

电网物资采购与供应合作的演化博弈研究

章晨¹, 余悦¹, 汤颖丽¹, 夏宁泽¹, 官婧予¹, 王晶^{2*}

(1 国网湖北省电力有限公司 物资公司, 武汉 430014; 2 武汉大学 经济与管理学院, 武汉 430072)

摘要 随着电力设备市场竞争的加剧, 供应链管理对采购商和供应商的协调能力提出了更高的要求. 然而, 供应商之间的合作减少和产品质量下降成为影响供应链绩效的主要挑战. 构建了一个电力设备物资采购商和多个电力设备供应商之间的抽检网络演化博弈模型, 分析了供应商合作强度、良品率、生产能力和采购商定价策略对供应链绩效的影响. 研究得出三条主要结论: (1) 供应商合作强度与良品率直接影响供应链的整体效能; (2) 采购商通过合理增加供应商数量和生产能力可以提升收益, 但过多则会降低收益; (3) 供应商在复杂生产任务中需要加强合作以维持产品质量. 该研究为优化供应链管理、提升整体绩效提供了理论依据.

关键词 物资采购; 物资供应; 演化博弈; 抽检; 绩效优化

中图分类号 N945.1; N941.5 文献标志码 A 文章编号 1672-4321(2026)03-0422-11

doi: 10.20056/j.cnki.ZNMDZK.20250858

An evolutionary game study on power grid material procurement and supply cooperation

ZHANG Chen¹, YU Yue¹, TANG Yingli¹, XIA Ningze¹, GUAN Jingyu¹, WANG Jing^{2*}

(1 Material Branch, State Grid Hubei Electric Power Company, Wuhan 430014, China; 2 School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430074, China)

Abstract With the intensification of competition in the power equipment market, supply chain management has placed higher demands on the coordination capabilities between purchasers and suppliers. However, the decline in cooperation among suppliers and the deterioration of product quality have become major challenges affecting supply chain performance. An evolutionary inspection game model between a power equipment purchaser and multiple suppliers is constructed to analyze the impacts of supplier cooperation intensity, product yield rate, production capacity, and purchaser pricing strategies on overall supply chain performance. The results reveal three key findings: (1) supplier cooperation intensity and product yield rate directly influence the overall efficiency of the supply chain; (2) purchasers can increase their profits by appropriately expanding the number and capacity of suppliers, but excessive expansion leads to diminishing returns; (3) suppliers need to strengthen cooperation in complex production tasks to maintain product quality. The study provides a theoretical basis for optimizing supply chain management and improving overall performance.

Keywords material procurement; material supply; evolutionary game; inspection; performance optimization

随着全球能源需求的持续增长, 电力行业的基础设施建设显得尤为重要. 作为电力系统的关键组成部分, 变压器、高压开关等电力设备直接关系到电力系统的安全、可靠性和效率. 为了确保设备质量和降低采购成本, 电力公司物资采购部门在选择

供应商时, 不仅需要关注供应商的产品质量和价格, 还需考虑供应商之间的技术合作和经验共享, 以最大化采购效益. 然而, 随着电力设备技术不断进步和产品复杂性的增加, 采购商面临的决策难度也日益增加.

收稿日期 2025-10-18

* 通信作者 王晶(1998-), 女, 博士生, 研究方向: 能源与环境管理、电力市场, E-mail: wangjing980808@whu.edu.cn

基金项目 国网湖北物资公司2024年重点电网物资抽检效益量化测算研究技术服务(SGHBWZ00JDJS2400071)

在当前的市场环境中,电力设备供应链呈现出复杂性与不确定性并存的特点。一方面,供应商的生产能力、技术水平和经验积累对产品质量的影响非常大;另一方面,供应商之间的技术合作能够有效提升整体设备质量。然而,由于供应商之间的合作强度、产品的生产难度和市场需求波动等多种因素的复杂性,采购商很难在多供应商环境中做出最优决策。这使得采购商在选择供应商时不仅要关注价格与质量的直接权衡,还需考虑供应商之间的合作效果和长期的质量提升潜力。

当前的困境在于,随着电力设备的复杂性增加,供应商之间的竞争与合作关系变得更加动态化和难以预测。供应商的产品质量不仅取决于其自身的生产能力和技术水平,还受到其与其他供应商的合作程度和经验传递的影响。此外,采购商的采购决策也受到市场需求波动、预算限制以及供应商产品质量动态变化的多重影响。这种复杂的供应链关系使得采购商在采购决策中的不确定性增加,从而可能导致采购成本上升或设备质量无法满足需求。

为了应对上述困境,本文构建了一个电网物资采购和物资供应间抽检评估的动态博弈模型,用于分析电力公司物资采购部门在多个供应商环境下的采购策略,以及供应商在技术合作网络中的质量演化过程。该模型通过邻接矩阵来描述供应商之间的合作强度,反映供应商在技术和经验共享上的互动。供应商的产品质量通过生产能力、生产复杂性以及与其他供应商的合作关系动态演化,而采购商则根据供应商的产品质量和价格调整采购决策。采购商与供应商的采购关系通过矩阵表示,采购量与供应商的良品率直接相关。供应商的产品定价策略和合作强度则依据费米函数动态更新,模拟供应商根据收益差异做出的市场反应。

通过该模型的构建与仿真,我们可以更好地理解供应商之间的合作如何影响产品质量的提升,以及采购商如何根据供应商的质量与价格做出最优的采购决策。该模型为电力设备采购的复杂供应链管理提供了一个系统化的分析框架,帮助采购商在不确定的市场环境中做出更加合理的采购选择。

1 综述

近年来,随着电力设备市场需求的持续增长和产品种类的不断丰富,质量与成本管理在采购决策

中变得愈发关键。研究者提出了多种方法以平衡采购环节中的质量保障与成本控制,其中抽检机制与基于风险的质量检查策略被认为是兼顾成本约束与质量可靠性的有效手段^[1]。抽检机制作为采购过程中的核心环节,能够在不完全检测条件下实现质量监督与风险防范。通过合理设定抽检率、质量阈值及惩罚标准,采购商可以在有限预算下有效降低劣质产品风险,提升采购效率与供货可靠性^[2-3]。相关研究指出,抽检不仅在产品质量控制中具有重要作用,更是采购商识别优质供应商与优化供应结构的关键依据^[4-5]。例如,文献[6]提出了基于抽检的供应商质量评估方法,通过将抽检结果与供应商信誉度相结合,建立了惩罚与激励并存的质量控制机制,从而显著提升了供应链整体的产品合格率与运行绩效。进一步地,文献[7]研究了质量投资与检验政策的最优组合,并指出,供应链双方在生产与检验环节中均面临缺陷风险,若信息不对称或合作程度不足,将导致整体质量控制效率下降。

随着电力设备制造的复杂性和技术含量不断提升,供应商之间的关系也由单纯竞争逐渐演化为“合作—竞争”并存的复杂网络结构。越来越多研究发现,供应商之间的合作有助于形成知识共享与资源互补,从而提高产品创新能力与生产效率^[8-9]。在这一背景下,博弈论方法被广泛应用于刻画供应商之间的策略互动过程^[10]。学者们通过构建供应商网络关系模型,揭示了合作强度、信任水平、信息透明度以及利益分配机制对供应链绩效的影响机制。研究表明,合理的合作网络不仅可以缓解供应商间的信息不对称问题,还能通过合作学习与技术交流促进整体质量提升,为采购商设计激励与约束机制提供了重要的理论依据。此外,部分研究还指出,当供应商合作关系形成稳定联盟后,采购方的议价能力与质量控制策略将发生动态调整,这进一步丰富了供应商管理的理论框架。

另一方面,电力设备供应链普遍面临需求波动、价格不确定性以及交付风险等挑战^[11]。在这种复杂与动态的环境中,系统动力学模型与动态博弈模型逐渐成为分析采购方与供应方策略互动的核心工具^[12-13]。动态博弈模型能够捕捉市场参与者在多阶段决策中的学习与适应行为,通过引入费米函数、邻接矩阵等机制,模拟供应商合作关系和报价策略的演化路径,从而为采购商优化抽检决策与预算分配提供量化依据^[14]。值得注意的是,随着物联网、区块链与大数据技术的广泛应用,学者们开始

探索智能监测、实时追踪与数据驱动的质量控制体系,以提升抽检效率和供应链透明度.研究发现,这些新兴技术不仅能增强采购方对供应商行为的可观测性,还能支持动态抽检与预警机制的实现,从而提高供应链韧性与风险响应能力^[15-16].

根据已有研究,电力设备采购中的质量控制和成本管理虽然取得了一定进展,但仍存在一些不足之处,亟待进一步深入研究.首先,关于抽检机制的研究主要集中在如何通过抽检提升供应链整体质量,但对抽检频率、抽检成本与质量提升的具体关系仍缺乏系统的量化分析,并且现有研究往往只关注抽检的静态效果,而忽视了抽检在长期动态演变中的作用.其次,虽然部分研究探讨了供应商之间的合作与竞争对采购决策的影响,但对于供应商之间技术共享的效果如何在不确定性的市场环境中发挥作用,仍然缺少系统的探讨.最后,尽管动态博弈模型已被广泛应用于供应链管理中,但多数研究仅关注单一因素(如价格或质量)对采购决策的影响,而较少同时考虑多维因素的综合影响.尤其在电力设备的采购领域,动态博弈模型如何更全面地结合市场波动、供应商合作及质量控制等多因素,是当前研究的一个重要空白.此外,现有的模型多为理论推演,缺乏实际应用的验证,使得其在真实采购决策中的指导意义有限.因此,未来研究需要更多地结合实际数据,以验证模型的适用性和有效性,并针对不同情境下的采购策略提出更加切实可行的优化方案.

2 模型

2.1 模型假设

电力公司物资采购部作为采购商向 N 个电力设备供应商采购电力设备.每个供应商提供 K 种电力设备,设备包括如变压器、高压开关、输配电线路设备等关键电力基础设施.供应商之间通过合作网络分享技术和经验,优化设备生产与供应.供应商之间的合作关系通过邻接矩阵 a_s 表示,矩阵元素 $a_s(i, j) \in [0, 1]$ 表示供应商 i 和供应商 j 之间的合作强度. $a_s(i, j) = 1$ 表示完全合作, $a_s(i, j) = 0$ 表示没有合作.

电力公司物资采购部过邻接矩阵 a_b 表示其与各供应商的采购关系,矩阵元素 $q_b(j) = [q_b(j, 1), q_b(j, 2), \dots, q_b(j, K)]$ 表示采购商从供应商

j 采购的产品 k 的数量,采购量与供应商的良品率 R_i 相关.

供应商 i 的主要决策变量是其对每种电力设备的单价 m_i^k , 供应商的良品率 R_i^k 动态演化,衡量供应商提供的电力设备的质量水平.其良品率演化方程为:

$$R_i^k(t+1) = R_i^k(t) \left(1 - \frac{C^k}{P_i} \right) + \sum_{j \neq i} a_s(i, j) (\alpha T_j + \beta E_j) e^{-\gamma \frac{C^k}{P_j}} + I_i \phi(C^k, P_i), \quad (1)$$

其中, R_i^k 表示供应商 i 在第 t 轮时的电力设备良品率. C^k 代表电力设备(如变压器等高端设备)的生产难度, P_i 是供应商的生产能力.较高的生产能力意味着供应商能更好地应对复杂的设备生产,从而提高设备良品率. $\left(1 - \frac{C^k}{P_i} \right)$ 表示供应商 i 提供的第 k 种产品的生产复杂性对良品率的影响.产品的复杂性 C^k 越高,生产能力 P_i 越低,则这一项将降低供应商的初始良品率.生产能力 P_i 越高,供应商能更好地应对复杂的产品生产,良品率会更高. $a_s(i, j)$ 反映供应商间合作带来的良品率提升.例如,技术领先的供应商可能开发出更先进的高压设备生产工艺,进而通过合作帮助其他供应商提升其设备质量. αT_j 表示供应商 j 的技术水平对合作中良品率提升的贡献. T_j 是供应商 j 的技术水平, α 是该技术在合作中带来良品率提升的系数. βE_j 表示供应商 j 的经验积累对合作中良品率提升的贡献.经验越丰富, E_j 越大,合作带来的良品率提升越多. $e^{-\gamma \frac{C^k}{P_j}}$ 表示供应商 j 的生产能力 P_j 和产品复杂性 C^k 之间的关系对合作效果的调节.更高的复杂性 C^k 将降低合作的有效性,但如果供应商 j 的生产能力 P_j 足够强,合作的效果会被放大. $\phi(C^k, P_i) = \frac{C^k}{P_i^2}$ 是投资能力对良品率提升的函数,表示投资如何帮助供应商提升产品质量,减小复杂性对生产的负面影响.

供应商 i 的收益由两部分组成:采购商的采购量和供应商的生产成本,可以表示为: $\pi_i = \sum_k (q_b(i, k) m_i^k - C_i^k)$, 其中, $q_b(i, k) = D_k \left(\frac{R_i^k}{m_i^k} \right)^\eta$ 是采购商根据供应商 i 提供的良品率 R_i^k 调整的采购量,其中, D_k 是采购商采购该产品的基准需求, m_i^k 表示供应商 i 提供的第 k 种产品的单价. η 表示价格弹性,表示采购商对价格变化的敏感度.如果 $\eta > 1$, 价格

小幅上涨会导致采购量大幅下降;如果 $\eta < 1$, 说明采购商对价格的变化不太敏感。

采购商的收益不仅依赖于供应商提供的产品质量与价格,还取决于市场的需求和采购商的定价策略.采购商通过对各供应商的产品质量及市场价格波动进行分析,调整自己的采购策略和定价策略,以实现收益最大化.采购商的总收益函数可以表示为:

$$\begin{aligned} \pi_b = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \left[p_0 (R_i^k)^\alpha - \theta (m_i^k)^\beta - D_i^k \right] q_b(i, k) \\ \text{s.t. } \sum_k q_b(i, k) m_i^k = B, \end{aligned} \quad (2)$$

p_0 表示市场对高质量产品的基本需求价格,即质量越高,采购商的销售价格越高. θ 是定价敏感系数,反映采购商对供应商提供的价格 m_i^k 的反应,即采购商要维持一定的利润,价格上涨时销售利润降低. α 和 β 是反映质量和价格对采购商定价的弹性参数,分别表示采购商对产品质量和价格的敏感度. D_i^k 是采购商采购第 k 类产品时的综合成本,它不仅包含向供应商支付的采购价格,还包括运输、仓储等附加成本,反映了采购商实际承担的单位成本水平. B 是采购商的总预算。

2.2 演化规则

供应商 i 提供的第 k 种产品的价格 m_i^k 可以根据基准价格 m_i^{k0} 进行调整,调整量 $\Delta m_i^k(t)$ 受费米函数影响,反映出供应商对市场 and 竞争对手收益差异的反应.其中, m_i^k 表示供应商对第 k 类产品所报出的销售价格。

$$m_i^k(t+1) = m_i^{k0} + \Delta m_i^k(t), \quad (3)$$

$$\Delta m_i^k(t+1) = \Delta m_i^k(t) + \delta_m \left[\frac{1}{1 + e^{-(\pi_j - \pi_i)}} - \Delta m_i^k(t) \right], \quad (4)$$

其中, m_i^{k0} 是供应商 i 提供第 k 种产品的基准价格,代表供应商设定的初始价格. $\Delta m_i^k(t)$ 表示价格在基准价格上的调整幅度,根据市场反馈动态更新. δ_m 是价格调整的步长,表示价格对市场竞争的敏感性. π_i 和 π_j 分别为供应商 i 和供应商 j 的当前收益. 供应商 i 根据收益差异调整其价格策略. 费米函数 $\frac{1}{1 + e^{-(\pi_j - \pi_i)}}$ 模拟供应商根据收益差异来做出定价调整的概率. 如果供应商 j 的收益 π_j 高于供应商 i , 那么供应商 i 可能会调整其价格 $m_i^k(t+1)$ 以提升竞争力。

供应商之间的合作强度 $a_s(i, j)$ 随着时间动态更新,更新机制采用费米函数来模拟供应商根据过去

的合作收益决定未来是否加强或减弱合作,如下所示:

$$a_s(i, j)(t+1) = a_s(i, j)(t) + \delta \left[\frac{1}{1 + e^{-(\pi_j - \pi_i)}} - a_s(i, j)(t) \right], \quad (5)$$

其中, δ 是调整步长,表示合作强度的变化速率。

3 仿真

3.1 参数设置

在本模型的外生参数设置中,我们尽量依据现实市场情况和最新行业报告进行合理的调整.首先,供应商的生产能力 P_i 是根据全球电力设备市场的增长趋势设定的.2024年,全球电力设备市场预计将达到1.72万亿美元,年均复合增长率为6.8%.为了反映不同规模的供应商,我们将大型供应商的生产能力设定在1000以上,而中小型供应商的生产能力则设定为100至500,以区分企业在市场中的地位与产能差异.设备生产复杂性 C^k 则根据不同电力设备的技术要求来设定.变压器作为关键设备,其技术复杂性较高,近年来交货周期也显著延长,从50周增加到80至210周不等.因此,我们将变压器的复杂性设定为100,而技术要求相对较低的输配电线路设备则设为50,反映了市场对这些设备的需求和制造难度.供应商的技术水平 T_j 和经验水平 E_j 的设定依据其市场表现和研发能力.技术领先的大型供应商通常有更高的研发投入和市场积累,我们将其技术水平设为8至10,经验水平为6至8.而中小型供应商的技术水平较低,设为5至6,经验水平为3至5.这种差异化设定反映了不同类型企业在技术和经验方面的竞争力.在采购商的基准需求价格 p_0 方面,根据电力设备的市场价格,变压器等高端设备的市场价在100万至500万人民币之间.因此,采购商对高质量产品的基准需求价格设定在200到300,确保模型反映出采购市场对优质电力设备的需求水平.价格弹性 η 则用来模拟采购商对价格变化的敏感度.电力设备通常具有较强的刚性需求,因此价格变动对采购量的影响相对较小.结合市场的实际情况,我们将价格弹性设定为0.5,表示价格变化对采购行为的中等影响.预算 B 的设定基于电力公司在设备采购中的实际支出水平.根据行业数据,某些大型电力公司每年的电力设备采购预

算可以达到数亿人民币,因此我们将采购商的预算设定在 5000 到 10000 之间,以确保模型能合理反映采购商的支出能力.通过对这些参数的详细设

定,模型可以更加贴近实际市场中的电力设备采购行为,并能够反映供应商与采购商之间的动态互动.具体的算法伪代码如表 1 所示.

表 1 算法伪代码

Tab. 1 Algorithm pseudocode

输入: N 个供应商, K 种产品, 初始化生产能力 P 、产品复杂性 C 、技术 T_j 、经验 E_j 、良品率 R 、价格 m 、预算 B 等

输出: 最优采购量, 收益最大化下的供应商良品率演化, 各主体价格动态, 合作强度变化

步骤:

1. 初始化参数

N 个供应商, K 种产品, 初始化生产能力 P 、产品复杂性 C 、技术 T_j 、经验 E_j 、良品率 R 、价格 m 、预算 B 等

初始化供应商合作矩阵 A_s 和采购矩阵 A_b

2. 定义 PSO 优化器

初始化粒子群、速度和位置, 定义目标函数为采购商的收益最大化

在最大迭代次数内, 更新粒子的位置、速度, 找到最优解

3. 仿真循环 (T 步)

For t in $[0, T]$:

 计算供应商收益

 使用 PSO 优化采购量, 找到最优采购量 D_i^t

 更新采购量 q_b , 基于 D_i^t 和良品率 $R_i^t(t)$

 更新供应商良品率, 考虑合作和投资效应

 更新价格, 基于供应商收益差异

 更新合作强度, 基于收益差异调整合作

 记录历史数据(良品率、价格、合作强度)

3.2 基准分析

供应商之间的合作强度和产品的良品率是影响整个供应链绩效的关键因素.同时,采购商通过定价策略和采购量调整来优化自身收益,与供应商的互动对双方的利润产生重要影响.为深入分析这一动态关系,本文通过仿真模型,研究了采购商与供应商的收益和定价变化情况.图 1 和图 2 展示了仿真过程中供应商良品率与合作强度的变化,以及采购商和供应商在收益和定价方面的调整情况,从中可以看到供应链各方的动态博弈与市场反应.

在图 1 中,采购商的收益在仿真初期迅速上升并趋于稳定,维持在约 360000 的高位,显示出采购商在市场中具有较强的议价能力,能够通过稳定的采购策略获得较高利润.而供应商的总收益在前几轮后急剧下降,几乎趋于 0,表明供应商在面临价格竞争和需求下降时失去了市场份额.这可能是由于供应商的产品质量下降导致采购需求减少.供应商的定价在早期经历了一些波动后趋于平稳,最终维持在 128.6 左右,反映了供应商在市场竞争中达成了某种价格均衡.经济上,这意味着供应商的价格调整可能无法弥补质量下降带来的损失,而采购商则通过稳健的定价策略保持了利润的稳定.管理上,采购商在供应链中处于有利地位,但为了长期

的供应链健康发展,仍需关注与供应商之间的合作关系,确保供应商能够通过合理的利润维持其技术和产品质量的提升.

在图 2 中,供应商的良品率从最初的约 0.865 逐渐下降到约 0.83,呈现出缓慢但持续的下降趋势.与此同时,供应商之间的合作强度也从 0.48 下降至 0.45.良品率的下降意味着供应商在维持产品质量方面面临挑战,可能受到生产能力的限制、技术共享减少或成本压力等因素的影响.合作强度的下降表明供应商之间的协作减少,技术与经验的共享不足以维持高水平的产品质量.管理上,这提醒供应商需要加强合作与技术创新,避免因质量问题导致市场竞争力的削弱,特别是在高端设备生产中的协同合作将是关键.此外,供应链管理者应鼓励供应商之间的合作,强化协作效应,以提高整体供应链的效能.

3.3 敏感性分析

3.3.1 供应商数量敏感性分析

为了研究供应商数量对采购商收益、供应商总收益、供应商良品率以及供应商合作强度的影响,本文进行了多次仿真试验,并通过图 3 直观展示了关键变量在不同供应商数量条件下的变化趋势.

图 3 展示了供应商数量对采购商收益、供应商

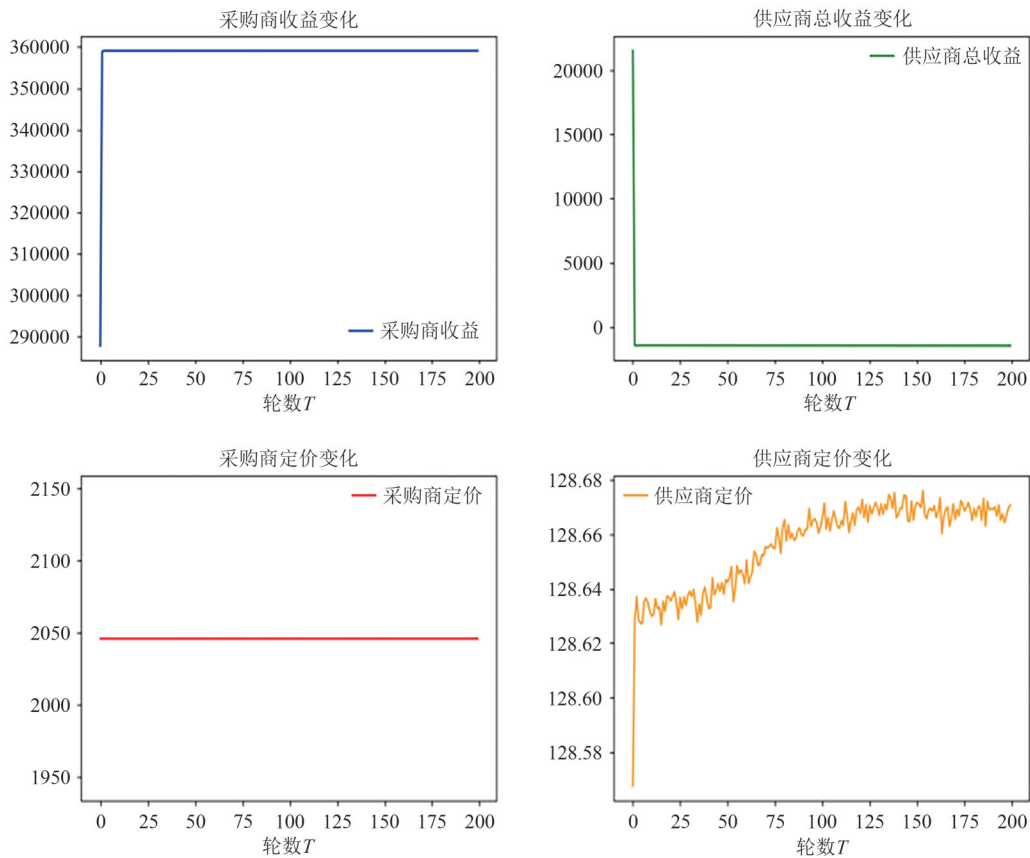


图 1 采购商和供应商收益和决策演变趋势

Fig. 1 Evolutionary trends of purchaser and supplier profits and decisions

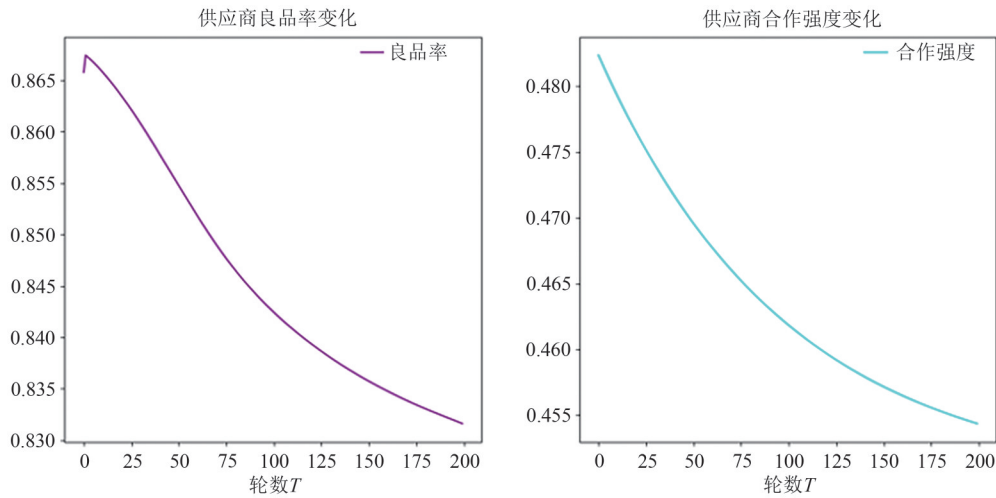


图 2 良品率和合作强度演变趋势

Fig. 2 Evolutionary trends of yield rate and cooperation intensity

总收益、供应商良品率和供应商合作强度的影响。在采购商收益方面,当供应商数量增加到20时,采购商收益达到约40万的峰值,之后随着供应商数量进一步增加,收益逐渐回落并趋于平稳。供应商总收益则呈现出持续下降的趋势,供应商数量从5增加到45时,总收益从约-2000下降至-10000。这表明供应商之间的竞争加剧导致利润空间被不断压缩。

此外,供应商的良品率随着供应商数量的增加而迅速提升,当供应商数量达到15以上时,良品率接近1.0,表明供应商间的合作显著提升了产品质量。供应商合作强度在供应商数量达到15时达到最大值,随后趋于平稳。采购商通过增加供应商数量可以提升议价能力,获得更大的收益,但过多的供应商会增加协调和管理成本,导致收益下降。对于供应商

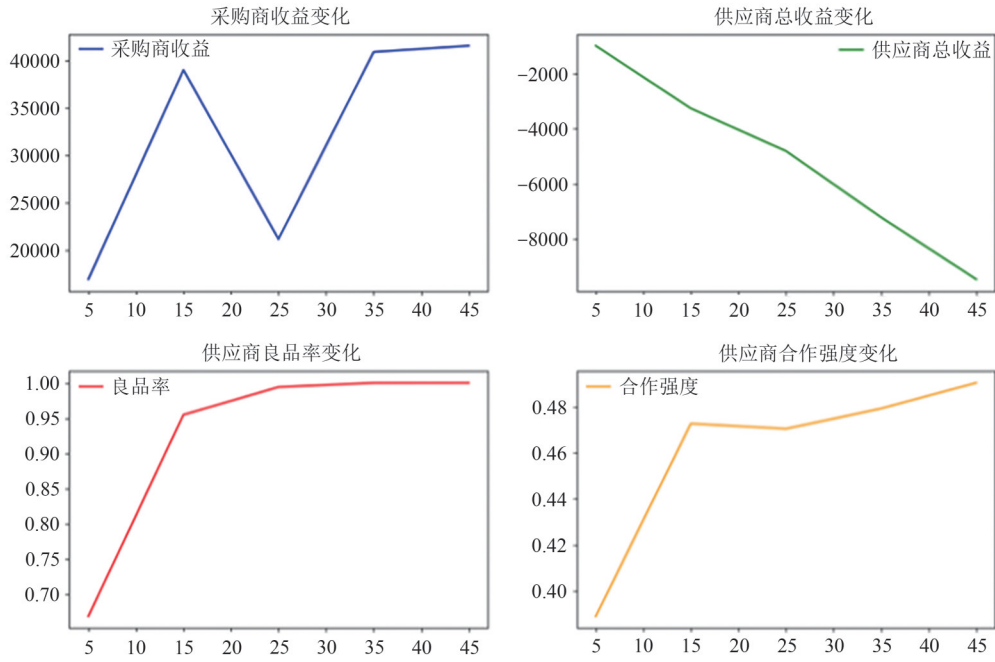


图3 供应商数量敏感性分析

Fig. 3 Sensitivity analysis on the number of suppliers

来说,市场竞争虽然能提升产品质量,但过度竞争将降低其利润.因此,在管理上,采购商应合理控制供应商数量,平衡供应商竞争与合作的关系,以提高收益并降低管理成本.供应商则应注重通过合作提升产品质量,同时在竞争中保持合理的利润空间,以实现可持续的市场竞争力.这为供应链管理中的供应商选择和合作策略提供了有效的指导.

3.3.2 供应商平均生产能力敏感性分析

为了进一步研究供应商平均生产能力对采购商收益、供应商总收益、供应商良品率以及供应商合作强度的影响,本文进行了仿真分析,生成了如图4所示的结果.图4展示了随着供应商平均生产能力的增加,关键变量如采购商收益、供应商总收益、供应商良品率和合作强度的变化趋势.

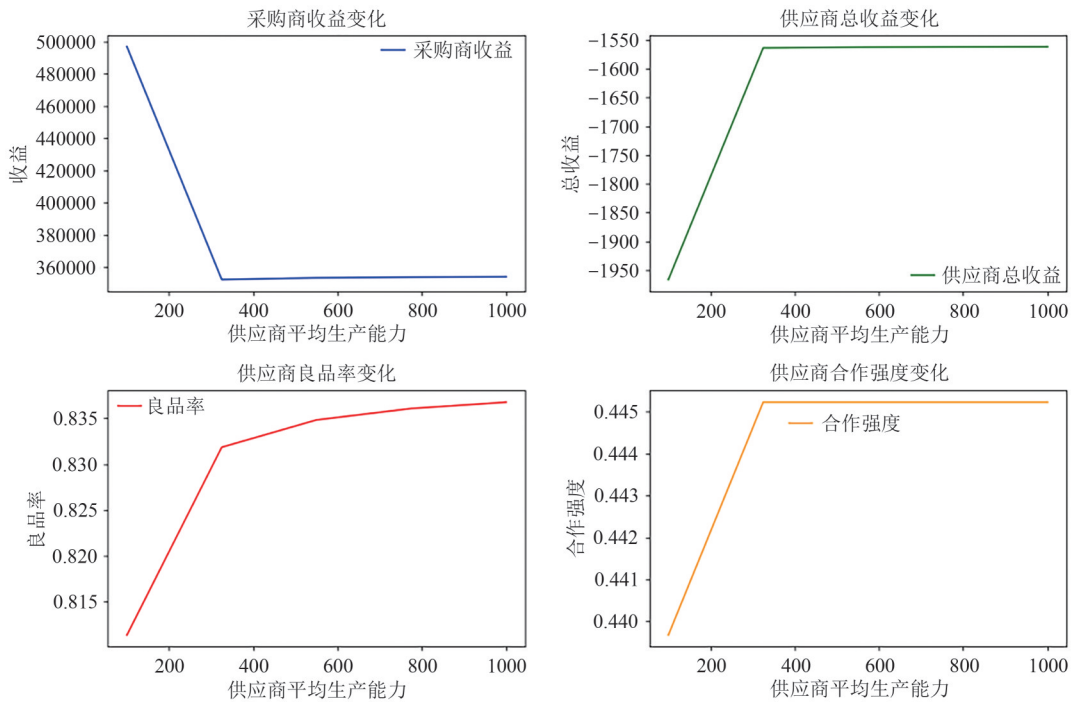


图4 供应商平均生产能力敏感性分析

Fig. 4 Sensitivity analysis of suppliers' average production capacity

从图 4 中可以看出,采购商收益随着供应商平均生产能力的增加呈现明显的下降趋势.采购商收益从初始的约 48 万下降至 36 万,并在生产能力达到 400 后趋于平稳.这表明,供应商生产能力的提高并未持续带来采购商的收益增加,反而在一定程度上降低了采购商的收益.供应商总收益则在生产能力达到 400 之前逐步上升,最高达到约 1550,随后保持不变.这表明,供应商生产能力的提升在初期能够增加总收益,但当能力达到一定水平后,收益不再有明显变化.供应商良品率随生产能力增加而上升,从约 0.815 增加到 0.835 左右,表现出生产能力提升对质量改进的正向作用.最后,供应商的合作强度也随着生产能力的增加而上升,尤其在生产能力达到 400 时出现较大幅度的提升,并随后保持稳定.供应商的生产能力对采购商的收益有重要影响.虽然提高生产能力有助于提升供应商的良品率和合作强度,但并未持续提高采购商的收益,甚至可能由于生产过剩或供应链协调成本增加,导致采购商收益下降.因此,采购商在选择供应商时应适

当平衡生产能力与供应链管理成本,避免过度依赖高生产能力的供应商.对于供应商而言,提升生产能力在初期有助于提高总收益和产品质量,但当生产能力达到一定水平后,收益增长的边际效益减弱.因此,供应商应注重通过技术创新和合作优化来提升竞争力,而非一味追求生产能力的提升.这为电力设备供应链管理中的生产策略提供了重要启示:在制定生产扩张策略时,企业需要充分考虑市场需求和合作网络的协调效应,以实现可持续的收益增长.

3.3.3 电力设备生产复杂度的敏感性分析

为了分析电力设备生产的复杂度对供应链中的各方的影响,本文模拟了电力设备生产平均复杂度变化对采购商收益、供应商总收益、供应商良品率和供应商合作强度的影响,并生成了图 5.该图清晰地展示了生产复杂度的提升如何影响供应链的关键经济指标,从而为电力设备采购和供应商管理提供了参考.

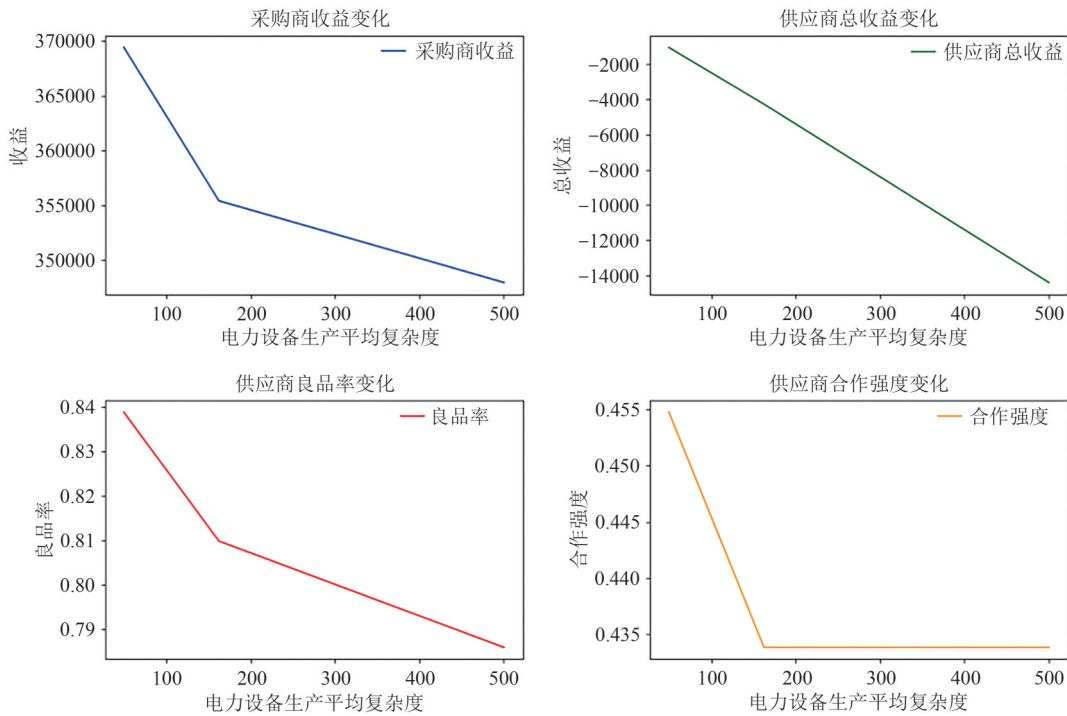


图 5 电力设备生产复杂度敏感性分析

Fig. 5 Sensitivity analysis of power equipment production complexity

从图 5 中可以看出,随着电力设备生产复杂度的增加,采购商收益呈现出明显的下降趋势,从约 37 万逐渐下降至 35 万左右,表明生产复杂度提升对采购商的收益带来了负面影响.供应商总收益也随生产复杂度的增加不断下降,从约 -2000 下降

到 -14,000 左右,反映出更高的生产复杂度增加了供应商的生产成本,压缩了供应商的盈利空间.供应商的良品率随着生产复杂度的增加也逐渐下降,从约 0.84 降至 0.79,说明生产复杂度的提升降低了供应商生产高质量产品的能力.此外,供应商

之间的合作强度在生产复杂度增加时也显著下降,从 0.455 下降至 0.435 左右,表明在复杂生产环境中,供应商之间的协作减少,可能是由于生产技术难度加大导致合作的有效性下降.生产复杂度的提升增加了供应商的生产成本,并降低了其提供高质量产品的能力,这直接影响到供应商的盈利水平以及采购商的收益.因此,采购商在选择供应商时需谨慎评估产品的生产复杂性,并权衡复杂设备的采购成本与其可能带来的附加价值.同时,供应商在面对高复杂度生产时,应通过提升生产技术或加强与其他供应商的合作,以应对复杂

性的挑战.管理层面上,适当降低生产复杂度或优化生产流程将有助于提升产品质量,增加收益,并促进供应商之间的协作效益,从而实现供应链的整体优化.

3.3.4 物资采购预算敏感性分析

为了探讨物资采购预算对采购商收益、供应商总收益、供应商良品率以及供应商合作强度的影响,本文进行了模拟分析,生成了如图 6 所示的结果.图 6 展示了不同的采购预算水平下,采购商与供应商之间的关键变量变化趋势,为采购策略的优化及供应链管理提供了数据支持.

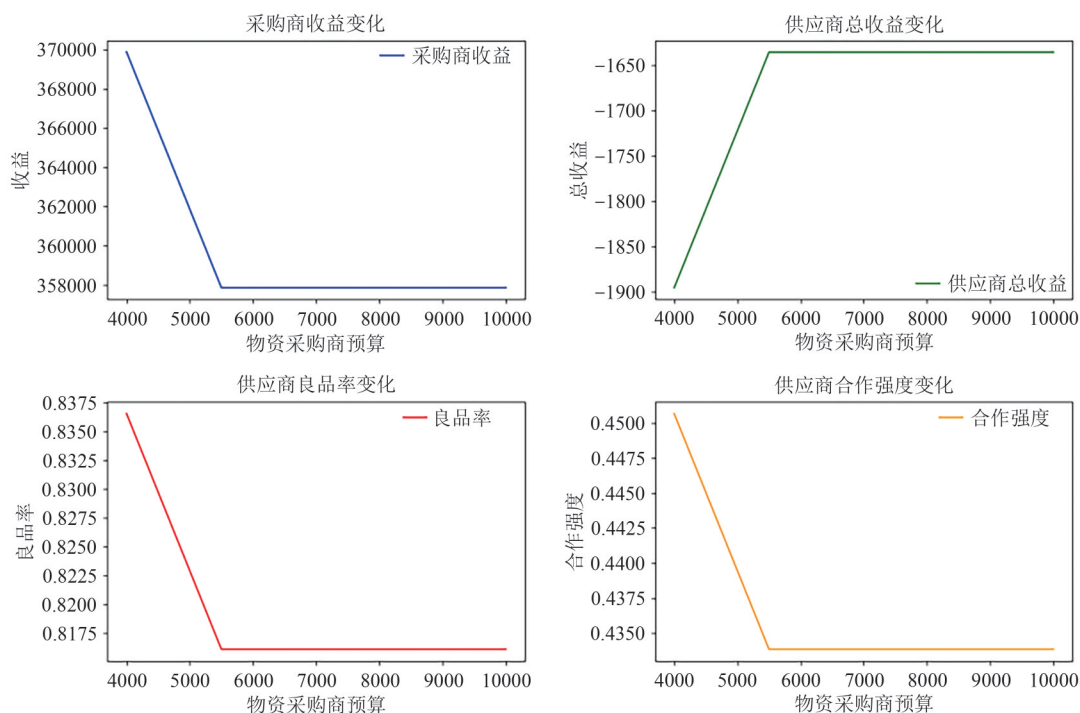


图 6 物资采购预算敏感性分析

Fig. 6 Sensitivity analysis of material procurement budget

从图 6 中可以看出,随着物资采购预算的增加,采购商的收益从最初的约 37 万逐渐下降到约 35.8 万,且在预算达到 5000 后趋于平稳.这表明,采购预算的增加并未持续提高采购商的收益,反而可能由于采购成本的上升导致收益下降.供应商总收益在预算从 4000 增加到 5000 时迅速上升,达到约 -1650 的水平,之后保持不变,说明供应商能够在一定的预算范围内通过竞争获得更多的收益,但超过某一预算水平后收益趋于稳定.供应商的良品率随着预算的增加从约 0.8375 下降到约 0.8175,表明随着采购预算的增加,供应商提供的产品质量可能下降,这可能是由于供应商在成本压力下选择了降低生产标准.供应商的合作强度也呈现出类似的下降趋

势,从 0.450 下降到 0.435,说明在预算增加的情况下,供应商之间的合作减少,可能是因为竞争加剧导致了合作的弱化.采购商在制定采购预算时需谨慎平衡投入与收益的关系.过高的预算并不一定能带来更多的收益,反而可能因为管理成本增加和质量控制不力导致采购商收益下降.同时,供应商在面对增加的采购预算时,虽然总收益有所提升,但质量和合作强度的下降表明,过度的市场竞争可能削弱供应链中的合作效应和产品质量.因此,管理层应在设定采购预算时,考虑适当的竞争环境,以确保供应商能够在提供高质量产品的同时,维持合作和创新的积极性.这为电力设备采购和供应链管理中的决策提供了重要的参考.

4 结语

随着全球市场竞争的加剧和生产任务的复杂化,供应链管理的效率和协调能力对企业的竞争力产生了深远影响.在电力设备采购和生产领域,供应商的良品率、合作强度、采购商的定价策略等关键因素对供应链绩效起着决定性作用.然而,随着供应商数量和生产复杂度的增加,如何优化这些变量,提升供应链的整体效能,成为了企业和政策制定者需要关注的焦点.

为了解决这一问题,本文构建了一个仿真模型,动态分析了供应商与采购商之间的互动关系,尤其关注了供应商合作强度、良品率、生产能力、采购量等因素对供应链绩效的影响.通过对采购商与供应商的收益、定价调整及合作强度变化的模拟,揭示了这些变量在不同条件下的相互作用机制,为优化供应链管理提供了理论依据.通过模型仿真,本文得出了以下三条主要结论:(1)供应商合作强度与良品率对供应链绩效至关重要:供应商的合作强度和良品率是影响供应链整体绩效的关键.随着合作强度的下降,供应商良品率显著下降,说明供应链中的协作减少会导致质量下降,进而削弱供应链的竞争力.因此,供应商之间的合作对于维持高质量的生产至关重要,特别是在技术和经验共享方面具有重要作用.(2)采购商收益受供应商数量和生产能力影响显著:采购商通过适当增加供应商数量和生产能力,可以在一定程度上提升收益.然而,当供应商数量或生产能力过高时,采购商的收益会因管理复杂性和协调成本的增加而趋于下降.因此,采购商在供应链管理中需要合理控制供应商数量和生产能力,以最大化其收益并降低管理成本.(3)供应商在面临复杂生产任务时需要加强合作:随着生产复杂度的增加,供应商的良品率和合作强度显著下降.这表明在生产复杂的环境下,供应商之间的协作和技术共享显得尤为重要.通过加强合作,供应商可以提升应对复杂生产任务的能力,避免质量下降带来的市场竞争力削弱.

为提高供应链的整体效能,供应链管理者 and 政策制定者应重视供应商之间的合作,并采取措施促进技术共享与协同发展,特别是在高端和复杂产品生产.以下政策建议将有助于推动供应链的健康发展:(1)鼓励供应商之间的技术合作:政府和行业协会可以通过激励机制推动供应商之间的技术合

作与经验分享.通过建立合作网络,供应商可以共同提升产品质量,减少生产中的技术瓶颈.这不仅有助于提高供应链的整体效能,也能通过质量的提升带来长期的市场竞争优势.(2)优化采购商的定价与供应商选择策略:采购商应合理控制供应商数量和生产能力,避免由于过多供应商导致的管理和协调成本上升.通过透明且灵活的定价机制,采购商可以在保障自身利益的同时,确保供应商获得合理的利润空间,从而激励供应商不断提升产品质量和创新能力.(3)支持供应商技术创新和能力提升:政府应鼓励供应商加大技术创新投入,通过产学研合作的方式提升其生产能力,特别是在面对复杂生产任务时.通过技术创新和合作优化,供应商能够提高良品率,增强其在供应链中的竞争力,实现长期的可持续发展.

总的来说,供应链的绩效不仅依赖于各方的独立运作,更依赖于供应商与采购商之间的合作与协调.通过加强供应商的合作,优化采购策略,并支持技术创新,供应链的整体效益将得以提升,实现更高的市场竞争力与可持续性发展.

参考文献

- [1] 张清玉,朱晓俊,费翔,等.浅谈电力物资储检配一体化管理模式[J].物流工程与管理,2022,44(10):145-150.
- [2] 井伟,肖少非,杨店飞.电网物资出厂试验抽检标准化管理体系建设[J].中国设备工程,2018(22):28-29.
- [3] YANG L, FAN J, LIU Y, et al. A review on state-of-the-art power line inspection techniques[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2020, 69(12): 9350-9365.
- [4] 王振河,周涛,张阳.“储检一体化”物资质量自动化抽检方法及自动化设备应用研究[J].中国设备工程,2020(10):172-174.
- [5] 李明,章大明,冯亮,等.物资质量监督差异化抽检策略研究[J].中国电力企业管理,2021(36):44-45.
- [6] 丁伟,乐文静,罗拥军,等.基于模糊层次法的配电变压器抽检实验室能效评估研究[J].高压电器,2023,59(5):216-220.
- [7] HSIEH C C, LIU Y T. Quality investment and inspection policy in a supplier-manufacturer supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 202(3): 717-729.
- [8] 徐晓璇,张瑜,陈静.基于区块链的供应链绿色采购演化博弈研究[J].生态经济,2023(12):79-86.
- [9] 张婧卿,倪长爽.电网物资供应商分级管理策略及实践应用研究[J].中国商论,2024(4):121-124.

- [10] YOUSEFI S, JAHANGOSHAI REZAEI M, SOLIMANPUR M. Supplier selection and order allocation using two-stage hybrid supply chain model and game-based order price[J]. *Operational Research*, 2021, 21(1): 553-588.
- [11] 沈坤荣, 乔刚. 供应链创新、不确定性与企业资源配置——基于存货调整视角[J]. *经济管理*, 2024, 46(9): 49-68.
- [12] 刘诗敏. 利益驱动下供应商与制造商的策略选择与分析——基于博弈论[J]. *商场现代化*, 2021(19): 29-31.
- [13] 李俊豪, 陈克红, 董克, 等. 考虑银企博弈的供应商应收账款融资决策研究[J]. *运筹与管理*, 2024, 33(5): 98-104.
- [14] 赵晶, 王纯. 基于博弈论和系统动力学的物流供应链能力决策研究[J]. *自动化与仪器仪表*, 2024(9): 5-9.
- [15] 章光东, 孙楷淇, 廖根宇, 等. 基于大数据的电网设备供应链溯源管理评价体系研究[J/OL]. *自动化技术与应用*, 2024: 1-5. (2024-10-21). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1474.TP.20241018.1022.032.html>.
- [16] 颜玥, 刘名武, 董欣蔚, 等. 双视角下考虑不同保鲜策略的生鲜供应商区块链采用决策[J/OL]. *系统工程理论与实践*, 2025: 1-18. (2025-08-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20250821.1621.010.html>.

(责编&校对 雷建云)