

# 工业4.0背景下数字化、智能转型与供应链可持续性协同发展的研究

徐琬雯, 李欣豫, 朱欣然  
澳门科技大学, 澳门 999078

**摘要：** 本文探讨了工业4.0背景下数字化、智能转型与供应链可持续性之间的关系。工业4.0作为第四次工业革命，依托网络物理系统、物联网、云计算等前沿技术，推动了企业经营模式的深刻变革。供应链管理领域的数字化进程显著加快，通过实时数据分析，企业能够优化运营，提高响应市场需求的能力。同时，智能技术的应用使得供应链管理更加精细化，提升了决策的准确性和效率。此外，工业4.0还为可持续供应链管理提供了新路径，通过绿色能源和循环经济理念，企业在追求经济效益的同时，也承担起环境责任。研究表明，数字化、智能化与可持续性相辅相成，共同促进了供应链的高效运作。为实现这些目标，企业需积极拥抱新技术，政府与社会各界也应加强合作，共同推动产业的健康发展。

**关键词：** 工业4.0; 智能转型; 供应链

## Research on Synergistic Development of Digitalization, Intelligent Transformation and Supply Chain Sustainability in the Context of Industry 4.0

Xu Wanwen, Li Xinyu, Zhu Xinran  
Macau University of Science and Technology, Macau 999078

**Abstract：** This paper explores the relationship between digitalization, intelligent transformation and supply chain sustainability in the context of Industry 4.0. Industry 4.0, as the fourth industrial revolution, relies on cutting-edge technologies such as cyber-physical systems, the Internet of Things, and cloud computing to promote profound changes in enterprise business models. The digitization of supply chain management has accelerated significantly, and through real-time data analysis, companies are able to optimize their operations and improve their ability to respond to market demands. At the same time, the application of intelligent technology makes supply chain management more refined and improves the accuracy and efficiency of decision-making. In addition, Industry 4.0 also provides a new path for sustainable supply chain management, through the concept of green energy and circular economy, enterprises in the pursuit of economic efficiency, but also assume environmental responsibility. Research shows that digitization, intelligence and sustainability complement each other and together promote the efficient operation of supply chains. To achieve these goals, enterprises need to actively embrace new technologies, and the government and all sectors of society should also strengthen cooperation to jointly promote the healthy development of the industry.

**Keywords：** industry 4.0; intelligent transformation; supply chain

### 一、介绍

工业4.0，作为第四次工业革命的浪潮，正深刻改变企业经营模式和全球产业链结构。这场变革不仅是技术创新，更是将网络物理系统、物联网（IoT）、云计算、认知计算等前沿技术整合应用的全面转型。其核心目标是推动制造业及相关行业的转型升级，提升供应链的效率和智能化水平<sup>[1]</sup>。

在供应链管理中，工业4.0技术显示出强大的潜力。通过应用这些技术，企业能够建立更加高效、敏捷、响应市场需求的智能供应链。实时数据的生成与分析使得供应链管理更加精细化，帮助企业识别潜在问题并及时优化。大数据、人工智能和机器学习的引入，使得供应链管理能够基于数据做出更精确的决策，降

低成本，提升客户满意度和市场竞争力。

总之，工业4.0推动着供应链管理的深刻变革。企业应积极拥抱新技术，以应对激烈的市场竞争和变化的客户需求。政府和社会各部门应加强合作，共同推动产业4.0的发展，建设更高效、智能和可持续的供应链体系。

### 二、研究设计

#### （一）研究目标

本研究旨在建立一个概念框架，阐明行业4.0背景下的数字化、智能转型和供应链可持续性之间的理论关系，并提出有效的实施建议，为管理者提供有针对性的指导<sup>[2]</sup>。

具体来说，该研究的目的是：

分析产业4.0时代供应链数字化、智能转型和可持续性的内涵和相互关系。通过文献综述和理论分析，将阐明这三个方面之间的联系和影响机制。

基于系统理论，构建一个概念框架，系统地描述工业4.0环境中供应链的转型路径。该框架将为企业实施供应链数字化、智能转型和可持续性提供理论指导。

结合实际案例，提出具体的实施建议，为管理者制定有针对性的转型战略提供参考。这些建议涵盖了技术应用、流程优化、组织变革等多个层次，这将有助于促进供应链的全面升级<sup>[3]</sup>。

通过实现上述研究目标，本研究旨在为工业4.0时代供应链管理的理论和实践发展做出贡献。为企业构建高效、灵活、绿色的新供应链体系提供有价值的理论支持和实践指导。

## （二）研究方法

我们采用定性实证研究设计，并结合深度访谈进行数据收集和分析，旨在深入了解工业4.0的实施过程。与定量研究相比，定性研究能更好地捕捉实施细节和复杂性，深入探讨关键参与者的思维模式、行为动机和挑战。通过访谈，我们能直接获取业务经理、技术人员和政策制定者的第一手经验和见解，了解工业4.0在实际应用中的情况。该研究设计能提供丰富的定性数据，为理论构建和政策制定提供支持，揭示实施过程中的关键驱动因素、挑战和响应策略，从而为决策者提供实际、可操作的基础<sup>[4]</sup>。

## （三）样品选择

我们计划对六位来自不同行业和规模的中国制造企业经理进行深入访谈，以获取关于工业4.0实施的具体信息。这些经理在各自公司担任关键角色，对工业4.0的实施有深入了解。中国作为全球最大的制造业国家，正在推动工业4.0的转型升级，取得了一些进展。然而，由于技术瓶颈、人才短缺和资金不足等问题，实施过程中仍面临挑战。政府和企业通过加强政策支持、加大投资和技术研发等措施，促进了工业4.0的应用。通过访谈，我们希望了解中国制造业企业在实施过程中遇到的困难、采取的措施和取得的成果，为后续的政策制定提供实证数据和支持<sup>[5]</sup>。

## （四）数据收集

我们将采用半结构化的专家访谈收集数据，这种方式结合了结构化和非结构化访谈的特点，既能确保访谈的针对性，又能灵活获得新颖的信息。访谈将围绕预设问题框架进行，同时允许受访者自由分享个人见解和经验。每次访谈的时长为58至120分钟，旨在平衡深度与广度，确保信息的完整性。通过这些访谈，我们希望深入了解工业4.0在中国制造业企业中的实施情况，探讨关键问题、挑战及应对策略，同时收集新的观点和建议，为未来发展提供参考。

# 三、实证研究

## （一）编码

基于专家访谈的实证结果揭示了工业4.0采用中供应链数字化的几个方面。个别专家的陈述被重新编写，分为类别，然后与

次要主题和综合方面相结合。基于地面理论的研究团队的解释是整合和聚合方面之一；这种方法被 Noonan 等人（2004）普遍认可。本报告列出了每个公司的供应链在实行业4.0时必须考虑的一些因素。附录包含了从案例材料中获得的尺寸和类别的描述。对典型受访者的陈述进行编码和分类，其中的主要编码是供应链可持续性、供应链智能和供应链数字化，表1显示了我们的第六个样本的具体编码方法<sup>[6]</sup>。

表1

性别	访谈的提取	聚焦编码	子类别	类别
6 男	我集团通过先进的数据加密技术，严格的数据访问权限管理，并与可靠的网络安全服务供应商合作，建立了完善的信息安全体系，可以保护我公司的秘密。我们还定期对员工进行安全审核和安全意识培训。	数据加密技术，实施严格的数据访问权限管理，建立完善的信息安全体系	数据加密，完善信息安全系统	供应链数字化
6 男	我们与A的知名机构合作，定制培训课程，鼓励员工参与线上和线下的混合学习，举办内部研讨会和技术共享会议，设立人才引进和内部人才培训专项资金。	开发新兴技术的定制培训课程，鼓励员工参与综合学习，提高数字素养	人员培训	供应链数字化，供应链情报，供应链可持续性
6 男	我们集团采用了工业4.0的各种技术，实现了供应链中的实时监控和智能决策。通过数据分析，预测消费需求，优化库存管理。并加强与供应商和分销商的合作。	实现供应链的实时监控和智能决策，管理体系透明、灵活，加强供应商与经销商之间的合作	物联网技术、大数据和云计算技术、智能决策、管理系统透明度	供应链数字化，供应链智能化

## （二）供应链的数字化转型

供应链数字化转型是企业获得竞争优势的关键一步，推动了整个行业的增长。这一转型包括技术、数据和应用程序等多个层面。技术方面，人工智能、大数据分析和物联网的广泛应用提高了供应链的自动化、智能化和可视化水平。数据方面，通过收集、集成和分析数据，企业能够做出精准决策，提升灵活性和透明度。应用方面，自动化和数字化的订单管理、库存优化和物流控制提高了运营效率。然而，企业也面临数据安全、员工培训和标准化等挑战。通过数字化转型，企业能够智能化地进行数据驱动决策、实时监控供应链、优化流程，提高产量并降低成本，同时提升供应链的灵活性和应变能力，更好地应对市场变化。这使得供应链数字化转型成为企业未来发展的重要力量<sup>[7]</sup>。

## （三）供应链智能转型

供应链的智能转型是提升企业竞争力的关键，需要全面整合技术、合作与优化等要素。技术创新，如大数据分析和物联网，是智能供应链的基础，推动系统集成和管理精确化。企业需要与上下游合作伙伴实现深度整合，创造协同效应，并应用设备互

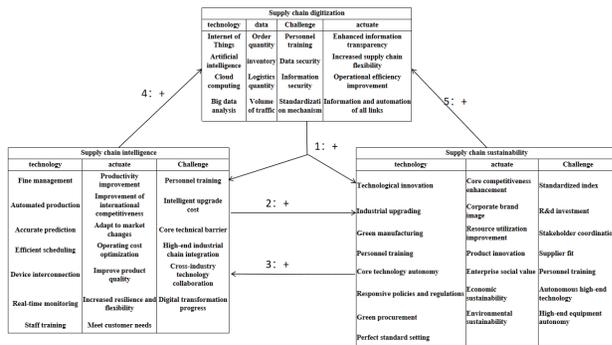
联、精准预测、自动化生产等技术提升供应链的灵活性和响应速度。智能供应链可以实时监控、预测维护成本、智能调度和快速决策，优化资源利用和业务流程。同时，企业需持续投资核心技术、员工培训和设备优化，确保供应链的稳定运行。智能供应链帮助企业了解消费者需求和行业趋势，提升库存管理和应对市场变化的能力，推动持续创新与增长<sup>[8]</sup>。

#### (四) 供应链可持续性

供应链的可持续性旨在提高资源利用效率、减少环境影响并履行社会责任，同时确保长期稳定运行。它通过技术创新、人力资源管理、绿色制造和采购等措施，推动经济、环境和社会的可持续发展。技术创新确保制造和供应的可持续性，绿色制造减少排放和资源消耗，提高环境可持续性。企业还需加强员工培训和利益相关者协作，提升弹性和可持续性。同时，企业的社会责任和品牌形象增强整体可持续性。供应链的可持续发展需要企业、政府和消费者的共同努力，政府提供政策支持，消费者改变购买习惯，企业主动实施可持续措施。持续的投资和优化是确保供应链可持续转型的关键<sup>[9]</sup>。

#### (五) 关系模型

基于编码的结果，我们设计了一个关于供应链智能、供应链数字化和供应链可持续性之间关系的模型，如图1所示。



> 图1

#### (六) 供应链数字化为供应链智能化和可持续性提供了基础

供应链的数字化为可持续性和智能提供了数据和技术框架，它们既相互影响，又受到相互影响。供应链数字化为供应链智能和可持续性奠定了坚实的基础，它使用更复杂的技术工具和数据驱动的过程，为供应链的每一部分提供自动化和信息化。这

提高了制造业的运营效率，并促进了供应链信息的透明度和敏捷性<sup>[10]</sup>。

### 四、结论和缺陷

#### (一) 结论

供应链数字化是推动供应链智能和可持续性的基础，而智能和可持续性反过来又推动了数字化。供应链数字化通过技术和数据支持实现了信息化、自动化和透明度，提高了供应链的敏捷性和运营效率，为供应链的智能化和可持续性奠定了基础。反过来，供应链情报又通过诸如准确预测、资源优化、增加透明度、使用可再生能源和循环经济等措施来促进供应链的可持续性。另一方面，供应链可持续性措施也推动了供应链智能，这需要智能技术来平衡环境、社会和经济效益，并与数字基础深度集成。供应链智能对供应链数字化、加快数字化进程、提高数据价值、扩大数字化边界、提高数字化灵活性有着深远的影响。综上所述，供应链数字化、智能和可持续性相互支持，共同促进了供应链管理的效率、有效性和可持续性。

#### (二) 对未来研究的局限性和建议

虽然我们已验证了供应链智能和可持续性的一定程度的理论饱和，但必须理解，理论饱和的验证是一个渐进的过程，不能仅根据采访者的回答假定已经达到饱和。它需要持续的研究和探索。因此，我们可以通过进一步的文献综述、实证研究、比较研究、学术讨论和辩论来继续验证理论饱和。

此外，虽然上述分析为供应链情报和可持续性提供了一些建议，但我们意识到该研究的一些不足。首先，缺乏具体的实施指导，需要更详细的步骤和方法来指导数字化和智能技术的应用，并探索实施过程中面临的挑战和解决方案。其次，对供应链情报和可持续性的成功至关重要的组织文化和变革管理被忽视了。此外，由于供应链实践和挑战可能因地区和行业而不同，需要更多的区域和行业具体研究来提供更准确的建议。最后，重要的是要注意时间限制；上述分析是基于截至2024年的知识，随着时间的推移的推移，可能会出现需要更新和额外研究的新技术和实践。因此，我们鼓励进一步的研究和探索来填补这些空白，并提供更全面和实用的指导。

### 参考文献

[1] 布兰科, E., 加拉瓦格利亚, 佐丹奴, S., 和蒙塔尼亚, O (2017). 智能供应链: 对未来研究的回顾和启示。《国际物流配送与物流管理杂志》, 47(8), 633-656。  
 [2] 陈, H., 蒋, R. H. L., & Storey, V. C. (2019). 商业智能和分析: 从大数据到大影响。MIS 季度, 43(1), 113-137。  
 [3] 程, 医学硕士, 肖, Y., 沈, B (2018). 绿色供应链管理、技术创新、企业绩效。《清洁剂生产杂志》, 196, 1636-1647。  
 [4] 戴尔, J. H., & Singh, H. (2017) 关系观: 合作战略和组织间竞争优势的来源。《管理学院评论》, 23(4), 660-679。  
 [5] 努南, B.M., Gallor, S.M., 等人 (2004)。挑战和成功: 对身体和感官残疾的女性职业发展的定性研究。心理咨询心理学杂志, 51(1), 68-80。(实际研究)。  
 [6] Fassinger, R.E.(2005). 范式、实践、问题和承诺: 咨询心理学中的基础理论。心理咨询心理学杂志, 52(2), 156-166。  
 [7] 基姆 B.H., Park, K.H., 和 Kim, D. (2018)。评估制造供应链管理可持续性的框架。可持续性, 10(2), 411。  
 [8] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J.(2013). 保障德国制造业的未来: 实施战略倡议工业4.0. 定位位置纸。  
 [9] 塔卢里, S., 和纳拉辛汉, R. (2004)。供应链管理的一个理论: 回顾、含义和未来的发展方向。决策科学出版社, 第35(4)页, 第545-565页。  
 [10] 胡冷. “工业4.0”背景下物流供应链数字化运营模式研究 [J]. 中国储运, 2021,(08):195-196.