Feisel E, Hartmann E, et al. Research on the phenomenon of supply chain resilience: a systematic review and paths for further investigation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2015, 45(1/2): 90—117.
- [49] Kim Y, Chen YS, Linderman K. Supply network disruption and resilience: a network structural perspective. *Journal of Operations Management*, 2015, 33/34: 43—59.
- [50] 沈曦, 郭海湘, 成金华. 突发风险下关键矿产供应链网络节点韧性评估——以镍矿产品为例. *资源科学*, 2022, 44(1): 85—96.
- [51] Han Y, Chong WK, Li D. A systematic literature review of the capabilities and performance metrics of supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 2020, 58(15): 4541—4566.
- [52] Ali I, Gölgeci I. Where is supply chain resilience research heading? A systematic and co-occurrence analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2019, 49(8): 793—815.
- [53] Yu WT, Jacobs MA, Chavez R, et al. Dynamism, disruption orientation, and resilience in the supply chain and the impacts on financial performance: a dynamic capabilities perspective. *International Journal of Production Economics*, 2019, 218: 352—362.
- [54] 陆可晶, 罗仲伟. 环境突变下中小制造企业的组织韧性研究. *价格理论与实践*, 2022(4): 20—27.
- [55] Tukamuhabwa BR, Stevenson M, Busby J, et al. Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research*, 2015, 53(18): 5592—5623.
- [56] 盛昭瀚, 王海燕, 胡志华. 供应链韧性: 适应复杂性——基于复杂系统管理视角. *中国管理科学*, 2022, 30(11): 1—7.
- [57] Kochan CG, Nowicki DR. Supply chain resilience: a systematic literature review and typological framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2018, 48(8): 842—865.
- [58] 孙莹, 刘慧萍, 颜瑞, 等. 基于韧性和社会福利的应急医疗物资供应链均衡优化. *中国管理科学*, 2023, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022-0555.
- [59] MacDonald JR, Zobel CW, Melnyk SA, et al. Supply chain risk and resilience: theory building through structured experiments and simulation. *International Journal of Production Research*, 2018, 56(12): 4337—4355.
- [60] 钱存华, 陈海滨, 周骏贵. 灾害背景下提升应急供应链韧性影响因素研究. *安全与环境学报*, 2023, 23(5): 1474—1481.
- [61] 朱蕾, 陈静怡, 袁竞峰. 基于 ISM 的装配式建筑供应链韧性关键影响因素研究. *土木工程与管理学报*, 2020, 37(5): 108—114.
- [62] Kumar RS, Pugazhendhi S. Information sharing in supply chains: an overview. *Procedia Engineering*, 2012, 38: 2147—2154.
- [63] Ivanov D, Dolgui A, Sokolov B, et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4. 0. *International Journal of Production Research*, 2016, 54(2): 386—402.
- [64] Ivanov D, Dolgui A, Sokolov B. The impact of digital technology and Industry 4. 0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 2019, 57(3): 829—846.
- [65] Choi TM, Chan HK, Yue XH. Recent development in big data analytics for business operations and risk management. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2017, 47(1): 81—92.
- [66] Spieske A, Birkel H. Improving supply chain resilience through industry 4. 0: a systematic literature review under the impressions of the COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 158: 107452.
- [67] Lohmer J, Bugert N, Lasch R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: an agent-based simulation study. *International Journal of Production Economics*, 2020, 228: 107882.
- [68] Gu MH, Yang L, Huo BF. The impact of information technology usage on supply chain resilience and performance: an ambidexterous view. *International Journal of Production Economics*, 2021, 232: 107956.

- [69] 林文广, 赖荣桑, 肖人彬. 面向大规模个性化生产的韧性制造系统. 科技导报, 2021, 39(22): 75—84.
- [70] 宋华. 建立数字化的供应链韧性管理体系——一个整合性的管理框架. 供应链管理, 2022, 3(10): 9—20.
- [71] 陈晓东, 刘洋, 周柯. 数字经济提升我国产业链韧性的路径研究. 经济体制改革, 2022(1): 95—102.
- [72] Kamble SS, Gunasekaran A, Parekh H, et al. Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2019, 48: 154—168.
- [73] Zhong DRY, Tan PK, Bhaskaran PG. Data-driven food supply chain management and systems. *Industrial Management & Data Systems*, 2017, 117(9): 1779—1781.
- [74] Sharma R, Kamble SS, Gunasekaran A. Big GIS analytics framework for agriculture supply chains: a literature review identifying the current trends and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, 155: 103—120.
- [75] Ogbuke NJ, Yusuf YY, Dharma K, et al. Big data supply chain analytics: ethical, privacy and security challenges posed to business, industries and society. *Production Planning & Control*, 2022, 33(2/3): 123—137.

### Key Scientific Issues on Supply Chain Resilience and Security

Liu Hong<sup>1</sup>      Xiaobo Zhao<sup>2</sup>      Shouyang Wang<sup>3</sup>      Hong Huo<sup>4</sup>  
 Wei Zhang<sup>4</sup>      Jie Song<sup>5</sup>      Yongbo Xiao<sup>6</sup>      Jian Li<sup>7\*</sup>

1. *School of Management and School of Big Data, Fudan University, Shanghai 200433*
2. *Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084*
3. *Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190*
4. *Department of Management Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085*
5. *National Engineering Laboratory for Big Data Analysis and Applied Technology and College of Engineering, Peking University, Beijing 100871*
6. *School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084*
7. *School of Economics and Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124*

**Abstract** How to improve the resilience and security of the supply chain is a topic of common concern for government departments, industry and academia. Based on the conclusions drawn from the 306<sup>th</sup> Shuangqing Form, this paper summarizes the concepts related to supply chain resilience and security, and provides a complete review of the recent development around this topic from three aspects: complex supply chain network modeling and risk propagation mechanism; global supply chain competition, cooperation and coordination mechanism; supply chain security strategy, resilience improvement and dynamic risk management. Furthermore, this paper discusses the potential research directions and the science fund strategies in the next 5~10 years in this important cross-disciplinary field of study.

**Keywords** supply chain resilience and security; risk management; emergency management; operation optimization; digital era

(责任编辑 崔国增 张强)

\* Corresponding Author, Email: lijiansem@bjut.edu.cn