

不确定环境下计算机设备供应链的韧性评估与优化策略研究

高滢¹, 龙宇琪¹, 牟俊², 易豪^{1*}

1. 工业和信息化部电子第五研究所, 广东 广州 510000

2. 湖北省宜都市招商局, 湖北 宜都 443300

DOI: 10.61369/TACS.2025140045

摘要 : 在全球地缘政治紧张、技术管制与突发公共事件交织的不确定环境下, 计算机设备全球供应链面临严峻风险, 其脆弱性对经济安全与产业竞争力带来了巨大挑战。本文在传统效率优先的供应链管理模式下创新, 构建一个融合系统思维与动态适应能力的韧性评估与优化框架。研究首先分析了供应链关系的传统线性思维并提出了复杂系统思维的理论, 提出了供应链韧性的三重能力维度: 抗风险能力、恢复能力与适应能力, 围绕这三个维度构建了多层次评估指标体系。最后, 从缓冲冗余、柔性重构与协同进化三个层面, 提出了增强供应链韧性的系统性优化路径。本文为相关企业在不确定环境中构建稳健、敏捷且具备进化能力的供应链体系提供了理论框架与实践指导。

关键词 : 供应链韧性; 计算机设备; 评估指标体系; 优化策略

Assessment and Optimization Strategies for Resilience of Computer Equipment Supply Chains in an Uncertain Environment

Gao Ying¹, Long Yuqi¹, Mou Jun², Yi Hao^{1*}

1.China Electronic Product Reliability and Environmental Testing Research Institute, Guangzhou, Guangdong 510000

2.Yidu Municipal Department of Investment Promotion, Yidu, Hubei 443300

Abstract : Amid heightened geopolitical tensions, technological controls, and sudden disruptions, the global computer equipment supply chain faces severe risks, threatening economic security and industrial competitiveness. This study moves beyond traditional efficiency-centric models to construct a resilience assessment and optimization framework integrates systems thinking and dynamic adaptation. It critiques linear supply chain perspectives, introduces complex systems theory, and proposes a three-dimensional resilience structure—comprising risk resistance, recovery, and adaptation capacities—supported by a corresponding multi-level index system. Finally, systematic optimization pathways are proposed across buffer redundancy, flexible restructuring, and collaborative evolution. The paper provides a theoretical framework and practical guidance for building robust, agile, and evolvable supply chains in uncertain environments.

Keywords : supply chain resilience; computer equipment; assessment index system; optimization strategy

引言

计算机设备（包括服务器、个人电脑、核心半导体部件等）是现代数字经济的基石，其供应链网络横跨全球，高度专业化与复杂互联。然而近年来的一系列黑天鹅与灰犀牛事件——如芯片出口管制、新冠疫情引发的全球物流中断、地区冲突对关键原材料供应的冲击，揭示了该供应链体系的脆弱性。这种脆弱性不仅威胁企业的连续运营，更对经济安全构成严峻挑战。当前，学术界对供应链韧性的研究已从初期概念探讨逐步转向机理分析与定量评估。然而现有研究大多沿袭传统的线性思维模式，将供应链视为可预测、可分割的线性机器，专注于成本、效率。这类研究忽视了供应链作为复杂适应系统的本质特征：突现性、非线性与路径依赖。针对计算机设备这一高技术产业，从复杂系统视角出发，具备可操作性的韧性评估与优化研究尚显不足。因此，本研究旨在构建一个贴合计算机设备产业特点、基于系统思维的韧性评估与优化框架，为构建安全高效且具备进化能力的供应链体系提供决策支持。

一、传统供应链管理模式下在不确定环境下的局限性

传统的计算机设备供应链管理核心目标是追求在稳定环境下

的配置效率最优化，例如实现成本最低、库存最优或交货最快，高度依赖环境确定性。然而，在地缘政治博弈、突发技术管制、全球公共卫生事件等“不确定风暴”中，这种基于确定性的传统

供应链管理面临巨大挑战：无法有效处理不确定环境下供应链这一复杂系统的突现性、非线性反馈和路径依赖等。这导致了一个管理悖论：在传统思维下构建的看似极度高效的供应链，在面临系统性冲击时，往往表现出“效率越高，脆弱性越大”的缺陷。2020年以来的芯片短缺危机，正是传统供应链管理在多重不确定性冲击下失灵的典型案例。

二、基于系统思维的供应链韧性内涵

基于复杂系统思维，供应链韧性不仅是承受打击的“结实程度”，更是从干扰中“反弹”并“进化”的连贯过程。本文将其解构为三个相互支撑、层层递进的能力维度，它们共同构成了一个“结构－过程－演化”的韧性闭环。

（一）抗风险能力

抗风险能力是供应链韧性系统的结构属性，反映了供应链系统通过设计和管理来应对外部风险冲击的能力。计算机设备供应链关键的抗风险能力设计包括：网络结构冗余：如多元供应商（特别是对CPU、GPU等“卡脖子”环节）、备选物流通道，可降低单一节点失效导致系统瘫痪的风险；资源缓冲储备：针对长周期、高价值的关键部件（如高端芯片）建立战略安全库存，作为吸收供应波动的“减震器”；松耦合设计：通过模块化产品架构和标准化接口，降低不同环节之间的技术依赖与协同难度，使局部中断不易迅速蔓延至全局。

（二）恢复能力

恢复能力是供应链韧性系统的动态过程属性，衡量了在供应链中断发生后，快速识别受损环节、重新配置资源、修复或重建功能，并使其恢复到可接受水平的速度与效率。这体现了供应链系统的过程敏捷性。恢复并非简单的“回到原点”，而是一个高效协调的动态重组过程。其核心要素包括：信息感知与可视性：借助物联网等技术实现供应链全程可追溯，快速精准定位问题；决策与执行敏捷性：高效的应急指挥体系，并利用数字孪生技术进行中断情景模拟与恢复方案预演；资源重配柔性：拥有可快速切换的替代产能、灵活的物流方案，以执行恢复计划。

（三）适应能力

适应能力是供应链韧性系统的长期演化属性，代表了供应链系统从中断事件中学习，并据此调整自身结构、策略，从而更好地应对未来类似乃至全新威胁的进化潜力，这是最高层次。适应能力的核心在于：组织学习机制：建立正式的中断复盘与经验制度化流程，将个体经验转化为组织知识；协同创新生态：与供应商、研究机构建立开放式的创新网络，共同投资下一代技术，降低对单一技术路线的锁定风险；战略柔性：根据环境变化，主动调整供应链的全球布局、合作模式与竞争战略。

在系统视角下，这三种能力并非孤立存在。抗风险能力为恢复赢得时间窗口，恢复能力为适应提供学习素材，而适应所带来的系统进化又将增强未来的抗风险与恢复能力。计算机设备供应链因技术迭代快、全球分工极细，其韧性建设必须系统性地兼顾这三个维度，形成自我强化的正向循环。

三、构建计算机设备供应链韧性评估模型

本节构建一个基于系统思维的计算机设备供应链韧性评估模型，评估指标反映计算机设备供应链韧性在“结构、过程、演化”三个层面的属性。遵循科学性、可操作性及代表性原则，构建多层次指标体系：

表1. 计算机设备供应链韧性评估指标体系

目标层	一级指标 (能力维度)	二级指标(测量重点)	核心观测点(示例)
供应链韧性	抗风险能力	供应网络冗余度	关键物料供应商数量，前三大供应商采购集中度
		库存与产能缓冲	库存覆盖关键需求的天数，备用产能启用准备时间
		架构松耦合度	产品模块化与标准化水平
	恢复能力	信息感知	供应链端到端实时追踪覆盖率，异常事件自动预警响应时间
		响应速度	订单履行周期可压缩极限，替代物流方案平均启用时间
		应急决策与效率	中断应急响应预案完备度，跨组织协同平台的应用深度
	适应能力	知识管理	供应链中断后结构化复盘报告的质量，经验教训制度化转换率
		协同创新能力	与外部机构联合研发投入占比，参与产业技术联盟的广度与深度
		环境扫描与战略调整	定期进行供应链压力测试与情景规划的频率，战略调整的敏捷性

四、计算机设备供应链韧性优化策略

提升计算机设备供应链韧性需要一个系统性的优化框架。该框架对应韧性的三重能力维度，旨在引导供应链从被动应对风险的脆弱线性结构，向主动适应变化的稳健复杂系统演进。

强化结构层：实施缓冲与冗余策略以提升抗风险能力。本层策略旨在优化供应链系统的结构，为应对冲击构筑第一道防线。战略性多元化布局：对CPU、GPU、高端存储芯片等战略环节，系统性地开发替代供应商建立备份产能，降低对单一来源的过度依赖。动态智能缓冲库存管理：摒弃“零库存”教条，对供应风险高、采购周期长的关键物料，实施动态调整的安全库存策略。将部分库存囤货视为保障业务连续的“保险成本”而非待削减的“浪费”。投资模块化与标准化设计：在产品设计源头植入韧性，推动核心硬件平台的模块化、接口标准化，使得关键部件可以在不同供应商产品间互换，从而在供应中断时能快速切换来源。

优化过程层：构建柔性响应机制以加速恢复能力。本层策略旨在提升供应链系统的过程效率，确保中断发生后能快速感知、决策并执行恢复。部署数字孪生与高级仿真平台：构建供应链的数字孪生体，使其能够对各类中断情景进行高保真模拟，预演不同恢复方案；将决策从依赖高管的个人经验的转变为基于模拟数据，实现“仿真驱动决策”。建设端到端供应链控制塔：集成物联网、大数据和AI技术，打造一个能实时监控供应链全链路状态

（订单、库存、产能利用率）的智能控制中心；实现异常事件的自动预警、根因的智能分析，并提供可视化的应急指挥界面，缩短“感知－决策－行动”周期。发展弹性物流与制造网络：与多家物流服务商合作，规划好备选运输路线和枢纽。投资于可快速转换生产任务的柔性制造单元等增材制造技术，以应对小批量、急迫性的替代部件生产需求。

培育演化层：营造协同创新生态以激发适应能力。本层策略着眼于系统的长期进化潜力，通过学习和创新，使供应链不仅能“复原”，更能“进化”。构建开放式协同创新生态系统：改变与供应商单纯的交易关系，与核心供应商、高校、研究机构建立研发联盟；共同投资于下一代计算架构等前瞻性领域，分散技术研发风险，共享创新成果，降低对单一技术路线的长期依赖。建立制度化学习与压力测试机制：将重大中断事件后的深度复盘制度化，形成组织知识库；定期开展供应链压力测试，模拟危机场

景，并强制引发战略层面的讨论与调整。培养供应链安全企业文化：将供应链韧性目标纳入企业各级管理者的绩效考核体系，使管理团队理解供应链复杂系统思维，认识到局部效率优化可能带来的供应链系统性风险，在决策中主动平衡短期利益与长期供应链安全。

五、结语

本研究直面不确定环境下计算机设备供应链面临的严峻挑战，构建了一个完整的韧性评估与优化框架。关注供应链关系网络、动态过程和演化潜能。韧性是由抗风险、恢复、适应三重能力构成的动态属性。本研究亦存在局限，如评估指标体系对数据质量要求极高，提出的策略可能存在成本冲突（如冗余库存与成本控制的矛盾）。

参考文献

- [1] 国务院发展研究中心课题组. 提升产业链供应链韧性与安全水平研究 [J]. 管理世界, 2022, 38(4): 1-19.
- [2] 但斌, 李雨田, 杨晓. 复杂网络视角下供应链韧性的形成机理与提升路径研究 [J]. 管理工程学报, 2023, 37(2): 1-12.
- [3] 王夏阳, 朱帮助. 数字化赋能的供应链韧性: 理论框架与中国实践 [J]. 南开管理评论, 2022, 25(5): 209-221.
- [4] 黄健, 刘洋, 肖勇波. 面向中断风险的供应链弹性管理研究综述与展望 [J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(10): 2711-2727.
- [5] 谢莉娟, 张昊. 现代流通体系构建与产业链供应链韧性提升 [J]. 中国工业经济, 2022(11): 5-23.
- [6] 张以彬, 陈洁. 供应链弹性研究综述: 从恢复到适应 [J]. 系统管理学报, 2019, 28(3): 395-405.
- [7] Christopher, M., & Peck, H. Building the Resilient Supply Chain[J]. The International Journal of Logistics Management, 2004, 15(2): 1-14.
- [8] Sheffi, Y. The Resilient Enterprise: Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage[M]. Cambridge: MIT Press, 2005: 45-80.
- [9] Ivanov, D., & Dolgui, A. Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles[J]. International Journal of Production Research, 2020, 58(10): 2904-2915.
- [10] 马士华, 林勇. 供应链管理（第5版）[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021.