考虑服务水平的产能分享平台定价策略研究

赵道致†, 周仁杰, 杨 爽

(天津大学 管理与经济学部，天津 300072)

摘 要: 工业互联网和分享经济正在改变企业配置资源和产能规划的方式，制造企业之间分享空闲产能的模式逐渐显示出广阔的发展空间和经济效益。本文研究基于平台的产能分享情境中，利润最大化和社会福利最大化两种决策目标下，平台的最优定价策略问题。研究表明：注册费模式下的平台均衡利润大于固定交易费模式下的均衡利润，两种定价模式的平台利润与供需双方的网络外部性和服务敏感性系数均存在正相关关系，与供应方的产能定价存在负相关关系，且是平台服务水平的凹函数；两种定价模式的社会福利优劣和平台对双边用户的补贴策略均与供应方网络外部性冲销的制造成本相关。另外，存在社会福利与平台利润同时较优的情况，这也是产能分享平台良性发展的方向。

关键词: 产能分享平台；交叉网络外部性；定价策略；服务水平；社会福利

中图分类号: F224 **文献标志码:** A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2021.0930 **开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):**

Research on Pricing Strategy of Capacity Sharing Platform Considering Service Level

ZHAO Dao-zhi†*,Zhou Ren-jie, Yang Shuang*

(1. College of Management and Economics，Tianjin University，Tianjin 300072，China)

Abstract: The Industrial Internet and the sharing economy are changing the way companies allocate resources and capacity planning. The mode of sharing idle capacity among manufacturing companies has gradually shown a broad development space and economic benefits. This paper studies the platform's optimal pricing strategy under the two decision goals of profit maximization and social welfare maximization in the context of platform-based capacity sharing. Research shows that the equilibrium profit of the platform under the registration fee model is greater than the equilibrium profit under the fixed transaction fee model; The platform profits of the two pricing models are positively correlated with the network externalities and service sensitivity coefficients of both the supplier and the demander, negatively correlated with the supplier's capacity pricing, and are a concave function of the platform's service level. The pros and cons of the two pricing models' social welfare and the platform's subsidy strategy for bilateral users are all related to manufacturing costs that are offset by supply-side network externalities. In addition, there is a situation where social welfare and platform profits are better at the same time, which is also the direction for the healthy development of capacity sharing platforms.

Keywords: capacity sharing platform；cross-network externality；pricing strategy；service level；social welfare

0 引 言

5G 和工业互联网技术的发展，使得分享经济从消费领域的产品分享进入到生产领域的产能分享。《中国共享经济报告 2021》[?] 显示，2020 年我国分享经济市场交易规模约为 33773 亿元，其中生活服务、生产能力、知识技能三个领域的交易规模位居前三，分别为 16175 亿元、10848 亿元和 4010 亿元，生产能力分享业务同比增速达到 17.8%，产能分享逐渐成为分享经济的重要组成部分，如航天云网、iSESOL 智能云科、1688 淘工厂等平台都在产能分享领域扎根成长，拥有巨大的发展潜力。《中国共享经济报告 2020》[?] 也曾预测“共享制造（基于平台的产能分享）将成为‘十四五’期间制造业转型发展的重要支撑，大型制造企业的资源开放（产能分享）以及共享平台（产能分享平台）对制造企业的赋能将成为共享制造未来发展的重要抓手”。

产能分享可以贯穿制造过程的各个环节，整合、配置分散的制造资源和能力，最大化提升制造业生产效率，在解决资源浪费和分布不平衡、实现

收稿日期:2021-05-26；**修回日期:**2021-12-30.

基金项目: 国家自然科学基金项目(72072125).

†通讯作者. E-mail: dzzhao@tju.edu.cn.

供应链协调等方面发挥重要作用。另外，产能分享的优势也在疫情等非常时期得到凸显，2020 年以来，全球化供应链多次受突发公共卫生事件冲击而中断，企业面临全球网络化资源流的“堵点”和“断点”：下游断链导致无单可接，大量制造设备闲置；上游断链引发供应短缺，造成生产停滞。依托工业互联网平台的产能分享助力企业在疫情期间突破了断链的屏障，实现了常态下全球化供应链向疫情期间本地化供应链的切换，如航天云网的“抗疫复工复产业务”成功帮助大量企业在疫情时期得以生存。在后疫情时代，产能分享平台的发展也使得全球供应链运营更加稳定。

《中国制造业产能共享报告 2018》[?] 将当前的产能分享平台划分为中介型、众创型、服务型和协同型四种。本文研究的是中介型平台，其本身不拥有制造设备，而是为双边用户提供交易的场所、匹配与调度等服务，通过收取佣金或注册费实现盈利。随着用户对平台服务越来越关注，产能分享平台开始在提高服务水平上发力，如提高匹配率和契合度、提供多样化增值服务等，以提升双边用户的满意度。但服务水平的提升也会增加平台成本，因此平台需要考虑如何在协调服务水平、成本与效用的前提下合理制定价格策略以实现利润和社会福利的改善。

产能分享平台作为双边平台的一种，网络外部性是其重要特性，即一边用户的规模会对同边或另一边的用户效用产生积极或消极的影响[?]，许多专家都将这一重要因素考虑进双边市场的定价策略研究中。Armstrong[?] 构建垄断平台、单归属平台竞争和多归属平台竞争模型，得出平台均衡定价会受到交叉网络外部性、定价模式和用户归属性的影响。Rochet 和 Tirole[?] 将网络外部性作为重要因素，分析了利润最大化平台和非营利性平台的定价结构以及消费者剩余情况。Hagiu [?] 等在考虑交叉网络外部性的基础上研究了不同信息水平在垄断和竞争市场中对平台利润的影响。纪汉霖[?] 通过用户归属性划分双边市场类型，分析竞争差异化因素研究平台定价问题。Wu 等[?] 研究发现交叉网络外部性会促使双边用户及平台更倾向于多归属策略，并分析了竞争环境下平台进入市场的策略。但关于产能分享平台网络外部性的研究还很少，本文主要讨论平台最优定价及利润关于交叉网络外部性的变化。

此外，平台服务作为影响平台定价策略的重要因素也引起了许多学者的关注。Xue 等[?] 关注平台服务质量对市场的影响，研究了垄断和双寡头竞争情况下双边市场的定价问题。Roger[?] 的研究表明在媒体双寡头垄断市场中，消费者更关注平台的服务质量。Dou 等[?] 研究了在垄断市场中，不考虑客户对增值服务的偏好时，平台为单边用户提供增值服务的定价问题；其另一篇文献研究了在负面的内部网络效应影响下，平台的增值服务投资策略[?]。Lin 等[?] 考虑平台生命周期的影响，研究了垄断和双寡头竞争平台的服务与定价策略。Liu 等[?] 分析了服务商最小参与数量、增值服务和匹配能力等多种因素对平台定价决策的影响。谢家平等[?] 引入平台服务决策，研究科研设备共享平台的配套服务与利润和社会福利的关系。唐东平等[?] 研究平台在提供匹配服务和增值服务两方面存在差异化时的定价、用户规模及盈利情况。现有文章更多研究 C2C 或 B2C 平台中服务对定价策略的影响，少有关注 B2B 平台。而平台针对消费者用户提供的服务与平台针对企业用户提供的服务存在差别，对企业用户提供的服务需要平台付出更高的成本和时间，企业用户对平台服务的敏感性也更强、要求也更加复杂。产能分享平台是典型的 B2B 平台，本文基于双边市场理论对产能分享平台的定价策略做出了研究，并分析了产能分享平台的服务水平对定价策略的影响。

除了针对平台定价和平台服务的相关研究，也有学者讨论了制造能力分享方面的问题。Yu 等[?] 研究了独立企业之间选择自营设施或投资共同设施进行生产和服务能力分享的问题。Roels 和 Tang[?] 从契约合同的角度出发，研究了战略联盟中企业的制造能力分享问题。赵道致，杜其光[?] 分析了制造商产能分享中供应链信息共享的作用。郝家芹等[??] 建立了三方演化博弈模型，分析产能分享中各参与群体的决策行为。赵道致等[?] 考虑制造周期和客户的时间敏感性，研究了云制造平台的定价策略。韩红帅等[?] 考虑产能可用性、质量波动和需求不确定性，研究了不同定价模式下产能分享供应链的决策与协调。可以看出，已有研究多数集中在产能分享供应链的相关领域，将平台作为决策主体进行研究的文献还比较少。本文以产能分享平台为决策主体，在考虑双边用户对平台服务水平有感知的条件下，研究平台的定价策略，具有理论和现实意义。

上述学者主要从双边市场角度研究平台定价，或是讨论平台服务决策问题，少有在产能分享的背

景下将平台服务水平、用户的服务敏感性和不同目标下的平台定价决策结合起来进行分析。为此，本文以双边市场理论为基础，构建考虑服务水平的产能分享平台定价模型并求解，并以算例验证模型和结论的有效性，探讨产能分享平台在考虑服务水平时的定价策略所蕴含的经济与管理意义。

1 问题描述

中介型产能分享平台的一边为制造能力需求方，在平台发布制造任务的需求；另一边为制造能力供应方，将自身闲置的制造能力接入平台；平台根据双边用户的需求、偏好等特性为用户提供匹配服务，促成双边用户达成交易。另外，平台也会提供诸如监管以及物流、采购等增值服务，通过提供上述服务对双边用户收取费用实现盈利。

本文主要讨论产能分享平台的两种定价模式：一是注册费定价模式，本文研究平台对双边用户均收取注册费的情况，即双边用户加入平台享受服务需要缴纳注册费 f_{ij}，如淘工厂、智能云科等；二是固定交易费定价模式（佣金的一种表现形式），即双边用户加入平台无需缴纳费用，但每完成一次交易产能供应方需要缴纳 p_j 的固定交易费，如航天云网。

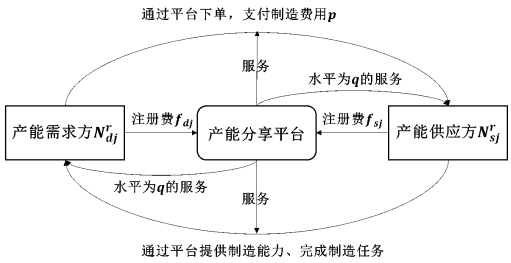

图 1 产能分享平台注册费定价模式

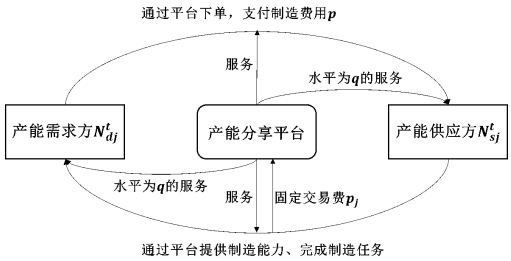

图 2 产能分享平台固定交易费定价模式

平台决策目标包括追求利润 π_j^L 最大化和社会福利 W^L 最大化两种，平台需决策其定价模式是注册费模式 f_{ij} 还是固定交易费模式 p_j，双边用户根据自身可能获得的效用 U_i^l 选择是否加入平台，产能供应方将自身的产能定价设置为 c。选择加入平台的双边用户规模设为 N_{ij}^L，在假设匹配概率为 1 的情况下用户规模也代表了双方在平台交易成功的概率[?]。根据双边市场理论，双边用户都有一定的网络外部性，本文结合产能分享平台实际情况，仅考虑交叉网络外部性 α_i，即一边用户的期望收益会随另一边用户规模的扩大而提升。双边用户选择加入平台会获得一定的固定效用 v_i，且 $v_i \sim U[0,1]$。双边用户对于平台所提供的服务有一定的敏感性，在一定的服务敏感性系数 β_i 下，服务水平 q 越高，所获得的效用越高。而对于平台而言，服务水平 q 的提升会同时带来用户规模的增长和服务成本的提升，服务成本与平台服务水平成本系数 k 正相关。根据问题描述，本文所涉及的符号及意义如表 1。

表 1 符号说明

符号	含义
上下标	
i	$i=d,s$, 分别表示产能需求方和供应方
j	$j=1,2$, 分别表示平台利润最大化和社会福利最大化两种决策目标
L	$L=M,T$, 分别表示平台收取注册费或固定交易费两种定价模式
参数	
α_i	i 方用户的交叉网络外部性，$\alpha_i \in [0,1]$
β_i	i 方用户对平台服务的敏感性系数，$\beta_i \in [0,1]$
q	平台对双边用户提供的服务水平，$q \in [0,1]$
c	供应方对自身闲置产能的定价，$c \in [0,1]$
k	平台的服务水平成本系数，$k \in [0,1]$
v_i	i 方用户加入平台的固定效用，$v_i \sim U[0,1]$
决策变量	
f_{ij}	j 情况下，平台对 i 方用户收取的注册费
p_j	j 情况下，平台对供应方收取的固定交易费
函数	
U_i^L	平台采取 L 定价模式时，i 方用户的效用函数
N_{ij}^L	j 情况下，i 平台采取 L 定价模式时，i 方用户加入平台的规模函数
π_j^L	j 情况下，平台采取 L 定价模式时的利润函数
S_i^L	平台采取 L 定价模式时，i 方用户的剩余函数
W^L	平台采取 L 定价模式时的社会福利函数

另外，做出如下假设：（1）平台以及双边用户均为理性主体；（2）根据参考文献 [22]，不失一般性，将双边市场规模标准化为 1；（3）平台服务成本是服务水平的二次函数[?]，设为 $\frac{k}{2}q^2$；（4）产能供应方的边际生产成本为 0；（5）根据文献 [20]，v_i 的累积分布函数连续递增且可微，相应的密度分布函数大于 0，即 $f(v_i)>0$；（6）双边用户匹配成功达成交易的概率设为 1；（7）双边用户可以有效感知到平台所提供的服务的水平。

2 模型构建与求解

2.1 利润最大化目标下的注册费模式分析

产能需求方加入平台获得的效用包含固定效用，交叉网络外部性带来的正效用 $\alpha_d N_{s1}^M$，平台提

供服务带来的正效用 $q\beta_d$、支付制造任务费用带来的负效用 $-cN_{s1}^M$ 以及向平台缴纳注册费带来的负效用 $-f_{d1}$，则产能需求方的效用函数为：

$$U_d^M = v_d + \alpha_d N_{s1}^M + q\beta_d - cN_{s1}^M - f_{d1}.$$

产能供应方加入平台获得的效用包含固定效用 v_s，交叉网络外部性带来的正效用 $\alpha_s N_{d1}^M$，平台提供服务带来的正效用 $q\beta_s$，支付平台注册费所带来的负效用 $-f_{s1}$，则产能供应方的效用函数为：

$$U_s^M = v_s + \alpha_s N_{d1}^M + q\beta_s - f_{s1}.$$

对于双边用户而言，只有当自身效用 U_i^M 为正时才会选择加入平台，令 $U_i^M = 0$ 可以得到双边用户临界条件的固定效用 $v_d{}^* = cN_{s1}^M + f_{d1} - \alpha_d N_{s1}^M - q\beta_d, v_s{}^* = f_{s1} - \alpha_s N_{d1}^M - q\beta_s$，当 $v_d > v_d{}^*$ 时，产能需求方会选择加入平台；$v_s > v_s{}^*$ 时，产能供应方会选择加入平台。由于 $v_i \sim U[0,1]$，且根据前文假设双边用户的市场总规模分别为 1，得到双边用户加入平台的规模分别为：

$$N_{d1}^M = 1 * \mathrm{P}\left[v_d > v_d^*\right] = 1 + \alpha_d N_{s1}^M + q\beta_d - cN_{s1}^M - f_{d1},$$

$$N_{s1}^M = 1 * \mathrm{P}\left[v_s > v_s^*\right] = 1 + \alpha_s N_{d1}^M + \beta_s q - f_{s1}.$$

产能分享平台选择注册费定价模式时，通过对双边用户收取注册费 $N_{d1}^M f_{d1}$ 和 $N_{s1}^M f_{s1}$ 实现盈利，同时产生服务成本 $\frac{k}{2}q^2$，即平台的利润函数为：

$$\pi_1^M = N_{d1}^M f_{d1} + N_{s1}^M f_{s1} - \frac{k}{2}q^2.$$

可以求得：

$$N_{d1}^M = \frac{1 - f_{d1} + q\beta_d + (c - \alpha_d)(-1 + f_{s1} - q\beta_s)}{1 + (c - \alpha_d)\alpha_s},$$

$$N_{s1}^M = \frac{1 - f_{s1} + \alpha_s - f_{d1}\alpha_s + \alpha_s q\beta_d + q\beta_s}{1 + (c - \alpha_d)\alpha_s}.$$

将 N_{d1}^M, N_{s1}^M 代入 π_1^M 并令 $\frac{\partial \pi_1^M}{\partial f_{d1}} = 0, \frac{\partial \pi_1^M}{\partial f_{s1}} = 0$ 可得使平台利润最大的注册费 $f_{d1}{}^*, f_{s1}{}^*$。定义 $X = 1 + q\beta_d$，表示平台服务带给产能需求方的效用；$Y = 1 + q\beta_s$，表示平台服务带给产能供应方的效用；$R = c - \alpha_d$ 表示冲销了需求侧网络外部性的制造成本：

$$f_{d1}^* = \frac{(\alpha_s(\alpha_s - R) - 2)X + (R + \alpha_s)Y}{(R + \alpha_s)^2 - 4},$$

$$f_{s1}^* = \frac{(R(R - \alpha_s) - 2)Y - (R + \alpha_s)X}{(R + \alpha_s)^2 - 4}.$$

求得 π_1^M 的海塞阵为：

$$H\left(\pi_1^M\right) = \begin{bmatrix} \frac{-2}{1+R\alpha_s} & \frac{R-\alpha_s}{1+R\alpha_s} \\ \frac{R-\alpha_s}{1+R\alpha_s} & \frac{-2}{1+R\alpha_s} \end{bmatrix}.$$

为保证 $f_{d1}{}^*, f_{s1}{}^*$ 存在，需要满足 $H(\pi_1^M)$ 负定，可以求得均衡条件：$-2 < R - \alpha_s < 2$。

将 $f_{d1}{}^*, f_{s1}{}^*$ 代回原式可得到均衡时双边用户加入平台的规模和平台利润：

$$N_{d1}^{M^*} = \frac{(R - \alpha_s)Y - 2X}{(\alpha_s - R)^2 - 4}, N_{s1}^{M^*} = \frac{(R - \alpha_s)X - 2Y}{(\alpha_s - R)^2 - 4},$$

$$\pi_1^{M*} = \frac{X^2 + Y^2 + (\alpha_s - R)XY}{4 - (\alpha_s - R)^2} - \frac{k}{2}q^2.$$

为保证双边用户数量为正值，结合均衡条件和参数本身范围，注册费模式下平台追求自身利润最大化需要满足的条件为：

$$-2 < R - \alpha_s < 1$$

2.2 利润最大化目标下的固定交易费模式分析

与注册费定价模式相似，产能供应方和需求方的效用函数分别为：

$$U_d^T = v_d + \alpha_d N_{s1}^T + q\beta_d - cN_{s1}^T,$$

$$U_s^T = v_s + \alpha_s N_{d1}^T + q\beta_s - p_1 N_{d1}^T.$$

双边用户加入平台的规模为：

$$N_{d1}^T = 1 * \mathrm{P}\left[v_d > v_d{}^*\right] = 1 + \alpha_d N_{s1}^T + q\beta_d - cN_{s1}^T,$$

$$N_{s1}^T = 1 * \mathrm{P}\left[v_s > v_s{}^*\right] = 1 + \alpha_s N_{d1}^T + q\beta_s - p_1 N_{d1}^T.$$

固定交易费定价模式下的平台利润主要来源于每次交易收取的固定费用，由于加入平台双边的用户互相之间都有一定概率会发生交易，因此潜在的交易规模用 $N_{d1}^T N_{s1}^T$ 表示，则平台利润函数为：

$$\pi_1^T = N_{d1}^T N_{s1}^T p_1 - \frac{k}{2}q^2.$$

可以求得：

$$N_{d1}^T = \frac{X - RY}{1 - p_1 R + R\alpha_s}, N_{s1}^T = \frac{Y + X(\alpha_s - p_1)}{1 - p_1 R + R\alpha_s}.$$

将 N_{d1}^T, N_{s1}^T 代入 π_1^T，并令 $\frac{\partial \pi_1^T}{\partial p_1} = 0$，可得使平台利润最大的固定交易费 $p_1{}^*$：

$$p_1^* = \frac{(1 + R\alpha_s)(Y + X\alpha_s)}{X(2 + R\alpha_s) - RY}.$$

为保证 $p_1{}^*$ 存在，需要满足二阶条件 $\frac{\partial^2 \pi_1^T}{\partial {p_1}^2} < 0$，可以求得均衡条件 $(p_1 - \alpha_s)R < 1$。

将 $p_1{}^*$ 代回原式可得均衡时双边用户加入平台的规模和平台利润：

$$N_{d1}^{T*} = \frac{(2 + R\alpha_s)X - RY}{2 + 2R\alpha_s}, N_{s1}^{T*} = \frac{Y + \alpha_s X}{2 + 2R\alpha_s},$$

$$\pi_1^{T*} = \frac{(Y + \alpha_s X)^2}{4 + 4R\alpha_s} - \frac{k}{2}q^2.$$

为保证双边用户数量为正值，结合均衡条件和参数本身范围，固定交易费模式下平台追求自身利润最大化需要满足的条件为：

$$(p_1 - \alpha_s)R < 1, \frac{X}{Y} > \frac{R}{2 + R\alpha_s}.$$

2.3 社会福利最大化目标下的注册费模式分析

根据 2.1 中所求，平台收取注册费的定价模式下，加入平台的双边用户规模和平台利润为：

$$N_{d2}^{M}=\frac{X-f_{d2}+R\left(f_{s2}-Y\right)}{1+R\alpha_s},$$

$$N_{s2}^{M}=\frac{Y+X\alpha_s-f_{s2}-f_{d2}\alpha_s}{1+R\alpha_s},$$

$$\pi_2^M=\frac{f_{s2}\left(Y+X\alpha_s-f_{s2}-f_{d2}\alpha_s\right)}{1+R\alpha_s}+\frac{f_{d2}\left(X+R\left(f_{s2}-Y\right)-f_{d2}\right)}{1+R\alpha_s}-\frac{k}{2}q^2.$$

根据产能分享平台的各个参与方特性，可以得到社会福利表达式：

$$W^M=S_d^M+S_s^M+\pi_2^M.$$

其中，

$$S_d^M=\int_{v_d{}^*}^{1}\left(v_d+\alpha_d N_{s2}^M+q\beta_d-cN_{s2}^M-f_{d2}\right)f\left(v_d\right)dv_d=\frac{\left(X-f_{d2}+R\left(f_{s2}-Y\right)\right)^2}{2\left(1+R\alpha_s\right)^2}.$$

$$S_s^M=\int_{v_s{}^*}^{1}\left(v_s+\alpha_s N_{d2}^M+q\beta_s-f_{s2}\right)f\left(v_s\right)dv_s=\frac{\left(f_{s2}+\alpha_s\left(f_{d2}-X\right)-Y\right)^2}{2\left(1+R\alpha_s\right)^2}.$$

令 $\frac{\partial W^M}{\partial f_{d2}}=0,\frac{\partial W^M}{\partial f_{s2}}=0$ 可以得到：

$$f_{d2}{}^*=\frac{\alpha_s\left(\alpha_s-R\right)X+\alpha_s Y}{\left(\alpha_s-R\right)^2-1},$$

$$f_{s2}{}^*=\frac{R\left(\left(\alpha_s-R\right)Y+X\right)}{1-\left(\alpha_s-R\right)^2}.$$

W^M 的海塞阵 $H\left(W^M\right)$ 为：

$$H\left(W^M\right)=\begin{bmatrix}\frac{\alpha_s^2-1-2R\alpha_s}{\left(1+R\alpha_s\right)^2} & \frac{R(R-\alpha_s)\alpha_s}{\left(1+R\alpha_s\right)^2}\\ \frac{R(R-\alpha_s)\alpha_s}{\left(1+R\alpha_s\right)^2} & \frac{R^2-2R\alpha_s-1}{\left(1+R\alpha_s\right)^2}\end{bmatrix}$$

为了保证 $f_{d2}{}^*,f_{s2}{}^*$ 存在，需要满足 $H\left(W^M\right)$ 负定，可以求得均衡条件：$\frac{\alpha_s^2-1}{2\alpha_s}<R<1$。

则均衡时加入平台的双边用户规模、平台利润和社会福利分别为：

$$N_{d2}^{M*}=\frac{\left(R-\alpha_s\right)Y-X}{\left(\alpha_s-R\right)^2-1},N_{s2}^{M*}=\frac{\left(R-\alpha_s\right)X-Y}{\left(\alpha_s-R\right)^2-1},$$

$$\pi_2^M=\frac{\left(R-\alpha_s\right)\left(\left(R-\alpha_s\right)X-Y\right)\left(\left(R-\alpha_s\right)Y-X\right)}{\left(\alpha_s-1-R\right)^2\left(\alpha_s+1-R\right)^2}-\frac{k}{2}q^2,$$

$$W^{M*}=\frac{2\left(R-\alpha_s-1\right)XY-\left(X-Y\right)^2}{2\left(\alpha_s-R\right)^2-2}-\frac{k}{2}q^2.$$

为保证双边用户数量为正值，结合均衡条件和参数本身范围，注册费模式下以社会福利最大化为目标时需要满足的条件为：

$$\alpha_s-1<R<1,\frac{\alpha_s^2-1}{2\alpha_s}<R<1,$$

$$R-\alpha_s<\frac{X}{Y},R-\alpha_s<\frac{Y}{X}.$$

2.4 社会福利最大化目标下的固定交易费模式分析

根据 2.2 中所求，平台收取固定交易费的定价模式下，加入平台的双边用户规模和平台利润为：

$$N_{d2}^{T}=\frac{X-RY}{1-p_2R+R\alpha_s},N_{s2}^{T}=\frac{X\left(\alpha_s-p_2\right)+Y}{1-p_2R+R\alpha_s},$$

$$\pi_2^T=\frac{p_2(X-RY)\left(X\left(\alpha_s-p_2\right)+Y\right)}{\left(1-p_2R+R\alpha_s\right)^2}-\frac{k}{2}q^2.$$

与 2.3 中类似：

$$W^T=S_d^T+S_s^T+\pi_2^T,$$

$$S_d^T=\int_{v_d{}^*}^{1}\left(v_d+\alpha_d N_{s2}^T+q\beta_d-cN_{s2}^T\right)f\left(v_d\right)dv_d=\frac{\left(X-RY\right)^2}{2\left(R\left(p_2-\alpha_s\right)-1\right)^2},$$

$$S_s^T=\int_{v_s}^{1}\left(v_s+\alpha_s N_{d2}^T+q\beta_s-p_2N_{d2}^T\right)f\left(v_s\right)dv_s=\frac{\left(Y-X\left(p_2-\alpha_s\right)\right)^2}{2\left(R\left(p_2-\alpha_s\right)-1\right)^2}.$$

令 $\frac{\partial W^T}{\partial p_2}=0$，可以求得：

$$p_2{}^*=\frac{R\left(Y\left(R-\alpha_s\right)-\left(\alpha_s^2+1\right)X\right)}{RY-X\left(R\alpha_s+1\right)}.$$

为了保证 $p_2{}^*$ 存在，需要满足二阶条件 $\frac{\partial^2 W^T}{\partial {p_2}^2}<0$，可以求得均衡条件：$\left(p_2-\alpha_s\right)R<-2$。

因此，均衡时加入平台的双边用户规模、平台利润和社会福利分别为：

$$N_{d2}^{T*}=\frac{X\left(R\alpha_s+1\right)-RY}{1-R\left(R-2\alpha_s\right)},N_{s2}^{T*}=\frac{X\left(R-\alpha_s\right)-Y}{R\left(R-2\alpha_s\right)-1}.$$

$$\pi_2^T=\frac{R\left(X\left(R-\alpha_s\right)-Y\right)\left(Y\left(R-\alpha_s\right)-X\left(\alpha_s^2+1\right)\right)}{\left(1-R\left(R-2\alpha_s\right)\right)^2}-\frac{k}{2}q^2.$$

$$W^{T*}=\frac{\left(X+Y\right)^2+X^2-2XYR}{2-2R\left(R-2\alpha_s\right)}-\frac{k}{2}q^2.$$

为保证双边用户数量为正，结合均衡条件和参数范围，固定交易费模式下以社会福利最大化为目标时需要满足的条件为：

$$\left(p_2-\alpha_s\right)R<-2,R-\alpha_s<\frac{Y}{X},\frac{R}{\alpha_s R+1}<\frac{X}{Y}.$$

3 结果分析

命题 1 以产能分享平台利润最大化为目标，在达到均衡状态时，可以得到两种定价模式下不同参数对于平台利润的影响：

（1）两种定价模式下的平台利润与供需双方的网络外部性 α_d,α_s 分别存在正相关关系。

（2）两种定价模式下的平台利润与供需双方的服务敏感性系数 β_d, β_s 分别存在正相关关系。

（3）两种定价模式下的平台利润与供应方的产能定价 c 存在负相关关系。

（4）两种定价模式下的平台利润均是关于平台服务水平 q 的凹函数，服务水平较低时与 q 正相关，服务水平较高时与 q 负相关。

证明 求平台利润关于各外生参数的一阶偏导数，结合注册费模式下，以平台利润最大化为目标的条件：$-2 < c - \alpha_d - \alpha_s < 1$；和固定交易费模式下，以平台利润最大化为目标的条件：$(p_1 - \alpha_j)(c - \alpha_d) < 1, \frac{1+q\beta_d}{1+q\beta_s} > \frac{\alpha_d\alpha_s + c - \alpha_d}{2+\alpha_s(c-\alpha_d)}$ 可判断一阶偏导数的正负，得到各参数对平台利润的影响。

交叉网络外部性反映出平台一边用户的规模增加给另一边用户带来的效用，如前文所述。因此交叉网络外部性的提高会吸引更多的客户加入平台，可能促成的交易量也会增加，而平台收益主要来自于双边用户注册费或固定交易费，无论是用户的规模增加还是交易量的增加都会使平台利润提升。在平台运营过程中，为了获得更大利润需要增大双边用户的网络外部性，如平台发展初期通过补贴一边用户以吸引其加入就是一种有效手段[?]。

供需双方的服务敏感性系数体现了平台提供不同的服务水平对用户效用的影响程度，用户的服务敏感性较强时，对服务水平的要求较高，平台为了吸引客户会努力提升服务水平，同时也会提高定价。而用户因为对服务水平比较敏感，在服务水平提升时会更愿意选择加入平台，客户规模增大、加入平台的注册费/交易费用提升会给平台带来更大的利润。因此针对服务敏感性强的客户群体，平台可以适当提高服务水平和定价以提升利润，但在客户同时对价格和服务敏感时需要考虑两者的关系，本文暂未研究客户对于价格的敏感性影响。

除平台收费外，产能需求方在平台完成制造任务需要缴纳制造费用——供应方产能定价 c，由供应方定价并通过平台收取。平台盈利不直接与其相关，但 c 越大，需求方的规模会相应地减小，交易达成的成功率会降低，因此无论是注册费模式还是固定交易费模式的平台利润都会因为 c 的增加而减小，平台也需要对供应方产能定价进行管控。

平台为双边用户提供的服务水平可高可低，在服务水平较高时双边用户会得到更大的效用，加入平台的用户规模会扩大，同时平台也会适当增加注册费或交易费；在平台服务水平较低时，提升服务水平带来的成本小于用户规模扩大带来的收益，平台利润增加。当平台服务已经处于较高的水平时，再次提升服务水平给用户带来的收益是递减的，且带来的额外成本比用户规模扩大带来的收益高，此时再盲目地提升服务水平会导致利润降低。

命题 2 以利润最大化为目标，注册费模式下的平台利润大于固定交易费模式下的平台利润。

证明 均衡时两种模式下平台利润差 $\Delta\pi_1 = \pi_1^{M^*} - \pi_1^{T^*} = \frac{(Y(R+\alpha_s)+\alpha_s X(\alpha_s - R))^2}{4\left(4-(\alpha_s-R)^2\right)(1+R\alpha_s)}$。其中分子恒为非负值，而条件 $-2 < R - \alpha_s < 1, -1 < R < 1$ 限制了分母为正，则 $\Delta\pi_1$ 恒为非负值，即 $\pi_1^{M^*} > \pi_1^{T^*}$。

当产能分享平台追求自身利润最大化时，双边用户的网络外部性、服务敏感性系数等均不对两种定价模式的平台利润差值的正负造成影响，即平台应当尽可能地选择注册费定价模式。值得思考的是，两种模式下的服务水平存在差异时会导致利润的不同，且收取双边注册费时平台需要对双边的服务水平给予更大的关注，但仅对产能供应方收取固定交易费时更多关注的是对供应方单边的服务水平。因此固定交易费模式下的服务成本往往会小于注册费模式下的服务成本，进而改变平台利润差值，影响定价模式选择。另外也可以通过提供差异化服务来获取竞争优势，差异化竞争本文暂不讨论。

命题 3 以社会福利最大化为目标，两种定价模式下的社会福利大小与 R 的取值有关。

（1）当 $\alpha_s - 1 < R < 1$ 或 $-1 < R < \alpha_s - \sqrt{\alpha_s^2 + 1}$ 时，注册费模式下的社会福利大于固定交易费模式；当 $\alpha_s - \sqrt{\alpha_s^2+1} < R < \alpha_s - 1$ 时，固定交易费模式的社会福利大于注册费模式的社会福利。

（2）两种模式下的社会福利差值与平台提供的服务水平 q 正相关，与需求方的服务敏感性系数 β_d 正相关，与供应方的服务敏感性系数 β_s 负相关。

证明 两种定价模式下的社会福利差值 $\Delta W = W^{M^*} - W^{T^*} = \frac{\alpha_s^2(Y - X(R-\alpha_s))^2}{-2(1+R-\alpha_s)(1-R+\alpha_s)(R^2-2R\alpha_s-1)}$。表达式分子为平方项，恒为非负值，讨论分母的正负即得到 ΔW 不同大小时 R 的取值范围。对 ΔW 分别求关于不同外生参数的一阶偏导数可得 $\frac{\partial\Delta W}{\partial q} > 0, \frac{\partial\Delta W}{\partial\beta_d} > 0, \frac{\partial\Delta W}{\partial\beta_s} < 0$。

根据前文定义，R 由产能供应方的产能定价和需求方的网络外部性决定，它的取值范围影响了定价模式的选择，因此在选择了定价模式的前提下，平台需要对产能供应方的产能定价进行一定的干预，或采取措施影响双边用户的网络外部性，以调节 R 的范围，实现社会福利的最大化。

通过 R 的取值范围可以看出，固定交易费模式下的社会福利大于注册费模式时的取值区间较小，即选择注册费模式可以获得更大的自由度，也可以较小地对供应方产能定价进行干预。另外，两种模式下的社会福利差值受服务水平和双边用户的服务敏感性影响，当市场上两种定价模式都有平台采用时，采取注册费模式的平台可以通过提升服务水平

或吸引对服务更敏感的产能需求方来获取优势，采取固定交易费的平台也可以通过吸引更多对服务敏感的产能供应方来拉开社会福利差距。

命题 4 以社会福利最大化为目标时，往往需要平台牺牲自身利润对双边用户进行补贴。

（1）注册费模式下，平台始终需要对需求方进行补贴；且当 $-1 < R < 0$ 时平台对供应方补贴，此时平台利润为负值；当 $0 < R < 1$ 不对供应方进行补贴，此时平台利润情况取决于平台服务成本的大小。

（2）固定交易费模式下，当 $-1 < R < 0$ 或 $\frac{(\alpha_s^2+1)X}{Y} + \alpha_s < R < 1$ 时需要对产能供应方补贴，当 $0 < R < \frac{(\alpha_s^2+1)X}{Y} + \alpha_s$ 时不对供应方补贴，平台利润均为负值。

证明 根据 $\alpha_s - 1 < R < 1, R - \alpha_s < \frac{X}{Y}, R - \alpha_s < \frac{Y}{X}$ 可以判断 ${f_{d2}}^*$ 小于 0，即始终需要对产能需求方进行补贴；当 $0 < R < 1$ 时，${f_{s2}}^* < 0$，此时平台对供应方补贴，且平台没有收益来源，$\pi_2^M < 0$。当 $R < 0$ 时，${f_{s2}}^* > 0$，即此时不需要对供应方进行补贴，观察利润函数 $\pi_2^M = \frac{(R-\alpha_s)((R-\alpha_s)X-Y)((R-\alpha_s)Y-X)}{(\alpha_s-1-R)^2(1-R+\alpha_s)^2} - \frac{k}{2}q^2$，根据 $R < 0$ 可知分子小于 0，根据均衡条件 $\alpha_s - 1 < R < 1$ 可以得到 $(R-\alpha_s)^2 - 1 < 0$，即 π_2^M 的正负与服务成本相关。固定交易费模式下的证明类似。

产能需求方需要为制造任务支付费用，因此会减少消费者剩余，为了使得社会福利最大化往往需要对其进行补贴。两种模式下，当 R 较小时，平台需要对供应方补贴，是因为此时供应方的产能定价 c 较小或需求方的网络外部性 α_d 较大，c 较小使供应方的剩余受到损失，因而需要进行一定的补贴，此时平台没有额外的收入来源，所以利润为负；而 R 较大时，无需对供应方补贴，因为供应方可能已经通过较高的产能定价获利，此时的平台利润取决于服务成本的大小，为了各方利益均衡可以考虑适当降低服务水平来缩减成本。另外，一味追求社会福利往往会损害平台利润，因此政府会对此时的产能分享平台进行一定的财政支持或政策扶持。

4 算例分析

根据文献 [23] 和文献 [25]，结合前文设置与计算得到的参数取值范围，取 $\alpha_d = 0.7, \alpha_s = 0.5, \beta_d = 0.2, \beta_s = 0.4, c = 1, k = 1, q = 0.8$，作图对得到的命题进行验证与讨论。

图 3-图 6 展示了以平台利润最大化为目标的两种定价模式下，均衡利润与各外生参数之间的关系。可以看出在取值范围内，注册费模式下的均衡利润均大于固定交易费模式下的均衡利润，且平台均衡利润与 $\alpha_d, \alpha_s, \beta_d, \beta_s$ 存在正相关关系（限于篇幅，平台利润关于 α_d 和 β_s 的图像没有给出，但趋势相同）；与供应方产能定价 c 存在负相关关系，是关于平台服务水平 q 的凹函数，与命题 2 相符。

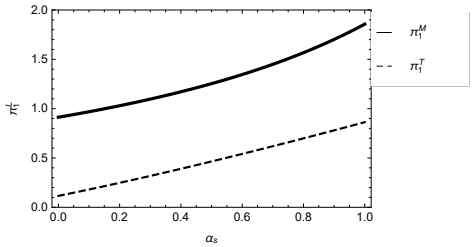

图 3 平台利润与供应方网络外部性 α_s 的关系

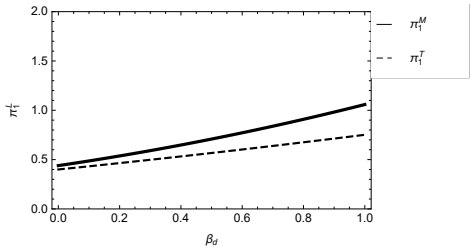

图 4 平台利润与需求方服务敏感性系数 β_d 的关系

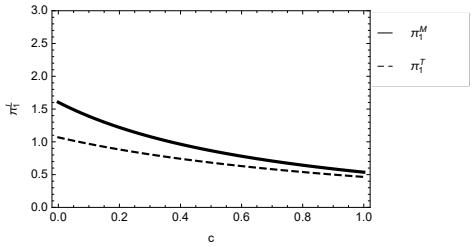

图 5 平台利润与供应方产能定价 c 的关系

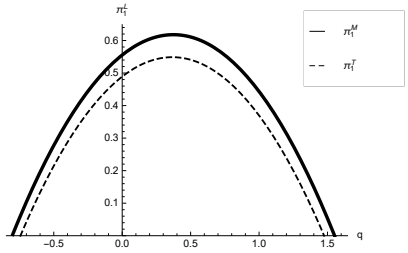

图 6 平台利润与平台服务水平 q 的关系

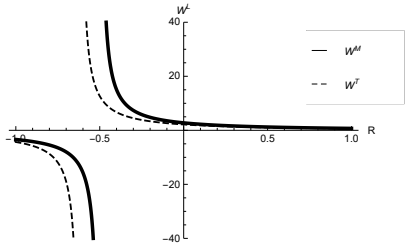

图 7 社会福利与 R 的关系

图 7 展示了社会福利与 R 的关系，且在 R 很小或很大时，注册费模式下的社会福利较大，在 R 取中间值时，固定交易费模式下的社会福利较大，在 R 逼近 1 时两种模式下的社会福利较为接近，但仍是注册费模式下较优，与命题 3 相符。

图 8-图 10 展示了社会福利最大化为目标时的

平台定价与 R 的关系，注册费模式下平台定价与 R 正相关，且平台始终对需求方补贴，在 $R<0$ 时对供应方补贴，在对双边用户均补贴时平台利润始终为负值。固定交易费模式下的平台利润始终为负值，如图 9、10，在 R<0 时对供应方补贴，在 $0<R<\frac{(\alpha_s^2+1)x}{y}+\alpha_s$ 时不对供应方进行补贴，与命题 4 相符。

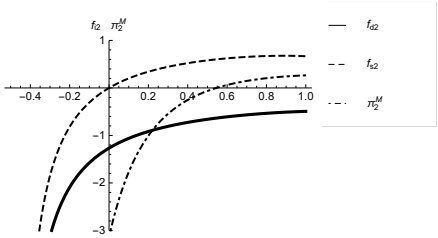

图 8 双边注册费、平台利润与 R 的关系

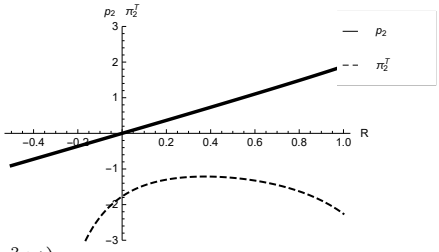

图 9 $\frac{(\alpha_s^2+1)x}{y}+\alpha_s>1$ 时，固定交易费、平台利润与 R 的关系

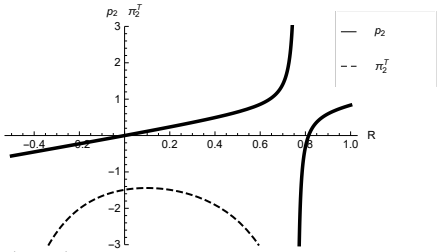

图 10 $\frac{(\alpha_s^2+1)x}{y}+\alpha_s<1$ 时，固定交易费、平台利润与 R 的关系

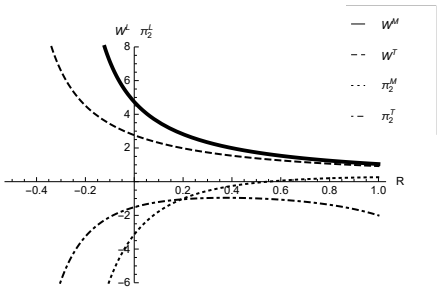

图 11 社会福利、平台利润与 R 的关系

图 11 展示了以社会福利最大化为目标时，社会福利与平台利润随 R 的变化。在 R 较小时，固定交易费的社会福利和平台利润均大于注册费模式；在 R 较大时，两种模式的社会福利趋于一致，但注册费模式的平台利润较大，且实际上在改变服务成本时利润可能会大于零，因而此时选择注册费模式会更优；在 R 取中间范围时为了追求更大的社会福利，会选择注册费定价模式。

5 结 语

本文参考双边市场理论的相关研究，结合当下的热点问题——产能分享的相关特点，研究产能分享平台的定价策略。对平台在两种决策目标下的定价模式选择与价格制定做出了合理建议，也通过对外生参数的敏感性分析探寻了平台提升利润、增加社会福利和获得竞争优势的管理学启示。并通过算例分析对结论进行了验证：（1）定价模式选择。以平台利润最大化为目标时，注册费模式下平台的均衡利润大于固定交易费模式下平台的均衡利润。以社会福利最大化为目标时，当 $\alpha_s-1<R<1$ 或 $-1<R<\alpha_s-\sqrt{{\alpha_s}^2+1}$，注册费模式下的社会总福利较优；当 $\alpha_s-\sqrt{{\alpha_s}^2+1}<R<\alpha_s-1$，固定交易费模式下的社会福利较优，且社会福利差值受平台服务水平和双边用户的服务敏感性系数影响。（2）外生参数对平台利润的影响。以平台利润最大化为目标，两种定价模式下的平台利润与供需双方的网络外部性 α_s,α_d、供需双方的服务敏感性系数 β_d,β_s 均存在正相关关系，与供应方的产能定价 c 存在负相关关系，且是关于平台服务水平 q 的凹函数，当服务水平较低时与 q 正相关，当服务水平较高时与 q 负相关。（3）平台补贴分析。以社会福利最大化为目标时，在注册费模式下，平台始终需要对需求方进行补贴，且当 $-1<R<0$ 时平台对供应方补贴；在固定交易费模式下，当 $-1<R<0$ 或 $\frac{(\alpha_s^2+1)x}{y}+\alpha_s<R<1$ 时需要对产能供应方补贴。

本文将服务水平 q 作为外生参数进行分析，且平台对双边的服务水平一致，在后续的研究中可以考虑将其作为一个决策变量或内生参数，或是考虑双边服务水平不同以及对部分客户提供不同的服务水平开展研究。另外，没有讨论追求平台盈利情况下的补贴行为，实际上在平台发展初期这种现象是普遍存在的，对这方面的讨论还有待深入。

参考文献 (References)

[1] 国家信息中心分享经济研究中心，《中国共享经济发展报告 2021》[R]. http://www.sic.gov.cn/News/557/10779.htm
(Sharing Economic Research Center in the State Information Center. The development report of sharing economic in China in 2021 [R]. http://www.sic.gov.cn/News/557/10779.htm)

[2] 国家信息中心分享经济研究中心，《中国共享经济发展报告 2020》[R]. http://www.sic.gov.cn/News/568/10429.htm

(Sharing Economic Research Center in the State Information Center. The development report of sharing economic in China in 2021 [R]. http://www.sic.gov.cn/News/568/10429.htm)

[3] 国家信息中心分享经济研究中心,《中国共享经济发展报告 2018)》[R]. http://www.sic.gov.cn/News/79/8861.htm
(Sharing Economic Research Center in the State Information Center. The development report of sharing economic in China in 2021 [R]. http://www.sic.gov.cn/News/79/8861.htm)

[4] Katz, M. L., C. Shapiro. "Network Externalities, Competition, and Compatibility." American Economic Review 75.3(1985):424-440.

[5] Armstrong M. Competition in two-sided markets[J]. Rand Journal of Economics, 2006, 37(3): 668-691.

[6] Rochet J.C, Tirole J. PLATFORM COMPETITION IN TWO-SIDED MARKETS[J]. Journal of the European Economic Association, 2003, 1(4):174-179.

[7] Andrei, Hagiu, Hanna, et al. Information and two-sided platform profits[J]. International Journal of Industrial Organization, 2013, 34(MAY):25-35.

[8] 纪汉霖. 用户部分多归属条件下的双边市场定价策略 [J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(01):75-83.
(Ji H L. Pricing and strategy of two-sided markets with partial multihoming[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2011, 31(01): 75-83.)

[9] Dou Y F ,Wu, D J. Platform Competition under Network Effects: Piggybacking and Optimal Subsidization (January 4, 2021). Forthcoming in Information Systems Research, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3109183

[10] Xue Z J, Cheng S Q, et al. Pricing models of two-sided markets incorporating service quality[J]. Kybernetes, 2019, 48(8): 1827-1850.

[11] Roger G. Two-sided competition with vertical differentiation[J]. Journal of Economics, 2017, 120(3).

[12] Dou G W, He P, Xu X Y. One-side value-added service investment and pricing strategies for a two-sided platform[J]. International Journal of Production Research, 2016, 54(13): 1-14.

[13] Dou G W, Lin X D, Xu X P. Value-added service investment strategy of a two-sided platform with the negative intra-group network externality[J]. Kybernetes, 2018, 47(5): 937-956.

[14] Lin X G, Chen C Y, Lin Z Z, et al. Pricing and Service Strategies for Two-sided Platforms[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2019, 28(3): 18.

[15] Liu W H, Yan X Y, Wei W Y, et al. Pricing decisions for service platform with provider's threshold participating quantity, value-added service and matching ability[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2019, 122(FEB.): 410-432.

[16] 谢家平, 夏宇, 梁玲, 刘丹. 科研设备共享平台的配套服务水平决策 [J]. 运筹与管理,2021,30(03):65-70.
(Xie J P, Xia Y, Liang L, et al. Service level decision of scientific instrument sharing platform[J]. Operations research and management science, 2021,30(03):65-70.)

[17] 唐东平, 王秋菊, 丁禹宁. 差异化服务条件下双边市场平台定价策略 [J]. 工业工程,2013,16(06):77-83.
(Tang D P, Wang Q J, Ding Y N. A Study on Pricing Strategy of Two-sided Markets with Service Differentiation[J]. Industrial Engineering Journal, 2013, 16(06): 77-83.)

[18] Yu Y M, Benjaafar S, Gerchak Y. Capacity Sharing and Cost Allocation among Independent Firms with Congestion[J]. Production and Operations Management, 2015, 24(8): 1285-1310.

[19] Roels G., Tang C S. Win-win capacity allocation contracts in coproduction and co-distribution alliances[J]. Management Science, 2017, 63(3):861-881.

[20] 赵道致, 杜其光. 供应链中需求信息更新对制造能力共享的影响 [J]. 系统管理学报, 2017, 26(02):374-380+389.
(Zhao D Z, Du Q G. The impact of demand information updating on sharing of manufacturing capacity in the supply chain[J]. 2017, 26(02):374-380+389.)

[21] 赵道致, 郝家芹, 杨洁, 韩红帅. 考虑平台网络外部性的分享经济中三方演化博弈分析 [J]. 控制与决策,2020,35(07):1741-1750.
(Zhao D Z, Hao J Q, et al.. Evolutionary game analysis of three parties in sharing economy considering network externality of platform[J]. Control and Decision, 2020, 35(07): 1741-1750.)

[22] 郝家芹, 赵道致. 分享经济环境下制造业产能分享的三群体演化博弈分析 [J]. 运筹与管理, 2021,30(02):1-7.
(Hao J Q, Zhao D Z. Tripartite-players Evolutionary Game Analysis of the Manufacturing Capacity Sharing in the Environment of Sharing Economy[J]. Operations research and management science, 2021,30(02):1-7.)

[23] 赵道致, 陈慢慢. 考虑用户时间敏感的云制造平台定价策略研究 [J]. 管理学报,2021,18(02):262-269.
(Zhao D Z, Chen M M. Research on pricing strategy of cloud manufacturing platform considering time-sensitive customers[J]. Chinese Journal of management, 2021, 18(02): 262-269.)

[24] Zhao D Z, Han H S, Jennifer S, et al. Decisions and coordination in a capacity sharing supply chain under fixed and quality-based transaction fee strategies[J]. Computers & Industrial Engineering, 2020, 150.

[25] Chen J Q, Fan M, Li M Z. Advertising versus Brokerage Model for Online Trading Platforms[J]. MIS Quarterly, 2016, 40(3):575-596.

作者简介

赵道致 (1956−), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 从事分享经济、运营与供应链管理、运营管理、工业工程等研究, E-mail: dzzhao@tju.edu.cn;

周仁杰 (1995−), 男, 硕士生, 从事分享经济、运营与供应链管理的研究, E-mail: zhourenjie11@tju.edu.cn;

杨　爽 (1992−), 女, 博士生, 从事分享经济、运营与供应链管理的研究, E-mail: serinayang@tju.edu.cn.