doi:10.3969/j.issn.1005-152X.2021.10.014

O2O模式下考虑双边销售努力的汽车供应链决策与协调

贾纯洁[1],周娟娟[1],尚　猛[1,2]
(1.安阳工学院　飞行学院,河南　安阳　455000;
2.岭南大学经济研究所,韩国　庆山　385141)

[摘　要]在"线上咨询+线下销售"这种O2O模式下,分别引入两部费用契约和组合式契约,研究了基于双边销售努力的汽车供应链决策与协调问题。研究发现:无论是否引入协调契约,汽车零售商愿意付出的销售努力均比制造商多,且随着制造商付出的增加而增加。两种协调契约的引入均有利于提升汽车供应链双方努力水平,但是两部费用契约损害了汽车零售商的利益,不能协调供应链。当契约条件满足参数设定时,"两部费用+努力成本共担"组合契约可有效提高汽车制造商和零售商的销售努力积极性,实现O2O模式下汽车供应链系统收益的帕累托改进。最后通过数值分析验证了结论的正确性。

[关键词]O2O模式;汽车供应链;销售努力;供应链协调

[中图分类号]F426.471;F224　　[文献标识码]A　　[文章编号]1005-152X(2021)10-0076-08

Decision-making and Coordination of Automobile Supply Chains Considering Bilateral Sales Efforts in O2O Mode

JIA Chunjie[1], ZHOU Juanjuan[1], SHANG Meng[1,2]
(1. Flying Academy, Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, China;
2. Institute of Economics, Yeungnam University, Gyeongsan 385141, Republic of Korea)

Abstract: In this paper, into the O2O mode of online consultation to offline sales, we introduced the two-part tariff contract and the combinational contract respectively to study the decision-making and coordination of the automobile supply chain based on bilateral sales efforts. The result showed that whether the coordinated contract was introduced, the sales effort of the automobile retailer was higher than that of the manufacturer, and it increased with the manufacturer's sales effort; the introduction of the two coordination contracts was beneficial to improving the sales efforts level of both sides of the automobile supply chain; but the two-part tariff contract would harm the interests of the automobile retailer and could not coordinate the supply chain. At certain parameter setting, the combinational contract of two-part tariff + effort cost sharing could effectively improve the sales efforts of both the manufacturer and the retailer, realizing the pareto improvement of the revenue of the automobile supply chain system in O2O mode. Finally, the correctness of the conclusion was verified through a numerical analysis.

Keywords: O2O mode; automobile supply chain; sales effort; supply chain coordination

0　引言

O2O(online to offline)模式作为一种新型的电子商务模式,通过整合线上平台和线下实体店的资源与信息,实现线上线下渠道互通,这种模式被广泛应用在美团、携程、去哪儿等平台。目前有关O2O模式的研究主要包括"直接在线上渠道购买、直接在线下渠道购买及实体店体验后转到线上购买"这三种形

[收稿日期]2021-06-22
[基金项目]河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(2020GGJS233);河南省高校重点科研项目(20B630001);河南省教学工程项目(教高【2016】856号);安阳工学院校科研培育基金"考虑销售努力水平的资金约束汽车供应链决策研究"(YPY2020022)
[作者简介]贾纯洁(1992-),男,硕士,讲师,主要研究方向:供应链管理;周娟娟(1993-),女,硕士,讲师,主要研究方向:物流管理;尚猛,通信作者,博士,副教授,主要研究方向:运营管理。

式[1]。本文结合汽车行业的特点，研究O2O模式中的另外一种形式——“线上咨询+线下销售”。

根据商务部2017年发布的《汽车销售管理办法》第二十六条，“除双方合同另有约定外，供应商在经销商获得授权销售区域内不得向消费者直接销售汽车”，要求汽车供应商不直接向消费者销售汽车[2]。为拓宽销售渠道，汽车制造商将传统购车模式与互联网新零售创新结合，让顾客先在线上了解车型配置、口碑优惠等信息，然后引导到4S实体店面，进一步了解客户的真实需求并一站式解决金融贷款、上牌缴税等问题。汽车制造商虽不直接参与汽车销售，但通过线上平台的宣传，积极引导线上消费者到线下，最终销售量与汽车制造商和零售商的双边努力均有关系。因此，进一步探究双边销售努力影响需求的情况下，汽车供应链主体双方的合作关系与最优决策具有很强的现实意义。

关于O2O模式下双渠道供应链的研究，Huang[3]研究了传统零售渠道和加入电子商务渠道后制造商的最优定价问题。Tian[4]和Dan[5]认为由传统分销与制造商网上直销构成的双渠道存在竞争关系，研究了其定价策略和渠道选择问题。王文宾[6]在此基础上研究了基于电商平台的混合渠道供应链决策问题，并探究最优的收益分配比例以实现供应链利润最大化。Zhao[7]，Xu[8]分别构建了O2O混合渠道下经销商主导、制造商主导及双方均势的供应链模型；文悦，等[9]研究了电商平台自营和制造商直营的多渠道竞争策略。已有文献研究多涉及制造商、零售商或电商平台主导的多渠道供应链，但却忽略了线上与线下不能完全分离的情况，O2O模式下的消费多涉及两个阶段，如“线下体验+线上消费”。David，等[10]采用实证方法，研究了线下体验店的不确定性对消费者需求的影响。Chopra[11]以电商Bonobos为例，分析了“线下体验、线上购买”O2O模式对线上和线下渠道成本的影响，Adam[12]引入展厅效果对双渠道需求的影响，也证实了实体店展厅能够增加整体客户的转化率，提高供应链的运营效率。然而O2O模式的另外一种形式——“线上咨询+线下销售”很少被学者们关注，这种模式被广泛应用在售前服务可以分离的汽车行业、家具行业等。

关于销售努力的供应链协调问题，Taylor[13]发现单一的回购契约无法协调需求受零售商销售努力的供应链。何勇，等[14]、陈晓春，等[15]分别设计了销售回购及惩罚契约、“收益共享+成本共担+回购”组合式契约实现供应链协调。Jing，等[16]研究了零售商主导的双渠道供应链，表明线上需求是由平台和实体店的共同努力决定。在此基础上，王道平，等[17]利用传统的成本共担契约和讨价还价下成本共担契约对供应链进行协调，研究表明后者协调效果更好。丁正平[18]，Jing[19]均考虑了制造商或零售商销售努力的搭便车行为，提出了成本分担契约可以有效协调O2O供应链。本文研究的O2O模式下的汽车供应链，并不存在搭便车的行为，汽车制造商提供售前服务，将线上客户转移到线下，所有的客户只能在线下实体店下单，因此线上客户需求受到汽车制造商和零售商的双边努力影响，而线下渠道仅受到汽车零售商的努力影响。

根据以上文献归纳可知，尽管大量学者探究了O2O模式下“线下体验+线上消费”问题，但他们均未考虑“线上咨询+线下销售”两阶段销售的情况。尽管多数研究考虑了双边销售努力对渠道需求的影响，但销售努力对不同渠道的影响不同，本文考虑线上渠道需求受到汽车制造商和零售商的双边努力影响，而线下渠道仅受汽车零售商的努力影响。基于此，双边销售努力对O2O模式下汽车供应链决策及协调值得深入研究，期望研究结果有助于科学决策。

1 问题描述与假设

本文研究由单个汽车制造商和单个零售商构成的O2O汽车供应链。在传统渠道中，制造商以批发价格 w 将产品卖给零售商，零售商再以价格 p 进行销售。在“线上咨询+线下销售”两阶段营销的O2O模式下，汽车制造商首先依托电商平台提供车的性能配置、口碑优惠等售前服务，以“抵扣券”(价值一般为1元、99元不等，与汽车价值相比忽略不计)的形

式将其转化为线下客户,其不直接向顾客销售汽车产品。然后客户选择到附近的4S店获取试乘试驾、金融贷款等服务信息,客户满意后才决定向4S店支付尾款。但是通过两阶段营销所销售的产品,零售商将支付一部分渠道费用 N 给制造商作为补偿。客户对于两阶段营销渠道和传统渠道有不同的偏好,假定传统渠道偏好比例为 $(1-\theta)$,两阶段营销的O2O渠道偏好为 θ,因此O2O模式下双渠道汽车供应链如图1所示。

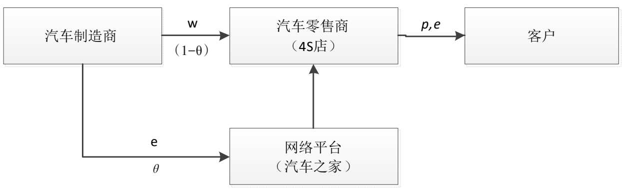

图1 O2O模式下双渠道汽车供应链

借助Song[20]和Gurnani[21]的研究,产品的市场需求 Q 受到产品价格 p,制造商的销售努力水平 e_M,零售商的销售努力水平 e_R 的影响,假设传统渠道中产品需求量为 $Q_r=a(1-\theta)-p+\delta e_R$,两阶段营销的O2O渠道中产品需求量为 $Q_O=a\theta-p+\gamma e_M+\delta e_R$,其中 a 表示市场的基本需求量 γ,δ 分别表示市场需求对制造商销售努力和零售商销售努力的敏感系数,且 $\delta>\gamma$。借助文献Taylor[13],假定销售努力成本因素为 K,汽车制造商和经销商的销售努力成本因素相等,销售努力成本分别为 $\frac{1}{2}Ke_M{}^2$,$\frac{1}{2}Ke_R{}^2$。

汽车制造商和零售商的博弈顺序为:首先汽车制造商决定产品的批发价格w和销售努力水平 e_M,然后汽车零售商确定产品的单价 p 和销售努力水平 e_R,通过逆向归纳法得到汽车制造商和零售商的均衡结果。

2 模型分析

2.1 集中决策模型

在集中决策下,把汽车制造商和零售商看作是一个整体,从整体利益最大化的角度进行决策,共同决策 p、e_M、e_R,构建集中决策下汽车供应链的整体利润函数为:

$$\pi_C=(p-c)(Q_O+Q_r)-\frac{1}{2}Ke_M{}^2-\frac{1}{2}Ke_R{}^2 \quad (1)$$

将Q₀与Qᵣ表达式代入式(1),得:

$$\pi_C=(p-c)(a-2p+\gamma e_M+2\delta e_R)-\frac{1}{2}Ke_M{}^2-\frac{1}{2}Ke_R{}^2 \quad (2)$$

命题1(1)集中决策下,若满足 $4K-\gamma^2>0$,且 $4K-\gamma^2-4\delta^2>0$,集中供应链利润函数 π_C 是关于 p、e_M、e_R 的联合凹函数,存在唯一的 $(p^{C^*},e_M{}^{C^*},e_R{}^{C^*})$,使得 π^*_C 最优,$e_M{}^{C^*}=\frac{\gamma(a-2c)}{4K-\gamma^2-4\delta^2}$,$e_R{}^{C^*}=\frac{2\delta(a-2c)}{4K-\gamma^2-4\delta^2}$,$p^{C^*}=c+\frac{K(a-2c)}{4K-\gamma^2-4\delta^2}$;(2)O2O汽车供应链的整体利润为 $\pi^*_C=\frac{1}{2}*\frac{K(a-2c)^2}{4K-\gamma^2-4\delta^2}$;(3)汽车制造商的最优努力水平低于零售商的努力水平,即 $e_M{}^{C^*}<e_R{}^{C^*}$。

证明:根据式(2),π_C 关于 p、e_M、e_R 的Hessian矩阵为:

$$A_1=\begin{bmatrix}-4 & \gamma & 2\delta\\ \gamma & -K & 0\\ 2\delta & 0 & -K\end{bmatrix}$$

Hessian 矩阵的各阶主子式分别为:$A_2=-4<0$,$A_3=4K-\gamma^2>0$,$A_4=-4K+\gamma^2+4\delta^2<0$,即 $A_4=4K-\gamma^2-4\delta^2>0$。

因此满足 $4K-\gamma^2>0$,且 $4K-\gamma^2-4\delta^2>0$ 时,集中供应链利润函数 π_C 是关于 p、e_M、e_R 的联合凹函数,联合求解一阶导数,可以得到唯一的 $(p^{C^*},e_M{}^{C^*},e_R{}^{C^*})$ 使得 π^*_C 最优。

由 $\frac{e_M{}^{C^*}}{e_R{}^{C^*}}=\frac{\gamma}{2\delta}<1$,$\delta>\gamma$,可知 $e_M{}^{C^*}<e_R{}^{C^*}$,则说明在集中决策下,汽车零售商的销售努力水平要高于汽车制造商的销售努力水平,这是因为汽车制造商仅负责将线上客户引流到线下,线上和线下渠道的最终销量是由汽车零售商的努力决定,因此零售商愿意付出更大努力。

2.2 基于批发价契约的分散决策

在分散决策下,汽车制造商与零售商从自身利益出发,构建双方利润函数:

$$\pi_M=(w-c)(a-2p+\gamma e_M+2\delta e_R)-\frac{1}{2}Ke_M{}^2 \quad (3)$$

$$\pi_R=(p-w)(a-2p+\gamma e_M+2\delta e_R)-\frac{1}{2}Ke_R{}^2 \tag{4}$$

命题2 （1）基于批发价格契约的分散决策下，若满足 $K>\delta^2, 8(K-\delta^2)>\gamma^2$，汽车零售商的利润 π_R 是关于 p 、e_R 的联合凹函数，存在均衡解 $p^D=\dfrac{K(3a+2c)-2(a+2c)\delta^2-c\gamma^2}{8(K-\delta^2)-\gamma^2}$ ，$e_R{}^D=\dfrac{2(a-2c)\delta}{8(K-\delta^2)-\gamma^2}$；（2）汽车制造商的利润函数 π_M 是关于 w, e_M 的联合凹函数，存在均衡解，$w^D=\dfrac{2(a+2c)(K-\delta^2)-c\gamma^2}{8(K-\delta^2)-\gamma^2}$，$e_M{}^D=\dfrac{\gamma(a-2c)}{8(K-\delta^2)-\gamma^2}$。

证明：证明过程与求解集中决策下的均衡解一致。

命题3 与集中决策相比，分散决策下汽车制造商和零售商的销售努力水平都有所下降，供应链的整体利润也下降。

证明：比较集中决策下 $e_M{}^{C^*}$ 和分散决策下的 $e_M{}^D$，由 $\dfrac{e_M{}^{C^*}}{e_M{}^D}=\dfrac{8(K-\delta^2)-\gamma^2}{4(K-\delta^2)-\gamma^2}>1$ 可知，$e_M{}^{C^*}>e_M{}^D$。

同理可以证明 $e_R{}^{C^*}>e_M{}^D$。

由命题3可知，分散决策下O2O汽车供应链存在“双重边际效益”，供应链双方的销售努力都有所下降，下面将讨论引入两部费用契约和组合契约来协调供应链。

2.3 协调模型分析

2.3.1 基于两部费用契约的协调策略。本节首先考虑引入两部费用契约 (N,L)，其中 N 表示经由两阶段O2O线上渠道销售的产品，汽车制造商收取线上导流的渠道费，因此批发价格变为 $(N+w)$，满足 $N<w$。L 为销售期末的固定支出，假定为外生变量0。

构建汽车制造商与零售商的利润函数：

$$\pi_M=(w-c)(a-2p+\gamma e_M+2\delta e_R)-\frac{1}{2}Ke_M{}^2+N(a\theta-p+\gamma e_M+\delta e_R) \tag{5}$$

$$\pi_R=(p-w)(a-2p+\gamma e_M+2\delta e_R)-\frac{1}{2}Ke_R{}^2-N(a\theta-p+\gamma e_M+\delta e_R) \tag{6}$$

命题4 在两部费用契约下，若满足 $K>\delta^2, 8(K-\delta^2)>\gamma^2$，汽车零售商的利润 π_R 是关于 p, e_R 的联合凹函数，存在均衡解，$e_R{}^{T_1}=\dfrac{(N\gamma^2+2Ka-4Kc)\delta}{K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}$，$p^{T_1}=\dfrac{4K^2c+6K^2a+3KN\gamma^2-2N\delta^2\gamma^2-4Ka\delta^2-8Kc\delta^2-2Kc\gamma^2}{2K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}$。汽车制造商的利润函数 π_M 是关于 w, e_M 的联合凹函数，存在均衡解，$e_M{}^{T_1}=\dfrac{\gamma[4KN+Ka-2Kc-4N\delta^2]}{K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}$，$w^{T_1}=\dfrac{2N\delta^2(\gamma^2-4K)+4K(a+2c)(\delta^2-K)+K\gamma^2(2c-3N)+8K^2N}{-2[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}$。

证明：采用逆向求解法，从式（6）得到 π_R 关于 p, e_R 的一阶条件分别为：

$$\frac{\partial\pi_R}{\partial p}=2\delta e_R+\gamma e_M+a-4p+2w+N \tag{7}$$

$$\frac{\partial\pi_R}{\partial e_R}=2(p-w)\delta-Ke_R-N\delta \tag{8}$$

π_R 关于 p, e_R 的Hessian矩阵为：

$$\begin{vmatrix}-4 & 2\delta\\ 2\delta & -K\end{vmatrix}$$

所以当 $K>\delta^2$ 时，π_R 是关于 p, e_R 的联合凹函数，联合式（7）和式（8）即可得到最优的 $(p^{T_1}, e_R^{T_1})$，满足：

$$p^{T_1}=\frac{(a+w+\gamma e_M+N)K-2\delta^2(N+2w)}{4(K-\delta^2)} \tag{9}$$

$$e_R^{T_1}=\frac{(a-2w+\gamma e_M-N)\delta}{2(K-\delta^2)} \tag{10}$$

将式（9）和式（10）代入到式（5）得到 π_M，然后求得 π_M 关于 w, e_M 的一阶导数分别为：

$$\frac{\partial\pi_M}{\partial w}=\frac{K(a+2c-4w+\gamma e_M-2N)}{2(K-\delta^2)} \tag{11}$$

$$\frac{\partial\pi_M}{\partial e_M}=\frac{K(2\gamma w+3N\gamma-2c\gamma)-2N\delta^2\gamma}{4(K-\delta^2)}-Ke_M \tag{12}$$

当 $8(K-\delta^2)>\gamma^2$ 时，汽车制造商的利润函数 π_M 是关于 w, e_M 的Hessian矩阵负定，联合式（11）和式（12）得到制造商的最优努力水平和批发价格为：

$$w^{T_1}=\frac{2N\delta^2(\gamma^2-4K)+4K(a+2c)(\delta^2-K)+K\gamma^2(2c-3N)+8K^2N}{-2[8(K-\delta^2)-\gamma^2]} \tag{13}$$

$$e_M{}^{T_1}=\frac{\gamma[4KN+Ka-2Kc-4N\delta^2]}{K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]} \tag{14}$$

然后将 w^{T_1}、$e_M{}^{T_1}$ 分别代入到式（9）和式（10），可以得到：

$p^{T_1}=\dfrac{4K^2c+6K^2a+3KN\gamma^2-2N\delta^2\gamma^2-4Ka\delta^2-8Kc\delta^2-2Kc\gamma^2}{2K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}$,

$e_R^{T_1}=\dfrac{(N\gamma^2+2Ka-4Kc)\delta}{K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}$。

命题5 (1)最优零售价格 p^{T_1} 是关于 N 的增函数;(2) e_R 是关于 e_M 的增函数;(3)汽车制造商和零售商的销售努力水平 e_M,e_N 均与N正相关。

证明:最优零售价格 p^{T_1} 关于线上渠道费 N 的一阶导数为 $\dfrac{\partial p^{T_1}}{\partial N}=\dfrac{(3K-2\delta^2)\gamma^2}{2K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}$,因 $K>\delta^2$,所以 $\dfrac{\partial p^{T_1}}{\partial N}>0$。这说明汽车零售商让利一部分给汽车制造商后,将通过提高销售价格来保证自己的利润。

零售商的最优销售努力 $e_R^{T_1}$ 关于 e_M 的一阶导数为 $\dfrac{\partial e_R^{T_1}}{\partial e_M}=\dfrac{\gamma\delta}{2(K-\delta^2)}>0$,因此 $e_R^{T_1}$ 是关于 e_m 的增函数;$e_R^{T_1}$ 关于渠道费 N 的一阶导数为 $\dfrac{\partial e_R^{T_1}}{\partial N}=\dfrac{\delta\gamma^2}{K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}>0$,$e_R^{T_1}$ 与 N 正相关;$e_M^{T_1}$ 关于 N 的一阶导数为 $\dfrac{\partial e_M^{T_1}}{\partial N}=\dfrac{4\gamma(K-\delta^2)}{K[8(K-\delta^2)-\gamma^2]}>0$,零售商的销售努力水平与 N 正相关。这说明随着渠道费用 N 的增加,汽车制造商会提高努力水平,间接促使汽车零售商付出更多努力。这刚好与实际情况相符,汽车制造商在第一阶段O2O汽车供应链中,受渠道费用 N 的激励,努力吸引潜在顾客并将其转化为线下客户,因此零售商愿意付出更好的努力,在线下完成下单,实现双赢。

命题6 相对于分散决策而言,两部费用契约可促使汽车制造商和零售商付出更多的销售努力,当且仅当满足 $8(K-\delta^2)=\gamma^2$ 时,存在最优的线上导流费用 $N=\dfrac{(a-2c)K}{4(K-\delta^2)-\gamma^2}$,使得供应链双方的利润达到最优。

证明:比较分散决策和两部费用契约下汽车制造商的最优努力水平,

$\dfrac{e_M^{T_1}}{e_M^D}=\dfrac{4N+a-2c-4N\delta^2/K}{(a-2c)}=1+\dfrac{4N(1-\delta^2/K)}{(a-2c)}>1$,所以 $e_M^{T_1}>e_M^D$。

比较分散决策和两部费用契约下汽车零售商的最优努力水平,$\dfrac{e_R^{T_1}}{e_R^D}=1+\dfrac{N\gamma^2}{2K(a-2c)}>1$,所以 $e_R^{T_1}>e_R^D$。

分别联立公式,使得 $e_M^{T_1}=e_M^D$,$e_R^{T_1}=e_R^D$,可得:

$$\begin{cases}N=\dfrac{(a-2c)K}{4(K-\delta^2)-\gamma^2}\\ N=\dfrac{8K(a-2c)(K-\delta^2)}{[4(K-\delta^2)-\gamma^2]\gamma^2}\end{cases}\tag{15}$$

可知,仅当 $8(K-\delta^2)=\gamma^2$ 时,存在最优的线上导流费用 $N=\dfrac{(a-2c)K}{4(K-\delta^2)-\gamma^2}$,使得汽车供应链双方利润都达到最优。这说明两部费用契约只能在特定条件下才可能协调O2O汽车供应链,不能完全实现帕累托最优。

2.3.2 "两部费用+努力成本共担"组合契约模型分析。借鉴一汽大众汽车供应链运营管理模式,构建"两部费用+努力成本共担"的组合式契约。具体来说:经过两阶段O2O营销渠道所销售的产品,汽车零售商将支付一定的渠道费 N 给制造商,而制造商要承担 β 比例的零售商销售努力成本。

构建汽车制造商与零售商的利润函数:

$$\pi_M=(w-c)(Q_O+Q_r)-\frac{1}{2}Ke_M^2+NQ_O-\frac{1}{2}\beta Ke_R^2\tag{16}$$

$$\pi_R=(p-w)(Q_O+Q_r)-\frac{1}{2}K(1-\beta)e_R^2-N(a\theta-p+\gamma e_M+\delta e_R)\tag{17}$$

命题7 在分散决策下,当满足 $K(1-\beta)>\delta^2$,$(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)>0$ 时,汽车零售商的 π_R 是关于 p,e_R 联合凹函数,存在均衡解 $e_R^{T_2}=\dfrac{(N\gamma^2+2Ka-4Kc)(1-\beta)\delta}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]}$,

$p^{T_2}=\dfrac{3K(1-\beta)^2(3KN\gamma^2-2Kc\gamma^2+6K^2a+4K^2c)-(4\beta-2)(N\gamma^2+2Ka+2Kc)\delta^2-4Kc\delta^2}{2K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]}$

汽车制造商的利润函数 π_M 是关于 w,e_M 的联合凹函数,存在均衡解,满足,

$w^{T_2}=\dfrac{K\beta^2\gamma^2(2c-3N)+4K^2\beta^2(2N-a-2c)+4N\beta\gamma^2(3K-\gamma^2)+8K\beta\gamma^2(a+c)}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]}$

，$e_M^{T_2}=\dfrac{K(1-\beta)^2(a-2c+4N)+2N\delta^2(3\beta-2)}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]}$。

证明：采用逆向求解法，从式（17）得到 π_R 关于 p,e_R 的一阶条件分别为：

$$\frac{\partial \pi_R}{\partial p}=2\delta e_R+\gamma e_M+a-4p+2w+N \tag{18}$$

$$\frac{\partial \pi_R}{\partial e_R}=2(p-w)\delta-K(1-\beta)e_R-N\delta \tag{19}$$

π_R 关于 p,e_R 的Hessian矩阵为：

$$\begin{vmatrix} -4 & 2\delta \\ 2\delta & -K(1-\beta) \end{vmatrix}$$

所以当 $K(1-\beta)>\delta^2$ 时，π_R 是关于 p,e_R 的联合凹函数，联合式（18）和式（19）即可得到最优的（$p^{T_2},e_R^{T_2}$），满足：

$$p^{T_2}=\frac{K(a+w+\gamma e_M+N)(1-\beta)-2\delta^2(N+2w)}{4K(1-\beta)-2\delta^2} \tag{20}$$

$$e_R^{T_2}=\frac{(a-2w+\gamma e_M-N)\delta}{2K(1-\beta)-2\delta^2} \tag{21}$$

将式（20）和式（21）代入到式（16）得到 π_M，然后求得 π_M 关于 w,e_M 的一阶导数 $\dfrac{\partial \pi_M}{\partial w}$ 和 $\dfrac{\partial \pi_M}{\partial e_M}$，将两式联立即可求出最优解。

因此当 $(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)>0$ 时，汽车制造商的利润函数 π_M 关于 w,e_M 的Hessian矩阵负定，联合 $\dfrac{\partial \pi_M}{\partial w}=0$ 和 $\dfrac{\partial \pi_M}{\partial e_M}=0$，得到制造商的最优努力水平和批发价格为：

$$w^{T_2}=\frac{K\beta^2\gamma^2(2c-3N)+4K^2\beta^2(2N-a-2c)+4N\beta\gamma^2(3K-\gamma^2)+8K\beta\gamma^2(a+c)}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]} \tag{22}$$

$$e_M^{T_2}=\frac{K(1-\beta)^2(a-2c+4N)+2N\delta^2(3\beta-2)\gamma}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]} \tag{23}$$

将式（22）、式（23）分别代入到式（20）、式（21）中，可以得到 $p^{T_2}=\dfrac{3K(1-\beta)^2(3KN\gamma^2-2Kc\gamma^2+6K^2a+4K^2c)-(4\beta-2)(N\gamma^2+2Ka+2Kc)\delta^2-4Kc\delta^2}{2K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]}$，

$e_R^{T_2}=\dfrac{(N\gamma^2+2Ka-4Kc)(1-\beta)\delta}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]}$。

命题8　在组合式契约下，（1）汽车制造商的销售努力水平 $e_M^{T_2}$ 是关于 β 的凹函数，当 $0<\beta<1/3$ 时，$e_M^{T_2}$ 与 β 成正比，当 $1/3<\beta<1$，$e_M^{T_2}$ 与 β 成反比；（2）当 $0<\beta<2/5$ 时，汽车零售商的销售努力 $e_R^{T_2}$ 与 β 成正比。

证明：对 $e_M^{T_2}$ 求关于 β 的一阶偏导数，求得：$\dfrac{\partial e_M^{T_2}}{\partial \beta}=\dfrac{(3\beta-1)(\beta-1)(N\gamma^2-2Ka-4Kc)}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]^2}$，可知当 $0<\beta<1/3$ 时，$\dfrac{\partial e_M^{T_2}}{\partial \beta}>0$，当 $1/3<\beta<1$，$\dfrac{\partial e_M^{T_2}}{\partial \beta}<0$，得证。

对 $e_R^{T_2}$ 求关于 β 的一阶导数，求得 $\dfrac{\partial e_R^{T_2}}{\partial \beta}=\dfrac{(5\beta-2)(\beta-1)(N\gamma^2-2Ka-4Kc)}{K[(1-\beta)^2(8K-\gamma^2)+4\delta^2(3\beta-2)]^2}$，当 $0<\beta<2/5$，$\dfrac{\partial e_R^{T_2}}{\partial \beta}>0$ 时，随着汽车制造商承担零售商销售努力成本比例 β 的增加，汽车零售商愿意付出更多的销售努力。当 $2/5<\beta<1$，$\dfrac{\partial e_R^{T_2}}{\partial \beta}<0$ 时，零售商承担的销售努力与 β 成反比。

命题9　契约条件满足式（24）时，汽车供应链可以实现完全协调，实现整体利润最优，$e_R^{C^*}=e_R^{T_2}$，$e_M^{C^*}=e_M^{T_2}$，可得：

$$\begin{cases} N=\dfrac{2(K-\delta^2)(a-2c)}{4(K-\delta^2)-\gamma^2} \\ \beta=\dfrac{K-\delta^2}{K} \end{cases} \tag{24}$$

证明：根据供应链协调条件可知，欲使汽车制造商和汽车零售商达到集中决策的努力水平，则需要满足关系式 $e_R^{C^*}=e_R^{T_2}$，$e_M^{C^*}=e_M^{T_2}$，解上述方程即可得到契约参数满足条件。当契约参数N与 β 满足一定条件时，组合契约就可以实现汽车制造商和零售商利润的改善，即供应链实现帕累托改进。

命题9说明汽车制造商承担的最优比例 β 并不受制造商销售努力敏感系数 γ 的影响，而与零售商的销售努力敏感系数 δ 相关，随着 δ 逐渐增大比例 β 呈下降趋势。汽车零售商支付的线上导流费用 N 与 γ、δ 都相关，N 随着制造商销售努力敏感系数 γ 的增大而增大。

3　算例分析

为验证“两阶段费用+努力成本共担”组合契约对汽车供应链的协调作用，根据本节给出的数值算例，利用Matlab进行数值分析。同时，还要考察经两阶段O2O渠道销售的产品的导流费用 N 、成本共担比例 β ，对汽车制造商和零售商的销售努力和整个供应链利润的影响。

3.1　数值设定与协调性分析

下面将通过模型参数设计及计算，具体分析O2O模式下汽车供应链的协调性，对模型中各参数赋值，汽车市场的基本需求 $a=30$ ，批发价格成本 $c=11$ ，渠道偏好 $\theta=0.5$ ，$\gamma=2.5, \delta=3, K=15$ ，根据分析结果，将参数代入可得到集中决策下、分散决策下、两部费用契约、组合契约下供应链的参数值与最优利润，见表1。

表1　不同契约下O2O汽车供应链各参数值和最优利润

	e_M	e_R	p	w	N	β	π_M	π_R	π_T
集中决策	1.13	2.25	17.76						27.04
分散决策	0.47	1.17	16.18	13.29			5.79	10.29	16.08
两阶段定价契约	0.61	1.19	16.3	12.26	1.4		12.45	6.02	18.46
组合契约	1.13	2.25	17.76	12.04	5.4	0.4	15.31	11.73	27.04

从表1可知，集中决策时的销售努力水平均要比分散决策高，汽车供应链的整体利润也高于分散决策。引入两部费用契约后，汽车制造商和零售商的销售努力都提高了，但汽车零售商的整体收益下降，不能够协调供应链。引入组合契约后，当满足协调条件 一 定条件时，可有效改善供应链的整体利润，同时实现汽车供应链上下游双方成员利润的帕累托改进，这进一步证明了本文结论的正确性。

3.2　N、β 对决策行为和整体供应链利润的影响

从图2、图3可以看出，在两部费用、组合契约协调下，汽车制造商与零售商愿意付出更多的销售努力，且随着 N 的增加而增大。相比较而言，组合式契约下汽车制造商和零售商愿意付出销售努力的积极性更高，而且汽车制造商的努力水平增幅更大。

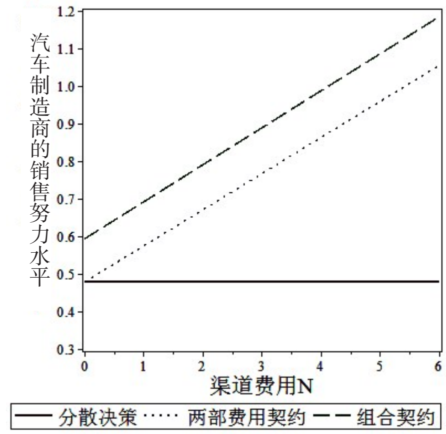

图2　参数 N 对制造商 e_M 的影响

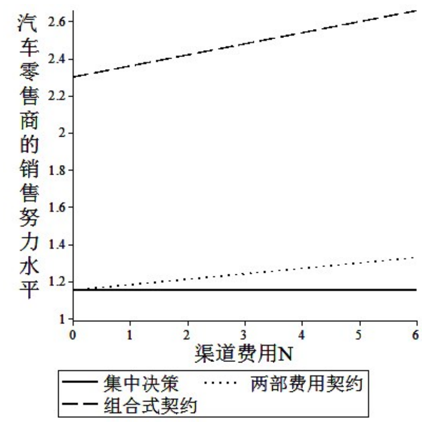

图3　参数 N 对零售商 e_R 的影响

从图4、图5可以看出，在组合式契约下，汽车制造商愿意付出的销售努力水平存在一个阈值，这表明汽车制造商并不会无限的承担销售努力成本。另外，汽车零售商愿意付出的销售努力水平也存在一个极大值，这是因为成本分担比例 β 增大后，严重影响了汽车制造商销售努力投入水平，进而间接影响汽车零售商愿意付出的努力水平。

从图6可以看出，汽车制造商的利润随着成本共担比例 β 的增大先增加后减少，汽车零售商的利润随着两部费用 N 的增大而减少，随着成本分摊比例 β 的增大而增加。满足协调条件时，O2O模式下汽车供应链双方的利润均达到最优。

4　结语

本文在“线上咨询+线下销售”这种O2O模式下，比较分析了集中决策、分散决策、两部费用契约及组

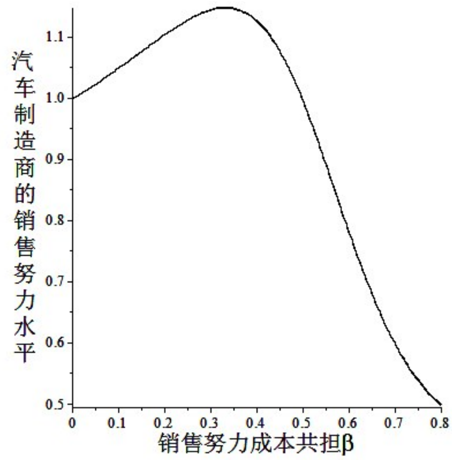

图4 参数 β 对制造商 e_M 的影响

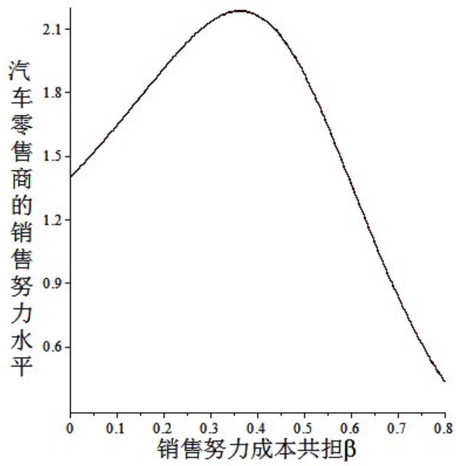

图5 参数 β 对零售商 e_R 的影响

合式契约协调下,汽车制造商和零售商的最优参数决策和利润变化。研究分析发现:(1)无论是否引入协调契约,汽车零售商愿意付出的销售努力均比汽车制造商多,且随着制造商付出的增加而增加;(2)若汽车零售商的销售努力对销量的影响较大,汽车制造商愿意承担更多的销售努力成本;(3)分散决策下O2O汽车供应链存在"双重边际效益",两部费用契约的引入可以提高双方的销售努力水平,但是会降低汽车零售商的销售利润。当契约条件满足参数设定范围时,组合式契约可有效协调O2O汽车供应链。此外,本文仅考虑了产品销售受到价格、销售努力的影响,政策补贴、回购等因素的影响也是未来进一步研究的重点。

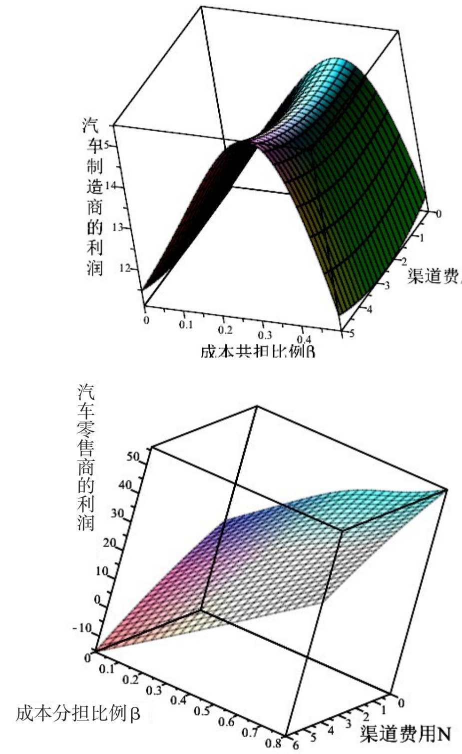

图6 组合式契约下汽车供应链成员的利润随着 N 、β 的变化

[参考文献]

[1] GAO F.Omnichannel service operations with online and offline self-order technologies[J].Management Science,2018,64(8):3 595-3 608.

[2] 商务部.商务部令2017年第1号《汽车销售管理办法》[EB/OL].(2017-04-15)[2021-06-18].http://www.gov.cn/xinwen/2017-04/15/content_5185866.htm#1.

[3] HUANG W,SWAMINATHAN J M.Introduction of a second channel:Implications for pricing and pro- fits[J].European Journal of Operational Research,2009,194(1):258-279.

[4] TIAN J F,FAN T J,HU J L.Pricing policies in a dual-channel supply chain with manufacture services[C]//Proceedings of 2015 International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications(CISIA2015),2015.

[5] DAN B,XU G Y.Pricing policies in a dual-channel supply chain with retail services[J].International Journal of Production Economics,2012,139(1):312-320.

[6] 王文宾,丁军飞.基于电商平台的混合销售渠道对供应链决策的影响研究[J].运筹与管理,2019,28(6):89-97.

[7] ZHAO J,HOU X R,GUO Y L,et al.Pricing policies for complementary products in a dual-channel supply chain[J].Applied Mathematical Modelling,2017,49:156-163.

(下转第157页)