

非对称压力下大用户直购电价格的 讨价还价博弈

徐 云, 应黎明

(武汉大学电气与自动化学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:在开放的电力市场环境下, 市场中存在着生产者剩余或消费者剩余, 这会直接影响到大用户直购电的定价策略。在此背景下, 运用鲁宾斯坦模型的思想构建不完全信息、非对称压力下单一发电商与多个大用户以及多个发电商与单一大用户之间关于直购电力价格的讨价还价模型, 给出不同情况下发电商与大用户的均衡收益。仿真结果表明, 谈判双方的收益与双方的贴现率以及谈判过程中对保留价的估计有关。发电商或大用户可以利用与不同对象达成协议时的收益进行计算评估, 合理地选择合作对象。文中模型及结论同样适用于市场中存在生产者剩余和消费者剩余的讨价还价博弈。

关 键 词:电力市场; 直购电; 讨价还价; 不完全信息; 非对称压力

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2021.02.017 中图分类号: TM715; F407.6 文章编号: 1673-9140(2021)02-0142-06

The bargain model for pricing of direct-power-purchasing under asymmetric pressure

XU Yun, YING Liming

(School of Electrical Engineering and Automation, Wuhan University, Wuhan 430074, China)

Abstract: In the open power market, there is a surplus of producers (generators) or consumers (large consumers), which will directly affect the pricing strategy of large consumers direct-power-purchasing. Under the background, with the Rubinstein model, this paper constructs the bargain models of pricing of large consumers direct-power-purchasing in single generator-various consumers and various generators-single consumer transaction under the circumstance of incomplete information and asymmetric pressure, and then gives the equilibrium profit of generators and large consumers. The result indicates that the profit of both parties is related to the discount rate and the estimation of the reserve price. Generators and large consumers can calculate and evaluate the profit of the agreement with different objects with the conclusion of the paper, and choose the cooperative object reasonably. The model and conclusion are also suitable to the bargaining game under the circumstance of the producer (generator) surplus or the consumer (large consumer) surplus in the market.

Key words: power market; direct-power-purchasing of large consumers; bargain model; incomplete information; asymmetric pressure

收稿日期: 2018-01-15; 修回日期: 2018-04-09

基金项目: 昆明电力交易中心有限责任公司科技项目(070201CH00003)

通信作者: 应黎明(1965-), 男, 博士, 教授, 主要从事电力市场、输变电设备状态评价、变压器降噪的研究; E-mail: lmying@whu.edu.cn

随着中国电力市场改革的逐渐推进,售电侧市场正在逐步开放,大用户直购电也将成为一种必然趋势。开展大用户直购电,对优化电力资源配置、发展和完善电力市场竞争机制、构建有效竞争的 market 格局、探索建立合理的输配电价机制有着重要意义,同时将通过影响大用户、发电企业和供电企业的经济效益来提高社会综合效益^[1-2]。

所谓电力大用户直购电是指超过一定量的用户可以直接和发电商签订双边交易合同^[3]。作为购电主体的大用户,其资格可以由电压等级界定,也可以由常年平均负荷来界定。随着电力市场改革的不断深入,“大用户”的门槛也逐渐降低^[4]。

目前,对大用户直购电的研究主要集中在宏观层面的政策设计^[5-6]以及通过博弈论制定电量、电价方面^[7-12]。文献[7-9]将双边交易过程中电价的制定过程视为双方轮流出价的讨价还价过程,建立了讨价还价动态模型并给出了双方的均衡报价;文献[10-11]分别利用 Q 学习、贝叶斯学习理论来研究大用户直购电价格谈判的动态博弈问题,将基于经验数据的学习理论引入博弈过程,有效地提高了博弈的效率;文献[12]构建了计及多个发电商与多个大用户之间的双边合同交易的主从博弈模型,在对现货电价预测的基础上给出了购售电策略。

上述文献研究都是建立在谈判双方心理压力相同的基础上,然而在实际的电力市场中可能面临着消费者(大用户)剩余和生产者(发电商)剩余,在这种情况下,交易双方对于达成谈判的“渴望度”有差异,进而造成谈判双方心理压力不同,心理压力大的参与者更倾向于迅速达成协议,虽然坚持谈判可能带来更大的收益。另外,上述文献都是建立在对大量数值进行估计的基础上,而在讨价还价的过程中并未对估计值进行修正。这些都会影响最终谈判结果。

该文运用逆向归纳法,在对保留价进行预测的基础上,运用鲁宾斯坦讨价还价模型的思想,分别构造单一发电商与多个大用户以及多个发电商与单一大用户之间关于直购电力价格讨价还价模型,考虑在讨价还价过程中对预测值进行修正,最终给出均衡结果。

1 问题描述

讨价还价也称为谈判或议价,最初源于约翰·纳什的一篇富于原创性的论文,主要是指参与人(局中人)双方通过协商方式解决利益分配的问题^[13]。鲁宾斯坦建立了鲁宾斯坦讨价还价模型,该模型详细介绍了双方参与人讨价还价直到达成协议的动态过程^[14]。该文利用该模型描述发电商与大用户讨价还价的动态过程。

在充满竞争的电力市场环境下,发电商和大用户都倾向于以签订合同的形式来达成协议。在合同签订过程中,双方要对交易电价和电量进行讨价还价。该文假定交易电量为确定常数,双方只对交易价格进行讨价还价。以单一发电商与多个电力大用户交易为例来讨论市场中消费者剩余的情况,以多个发电商与单一电力大用户交易为例来讨论市场中生产者剩余的情况。现随机选择一家发电商和一家电力大用户的讨价还价过程进行模拟分析,将谈判时发电商所能接受的最低价格设为 $\rho_{S,\min}$,大用户所能接受的最高价格设为 $\rho_{B,\max}$,能够进入谈判的基本条件为 $\rho_{B,\max} > \rho_{S,\min}$,建立讨价还价模型。现对模型提出如下基本假设。

1) 参与者为发电商与电力大用户,谈判区间为 $[\rho_{S,\min}, \rho_{B,\max}]$,若在讨价还价的最后阶段任一方的报价超过这个区间而另一方不愿意接受,则谈判破裂。

2) 设 ρ^* 为谈判最终解, $\rho^* \in [\rho_{S,\min}, \rho_{B,\max}]$, $\rho^* - \rho_{S,\min}$ 为发电商的谈判收益, $\rho_{B,\max} - \rho^*$ 为电力大用户的谈判收益。对发电商而言, ρ^* 越大越好,而大用户则相反。令 $R = \rho_{B,\max} - \rho_{S,\min}$,则谈判过程可视为发电商与大用户为 R 的利益分割问题进行谈判,谈判过程中发电商的利益设为 s ,则大用户的利益为 $R - s$ (下文出现的报价均指发电商所得的收益)。

3) 讨价还价可分为若干阶段,每阶段由大用户和发电商轮流报价。

4) 如果发电商和大用户达成最终协议,则发电商不仅可以获得更多的市场份额,还能在第一时间

得到大用户所缴纳的电费而用于企业生产,并充分利用资金价值,提高企业的运营效率,降低运营成本。对大用户来说,与发电商直接达成协议能降低企业的购电成本,增加企业竞争能力。如果双方的谈判进入到无限期的讨价还价,或者最终谈判破裂,则双方都会损失掉上述所有收益并付出时间成本,这些都可以看作是发电商与大用户的谈判成本。用贴现率来表示每一次谈判所要付出的成本。用 δ_s 和 δ_B ($0 < \delta_s < 1, 0 < \delta_B < 1$) 分别表示发电商与大用户的贴现率。若谈判双方的协议是在第二阶段达成的,则双方的收益均打折扣并折算到第一阶段,发电商的收益为 $\delta_s s$, 大用户的收益为 $\delta_B(R - s)$ 。

5) 讨价还价的过程会给参与者带来心理压力,急于达成协议(心理压力大的参与者更倾向于迅速达成协议,这会使参与者对收益产生错误的价值判断,即心理压力与贴现率负相关。

2 单一发电商与多个电力大用户交易的讨价还价博弈

在单一发电商与多个大用户的讨价还价博弈中,发电商向大用户公布供电量,为限制和降低大用户的市场力,公布售电价格下限。在此博弈中,发电商的压力较小,而大用户压力较大,于是 $\delta_s > \delta_B$ 。

2.1 完全信息下的讨价还价博弈

用逆向归纳法求解发电商先出价的三阶段讨价还价博弈。先不考虑谈判破裂的可能性,对动态讨价还价的动态过程进行简单描述。在此博弈过程中,所要分割的利益 R 是谈判双方的共同知识。

假定第三阶段轮到发电商报价,发电商所能得到的最大受益为 s_3 。 s_3 折算到第二阶段为 $\delta_s s_3$,对发电商而言,只要大用户出价大于等于 $\delta_s s_3$,发电商一定会接受,则大用户出价 $\delta_s s_3$, 自得 $R - \delta_s s_3$ 。 $R - \delta_s s_3$ 折算到第一阶段为 $\delta_B(R - \delta_s s_3)$,对于大用户而言,只要第一阶段发电商的报价小于等于 $R - \delta_B(R - \delta_s s_3)$,大用户一定会接受,于是发电商报价 $R - \delta_B(R - \delta_s s_3)$,大用户收益 $\delta_B(R - \delta_s s_3)$ 。

从分析可以看出,发电商第一阶段报价为 $R -$

$\delta_B(R - \delta_s s_3)$ 也能保证收益最大,则

$$R - \delta_B(R - \delta_s s_3) = s_3 \quad (1)$$

解得 $s_3 = R(1 - \delta_B)/(1 - \delta_B \delta_s)$, 双方达成的均衡价格为 $R(1 - \delta_B)/(1 - \delta_B \delta_s)$ 。第一阶段由大用户首先报价,所得结果亦相同。

2.2 不完全信息下的讨价还价博弈

在实际谈判的过程中,应该考虑谈判破裂的风险,谈判区间 $[\rho_{s,\min}, \rho_{B,\max}]$ 也不是双方的共同知识。为了简化分析,做出如下假设。

1) 在谈判进行之前,发电商公布其最低保留价 $\rho_{s,\min}$, 而发电商对大用户所能接受的最高价格 $\rho_{B,\max}$ 却不清楚,也就是说发电商并不知道 R 。于是发电商根据历史数据等对 R 进行估计,认为 R 在 $[0, R_2]$ 上均匀分布。

2) 发电商只知道 R 在 $[0, R_2]$ 上均匀分布,不清楚 R_2 和 R 的大小关系。

3) 大用户知道发电商认为自己的还价在 $[0, R_2]$ 上均匀分布,并且知道发电商的估计值 R_2 。

以 $R \geq R_2$ 和 $R < R_2$ 这2种情况进行分析。

2.2.1 $R \geq R_2$ 时的讨价还价博弈

假设第三阶段轮到发电商报价,即报价为 s_3 。发电商估计大用户所能接受的价格 ρ^* 在 $[0, R_2]$ 上均匀分布,且发电商要使自己的期望收益最大化,即

$$\max[s_3 P_b + 0(1 - P_b)] \quad (2)$$

式中 P_b 为大用户接受发电商报价的概率, $P_b = P\{\omega \geq s_3\} = (R_2 - s_3)/R_2$ 。由式(2)解得最优报价 $s_3 = R_2/2$ 。若发电商在第三阶段的报价为 $R_2/2$,发电商则认为大用户的收益也为 $R_2/2$,而实际上大用户真正收益为 $R - R_2/2$ 。折算到第二阶段,从发电商角度考虑,发电商和大用户的收益分别为 $\delta_s R_2/2, \delta_B R_2/2$,大用户真正收益的折算值为 $\delta_B \cdot (R - R_2/2)$ 。

第二阶段轮到大用户报价,设为 s_2 ,大用户的真正收益为 $R - s_2$ 。大用户需使自己第二阶段的收益大于第三阶段,即

$$R - s_2 \geq \delta_B(R - \frac{R_2}{2}) \quad (3)$$

值得注意的是,式(3)为发电商与大用户的共同

知识。完全信息博弈中第二阶段的均衡报价为 $\delta_s R_2/2$; 不完全信息博弈中大用户报价为 $\delta_s R_2/2$ 也能使自己在该阶段的收益达到最大, 但是发电商会知道 $s_2 = \delta_s R_2/2$ 满足式(3)。因此, 发电商对大用户保留价的估计可以修正为在 $[R_3, R_2]$ 上均匀分布, R_3 满足:

$$R_3 - \delta_s \frac{R_2}{2} = \delta_B (R_3 - \frac{R_2}{2}) \quad (4)$$

于是, 发电商一定会拒绝发电商该阶段的报价。为了达到该阶段博弈的均衡, 大用户会给出一个信号表明自己的保留价为 R_3 , $R_3 = R_2(\delta_s - \delta_B)/2(1 - \delta_B)$ 。

这是一个可信的欺骗, 因为这个欺骗仍可以确保发电商的收益为 $\delta_s R_2/2$ 。此时博弈又变成了对 R_3 的利益进行分割的完全信息博弈。

用文 2.1 节中同样的方法可以得到第一阶段发电商的均衡收益为 $R_2(\delta_s - \delta_B - \delta_B^2 + \delta_B^2 \delta_s)/2(1 - \delta_B)$, 大用户实际均衡收益为 $R - R_2(\delta_s - \delta_B - \delta_B^2 + \delta_B^2 \delta_s)/2(1 - \delta_B)$ 。

在这个博弈中大用户始终能占到便宜, 因为成为共同知识的 $R_3 < R$ 。若发电商对大用户所表示的报价不信任, 则可以不断的上调对大用户保留价的估计 R_2 , 直到 $R_2 = R$ 。

2.2.2 $R < R_2$ 时的讨价还价博弈

假设第三阶段轮到发电商报价, 与文 2.2.1 中发电商报价分析过程相同。发电商的报价为 $R_2/2$, 若 $R < R_2/2$, 则谈判破裂; 若 $R \geq R_2/2$, 大用户接受报价(以下讨论都建立在 $R \geq R_2/2$ 的基础上)。

在讨价还价的第三阶段, 当发电商报价为 $R_2/2$ 时, 其认为大用户的收益也为 $R_2/2$, 而大用户真正收益为 $R - R_2/2$ 。折算到第二阶段, 从发电商的角度考虑, 发电商和大用户收益的折算值分别为 $\delta_s R_2/2, \delta_B R_2/2$; 大用户真正收益的折算值为 $\delta_B \cdot (R - R_2/2)$ 。

第二阶段轮到大用户报价, 大用户需使自己第二阶段的收益大于第三阶段, 即

$$R - s_2 \geq \delta_B (R - \frac{R_2}{2}) \quad (5)$$

同样的, 若大用户报价为 $\delta_s R_2/2$, 则一定会被

发电商拒绝。因此, 为了达到该阶段博弈的均衡, 大用户会给出一个信号, 表明自己的保留价为 R_2 , 满足:

$$R_3 - \delta_s \frac{R_2}{2} = \delta_B (R_3 - \frac{R_2}{2}) \quad (6)$$

即 $R_3 = R_2(\delta_s - \delta_B)/2(1 - \delta_B)$, 易得 $R_3 \leq R_2/2$, 实际上 $R \geq R_2/2$, 故取 $R_3 = R_2/2$ 。同样博弈又变为对 R_3 的利益进行分割的完全信息博弈。

第一阶段发电商的均衡收益为 $R_2(1 - \delta_B(1 - \delta_s))/2$, 大用户的实际均衡收益为 $R - R_2(1 - \delta_B \cdot (1 - \delta_s))/2$ 。

3 多个发电商与单一大用户交易的讨价还价博弈

在多个发电商与单一大用户的博弈中, 大用户向发电商公布购电量, 为限制和降低发电商的市场力, 公布购电价格上限。大用户的心理压力较小而发电商心理压力较大, 于是 $\delta_s < \delta_B$ 。直接对不完全信息下讨价还价的动态过程进行分析, 为了简化分析, 做出如下假设。

1) 大用户选择在谈判开始之前公布自己的最高保留价 $\rho_{B, \max}$, 而发电商的最低保留价 $\rho_{S, \min}$ 则为不完全信息, 大用户对发电商的最低保留价有一个估计值 $\rho_{S, \min}^{(2)}$ 。令 $U = \rho_{B, \max} - \rho_{S, \min}, U_2 = \rho_{B, \max} - \rho_{S, \min}^{(2)}$ 。

2) 大用户知道的唯一信息是发电商对他的还价在 $[0, U_2]$ 上均匀分布, 而并不清楚 U 和 U_2 的大小关系。

3) 发电商知道大用户认为自己的还价在 $[0, U_2]$ 上均匀分布, 而且清楚 U 和 U_2 的关系。

分别就 $U \geq U_2$ 和 $U < U_2$ 这 2 种情况进行讨论。分析过程与文 2.2 节相似。可以得到, 当 $U \geq U_2$ 时, 发电商选择抛出信号表明“真实”的分割利益为 $U_3 = U_2(\delta_B - \delta_s)/2(1 - \delta_s)$ 。第一阶段发电商的均衡收益为 $U - U_2(\delta_B - \delta_s - \delta_s^2 + \delta_s^2 \delta_B)/2(1 - \delta_s)$, 大用户的均衡收益为 $U_2(\delta_B - \delta_s - \delta_s^2 + \delta_s^2 \delta_B)/2(1 - \delta_s)$ 。当 $U < U_2$ 时, 发电商表明“真实”的分割利益为 $U_3 = U_2/2$ 。第一阶段发电商

的实际均衡收益为 $U - U_2(1 - \delta_S(1 - \delta_B))/2$, 大用户的均衡收益为 $U_2(1 - \delta_S(1 - \delta_B))/2$ 。

4 均衡结果分析

从模型的分析过程可以得到对完全和不完全信息下所讨论的 4 种情况, 发电商和大用户在第一阶段达成协议的收益均大于第二、第三阶段收益到第一阶段的折算值。因此, 无论是发电商还是大用户都倾向于在第一阶段达成协议, 故第一阶段的均衡收益即为讨价还价的均衡收益。分析各因素对谈判收益的影响, 结果如表 1 所示。

表 1 谈判收益的影响因素分析

Table 1 Analysis of factors influencing negotiation profit

情况	$\frac{\partial V_S}{\partial \delta_S}$	$\frac{\partial V_S}{\partial \delta_B}$	$\frac{\partial V_B}{\partial \delta_S}$	$\frac{\partial V_B}{\partial \delta_B}$	$\frac{\partial V_S}{\partial C_2}$	$\frac{\partial V_B}{\partial C_2}$	$\frac{\partial V_S}{\partial D_2}$	$\frac{\partial V_B}{\partial D_2}$
$R \geq R_2$	+	-	-	+	+	-	*	*
$R < R_2$	+	-	-	+	+	-	*	*
$U \geq U_2$	+	-	-	+	*	*	-	+
$U < U_2$	+	-	-	+	*	*	-	+

注: V_S 、 V_B 分别为发电商和大用户的收益; “+”表示正相关; “-”表示负相关; “*”表示不确定。

对数据进行分析, 可以得出以下结论。

1) 参与者的收益与自己的贴现率正相关, 与对方的贴现率负相关。若用心理压力来描述, 则对方心理压力越大对己方越有利, 而已方心理压力越大对己方越不利。以 $R \geq R_2$ 时的情况为例, 对大用户来说, 心理压力越大, 其选择抛出的保留价信号 $R_3 = R_2(\delta_S - \delta_B)/2(1 - \delta_B)$ 也越大, 对于 $R \geq R_2$ 这一优势不能良好利用; 对发电商来说, 其心理压力越大, 大用户所抛出的保留价也就越小。

2) 对信息不完全的谈判参与者(谈判中压力较小者), 其收益与其对对方保留价的估计值正相关, 但并不是越高越好。例如, 当 $R < R_2$ 时, 若 $R_2 > 2R$, 则谈判破裂。对信息完全的参与者, 其收益与对方所估计的保留价负相关; 信息不完全的参与者可根据模型给出的均衡结果对与不同对象达成协议时的收益进行计算评估, 合理地选择合作对象。

5 结语

该文运用逆向归纳法, 以三阶段为例, 构造了不完全信息、非对称压力下单一发电商与多个大用户以及多个发电商与单一大用户之间关于直购电力价格的讨价还价模型, 考虑在讨价还价过程中对预测值进行修正, 最终给出均衡结果。谈判参与者可利用该文的均衡结果合理地选择合作对象。结果表明:

1) 参与者的收益与自己的贴现率正相关, 与对方的贴现率负相关;

2) 信息不完全的参与者的收益与谈判过程中其对保留价的估计值负相关, 信息完全的参与者的收益与保留价的估计值正相关;

3) 模型及结论同样适用于市场中存在生产者剩余和消费者剩余的讨价还价博弈。

参考文献:

- [1] 邓强, 詹红霞, 杨孝华, 等. 考虑风电不确定性和大用户直购电的电力系统经济调度[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(14): 131-139.
DENG Qiang, ZHAN Hongxia, YANG Xiaohua, et al. Power system economic dispatching considering the uncertainty of wind power and large consumers direct purchasing [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(14): 131-139.
- [2] Liu D N, Li Z H, Zhou H M, et al. Comprehensive benefit evaluation of direct power-purchase for large consumers[C]//IOP Conference Series Earth and Environmental Science, Bangkok, Thailand, 2017.
- [3] 李道强, 龚建荣, 李忠德, 等. 电力市场环境下的差价合约电量分解问题[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(1): 40-49.
LI Daoqiang, GONG Jianrong, LI Zhonghui, et al. Decomposition of an electrical energy contract for difference in electricity market environment [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020, 35(1): 40-49.
- [4] 刘克俭, 王铁强, 时珉, 等. 大规模直购电下基于让渡价

- 格的日前发电计划研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017,45(22):28-33.
- LIU Kejian, WANG Tieqiang, SHI Min, et al. Research of day-ahead generation plan based on assignment price under consumers' direct-purchasing electricity[J]. Power System Protection and Control, 2017,45(22):28-33.
- [5] 覃琳,黄炜斌,马光文,等. 竞争市场下梯级电站大用户直购电效益优化分析[J]. 电网与清洁能源, 2019, 35(3):7-13.
- QIN Lin, HUANG Weibin, MA Guangwen, et al. Analysis on the benefit optimization of direct power purchase by large consumers for cascade hydropower station within market competition[J]. Power System and Clean Energy, 2019,35(3):7-13.
- [6] 于亚男,江全元,张维,等. 大用户直购电市场风险评估设计及政策影响分析[J]. 能源工程, 2016(4):1-6.
- YU Yanan, JIANG Quanyuan, ZHANG Wei, et al. Evaluating market risk design of large consumers direct purchasing and impact analysis of policy factors[J]. Energy Engineering, 2016(4): 1-6.
- [7] 邹小燕,王正波. 电力市场中关于直购电力价格的讨价还价博弈模型[J]. 管理工程学报, 2005,19(4):96-99.
- ZOU Xiaoyan, WANG Zhengbo. The bargain game model on electric power price in a bilateral electricity market[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2005,19(4): 96-99.
- [8] 赵飞,周渝慧. 轮流出价博弈在制定大用户直供电价中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008,20(4):77-81.
- ZHAO Fei, ZHOU Yuhui. Application of bargain game theory in the price of direct power supply[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2008,20(4): 77-81.
- [9] QU Shaoqing, CHEN Haoyong, ZHANG Senling. The two-stage negotiation mechanism based on multi-Agent using Q-learning in electricity bilateral contract[C]// 9th International Power and Energy Conference, IPEC, Singapore, 2010.
- [10] 张森林,屈少青,陈皓勇,等. 大用户直购中基于 Q 学习算法的多代理两阶段谈判策略[J]. 电力系统自动化, 2010,34(6):37-41.
- ZHANG Senlin, QU Shaoqing, CHEN Haoyong, et al. A two-stage negotiation strategy based on multi-agent using Q-learning in direct power purchase with large consumers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010,34(6): 37-41.
- [11] 柏慧. 大用户从发电商购电价格谈判的动态博弈模型[D]. 北京:华北电力大学, 2009.
- [12] 吴诚,高丙团,汤奕,等. 基于主从博弈的发电商与大用户双边合同交易模型[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(22):56-62.
- WU Cheng, GAO Bingtuan, TANG Yi, et al. Master-slave game based bilateral transaction model for generation companies and large consumers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016,40(22): 56-62.
- [13] 赵耀华. 博弈论与经济模型[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2010:126-131.
- [14] Rubinstein Ariel. A course in game theory[M]. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1994:117-131.