

摘要

近年来,我国大力发展新能源汽车,我国已经全球最大的新能源汽车消费市场和最大出口国。伴随着经济全球化的推进,新能源汽车供应链越来越呈现出集成化、自动化与智能化的趋势。但 2020 年一场突如其来的新冠疫情对我国新能源汽车供应链造成了重大冲击,这对本就起步较晚、发展历程较短的新能源汽车行业来说,无疑是雪上加霜。新能源汽车行业作为我国大力扶持的新兴行业,承担着双碳目标实现的重要任务,对其供应链管理重大的现实与战略意义。

本文通过对我国新能源汽车供应链发展历程回顾,梳理了对新能源汽车供应链网络风险传递机制研究的现实意义和理论意义。从无标度网络建模出发,构建了我国新能源汽车供应链网络,统计了新能源汽车供应链网络常见的参数指标:度分布、评价路径长度和聚类系数大小,统计发现,我国新能源汽车供应链网络的演化过程中呈现出小世界网络的特点。接着运用 SCOR 模型,结合问卷调查,识别出了疫情背景下我国新能源汽车供应链网络上的风险因素,构建了新能源汽车供应链网络风险指标体系。通过对相关行业从业人员的问卷数据收集,做到了理论与实际相结合,定量分析与定性分析相结合。通过决策评价方法求得疫情背景下我国新能源汽车供应链网络的整体风险水平,确定了新能源汽车供应链网络上感染系数。最后结合新冠疫情背景,引入 SEIR 模型探究了风险在供应链网络上的演化过程,对不同的参数进行了敏感性分析,总结了不同传递概率下,网络总体节点的演化趋势,最后根据风险识别过程与风险传递过程给出了相应控制对策。

研究发现,网络上风险的传递受网络中初始感染节点数量与易感节点数量影响较大,在供应链网络总,原始风险节点数量越多,供应链风险的扩散速度和造成的传染范围就会越大,同时风险传递速度与数量与免疫率成反比。最后针对供应链风险识别与供应链风险传递过程给出了供应链风险控制对策。结合新能源汽车供应链网络无标度网络的特性,分别从网络中的节点与网络连边给出了疫情背景下新能源汽车供应链网络的风险控制对策。首先,作为新能源汽车供应链网络上的不同位置的节点,度分布大小不同的的节点,应该正视自身在供应链网络中的重要性,应积极找到关键节点,识别关键风险因素。针对网络层面,本文提出了加强节点自身免疫率、强化上下游合作关系和规范网络合作关系等现实对策。

关键词: 新能源汽车; SEIR 模型; 风险识别; 风险传递; 风险控制

ABSTRACT

In recent years, China has vigorously developed new energy vehicles, and China has become the world's largest consumer market for new energy vehicles and the largest exporter. With the advancement of economic globalization, the supply chain of new energy vehicles is increasingly showing a trend of integration, automation and intelligence. However, in 2020, a sudden new crown epidemic caused a major impact on China's new energy vehicle supply chain, which undoubtedly made worse for the new energy automobile industry, which started late and had a short development process. As an emerging industry vigorously supported by China, the new energy automobile industry undertakes the important task of achieving the dual carbon goal, which is of great practical and strategic significance to its supply chain management..

Through the review of the development process of China's new energy vehicle supply chain, this paper sorts out the practical and theoretical significance of the research on the risk transmission mechanism of the new energy vehicle supply chain network. Starting from scale-free network modeling, the new energy vehicle supply chain network in China is constructed, and the common parameter indicators of the new energy vehicle supply chain network: degree distribution, evaluation path length and cluster coefficient size are counted, and it is statistically found that the evolution of China's new energy vehicle supply chain network presents the characteristics of small-world network. Then, using the SCOR model and questionnaire survey, the risk factors on China's new energy vehicle supply chain network under the background of the epidemic were identified, and the risk index system of the new energy vehicle supply chain network was constructed. Through the collection of questionnaires for practitioners in related industries, the combination of theory and practice, quantitative analysis and qualitative analysis has been achieved. The overall risk level of China's new energy vehicle supply chain network under the background of the epidemic was obtained through the decision-making evaluation method, and the infection coefficient on the new energy vehicle supply chain network was determined. Finally, combined with the background of the new crown epidemic, the SEIR model is introduced to explore the evolution process of risk in the supply chain network, the sensitivity analysis of different parameters is carried out, the evolution trend of the overall nodes of the network under different transmission probabilities is summarized, and finally corresponding control

countermeasures are given according to the risk identification process and risk transmission process.

It is found that the transmission of risk on the network is greatly affected by the number of initial infected nodes and the number of susceptible nodes in the network, and the more the number of original risk nodes in the supply chain network, the greater the spread speed and scope of infection caused by supply chain risk, and the speed and quantity of risk transmission are inversely proportional to the immunization rate. Finally, supply chain risk control countermeasures are given for the supply chain risk identification and supply chain risk transmission process. Combined with the characteristics of the scale-free network of the new energy vehicle supply chain network, the risk control countermeasures of the new energy vehicle supply chain network under the background of the epidemic are given from the nodes and network connections in the network. First of all, as nodes in different positions on the new energy vehicle supply chain network, nodes with different degree distribution sizes should face up to their importance in the supply chain network, and should actively find key nodes and identify key risk factors. At the network level, this paper proposes practical countermeasures such as strengthening the autoimmune rate of nodes, strengthening upstream and downstream cooperative relationships, and standardizing network cooperative relationships.

Key Words: New energy vehicle supply chain; SEIR model; Risk identification; Risk propagation; Risk control

目 录

绪论.....	1
第一节 研究背景和意义.....	1
一、研究背景.....	1
二、研究意义.....	2
第二节 国内外研究综述.....	3
一、复杂网络研究综述.....	3
二、系统传播动力学综述.....	5
三、供应链风险管理综述.....	7
第三节 研究内容与研究方法.....	10
一、研究内容.....	10
二、研究方法.....	10
第四节 主要创新与技术路线.....	10
一、主要创新.....	10
二、技术路线.....	11
第一章 相关概念和理论基础.....	13
第一节 复杂网络理论.....	13
一、复杂网络背景.....	13
二、复杂网络模型.....	15
第二节 供应链网络风险管理.....	18
一、复杂供应链网络.....	18
二、汽车供应链风险.....	19
第三节 风险传播模型.....	20
一、SI 模型.....	20
二、SIS 模型.....	21
三、SIR 模型.....	21
四、SIRS 模型.....	22
第二章 新能源汽车供应链网络建模.....	24
第一节 新能源汽车供应链网络简介.....	24
第二节 新能源汽车供应链网络模型.....	26
第三节 新能源汽车供应链网络分析.....	26
一、度分布.....	27
二、平均路径长度.....	27
三、聚类系数.....	28
第三章 新能源汽车供应链风险识别评价.....	30

第一节 新能源汽车供应链风险概述	30
第二节 新能源汽车供应链风险因素识别	31
一、新能源汽车供应链风险因素分析.....	31
二、新能源汽车供应链风险指标权重确立.....	38
三、新能源汽车供应链风险模糊综合评价.....	41
第三节 供应链风险传播模型	45
二、风险传播模型构建.....	47
三、无标度网络风险传播模型构建.....	48
第四章 新能源汽车供应链风险传递仿真	51
第一节 问题描述.....	51
第二节 参数敏感性分析.....	52
一、初始感染节点数量对风险传递的影响.....	52
二、风险传递参数对风险传递的影响.....	55
第三节 对策研究.....	58
一、风险因素控制.....	58
二、风险传递控制.....	59
第五章 结论与展望	61
第一节 主要结论.....	61
第二节 不足与展望.....	63
参考文献.....	64
附录.....	72
附录一 新能源汽车供应链风险识别调查表	72
附录二 新能源汽车供应链风险指标评价调查表	75

绪论

第一节 研究背景和意义

一、研究背景

步入 21 世纪以来，我国家庭汽车保有量稳步增长，同时带来的环境污染问题也愈发凸显，因此，发展新能源汽车成为了我国一项重要的国家战略。与发达国家相比，其汽车工业发展史将近百年，我国汽车在品牌、技术、上下游供应链等方面与国外汽车都有不小的差距，中高端重要市场份额几乎全部被合资车如 BBA 品牌所占领，因此，想要实现我国汽车工业发展的弯道超车，发展新能源汽车是不二之举。与传统燃油汽车相比，新能源汽车具有以下重要优势：节能环保，新能源汽车无需依靠传统化石能源而依靠可再生能源，储能用能更加干净方便。目前，我国家庭新能源汽车持有量稳步增长，根据我国汽车工业年鉴预测，到 2035 年，我国家庭新能源汽车持有量将超过 1 亿台。

2022 年以来，受新冠疫情的复发影响，我国汽车行业整体呈现下降的发展趋势，2022 年 5 月上海疫情爆发，许多汽车企业工厂停工停产，上下游汽车零部件工厂也同步停工停产减少产量以应对疫情的影响。由于疫情造成的交通物流运输停摆，上游零部件到货延迟，许多汽车企业不得不延期交付，最终，汽车销量与历史同期相比下降超过 10%，但在其中，我国新能源汽车却呈现出增长态势。如图 0-1 所示，2017 年以来，我国燃油汽车销量持续下降，新能源汽车销量稳步上升，近年来上升幅度持续加大，目前，我国已成为世界上新能源汽车销量第一大国。

汽车行业是一个高度集成化的行业，上下游产业链庞大，主体众多，相关零件供应商数以万计，其供应链高度复杂化、集成化与全球化。汽车众多零部件乃至海内各供应商随着全球经济化的进一步深入，全球汽车行业规模不断扩大，因此汽车的供应链节点主体愈来愈多，汽车供应链管理难度越来越大。近年来，不断有新兴势力涌入传统汽车行业，伴随着物联网和互联网技术的不断深入发展，传统的汽车供应链也呈现出高度信息化智能化的趋势。

自 2020 年新冠疫情发生以来，我国汽车行业受其影响损失惨重。众多企业出现停工停产现象，相关汽车供应商为减少库存成本，降低库存现金压力，保证自身现金流的安全而采取减产停产以及延期交付等措施，进一步影响了整体汽车供应链正常运行。一方面，新冠疫情所带来的交通中断、员工停工现象也进一步造成了汽车的延迟交付，许多车企都面临着断供破产的风险。另一方面，部分国家以及区域之

间存在着反全球化（如：反倾销调查）等趋势^①，进一步加重了全球汽车供应链风险的影响。



图 0-1 2013-2022 我国汽车销量图

二、研究意义

伴随者如今 5G 技术普及，物联网等终端设备不断进步，众多造车新势力不断涌入，我国新能源汽车行业得到了迅猛发展，我国新能源汽车节点及网络不断丰富。新能源汽车的核心是“三电”系统，它可以提供更高效率的动力电池、更稳定的电控和更强大的电机。与新能源汽车相比，燃油汽车拥有更快的补给能力，对零部件发动机的要求也更高。与传统燃油汽车相比新能源汽车拥有更干净的能源补给、更低的行驶噪音。目前，燃油汽车与新能源汽车的共有零部件超过 90%。结合我国汽车行业发展背景，本研究以新能源汽车供应链网络为研究对象，结合其网络结构特征，构建了具有无标度特性的新能源汽车供应链网络模型。利用 SCOR 模型识别出了疫情背景下我国汽车供应链网络的风险因素，通过模糊综合评价法确定了我国新能源汽车供应链网络的整体风险水平，进一步演化出了各风险因素在网络上的传播，探究了各风险指标以及相关参数对我国新能源汽车整体供应链网络的影响，最后提出相关发展对策，有利于我国新能源汽车供应链上下游的发展。

（一）理论意义

通过对目前国内外的学者的研究回顾发现，国内外学者们对供应链风险和供应链复杂网络的理论研究已经取得了长足的进展，部分学者深入探究了供应链风险在

^① 反倾销调查（Anti-dumping investigation）是为了保护本国企业及相关制造商的利益，通过征收反倾销税保持国家整体的市场经贸稳定运行。

复杂网络上的演化规律。本研究进一步采用 BA 无标度网络模型来进行研究我国新能源汽车供应链网络，构建了新冠疫情背景下的新能源汽车供应链网络，通过相关复杂网络指标分析了我国新能源汽车供应链网络整体特征。进一步通过 SCOR 模型识别出了我国新能源汽车供应链网络的风险指标，构建了疫情背景下我国新能源汽车供应链网络的风险指标体系，通过相关决策理论方法，对我国新能源汽车供应链网络做出了整体风险评价，并将其应用于进一步风险传播的研究之中，是对复杂网络中无标度网络研究的进一步深入。

（二）现实意义

目前我国新能源汽车如火如荼地发展，纯电 EV、混动汽车、燃油汽车在我国汽车市场三足鼎立。混合动力汽车和纯电动汽车的出现，不仅大大减少了传统汽车供应链零部件的数量，而且还极大地提升了效率。为了遵循目前国家碳中和、碳达峰的发展目标，燃油汽车也不得不纷纷转型或寻找更清洁的能源系统，一场看不见的血雨腥风般的厮杀正在我国汽车市场展开。但 2020 年一场突如其来的新冠疫情，加剧了我国汽车供应链的风险，并对汽车企业及其上下游行业造成了严重冲击。

本研究结合新能源汽车供应链网络的结构特点，通过决策理论方法识别出了新冠疫情背景下我国汽车供应链网络的风险指标，并通过建模仿真了风险传播规律，最后提出了有效的风险管理对策，有助于为促进我国新能源汽车行业的稳定发展做出贡献。

第二节 国内外研究综述

一、复杂网络研究综述

从生态系统到社会关系，从社交网络到互联网，复杂网络存在于大自然以及日常生活中的方方面面（Chen 等，2022）。随着科技的进步，人们已经进入了一个复杂多变的世界，其中包括各种各样的网络系统，如基因网络系统、水电网络、证券交易平台、社交网络等，它们都具有小型化、无限制、稳定性、脆弱性、自组织性和自相似性等特点，使得它们成为我们日常生活中不可或缺的一部分。复杂网络理论旨在探索复杂系统的拓扑结构，它以节点和连边的形式描述了系统中个体之间的相互作用，从而揭示出系统的整体行为和性质。在众多研究者的推动下，复杂网络理论已广泛应用于诸如计算机互联网（黄杰等，2023）、电力网（郭明健等，2023）、金融网络（何汉等，2022）、神经网络（刘杰等，2022）、供应链网络（王军进等，2021）等各个复杂系统。

网络拓扑结构与功能之间存在着密切的联系，功能的发展会影响拓扑结构的演

变。为了更好地理解复杂性网络系统的拓扑结构特性，Erdos 和 Renyi (1960) 在上世纪 60 年代首次给出了随机图理论，但由于其联系规律和节点分布的随意性，使得它不能很好地模拟真实复杂性网络系统的情况。由于 Watts (1998) 和 Barabási (1999) 提出的小世界网络和无标度网络系统的出现，复杂性网络系统拓扑模型得到了巨大的发展，为复杂网络科学研究创造了新的视角。这些研究激发了人们对复杂性网络系统的深入研究，为社会发展做出了重要的贡献。鉴于现有网络模型存在的缺陷，以及实际网络研究的需求，研究者们给出了各种复杂性网络模型，这些创新性的研究为研究复杂网络带来了新的机遇和挑战。

Hearnshaw 等 (2013) 研究发现，供应链网络系统的结构类型可以分为规律网络系统和随机网络系统，而且它们都遵循幂律分布，具有较短的平均距离和较高的集聚系数。根据复杂网络理论，Tomomi 等 (2014) 运用小世界网络模型对汽车零部件网络进行了进一步研究，运用理论模型探究我国汽车零部件供应链网络上的风险因素。

而 Sonia 等 (2015) 则进一步探讨了如何设计一个更具有弹性的供应链网络，并基于复杂网络理论进一步探讨了各个影响因素对整体网络的影响。以上研究表明，采用复杂性系统基础理论构造的无标度网络可以更好地反映供应链网络的特点，但也存在一定的局限。Supun 等 (2017) 进一步研究了供应链网络的拓扑结构，并从一个新的角度对其进行了仿真，探讨了网络拓扑结构对供应链网络整体稳健性的影响，以更好地反映实际情况。Viplove 等 (2018) 根据对复杂性供应链网络的拓扑特点加以深入剖析，提出了一个具备拓扑弹性的层级供应链网络模型，并且经过计算机仿真模拟，证明了该模型性能的优越性。Li 等 (2020) 建立了多层新型混合供应链网络系统，并对不同复杂性网络的计算特性进行了对比，最终，透过建立回归模型，发现了影响供应链网络整体的关键因素。Piraveenan 等 (2020) 利用 Factset Revere 数据集，对全球重要产业类型的供应商产品网络系统进行了深入探究，并基于 BA 无标度网络模型，建立了一个全面的供应链拓扑模型，以更好地理解各国的供应链网络结构特点。赵志刚 (2020) 将网络上节点的位置纳入考量范围，探究了网络上节点位置对整体供应链网络风险的影响，并以定量的方式评估了供应链网络的稳定性和鲁棒性。

研究结果表明，许多专家学者将模型研究、实验研究与实证研究结合，以深入探究供应链网络系统的复杂性。研究发现供应链网络具有独特的小世界特征和无标度特性。

二、系统传播动力学综述

（一）经典数理领域

Schimit 等（2018）利用病毒传播模型对无标度网络系统和小世界网络开展了病毒传播现象的模拟，并利用复杂网络理论的研究开展了比较，以证明其科学性。Zhang 等（2021）提出了一种分层 SIRS 信息传输模型，将网络系统中的节点划分为高影响层和低影响层，以实现层内和层间的信息传输，从而提高网络系统的效率和可靠性。从理论上分析了该模型的传递阈值和平衡点，设计了信息封锁和信息疏浚两种信息传播干扰策略，研究其对信息传播的影响。Cao 等（2021）通过改进 SIR 模型，研究了影响病变在小世界网络上传递的各种因素，包括直接免疫性概率和网络拓扑结构，并通过数学方法得出了最优控制方法。Liu 等（2022）将传统的 SIR 模型与 SIS 模型有机结合，通过控制相关传播参数系数，通过相关粒子群算法探究了免疫策略的影响。将患者的治疗作为控制参数，以此来分析基本再现数，从而深入探讨系统解决方案的全局动态行为。最后应用哈密顿函数和伴随方程讨论系统的最优控制，通过数值模拟验证了该模型的有效性。王晨磊等(2023)等以物理学家的视角研究复杂网络系统传播动力学，深入探讨了传播模型、特性以及免疫方法，为网络安全性和可信度提出了重要的基础理论支持。

（二）谣言传播分析

唐梁鸿绪等（2021）对传统的 SIR 模型进行改进，引入了心得潜在与坚定群体两个概念，同时将政府与相关辟谣相关者的干预考虑进来，建立了新的 SEIRD 传播模型，并通过对相关参数的敏感性分析，演化了谣言传播与干预的过程，为我国有关部门谣言控制提供了参考建议。王晰巍等（2021）根据 SIR 模型建立了一个新的 SCNDR 网络流言反转系统动力学，并利用 Anylogic 软件开展了建模仿真，以深入分析模型参数的敏感性，最终提出了一系列有效的策略，以提高网上谣言传播-反转建模的效率。最终通过仿真发现了影响谣言传播效率的关键因素。王筱莉等（2022）通过研究传统系统动力学，建立了虚拟学术社会认知生态系统，并利用生命周期理论和 DICE 模型，对其形成、发展、成熟和衰退的过程做出了分析，通过对丁香园社会认知生态系统节点及其相关知识流动的可视化，以此来提高科学知识的普及率，加快官方辟谣信息的公开时限，以及提升轻信节点的转换效能。通过试验，证明该模型的切实可行性和优越效果。

（三）网络舆情控制

彭程等（2020）提出了一种新的模型，通过结合 SIR 传染病模型和 EGM 灰色预测模型，可以有效地预警和防治舆论，并使用 python 挖掘出的政务微博历史资料加以模拟和验证。研究发现，随着时间的发展，感染者会不断减少，也证明了感染人

数与传播时间的反比关系，是对传统 SIR 模型在新领域运用的有效探索。根据利益相关者理论，谢卫红等（2022）在研究中将食品安全网络舆情的市场主体划分为中直接相关者、间接相关者和边缘相关者三类，并系统设计了一种反复传播的 SIR 改进模型，通过实例验证，证明了该模型在预测和监控食品安全舆情时，能够有效地发挥其作用，特别是在潜伏阶段的优越性。唐建荣和鲍佳彤（2021）提出了一种新的模型用于模拟病毒信息传播的短期趋势，以更有针对性地识别恶性新闻反转事件中谣言的传播规律，并制定更有效的引导决策。这一模型不仅改进了传统的 SIR 模型，而且克服了马尔可夫链模型在转化率固定单一的问题，使得舆情扩散更加有效。徐涵等（2020）深入探讨了复杂网络上传播模型的应用，并对谣言、舆情和情绪等传播现象进行了分析，根据传播主体和信息的特征，将传染病模型划分为不同类别，比较了各种模型的优劣，最终总结出传播动力学的未来发展趋势。

（四）供应链管理

左虹等（2019）通过对传统多级无权供应链网络的深入研究中进一步引入带权重的供应链网络，通过实际相关案例对构建的模型进行演化分析，探究了整体供应链网络的影响因素。张阐军等（2019）在传统的 SIR 模型的基础上，通过引入风险传播模型，以湖北实际生鲜超市数据为研究案例对象，通过 Matlab 仿真演化了供应链风险在农产品供应链网络上的传播过程及其发展趋势，为我国农产品风险管理提供了相关建议。唐丽等（2019）以电商供应链网络为视角，深入研究了供应商经营风险传递的过程和规律，并且发现风险传导的概率与风险传导的范围和危害因素存在显著正相关关系，从而为供应链管理提供了有效的参考依据。随着时间发展，运营风险的传播范围会变得越来越广泛，呈现出一种倒 W 的特征。赵蒙（2020）根据供应链风险的传播机制，建立了一个 BSR-RP 供应链风险传播模型，并进行仿真研究，探讨了企业影响力、经营风险初始模糊程度以及经营风险模糊程度的递减情况对风险传播的负面影响。经过对应收账款融资模型的分析，王定祥等（2021）发现，在供应链金融中，信用风险的传导与企业间的关系密切相关。为了更好地理解这一现象，他们使用了 SIR 传染病模型进行了模拟。结果表明，强大的供应链风险处理能力能够有效地抑制信用风险的传递，并能缩短风险传递的时间。Liang D（2022）构建 SIR 模型来动态识别和预测不同时间供应链风险的风险状态，发现网络结构与风险传播和供应链网络健康之间存在显著关系。

通过回顾国内外众多学者研究发现，传统系统传播动力学研究不断深入扩展，已经交叉运用到生物、营销、情报、计算机、社会网络、供应链等众多学科领域，为系统动力学研究发展提供了广阔应用前景空间。

通过回顾系统动力学研究发现，许多模型研究仍然以传统传播动力学研究为主，

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/798136124141006134>