

Bilateral Negotiation of Natural Gas Price Based on Bayesian Learning Model

Jingjing Zhang, Yahong Cao

Economics and Management School, China University of Petroleum, Qingdao
Email: 379333307@qq.com

Received: Jan. 2nd, 2012; revised: Jan. 15th, 2012; accepted: Feb. 1st, 2012

Abstract: Depending on the characteristic of bilateral negotiations on the price of natural gas between supplier and consumer, the Bayesian learning model was introduced to the negotiation game. By Bayesian learning, both sides can predict each other's offer more accurately and improve the effectiveness of the game. Calculation example proved that the Bayesian learning model can effectively improve the efficiency of negotiations.

Keywords: Bayesian Learning Model; Bilateral Negotiation; Natural Gas Price

基于贝叶斯学习模型的天然气价格双边谈判研究

章晶晶, 曹亚宏

中国石油大学(华东)经济管理学院, 青岛
Email: 379333307@qq.com

收稿日期: 2012年1月2日; 修回日期: 2012年1月15日; 录用日期: 2012年2月1日

摘要: 根据大用户向天然气供应商购买天然气的价格双边谈判的特点, 将贝叶斯学习模型引入到谈判的博弈过程中。通过贝叶斯学习, 双方能更精确的预测对方的报价, 提高博弈的有效性。算例结果表明, 供气商和大用户运用贝叶斯学习模型进行博弈可以有效提高谈判效率。

关键词: 贝叶斯学习模型; 双边谈判; 天然气价格

1. 引言

双边交易对提高天然气市场的运行效率具有十分重要的意义。天然气双边合约指的是天然气供给商和大用户(如发电厂)就某段时间内的购气量以及价格等达成的协议, 它一般通过谈判达成。在谈判前, 合约的购气量通常已由供应商和大用户事先确定, 因而整个谈判的过程也就是对天然气价格进行长时间重复谈判的博弈过程。目前, 针对非对称信息下的双边谈判的动态博弈的研究有很多, 文献[1]研究了双边谈判的报价模型, 构造出了基于模糊和概率条件下的双边谈判模型。文献[2]、[3]对双边谈判的试验进行研究,

该研究证明, 双边谈判交易的效率较高, 谈判的结果表现出较强的完全信息的趋势, 对双边交易谈判的研究更多的是与具体的例子结合来研究。文献[4]将贝叶斯学习模型引入到双边谈判中, 该研究在假定样本空间内的样本点是已知的条件下, 对贝叶斯学习模型的应用环境进行了有效地界定, 但该文献对贝叶斯学习的过程的研究仅仅局限于利用贝叶斯公式对知识进行简单的更新, 计算过程中使用的先验概率以及条件概率也都是固定不变的概率。文献[5]采用序贯博弈理论设计电子商务中的双边多轮谈判, 引入贝叶斯学习模型, 以提高谈判者对博弈中动态信息的掌握能力, 并证明了应用贝叶斯学习模型可以修正谈判双方对

对方的认识,从而提高谈判的效率。文献[6]将贝叶斯学习模型引入到发电厂与电力用户的多轮竞价交易机制中,通过贝叶斯学习,双方对对方的先验知识不断得以修正,从而提高了谈判的效率。文献[7]指出,在不对称信息的双边谈判中,博弈双方经过不断地贝叶斯学习,利用博弈中获得的与交易有关的新知识更新对对方认识,从而更加精确地调整自己的报价策略,从而提高博弈的效率,降低谈判的交易成本。

大用户和天然气供给商如何进行报价从而获得更大的利益,构成了一个非零和博弈的对策问题^[8]。由于在天然气供给商和大用户之间存在不完全信息,并且采用双边谈判的竞价机制为双方对对方信息的收集学习创造了条件,因此,可以将贝叶斯学习模型应用于大用户向天然气供给商购买天然气的价格谈判中。

2. 天然气价格双边谈判贝叶斯学习模型的基本内容

2.1. 贝叶斯学习模型^[9]

贝叶斯学习模型指的是博弈双方根据在博弈过程中所获信息,利用贝叶斯公式对学习对象的先验知识不断地修正。贝叶斯公式可表述为:存在与事件 H 有关的一组事件 A_1, A_2, \dots, A_n , 满足:

- 1) $P(A_i) > 0$;
- 2) $A_i \cap A_j = \Phi, i \neq j$
- 3) $\cup A_i = \Omega$

则贝叶斯公式定义为:

$$P(A_i/H) = \frac{P(H/A_i)P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(H/A_i)P(A_i)} \quad (1)$$

其中, $P(A_i)$ 即先验概率; $P(H/A_i)$ 即条件概率; $P(A_i/H)$ 即后验概率。

2.2. 天然气价格双边谈判贝叶斯学习的内容

2.2.1. 天然气价格双边谈判

在天然气价格双边谈判中,各个时段的购气量 Q 通常已由天然气供给商和大用户事先确定,双方就天然气的交易价格 P 展开多轮的博弈。且双方签订的购气合约为中长期合约,因而可以忽略天然气开发及运输过程中设备的停用和检修等因素的影响。同时,还

假定市场处于出清状态,以忽略由于由供求不平衡给价格带来的影响。

在谈判之前,谈判双方都对天然气的交易价格有一个保留价格,即供给商可以接受的最低的售气价格 v_p 和大用户可以支付的最高购气价格 v_d 。在谈判的过程中,这些信息都是私有信息,不对称信息存在使得双方通常出于对自身利益最大化的考虑进行报价。通常,在谈判时,供给商报出的价格会远高于 v_p ,大用户报出的价格会远低于 v_d 。但只有在供给商的报价低于 v_d ,或者大用户的报价高于 v_p ,且 $v_d \geq v_p$ 时,交易才有可能达成。

在实际的天然气交易谈判中,双方价格谈判的出价并不是共同的,而是一方给出报价,另一方根据掌握的信息选择接受或拒绝,若拒绝,则给出另一个报价,双方继续进行谈判^[10]。只要有一方接受了对方的报价,谈判过程就结束,合约价格即为他所接受的价格。

2.2.2. 供气商和大用户的学习要素

1) 学习对象

在整个购气谈判过程中,但为了自身利益的最大化,供给商通常高报价格,大用户通常低报价格,但只有在双方的保留价格之间的报价才有可能成为合约价格,因此,将供气商的保留价格 v_p 以及大用户的保留价格 v_d 作为双方的学习对象。

2) 先验概率

在第一轮购气谈判前,供给商和大用户没有可参考的竞价数据,只能通过自身的判断对方保留价格的概率分布确定估计值,该估计值即为先验概率。经过 k 轮谈判后,双方都会对对方的保留价格的概率分布获得一定认识,因而,第 k 轮的后验概率就成为了第 $k+1$ 轮的先验概率。

3) 贝叶斯信念

贝叶斯信念指的是天然气供给商和大用户对对手的报价策略的估计,双方可以据此获得条件概率。天然气供给商的信念是,大用户将以低于其保留价格的 $a\%$ 进行报价;大用户的信念是,供给商将以高于其保留价格的 $b\%$ 进行报价。

4) 条件概率

经过 k 轮谈判后,天然气供给商和大用户通过分析获得的报价信息以及对对手贝叶斯信念的判断,对对手的在每种可能的保留价格下给出相应的报价有

所认识, 所有可能的保留价格相对应报价的概率分布即为条件概率。

5) 后验概率

后验概率指的是天然气供应商和大用户在得到先验概率和条件概率后, 将二者带入到贝叶斯学习公式中得到的概率。后验概率表示过贝叶斯学习, 天然气供应商和大用户对学习对象认识的更新。

3. 基于贝叶斯学习模型的天然气价格双边谈判

天然气供应商和大用户的学习对象分别是对方的保留价格 v_d 和 v_p , 文章假设由供应商首先进行报价, 整个谈判过程如下。

3.1. 确定先验概率

在谈判的开始之前, 天然气供给商和大用户根据以往经验对对方的保留价格 v_d 和 v_p 进行估计。即 H_i^k 为“大用户第 k 次谈判前的保留价格为 v_{di}^k ”, 则相应的概率为 $P(H_i^k)$ 。其中 $i=1, 2, \dots, n$ 。 n 表示 v_d 存在 n 种可能取值。那么, 天然气供给商对大用户的保留价格的估计为:

$$E(v_d^k) = \sum_{i=1}^n v_{di}^k P(H_i^k) \quad (2)$$

G_j^k 为“供应商第 k 次谈判前的保留价格为 v_{pj}^k ”, 则相应的概率为 $P(G_j^k)$ 。其中 $i=1, 2, \dots, m$ 。 m 表示 v_p 存在 m 种可能取值。那么, 天然气供给商对大用户的保留价格的估计为:

$$E(v_p^k) = \sum_{j=1}^m v_{pj}^k P(G_j^k) \quad (3)$$

3.2. 报价谈判

正式谈判开始, 由天然气供应商首先给出报价, 假设双方的报价策略均为以对手的保留价格的估计值进行报价, 那么, 供应商的第一轮报价 $\alpha_1 = E(v_d^1)$ 。大用户根据将 α_1 与自身的保留价格 v_d^1 对比的结果进行决策。如果 $\alpha_1 \leq v_d^1$, 那么大用户将接受供给商的报价, 谈判结束; 如果 $\alpha_1 > v_d^1$, 那么大用户将拒绝供给商的报价, 并进行贝叶斯学习, 给出反报价。

3.3. 大用户的贝叶斯学习

在大用户拒绝了供给商的报价 α_1 后, 通过分析获

得的报价信息以及对对手贝叶斯信念的判断, 对天然气供给商在每种保留价格下的报价 α_1 的条件概率 $P(\alpha_1 | G_j)$ 进行估计, 然后代入贝叶斯公式, 得出后验概率

$$P(G_j | \alpha_1) = \frac{P(\alpha_1 | G_j) P(G_j)}{\sum_{j=1}^m P(\alpha_1 | G_j) P(G_j)} \quad (4)$$

$P(G_j | \alpha_1)$ 即为大用户通过贝叶斯学习后对天然气供给商保留价格的新认识。

在对天然气供给商保留价格、报价策略以及贝叶斯信念等知识进行更新后, 大用户根据所获得的信息进行反报价, 第一轮反报价的价格 β_1 为

$$\beta_1 = \sum_{j=1}^m v_{pj}^1 P(G_j | \alpha_1) \quad (5)$$

3.4. 合约的最终达成

天然气供给商收到大用户的报价后, 进行与大用户同样的学习与决策, 如此往复, 直到其中一方接受对方的报价, 谈判结束, 合约达成。

其中, 天然气供给商第 k 次报价的价格 α_k 为:

$$\alpha_k = \sum_{i=1}^n v_{di}^k P(H_i | \beta_{k-1}) \quad (6)$$

式中 $P(H_i | \beta_{k-1}) = \frac{P(H_i) P(\beta_{k-1} | H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i) P(\beta_{k-1} | H_i)}$ 大用户第 k 次报价的价格为 β_k :

$$\beta_k = \sum_{j=1}^m v_{pj}^k P(G_j | \alpha_k) \quad (7)$$

式中 $P(G_j | \alpha_k) = \frac{P(G_j) P(\alpha_k | G_j)}{\sum_{j=1}^m P(G_j) P(\alpha_k | G_j)}$ 整个交易流程如图 1 所示。

图 1 所示。

4. 算例分析

假设某天然气供给商和某大用户就下个年度内的天然气的交易价格进行双边谈判, 天然气供给商的保留价格 $v_p = 4.20$ 元/ m^3 , 大用户的保留价格 $v_d = 4.80$ 元/ m^3 。

4.1. 双方都进行贝叶斯学习

在第一轮谈判前, 天然气供给商对大用户的保留

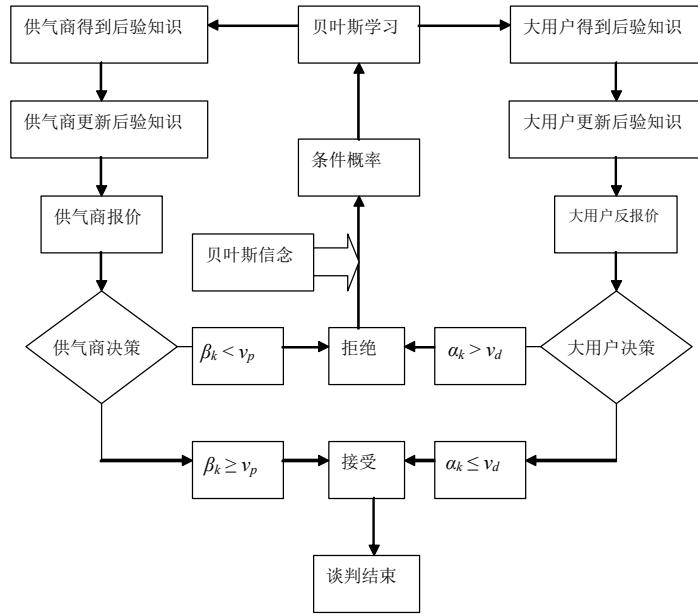


Figure 1. Progress of bilateral negotiation of natural gas price based on Bayesian learning model
图 1. 天然气价格双边谈判贝叶斯学习流程图

价格 v_d 的各种可能性取值进行估计，如表 1 所示。

那么，天然气供给商对大用户的保留价格的估计为： $E(v_d^1) = 4.86$ 。

大用户对天然气供给商的保留价格 v_p 的各种可能性取值进行估计，如表 2 所示。

那么，大用户对天然气供给商的保留价格的估计为： $E(v_p^1) = 4.14$ 。

据此，供应商的第一轮报价 $\alpha_1 = 4.86$ 元/m³。显然， $\alpha_1 > v_d$ ，大用户做出拒绝该报价的决策，并根据自己的贝叶斯信念进行贝叶斯学习，运用贝叶斯公式计算后验概率。

表 3 是经过贝叶斯学习后，大用户对天然气供给商的保留价格 v_p^2 的各种可能性取值的估计，对表 2 的数据可知，经过一次贝叶斯学习，大用户对天然气供给商的保留价格 v_p 的各种可能性取值的估计更加精确一些。此时， $E(v_p^2) = 4.190$ ，由此，大用户给出反报价 $\beta_1 = 4.190$ 元/m³。

天然气供给商在收到反报价后，与大用户进行同样的决策过程，不断循环反复，当谈判进行到第三轮时，双方达成协议，交易的价格 $v = 4.435$ 元/m³。

4.2. 双方都不进行贝叶斯学习

在谈判过程中，双方都不进行贝叶斯学习时，天然气供给商按照一定的下降率(本文为 1%)逐渐降低

每次的报价；大用户按照一定的上升率(本文为 1%)逐渐增加每次的报价。供应商从 4.86 元/m³ 开始，每次谈判都按 1% 的比例逐渐降价，大用户从 4.14 元/m³ 开始按 1% 的比例逐渐升价。经过 5 轮博弈后，交易达成，价格为 $v = 4.763$ 元/m³。

Table 1. The reservation price estimation of natural gas supplier
表 1. 天然气供给商对大用户保留价格的估计

$V_{d_i}^1$	4.70	4.80	4.85	4.90	4.95
$P(H_i)$	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2

Table 2. The reservation price estimation of big customer
表 2. 大用户对天然气供给商保留价格的估计

$V_{p_j}^1$	4.05	4.10	4.15	4.20	4.25
$P(G_j)$	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1

Table 3. The reservation price estimation of big customer after Bayesian learning
表 3. 经贝叶斯学习后大用户对天然气供给商的保留价格估计

$V_{p_j}^1$	4.05	4.10	4.15	4.20	4.25
$P(G_j)$	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1
α_1	$\alpha_1 = 4.815$				
$V_{p_j}^2$	4.13	4.17	4.19	4.20	4.23
$P(\alpha_i G_j)$	0.1	0.3	0.1	0.3	0.2
$P(G_j \alpha_i)$	0.105	0.316	0.159	0.316	0.105

4.3. 结果分析

不同的博弈模式下天然气供应商和大用户经过博弈后获得的共同效用采用 Sycara(2010)提出的共同效用函数来计算^[11], 即

$$U = \frac{(v - v_p) \times (v - v_d)}{(v_p - v_d)^2}$$

其中 v 为天然气供应商和大用户经博弈后最终达成的交易价格。

交易双方进行贝叶斯学习与不进行学习的交易情况对比如表 4 所示。

从博弈次数来看, 谈判双方在进行贝叶斯学习时, 博弈的次数少于不进行贝叶斯学习的次数, 这说明, 谈判双方通过贝叶斯学习可以减少谈判的次数, 提高谈判的效率, 从而有效地降低谈判的交易成本。

从共同效用的大小来看, 谈判双方在进行贝叶斯学习时获得的共同效用较高, 这表明贝叶斯学习可以使谈判双方对对方的保留价格有更加准确的认识, 从而使结果更加能够接近信息对称下的谈判。

5. 结论

根据天然气供给商与大用户双边谈判交易的特点, 将贝叶斯学习模型引入到天然气供给商与大用户双边谈判交易的博弈分析中, 通过分析, 得出以下结论:

Table 4. Contrast between two different situations
表 4. 两种情况下交易情况对比

	进行贝叶斯学习	不进行贝叶斯学习
博弈次数	3	5
交易价格(元/m ³)	4.435	4.763
共同效用	0.242	0.117

1) 建立了基于贝叶斯学习的天然气价格双边谈判模型, 谈判双方将每轮竞价后获得的后验概率转化为下一轮竞价的先验概率。通过对对方认识的不断修正改进自身的报价策略, 具有很强的实用性以及操作性。

2) 天然气供给商与大用户经过贝叶斯学习后, 可以有效的减少谈判的次数, 提高谈判的效率, 降低谈判的成本。

3) 通过贝叶斯学习, 能提高天然气供给商与大用户的共同效用。

参考文献 (References)

- [1] 李越, 李怀祖, 张文修. 概率和模糊条件下谈判报价模型[J]. 系统工程理论方法应用 2009, 8(2): 43-47.
- [2] V. L. Smith. Experimental auction markets and the walrasian hypothesis. *Journal of Political Economy*, 1995, 4(73): 387-393.
- [3] V. L. Smith. Microeconomic systems as an experimental science. *American Economic Review*, 2008, 5(72): 923-955.
- [4] D. J. Kang, B. H. Kim and D. Hur. Supplier bidding strategy based on non-cooperative game theory concepts in single auction power pools. *Electric Power Systems Research*, 2007, 77(5-6): 630-636.
- [5] 李志民, 李卫星, 王永建. 基于熵理论的最优潮流代理约束算法[J]. 电力系统自动化, 2010, 25(11): 28-31.
- [6] 谭忠富, 柏慧, 李莉等. 电力用户从发电商购电定价的双边贝叶斯动态博弈学习模型[J]. 华东电力, 2009, 27(3): 0384-0388.
- [7] F. S. Wen, A. K. David. Optimal bidding strategies and modeling of imperfect information among competitive generators. *IEEE Transaction on Power Systems*, 2001, 16(1): 15-22.
- [8] 茆诗松. 贝叶斯统计[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 1-118.
- [9] M. J. Osborne, A. Rubinstein. A course in game theory. London: The MIT Press, 2007: 225-237.
- [10] (美)迈尔森. 博弈论 - 矛盾冲突分析[M]. 北京: 中国经济出版社, 2011: 314-327.
- [11] K. Sycara. Bayesian learning in negotiation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2010, 48(1): 125-141.