

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.07.006

基于信号博弈的独立型售电公司售电策略研究^①

方德斌^{1,2}, 赵朝阳¹, 李娅妮¹

(1. 武汉大学复杂科学与管理研究中心, 武汉 430072;
2. 中南民族大学铸牢中华民族共同体意识研究基地, 武汉 430074)

摘要: 随着售电市场竞争加剧, 独立型售电公司作为新型市场主体, 面临着“批零倒挂”和“偏差考核”风险, 且其售电服务质量具有事前不可观测性, 面临着信息不对称风险, 优化其售电策略具有重要的理论和现实意义。不同售电服务质量类型的独立型售电公司具有不同的购电成本和偏差控制能力, 故销售电价和偏差考核分摊比例(简称分摊比例)可以成为传递独立型售电公司服务质量的有效信号。本研究考虑销售电价和分摊比例对电力用户策略选择的影响, 分别建立了独立型售电公司售电策略的销售电价、分摊比例单信号博弈模型和双信号博弈模型, 求解了博弈模型的贝叶斯纳什均衡, 比较了不同信号博弈均衡结果及其实现分离均衡的条件, 得到了独立型售电公司最优策略。结果表明不同于销售电价信号, 分摊比例信号和双信号均可以规避售电市场逆向选择风险, 但使用双信号有助于降低售电公司的最优分摊比例和销售电价, 增加其销售电量和利润, 且实现分离均衡的条件更宽松。本研究可为规范我国电力市场运行、提升电力市场运行效率提供决策支持。

关键词: 售电服务质量; 逆向选择; 售电策略优化; 信号博弈; 分离均衡

中图分类号: F224 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2025)07-0096-18

0 引言

2015年, 随着电改九号文的发布, 新一轮电力体制改革正式拉开帷幕^[1], 售电侧的放开被认为是新一轮电力体制改革的最大亮点, 对于竞争性的市场结构和市场体系的构建具有重要意义, 也有力地推动了电力市场化进程的加快^[2]。2019年, 我国电力中长期交易总规模为2.2万亿kW·h, 占全社会用电量的30.1%, 如图1所示, 公示的售电公司也超过了4 000家^[3]。放开售电业务有助于为电力用户提供专业化的购电服务, 提高市场效率, 规避市场风险, 激发市场活力, 提升用能水平, 优化用能侧资源配置, 还原电力商品属性。然而, 随着售电目录大幅扩容、交易模式的规范化

和市场竞争程度的加剧, 售电市场呈现供大于求的买方市场特征, 售电公司电力批发价可能比电力零售价还要高, 面临着电价批零倒挂风险。且随着2016年《电力中长期交易基本规则(暂行)》的发布实施, 明确了对售电公司实际用电量与合同电量之间的偏差考核规则和惩罚措施, 因此, 售电公司同时也面临着偏差考核风险^[4]。大批独立型售电公司无法有效开展市场交易, 甚至退市, 根据广东2019年电力市场报告公布的数据, 436家售电公司中只有134家参与市场交易, 占比仅30.7%。由此可见, 对独立型售电公司售电策略进行研究, 提升独立型售电公司市场化售电服务质量, 有助于提升独立型售电公司的整体经济效益, 促进我国售电市场健康发展^[5]。

① 收稿日期: 2021-07-07; 修订日期: 2021-10-03。

基金项目: 国家社会科学资助项目(19ZDA083); 国家自然科学基金资助项目(72243010)。

作者简介: 方德斌(1976—), 男, 安徽舒城人, 博士, 教授, 博士生导师。Email: dbfang@whu.edu.cn

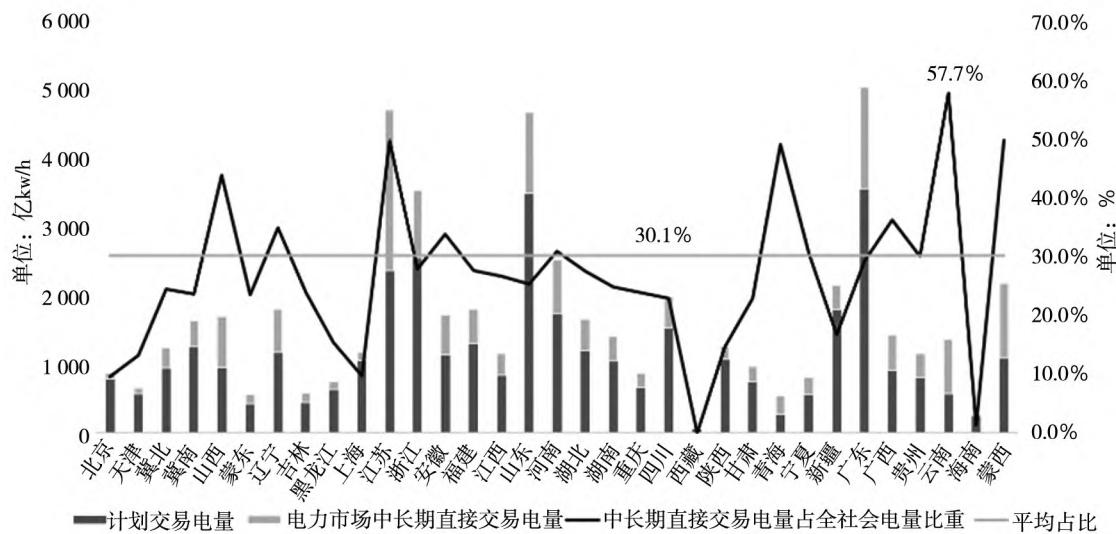


图1 2019年中长期交易电量情况

Fig. 1 Medium and long-term power trading situation in 2019

数据来源:中国电力联合会

随着电网企业单一的售电主体地位被打破,越来越多的售电公司参与到市场竞争中来.发达国家售电市场改革经验表明,同质化的价格竞争会使得售电公司利润趋薄、经营不确定、财务风险增大,不具有规模和资源优势的独立型售电公司,需要通过提供增值服务、电力金融等方式创新业务模式^[6].国际上,开展专业化售电服务已成为售电公司发展的主要趋势,如美国德克萨斯州的54家竞争性售电公司,提供了15个类别322种不同产品和服务.在我国售电侧改革之前,售电业务一直由拥有配电网运营权(以下简称“配售型”)的传统售电公司垄断,与电力用户长期互动,其售电服务质量可以被电力用户准确感知.而独立售电公司(以下简称“独立型”)作为新兴市场主体,其售电服务质量与技术水平、资源投入、业务能力、风控能力等私人信息有关,电力用户短期内无法准确观察,因此,售电公司与电力用户之间存在信息不对称^[7,8].这种售电服务质量信息不对称现象会导致价格竞争愈发激烈,偏差考核的罚款风险增大,盈利空间被压缩.因此,规避售电服务质量信息不对称风险,不仅有助于帮助售电公司优化售电决策以规避逆向选择风险,也有利于提升售电市场的竞争有效性.

对于不对称信息所导致的逆向选择风险,最常用的规避方法是通过有成本且与售电服务质量

类型相关的信号来改变电力用户的初始信息结构^[9].鉴于售电业务的本质是售电公司替电力用户承担电力市场风险并获得相应收益,其盈利状况主要取决于代理电量规模和售电服务价差,如何通过有效的信号工具向电力用户传递售电服务质量信息,从而锁定电力用户需求并提升价差空间成为售电公司售电决策的关键所在.一方面,目前多数省份偏差考核费用的惩罚款,多按照售电公司和电力用户之间通过合同约定分摊比例的方式执行,如2018年天津某售电公司与唐山某电力用户约定由双方按比例分摊偏差考核费用,售电公司分摊比例为15%,电力用户分摊比例为85%.高质量的独立型售电公司可以提供更优的负荷预测、负荷监控、负荷控制等增值服务,具有更完备的电量互保与转让、建立储能设施、开发可中断资源等服务策略体系,可以有效控制电力用户用电过程中产生的用电偏差风险,因而其可以可通过更高的分摊比例这种浪费性支出,向用户传达自身的服务质量信息^[10,11].另一方面,高质量的售电公司服务成本更高,相应的销售电价也更高,因此,销售电价也可以显示其服务质量信息.综上,销售电价和分摊比例均可作为售电服务质量信号^[12].

此外,随着新一轮电力体制改革赋予电力用户用电选择权,理性的电力用户主要依据其所获

得的效用水平来做出购电决策,在行使选择权时,不仅会考虑电量风险,还会考虑电价风险,其策略选择直接决定售电公司的市场份额,进而影响售电公司的利润和售电策略选择^[13]. 因此,售电公司在制定售电决策时还需要考虑电力用户的策略选择^[14].

综上,本研究有助于帮助独立型售电公司规避逆向选择风险,提升售电市场运行效率,相关研究具有重要的理论意义和较强的现实意义,本研究即以此为目标展开研究.

1 文献回顾与研究假设

1.1 文献回顾

2020 年 2 月 18 日,国家发改委、国家能源局联合印发的《关于推进电力交易机构独立规范运行的实施意见》,为进一步构建公平开放的电力市场竞争环境奠定了坚实的基础. 随着电力用户对售电公司的风险管控能力和售电服务能力更加关注,分析售电公司如何通过优化售电策略从而增强用户粘性,提升市场份额成为研究热点. 目前关于售电公司策略优化的研究主要集中于竞价购电策略优化和交易风险规避两个方面. 肖白等^[15]针对各电力用户因其用电差异性而需要不同的电价套餐,且电力用户选择电价套餐的决策行为普遍是有限理性而非完全理性的,提出了一种考虑有限理性用户选择行为的定制化电价套餐设计方法. 黄煌等^[16]使用罚函数法引入 Pareto 改进约束,然后利用量子粒子群算法计算得到售电公司最优售电模型,并将该模型与未引入 Pareto 改进约束下的模型进行对比; 张智等^[17]提出售电公司峰谷组合电力套餐零售模式并构建了考虑用户有限理性的电力套餐设计双层优化模型. 此外,售电公司进行市场交易时承受极大的市场风险,难以保证自身的收益^[18]. 因此,考虑风险规避的市场交易策略也是售电公司需要关注的重要问题. 杨阳方和刘继春^[19]计及需求响应和电量互保策略的影响,建立了考虑偏差电量的售电公司交易策略优化模型; Kettunen 等^[20]在考虑实时电价波动风险,研究了基于博弈论和随机规划的售电公司交易决策优化问题. 此外,方德斌等^[21]在研究电力

绿色创新与绩效协同演化机制中发现电力公司.

然而,这些研究存在两方面局限性. 1),仅从售电公司自身的角度出发,忽视了终端电力用户的策略选择^[22]. 现有研究表明,企业在制定最优售电策略时如果考虑消费者的策略行为可以显著提高其利润^[23, 24]. 2)多是基于对称信息开展的优化研究,而现实情况中,由于售电侧市场放开不久,独立型售电公司的服务质量等私人信息短期内很难被终端电力用户所获得,因此售电市场具有显著的信息不对称性特征,可能出现“劣币驱逐良币”的逆向选择问题^[25]. 信息经济学中的信号博弈理论为规避这种事前信息不对称风险提供了可能^[26, 27].

在信号博弈模型中,作为具有私人信息的主体可以通过某种浪费性支出,在激励相容约束下向其他市场主体传递其私人信息^[28]. 广告、产品价格、保修期、投资水平、社会责任、企业债务、企业分红等信号都具有间接传递质量信息的功能^[29, 30]. 近年来,有些学者开始关注多个信号之间的相互影响, Balachander^[31]从在位者和新进者的视角分析了竞争市场上保修期和价格的双信号传递作用. Herzendorf 等^[32]研究了价格和广告的双信号质量传递效用,发现当产品质量差异比较小时,以价格作为单信号无法有效传递质量信息,需要将价格和广告作为双信号,以增大信息量的方式传递质量信号,才能实现分离均衡. Price 等^[33]研究了品牌和保修期的信号作用,发现两种信号结合有助于提高顾客准确判断产品质量类型的可能性.

综上所述,本研究针对独立型售电公司所面临的逆向选择风险,借助保留效用函数,将终端用户的自主选择权纳入研究范畴,考虑了一个售电服务质量已知的配售型售电公司和一个售电服务质量未知的独立型售电公司之间的竞争,以销售电价和分摊比例作为售电服务质量信号,分别构建了销售电价单信号博弈模型,分摊比例单信号博弈模型和双信号博弈模型,求解了三种信号博弈工具下高质量独立型售电公司的最优决策,对比分析了不同情景下的均衡结果以及实现分离均衡的条件,并进行了数值分析,为独立型售电公司售电策略优化提供了决策支持.

1.2 模型说明与基本框架

服务质量信息可被电力用户准确感知的配售型售电公司记为 d , 服务类型唯一, 服务质量信息无法被电力用户准确感知的独立型售电公司记为 i , 其服务质量类型有高(H)和低(L)两种类型, 将售电公司的电量偏差考核比例 ρ_l ($l = d, i$) 作为售电公司服务质量的表征. 同时, 假设每个电力用户均只购买 $1 \text{ MW} \cdot \text{h}$ 的单位电量(购买多个单位电量时可视为多个同质化的电力用户). 本研究所涉及的决策变量和基本参数如表 1 所示.

表 1 决策变量和基本参数符号说明

Table 1 Symbol description of decision variables and basic parameters

符号	含义	单位	说明
V	电力用户购买单位电量服务的效用	元	
ρ_d	配售型售电公司的偏差考核比例	%	
ρ_i^H	H型独立售电公司的偏差考核比例	%	$\rho_i^L > \rho_i^H$
ρ_i^L	L型独立售电公司的偏差考核比例	%	
C_d	配售型售电公司的固定经营成本	元	
C_i^H	H型独立售电公司的固定经营成本	元	$C_i^H > C_i^L$
C_i^L	L型独立售电公司的固定经营成本	元	
c_d	配售型售电公司的边际服务成本	元/ $\text{MW} \cdot \text{h}$	
c_i^H	H型独立售电公司的边际服务成本	元/ $\text{MW} \cdot \text{h}$	$c_i^H > c_i^L$
c_i^L	L型独立售电公司的边际服务成本	元/ $\text{MW} \cdot \text{h}$	
Q_d	配售型售电公司的代理电量	$\text{MW} \cdot \text{h}$	
Q_i^H	H型独立售电公司的代理电量	$\text{MW} \cdot \text{h}$	
Q_i^L	L型独立售电公司的代理电量	$\text{MW} \cdot \text{h}$	
P_d	配售型售电公司的销售电价	元/ $\text{MW} \cdot \text{h}$	
P_i^H	H型独立售电公司的销售电价	元/ $\text{MW} \cdot \text{h}$	
P_i^L	L型独立售电公司的销售电价	元/ $\text{MW} \cdot \text{h}$	
β	电力用户对偏差比例的敏感系数		$\beta > 0$
ε	不同售电公司的售电服务替代性		$0 < \varepsilon \leq 1$
k_d	配售型售电公司 d 的分摊比例	%	
k_i^H	H型独立售电公司 i 的分摊比例	%	
k_i^L	L型独立售电公司 i 的分摊比例	%	
\bar{P}	月度集中竞价交易价差绝对值	元/ $\text{MW} \cdot \text{h}$	考核基准为 $2 \bar{P}$
a	需求对销售电价的影响系数		
b	两类售电公司服务的替代程度		$0 < b \leq 1$
r_d	配售型售电公司的声誉影响系数		$r_i^L < r_i^H$
r_i^H	H型独立售电公司的声誉影响系数		
r_i^L	L型独立售电公司的声誉影响系数		
\hat{C}_H	H型独立售电公司的电价伪装成本	元	$\hat{C}_L > \hat{C}_H$
\hat{C}_L	L型独立售电公司的电价伪装成本	元	

信号博弈过程可描述如下. 首先, 自然生地决定独立型售电公司 i 的服务质量类型 ρ_i^H, ρ_i^L .

然后, 配售型和独立型售电公司同时决策分摊比例 k_d 和 k_i , 并确定销售电价 P_d 和 P_i .

最后, 电力用户依据所观察到的分摊比例和销售电价信号, 对初始信念进行修正, 从而做出购买决策.

假设独立型售电公司的行动包含完全的信息量, 消费者对其售电服务质量的信念完全依赖于售电公司的策略选择, 即当独立型售电公司选择策略 a_i^H 时, 电力用户便认为其售电服务质量高, 而当独立型售电公司选择策略 a_i^L 时, 电力用户便认为其售电服务质量低, 电力用户信念修正过程的具体表达式如下

$$\begin{cases} f(\tilde{\rho}_i = \rho_i^H \mid a_i = a_i^H) = 1 \\ f(\tilde{\rho}_i = \rho_i^L \mid a_i = a_i^L) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

电力用户做出购电决策的前提是购电成本不大于购电效用, 即购买单位电量的成本不大于购电总效用, 即

$$\begin{cases} P_d \leq V - \beta \rho_d + 2k_d \bar{P} \rho_d - a(Q_d + bQ_i) \\ P_i \leq V - \beta \tilde{\rho}_i + 2\tilde{k}_i \bar{P} \tilde{\rho}_i - a(Q_i + bQ_d) \end{cases} \quad (2)$$

其中 V 表示电力用户初始效用, $\beta \rho$ 表示偏差考核给用户带来的效用损失, $2k \bar{P} \rho$ 为售电公司分摊偏差考核费用给用户带来的补偿效用, $a(Q_d + bQ_i)$ 为需求量对销售电价的影响. β 为电力用户的偏差敏感系数, a 为需求对销售电价的影响系数, b 为配售型和独立型售电公司服务的替代率.

为了深入刻画售电公司和电力用户之间的策略互动过程, 许多学者将理性预期均衡概念和理论引入企业定价决策的相关研究之中^[34-36]. 按照其定义, 理性的售电公司在信息对称条件下, 一定会最大限度地攫取电力用户的消费者剩余. 即在市场出清条件下, 售电公司为最大化自身收益, 会根据边界条件做出电价决策, 此时的市场均衡销售电价一定等于电力用户愿意支付的保留价格^[37]. 因此, 均衡销售电价公式如下

$$\begin{cases} P_d = V - \beta \rho_d + 2 k_d \bar{P} \rho_d - a(Q_d + bQ_i) \\ P_i = V - \beta \tilde{\rho}_i + 2 \tilde{k}_i \bar{P} \tilde{\rho}_i - a(Q_i + bQ_d) \end{cases} \quad (3)$$

根据均衡电价,可得售电公司的均衡销售电量

$$\begin{cases} Q_d = \frac{V - \beta \rho_d + 2 k_d \bar{P} \rho_d - P_d - b(V - \beta \tilde{\rho}_i + 2 \tilde{k}_i \bar{P} \tilde{\rho}_i - P_i)}{a(1 - b^2)} \\ Q_i = \frac{V - \beta \tilde{\rho}_i + 2 \tilde{k}_i \bar{P} \tilde{\rho}_i - P_i - b(V - \beta \rho_d + 2 k_d \bar{P} \rho_d - P_d)}{a(1 - b^2)} \end{cases} \quad (4)$$

可得售电公司均衡利润为

$$\begin{cases} \pi_d = [P_d - c_d - 2(1 + r_d)k_d \bar{P} \rho_d] Q_d - C_d \\ \pi_i = [P_i - c_i - 2(1 + r_i)k_i \bar{P} \tilde{\rho}_i] Q_i - C_i \end{cases} \quad (5)$$

下文中,本研究考虑销售电价和分摊比例的信号博弈作用,分别构建了销售电价单信号博弈模型、分摊比例单信号博弈模型和双信号博弈模型.

2 销售电价单信号博弈模型

在销售电价单信号博弈 ($a_i = P_i$) 情境下,只考虑销售电价的信号传递作用,即电力用户认为分摊比例不能反映售电服务质量,他们仅通过独立型售电公司制定的销售电价决策结果来推断其售电服务的质量类型. 相应的,独立型售电公司也只能通过销售电价所包含的信息量来改变电力用户对其售电服务质量的信念. 此时,H型独立售电公司的决策过程可描述如下

$$\begin{cases} P_i^{\text{H}*} = \text{argmax } \pi_i(P_i^{\text{H}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{H}}), \rho_i) \\ \pi_i^{\text{LL}}(P_i^{\text{LL}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{LL}}), \rho_i^{\text{L}}) \geq \pi_i^{\text{LH}}(P_i^{\text{LH}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{LH}}), \rho_i^{\text{L}}) \\ \pi_i^{\text{HH}}(P_i^{\text{HH}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{HH}}), \rho_i^{\text{H}}) \geq \pi_i^{\text{HL}}(P_i^{\text{HL}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{HL}}), \rho_i^{\text{H}}) \end{cases} \quad (6)$$

式中,目标函数表示独立型售电公司的最优销售电价决策满足自身收益最大化条件. 而约束条件则分别表示分离均衡条件下,H型和L型独立售电公司都不存在伪装动机的自选择约束条件. 第一个上标表示独立型售电公司的真实服务类型,第二个上标表示独立型售电公司的策略选择,以

下相同.

为简化模型计算,本研究首先分析了信息对称条件下售电公司分摊比例决策的特点,以配售型售电公司 d 为例,其最优化决策条件为收益的一阶导数为 0,即

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_d}{\partial P_d} = 0 \\ \frac{\partial \pi_d}{\partial Q_d} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

可得最优均衡销售电价和均衡销售电量分别如下

$$\begin{cases} P_d^* = \frac{(1-b)V - \beta \rho_d + b\beta \tilde{\rho}_i + 2(2+r_d)k_d \bar{P} \rho_d - 2bk_i \bar{P} \tilde{\rho}_i + bP_i + c_d}{2} \\ Q_d^* = \frac{V - \beta \rho_d - 2r_d k_d \bar{P} \rho_d - abQ_i - c_d}{2a} \end{cases} \quad (8)$$

进一步可得最优销售利润为

$$\pi_d^* = \frac{(1-b)V - \beta \rho_d + b\beta \tilde{\rho}_i - 2r_d k_d \bar{P} \rho_d - 2bk_i \bar{P} \tilde{\rho}_i + bP_i - c_d}{2} \times \frac{V - \beta \rho_d - 2r_d k_d \bar{P} \rho_d - abQ_i - c_d}{2a} - C_d \quad (9)$$

对分摊比例求偏导可得

$$\begin{cases} \frac{\partial P_d^*}{\partial k_d} = (2 + r_d) \bar{P} \rho_d > 0 \\ \frac{\partial Q_d^*}{\partial k_d} = -\frac{r_d \bar{P} \rho_d}{a} < 0 \\ \frac{\partial \pi_d^*}{\partial k_d} = -\frac{2b^2 r_d \bar{P} \rho_d Q_d^*}{2} < 0 \end{cases} \quad (10)$$

因此,在实现分离均衡条件下,信息不对称风险得到有效规避,此时,配售型售电公司的最优销售电价与分摊比例成正比,而最优销售电量与最优收益与分摊比例成反比. 故不考虑分摊的信号博弈作用时, $k_d = k_i = 0$. 通过联立配售型和独立型售电公司的一阶利润最大化条件,可得两类售电公司的销售电价最优反应函数,以及不同服务质量类型和销售电价策略组合下,两家售电公司的均衡销售电价、均衡销售电量和均衡收益,具体计算结果如表 2 所示.

表2 单信号博弈均衡(销售电价情景)

Table 2 Single-signal game equilibrium (sales price scenario)

情景 1 ($P_i^{\text{LL}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{LL}}), \rho_i^{\text{L}}$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{L}})+bc_i^{\text{L}}+2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{LL}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}})-b(V-\beta\rho_d)+bc_d+2c_i^{\text{L}}}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{L}})}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{LL}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{L}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{L}})]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_d$	$\pi_i^{\text{LL}*}$	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{L}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_i^{\text{L}}$
情景 2 ($P_i^{\text{LH}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{LH}}), \rho_i^{\text{L}}$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}})+bc_i^{\text{L}}+b\hat{C}_L+2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{LH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}})+bc_i^{\text{L}}+2\hat{C}_L+2c_d}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}}-\hat{C}_L)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{LH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}}-\hat{C}_L)-b(V-\beta\rho_d-c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}}-\hat{C}_L)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_d$	$\pi_i^{\text{LH}*}$	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}}-\hat{C}_L)-b(V-\beta\rho_d-c_d)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_i^{\text{L}}$
情景 3 ($P_i^{\text{HL}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{HL}}), \rho_i^{\text{H}}$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{L}})+bc_i^{\text{H}}+b\hat{C}_H+2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{HL}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}})-b(V-\beta\rho_d)+bc_d+2\hat{C}_H+2c_i^{\text{H}}}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{H}}-\hat{C}_H)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{HL}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{H}}-\hat{C}_H)-b(V-\beta\rho_d-c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{H}}-\hat{C}_H)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_d$	$\pi_i^{\text{HL}*}$	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{H}}-\hat{C}_H)-b(V-\beta\rho_d-c_d)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_i^{\text{H}}$
情景 4 ($P_i^{\text{HH}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{HH}}), \rho_i^{\text{H}}$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}})+bc_i^{\text{H}}+2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{HH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d)+bc_d+2c_i^{\text{H}}}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{HH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_d$	$\pi_i^{\text{HH}*}$	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_i^{\text{H}}$

首先, 对 L 型独立售电公司的自选择约束进行分析.

$$\pi_i^{\text{LL}}(P_i^{\text{LL}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{LL}}), \rho_i^{\text{L}}) \geq \pi_i^{\text{LH}}(P_i^{\text{LH}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{LH}}), \rho_i^{\text{L}}) \quad (11)$$

可得 L 型独立售电公司没有动机伪装成 H 型独立售电公司的条件为

$$\hat{C}_L \geq \beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}}) \quad (12)$$

接着, 对 H 型独立售电公司的自选择约束进行分析.

$$\pi_i^{\text{HH}}(P_i^{\text{HH}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{HH}}), \rho_i^{\text{H}}) \geq \pi_i^{\text{HL}}(P_i^{\text{HL}}, \tilde{\rho}_i(P_i^{\text{HL}}), \rho_i^{\text{H}}) \quad (13)$$

可得 H 型独立售电公司没有动机伪装成 L 型独立售电公司的条件为

$$\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}}) \geq -\hat{C}_H \quad (14)$$

由于 $\rho_i^{\text{H}} < \rho_i^{\text{L}}$, 且 $-\hat{C}_H < 0$, 故 $\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}}) \geq -\hat{C}_H$ 恒成立.

综上, 在销售电价单信号博弈情景下, H 型独立售电公司始终不存在伪装动机, 只要保证

$\hat{C}_L \geq \beta(\rho_i^L - \rho_i^H)$, 即可实现分离均衡. 相应的 H 型独立售电公司选择均衡条件如图 2 所示.

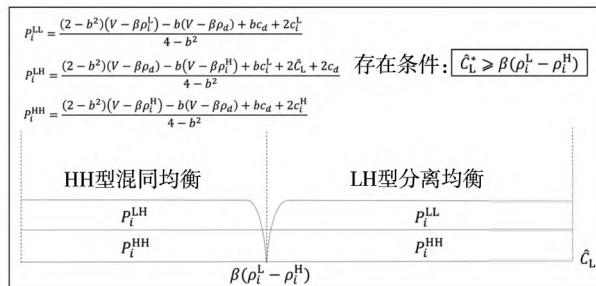


图 2 销售电价单信号博弈情景下售电公司均衡条件

Fig. 2 Equilibrium conditions of electricity retailers
(sales electricity price scenario)

从实现分离均衡的条件不难看出, 只有当销售电价伪装成本高于 $\beta(\rho_i^L - \rho_i^H)$ 时, H 型独立售电公司才能有效应对售电市场逆向选择风险, 反之, 其销售电价决策则会被服务质量较低的 L 型独立售电公司模仿. 竞争性售电市场上的售电公司拥有自主售电决策权, 可以自由制定销售电价, 因此, 市场化条件下销售电价信号伪装成本较低, 将导致售电市场始终无法实现分离均衡, 独立型售电公司也无法规避逆向选择风险, 形成柠檬市场, 降低售电市场运行效率^[38]. 这一点与 Grossman^[39] 的研究相似, 他认为虽然价格可以在某种程度上反映和传递产品的潜在价值, 但良莠不齐的市场条件下, 由于隐瞒信息更符合生产者的利益, 导致优质卖家无法将自己与劣质卖家区分开, 市场无法单纯通过价格有效优化配置资源. 因此, 为寻找能有效实现市场分离均衡的信号工具, 有必要进一步

探讨分摊比例的信号传递效果.

3 分摊比例单信号博弈模型

在分摊比例单信号博弈 ($a_i = k_i$) 情境下, 只考虑分摊比例的信号传递作用, 即电力用户认为销售电价不能反映售电服务质量, 他们仅通过独立型售电公司制定的分摊比例决策结果来推断其售电服务的质量类型. 相应的, H 型独立售电公司也只能通过分摊比例所包含的信息量来改变电力用户对其售电服务质量的信念. 此时, H 型独立售电公司的决策过程可描述如下

$$\begin{aligned} k_i^{H*} &= \operatorname{argmax} \pi_i(k_i^H, \hat{\rho}_i(k_i^H), \rho_i) \\ \left\{ \begin{aligned} \pi_i^{LL}(k_i^{LL}, \hat{\rho}_i(k_i^{LL}), \rho_i^L) &\geq \pi_i^{LH}(k_i^{LH}, \hat{\rho}_i(k_i^{LH}), \rho_i^L) \\ \pi_i^{HH}(k_i^{HH}, \hat{\rho}_i(k_i^{HH}), \rho_i^H) &\geq \pi_i^{HL}(k_i^{HL}, \hat{\rho}_i(k_i^{HL}), \rho_i^H) \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (15)$$

根据前文分析, 配售型售电公司没有动机分摊偏差考核费用, 即 $k_d = 0$. 在分离均衡条件下, L 型独立售电公司的服务质量信息可以被电力用户准确感知, 为最大化收益, 其最优分摊比例为 0, 即 $k_i^{LL} = k_i^{HL} = 0$, 而 H 型独立售电公司为了向电力用户证明自身售电服务质量较高, 存在与电力用户分摊偏差考核费用的动机, 故 $k_i^{HH} = k_i^{LH}$, 且均不为 0.

分摊比例单信号博弈情景下, 独立型售电公司属于不同服务质量类型 (ρ_i^H, ρ_i^L), 且传递不同质量信号 (k_i^H, k_i^L) 时, 配售型和独立型售电公司的均衡电价, 均衡电量, 均衡利润以及最优分摊比例的具体计算结果如表 3 所示.

表 3 单信号博弈均衡(分摊比例情景)

Table 3 Single-signal game equilibrium (apportionment ratio scenario)

情景 1 ($k_i^{LL}, \hat{\rho}_i(k_i^{LL}), \rho_i^L$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d) - b(V-\beta\rho_i^L) + bc_i^L + 2c_d}{4-b^2}$	P_i^{LL*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L) - b(V-\beta\rho_d) + bc_d + 2c_i^L}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^L - c_i^L)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	Q_i^{LL*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L - c_i^L) - b(V-\beta\rho_d - c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^L - c_i^L)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_d$	π_i^{LL*}	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L - c_i^L) - b(V-\beta\rho_d - c_d)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_i^L$
k_d^*	0	k_i^{LL*}	0

续表3

Table 3 Continues

情景 2 (k_i^{LH} , $\tilde{\rho}_i(k_i^{\text{LH}})$, ρ_i^{L})			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{L}}) - 2bk_i^{\text{LH}}\bar{P}\rho_i^{\text{H}} + 2b(1+r_i)k_i^{\text{LH}}\bar{P}\rho_i^{\text{L}} + 2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{LH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d) + 2(2-b^2) \times k_i^{\text{LH}}\bar{P}\rho_i^{\text{H}} + 4(1+r_i^{\text{L}})k_i^{\text{LH}}\bar{P}\rho_i^{\text{L}} + 2c_i^{\text{L}}}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{L}}) + 2b[(1+r_i)\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - \bar{P}\rho_i^{\text{H}}]k_i^{\text{LH}}}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{LH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{L}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d) - (2-b^2)[2(1+r_i^{\text{L}})\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - 2\bar{P}\rho_i^{\text{H}}]k_i^{\text{LH}}}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{\{(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{L}}) + 2b[(1+r_i)\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - \bar{P}\rho_i^{\text{H}}]k_i^{\text{LH}}\}^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_d$	$\pi_i^{\text{LH}*}$	$\frac{\{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{L}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d) - (2-b^2)[2(1+r_i^{\text{L}})\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - 2\bar{P}\rho_i^{\text{H}}]k_i^{\text{LH}}\}^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_i^{\text{L}}$
k_d^*	0	$k_i^{\text{LH}*}$	$\frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2(1+r_i^{\text{L}})\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - 2\bar{P}\rho_i^{\text{H}}}$
情景 3 (k_i^{HL} , $\tilde{\rho}_i(k_i^{\text{HL}})$, ρ_i^{H})			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{L}}) + bc_i^{\text{H}} + 2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{HL}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}}) - b(V-\beta\rho_d) + bc_d + 2c_i^{\text{H}}}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{L}} - c_i^{\text{H}})}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{HL}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}} - c_i^{\text{H}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{L}} - c_i^{\text{H}})]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_d$	$\pi_i^{\text{HL}*}$	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}} - c_i^{\text{H}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_i^{\text{H}}$
k_d^*	0	$k_i^{\text{HL}*}$	0
情景 4 (k_i^{HH} , $\tilde{\rho}_i(k_i^{\text{HH}})$, ρ_i^{H})			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{H}}) + 2b r_i k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}} + 2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{HH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d) + 2(2-b^2) \times k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}} + 4(1+r_i^{\text{H}})k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}} + 2c_i^{\text{H}}}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{H}}) + 2b r_i k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}}}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{HH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{H}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d) - (2-b^2)2r_i^{\text{H}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}} k_i^{\text{HH}}}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d - c_d) - b(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{H}}) + 2b r_i \bar{P}\rho_i^{\text{H}} k_i^{\text{HH}}]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_d$	$\pi_i^{\text{HH}*}$	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}} - c_i^{\text{H}}) - b(V-\beta\rho_d - c_d) - (2-b^2)2r_i^{\text{H}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}} k_i^{\text{HH}}]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_i^{\text{H}}$
k_d^*	0	$k_i^{\text{HH}*}$	$\frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2(1+r_i^{\text{H}})\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - 2\bar{P}\rho_i^{\text{H}}}$

首先, 对 L 型独立售电公司的自选择约束进行分析.

可得 L 型独立售电公司没有动机伪装成 H 型独立售电公司的条件为

$$\pi_i^{\text{LL}}(k_i^{\text{LL}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{LL}}), \rho_i^{\text{L}}) \geq \pi_i^{\text{LH}}(k_i^{\text{LH}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{LH}}), \rho_i^{\text{L}}) \quad (16)$$

$$k_i^{\text{LH}} \geq \frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2(1+r_i^{\text{L}})\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - 2\bar{P}\rho_i^{\text{H}}} = k_i^{\text{L}'} \quad (17)$$

对 H 型独立售电公司的自选择约束进行分析.

$$\pi_i^{\text{HH}}(k_i^{\text{HH}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{HH}}), \rho_i^{\text{H}}) \geq \pi_i^{\text{HL}}(k_i^{\text{HL}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{HL}}), \rho_i^{\text{H}}) \quad (18)$$

可得 H 型独立售电公司没有动机伪装成 L 型独立售电公司的条件为

$$k_i^{\text{HL}} \leq \frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2r_i^{\text{H}}P\rho_i^{\text{H}}} = k_i^{\text{L}} \quad (19)$$

综上,要保证分离均衡区间的存在,需要保证 $\frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2(1+r_i^{\text{L}})P\rho_i^{\text{L}} - 2P\rho_i^{\text{H}}} < \frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2r_i^{\text{H}}P\rho_i^{\text{H}}}$, 即 $2\bar{P}(1+r_i^{\text{L}})\rho_i^{\text{L}} > 2\bar{P}(1+r_i^{\text{H}})\rho_i^{\text{H}}$ 时,分离均衡才能实现. 其中 $2\bar{P}(1+r_i^{\text{L}})\rho_i^{\text{L}}$ 的经济含义是 r_i^{L} 型售电公司分摊偏差考核费用的边际成本, $2\bar{P}(1+r_i^{\text{H}})\rho_i^{\text{H}}$ 的经济含义是 H 型独立售电公司分摊偏差考核费用的边际成本. 即只有当 L 型独立售电公司分摊偏差考核费用的边际成本低于 H 型独立售电公司时,分离均衡才能实现. 相应的 H 型独立售电公司选择均衡条件如图 3 所示

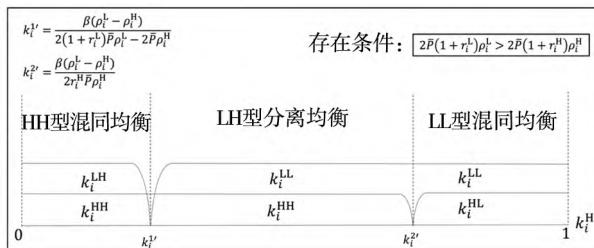


图 3 分摊比例单信号博奕情景下售电公司均衡条件

Fig. 3 Equilibrium conditions of electricity retailers (apportionment ratio scenario)

分摊比例单信号博奕情境下可实现分离均衡的 k_n^{H} 区间为

$$k_i^{\text{H}} \in \left[\frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2(1+r_i^{\text{L}})\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - 2\bar{P}\rho_i^{\text{H}}}, \frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2r_i^{\text{H}}P\rho_i^{\text{H}}} \right] \quad (20)$$

由于售电公司的利润随着分摊比例的增加而递减,故 H 型独立售电公司的最优分摊比例在边界条件上取得

$$k_i^{\text{H}*} = \frac{\beta(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})}{2(1+r_i^{\text{L}})\bar{P}\rho_i^{\text{L}} - 2\bar{P}\rho_i^{\text{H}}} \quad (21)$$

其中分子部分的 β 表示电力用户对售电服务质量的敏感程度, $(\rho_i^{\text{L}} - \rho_i^{\text{H}})$ 表示两种独立型售电公司

之间的服务质量差异. 电力用户对质量差异越敏感,两类企业之间的服务质量差异越大,则 H 型独立售电公司的服务产品溢价越大,其定价优势越明显,L 型独立售电公司伪装的激励也越强,因此,H 型独立售电公司越有动机提升其分摊比例来保证分离均衡的实现,其相应的最优分摊比例也越大. 分母部分的 $2(1+d_n^{\text{L}})Pr_n^{\text{L}}$ 即表示 L 型独立售电公司选择伪装策略时所承受的边际偏差考核分摊成本, $2P\rho_i^{\text{H}}$ 则表示此时电力用户所感知到的边际补偿效用,两者之间的差值可以理解为 L 型独立售电公司的信号伪装成本, L 型独立售电公司的信号伪装成本越高,其伪装的积极性就越低,因此,H 型独立售电公司实现分离均衡的最优分摊比例也就越小.

综上,用户可以通过对售电公司分摊比例的观察了解售电公司的真实服务质量类型. 然而,销售电价和分摊比例都能反应售电公司对电量偏差风险和电价波动风险的控制能力,间接反应售电公司的服务质量,所以理性的电力用户在选择售电公司时,不仅会考虑销售电价的高低,还会关注分摊比例的大小. 因此,本研究同时考虑销售电价和分摊比例的信号传递作用,进一步构建了销售电价和分摊比例双信号博弈模型.

4 双信号博弈模型

Akdeniz 等的实证研究表明,汽车市场中第三方质量评级、保修、价格、广告和销售量等质量信号相互作用,其联合使用有助于吸引消费者购买^[40]. 售电市场中,电力用户对售电公司售电服务质量类型的判断也往往是基于多重信号形成的. 因此,本研究进一步考虑了售电公司以销售电价和分摊比例作为双信号向电力用户传递自身售电服务质量信息的情形.

在双信号博弈 $a_i = (k_i, P_i)$ 情境下,既考虑分摊比例的信号传递作用,又考虑销售电价的信号传递作用,即电力用户认为分摊比例和销售电价都能反映售电公司的售电服务质量,他们可同时通过独立型售电公司制定的分摊比例和销售电价决策结果来推断其售电服务的质量类型. 相应地, H 型独立售电公司的决策模型调整如下

$$\begin{aligned}
 a_i^{H*} &= \operatorname{argmax} \pi_i^H(a_i^H, \tilde{r}_i(a_i^H), r_i^H) \\
 \left\{ \begin{array}{l} \pi_i^{LL}(a_i^{LL}, \tilde{\rho}_i(a_i^{LL}), \rho_i^L) \geq \pi_i^{LH}(a_i^{LH}, \tilde{\rho}_i(a_i^{LH}), \rho_i^L) \\ \pi_i^{HH}(a_i^{HH}, \tilde{\rho}_i(a_i^{HH}), \rho_i^H) \geq \pi_i^{HL}(a_i^{HL}, \tilde{\rho}_i(a_i^{HL}), \rho_i^H) \end{array} \right. \\
 \end{aligned} \quad (22)$$

L型独立售电公司只有同时模仿H型独立售电公司的分摊比例和销售电价决策($k_i^{LH} = k_i^{HH}$,

表4 双信号博弈均衡(销售电价和分摊比例情景)

Table 4 Dual-signal game equilibrium (sales price and apportionment ratio scenario)

情景 1 ($a_i^{LL}, \tilde{\rho}_i(a_i^{LL}), \rho_i^L$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^L)+bc_i^L+2c_d}{4-b^2}$	P_i^{LL*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L)-b(V-\beta\rho_d)+bc_d+2c_i^L}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^L-c_i^L)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	Q_i^{LL*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L-c_i^L)-b(V-\beta\rho_d-c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^L-c_i^L)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_d$	π_i^{LL*}	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L-c_i^L)-b(V-\beta\rho_d-c_d)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_i^L$
k_d^*	0	k_i^{LL*}	0
情景 2 ($a_i^{LH}, \tilde{\rho}_i(a_i^{LH}), \rho_i^L$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^H-c_i^H)+2br_i k_i^{HH}\bar{P}\rho_i^H+2c_d}{4-b^2}$	P_i^{LH*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^H)-b(V-\beta\rho_d-c_d)+2(2-b^2) \times k_i^{HH}\bar{P}\rho_i^H+4(1+r_i^H) k_i^{HH}\bar{P}\rho_i^H+2c_i^H}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^H-c_i^H)+2br_i k_i^{HH}\bar{P}\rho_i^H}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	Q_i^{LH*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^H-c_i^H)-b(V-\beta\rho_d-c_d)-(2-b^2)2r_i^H\bar{P}\rho_i^H k_i^{HH}}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^H-c_i^H)+2br_i \bar{P}\rho_i^H k_i^{HH}]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_d$	π_i^{LH*}	$\frac{[P_i^{HH*}-c_i^L-2(1+r_i^L) k_i^{HH}\bar{P}\rho_i^L-\hat{C}_L] Q_i^{HH*}-C_i^L}{2[2\varphi-(2-b^2)\chi](2-b^2)\omega}$
k_d^*	0	k_i^{LH*}	$-M[2\varphi-(2-b^2)\chi]+(2-b^2)\omega[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)]+\sqrt{\{M[2\varphi-(2-b^2)\chi]-(2-b^2)\omega[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)]\}^2+4[2\varphi-(2-b^2)\chi][M^2+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)M-N^2](2-b^2)\omega} \\ 2[2\varphi-(2-b^2)\chi](2-b^2)\omega$
情景 3 ($a_i^{HL}, \tilde{\rho}_i(a_i^{HL}), \rho_i^H$)			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^L)+bc_i^L+2c_d}{4-b^2}$	P_i^{HL*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L)-b(V-\beta\rho_d)+bc_d+2c_i^L}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^L-c_i^L)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	Q_i^{HL*}	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^L-c_i^L)-b(V-\beta\rho_d-c_d)}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^L-c_i^L)]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)}-C_d$	π_i^{HL*}	$(P_i^{LL*}-c_i^H-\hat{C}_H) Q_i^{LL*}-C_i^H$
k_d^*	0	k_i^{HL*}	0

续表 4

Table 4 Continues

情景 4 (a_i^{HH} , $\tilde{\rho}_i(a_i^{\text{HH}})$, ρ_i^{H})			
配售型售电公司 d		独立型售电公司 i	
P_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})+2b r_i k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}}+2c_d}{4-b^2}$	$P_i^{\text{HH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)+2(2-b^2)k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}}+4(1+r_i^{\text{H}})k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}}+2c_i^{\text{H}}}{4-b^2}$
Q_d^*	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})+2b r_i k_i^{\text{HH}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}}}{a(4-b^2)(1-b^2)}$	$Q_i^{\text{HH}*}$	$\frac{(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)-(2-b^2)2r_i^{\text{H}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}} k_i^{\text{HH}}}{a(4-b^2)(1-b^2)}$
π_d^*	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_d-c_d)-b(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})+2b r_i \bar{P}\rho_i^{\text{H}} k_i^{\text{HH}}]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_d$	$\pi_i^{\text{HH}*}$	$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)-(2-b^2)2r_i^{\text{H}} \bar{P}\rho_i^{\text{H}} k_i^{\text{HH}}]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_i^{\text{H}}$
k_d^*	0	$k_i^{\text{HH}*}$	$\begin{aligned} & -M[2\varphi-(2-b^2)\chi] + (2-b^2)\omega[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)] + \\ & \sqrt{\{M[2\varphi-(2-b^2)\chi]-(2-b^2)\omega[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)]\}^2 + \\ & 4[2\varphi-(2-b^2)\chi][M^2+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)M-N^2](2-b^2)\omega} \\ & 2[(2-b^2)\chi-2\varphi](2-b^2)\omega \end{aligned}$

首先, L 型独立售电公司没有动机伪装的自选择约束条件为

$$\pi_i^{\text{LL}}(k_i^{\text{LL}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{LL}}), \rho_i^{\text{L}}) \geq \pi_i^{\text{LH}}(k_i^{\text{LH}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{LH}}), \rho_i^{\text{L}}) \quad (23)$$

令 $M = (2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)$, $N = (2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{L}}-c_i^{\text{L}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)$, $\psi = c_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}}$, $\varphi = 2(1+r_i^{\text{H}}) \bar{P}\rho_i^{\text{H}}-2(1+r_i^{\text{L}}) \bar{P}\rho_i^{\text{L}}$, $\omega = 2\bar{P}r_i^{\text{H}}\rho_i^{\text{H}}$, $\chi = 2\bar{P}[(1+r_i^{\text{L}})\rho_i^{\text{L}}-\rho_i^{\text{H}}]$. 则可将上述自选择约束改写为

$$N^2 \geq [M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)] + (2\varphi-(2-b^2)\chi) \times k_i^{\text{HH}*} [M-(2-b^2)\omega k_i^{\text{HH}*}] \quad (24)$$

将其改写为标准二次函数形式可得

$$Ak_i^{\text{HH}*2} + Bk_i^{\text{HH}*} + C \leq 0 \quad (25)$$

其中

$$\begin{cases} A = -[2\varphi-(2-b^2)\chi](2-b^2)\omega \\ B = M[2\varphi-(2-b^2)\chi] - (2-b^2)\omega \\ \quad [M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)] \\ C = M[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)] - N^2 \end{cases} \quad (26)$$

$$k_i^{1''} = \frac{\sqrt{\{M[2\varphi-(2-b^2)\chi]-(2-b^2)\omega[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)]\}^2 + 4[2\varphi-(2-b^2)\chi][M^2+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)M-N^2](2-b^2)\omega}}{2[(2-b^2)\chi-2\varphi](2-b^2)\omega} \quad (30)$$

要保证该二次函数不等式存在非负解, 只需要满足 $A > 0, C \leq 0$. 由于, $\omega = 2\bar{P}r_i^{\text{H}}\rho_i^{\text{H}} > 0, 0 < b \leq 1$, $(2-b^2) > 0$, 故 $A > 0$ 等价于 $2\varphi-(2-b^2)\chi < 0$, 即 $\frac{(1+r_i^{\text{H}})\rho_i^{\text{H}}-(1+r_i^{\text{L}})\rho_i^{\text{L}}}{(1+r_i^{\text{L}})\rho_i^{\text{L}}-\rho_i^{\text{H}}} < \frac{(2-b^2)}{2}$ (27)

同时, 根据 $Q_i^{\text{HH}*}$ 和 $Q_i^{\text{LL}*}$ 公式可知, $M \geq 0$ 且 $N \geq 0$, 将 $M-N = (2-b^2)[\beta(\rho_i^{\text{L}}-\rho_i^{\text{H}})+(c_i^{\text{L}}-c_i^{\text{H}})]$ 代入 $C \leq 0$, 可得 $C \leq 0$ 的等价条件为

$$\frac{2(c_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}})-(4-b^2)\hat{C}_L+(2-b^2)\beta(\rho_i^{\text{L}}-\rho_i^{\text{H}})}{(2-b^2)\beta(\rho_i^{\text{H}}-\rho_i^{\text{L}})+(2-b^2)(c_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}})} \leq \frac{N}{M} \quad (28)$$

综上所述, $A > 0, C \leq 0$ 等价于

$$\begin{cases} \frac{(1+r_i^{\text{H}})\rho_i^{\text{H}}-(1+r_i^{\text{L}})\rho_i^{\text{L}}}{(1+r_i^{\text{L}})\rho_i^{\text{L}}-\rho_i^{\text{H}}} < \frac{(2-b^2)}{2} \\ \frac{2(c_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}})-(4-b^2)\hat{C}_L+(2-b^2)\beta(\rho_i^{\text{L}}-\rho_i^{\text{H}})}{(2-b^2)\beta(\rho_i^{\text{H}}-\rho_i^{\text{L}})+(2-b^2)(c_i^{\text{H}}-c_i^{\text{L}})} \leq \frac{N}{M} \end{cases} \quad (29)$$

当满足以上条件时, 可得到使 L 型独立售电公司没有动机伪装的最优分摊比例为

H型独立售电公司的自选择约束条件为

$$\pi_i^{\text{HH}}(k_i^{\text{HH}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{HH}}), \rho_i^{\text{H}}) \geq \pi_i^{\text{HL}}(k_i^{\text{HL}}, \tilde{\rho}_i(k_i^{\text{HL}}), \rho_i^{\text{H}}) \quad (31)$$

即

$$\frac{[(2-b^2)(V-\beta\rho_i^{\text{H}}-c_i^{\text{H}})-b(V-\beta\rho_d-c_d)-(2-b^2)2r_i^{\text{H}}\bar{P}\rho_i^{\text{H}}k_i^{\text{HH}}]^2}{a(4-b^2)^2(1-b^2)} - C_i^{\text{H}} \geq [P_i^{\text{LL}*}-c_i^{\text{H}}-\hat{C}_H]Q_i^{\text{LL}*}-C_i^{\text{H}} \quad (32)$$

沿用前面的符号表示, 可将上式简化为

$$[N-(4-b^2)(\psi+\hat{C}_H)]N \leq [M-(2-b^2)\omega k_i^{\text{HH}}]^2 \quad (33)$$

将其进一步改写为标准二次函数形式可得

$$k_i^{2''} = \frac{2(2-b^2)\omega M + \sqrt{[(2-b^2)\omega M]^2 + (2-b^2)^2\omega^2[N^2-(4-b^2)(\psi+\hat{C}_L)N-M^2]}}{2(2-b^2)^2\omega^2} \quad (37)$$

相应的精炼贝叶斯均衡如图4所示

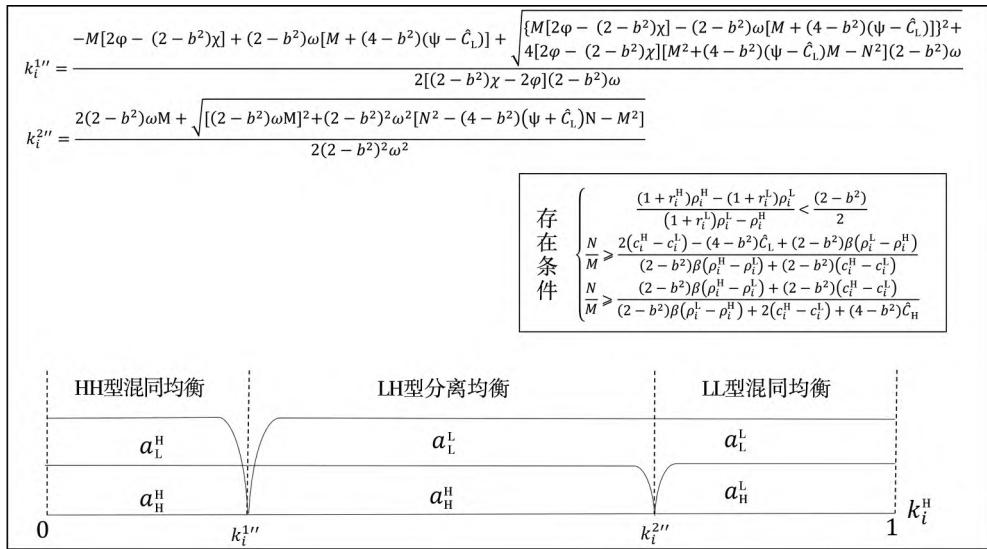


图4 双信号博弈情景下售电公司均衡条件

Fig. 4 Equilibrium conditions of electricity retailers under Dual-signal Game Scenario

不难发现, 与仅涉及分摊比例的单信号博弈情景类似, 在双信号博弈情景下, H型独立售电公

司的最优分摊比例依然倾向于在策略空间的边界条件下取得

$$-M[2\varphi-(2-b^2)\chi]+(2-b^2)\omega[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)]+ \sqrt{\{M[2\varphi-(2-b^2)\chi]-(2-b^2)\omega[M+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)]\}^2+4[2\varphi-(2-b^2)\chi][M^2+(4-b^2)(\psi-\hat{C}_L)M-N^2](2-b^2)\omega} \\ k_i^{\text{HH}*} = \frac{2(2-b^2)\omega M + \sqrt{[(2-b^2)\omega M]^2 + (2-b^2)^2\omega^2[N^2-(4-b^2)(\psi+\hat{C}_L)N-M^2]}}{2(2-b^2)^2\omega^2} \quad (38)$$

鉴于文中的表达式过于复杂, 难以进行直接

的解析分析, 本研究还进行了算例分析.

5 算例分析

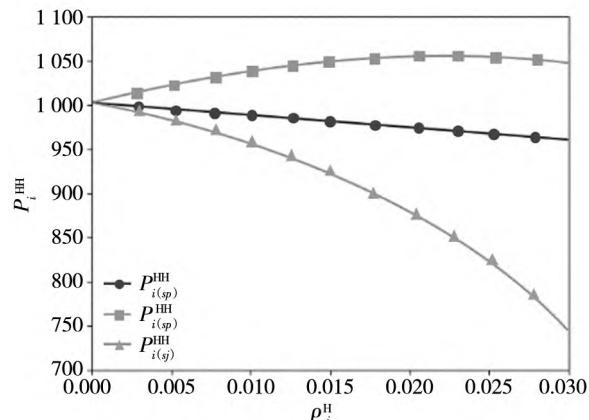
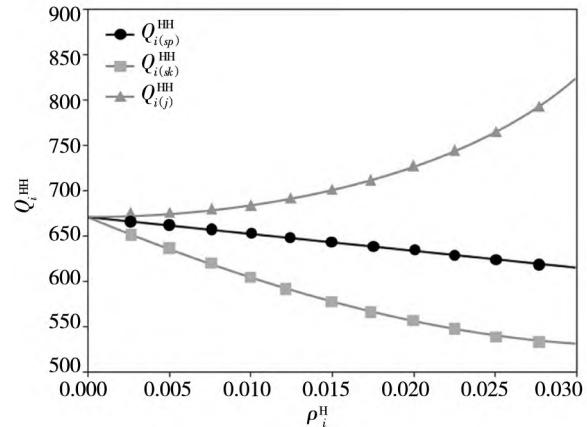
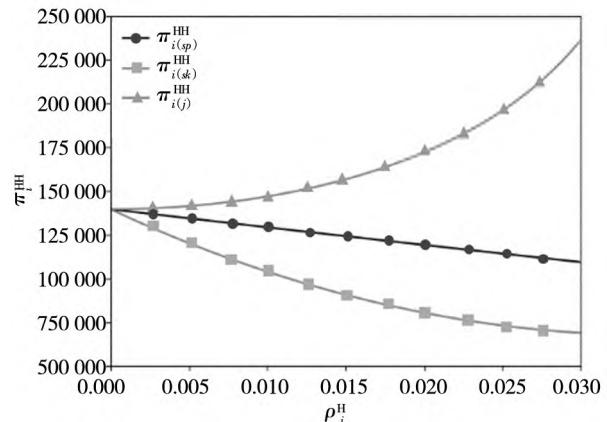
本研究对比了销售电价单信号博弈 ($a_i = P_i$, 下标简记为 s_p), 分摊比例单信号博弈 ($a_i = k_i$, 下标简记为 s_k), 以及双信号博弈 ($a_i = (k_i, P_i)$, 下表简记为 j) 三种情景下的均衡结果差异。本研究按照尽可能接近实际值的原则对模型中所涉及的变量进行了赋值。例如, 偏差比例本研究依据各省公布的偏差考核实施办法中的免考标准近似赋值, 售电边际成本也依据 2020 年我国火电上网电价成本近似赋值。而对于电力用户初始效用等现实中缺乏参考的外生变量, 本研究则基于保证各方收益为正的原则进行设置。具体赋值情况如表 5 所示

表 5 数值分析参数

Table 5 Numerical analysis parameters

参数符号	赋值	参数符号	赋值	参数符号	赋值
V	2 000	ρ_d	4%	ρ_i^H	(0, 3%)
ρ_i^L	5%	C_d	40 000	C_i^H	50 000
C_i^L	30 000	c_d	400	c_i^H	500
c_i^L	200	β	3 000	\bar{P}	500
a	1	b	0.5	r_d	5
r_i^H	9	r_i^L	2	\hat{C}_H	100
\hat{C}_L	200				

借助 Python 软件, 本研究首先分析了三种不同信号博弈工具实现市场分离均衡的销售电价、销量电量和售电收益的差异, 仿真结果如图 5、图 6、图 7 所示。

图 5 不同信号对 P_i^{HH*} 的影响Fig. 5 The influence of different signals on P_i^{HH*} 图 6 不同信号对 Q_i^{HH*} 的影响Fig. 6 The influence of different signals on Q_i^{HH*} 图 7 不同信号对 π_i^{HH*} 的影响Fig. 7 The influence of different signals on π_i^{HH*}

不难看出, 双信号博弈 ($a_i = (k_i, P_i)$) 情景下, 对 H 型独立售电公司来说, 不仅销售电价更低, 而且销售电量和销售利润更高, 有助于 H 型独立售电公司更好地规避逆向选择风险。

本研究还对比了三种信号博弈实现分离均衡的难易程度差异。

销售电价单信号博弈分离均衡存在条件为

$$\rho_i^L \geq \rho_i^H \quad \text{EC1}$$

$$\hat{C}_L \geq \beta(\rho_i^L - \rho_i^H) \quad \text{EC2}$$

(39)

分摊比例单信号博弈分离均衡存在条件为

$$\rho_i^L \geq \rho_i^H \quad \text{EC1}$$

$$2 \bar{P}(1 + r_i^L)\rho_i^L > 2 \bar{P}(1 + r_i^H)\rho_i^H \quad \text{EC2}$$

(40)

双信号博弈分离均衡存在条件为

$$\begin{cases} \rho_i^L \geq \rho_i^H \\ \frac{(1+r_i^H)\rho_i^H - (1+r_i^L)\rho_i^L}{(1+r_i^L)\rho_i^L - \rho_i^H} < \frac{(2-b^2)}{2} \\ \frac{2(c_i^H - c_i^L) - (4-b^2)\hat{C}_L + (2-b^2)\beta(\rho_i^L - \rho_i^H)}{(2-b^2)\beta(\rho_i^H - \rho_i^L) + (2-b^2)(c_i^H - c_i^L)} \leq \frac{N}{M} \\ \frac{(2-b^2)\beta(\rho_i^H - \rho_i^L) + (2-b^2)(c_i^H - c_i^L)}{(2-b^2)\beta(\rho_i^L - \rho_i^H) + 2(c_i^H - c_i^L) + (4-b^2)\hat{C}_H} \leq \frac{N}{M} \end{cases} \quad (41)$$

仿真结果如图8、图9、图10所示。

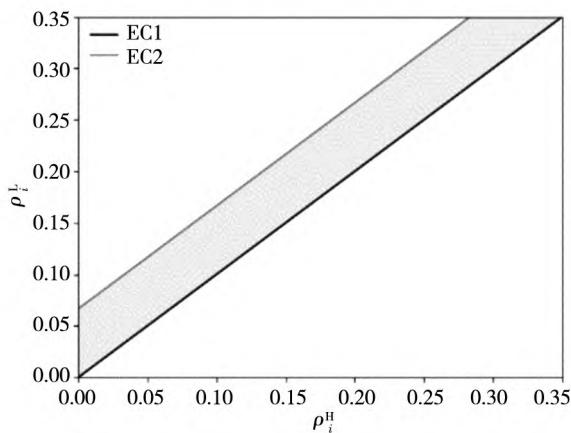


图8 销售电价单信号分离均衡存在区域

Fig. 8 Existence area of separation equilibrium (sales price single-signal scenario)

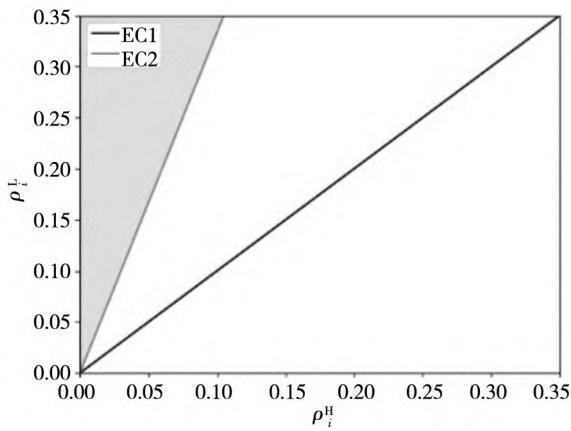


图9 分摊比例单信号分离均衡存在区域

Fig. 9 Existence area of separation equilibrium (apportionment ratio single-signal scenario)

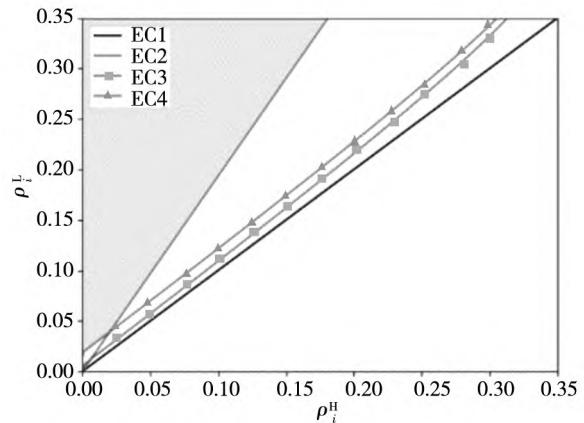


图10 双信号分离均衡存在区域

Fig. 10 Existence area of separation equilibrium (dual-signal scenario)

对比三幅图, 双信号博弈分离均衡存在区域是最大的, 表明双信号博弈更容易实现分离均衡。

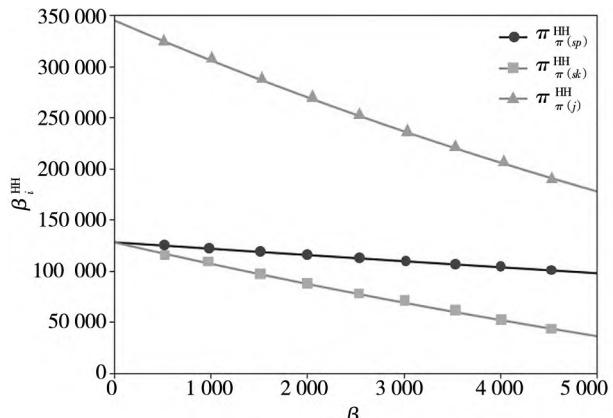


图11 β 对 H 型独立售电公司利润的影响

Fig. 11 The effect of β on the profit of H-type independent electricity retailers

上图描述了电力用户对售电服务质量的敏感程度 β 对 H 型独立售电公司均衡销售利润的影响。无论采用哪种信号博弈工具, 随着电力用户对售电服务质量的敏感系数 β 变大, 售电公司的利润都会下降。这是因为用户对售电服务质量越敏感, 当偏差考核发生时, 给顾客带来的效用损失越大, 愿意支付的保留价格越低, 导致售电公司利润函数曲线出现下降趋势。但采用双信号博弈工具 ($a_i = (k_i, P_i)$) 所得到的利润仍高于采用单信号博弈工具 ($a_i = P_i$) 或 ($a_i = k_i$), 其主要原因在于采用双信号博弈提升了市场交易效率。由此可见, 引导电力用户对售电服务质量的关注有助于帮助高服务质量的售电公司在市场竞争中胜出, 促进

售电产业的健康发展。

6 结束语

随着电力体制改革的不断深化,售电公司面临激烈的市场竞争,独立型售电公司作为新型独立市场主体,其售电服务质量难以在短时间内被电力用户感知,面临逆向选择风险,要在竞争中胜出并进一步实现利润,需要优化销售电价和分摊比例决策向电力用户传递自身售电服务质量信息,吸引电力用户并抢占市场份额,提升自身盈利能力和平生能力。本研究考虑信息不对称程度存在差异的配售型和独立型售电公司之间的策略互动,同时考虑用户策略选择的影响,对比分析了销售电价单信号博弈、分摊比例单信号博弈和双信号博弈三种情景下,H型独立售电公司实现市场分离均衡的条件以及最优均衡结果。得到如下主要结论:

1)当销售电价伪装成本较低时,独立型售电公司采用销售电价单信号传递无法实现分离均衡,独立型售电公司仅通过销售电价单信号博弈,难以有效规避逆向选择风险。而无论H型独立售电公司选择分摊比例单信号传递还是选择双信号

传递,均可实现市场分离均衡。

2)双信号博弈情景下H型独立售电公司实现分离均衡所需的分摊比例和销售电价更低,销售电量更大,销售利润更高,可以进一步提升H型独立售电公司的市场竞争力和市场份额。

3)双信号博弈情景下,H型独立售电公司实现分离均衡所需满足的条件更宽松,更容易规避独立型售电公司与电力用户之间的信息不对称风险。

4)电力用户对售电服务质量的关注度越高,售电服务质量敏感系数越大,H型独立售电公司的最优分摊比例越低,售电市场运行效率越高。

本研究从信号博弈的角度拓展了售电策略优化研究的相关视域,为售电公司优化售电策略提供了决策参考。但本研究仍存在可进一步拓展的方向:1)本研究主要考虑了单侧的信息不对称,未来可进一步考虑电力用户的个体偏好以及信念差异,考虑双侧信息不对称情景下,竞争性售电公司的售电策略优化问题;2)本研究重点研究了竞争性售电市场上的逆向选择风险这一事前信息不对称问题,未考虑道德风险问题,未来可以进一步考虑偏差考核政策实施过程中的双侧信息不对称问题。

参 考 文 献:

- [1] Mou D G. Understanding China's electricity market reform from the perspective of the coal-fired power disparity[J]. Energy Policy, 2014, 74(9): 224–234.
- [2] 薛松,胡源,李维,等. 售电市场建设发展成效评估国际经验及我国售电市场评估体系[J]. 电网技术, 2019, 427(6): 119–127.
- Xue Song, Hu Yuan, Li Wei, et al. International experience in construction and development evaluation of electricity retail market and China's electricity retail market evaluation system design[J]. Power System Technology, 2019, 427(6): 119–127. (in Chinese)
- [3] Bae M, Kim H, Kim E, et al. Toward electricity retail competition: Survey and case study on technical infrastructure for advanced electricity market system[J]. Applied Energy, 2014, 133(15): 252–273.
- [4] Deng N Q, Liu L Q, Deng Y Z. Estimating the effects of restructuring on the technical and service-quality efficiency of electricity companies in China[J]. Utilities Policy, 2018, 50(2): 91–100.
- [5] 郭曼兰,陈皓勇,张聪,等. 偏差电量考核机制下售电公司的最优经营策略[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(20): 17–25.
- Guo Manlan, Chen Haoyong, Zhang Cong, et al. Optimal marketing strategy of retailers under energy deviation penalty[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(20): 17–25. (in Chinese)
- [6] 蒋磊,刘思强,李继传,等. 价差返还模式下售电公司盈利影响因素研究——从国外经验借鉴到国内售电市场改

- 革探索[J]. 价格理论与实践, 2020, 429(3): 147–150.
- Jiang Lei, Liu Siqiang, Li Jichuan, et al. Research on influencing factors of profitability of electricity sales companies under spread rebate mode: Learning from foreign experience to exploring the reform of domestic electricity sales market[J]. Price: Theory & Practice, 2020, 429(3): 147–150. (in Chinese)
- [7] 窦迅, 张盼, 李建安, 等. 不同资质的售电公司购售电策略分析[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(1): 181–187.
- Dou Xun, Zhang Pan, Li Jian'an, et al. Analysis of power purchase-sale strategy of power retail companies with different establishment qualifications[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(1): 181–187. (in Chinese)
- [8] 龚箭, 张小辉, 王先甲. 信号对契约设计及福利的影响研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(5): 7–15.
- Gong Jian, Zhang Xiaohui, Wang Xianjia. Study on signal's effect on contract design and welfare performance[J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(5): 7–15. (in Chinese)
- [9] 陈志洪, 管锡展, 钟根元. 双边不对称信息下叫价显示质量机制研究[J]. 管理科学学报, 2014, 17(6): 13–19.
- Chen Zhihong, Guan Xizhan, Zhong Genyuan. Asking prices as signals of quality under bilateral asymmetric information [J]. Journal of Management Sciences in China, 2014, 17(6): 13–19. (in Chinese)
- [10] 喻小宝, 谭忠富, 马佳乐, 等. 计及需求响应的售电公司正偏差电量考核优化模型[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(7): 120–128.
- Yu Xiaobao, Tan Zhongfu, Ma Jiale, et al. Optimal model for positive deviation penalty of power retailers considering demand response[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(7): 120–128. (in Chinese)
- [11] 杨阳方, 刘继春. 计及电量互保策略的售电公司两阶段日前决策方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 120–128.
- Yang Yangfang, Liu Jichun. Two-stage decision-making method of retailers considering power transfer strategy[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 120–128. (in Chinese)
- [12] 蒲勇健, 余沙, 黄毅祥. 基于独立售电公司双角色的Stackelberg博弈模型分析[J]. 中国管理科学, 2020, 17(4): 1–11.
- Pu Yongjian, Yu Sha, Huang Yixiang. A stackelberg game model based on the dual role of independent electricity sale Company[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 17(4): 1–11. (in Chinese)
- [13] 刘晓峰, 黄沛. 基于策略型消费者的最优动态定价与库存决策[J]. 管理科学学报, 2009, 12(5): 18–26.
- Liu Xiaofeng, Huang Pei. Optimal dynamic pricing and inventory policy under strategic customers[J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(5): 18–26. (in Chinese)
- [14] 温小琴, 胡奇英. 基于质量意识和工艺创新的供应链质量决策[J]. 管理科学学报, 2018, 21(2): 80–90.
- Wen Xiaoqin, Hu Qiying. Quality choice in a supply chain based on quality consciousness and process innovation[J]. Journal of Management Sciences in China, 2018, 21(2): 80–90. (in Chinese)
- [15] 肖白, 崔涵淇, 姜卓, 等. 基于有限理性用户选择行为的定制化电价套餐设计[J]. 电网技术, 2021, 45(3): 1050–1058.
- Xiao Bai, Cui Hanqi, Jiang Zhuo, et al. Customized electricity price package design based on limited rational user selection behavior[J]. Power System Technology, 2021, 45(3): 1050–1058. (in Chinese)
- [16] 黄煌, 杨胡萍, 彭鑫, 等. 考虑Pareto改进的售电公司最优购售电模型[J]. 南昌大学学报(工科版), 2021, 43(1): 97–102.
- Huang Huang, Yang Huping, Peng Xin, et al. An optimal electricity purchase-sale model considering Pareto improvement [J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology), 2021, 43(1): 97–102. (in Chinese)
- [17] 张智, 卢峰, 林振智, 等. 考虑用户有限理性的售电公司峰谷组合电力套餐设计[J]. 电力系统自动化, 2021, 45(16): 114–123.
- Zhang Zhi, Lu Feng, Lin Zhenzhi, et al. Peak-valley combination electricity package design for electricity retailer considering bounded rationality of consumers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45(16): 114–123. (in Chinese)
- [18] Kazempour S J, Conejo A J, Ruiz C. Strategic bidding for a large consumer[J]. IEEE Transactions on Power System, 2014, 30(2): 848–856.
- [19] 杨阳方, 刘继春. 计及电量互保策略的售电公司两阶段日前决策方法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 120–

- 128.
- Yang Yangfang, Liu Jichun. Two-stage decision-making method of retailers considering power transfer strategy [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 120–128. (in Chinese)
- [20] Kettunen J, Salo A, Bunn D W. Optimization of electricity retailer's contract portfolio subject to risk preferences [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25(1): 117–128.
- [21] 方德斌, 王鹏宇, 曹罡铖. 社交网络下电力绿色创新与绩效协同演化机制 [J]. 管理科学学报, 2024, 27(10): 35–52.
- Fang Debin, Wang Pengyu, Cao Gangcheng. The synergistic evolution mechanism of green innovation and performance in the power industry under social networks [J]. Journal of Management Sciences in China, 2024, 27(10): 35–52 (in Chinese)
- [22] 田林, 徐以汎. 基于顾客行为的企业动态渠道选择与定价策略 [J]. 管理科学学报, 2008, 11(5): 7–15.
- Tian Lin, Xu Yifan. Dynamic channel selection and pricing based on customer behavior [J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(5): 7–15. (in Chinese)
- [23] Besanko D, Winston W L. Optimal price skimming by a monopolist facing rational consumers [J]. Management Science, 1990, 36(5): 555–567.
- [24] Ca Chon G P, Swinney R. Purchasing, pricing, and quick response in the presence of strategic consumers [J]. Management Science, 2009, 55(3): 497–511.
- [25] Akerlof G. The market for lemons: Quality uncertainty and the market mechanism [J]. Quarterly Journal of Economics, 1970, 84(3): 488–500.
- [26] Spence M. Job market signaling [J]. Quarterly Journal of Economics, 1973, 87(3): 355–379.
- [27] Kim S H, Netessine S. Collaborative cost reduction and component procurement under information asymmetry [J]. Management Science, 2013, 59(1): 189–206.
- [28] Corbett C J, De Groot X. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information [J]. Management Science, 2000, 46(3): 444–450.
- [29] Kyle B, Michael H R. High and declining prices signal product quality [J]. American Economic Review, 1991, 81(1): 224–239.
- [30] 但斌, 丁松, 伏红勇. 信息不对称下销地批发市场的生鲜供应链协调 [J]. 管理科学学报, 2013, 16(10): 44–54.
- Dan Bin, Ding Song, Fu Hongyong. Fresh supply chain coordination by wholesale market in sale place under information asymmetry [J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(10): 44–54. (in Chinese)
- [31] Balachander S. Warranty signaling and reputation [J]. Management Science, 2001, 47(9): 1282–1289.
- [32] Hertzendorf M N, Overgaard P B. Price competition and advertising signals: Signaling by competing senders [J]. Journal of Economics & Management Strategy, 2010, 10(4): 621–662.
- [33] Price L J, Dawar N. The joint effects of brands and warranties in signaling new product quality [J]. Journal of Economic Psychology, 2002, 23(2): 165–190.
- [34] Gao F, Su X. Omnichannel retail operations with buy online and pickup in store [J]. Management Sciences, 2016, 63(8): 2478–2492.
- [35] 何俊勇, 张顺明. 光滑暧昧模型下的不透明交易和管制措施研究 [J]. 管理科学学报, 2017, 20(2): 76–93.
- He Junyong, Zhang Shunming. Studies on opaque trading and regulations under smooth ambiguity model [J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(2): 76–93. (in Chinese)
- [36] 方立兵, 丁婧. 透明度与市场效率——基于信息不对称的适应性学习研究 [J]. 管理科学学报, 2017, 20(7): 43–56.
- Fang Libing, Ding Jing. Transparency and market efficiency: A study of adaptive learning with asymmetric information [J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(7): 43–56. (in Chinese)
- [37] 张福利, 张燕, 徐小林. 基于战略顾客行为的零售商退货策略研究 [J]. 管理科学学报, 2017, 20(11): 105–118.
- Zhang Fuli, Zhang Yan, Xu Xiaolin. Retailer's return policy based on strategic consumer behavior [J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(11): 105–118. (in Chinese)

- ment Sciences in China, 2017, 20(11): 105–118. (in Chinese)
- [38] 刘秋华, 何晓敏, 冯奕, 等. 售电侧放开模式下售电商定价方法研究——基于贝叶斯博弈模型分析与应用[J]. 价格理论与实践, 2018, 3(7): 115–118.
Liu Qiuhsa, He Xiaomin, Feng Yi, et al. Research on pricing model of sellers based on Bayesian game[J]. Price: Theory & Practice, 2018, 3(7): 115–118. (in Chinese)
- [39] Grossman S. The information role of warranties and private disclosure about product quality[J]. Journal of Law and Economics, 1981, 24(3): 461–483.
- [40] Akdeniz M B, Calantone R J, Voorhees C M. Signaling quality: An examination of the effects of marketing and nonmarketing-controlled signals on perceptions of automotive brand quality[J]. Journal of Product Innovation Management, 2013, 31(4): 728–743.

Power sales strategies of independent electricity retailers based on signal game theory

FANG De-bin^{1,2}, ZHAO Chao-yang¹, LI Ya-ni¹

1. Research Center for Complexity Science and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. Research Center for Forging a Strong Sense of Community for the Chinese Nation of South-central Minzu University, Wuhan 430074, China

Abstract: With the intensifying competition in the electricity sales market, independent electricity sales companies, as new market entities, face the risks of “batch and zero upside down” and “bias assessment”. As the electricity sales service quality is unobservable beforehand, they also face the risk of information asymmetry. Therefore, optimizing their electricity sales strategy has important theoretical and practical significance. Independent power sales companies with different types of power sales service quality have different power purchase costs and deviation control capabilities, so the sales price and deviation assessment apportionment ratio (hereinafter referred to as apportionment ratio) can be an effective signal to convey the service quality of independent power sales companies. Considering the influence of the sales price and apportionment ratio on power users’ strategy choices, this paper establishes a single-signal game model based on the apportionment ratio, a dual-signal game model, and the independent electricity sales company’s sales price strategy. Furthermore, it solves the Bayesian game model. Moreover, it compares the equilibrium results of different signal game, analyzes the conditions for achieving a separation equilibrium, and obtains the optimal strategy for an independent retail electricity company. The results show that, unlike the sales price signal, both the apportionment ratio signal and the dual signal can mitigate the risk of adverse selection in the electricity sales market. However, using the dual signal can help lower the optimal apportionment ratio and the sales price of the electricity sales company while increasing its electricity sales and profits. Moreover, the conditions for achieving a separation equilibrium are more relaxed. This research can provide decision-making support for regulating the operation of China’s electricity market and improving the efficiency of electricity market operation.

Key words: electricity sales service quality; adverse selection; power sales strategy optimization; signal game; separation equilibrium