

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2026.06.002

基于主体仿真的制造企业生产模式竞争与市场演化^①

刘艺铭^{1,2}, 练俊超³, 袁铭扬⁴, 贺舟^{2,5,6*}

(1. 中国科学院数学与系统科学研究院, 北京 100190; 2. 中国科学院大学经济与管理学院, 北京 100190; 3. 中国科学院大学中丹学院, 北京 101408; 4. 中国信息通信研究院, 北京 100191; 5. 中国科学院大学数字经济监测预测预警与政策仿真教育部哲学社会科学实验室, 北京 100190; 6. 中国科学院大数据挖掘与知识管理重点实验室, 北京 100190)

摘要: 制造企业主要有按订单生产(MTO)和按库存生产(MTS)两种生产模式. 不同模式的企业在彼此竞争的同时, 还面临市场需求的波动、客户偏好的变化. 为了探索这些市场因素对制造企业竞争结果的影响机理, 本研究仿真MTO和MTS制造商的生产与定价的决策过程, 构建了一个包含供应商、制造商、需求方、市场四类主体的市场竞争模型, 研究不同需求类型(稳定型、周期型、脉冲型、混合型)与不同需求偏好(时间敏感、均衡、价格敏感)下市场的演化结果. 验证模型后, 本研究通过实验设计和方差分析, 发现需求类型对于两类企业绩效的影响不显著, 而需求偏好产生了显著影响: 当需求对交期时间敏感时, MTO企业占优, 而MTS企业更适合具有价格偏好的需求. 当市场不断有进入者和淘汰者时, MTS企业生存概率更大.

关键词: 主体仿真; 复杂适应系统; 供应链; 市场竞争

中图分类号: F272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2026)06-0015-17

0 引言

制造企业主要有按订单生产(make-to-order, MTO)和按库存生产(make-to-stock, MTS)两种生产模式. MTO模式强调根据客户订单的个性化需求进行生产, 以最小化库存并缩短响应时间, 而MTS模式则专注于提前生产商品, 以保证产品可用性和降低交货时间^[1].

不同模式的企业在彼此竞争的同时, 还面临市场需求的波动、客户偏好的变化. 某些商品市场下, 需求可能是常年稳定的(例如食品), 或是周期性的(例如羽绒服), 或是脉冲式的(例如新的消费电子类产品), 甚至是混合式的. 从需求方对于制造企业的偏好角度, 有些客户要求生产交期尽可能短, 有些则非常看重价格是否低廉. 此外,

市场上的产品可以分为两类: 标准型和定制型产品. 标准型产品适合大规模生产, 其需求通常较为稳定且价格敏感; 而定制型产品则需要根据客户的特定需求进行生产, 交付时间对这类产品的需求影响更大. 本研究旨在研究以下问题: 1) 这些外部因素是否对MTO制造企业和MTS制造企业的绩效产生显著影响? 2) 在不同竞争环境下, 两类企业应当注重哪些运营决策? 3) 经过充分的竞争后, 不同市场下两类企业的均衡占比是否会有显著的不同? 解答这些问题有助于制造企业在复杂情景下制定合理的运营决策和竞争策略.

已有研究探讨了MTO和MTS的生产策略, 以及与市场竞争和演变相关的问题. Zheng等^[2]分析制造商-零售商系统中标准和定制产品的最

① 收稿日期: 2024-06-04; 修订日期: 2025-09-22.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72271227); 中国科学院青年创新促进会资助项目(110800EAG2); 中国科学院大学优秀青年创新团队专项资助项目(E2ET0808X2); 中国信息通信研究院开放课题资助项目(E441080501).

通讯作者: 贺舟(1986-), 男, 湖南益阳人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: hezhou@ucas.ac.cn

佳生产和订单决策,发现制造商并非总能从同时生产两种产品中获利,其生产策略取决于成本参数。在供应链仿真方面,主体仿真(agent-based simulation, ABS)方法被广泛应用于模拟供应链的动态特性和决策行为^[3]。该方法通过构建一个主体模型促进对整体系统动态的更深入了解,包括订单到交付过程、供应链设计和运营优化、客户与服务器的交互、供应链内部的合作等。在市场竞争与演化方面,许多研究使用ABS方法研究供应链内部的合作与竞争关系,以及企业的战略选择和演化路径^[4-6]。因此,本研究采用ABS方法,模拟MTO和MTS生产及定价策略,观察多个主体在市场竞争中的竞争和演变,从而研究本研究提出的问题。

具体而言,本研究构建了一个多主体模型,称之为:市场竞争仿真模型(market competition simulation model, MCSM)。该模型考虑了标准品、定制品两种产品,并模拟了供应商、制造商、需求方、市场四种主体的行为和决策,其中制造商有MTO和MTS两种生产模式。标准型产品可以由MTS和MTO企业共同生产,而定制型产品仅由MTO企业生产,这两类产品的需求差异直接影响了企业的生产策略和市场竞争表现。通过实验设计和方差分析,本研究基于大量仿真计算的数据,总结以下结论从而回答上述三个研究问题。

1) 不同需求类型对于两类企业绩效的影响不显著,而需求偏好产生了显著影响:当需求对交期时间敏感时,MTO企业占优,而MTS企业更适合具有价格偏好的需求。

2) 在不同竞争环境下,企业需注重定价的平稳性,降低定价波动。这一策略能帮助MTO企业获得更多利润,同时也能帮助MTS企业占有更大市场份额。

3) 当市场不断有进入者和淘汰者时,MTS企业生存概率更大。如果需求对价格越敏感,那么市场企业总量越少,且MTO企业的占比将上升。

根据以上结论,本研究为制造企业提供更具体的决策支持和管理建议,以期帮助他们更好地应对市场挑战并实现持续的竞争优势。此外,研究表明,ABS方法能更全面地刻画和理解制造企业在市场竞争和演化过程中的行为和决策,从而为未来生产端供应链的研究和实践提供新的思路和方法。

1 文献综述

本研究分三部分进行文献综述,对比MTO与MTS制造策略特点与作用,讨论供应链仿真方法,并分析在市场竞争与演化下供应链的相关研究。

1.1 按订单生产(MTO)和按库存生产(MTS)

按订单生产(MTO)的特点是从批量生产转向大规模定制,同时将库存水平和资金占用成本降至最低。在MTO设置中,只有在收到订单后才开始生产,其生产策略本质是维持通用零件的中间库存,适配产品种类繁多、可定制性高、要求小批量、高度灵活的场景^[1]。Özbayrak等^[7]通过制品、延迟交付、响应能力等指标,分析不同控制策略下的MTO绩效,从而找出最优策略。然而,MTS也面临着如生产不稳定性、生产和交货周期延长以及供应链管理复杂性增加等问题。

按库存生产(MTS)的特点是专注于预测提前生产的需求,从而确保产品可用性、缩短交货时间并保持较高的服务水平。方志梅等^[1]认为MTS涉及一定阶段的预制造产品,并将其作为半成品存储,从而更快响应市场需求。这种生产方式适用于那些需求变化相对稳定、能够预测的产品。典型的MTS产品包括日常消费品,例如家居用品、食品等。Zheng等^[2]构建了生产和订购决策模型,制造商运用MTS方法生产标准产品与通用部件,并将产品定制环节延迟,直至掌握客户具体需求。MTS生产方式虽有利于实现规模经济,减少交货周期,但也会带来库存积压、过度生产和资源浪费等问题。

企业可以灵活运用MTO和MTS设计制造系统,适应变化的市场需求,并实现持续竞争优势。冯春花等^[8]在此订货优化模型基础上考察MTO与MTS的物料需求的特点,探究最优补货策略。根据成本、所需交货时间和需求率等特性,决定将某些产品采用MTS(按库存生产)模式还是MTO(按订单生产)模式进行生产,这是一种会对库存成本和服务水平产生影响的战略选择。Wang等^[9]研究MTO-MTS生产系统下的订单规划问题,通过联合优化订单-库存匹配、多工序生产和

外包决策,最小化外包成本和总惩罚成本。过往研究聚焦于 MTO 和 MTS 在制造系统中的特点和应用,然而,在现实中 MTO 和 MTS 面临着的外部市场竞争和内部供应链管理复杂性等值得进一步讨论。

1.2 供应链仿真

供应链仿真是一种建模、分析和优化供应链运营的计算实验方法,可以根据侧重级别、所用方法、应用范围多方面分类。仿真方法所侧重的层面,无论是宏观层面(例如整个供应链网络)还是微观层面的流程(例如供应链节点内的特定操作),都决定了仿真的范围和粒度。Mustafee 等^[10]综述分布式供应链仿真,评估不同节点的各种基础设施配置和流程策略。其他相关研究则专注于优化,使用随机模型和混合模型来近似现实并解决复杂供应链设计和优化问题。蒋含明等^[11]基于系统动力学方法,研究突发扰动事件下原油供应链风险的模拟与调控。Ivanov^[12]通过离散事件仿真,使用多种韧性指标分析供应链韧性。Nag 和 Pal^[13]强调将仿真与优化模型集成是为决策者提供最佳可能替代方案的一种手段,解决了仿真模型在提供最佳解决方案方面的局限性,进而帮助企业理解供应链运作的动态特性,并优化决策以应对不断变化的环境。

主体仿真的核心优势在于它能够对由自主交互主体组成的系统进行建模,这使其特别适用于供应链管理中各种实体(例如供应商、制造商、分销商)复杂的方式的互动。同时,ABS 允许模拟供应链中的个人行为,从而促进对整体系统动态的更深入了解。各种研究都探讨了 ABS 在供应链模拟中的应用,突显了其应对关键挑战的潜力,例如订单到交付过程的透明度,以及供应链设计和运营的优化,客户与服务器的交互。黄京华等^[4]在电子商务环境下的供应链中建立了一个多主体系统。Zhao 等^[5]将供应链网络视为复杂自适应系统,采用基于代理的仿真模型分析企业的适应性行为能否减轻中断影响。盛昭瀚和张维^[14]论述了计算实验方法“自下而上”的建模思想在处理复杂管理问题研究的有效性。

1.3 市场竞争与演化

在市场竞争中,企业之间不仅仅是竞争产品

和价格,还有竞争创新能力、品牌价值、服务质量以及市场渗透率等方面,这种竞争往往是持续并受到内外因素共同影响。李娟等^[15]探究供应链成员定价决策中,认知层级、有限理性的影响,基于先行动者的决策信息后行动者的认知层级更高。此外,受外部市场需求和内部竞争合作动态影响的供应链网络的演变已被建模,以反映实际供应链的结构^[16]。消费者决策受产品质量、价格、比较效应共同决定,社会比较效应和时间比较效应对可替代产品生产质量与定价策略存在差异化影响^[17]。赵纯均和华立^[6]基于多元主体仿真研究了短缺经济下个体的选择、竞争与适应行为,以及制度的进化过程。

由于供应链本身具有复杂性,分析供应链市场竞争和演变的研究方法呈现出多元化特点。一种普遍方法是使用动态定价博弈模型来了解渠道竞争对供应链演变的影响。陈金晓和陈剑^[18]基于非参数法构建两级供应链利润优化与博弈的一般化框架。此外,复杂适应系统理论为研究供应链演变提供了理论视角,强调了自适应主体在分层系统模型中的作用。尽管现有文献对供应链市场竞争和演变进行了广泛研究,但往往将消费者置于一个静态环境中,且对于内外部因素如何共同影响供应链竞争的理解仍存在不足。

1.4 文献评述

通过梳理以上三部分文献,总结如下。

1) 虽然大量研究探讨了按订单生产(MTO)和按库存生产(MTS)模式的特点及应用,特别是在满足多样化客户需求和优化库存管理方面取得了显著进展,但鲜有分析两个模式在应对市场需求波动和多产品环境下的竞争表现。考虑到 MTO 与 MTS 在多产品多主体市场中激烈竞争的现实,本研究研究如何构建一个贴近实际的市场竞争模型从而分析两个模式的适用场景,具有较大的学术价值和现实意义。

2) 虽然供应链仿真技术已广泛应用于供应链节点及局部流程的分析与优化,但现有研究较少关注供应链通过生产响应市场需求的演化过程。主体仿真方法可模拟供应链系统中多个自治主体的生产、定价、采购等行为,不仅可以借鉴已有的优化模型等研究成果,还可以从系统科学角

度反映主体和市场的相互影响,从而揭示供应链系统的客观规律.

3) 虽然市场竞争与演化的研究非常丰富,但在供应链领域以博弈论研究居多.为了计算博弈均衡,这类模型往往建立在较为严格的假设上,限制其反映复杂竞争环境的能力.仿真模型虽然难以获得数学的解析解,但可放松模型假设,以便反映主体进入和退出市场、多种不同需求模式、MTO与MTS生产流程等重要元素,丰富这方面的研究成果.

综上所述,本研究的创新性主要体现在针对“制造企业生产模式竞争与市场演化”这一动态过程,在实地调研访谈的基础上提炼并建模了以下要素.

- 1) 市场类要素,包括四种需求类型(稳定型、周期型、脉冲型、混合型)、三种需求偏好(时间敏感、均衡、价格敏感);
- 2) 生产类要素,包括两种产品(标准品、定制品)、两种制造企业生产模式(MTO、MTS);
- 3) 竞争类要素,包括四类主体(供应商、制造商、需求方、市场)、两种竞争情景(企业不能进入或退出竞争、企业可以进入和退出竞争).

以上要素的组合有望覆盖绝大部分制造企业的实际生产模式和市场竞争的实际情况,同时也对建模复杂度、结论科学性提出挑战.本研究应用ABS方法解决建模复杂度问题,采用实验设计和方差分析摆脱回归模型的线性假设,得到变量之间显著性的统计检验结果,有望为其他学者研究类似复杂系统提供方法上的借鉴.

2 模型描述

2.1 总体结构

模型结构参照了He等^[19]提出的主体仿真零售模型架构,但原材料供应商、制造商和需求等模型假设的设定、主体行为的建模来自于2023年4月—2023年7月研究团队对博世长沙、中电凯杰、焊联工业、山河智能、益阳和天等多家制造业公司高管的调研结果.图1显示了MCSM的整体市场结构,它由2个供应商, $i+j$ 个制造商(i 个MTS, j 个MTO)和 k 个需求组成.

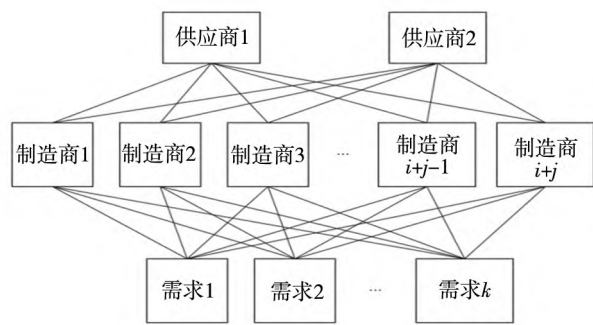


图1 MCSM模型的整体市场结构

Fig.1 The market structure of the MCSM model

MCSM有以下基本假设.

1) 每个原材料供应商为所有制造商提供唯一的原材料.即,供应商1提供材料a,而供应商2提供材料b.原材料a、原材料b之间不可相互替代.

2) 制造商分为MTO、MTS两类运营模式,以批发价格从供应商处购买原材料,通过内部加工制造形成产品,依据市场价格独立决策定价,并将产品交付给对应需求达成交易.

3) 需求分为定制型和标准品两种,互相不可替代:定制型需求包括A、B、C三种产品加工组成,只能MTO型企业去匹配接单;标准型需求包括A、B两种产品组成,MTO和MTS型企业都可以去匹配接单.需求的分布符合泊松分布,根据泊松分布的期望和持续时间方差不同,分为4种需求模式.需求从制造商的广告中获得部分制造商关于产品的定价与交付期信息,并选择在制造商处购买产品,模拟市场需求的分配过程.

4) 制造商主体之间没有信息或材料交流,每个独立做出的定价决策依据为市场价格和自身盈利情况.现实中存在制造商之间的信息搜集并针对反应(这种相互作用在许多研究中通常被忽略),但MCSM的设置强调了需求对制造商的影响、宏观市场价格的调控作用与制造商自身决策,进而引发市场演变.

5) 市场依据企业盈利情况删除符合破产条件的制造商,并随机创建新的制造商.随着时间的推移,一些制造商可能会在市场竞争环境中被淘汰,符合条件的制造商能一直存活,这可以被认为是“市场演变”.

6) 在MCSM中,原材料的运输时间、企业与

需求的匹配过程时间、产品的交货时间都忽略不计,也就是说采购、需求匹配和交货的实现不消耗时间步.

2.2 供应商主体行为

两个供应商 S_1 和 S_2 在 MCSM 中视为被动主体,供应商 S_1 提供的材料 a 和供应商 S_2 提供的材料 b 是不可相互替代的. 本研究考虑市场中长期批发价格与供给稳定的原材料,所以原材料的批发价格固定,在 MCSM 中可作为外生变量调控. 同时本研究假设供应商能够为制造商提供无限数量的原材料.

在原材料的运输层面,本研究不考虑原材料的运输时间与成本,在时间步为 t 时,一旦制造商进行采购行为,则指定数量的原材料将在

时间步为 $t + 1$ 时被运输到相应制造商的库存中. 本研究简化了供应商的行为,专注于制造商的行为. 这些假设设置意味着原材料的补充没有提前期与运输成本. MCSM 侧重刻画长期稳定的供给材料这一要素,并且由于 MTO 与 MTS 的采购补货策略不同(见后文),有效反映了在激烈的竞争市场中的供应链上游到下游的物流流动.

2.3 制造商主体行为

本研究建模 $i + j$ 个制造商,其中 i 个为 MTS, j 个为 MTO,将其融合在制造商的生产、库存、订单、财务四个部分,如表 1 所示,两类企业的行为流程差异如图 2 所示,制造商子系统具体建模细节见附录 A^②.

表 1 制造商的生产、库存、订单、财务的四个子系统建模

Table 1 Modeling of the four subsystems of production, inventory, orders, and finance for manufacturers

阶段	库存	生产	订单	财务
输入	原材料, 产品	原材料	匹配的需求	现金流
执行	采购原材料, 更新库存信息	设置生产状态, 进行生产	定价策略, 订单接收与处理	结算, 现金流更新
输出	原材料, 产品, 采购成本, 库存成本	产品, 运行成本及故障成本	完成的订单, 订单收入	现金流

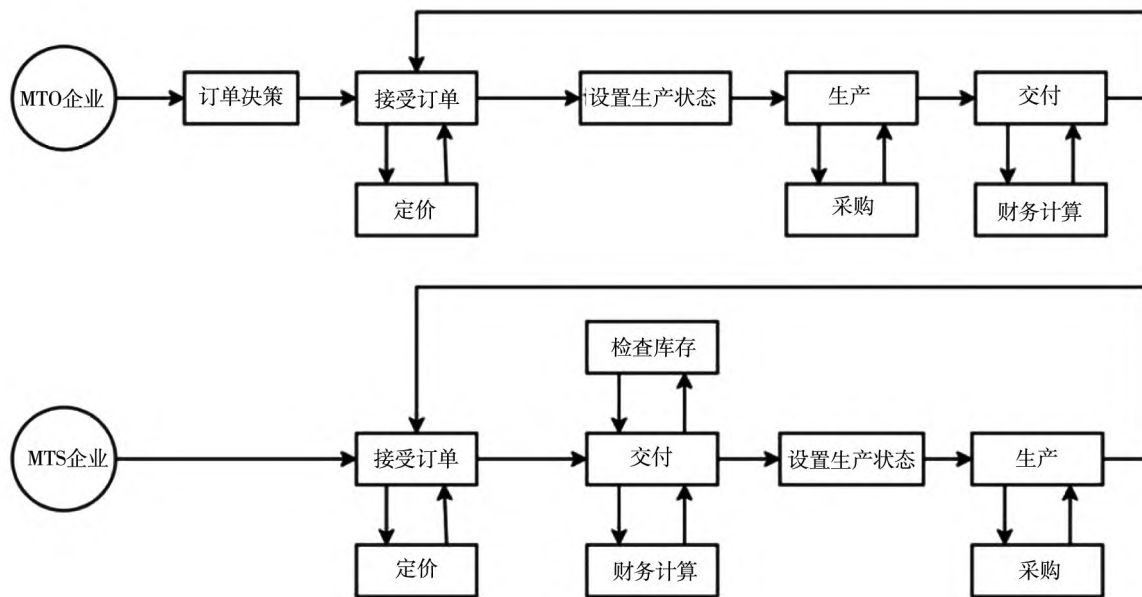


图 2 MTS 与 MTO 的行为流程图

Fig. 2 Behavior flowchart of MTS and MTO

结合图 2 所示, MTO 型企业的关键决策为产品定价和拒绝订单, MTS 型企业的关键决策为产

品定价和阈值控制的相关决策, 二者的目的都是使其利润最大化. MTO 和 MTS 的采购和补货策略

② 限于篇幅, 本研究附录 A 模型描述与附录 B 实验结果未纳入正文, 感兴趣的读者可向作者索取.

是不同的. 在 MTO 中, 生产基于客户的规格, 只有在已知需求时才能完成订单, 避免库存水平过高. 另一方面, MTS 涉及根据需求的预期生产和库存标准产品, 利用规模经济缩短了响应时间. MTO 通常涉及一对一的订购和补货, 而 MTS 可以受益于批量订购和补货以实现规模经济. 因此, 两类企业的主要差异体现在: MTS 有原材料阈值影响采购行为, 有产品阈值影响生产状态; 而 MTO 拥有拒绝订单的机制.

2.4 需求主体行为

市场需求在 MCSM 中被刻画为主动主体, 每个时间步产生 k 个需求, 当需求成功匹配到企业时, 则产生订单. 当没有企业符合需求要求时, 则称之为未满足需求. 需求可以感知企业的定价与交付期, 并具备选择制造商的行为. 每个时间步产生指定的需求数, 每个需求根据 $0 \sim 1$ 之间的阈值 α 进行分类. 当需求生成时, 以 α 的概率将其判定为定制品需求, 以 $1 - \alpha$ 的概率将其判定为标准品需求: 1) 定制品需求: 由产品 A、B、C 组成, 此类需求只能 MTO 企业去匹配接单; 2) 标准品需求: 由产品 A 和 B 组成, MTS、MTO 企业都可去匹配接单. A、B 可由 MTO 与 MTS 生产, C 只能由 MTO 生产(体现 MTO 的定制能力). 需求内每种产品数与所处需求模式与阶段有关. 降低 α 使得 MTO 收到的标准品需求越多, 与 MTS 竞争越激烈. 仿真实验发现, α 为特定值 0.3 时 MTO 生产标准品、定制品订单数大概相同, 在实验中 α 被设置为这样的均衡点.

基于 PMAXCAP 的假设^[20], 本研究将需求在 MCSM 中每个时间步的行为分为三个阶段: 搜索、选择和交易. 搜索阶段中需求寻找企业信息并评估他们的偏好. 选择阶段是需求根据定价与交付期评估做出决定并选择产品或服务. 最后, 交易阶段是实际购买或消费发生的地方, 需求主体建模详细说明见附录 A.

在匹配和选择企业的决策过程中, 搜索阶段需求收集各企业价格和交付时间信息, 选择阶段依据 TOPSIS 排序按指定权重考量预期交付时间和企业定价, 计算各企业订单的效用值, 倾向选择效用值高的企业, 交易阶段选择效用最大化的企业进行交易. 后续市场竞争中, 竞标失败企业降价、竞标成功企业提价, 不断改变各企业效用值,

影响需求方的选择决策.

2.5 市场主体行为

MCSM 中的市场主体可以被视为一个容器, 将 2 个供应商, $i + j$ 个制造商和 k 个需求放在里面. 它主要执行 5 个行为: 首先, 初始时创建企业, 即按照 MTO 或 MTS 类别以及 M_i 实例化制造企业. 第二, 在市场演变的过程中为所有制造商提供上一个时间步交易的订单产品均价, 刻画现实生活中宏观市场价格的调控. 第三, 由市场主体输出结果以供分析. 第四, 依据外生变量设置的市场需求模式, 按一定波动和周期在每个时间步生成需求. 第五, 本研究参照 He 等^[21]的研究在实验 B 中设置了市场拥有一个企业进入和退出机制, 以模仿随着时间推移市场结构的演变, 机制说明如下.

1) 在每次模拟运行的开始, 每个新企业都被赋予相同的财富, 并能够盈利(亏损), 从而积累(消耗)财富. 当满足以下一个或两个条件时, 一个新的制造企业将被添加到一定水平的分配系统中: ①在各企业利润增加的水平上; ②在幸存企业数量少于两家的水平上.

2) 同时市场主体将消除满足以下一种或两种条件的企业实例, 这反映了现实世界中表现不佳的市场中介机构的破产: ①公司的财富为负; ②公司的利润在经过最大交付周期时间步中仍然为负.

2.6 总结

本研究提出的 MCSM 模型仿真了供应商、制造商、需求方和市场主体的交互行为. 各类主体交互顺序详见附录 A 中的时序图 A1 与指标说明表 A1.

3 实验模拟

3.1 实验设计

3.1.1 不同市场需求分布

需求分布方面, 本研究考虑了三种主要的理论模型及其对应的现实场景应用: 稳定型(stable)、周期型(period)和脉冲型(pulse). 稳定型需求分布, 基于供需平衡和线性增长理论, 反映了在长期内需求的相对稳定性, 适用于日常消

费品和工业必需品,如衣物、钢铁和水泥等,其需求在不同时间周期内变化不大。周期型需求分布,遵循季节性和经济周期理论,表现为需求随时间呈现周期性的规律波动,常见于季节性产品,例如农产品和特定季节的服装,其需求受季节变化和宏观经济周期的影响。脉冲型需求分布,基于间歇性需求理论,特征为需求在特定时段集中出现,不连续且具有爆发性,如建筑行业在特定项目阶段对材料和设备的集中需求,项目结束后需求迅速下降。具体地,结合市场需求的季节性、趋势性、周期性和无规则变化四个要素,本研究设置市场生成订单服从泊松分布,不同订单分布模式中的均值 λ 和持续周期不同,彼此之间又形成单一变量控制,具体参数设置见表 2。

四个实验彼此形成三组对照: 1) *stable*、*period*、*pulse* 最大公约周期内总需求量一致,刻画的是一个存量市场; 2) *period* 与 *period-pulse* 的周期变化频率一致,但子周期内需求量不同; 3) *pulse* 与 *period-pulse* 的子周期内需求量一致,但周期变化频率不同。

表 2 需求分布参数设置

Table 2 Demand distribution parameter settings

需求分布模式	阶段 1		阶段 2	
	持续时间	市场需求	持续时间	市场需求
<i>stable</i>	10	$\lambda = 30$	—	—
<i>period</i>	25	$\lambda = 45$	25	$\lambda = 15$
<i>period-pulse</i>	25	$\lambda = 60$	25	$\lambda = 0$
<i>pulse</i>	5	$\lambda = 60$	5	$\lambda = 0$

3.1.2 不同市场需求偏好

根据订单对价格和交货时间的不同偏好,本研究设置了时间敏感型、均衡型、价格敏感型共三种需求偏好,如表 3 所示。

表 3 需求偏好参数设置

Table 3 Demand preference parameter settings

需求偏好模式	时间权重	价格权重
时间敏感型	0.75	0.25
均衡型	0.50	0.50
价格敏感型	0.25	0.75

三类模式在需求匹配时有不同 TOPSIS 权重。需求为时间敏感型时,消费者愿意为更快的交付支付额外的费用,以换取服务质量和便利,例如许多电子产品的在线销售平台提供了快速送货选

项,如 24 h 内送达或次日达。而均衡型是消费者在一定程度上权衡自己的预算和交付时间需求,寻求价值和便利的平衡点。需求为价格敏感型时,消费者更倾向于追求价格优势,而对于交付时间则更加灵活,比如廉价的航运选项。

3.1.3 不同市场结构设置

本研究使用 MCSM 在不同的场景下进行了两个实验: 固定市场结构(实验 A)和演变市场结构(实验 B)。实验 B 在实验 A 的基础上引入了市场中企业进入和退出机制以模仿随着时间推移市场结构的演变。本研究在所有实验中保持大部分参数设置不变,以减少系统的不稳定性,并使实验结果在统计意义上具有可比性,从而关注需求分布及特征、市场结构引起的实验结果的差异。两个实验的企业属性的主要差异有: 企业的 M_i , 运营方式为 MTS 还是 MTO。企业的定价策略会受到 M_i 的影响,而生产决策则取决于企业生产模式: MTO 型企业会拒绝订单,MTS 型企业拥有阈值控制的相关决策。实验 A 侧重在中短期企业盈利与运营层面的分析,实验 B 侧重在长期企业生存层面的考量。

3.2 实验输入与输出结果

基于上述模型变量与机制设计,本研究设计正交实验,初始设置不同定价策略的两类企业,通过对不同需求和不同市场分布下的企业多个因素进行系统性的、有组织的变化,以了解各个因素对评价指标的影响,并找最优的因素组合与显著因素。

本研究确定了 3 个输入变量与 8 个输出指标。输入变量为需求偏好、MTO 企业比例、需求分布。输出指标分为两类: 1) 生产指标: MTO、MTS 的平均生产速度、平均订单延期率、平均库存波动率、利润成本比率; 2) 生存指标: 企业总生存数、MTO 比例、MTO 生存时间、MTS 生存时间,这些指标旨在全面衡量两类企业在不同市场条件下的生存表现。具体指标说明如附录 A 中表 A1 所示。

本研究主要使用 Python 的 Agentpy 构建 MCSM 并进行仿真实验,并将实验面板数据储存在 Mysql 数据库中。仿真模型的输入有 3 个因素,每个因素有 3 种取值,采用 $L_9(3^4)$ 正交表进行实验设计,即 9 次实验 3 水平的 4 个因素,由于正交表有 4 列而研究的影响因素只有 3 个,所以有一列

空白列(又称误差列)用于估计误差.九种情况重复试验结果汇总,将重复实验的结果取平均后作为这种情况的仿真输出结果.

在实验A中,存在三个可以变化的外生变量:市场中需求的分布、需求的偏好、市场中MTO与MTS的比例.输出指标为8个生产指标(MTO与MTS分别的平均生产速度、平均订单延期率、平均库存波动率、利润成本比率)与需求方的消费者效用.首先本研究设计正交试验去重复执行9组仿真实验,每种情况重复实验50次,每次实验500个时间步.将重复实验后的结果取平均后作为这种情况的仿真输出结果,附录B1表记录了实验A正交试验的结果.再通过方差分析以了解各个因素对评价指标的影响,并找到最优的因素组合与显著因素.接着本研究控制不同市场需求分布进行4组实验,控制不同市场需求偏好进行3组实验,重复实验50次,每次实验500个时间步,依次分析外生变量对于企业绩效的影响.这些显著性因素的识别可以帮助企业更好地理解在不同情境下影响业务绩效的关键因素,并为优化决策提供指导.

实验B正交试验设置与实验A一致,不过在输出指标添加了4个生存指标:企业总生存数、MTO比例、MTO生存时间、MTS生存时间.9组仿真实验结果见附录B2表.之后,本研究聚焦于市场中需求偏好这一单一的外生变量对于市场演化的影响,控制不同市场需求偏好进行3组实验,实验次数与实验A一致.

实验A共进行16组实验,实验B共进行12组实验,每组实验重复执行50次,累计共运行实验1400次.每个实验超过500个时间步长,以分析模型中市场结构的演变与确保实验结论的稳健性.

基于实验结果,方差分析研究市场中需求偏好、MTO企业比例、需求分布对企业生产与生存指标影响的显著性,具体分析详见附录B.第4节结果和讨论部分分析外生变量对企业绩效的影响,分析长期竞争后的市场结构,最后聚焦于企业的内生变量,讨论了哪些制造企业能够在这种竞争中生存,进而判断制造企业的最佳生产与定价策略.

3.3 模型验证

在此本研究以MCSM的一般情形(需求分布

稳定、需求偏好均衡)为例,从库存周转率等输出指标说明MCSM仿真MTS与MTO混合市场竞争的合理性.本研究从相关文献及调研访谈中选取具有代表性的研究结论、实际生产竞争形势作为模型验证的标杆数据.

1) 张雪峰等^[22]指出,MTS的库存周转率普遍大于MTO.本研究绘制了图3对比了两种模式下的库存周转率,符合该论文的研究结论.

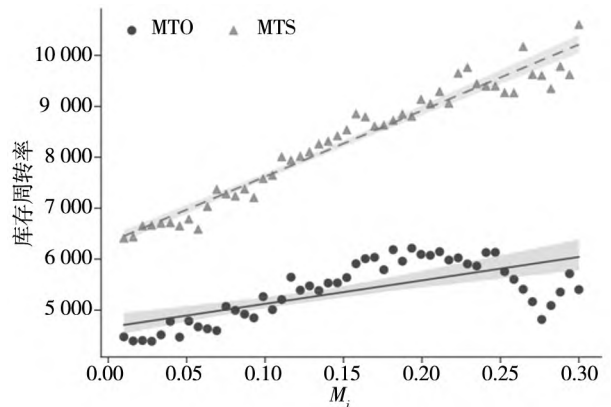


图3 B产品库存周转率与M_i的关联散点图

Fig. 3 Scatter plot of the correlation between inventory turnover rate of product B and M_i

2) 实际中,由于MTS的大规模化生产,其生产负荷高于MTO.本研究绘制了图4对比了两种模式下的生产负荷,符合实际情况.

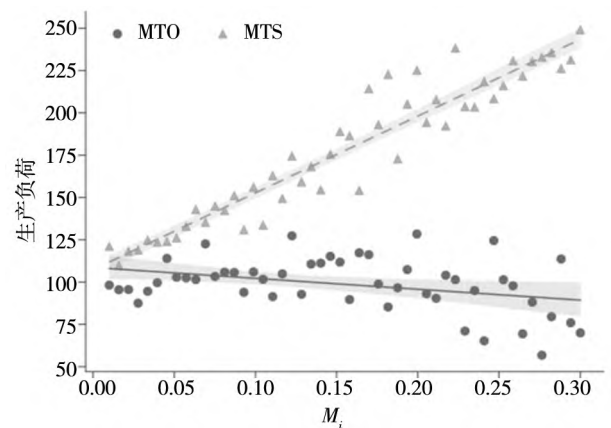


图4 B产品生产负荷与M_i的关联散点图

Fig. 4 Scatter plot of the correlation between production load of product B and M_i

3) 实际中,定价策略激进的企业在订单竞争中呈现出更高的优势,同时也导致更大的生产波动.在图3和图4中,M_i越大导致库存周转率和生产负荷的方差更大,符合实际情况.

4) 实际中,由于MTO的定制化生产,其订单

延期率普遍大于 MTS. 在附录 B1 表与 B2 表中, MTO 企业的订单延期率始终大于 MTS, 符合实际情况.

5) 方志梅等^[1]指出, 在订单响应时间和资源利用率方面, MTS 优于 MTO. 本研究绘制了图 5 对比了两种模式下的库存利用率, 符合该论文的研究结论.

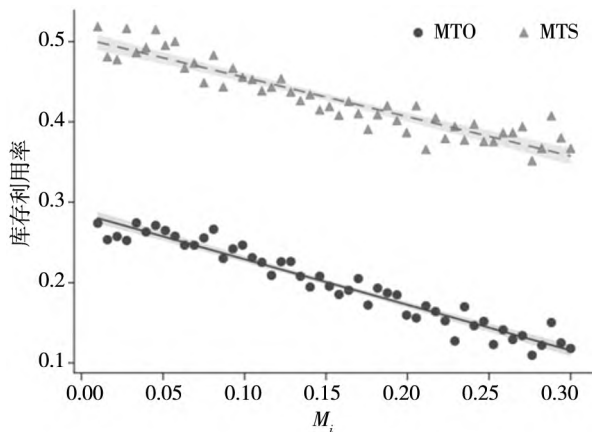


图 5 库存利用率与 M_i 的关联散点图

Fig. 5 Scatter plot of the correlation between inventory utilization rate and M_i

6) 实际中, 由于 MTS 的大规模化生产, 其生产速度快于 MTO. 在附录 B1 表与附录 B2 表中, MTS 企业的订单生产速度始终大于 MTO, 符合实际情况.

综上所述, 基于以上 6 类标杆数据, 本研究提出的 MCSM 模型均呈现出相同的对比结果, 从而验证了模型仿真的可靠性.

4 结果和讨论

4.1 结论 1: 需求分布对于企业绩效不显著, 对 MTS 生产速度有一定影响

在实验 A 中正交实验方差结果显示(见附录 B2 表) 需求的分布模式对于企业的绩效影响不显著. 本研究控制需求分布模式为单一变量, 依次对四种需求分布下企业各输出值分布进行 KS 检验(见附录 B7 表), 在每个指标下不同需求分布之间的 KS 统计量值都很小, 这表明不同需求分布模式之间的样本分布基本一致, 需求的分布模

式对于企业表现影响不显著, 同理对于库存周转率和订单延期率也不显著. 该仿真结果有效反映了企业在制造过程中通过快速调整生产流程和资源以适应需求的变化, 进而减轻需求波动的影响, 这与 Bish 等^[23]的研究一致.

MTS 与 MTO 企业在平均订单生产速度的显著性因素存在差异. 正交实验方差结果显示, MTS 企业的平均订单生产速度受市场需求分布的显著影响, 而市场需求分布对 MTO 企业影响不显著, MTO 企业的平均订单生产速度受订单接受和发布规则、路线的可变性、有限的生产能力、设置时间、交付条件以及订单到达模式的不确定性等多个因素的影响.

4.2 结论 2: 企业定价越保守越好, MTO 能获得更多利润, MTS 能占有更大市场份额

为了研究定价策略对企业绩效的影响, MCSM 中通过初始化企业不同的 M_i 实现定价策略的异质. 如图 6 所示, 当需求分布稳定且偏好为均衡型时, 企业定价策略越保守越好, 此时利润成本比率最大, 库存波动率最小, 订单延期率最低, 订单生产速度最高. 当需求偏好均衡、需求分布为“stable”时, MTO 的盈利能力普遍大于 MTS, 并且利润分布方差更大. 其他条件相同时, 相同 M_i 的 MTO 的市场利润成本比率大于 MTS. MTS、MTO 的市场利润成本比率与 M_i 总体呈现负相关, 并且随 M_i 增加, MTO 企业的盈利下降的趋势比 MTS 更大, 即保守的企业能占据更大的市场份额.

本研究后续还从市场份额探讨 MTO 与 MTS 的差异. 在标准型市场中, MTO 企业更高的 M_i 帮助他们把握市场机会; 对于标准化生产的 MTS 企业, 更低的 M_i 帮助他们保持原有的优势. 此外, 结合模型验证部分的讨论, MTS 的库存周转率、订单生产速度普遍大于 MTO, MTO 的订单延期率普遍大于 MTS.

总之, MTO 能赢得更多利润, 通过控制订单量, 降低了生产压力并维持低库存成本. 由于定制型订单的利润更高, 盈利能力更强. 而 MTS 能赢得更多市场份额, 拥有更大的产品库存满足需求, 生产速度更快, 延期率更低.

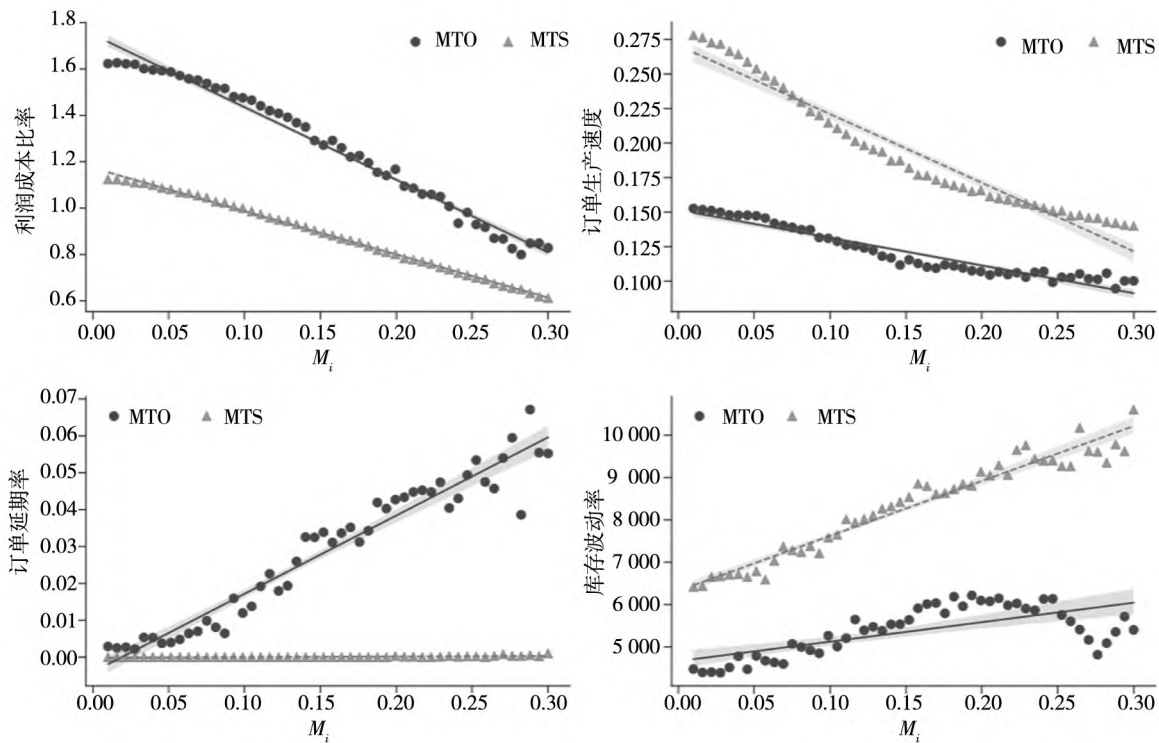


图6 一般情况下企业输出指标与 M_i 的关联散点图

Fig. 6 Scatter plot of the correlation between enterprise output indicators and M_i in general

4.3 结论3: 需求偏好影响显著, MTS 更适合价格偏好的需求, MTO 更适合时间偏好的需求

在实验 A 中正交实验方差结果显示(附录 B2 表)需求在定价和交付时间的不同偏好对于企业绩效有显著影响.

首先从企业盈利能力来探讨需求偏好的影响. 图 7 和图 8 表明 随着需求的价格偏好不断上升, 有两方面的影响. 一是两类企业的平均利润普遍下降, MTO 对比 MTS 由原先的利润领先变为利润基本一致. 这是由于在 MCSM 中没有设置运输时间成本, 时间绩效取决于企业生产和库存情况, 所以随着价格权重的上升, MTO 和 MTS 的盈利能力整体呈下降趋势. 二是 MTO 和 MTS 的盈利能力差距不断缩小, 说明 MTS 更适合价格偏好的需求, MTO 更适合时间偏好的需求. 当定价权重升高时, MTO 盈利能力的方差增大, 并且 MTO 企业的盈利能力在较低的水平上更集中. 此外, MTO 企业盈利能力与 M_i 明显呈负相关, 并且当需求对于价格越敏感时, 相关性越强.

从消费者效用的角度分析, 正交实验结果表 B4 显示, 需求偏好是消费者效用的显著性因素. 结合附录 B1 图的不同需求偏好下消费者效用与 M_i 的关联散点图, 消费者效用随着 M_i 的增加而上升. 需求越偏好价格时, 企业更好地根据订单调整成本, 从而在价格上更具竞争力, 消费者效用值越高; 相同需求偏好下的消费者效用 MTS 略高于 MTO.

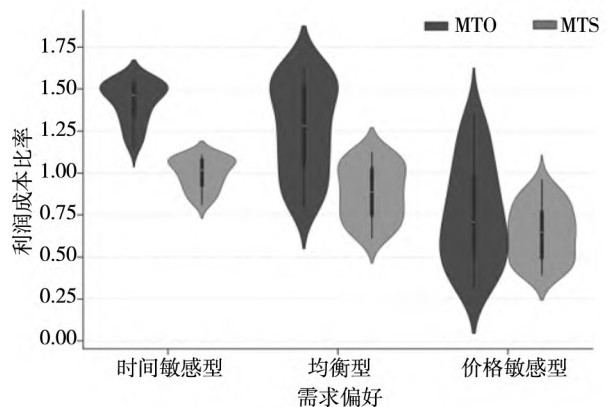


图7 不同需求偏好下利润成本比率分布

Fig. 7 Distribution of profit cost ratio under different demand preferences

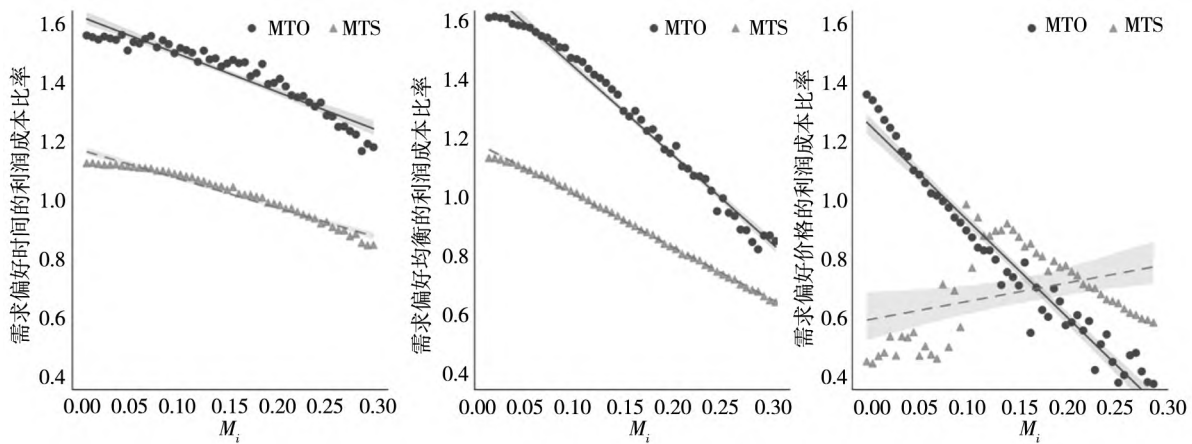


图 8 不同需求偏好下利润成本比率与 M_i 的关联散点图

Fig. 8 Scatter plot of the correlation between profit cost ratio and M_i under different demand preferences

此外,在分析盈利能力时,本研究发现 MTS 企业在时间敏感型和均衡型的产品市场,其盈利能力与 M_i 呈负相关;而价格敏感型的市场, M_i 较低的企业盈利能力明显下滑,随 M_i 上升利润成本比率先上升后下降。所以当需求价格敏感时 MTS 应谨慎控制 M_i 适中,此时定价过于激进和保守都不适合 MTS 表现。其他情况 MTO、MTS 都应采取保守型定价策略。如果客户更注重价格和产

品的一致性,此时 MTS 是更合适的选择,可以通过维持适当的库存水平来满足客户的需求。接下来,从企业市场份额来探讨需求偏好的影响,如图 9 所示。定制型市场中, MTO 企业的市场占有率与 M_i 成反比,因为在定制型市场中仅有一类企业参与竞争,所以该企业面对的机会和风险都较小,保守的定价策略能够更稳定地获得订单,并保持自身优势。

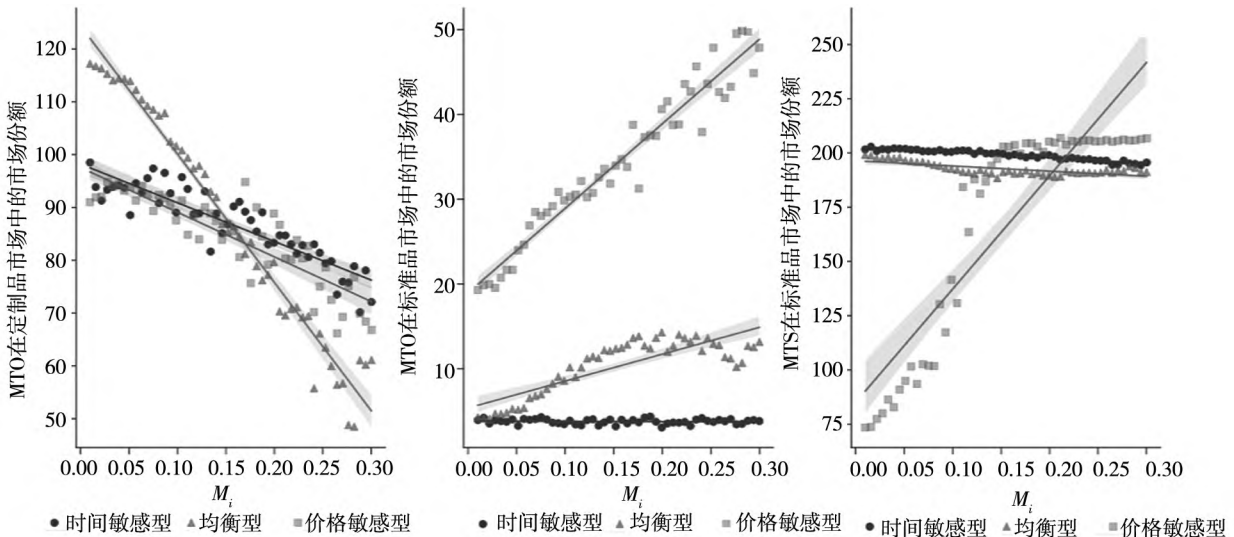


图 9 MTO 与 MTS 在定制型和标准品市场中的市场份额

Fig. 9 Market share of MTO and MTS in the customized and standard product markets

标准型订单市场中, MTO 和 MTS 共同竞争时 MTS 市场占有率很高,本研究依据需求偏好分别讨论。

小, MTS 的市场占有率与 M_i 呈负相关,此时 MTS 较 MTO 的优势明显,近似于单类型企业竞争的市场,保守的定价策略也能够获得更多订单

1) 需求为时间敏感时: MTO 市场占有率极

2) 需求为均衡型时: 当 M_i 低于某个值, MTO

市场占有率与 M_i 呈正相关, MTS 市场占有率与 M_i 呈负相关, 而 M_i 高于这个值时企业的市场占有率与 M_i 无明显规律.

3) 需求为价格敏感时: 企业市场占有率与 M_i 呈正相关, 其中 MTS 的 M_i 高于某个值后, 市场占有率集中在较高水平. MTS 相较于 MTO 的交付时间优势减小, 两种企业主要在价格上竞争. 保守定价的 MTS 无法再保持原有优势, 而激进的 MTS 和 MTO 更容易在竞争中赢得订单.

4.4 结论 4: 淘汰型市场 MTS 生存概率更大.

需求对价格越敏感, 市场企业总量越少, MTO 比例越高

在实验 B 中本研究引入了企业的进入与退出机制, 在正交实验 A 的基础上增添了生存指标的显著性分析, 生存指标包括企业总生存数量、最终生存下来的企业类型比例、MTO 和 MTS 的生存时间. 首先, 不同需求分布对于企业绩效的不显著

与结论 1 同理, 本研究发现需求分布模式对于企业总生存数、企业生存时间基本没有影响, 而对市场竞争结果的 MTO、MTS 占比影响显著. 企业生存结果(见表 4)表明, 无论企业是按订单生产还是按库存生产, 其数量和存续时间在市场上并没有明显的差异, 市场中成功接收的订单也基本一致. MTO 企业只在接收到订单后才开始生产, 能够更灵活地根据市场需求调整生产; 相比之下, MTS 企业需要提前生产并储存在库存中, 因此无法像 MTO 企业那样快速地适应市场变化. 所以需求分布模式对于最终市场中两类企业的占比有显著性. 在类似的研究中, Mills 和 Schumann^[24] 将竞争平衡模型扩展到研究行业结构的影响, 同样证明企业生存数量受到需求分布和波动的影响, 需求波动会增加维持竞争均衡的公司数量, 并且每家公司的平均产量在波动时比没有波动时要少.

表 4 实验 B 重复 50 次的企业生存结果 ($t = 500$)

Table 4 The survival results of the enterprise repeated 50 times in experiment B ($t = 500$)

变量	不同需求分布				不同需求偏好		
	<i>stable</i>	<i>period</i>	<i>period-pulse</i>	<i>pulse</i>	时间敏感型	均衡型	价格敏感型
存活总数	84.340	84.140	84.460	84.760	89.160	84.340	80.660
MTO 比例	0.421	0.418	0.425	0.422	0.399	0.421	0.535

接着, 本研究关注需求偏好在淘汰型市场的影响. 通过实验 B 中正交实验方差结果(见附录 B6 表), 需求偏好对于企业在演变市场中的生存指标及绩效均显著. 具体而言 MTO 更适合价格敏感型需求生存, MTS 更适合时间敏感型需求生存, 图 10 通过时序变化证实. 这些立足于淘汰型

市场生存层面的结果与非淘汰型市场得出的盈利结论(结论 3)有所不同. 由不同需求偏好下的 MTO 企业比例时序变化折线图 11 可知, 大部分情形下 MTO 企业比例低于 0.5, 即 MTS 比 MTO 型更适合生存. 此外由于价格敏感型市场对成本控制要求较高, MTO 能更好地按需生产以降低成

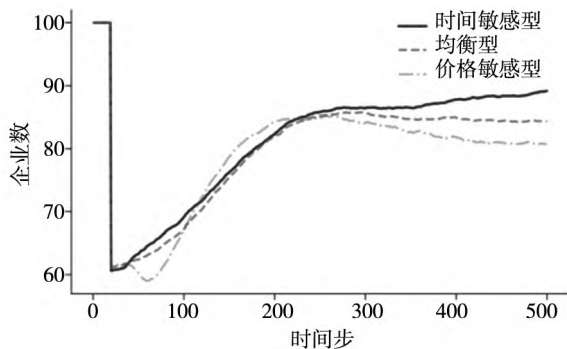


图 10 不同市场需求偏好下的企业数量时序变化折线图

Fig. 10 Time series line chart of the number of enterprises under different market demand preferences

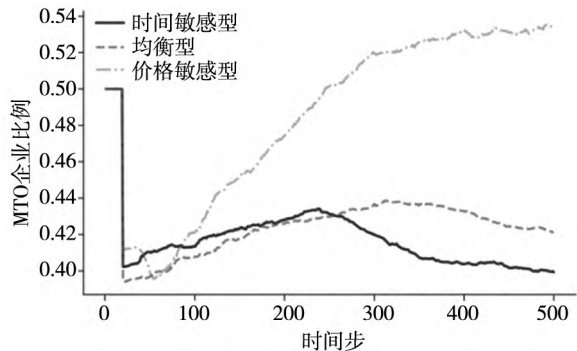


图 11 不同市场需求偏好下的 MTO 企业比例时序变化折线图

Fig. 11 Time series line chart of MTO proportion under different market demand preferences

本, 在此需求偏好市场下 MTO 生产模式更受青睐 MTO 企业比例持续上升. 而时间敏感型和均衡型需求偏好下, MTO 企业比例先升后降或呈波动变化. 生存结果表明, 相较于均衡型, 价格敏感和时间敏感都能使企业所能承接的订单数上升, 价格敏感

提升的承接订单数更多. 当市场为时间敏感和均衡型时, MTS 比 MTO 更适合生存, 体现在 MTS 都能保持较好生存率, 这点在 M_i 与生存时间的关联分析图 12 中也得到了印证. 此外, 当市场为价格敏感时, MTS 的 M_i 越大生存能力越强, 但都低于 MTO.

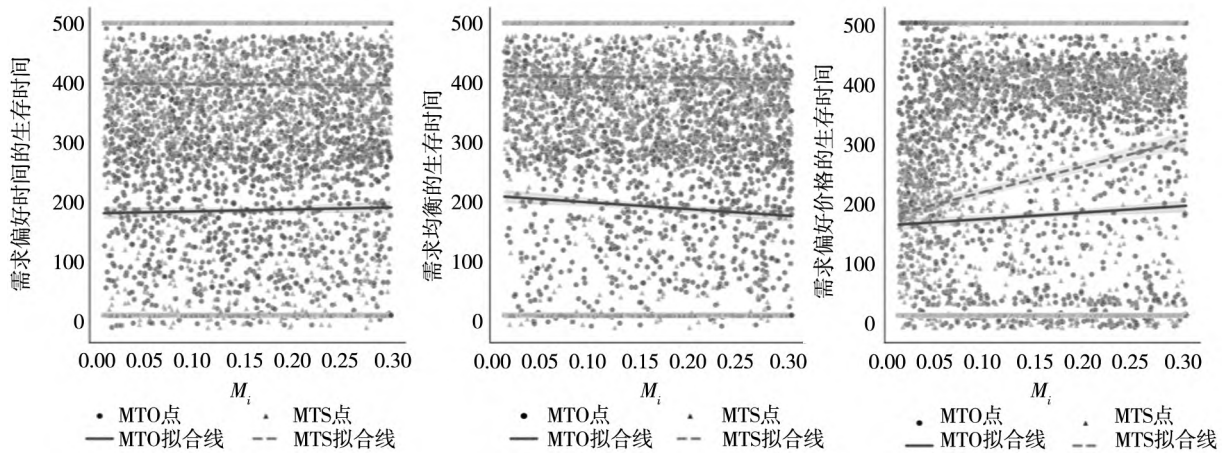


图 12 不同需求偏好下企业生存时间与 M_i 的关联散点图

Fig. 12 Scatter plot of the correlation between enterprise survival time and M_i under different demand preferences

淘汰型市场研究中最为独特的发现是, 当需求对价格越敏感, 市场所能容纳的企业总量越少并且 MTO 比例越高, 有两个理由解释.

1) 根据价格弹性理论, 需求对价格的敏感程度决定了市场对价格变动的反应程度. 如果订单对价格非常敏感, 那么消费者会对价格变化做出更明显的反应. 那么企业将更倾向于采用按订单生产 (MTO) 的方式, 以快速响应价格变动, 并且能够在价格上提供更有竞争力的优势.

2) 在订单对价格敏感的市场中引入淘汰机制, 市场上的企业数量受到限制, 因为只有那些能够灵活地满足市场需求的企业才能生存. 由于 MTO 企业具有更大的灵活性和更低的库存成本, 它们更有可能在市场中获得竞争优势, 并且在市场中占据更大的比例. MTS 模式需要维持一定水平的库存以满足市场需求, 这可能会增加库存持有成本, 生存负担比 MTO 更重.

由此可见, MTS 的库存阈值控制是双刃剑, 一方面 MTS 根据市场需求和预测销量来提前平滑生产, 从而有助于供应链管理; 另一方面, 库存过剩会增加企业的库存持有成本, 并且会导致资

金被困于库存中, 影响企业的流动性. 这也进一步证实了 MTS 的库存阈值控制需要企业在平衡满足市场需求和控制成本之间找到合适的平衡点. 类似的, Paschalidis 等^[25] 研究表明 MTS 中设置库存阈值以平衡服务水平限制和库存成本也需要权衡, 阈值策略在确保库存可用性同时应避免过高成本方面的双刃性质. Fu 等^[26] 比较阈值设置的不同方法, 表明定期订单发布有助于最大限度地减少在制库存和订单延迟来优化系统性能.

4.5 理论贡献与管理启示

以上仿真实验结果表明, MTS 和 MTO 两种生产模式各有其独特的优势和适用场景. MTS 模式在应对需求波动、占领市场份额和适应价格偏好方面表现较好; 而 MTO 模式则在利润最大化、满足时间偏好和适应高度价格敏感市场方面更具优势.

但本研究的其他理论成果扩展了对 MTS 和 MTO 两种生产模式的理解. 首先, 结论 1 表明需求分布对企业绩效不显著, 但对 MTS 生产速度有影响, 而以往的文献未曾汇报这方面的发现. 其

次,结论2表明企业定价越保守,MTO能获得更多利润,这也与“价更高、利润更高”的直觉不同。最后,仿真结果(结论4)表明淘汰型市场为时间敏感和均衡型时,MTS生存概率更大,而不是通常认为更加灵活和个性化的MTO模式。

由此可见,制造企业应根据市场需求的变化和产品特性,选择适宜的生产模式,确保企业在不同市场环境下绩效稳定,并实现长期盈利最大化的目标。同时,企业应关注市场动态,针对市场结构的演变程度调整策略。

1) 在市场竞争激烈、进入门槛较低的淘汰型市场中,企业需要高度关注库存管理的平衡。MTS模式在这种环境下优势明显,因为通过备货可以快速响应价格敏感型需求。过高的库存水平会增加持有成本,导致利润减少,而过低的库存会导致缺货,失去市场机会。因此,MTS企业应在库存管理中建立灵活的控制机制,基于市场需求和生产成本的波动动态调整库存,以实现成本效益最大化,确保企业的生存。

2) 在市场结构相对稳定的非淘汰型市场中,采取保守型定价策略是一个有效的生存策略。本研究的仿真结果显示,在这种环境中MTS企业可以通过维持适度的市场灵敏度和价格水平,避免因激烈价格竞争而导致的利润损失。建议企业在定价策略上关注价格对市场份额的影响,尤其是在竞争不激烈的情况下,通过提升价格灵活性进一步保障长期利润。

3) 从动态市场的策略应对角度,本研究的研究表明在市场竞争环境波动较大的情况下MTO企业追求高利润率时应关注市场份额,保持合理的市场份额有助于抵御不确定性带来的冲击。而对于MTS企业,在大规模需求、价格敏感度较高的市场中则应更为谨慎,以适应性定价避免过度价格竞争对利润造成影响。在混合市场中,企业可根据需求波动适当调整生产模式,通过资源配置优化来应对市场需求的变化。建议企业在高需求波动环境下灵活应用MTO与MTS混合策略,以提高订单履约率,并在高竞争时期实现成本效率最大化。

5 结束语

本研究聚焦生产策略、客户需求可变性等各种因素塑造的MTO和MTS混合市场竞争及演化,提出了一个市场竞争模拟模型(MCSM),其中包含四类主体:1)为制造商分别提供唯一原材料的两个供应商;2)从供应商处购买原材料,通过内部加工制造形成定制型和标准型产品,依据市场价格独立决策定价并将产品交付给对应需求达成交易的MTS、MTO两类制造商;3)不同分布、不同交付时间与价格偏好,拥有搜索、选择和交易行为的定制型和标准品需求;4)拥有创建和删除制造商机制的完全竞争市场。

本研究考虑了标准型和定制型两类产品,并差异化企业的运营策略及市场敏感度、需求的分布波动及偏好,得到了完全竞争市场下的企业的绩效显著因素及最优策略,并分析市场演化过程中企业的生存潜力。具体结论如下。

(1) 需求的分布模式对于企业绩效不显著,对MTS生产速度有一定影响。

(2) 在非淘汰型市场中,保守型定价策略有利于两类企业在不同环境下的绩效表现。然而,当需求为价格敏感型时,MTS应避免过度价格竞争对利润造成影响。

(3) MTO的盈利能力大于MTS,但MTS占有更大市场份额。MTS更适合价格偏好的需求,MTO更适合时间偏好的需求。

(4) 在淘汰型市场中,MTS生存概率更大。需求对价格越敏感,市场所能容纳的企业总量越少,MTO比例越高。MTS的库存阈值控制存在双刃性质。

MCSM采用复杂适应系统的角度来模拟多产品供应链竞争和市场结构演化,实现动态仿真主体行为而不是传统静态的数学分析,从竞争和演化结果得出企业最优决策。此外,不同于以往研究将需求视为被动主体,本研究将其建模为能主动进行搜索、选择、交易的主体。通过基于主体建模仿真方法深入研究MTO和MTS

在混合市场的最优策略,有助于更好地理解企业在市场竞争和演化过程中的行为和决策,为制造企业提供更具体的运营与定价决策支持,帮助应对市场波动与市场偏好的挑战并实现持续的竞争优势。

在未来发展方面,首先,可以进一步探索在混合市场环境下 MTO 和 MTS 之间的协同策略,现实中 MTO-MTS 混合型充分利用了 MTS 和 MTO

策略的优势,在保持较短响应时间的同时,根据客户规格确保了生产灵活性。其次,将制造商建模为更加智能的主体。例如,制造商可以通过分析市场价格、竞争对手行为和需求特征从而做出更细致的定价决策,并模拟其适应和进化行为。此外,应该考虑采购、生产、交付过程的运输延时,更加客观合理的仿真供应链运转,从而研究更多风险情境下供应链的安全和韧性。

参考文献:

- [1]方志梅,李院生,叶飞帆. 基于两类典型生产模式的供应链性能分析[J]. 科研管理,2007,28(1): 161-166,109.
Fang Zhimei, Li Yuansheng, Ye Feifan. Performance analysis of supply chain based on two typical production models[J]. Science Research Management, 2007, 28(1): 161-166, 109. (in Chinese)
- [2]Zheng M, Shi X, Pan E, et al. Supply chain analysis for standard and customized products with postponement[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 164: 107860.
- [3]Oliveira J B, Lima R S, Montevechi J A B. Perspectives and relationships in supply chain simulation: A systematic literature review[J]. Simulation Modelling Practice and Theory, 2016, 62: 166-191.
- [4]黄京华,赵纯均,马 晖. Agent 在电子商务环境下的供应链中的应用研究[J]. 管理科学学报,2001,4(5): 58-64.
Huang Jinghua, Zhao Chunjun, Ma Hui. Application of agents in supply chain in environment of E-business[J]. Journal of Management Sciences in China, 2001, 4(5): 58-64. (in Chinese)
- [5]Zhao K, Zuo Z, Blackhurst J V. Modelling supply chain adaptation for disruptions: An empirically grounded complex adaptive systems approach[J]. Journal of Operations Management, 2019, 65(2): 190-212.
- [6]赵纯均,华 立. Multiagent 仿真与资源稀缺下的适应行为[J]. 管理科学学报,1999,2(4): 1-7.
Zhao Chunjun, Hua Li. Multiagent simulation and individual's adaptive behaviors in resource shortage[J]. Journal of Management Sciences in China, 1999, 2(4): 1-7. (in Chinese)
- [7]Özbayrak M, Papadopoulou T C, Samaras E. A flexible and adaptable planning and control system for an MTO supply chain system[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2006, 22(5): 557-565.
- [8]冯春花,宋学锋,贺 超. 考虑生产方式物料需求特点的单产品单供应商订货决策[J]. 管理评论,2009,21(4): 111-120.
Feng Chunhua, Song Xuefeng, He Chao. Single product, single supplier order quantity decision considering materials demand features of different production methods[J]. Management Review, 2009, 21(4): 111-120. (in Chinese)
- [9]Wang C, Yang C, Zhang T. Order planning with an outsourcing strategy for a make-to-order/make-to-stock production system using particle swarm optimization with a self-adaptive genetic operator[J]. Computers & Industrial Engineering, 2023, 182: 109420.
- [10]Mustafee N, Katsaliaki K, Taylor S J E. Distributed approaches to supply chain simulation: A review[J]. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, 2021, 31(4): 25.
- [11]蒋含明,胡灵芝,陈洪章,等. 突发扰动事件下原油供应链风险模拟与调控研究——基于系统动力学方法[J]. 系

- 统工程理论与实践, 2025, 45(1): 326 – 344.
- Jiang Hanming, Hu Lingzhi, Chen Hongzhang, et al. Simulation and regulation study on crude oil supply chain risk under disruptive events: Based on system dynamics approach [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2025, 45(1): 326 – 344. (in Chinese)
- [12] Ivanov D. When is the supply chain resilient? Customer and operational perspectives [J]. *International Journal of Production Research*, 2025, 63(15): 5512 – 5527.
- [13] Nag B, Pal R. Simulation optimization for supply chain decision making [J]. *2022 Winter Simulation Conference (WSC)*, 2022: 2853 – 2863.
- [14] 盛昭瀚, 张 维. 管理科学研究中的计算实验方法 [J]. *管理科学学报*, 2011, 14(5): 1 – 10.
Sheng Zhaohan, Zhang Wei. Computational experiments in management science and research [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2011, 14(5): 1 – 10. (in Chinese)
- [15] 李 娟, 倪明明, 刘 帆, 等. 基于认知层级视角的供应链成员定价决策分析 [J]. *管理科学学报*, 2024, 27(4): 104 – 118.
Li Juan, Ni Mingming, Liu Fan, et al. Pricing decisions of supply chain members: From the perspective of cognitive hierarchy [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2024, 27(4): 104 – 118. (in Chinese)
- [16] Fang H, Jiang D, Yang T, et al. Network evolution model for supply chain with manufactures as the core [J]. *Plos One*, 2018, 13(1): e 0191180.
- [17] Yue H, Xu Y. Production quality and pricing strategy for substitutable products under comparison effects [J]. *Journal of Management Science and Engineering*, 2023, 8(4): 529 – 557.
- [18] 陈金晓, 陈 剑. 供应链的利润博弈与均衡定价 [J]. *中国管理科学*, 2022, 30(9): 128 – 139.
Chen Jinxiao, Chen Jian. Supply chain profit game and equilibrium pricing [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(9): 128 – 139. (in Chinese)
- [19] He Z, Wang S, Cheng T C E. Competition and evolution in multi-product supply chains: An agent-based retailer model [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146(1): 325 – 336.
- [20] Serra D, Revelle C. Competitive location and pricing on networks [J]. *Geographical Analysis*, 2010, 31(2): 109 – 129.
- [21] He Z, Cheng T C E, Dong J, et al. Evolutionary location and pricing strategies in competitive hierarchical distribution systems: A spatial agent-based model [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2014, 44(7): 822 – 833.
- [22] 张雪峰, 纪雪洪, 吴永林, 等. 基于系统动力学的 MTS、MTO 供应链性能仿真分析 [J]. *物流技术*, 2011, 30(11): 161 – 164.
Zhang Xuefeng, Ji Xuehong, Wu Yonglin, et al. Simulation and analysis of MTS and MTO supply chain performance based on system dynamics [J]. *Logistics Technology*, 2011, 30(11): 161 – 164. (in Chinese)
- [23] Bish E K, Muriel A, Biller S. Managing flexible capacity in a make-to-order environment [J]. *Management Science*, 2005, 51(2): 167 – 180.
- [24] Mills D E, Schumann L. Industry structure with fluctuating demand [J]. *The American Economic Review*, 1985, 75(4): 758 – 767.
- [25] Paschalidis I C, Liu Y, Cassandras C G, et al. Threshold-based control for make-to-stock models: A synergy between large deviations and perturbation analysis [J]. *Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control (Cat. No. 01CH37228)*, 2001, 5: 4523 – 4528.
- [26] Fu M C, Herrmann J W, Narayanaswamy M. Setting thresholds for periodic order release [J]. *Journal of Intelligent Manu-*

facturing , 1997 , 8(5) : 369 – 383.

Market competition and evolution of manufacturing firms using agent-based simulation

LIU Yi-ming^{1,2} , *LIAN Jun-chao*³ , *YUAN Ming-yang*⁴ , *HE Zhou*^{2,5,6*}

1. Academy of Mathematics and Systems Science , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100190 , China;
2. School of Economics and Management , University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100190 , China;
3. Sino-Danish College , University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 101408 , China;
4. China Academy of Information and Communications Technology , Beijing 100191 , China;
5. MOE Social Science Laboratory of Digital Economic Forecasts and Policy Simulation at UCAS , Beijing 100190 , China;
6. Key Laboratory of Big Data Mining and Knowledge Management , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100190 , China

Abstract: Manufacturing firms have two main modes of production: Make-to-order (MTO) and make-to-stock (MTS) . While competing with each other , firms in different modes also face fluctuations in market demand and changes in customer preferences. In order to explore the influence of these market factors on the competitive outcome of manufacturing enterprises , this paper simulates the production and pricing decision-making processes of MTO and MTS manufacturers , constructs a market competition model containing four types of subjects: Suppliers , manufacturers , demand side , and market , and investigates the evolution of the market under different types of demand (stable , cyclical , impulsive , and mixed) and different demand preferences (time-sensitive , equilibrium , and price-sensitive) . After validating the model , this paper , through experimental design and ANOVA , finds that the effect of demand type on the performance of the two types of firms is insignificant , while demand preference produces a significant effect: MTO firms dominate when the demand is sensitive to delivery time , while MTS firms are better suited to the demand with price preference. MTS firms have a higher probability of survival when there are constant entrants and eliminators in the market.

Key words: agent-based simulation; complex adaptive systems; supply chain; market competition