

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2018.04.020

考虑响应时间的制造企业远程监控服务定价策略研究

吴琼^{1,2}, 陈菊红¹, 黄放¹, 张雅琪¹

(1. 西安理工大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710054;

2. 西安理工大学 水利水电土木建筑研究设计院, 陕西 西安 710048)

摘要: 服务型制造背景下,制造企业运用物联网通过远程监控技术对售后产品进行远距离实时监测与控制,极大地降低了运维服务的响应时间。本文以运维管理和服务供应链管理理论为依据,探讨了基于响应时间的远程监控智能服务定价问题。研究发现,当满足一定条件时,存在响应时间与服务价格的联合最优解,使得制造企业收益最大化;响应时间存在一个临界点,当响应时间低于该临界点时,无论服务价格如何变化都不会增加制造企业的收益。研究结论为制造企业基于响应时间进行远程监控服务定价以及服务级别协议的签订提供了理论依据。

关键词: 响应时间; 远程监控; 运维服务; 定价策略

中图分类号: F272

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2018)04-0510-06

Research on pricing strategy of remote monitoring service based on response time

WU Qiong^{1,2}, CHEN Juhong¹, HUANG Fang¹, ZHANG Yaqi¹

(1. School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China; 2. The Design Institute of Water Conservancy & Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In the context of service-oriented manufacturing, manufacturing enterprises use remote monitoring technology to real-time monitoring and controlling after-sales products in a long-distance through IOT, thus greatly reducing the response time of the operation & maintenance service. A remote monitoring service pricing strategy was studied in this paper considering the response time based on the theory of operation & maintenance and service supply chain management. It is found that when the parameters satisfy certain conditions, there is a joint optimal solution between the response time and the service price, which maximizes the profit of the manufacturing enterprise. Furthermore, the response time has a critical point. When the response time is lower than the critical point, the benefits of manufacturing enterprises will not increase no matter how to change the service price. The conclusion is helpful in manufacturing enterprise to sign services level agreement and providing the theoretical basis for the remote monitoring service pricing based on the response time.

Key words: response time; remote monitoring; operation & maintenance service; pricing strategy

在服务主导逻辑下,越来越多的制造企业纷纷开始服务转型,远程监控技术作为物联网的关键技术之一,对制造企业服务化进程起到了很大的推动作用^[1]。作为基于远程监控技术的一种设备运维服务,远程监控服务将会是未来几年内制造企业发

展最迅速的服务^[2]。远程监控服务使制造企业在其设备销售后能实时监测与分析设备运行数据,控制设备运行参数和状态,发现并消除设备可能出现的潜在故障,有效地减少客户损失,提升服务收益^[1]。相关研究指出,通过应用远程监控服务,可以

收稿日期: 2017-11-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71272117);教育部人文社会科学基金资助项目(16YJC630170);陕西省社科界重大理论与现实问题研究基金资助项目(2018C018)

作者简介: 吴琼,女,硕士生,研究方向为供应链整合与服务创新。E-mail: wuqiong9278@sina.com

通讯作者: 陈菊红,女,教授,博导,博士,研究方向为供应链管理、服务型制造。E-mail: 584696353@qq.com

解决大约 20% 的设备故障问题^[3],用于工业设备的故障判断、维修的时间可以降低 90%,设备维护费用也可以降低 20%~50%^[4]。国内外许多大型制造企业如通用电气(GE)、劳斯莱斯、三一重工、陕鼓动力等纷纷为其客户提供远程监控服务,大大提高了设备运维服务质量,特别是缩短了运维服务的响应时间。

定价是企业最关键的决策之一^[5]。服务定价不仅关系到制造企业服务的市场占有率,更涉及企业在市场竞争中的地位和影响力,甚至会影响到企业的生存与长远发展。随着时间敏感型需求客户群体的增大,时间正逐渐演变为新的企业竞争资源^[6],因此,响应时间也成为影响服务定价的重要因素。远程监控服务作为一项贯穿设备运行过程的实时服务难以界定其响应时间,故本文使用运维环节响应时间衡量远程监控服务响应时间。所谓运维环节响应时间,是运维人员从服务请求或故障申报起到完成这一请求或申报所需的时间^[7]。响应不及时不仅会给客户的生产(服务)带来影响,还会对制造企业的服务销售和收益产生影响,最终给双方都造成不小的损失。很多企业在定价时都会依据不同的响应时间制定不同的价格。比如中兴精诚通讯有限公司依据响应时间将服务等级分为关键、重要和次要三级,针对每级客户收取不同的服务费用。学术研究也已经开始关注响应时间对服务定价的影响。葛世伦等^[7]以响应时间为基础,研究了信息系统运维服务的定价问题,发现响应时间对信息系统运维服务提供商定价的影响明显;Mo 和 Tseng 等^[8]基于响应时间的不同,通过当天响应和第二天响应构建价格歧视决策,以支持制造企业大规模定制下的备件服务;Cao 和 Liang^[9]研究了闭环供应链下,集中决策与分散决策时的最优响应时间和定价策略,得出集中决策优于分散决策,但响应时间不受决策模型的影响。

综上所述,响应时间已成为企业实践和学术研究服务定价时考虑的关键因素,但是目前却没有针对远程监控服务的响应时间进行定价的研究。企业实践中依然基于传统的成本叠加定价,甚至是在设备成本的基础上乘以一个系数作为服务费用,无法很好地指导远程监控服务的定价。为弥补现有研究的不足,本文以响应时间作为影响远程监控服务定价的重要因素,先探讨响应时间对服务定价的影响,进而综合分析响应时间和服务定价对制造企业收益的影响。

1 模型建立

1.1 问题描述与基本假设

基于企业实践,制造企业在出售其设备后,还可以为其设备提供远程监控服务。一方面,客户购买的是远程监控服务效果,而不是过程。远程监控服务作为智能服务的一种,具有极高的差异性,必须针对每个客户的实际情况提供相对应的服务。另一方面,客户购买的是制造企业提供远程监控服务的时间,而非服务数量。客户根据制造企业的远程监控服务价格和承诺的响应时间,选择是否购买远程监控服务的时间。由此,本文做出 3 点假设:

假设 1 制造企业通过远程监控服务可以及时发现产品的潜在故障,并能及时提供相应的维修服务;

假设 2 产品故障率不受维修次数的影响;

假设 3 每次进行维修的费用固定不变,且每次维修时间忽略不计。

1.2 符号说明

相关变量符号及其定义如表 1 所示,文中涉及变量均为无量纲量。

表 1 相关变量符号说明及其含义

Tab. 1 Descriptions and meanings of related variable symbol

符号	含义
T_0	客户企业远程监控服务的基本需求时间, $T_0 > 0$
T	客户企业购买的远程监控服务时间, $T > 0$
C	制造企业的远程监控服务成本, $C > 0$
P	制造企业的远程监控服务价格, $P > 0$
P^*	制造企业的远程监控服务最优价格, $P^* > 0$
β	客户对服务价格的敏感系数, $0 < \beta < 1$
α	客户对远程监控服务响应时间的敏感系数, $0 < \alpha < 1$
η	服务响应性成本系数, $0 < \eta < 1$
t_0	客户使用远程监控服务前,运维服务平均响应时间, $t_0 > 0$
t	客户使用制造企业提供的远程监控服务后,运维服务承诺响应时间, $t < t_0$
t^*	客户使用制造企业提供的远程监控服务后,最优运维服务承诺响应时间, $t^* < t_0$
R	客户单位产值, $R > 0$
π	制造企业提供远程监控服务的收益
π^*	制造企业提供远程监控服务的最优收益

1.3 需求函数

作为一种基于产品的服务,远程监控服务需求量与产品密切相关,也就是说,只有购买远程监控产

品的客户才会购买此项服务。因此,远程监控服务基础需求量将不会超过产品需求量。此外,远程监控服务需求还受服务本身特征的影响,即响应时间对远程监控服务需求会产生重要影响。制造企业可以通过适当的降价来弥补服务响应性的不足,或者通过提高服务响应性来平衡高价导致的客户流失。远程监控服务响应性可以用运维环节响应时间 t 来刻画,响应时间越短,远程监控服务响应性越高。对数函数既能够很好地反映响应性的提高增大了服务需求,又能够反映当响应性的变化低于某一程度时,价格将无法成为调节杠杆^[10]。因此,本文采用远程监控服务前后服务响应时间的比率 t_0/t 作为衡量服务响应性的标准,需求函数可写为:

$$T = T_0 + \alpha R \ln \frac{t_0}{t} - \beta P$$

其中, $\ln t_0/t$ 表示了响应时间的改变对远程监控服务需求的影响。根据调研结果,服务提供商对远程监控服务的服务承诺多基于产品故障的响应时间。在最理想的状态下,若远程监控服务能够有效进行,此时设备维修的响应时间 $t < t_0$, 由此 $t_0/t > 1$, $\ln t_0/t > 0$, 这意味着服务响应性会正向影响客户对服务的需求。若未能及时检测并诊断出设备故障,则 $t \geq t_0$, 即 $t_0/t \leq 1$, $\ln t_0/t \leq 0$, 这意味着客户不会购买远程监控服务。

1.4 成本函数

远程监控服务成本主要由两部分构成:服务前成本(包括技术研发和监测设备搭建成本等)、服务中成本(包括人力成本、数据搜集成本等)。服务前成本多为企业固定投入,受服务响应时间改变的影响不大,而服务中成本是为保证服务的响应性而带来的成本,服务响应时间对其有很大的影响。因此,本文仅讨论因保障服务响应时间而带来的成本。借鉴 Andy A. Tsay 和 Narendra Agrawal 的研究^[11],制造企业提供远程监控服务的成本函数为:

$$C = \frac{1}{2} \eta \left(\frac{t_0}{t} \right)^2 \quad (1)$$

其中, η 为缩短响应时间的成本系数, η 越大,服务成本越高;此外,响应时间 t 越短,服务成本越高。

2 模型分析

在此模型下,客户根据制造企业提供远程监控服务的价格 P 和响应时间 t 来选择是否购买远程监控服务。

此时,制造企业提供远程监控服务的收益函

数为:

$$\pi = TP - C = \left(T_0 + \alpha R \ln \frac{t_0}{t} - \beta P \right) P - \frac{1}{2} \eta \left(\frac{t_0}{t} \right)^2$$

由 $\tau = t_0/t$, 得:

$$\pi = TP - C = (T_0 + \alpha R \ln \tau - \beta P) P - \frac{1}{2} \eta \tau^2 \quad (2)$$

命题 1 当各参数满足一定条件时,对于给定的服务响应时间 t ,制造企业的期望收益是关于服务价格 P 的凸函数;存在最优的服务价格 P^* ,使得制造企业收益 π 最大化。

证明 把式(2)对服务价格 P 分别求一阶导数和二阶导数。

$$\frac{\partial \pi}{\partial P} = -2\beta P + T_0 + \alpha R \ln \tau, \quad \frac{\partial^2 \pi}{\partial^2 P} = -2\beta < 0$$

可知,当各参数满足 $\frac{\partial \pi}{\partial P} = 0$ 时,即存在最优服务价格 P^* 使得制造企业收益 π 最大化。

此时,

$$P^* = \frac{1}{2\beta} (T_0 + \alpha R \ln \tau) \quad (3)$$

$$\pi^* = \frac{1}{4\beta} (T_0 + \alpha R \ln \tau)^2 - \frac{1}{2} \eta \tau^2 \quad (4)$$

证毕。

命题 2 制造企业最优服务价格 P^* 是远程监控服务响应时间 t 的单调递减函数;同时,制造企业远程监控服务成本 C 是服务响应时间 t 的单调递减函数。

证明 把式(1)、式(3)分别对 t 求导,由几何关系可得:

$$\frac{\partial P^*}{\partial t} = -\frac{\alpha R}{2\beta t} < 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{2} \eta \frac{t_0}{t^2} < 0$$

证毕。

由此可知, P^* 是响应时间 t 的单调递减函数, C 是响应时间 t 的单调递减函数。这说明单位产值越高的客户越愿意为远程监控服务支付一个较高的价格,但此时服务的成本也随之上升。

命题 3 当各参数满足一定条件时,对于给定的最优服务价格 P^* ,制造企业的期望收益是关于 τ 的凸函数;存在最优的服务响应时间 t^* ,使得制造企业收益 π 最大化。

证明 将式(2)对 τ 分别求一阶导数和二阶导数。

$$\frac{\partial \pi}{\partial \tau} = \frac{\alpha R P^*}{\tau} - \eta \tau, \quad \frac{\partial^2 \pi}{\partial \tau^2} = -\frac{\alpha R P^*}{\tau^2} - \eta < 0$$

可知,当各参数满足 $\frac{\partial \pi}{\partial \tau} = 0$ 时,即存在最优 τ^*

使得制造企业收益 π 最大化,由 $\tau = \frac{t_0}{t}$ 得最优的服务响应时间满足:

$$t^* = \sqrt{\frac{\eta t_0^2}{\alpha R P^*}} \quad (5)$$

证毕。

这也就是说,存在一个最优的服务响应时间使得制造企业收益最大化,同理,该服务响应时间也不是越短越好。制造企业的收益不仅受到服务价格的影响,同时也受到服务响应时间的影响。

命题 4 制造企业的收益同时受到远程监控服务价格 P 以及服务响应时间 t 的影响,且当 P 与 t 满足 $P > \frac{\alpha R}{2\beta} - \frac{\eta}{\alpha R} \left(\frac{t_0}{t}\right)^2$ 时,制造企业收益存在最优值,此时最优服务价格 P^* 满足式(6),同时最优服务响应时间 t^* 满足式(7)。

证明

$$\text{由于 } \frac{\partial^2 \pi}{\partial P^2} = -2\beta < 0, \quad \frac{\partial^2 \pi}{\partial \tau^2} = -\frac{\alpha R P}{\tau^2} - \eta < 0,$$

$\frac{\partial^2 \pi}{\partial P \partial \tau} = \frac{\alpha R}{\tau} > 0$,由此可以得到,海森矩阵的一阶、二阶顺序主子式分别为:

$$D_1 = -2\beta < 0, \quad D_2 = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 \pi}{\partial P^2} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial P \partial \tau} \\ \frac{\partial^2 \pi}{\partial \tau \partial P} & \frac{\partial^2 \pi}{\partial \tau^2} \end{vmatrix} =$$

$$\begin{vmatrix} -2\beta & \frac{\alpha R}{\tau} \\ \frac{\alpha R}{\tau} & -\frac{\alpha R P}{\tau^2} - \eta \end{vmatrix} = \frac{2\alpha\beta RP + 2\beta\eta\tau^2 - (\alpha R)^2}{\tau^2}$$

制造企业收益最大化的前提是海森矩阵为负定矩阵。一个矩阵是负定矩阵的充要条件是其所有奇数阶顺序主子式小于零,所有偶数阶顺序主子式大于零。因此,为使企业收益最大化,应满足 $D_2 > 0$,即 $2\alpha\beta RP + 2\beta\eta\tau^2 - (\alpha R)^2 > 0$,进而解得 $P > \frac{\alpha R}{2\beta} -$

$$\frac{\eta}{\alpha R} \left(\frac{t_0}{t}\right)^2.$$

此时,由式(3)和式(5)联立可以得到,最优价格 P^* 和最优服务响应时间 t^* 应满足:

$$P^* - \frac{\alpha R}{4\beta} (\ln \alpha R - \ln \eta + \ln P^*) - \frac{T_0}{2\beta} = 0 \quad (6)$$

$$(t^*)^2 - \frac{2\beta\eta t_0^2}{\alpha R [T_0 + \alpha R \ln(t_0/t^*)]} = 0 \quad (7)$$

证毕。

3 数值算例分析

为了说明上述定价机制,通过数值算例来验证服务响应时间对服务价格以及制造企业收益的影响。令 P 服从 $[0, 100]$ 的均匀分布, t 服从 $[0, t_0]$ 的均匀分布, $\alpha = 0.8, \beta = 0.2, T_0 = 10, R = 5, \eta = 0.5, t_0 = 5$ 。

考虑定价机制中各参数变化对制造企业收益的影响时,用 Matlab R2014b 求解并绘图。

1) 响应时间 t 对服务价格 P 和服务成本 C 的影响

将上述各参数带入 Matlab R2014b 得服务价格和服务成本随响应时间变化的趋势,如图 1 所示。

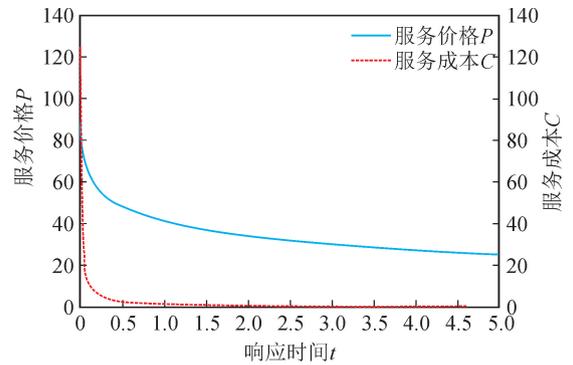


图 1 服务价格和服务成本随响应时间变化的趋势图
Fig. 1 Trend graph of service price and service cost as a function of response time

从图 1 中可以看到,服务价格和服务成本都随着响应时间的缩短而增加。在响应时间 $t > 0.3$ 时,服务价格比服务成本增加快,此时,由服务价格上升带来的收益增加将超过由服务成本上升带来的收益损失,制造企业的总收益开始增加;当响应时间 $t < 0.3$ 时,服务成本陡然增加,超过服务价格的增加,此时,由服务成本上升带来的收益损失将超过由服务价格上升带来的收益增加,制造企业的总收益将开始减少。

2) 远程监控服务价格 P 和响应时间 t 对制造企业收益 π 的影响

将上述各参数带入 Matlab R2014b 得到制造企业收益随服务价格的变化趋势如图 2 所示,制造企业收益随响应时间的变化趋势如图 3(仅截取制造企业收益大于 -1000 的部分)所示。

从图 2、图 3 中可以看出,无论是随着服务价格还是响应时间的增大,企业收益都呈现出先上升后下降的趋势,这充分说明服务价格并不是越高越好,同样响应时间也不是越短越好。从图 1 的分析可

知,虽然响应时间的缩短会带来服务价格的提高,在一定程度上会促进制造企业收益的增长,但是伴随着响应时间的不断缩短,服务成本会不断提高,并且当响应时间短到一定程度时,服务成本会陡然上升,从而导致图3中制造企业收益的断崖式下跌。因此,在制定远程监控服务的价格时,为实现制造企业收益最大化,需要同时考虑响应时间和服务价格,如图4所示。为更好地显示变化趋势,图4仅截取制造企业收益大于-1000的部分。

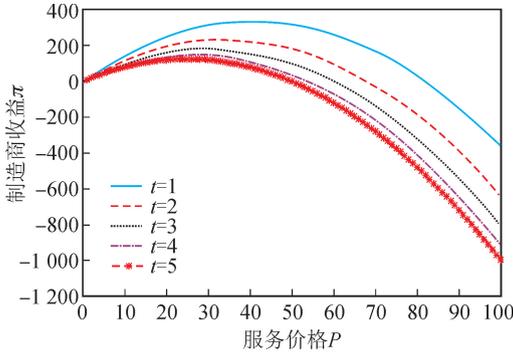


图2 制造企业收益随服务价格变化趋势图
Fig. 2 Trend graph of manufacturing company's income and service price

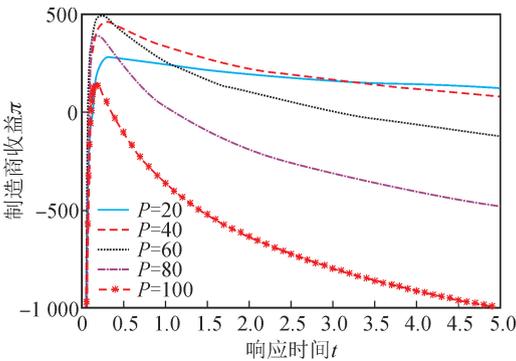


图3 制造企业收益随响应时间变化趋势图
Fig. 3 Trend graph of manufacturing company's income and response time

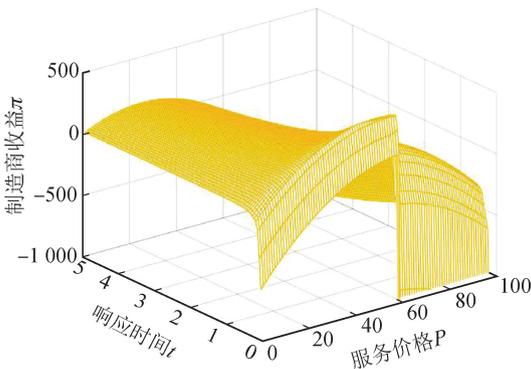


图4 制造企业收益受响应时间和服务价格影响的变化趋势图
Fig. 4 Trends graph of the manufacturing company's income affected by response time and service price

从图4中可以清楚地看到,制造企业收益随响应时间的缩短和服务价格的增加先缓慢上升再迅速下降。当响应时间缩短到一定程度时,虽然服务价格在上升,但是制造企业收益有着明显的下降趋势,印证了图1中响应时间 $t < 0.3$ 时,服务成本的增量将大大超过服务价格的增量,从而造成制造企业收益的快速下降。此外,图4显示出制造企业的收益存在明显的极点,即存在响应时间和服务价格的联合最优解使得远程监控服务收益达到最大值,此时 $P = 57, t = 0.2, \pi = 497.85$ 。由此可知, $t = 0.2$ 是远程监控服务响应时间的临界点,当 $t < 0.2$ 时,无论服务价格如何变化,制造企业收益都显著下降。这是因为在响应时间临界点以下,服务成本上升速度大大超过服务价格上升的速度,制造企业收益的提升会因为响应时间过短导致的巨大成本而遭遇瓶颈。

4 结论与启示

本文基于响应时间研究了制造企业远程监控服务定价问题,探讨了响应时间对制造企业远程监控服务价格和服务成本的影响,进而分析了响应时间和服务价格同时作用时对制造企业收益的影响。

1) 响应时间对服务价格和制造企业收益都有显著影响。一定程度内,响应时间的缩短可以提高服务价格和制造企业的收益,当响应时间缩短到临界点以内时,无论服务价格如何变化都不会再增加制造企业的收益。

2) 响应时间和服务价格均对制造企业收益有显著影响。随着响应时间和服务价格的增加,企业收益均呈现先上升后下降的趋势,并且响应时间对制造企业收益的影响大于服务价格的影响。响应时间越短、服务价格越高,对制造企业收益的影响就越明显。

3) 在满足一定条件的情况下,服务价格与服务响应时间存在联合最优解使得制造企业收益最大化,且制造企业收益极大值点并没有出现在服务价格最高、响应时间最短处。

本研究的结论表明,响应时间并非越短越好,同样,服务价格也并非越高越好。制造企业在制定远程监控服务价格时,不能单方面追求最短响应时间以获取最高的服务价格,而要充分考虑响应时间对服务价格以及二者对制造企业收益的影响。本文的研究为制造企业基于响应时间进行远程监控服务定价提供了理论依据。由于客户业务类型差异导致其对远程监控服务需求程度和服务水平要求不同,未

来研究可进一步考虑客户性质、单位时间产值、单位时间损失等因素对定价的影响。

参考文献:

- [1] GRUBIC T, PEPPARD J. Servitized manufacturing firms competing through remote monitoring technology: an exploratory study[J]. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2016, 27(2): 154-184.
- [2] PALUCH S. Customer expectations of remote maintenance services in the medical equipment industry[J]. *Journal of Service Management*, 2014, 25(5): 639-653.
- [3] 党群. 服务化背景下企业远程监控技术使用意愿研究[D]. 西安:西安理工大学, 2016.
- DANG Qun. The study on the trend of RMT by corporations on the background of servitization [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2016.
- [4] 贾昌荣.“远程服务”的奥秘[J]. *今日工程机械*, 2015, (5):88-89.
- JIA Changrong. The mystery of remote service[J]. *Construction Machinery Today*, 2015, (5):88-89.
- [5] WEST S, KUJAWSKI D, CONSULTANT S. Service pricing strategies for maintenance services[C]// Proceedings of the 23rd European Operations Management Association (EurOMA) conference, June 17-22, Trondheim, Norway, 2016.
- [6] 杨文胜, 李莉. 响应时间不确定下的交货期相关定价研究[J]. *中国管理科学*, 2005, 13(2): 56-62.
- YANG Wensheng, LI Li. Leadtime-contingent pricing under response time uncertainty[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2005, 13(2): 56-62.
- [7] 葛世伦, 徐颖, 王念新. 考虑响应时间的信息系统运维服务的动态定价研究[J]. *江苏科技大学学报(自然科学版)*, 2014, 28(3): 285-291.
- GE Shilun, XU Ying, WANG Nianxin. Dynamic pricing considering the response time of information system operation and maintenance services[J]. *Journal of Jiangsu University of Science and Technology(Natural Science Edition)*, 2014, 28(3): 285-291.
- [8] MO D Y, TSENG M M, WANG Y. Mass customizing spare parts support services based on response time with inventory pooling strategies[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2016, 63(3): 305-315.
- [9] CAO H J, LIANG S. Study on the decision mode of closed-loop supply chain based on delivery response time[C]// International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, IEEE Computer Society, c2009:622-625.
- [10] 何平, 郑益中, 孙燕红. 基于服务质量和价格的服务竞争行为[J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(2): 357-364.
- HE Ping, ZHENG Yizhong, SUN Yanhong. Service competition based on service quality and price[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2014, 34(2): 357-364.
- [11] TSAY A A, AGRAWAL N. Channel dynamics under price and service competition[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2000, 2(4): 372-391.

(责任编辑 周 蓓)