第 22 卷 第 2 期
2019 年 4 月
工 业 工 程
Industrial Engineering Journal
Vol. 22 No. 2
April 2019

doi: 10.3969/j.issn.1007-7375.2019.02.002

需求不确定下考虑顾客策略行为的易逝品定价策略

李　豪，高　祥，杨　茜

（重庆交通大学 经济与管理学院，重庆 400074）

摘要: 在市场需求不确定且顾客具有策略行为时，研究易逝品厂商动态定价和价格承诺策略。通过建立厂商和顾客的不完全信息博弈模型，分析了两竞争厂商在2种定价策略下的精炼贝叶斯均衡，求得了均衡定价和期望收益。利用数值分析进一步比较2种定价策略的最佳适用范围，并讨论了需求预期、顾客策略程度和顾客购买意愿对均衡结果的影响。研究表明，在动态定价策略下，当市场处于适度竞争时，顾客策略程度越大，厂商收益越大；顾客购买意愿适中时，动态定价策略更优；顾客策略程度适中，或顾客策略程度较大且需求预期也较大时，价格承诺策略更优。

关键词: 需求不确定；顾客策略行为；动态定价；价格承诺

中图分类号: F272.3　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1007-7375(2019)02-0010-09

Pricing Strategy for Perishable Product with Consumer Strategic Behavior under Demand Uncertainty

LI Hao, GAO Xiang, YANG Xi

(School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Dynamic pricing and price commitment for perishable product company with consumer strategic behavior and demand uncertainty is studied. A game model with incomplete information is proposed to analyze the Perfect Bayesian Equilibrium of the two competitive companies in the two strategies, and obtain the equilibrium prices as well as expected profits. Numerical experiments are given to compare the optimal allocations of the two strategies, and discuss the influence of the demand anticipation, the degree of consumers' strategy, and the buying intention of consumers on the equilibrium. It is showed that under the dynamic pricing strategy, when the market is in moderate competition, the greater the degree of customers' strategy, the greater the profit. Moreover, dynamic pricing is preferred over price commitment when the buying intention of consumers is moderate, and price commitment is better when the degree of consumers' strategy and the demand anticipation are both large or the degree of consumers' strategy is moderate.

Key words: demand uncertainty; consumer strategic behavior; dynamic pricing; price commitment

动态定价作为一种重要的收益管理技术，近年来广泛应用于易逝性产品的销售中，如航空公司的机票、服饰产品和各类门票等[1]。由于价格是决策者可通过操控来刺激顾客需求的有效变量，动态定价策略对于厂商的运作越来越重要。但随着互联网信息技术的普及，顾客越来越具有策略性，体现为顾客通常会根据价格、偏好、产品可得性等因素综合考虑是否购买、在哪家厂商购买以及何时购买，使得动态定价策略效果大打折扣[2]。特别是在顾客需求不确定时，若定价使得过多顾客购买低价产品会使厂商收益遭受损失，若定价不能吸引足够的顾客购买，厂商收益也会减少。鉴于此，目前厂商采用多种定价策略来应对需求不确定和顾客策略行为。以服装业为例，现实生活中主要有2种定价策略：1) 以森马服饰为代表的动态定价策略，动态调整原有定价体系；2) 以海澜之家为代表的价格承诺

收稿日期: 2018-10-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71402012)；重庆市研究生教育创新基金资助项目(CYS18231)

作者简介: 李豪(1982-)，男，四川省人，副教授，博士，主要研究方向为收益管理、企业经济等.

策略，在制定当前价格的同时向顾客宣布未来价格将保持不变。因此，在需求不确定和顾客具有策略行为时，研究厂商在2种定价策略下的均衡，并探讨何时何种定价策略更优，这对厂商在激烈的市场竞争中实现收益最大化有重要意义。

基于上述现实背景，本文针对需求不确定下的策略顾客分别建立动态定价模型和价格承诺模型，探讨了2种定价策略下两竞争易逝品厂商的精炼贝叶斯均衡，通过对比2种定价策略得出了各自适用范围，为厂商在复杂市场环境下选择合适定价策略提供参考。

本研究主要集中在顾客策略行为和需求不确定下的定价策略。在顾客策略行为方面，现有研究主要关注顾客具有策略行为时厂商的定价决策以及策略行为对厂商决策的影响。例如，Besanko等[3]通过引入效用折扣因子描述顾客的策略行为，建立了新产品的动态定价模型，分析指出顾客的策略行为使得厂商收益下降。杨慧等[4]研究了存在策略顾客的两周期动态规划模型，结果表明顾客的策略程度越大，厂商的期望收益越小。Bi等[5]构建了可替代产品的两周期双寡头动态定价模型，利用数值分析发现，存在策略顾客的情况下产品差异系数增大使得厂商收益提高。也有文献研究顾客策略行为下的价格承诺策略。比如，Su等[6]针对顾客策略行为建立了价格承诺模型，探讨了价格承诺策略对缓解顾客策略行为的作用。Correa等[7]研究了与库存量有关的菜单式价格承诺策略，研究发现，在一定情况下该策略比传统价格承诺策略更能缓解顾客策略行为。Liu等[8]研究顾客具有策略行为时竞争厂商的动态定价，并引入价格承诺策略来缓解顾客策略行为对厂商收益的影响。

上述研究大多假定市场需求确定，但现实生活中需求往往难以准确预测，因此考虑需求不确定下的定价问题更有实际意义。Chatwin[9]研究需求不确定时的易逝品定价问题，指出最优价格会随着时间递减。Feng[10]研究不确定性需求下的产品价格和订货量联合决策，指出最优定价和订货量能够维持稳定的库存水平，从而对冲需求的不确定性。Xu等[11]研究顾客到达率或购买概率未知的动态定价问题，分析指出厂商通过需求学习可提高最优价格阈值点序列的精确度并提高收益。Nalca等[12]研究了竞争环境下顾客需求不确定的最低价格保证策略，结果表明，在产品可得性较高时该策略能够提高收益。Kaya等[13]基于定期库存模型探讨了需求不确定时的易逝品定价策略和库存协调，并分析了最优解的结构性质。

以上文献分别研究了顾客策略行为和需求不确定下的定价问题，也有文献将两者结合起来进行研究。如李娟等[14]证明产品需求会随着策略顾客购买愉悦度的变化而变化，但文章研究的是单个厂商的最优定价问题，没有考虑市场竞争。Jerath等[15]在竞争环境下研究了需求不确定时面向策略顾客的易逝品动态定价，但没有考虑顾客策略程度的变化对定价策略的影响，也没有探讨多种定价策略。不同于上述文献，本文在竞争的市场环境下同时考虑需求不确定和顾客策略行为，分别研究易逝品动态定价和价格承诺2种定价策略并作了对比，分析了需求预期、顾客策略程度和顾客购买意愿的变化对厂商定价策略的影响。

1　模型假设与描述

本文采用Hotelling模型来刻画厂商与顾客的博弈过程，如图1所示。市场中两个互相竞争的厂商A、B位于长度为1的Hotelling线两端，各自销售$\frac{K}{2}$件产品，提供相同服务。将产品销售分为2个周期，记为周期1和周期2。对厂商决策来说，到达市场的顾客数量未知，即产品需求不确定。假定市场以α概率出现高需求$H(>K)$，以$1-\alpha$概率出现低需求$L(<K)$。

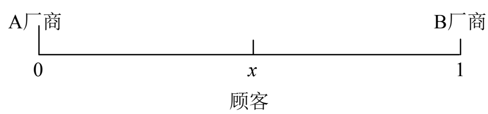

图 1　Hotelling博弈分布
Figure 1　Distribution of Hotelling game

假设顾客均匀分布在Hotelling线上，有相同的产品估价V，但对厂商的偏好有差异。Hotelling线上顾客位置x的远近表示其偏好成本大小，用t表示单位偏好成本，则顾客从A厂商购买产品的偏好成本为xt，从B厂商购买产品的偏好成本为$(1-x)t$。顾客具有策略行为，会综合考虑产品价格、供需状况和偏好成本等因素来做出购买选择。

考虑厂商动态定价和价格承诺2种定价策略。在动态定价策略下，两厂商分别制定周期1价格p_j^1，

根据销售情况的动态反馈来制定周期2价格p_j^{2i}，其中上标i表示需求预期，i=H、L，下标j表示厂商，j=A、B。价格承诺策略，可分为承诺升价、承诺降价和承诺价格不变3种情况[6]，而本文关注承诺价格不变，即两厂商分别在销售期初制定价格为p_j^i，并提前宣布未来不会对价格进行调整。

相关符号约定如下。

π_j^{D}：厂商j在动态定价策略下的期望总收益。

π_j^{G}：厂商j在价格承诺策略下的期望总收益。

$\dfrac{V}{t}$：顾客购买意愿，其值越大表示两厂商竞争程度越大。假设$\dfrac{V}{t}\geqslant\dfrac{1}{2}$，使得厂商定价为0时顾客具有非负效用，Jerath等[15]采用过类似假设。

θ：顾客等待至周期2购买产品的估价折扣因子，定义为顾客策略程度，$\theta\in[0,1]$。为方便讨论，假设所有顾客具有相同策略程度，Su[16]、Levin等[17]都采用过此类假设。

进一步做以下假设。

1) 厂商和顾客均为理性经济人，即厂商通过制定价格实现收益最大化，顾客通过策略选择实现效用最大化；

2) 理性预期均衡，即预期值和实际值相符；为与实际值相区分，用上标(e)表示预期值，Sriram[18]和Jerath等[15]都采用过此类假设。

2 动态定价策略及其均衡分析

采用逆向归纳法。令x_{A}^1表示在A厂商购买产品且对于在周期1购买和周期2购买无差异的顾客位置，x_{A}^{2i}表示周期2在A厂商购买产品且距离A厂商最远的顾客位置。若市场需求高，周期2产品剩余数为$\left(\dfrac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H\right)^+$，产品需求数为$\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H-\dfrac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)H$，顾客在周期2获得产品的概率为

$$\min\left\{1,\frac{\min\left\{\left(\frac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H\right)^+,\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)H\right\}}{\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)H}\right\}。$$

若市场需求低，周期2产品剩余数为$\left(\dfrac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L\right)^+$，产品需求数为$\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L-\dfrac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)L$，顾客在周期2获得产品的概率为

$$\min\left\{1,\frac{\left(\frac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L\right)^+}{\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)L}\right\}。$$

因此，位于x_{A}^1的顾客在周期2购买产品的效用为

$$\alpha\min\left\{1,\frac{\min\left\{\left(\frac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H\right)^+,\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)H\right\}}{\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)H}\right\}\left(\theta V-x_{\mathrm{A}}^1t-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H}}\right)+$$
$$(1-\alpha)\min\left\{1,\frac{\left(\frac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L\right)^+}{\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)L}\right\}\left(\theta V-x_{\mathrm{A}}^1t-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}\right)。$$

类似分析可得，位于x_{A}^1点的顾客在周期1购买产品的效用为

$$\left[\alpha\min\frac{\left\{\frac{K}{2},x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H\right\}}{x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H}+(1-\alpha)\right]\left(V-x_{\mathrm{A}}^1t-p_{\mathrm{A}}^1\right)。$$

对位于x_{A}^1点的顾客而言，在周期1和周期2购买产品的效用相同，即有

$$\left[\alpha\min\frac{\left\{\frac{K}{2},x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H\right\}}{x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H}+(1-\alpha)\right]\left(V-x_{\mathrm{A}}^1t-p_{\mathrm{A}}^1\right)=$$
$$\alpha\min\left\{1,\frac{\min\left\{\left(\frac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H\right)^+,\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)H\right\}}{\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}H-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)H}\right\}\times$$
$$\left(\theta V-x_{\mathrm{A}}^1t-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{H}}\right)+(1-\alpha)\min\left\{1,\frac{\left(\frac{K}{2}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L\right)^+}{\left(x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}L-\frac{K}{2}\right)^+ +\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L,e}}-x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}\right)L}\right\}\times$$
$$\left(\theta V-x_{\mathrm{A}}^1t-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}\right)。\tag{1}$$

下面根据$x_{\mathrm{A}}^1=x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}<\dfrac{K}{2H}$，$x_{\mathrm{A}}^1=x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}>\dfrac{K}{2H}$，$x_{\mathrm{A}}^1=x_{\mathrm{A}}^{1\mathrm{e}}=\dfrac{K}{2H}$对式(1)进行分类讨论，可得定理1。

定理1 在动态定价策略下，当且仅当$x_{\mathrm{A}}^1=\dfrac{K}{2H}$时，模型存在唯一均衡解。

证明　1) 假设$x_A^1 = x_A^{1e} < \frac{K}{2H}$。

由$x_A^1 H < \frac{K}{2}$可知，无论市场需求高低，2个周期均有产品销售。此时，由式(1)可得

$$p_A^1 = (1-\theta)V + \alpha p_A^{2H} + (1-\alpha)p_A^{2L}。\tag{2}$$

对位于$x_A^1 + \varepsilon$ ($\varepsilon > 0$，且$x_A^1 + \varepsilon < \frac{K}{2H}$)的顾客而言，在周期1和周期2购买产品的效用分别为

$$V - p_A^1 - t\left(x_A^1 + \varepsilon\right),\tag{3}$$

$$\alpha\left[\theta V - p_A^{2H} - \left(x_A^1 + \varepsilon\right)t\right] + (1-\alpha)\left[\theta V - p_A^{2L} - \left(x_A^1 + \varepsilon\right)t\right]。\tag{4}$$

将式(2)代入式(3)，可得式(3)等于式(4)，说明位于$x_A^1 + \varepsilon$的顾客在周期1和周期2购买产品的效用相等，并由ε取值的任意性进一步得出$\left[0, \frac{K}{2H}\right)$上的任意顾客在周期2和周期1购买产品的效用无差异。上述分析表明在$x_A^1 = x_A^{1e} < \frac{K}{2H}$时，$x_A^{1e}$不唯一，模型不存在均衡解。

2) 假设$x_A^1 = x_A^{1e} > \frac{K}{2H}$。

由$x_A^1 H > \frac{K}{2}$可知，市场需求高时，产品在周期1全部售完。市场需求低时，两个周期均有产品销售。为实现收益最大化，在市场需求低时，厂商在周期2通过定价使得位于x_A^{2L}的顾客效用为0，可得$p_A^{2L} = \theta V - x_A^{2L} t$，进一步得厂商在周期2的收益$\pi_A^{2L} = p_A^{2L}\left(x_A^{2L} - x_A^1\right)L = \left(\theta V - x_A^{2L} t\right)\left(x_A^{2L} - x_A^1\right)L$。令$\frac{\partial \pi_A^{2L}}{\partial x_A^{2L}} = 0$，求得$x_A^{2L} = \frac{x_A^1 t + \theta V}{2t}, p_A^{2L} = \frac{\theta V - x_A^1 t}{2}, \pi_A^{2L} = \frac{\left(\theta V - x_A^1 t\right)^2 L}{4t}$。由$x_A^1 = x_A^{1e} > \frac{K}{2H}$，式(1)可化简为

$$p_A^1 = V - x_A^1 t - \frac{2(1-\alpha)\left(\theta V - x_A^1 t - p_A^{2L}\right)}{\frac{K}{x_A^{1e} H} + 2(1-\alpha)}。\tag{5}$$

将$p_A^{2L} = \frac{\theta V - x_A^1 t}{2}$代入式(5)，可得

$$p_A^1 = V - x_A^1 t - \frac{(1-\alpha)\left(\theta V - x_A^1 t\right)}{\frac{K}{x_A^{1e} H} + 2(1-\alpha)}。$$

因此，可得厂商A在2个周期的总收益为

$$\pi_A^D = \left[V - x_A^1 t - \frac{(1-\alpha)\left(\theta V - x_A^1 t\right)}{\frac{K}{x_A^{1e} H} + 2(1-\alpha)}\right]\left[\alpha\frac{K}{2} + (1-\alpha)x_A^1 L\right] + (1-\alpha)\frac{\left(\theta V - x_A^1 t\right)^2 L}{4t}。$$

令$\frac{\partial \pi_A^D}{\partial x_A^1} = 0$，整理可得

$$x_A^1 = \frac{K\alpha[(1-\alpha)(2-\theta)VL - Kt\alpha] + x_A^{1e} H(1-\alpha)[4(1-\alpha)(1-\theta)VL - Kt\alpha]}{(1-\alpha)^2\left(2x_A^{1e}H - 3K\alpha\right)Lt}。\tag{6}$$

根据理性预期均衡，即$x_A^1 = x_A^{1e}$，式(6)可化简为

$$2(1-\alpha)^2 HLt\left(x_A^1\right)^2 - (1-\alpha)\{3KL\alpha t - [4(1-\alpha)(1-\theta)VL - Kt\alpha]H\}x_A^1 - K\alpha[(1-\alpha)(2-\theta)VL - Kt\alpha] = 0。\tag{7}$$

求解式(7)，可得

$$x_A^1 = \frac{(1-\alpha)\{3KL\alpha t - [4(1-\alpha)(1-\theta)VL - Kt\alpha]H\}}{4HLt(1-\alpha)^2} + \frac{\sqrt{\langle(1-\alpha)\{3KL\alpha t - [4(1-\alpha)(1-\theta)VL - Kt\alpha]H\}\rangle^2 - 8HLtK\alpha(1-\alpha)^2[(1-\alpha)(2-\theta)VL - Kt\alpha]}}{4HLt(1-\alpha)^2}。\tag{8}$$

根据模型假设，式(8)必须满足以下条件：

$$\left\{\frac{V}{t} \geqslant \frac{1}{2}, x_A^1 > \frac{K}{2H}, x_A^{2L} \leqslant \frac{1}{2}\right\}。\tag{9}$$

但在式(9)所示的条件下，式(8)并不恒成立，因此，在$x_A^1 = x_A^{1e} > \frac{K}{2H}$时，模型不存在均衡解。

3) 假设$x_A^1 = x_A^{1e} = \frac{K}{2H}$。

由$x_A^1 H = \frac{K}{2}$可知，若市场需求高，在周期1产品刚好全部售完。若市场需求低，2个周期均有产品销售。此时，式(1)可化简为

$$p_A^1 = [1 - \theta + \alpha\theta]V - \alpha\frac{Kt}{2H} + (1-\alpha)p_A^{2L}。\tag{10}$$

对位于$x_A^1 - \varepsilon$ ($\varepsilon > 0$)的顾客而言，在周期1购买产品的效用为$U_1 = V - p_A^1 - t\left(x_A^1 - \varepsilon\right)$，在周期2购买

产品的效用为$U_2=(1-\alpha)\left[\theta V-\left(x_{\mathrm{A}}^1-\varepsilon\right)t-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}\right]$。根据式(10)，可得$U_1-U_2>0$。类似可证，对位于$x_{\mathrm{A}}^1+\varepsilon(\varepsilon>0)$的顾客来说，$U_1-U_2<0$。这说明$x_{\mathrm{A}}^1$左侧的顾客将在周期1购买产品，$x_{\mathrm{A}}^1$右侧的顾客将在周期2购买产品，此时模型存在唯一均衡解。

证毕。

由上述分析可知，在动态定价策略下，厂商通过定价使得Hotelling线上$\frac{K}{2H}$、$1-\frac{K}{2H}$处顾客在周期1购买产品和在周期2购买产品的效用相等时，博弈有均衡解。在均衡状态下，无论市场需求高低，周期1均有产品销售。而在周期2，只有市场需求低时有产品销售。此时厂商面临2种销售情形，即区域垄断和竞争，可得博弈均衡解如下。

定理2 在动态定价策略下，厂商的均衡状态如表1所示。

表 1 动态定价策略下厂商的均衡状态

Table 1 The equilibrium of the airline in dynamic pricing

$\frac{V}{t}$	$p_{\mathrm{A}}^1=p_{\mathrm{B}}^1$	$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}$	$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}=\pi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{D}}$
$\left[\frac{1}{2},\frac{2H-K}{2H\theta}\right)$	$\frac{2(2-\theta+\alpha\theta)HV}{4H}-\frac{(1+\alpha)Kt}{4H}$	$\frac{2H\theta V-Kt}{4H}$	$\frac{2[H\alpha+(1-\alpha)L]Kt\times[2(2-\theta+\alpha\theta)HV-(1+\alpha)Kt]}{16H^2t}+\frac{(1-\alpha)(2HV\theta-Kt)^2}{16H^2t}$
$\left[\frac{2H-K}{2H\theta},\frac{1}{\theta}\left[\frac{\alpha K(H-L)}{HL}+\frac{3}{2}\right]\right)$	$\frac{2HV(1-\theta+\alpha\theta)-Kt\alpha}{2H}+\frac{H(1-\alpha)(2\theta V-t)}{2H}$	$\frac{2\theta V-t}{2}$	$\frac{[H\alpha+(1-\alpha)L]K\times[2HV(1-\theta+\alpha\theta)-Kt\alpha+H(1-\alpha)(2\theta V-t)]}{4H^2}+\frac{(1-\alpha)(H-K)(2\theta V-t)L}{4H}$
$\left[\frac{1}{\theta}\left[\frac{\alpha K(H-L)}{HL}+\frac{3}{2}\right],+\infty\right)$	$\frac{2(1-\theta+\alpha\theta)HLV-\alpha KLt}{2HL}+\frac{(1-\alpha)[\alpha Kt(H-L)+HLt]}{HL}$	$\frac{\alpha Kt(H-L)}{HL}+t$	$\frac{[H\alpha+(1-\alpha)L]K\times\left[2HV(1-\theta+\alpha\theta)-t\alpha K+2(1-\alpha)\left(t\alpha K\frac{H-L}{L}+tH\right)\right]}{4H^2}+\frac{2(H-K)(1-\alpha)[\alpha Kt(H-L)+HLt]}{4H^2}$

证明 1) 考虑厂商区域垄断。为实现收益最大化，厂商在周期2通过定价使得位于$x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}$的顾客效用为0，即$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\theta V-x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}t$，可得周期2厂商收益为$\pi_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\left(\theta V-x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}t\right)\left(x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}-\frac{K}{2H}\right)L$。令$\frac{\partial\pi_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}}{\partial x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}}=0$，求得$x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\frac{Kt+2HV\theta}{4Ht}$，$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\frac{2H\theta V-Kt}{4H}$。将$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\frac{2H\theta V-Kt}{4H}$代入式(10)，可得$p_{\mathrm{A}}^1=\frac{2(2-\theta+\alpha\theta)HV-(1+\alpha)Kt}{4H}$，进一步得

$$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}=\frac{2[2(2-\theta+\alpha\theta)HV-(1+\alpha)Kt][H\alpha+(1-\alpha)L]Kt+(1-\alpha)(2HV\theta-Kt)^2}{16H^2t}。$$

由$x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\frac{Kt+2HV\theta}{4Ht}<\frac{1}{2}$，可得$\frac{V}{t}<\frac{2H-K}{2H\theta}$。

2) 考虑厂商竞争销售。令$\tilde{x}$为Hotelling线上到厂商A、B购买产品的效用无差异点，可得$\tilde{x}=\frac{p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}+t}{2t}$。厂商A总收益为

$$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}=p_{\mathrm{A}}^1\left[\alpha\frac{K}{2}+(1-\alpha)\frac{K}{2H}L\right]+(1-\alpha)p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}\left(\frac{p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}+t}{2t}-\frac{K}{2H}\right)L。$$

令$\frac{\partial\pi_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}}{\partial p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}}=0$，可得

$$\alpha Kt(H-L)+HL\left(p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}-2p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}+t\right)=0。\tag{11}$$

同理，可得厂商B总收益为

$$\pi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{D}}=p_{\mathrm{B}}^1\left[\alpha\frac{K}{2}+(1-\alpha)\frac{K}{2H}L\right]+(1-\alpha)p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}\left(1-\frac{K}{2H}-\frac{p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}-p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}+t}{2t}\right)L。$$

令$\frac{\partial\pi_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}}{\partial p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}}=0$，可得

$$\alpha Kt(H-L)+HL\left(p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}-2p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}+t\right)=0。\tag{12}$$

联立式(11)和式(12)，可解得$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=p_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}=\frac{\alpha Kt(H-L)+HLt}{HL}$，$\tilde{x}=\frac{1}{2}$。将$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\frac{\alpha Kt(H-L)+HLt}{HL}$代入式(10)，可得

$$p_{\mathrm{A}}^1=\frac{2(1-\theta+\alpha\theta)HLV-\alpha KLt+2(1-\alpha)[\alpha Kt(H-L)+HLt]}{2HL},$$

进一步可得

$$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}=\pi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{D}}=\frac{\left[2HV(1-\theta+\alpha\theta)-\alpha Kt+2(1-\alpha)\left(\alpha Kt\dfrac{H-L}{L}+Ht\right)\right][H\alpha+(1-\alpha)L]K}{4H^2}+\frac{2(H-K)(1-\alpha)[\alpha Kt(H-L)+HLt]}{4H^2}。$$

为保证位于$\tilde{x}$处的顾客购买效用非负，得

$$\frac{V}{t}\geqslant\frac{1}{\theta}\left[\frac{\alpha K(H-L)}{HL}+\frac{3}{2}\right]。$$

3) 考虑临界情形，即

$$\frac{2H-K}{2H\theta}\leqslant\frac{V}{t}<\frac{1}{\theta}\left[\frac{\alpha K(H-L)}{HL}+\frac{3}{2}\right]。$$

此时有$x_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=x_{\mathrm{B}}^{2\mathrm{L}}=\dfrac{1}{2}$，类似垄断情形的分析，可得

$$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}=\frac{2\theta V-t}{2},\ p_{\mathrm{A}}^{1}=\frac{2HV(1-\theta+\alpha\theta)-Kt\alpha+H(1-\alpha)(2\theta V-t)}{2H},$$

$$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}=\frac{[2HV(1-\theta+\alpha\theta)-Kt\alpha+H(1-\alpha)(2\theta V-t)][H\alpha+(1-\alpha)L]K+(1-\alpha)(H-K)(2\theta V-t)HL}{4H^2}。$$

证毕。

上述分析表明，在动态定价策略下，随着顾客购买意愿增加，市场竞争态势逐渐加强，厂商在不同销售状态下存在不同的均衡价格和期望总收益，具体表达式如表1所示。通过对均衡价格策略和期望总收益的分析，可得下列推论。

推论1　动态定价策略下，p_{A}^{1}和$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}$均随$\dfrac{V}{t}$的增大而增大；$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}$随$\dfrac{V}{t}$的增大先增大后不变。

证明　不难验证，p_{A}^{1}和$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}$关于$\dfrac{V}{t}$的导数均为正；当$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{2},\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right]\right)$时，$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}$关于$\dfrac{V}{t}$的导数为正；当$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right],+\infty\right)$时，$p_{\mathrm{A}}^{2\mathrm{L}}$关于$\dfrac{V}{t}$的导数为0。

证毕。

推论1表明，当$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{2},\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right]\right)$时，顾客购买意愿较小，随着顾客购买意愿的增加，厂商在周期1和周期2均可以制定更高的产品价格，从而获得更高收益。当$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right],+\infty\right)$时，顾客购买意愿较大，随着顾客购买意愿的增加，厂商间的竞争加剧使得周期2产品价格维持不变，但厂商仍可以通过提高周期1产品价格来提升收益水平。

推论2　在动态定价策略下，当顾客购买意愿$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{2},\dfrac{[1+H\alpha+(1-\alpha)L]K}{2H\theta}\right)$和$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{(1-\alpha)\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right],+\infty\right)$时，$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}$随$\theta$增大而减小；当顾客购买意愿$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{[1+H\alpha+(1-\alpha)L]K}{2H\theta},\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{(1-\alpha)\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right]\right)$时，$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}$随$\theta$增大而增大。

证明　当$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{2},\dfrac{[1+H\alpha+(1-\alpha)L]K}{2H\theta}\right)$和$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{(1-\alpha)\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right],+\infty\right)$时，$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}$关于$\theta$的导数为负；当$\dfrac{V}{t}\in\left[\dfrac{[1+H\alpha+(1-\alpha)L]K}{2H\theta},\dfrac{1}{\theta}\left[\dfrac{(1-\alpha)\alpha K(H-L)}{HL}+\dfrac{3}{2}\right]\right)$时，$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{D}}$关于$\theta$的导数为正。

证毕。

由推论2可知，在顾客购买意愿较小或较大时，顾客策略程度的加剧会减弱动态定价策略的效果；但在顾客购买意愿适中时，顾客策略程度的加剧反而提升动态定价策略的效果。这说明在市场适度竞争时，顾客策略程度的上升反而使厂商获得更高收益。

3　价格承诺策略及其均衡分析

在价格承诺策略下，厂商在整个销售期的产品价格不变，而顾客等待至周期2购买具有估值折扣，因此所有顾客均会在周期1做出是否购买的决定，可得定理3。

定理3　在价格承诺策略下，厂商的均衡状态如表2所示。

表 2　价格承诺策略下厂商的均衡状态

Table 2　The equilibrium of the airline in price commitment

$\dfrac{V}{t}$	$p_{\mathrm{A}}=p_{\mathrm{B}}$	$\pi_{\mathrm{A}}^{\mathrm{G}}=\pi_{\mathrm{B}}^{\mathrm{G}}$
$\left[\dfrac{1}{2},\dfrac{K}{H}\right)$	$\dfrac{V}{2}$	$\dfrac{V^2}{4t}[\alpha H+(1-\alpha)L]$
$\left[\dfrac{K}{H},1\right)$	$\dfrac{(2HV-Kt)\alpha+(1-\alpha)HV}{2H}$	$\dfrac{(2HV-Kt)K\alpha t+(1-\alpha)V^2HL}{4Ht}$
$\left[1,\dfrac{3}{2}\right)$	$\dfrac{(2HV-Kt)\alpha+(1-\alpha)(2V-t)H}{2H}$	$\dfrac{(2HV-Kt)K\alpha+(1-\alpha)(2V-t)HL}{4H}$
$\left[\dfrac{3}{2},+\infty\right)$	$\dfrac{(2HV-Kt)\alpha+2Ht(1-\alpha)}{2H}$	$\dfrac{(2HV-Kt)K\alpha+2(1-\alpha)HLt}{4H}$

证明　由文献[15]可知，若需求高，厂商总处于垄断销售，并且在$\dfrac{V}{t}\geqslant\dfrac{K}{H}$时产品售罄；若需求低，在$\dfrac{1}{2}\leqslant\dfrac{V}{t}<1$时厂商处于垄断销售，在$1\leqslant\dfrac{V}{t}<\dfrac{3}{2}$

时厂商处于垄断竞争的临界点，在$\frac{V}{t}\geqslant\frac{3}{2}$厂商处于竞争销售。

1) 当$\frac{1}{2}\leqslant\frac{V}{t}<\frac{K}{H}$时，类似定理2的分析，可得$p_A^H=p_A^L=\frac{V}{2}$，$\pi_A^H=\frac{V^2}{4t}H$，$\pi_A^L=\frac{V^2}{4t}L$，因此厂商均衡价格为$p_A=\frac{V}{2}$，均衡期望收益为$\pi_A^G=\frac{V^2}{4t}[\alpha H+(1-\alpha)L]$。

2) 当$\frac{K}{H}\leqslant\frac{V}{t}<1$时，可得$p_A^H=V-\frac{Kt}{2H}$，$p_A^L=\frac{V}{2}$，$\pi_A^H=\frac{(2HV-Kt)K}{4H}$，$\pi_A^L=\frac{V^2}{4t}L$，因此厂商均衡价格为$p_A=\frac{(2HV-Kt)\alpha+(1-\alpha)HV}{2H}$，均衡期望总收益为$\pi_A^G=\frac{(2HV-Kt)k\alpha t+(1-\alpha)V^2HL}{4Ht}$。

3) 当$1\leqslant\frac{V}{t}<\frac{3}{2}$时，可得$p_A^H=V-\frac{Kt}{2H}$，$p_A^L=V-\frac{t}{2}$，$\pi_A^H=\frac{(2HV-Kt)K}{4H}$，$\pi_A^L=\frac{(2V-t)L}{4}$，因此厂商均衡价格为$p_A=\frac{(2HV-Kt)\alpha+(1-\alpha)(2V-t)H}{2H}$，均衡期望收益为$\pi_A^G=\frac{(2HV-Kt)K\alpha+(1-\alpha)(2V-t)HL}{4H}$。

4) 当$\frac{V}{t}\geqslant\frac{3}{2}$时，可得$p_A^H=V-\frac{Kt}{2H}$，$p_A^L=t$，$\pi_A^H=\frac{(2HV-Kt)K}{4H}$，$\pi_A^L=\frac{Lt}{2}$，因此厂商均衡价格为$p_A=\frac{(2HV-Kt)\alpha+2Ht(1-\alpha)}{2H}$，均衡期望收益为$\pi_A^G=\frac{(2HV-Kt)K\alpha+2(1-\alpha)HLt}{4H}$。

证毕。

定理3展示了在价格承诺策略下，厂商在不同顾客购买意愿范围时的均衡定价和期望总收益。可以发现，在价格承诺策略下，顾客策略行为不会对厂商的定价和期望收益造成影响。这是由于厂商承诺产品价格在整个销售期不变，顾客等待至周期2反而会使购买效用降低，因此从机制上规避了顾客的策略等待行为。通过对均衡状态的分析可得如下推论。

推论3 价格承诺策略下，p_A和π_A^G均随$\frac{V}{t}$增大而增大；π_A^G随α增大而增大。

证明 p_A和π_A^G关于$\frac{V}{t}$的导数以及π_A^G关于α的导数均为正。

证毕。

由推论3可知，在价格承诺策略下，由于不受顾客策略等待行为的影响，只要顾客购买意愿增加，厂商就可以制定更高产品价格，获得更高收益。同时，随着需求预期增加，厂商更有可能制定更高价格，也更有可能售出更多产品，从而获得更高期望收益。

4 两种定价策略的对比分析

通过数值模拟(利用Matlab 7.0)分析顾客购买意愿、顾客策略程度和需求预期对均衡收益的影响，同时比较动态定价和价格承诺两种策略的收益。在分析中假定$K=0.5$、$H=0.9$、$L=0.3$、$t=1$。

4.1 顾客购买意愿对均衡收益的影响对比

取两组θ、α值，其中组1取值为$\theta=0.9$、$\alpha=0.6$，组2取值为$\theta=0.7$、$\alpha=0.3$，考察厂商在两种不同定价策略下均衡收益随顾客购买意愿的变化趋势，结果如图2所示。

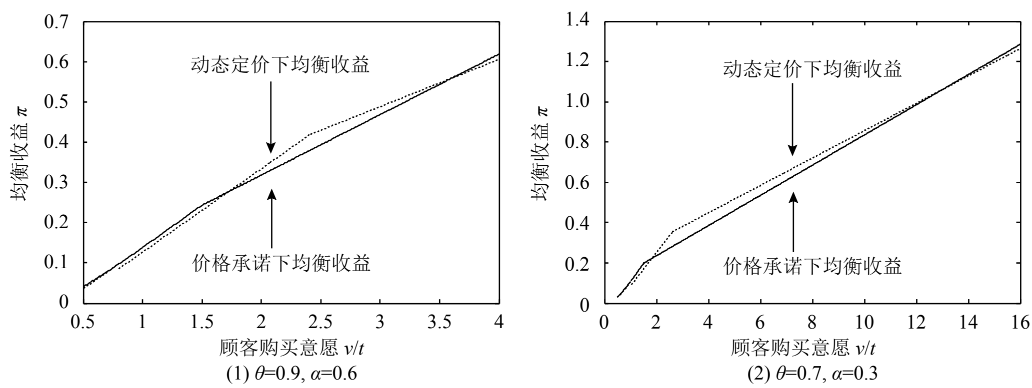

图2 不同$\frac{V}{t}$下厂商的均衡收益

Figure 2 The revenue of airline from different $\frac{V}{t}$

可以看出：

1) 在动态定价和价格承诺两种策略下，厂商均衡收益均随顾客购买意愿的增加而增加。这说明无论厂商采用何种定价策略，只要努力提高顾客购买意愿均能获得更高收益。在现实中，食品零售商推行免费试吃，航空公司推出积分兑换购票优惠活动，电影院提供在线选座服务，这些措施均致力于提高顾客购买意愿。

2) 对比两种策略下的均衡收益可以发现，当顾客购买意愿较小或较大时，动态定价下的均衡收益小于价格承诺下的均衡收益，此时采用价格承诺策略更优；但在顾客购买意愿适中时，动态定价下的均衡收益大于价格承诺下的均衡收益，此时动态定价策略更优。这可以解释为何在服装新品上市期和旧款处理期价格通常较为固定，而在这中间时期价格变化较大。不仅如此，这也可以解释航空机票类销售现象。以中国国航重庆直飞北京航班为例，在飞机临近起飞前机票价格几乎没有变化，在起飞前半年到1年机票价格也基本一致，而在这之间的机票价格波动较大。这是因为乘客通常在需要立即出行时具有很高购买意愿，对未来很远时期的机票具有较低购买意愿，而对在这之间的机票购买意愿适中。

4.2　策略程度和需求预期对均衡收益的影响对比

假设顾客对产品的估值$V=0.7$，考察厂商在2种不同定价策略下均衡收益随顾客策略程度和需求预期的变化趋势，得到结果如图3所示。

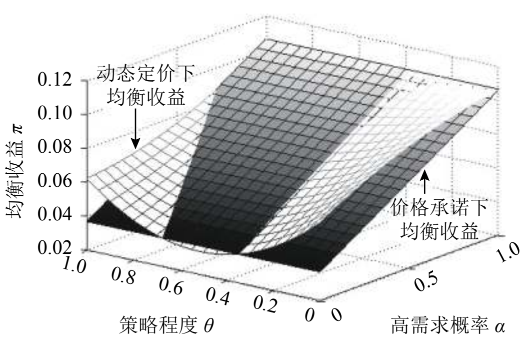

图 3　不同θ、α下厂商的均衡收益

Figure 3　The revenue of airline from different θ and α

可以看出：

1) 在特定的顾客购买意愿下，随着需求预期增加，动态定价策略和价格承诺策略的均衡收益均增加；随着顾客策略程度增加，动态定价策略的均衡收益先减少后增加。

2) 对比2种策略下的均衡收益可以发现，当顾客策略程度较小时，或策略程度较大且需求预期较小时，动态定价策略优于价格承诺策略；当顾客策略程度适中，或策略程度较大且需求预期也较大时，价格承诺策略更优。

5　结论

本文在需求不确定下，研究了两竞争易逝品厂商面对策略顾客时的均衡定价策略。通过构建两周期动态定价和价格承诺模型，探讨了2种定价策略下的精炼贝叶斯均衡，求出了均衡定价和收益，并利用数值分析研究了顾客购买意愿、顾客策略程度和需求预期对均衡结果的影响，比较了2种策略的收益大小。

1) 在动态定价策略下，当市场处于适度竞争时，顾客策略程度的加剧反而使厂商获得更高收益。

2) 随着顾客购买意愿的增大，价格承诺策略和动态定价策略下的厂商均衡收益均增加。但在顾客购买意愿较小或较大时，采用价格承诺策略能够获得更大收益；在顾客购买意愿适中时，动态定价策略更优。

3) 随着顾客策略程度的增大，动态定价策略下的厂商收益先减少后增加；随着需求预期的增大，价格承诺策略和动态定价策略下的厂商收益均增加；但在顾客策略程度较小，或顾客策略程度较大且需求预期较小时，动态定价策略更优，反之价格承诺策略更优。

动态定价和价格承诺是常用的易逝品定价策略，本文的研究可为易逝品厂商在不同情况下选择合适定价策略提供理论依据。同时，本文还存在一些不足，如没有考虑产品质量存在差异和顾客具有异质购买行为，后续研究可对此加以展开。

参考文献：

[1] 李贺, 张玉林, 仲伟俊. 考虑战略消费者行为风险的动态定价策略[J]. 管理科学学报, 2012, 15(10): 11-25.
LI He, ZHANG Yulin, ZHONG Weijun. Dynamic pricing strategies in the presence of strategic consumer behavior risks[J]. Journal of Management Science in China, 2012, 15(10): 11-25.

[2] SU X. Intertemporal pricing with strategic customer behavior[J]. Management Science, 2007, 53(5): 726-741.

[3] BESANKO D, WINSTON W L. Optimal price skimming by a monopolist facing rational consumers[J]. Marketing Science,

1990, 36(5): 555-567.

[4] 杨慧, 周晶, 宋华明. 考虑消费者短视和策略行为的动态定价研究[J]. 管理工程学报, 2010, 24(4): 133-137.
YANG Hui, ZHOU Jing, SONG Huaming. A dynamic pricing model with strategic and myopic consumers[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2010, 24(4): 133-137.

[5] BI G, LI L, YANG F, et al. Dynamic pricing based on strategic consumers and substitutes in a duopoly setting[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2014, 2014: 1-9.

[6] SU X, ZHANG F. Strategic customer behavior, commitment, and supply chain performance[J]. Management Science, 2007, 54(10): 1759-1773.

[7] CORREA J, MONTOYA R, THRAVES C. Contingent preannounced pricing policies with strategic consumers[J]. Social Science Electronic Publishing, 2012, 64(1): 251-272.

[8] LIU Q, ZHANG D. Dynamic pricing competition with strategic customers under vertical product differentiation[J]. Management Science, 2013, 59(1): 84-101.

[9] CHATWIN R E. Optimal dynamic pricing of perishable products with stochastic demand and a finite set of prices[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 125(1): 149-174.

[10] FENG Q. Integrating dynamic pricing and replenishment decisions under supply capacity uncertainty[J]. Management Science, 2010, 56(12): 2154-2172.

[11] XU X, HOPP W J. Dynamic pricing and inventory control: the value of demand learning[J]. Operations Research, 2010, 55(9): 219-232.

[12] NALCA A, BOYACI T, RAY S. Competitive price-matching guarantees: equilibrium analysis of the availability verification clause under demand uncertainty[J]. Management Science, 2013, 59(4): 971-986.

[13] KAYA O, GHAHROODI S R. Inventory control and pricing for perishable products under age and price dependent stochastic demand[J]. Mathematical Methods of Operations Research, 2018, 1(3): 1-35.

[14] 李娟, 濮阳小娟. 具有折扣销售期的网络零售商定价策略分析[J]. 管理工程学报, 2017, 31(3): 149-154.
LI Juan, PUYANG Xiaojuan. Pricing strategy of e-retailers with discount selling period[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2017, 31(3): 149-154.

[15] JERATH K, NETESSINE S, VEERARAGHAVAN S K. Revenue management with strategic customers: last-minute selling and opaque selling[J]. Management Science, 2010, 56(3): 430-448.

[16] SU X. A model of consumer inertia with applications to dynamic pricing[J]. Production and Operations Management, 2009, 18(4): 365-380.

[17] LEVIN Y, MCGILL J. Optimal dynamic pricing of perishable items by a monopolist facing strategic consumers[J]. Production and Operations Management, 2009, 50(1): 128-143.

[18] SRIRAM D, TONG C Y. Dynamic pricing when consumers are strategic: analysis of a posted pricing scheme[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 204(3): 662-671.