

# 基于 Stackelberg 博弈的天然气定价机制研究

聂光华<sup>1,2</sup>

(1. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072; 2. 中石油昆仑燃气有限公司, 北京 100101)

**摘要:**为探求中国天然气行业未来市场竞争条件下由市场定价的可行策略,从中国天然气定价机制的现状出发,借鉴国外较成熟天然气市场定价经验,剖析未来市场条件下中国天然气定价机制的不同可行策略,并对不同策略的优劣进行对比分析。以博弈论的基本原理和方法为工具,构建天然气定价机制的理论模型,模型涵盖未来天然气行业上中下游定价机制的改革思路,并深入探讨天然气定价的内在机制。提出的天然气定价的定量模型一定程度上克服了原有天然气定价研究以定性分析为主、缺乏模型支持的片面性。结果表明,实行第三方准入制后,天然气生产商的定价和边际毛利均下降,而天然气配气商的定价下降,边际毛利升高。说明实行第三方准入制有利于引入竞争,同时使下游市场议价能力提高,用户利益得以保障。

**关键词:**天然气定价机制; Stackelberg 博弈; 第三方准入制; 供应链

**中图分类号:**F 224.32      **文献标志码:**A

## Natural gas pricing mechanism based on Stackelberg game model

NIE Guang-hua<sup>1,2</sup>

(1. School of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. PetroChina Kunlun Gas Company Limited, Beijing 100101, China )

**Abstract:** To explore a feasible pricing strategy in future competitive market of natural gas industry, reference from mature international natural gas market was drawn, and various pricing strategies and their advantages and disadvantages were analyzed based on the existing natural gas pricing mechanisms. By applying game theory, a pricing model of natural gas was established to illustrate the evolving pattern of natural gas upstream, medium-stream and downstream, and to analyze the inner mechanism of natural gas pricing. This study contributes to existing pricing theories by presenting a quantitative pricing model to fill in the research gap that current researches are mostly qualitative based. The results show that with third party access system, both the output price and the marginal profit of natural gas manufactures decrease. On the other hand, even though the output price of distributors decreases, their marginal profit increases. This presents evidence that third party access system is beneficial for competition and will enhance the bargaining power of downstream and increase users' consumer surplus.

**Key words:** natural gas pricing mechanism; Stackelberg game; third party access system; supply chain

《天然气发展“十二五”规划》提出,要建立反映资源稀缺程度和市场供求变化的天然气价格形成机制,加快理顺天然气与可替代能源的比价关系,充分发挥价格在调节供求关系中的杠杆作用,并为天然气价格最终市场化奠定基础。纵观国外较成熟天然气市场改革历程也可发现,尽管采取的措施不尽相同,但各国定价机制改革的方向大都是由垄断性定价向市场定价转变<sup>[1]</sup>,其中,引入第三方准入制度

是美、英等国天然气行业向市场定价转变的重要步骤<sup>[2]</sup>。目前中国天然气市场上,生产商垄断着天然气的勘探生产环节,通过建设天然气运输管道,同样包揽了中游管输环节,垄断力度较强<sup>[3]</sup>。中国天然气向市场定价转变,其重要改革环节就是要将天然气行业上中游相分离,建立专门的管道运输公司,从而降低上游生产商纵向一体化的程度。真正的管道公司建立后,其角色、职能也需要进一步明确。为研

究天然气定价机制改革的具体演化过程和实际效果,在市场定价机制下,根据管道公司是否参与天然气买卖,笔者将天然气供应链分成不实行第三方准入制的天然气供应链和引入第三方准入制的天然气供应链,并分别考察两种情形下的天然气定价策略。

## 1 不实行第三方准入制的天然气供应链博弈定价模型构建

在这类天然气供应链中,生产商负责上游天然气勘探开采,以生产价格将天然气出售给管道公司<sup>[4]</sup>;管道公司购入天然气后,通过长输高压管道输送至下游门站,并以门站价格出售给配气商或大工业用户;配气商再将天然气通过配气管网输送至最终用户。

根据天然气资源供需特点,在放松管制的条件下,在天然气供应链博弈中,生产商对管道公司有主导作用,而管道公司因其自然垄断地位,又对下游配气商有主导作用。简便起见,选取未来天然气市场中,上中下游三家相互独立且存在供求关系的企业(生产商、管道公司、配气商)进行建模分析,并且供应链各企业间遵从上游企业 Stackelberg 策略。

### 1.1 问题假设

为了使研究问题简便,给定如下的假设条件:

(1) 供应链成员都追求自身经济利益的最大化,每个成员都有决策权力。

(2) 最终顾客需求具有一定的价格弹性<sup>[5]</sup>。

### 1.2 不实行第三方准入制的天然气供应链博弈定价模型

Stackelberg 博弈采用逆向归纳法<sup>[6]</sup>,在市场条件下,各市场主体以利润最大化为决策目标。在第三阶段,配气商根据管道公司给出的价格  $T$ ,以自身利润  $\pi_r = (p - c_r - T)d - C_{fr} = (p - c_r - T)(D - kp) - C_{fr}$  最大化为目标决策价格  $p$ 。令  $\frac{\partial \pi_r}{\partial p} = 0$ ,即得到配气商最优配气价格,用  $p_1^*$  来表示,即有

$$p_1^* = \frac{D + kT + kc_r}{2k} \quad (1)$$

式中,  $C_{fr}$  为配气商的固定成本;  $c_r$  为配气商的边际成本;  $T$  为管道公司的销售价格,是管道公司的决策变量;  $d$  为配气价  $p$  下的市场需求量,假设  $d = D - kp$  ( $k > 0$ )<sup>[7]</sup>,  $D$  为市场规模(即市场最大的可能需求),  $k$  为价格敏感系数;  $\pi_r$  为配气商的利润。

在第二阶段,管道公司根据生产商提供的价格  $P$ (为生产商的决策变量及管道公司的获取成本)和

第三阶段配气商确定的价格  $p_1^*$ ,以自身利润  $\pi_i = (T - c_i - P)(D - kp) - C_{fi} = (T - c_i - P)(D - kT - kc_r)/2 - C_{fi}$  最大化为目标来寻求最优定价。令  $\frac{\partial \pi_i}{\partial T} = 0$ ,得到管道公司最优销售价格,用  $T_1^*$  来表示,即为

$$T_1^* = \frac{D + kP - kc_r + kc_i}{2k} \quad (2)$$

式中,  $c_i$  为管道公司的边际成本;  $C_{fi}$  为管道公司的固定成本;  $p$  为配气商的配气价格,是配气商的决策变量;  $\pi_i$  为管道公司的利润。

在第一阶段,生产商根据前两阶段配气商和管道公司的最优定价  $p_1^*$  及  $T_1^*$ ,以利润  $\pi_i = (P - c_i)d - C_{fi} = (P - c_i)(D - kP - kc_r - kc_i)/4 - C_{fi}$  最大化为目标寻求最优定价,即令  $\frac{\partial \pi_i}{\partial P} = 0$ ,得到生产商最优定价:

$$P_1^* = \frac{D + kc_i - kc_r - kc_i}{2k} \quad (3)$$

式中,  $c_i$  为生产商的边际成本;  $\pi_i$  为生产商的利润;  $C_{fi}$  为生产商的固定成本。

将  $P^*$  代入式(2)中,可以得到管道公司最优销售价格为

$$T_1^* = \frac{3D + kc_i - 3kc_r + kc_i}{4k} \quad (4)$$

再将  $T^*$  代入式(1)中,可以得到配气商最优配气价格为

$$p_1^* = \frac{7D + kc_i + kc_r + kc_i}{8k} \quad (5)$$

## 2 引入第三方准入制的天然气供应链博弈定价模型构建

与不实行第三方准入制的天然气供应链的最大区别在于,引入第三方准入制后,供应链中的管道公司不参与天然气买卖,作为第三方服务公司,其收费将受到政府的严格控制,即管输环节实行政府管制<sup>[8]</sup>。

发达国家成熟天然气市场实行第三方准入制的重点在于允许天然气供应链下游成员,如大工业用户、燃气电厂和地方配气公司直接与上游生产方商谈包括价格在内的购气合同,再委托管道公司输气,并向管道公司支付运输费<sup>[9]</sup>。参考成熟天然气市场定价机制,对实行第三方准入后的中国天然气供应链定价机制进行研究。

分析简化的供应链模型,依然假设选取未来天然气市场中,上中下游三家相互独立的生产商、管道

公司、配气商进行建模分析。

### 2.1 问题假设及符号说明

在引入第三方准入制后,生产商销售天然气给配气商;作为买方,配气商支付给自主选择的管道公司一定的管输费用,并将天然气卖给最终的消费者。生产商与配气商是独立的决策者,其决策目标是各自利润的最大化。

第三方准入制实行中,需要政府对管道运价设计中的费率进行设定。天然气市场中的用户类型是多变的,如大工业用户、燃气电厂和城市燃气用户等。这些不同类型的用户对天然气的需求弹性、对价格波动的承受能力等方面差异性较大的。管输定价方法要满足差异以提高管输利用率,降低用户的最终价格水平。因此,本文的管输定价方法采取两部制,即第三方管道运输公司收取的管输费用包括应收变动运输费用和应收固定运输费用两部分。应收变动运输费用按运输或接收的天然气量收取,与天然气管输中的变动成本有关;应收固定运输费用是用户无论利用管道与否都需要交付的,与管道输送气量,管道是否得到有效利用及对顾客的服务无关,而与天然气管道建设与维护过程中的固定成本、折旧等有关。

假设条件与不实行第三方准入制的天然气供应链中的情形相同。

### 2.2 引入第三方准入制的天然气供应链博弈定价模型

引入第三方准入制后的供应链系统中,天然气上游市场议价能力依然较强,因此建立一个以生产商为主导的 Stackelberg 博弈模型。

在第二阶段,配气商根据生产商给出的价格  $P$ , 以自身利润  $\pi_r = (p - c_r - P - c_u) d - C_{fr} - C_{fu} = (p - c_r - P - c_u)(D - kp) - C_{fr} - C_{fu}$  最大化为目标决策价格  $p$ , 即令

$\frac{\partial \pi_r}{\partial p} = 0$ , 可得到配气商最优配气价格, 用  $p_2^*$  来表示, 即为

$$p_2^* = \frac{D + kP + kc_r + kc_u}{2k} \tag{6}$$

式中,  $c_u$  为第三方管道运输公司的应收变动运输费用, 考虑单生产商、单配气商的情形, 可令  $c_u = (1 + \alpha)c_1, \alpha > 0$ ;  $C_{fu}$  为第三方管道运输公司的应收固定运输费用, 考虑单生产商、单配气商的情形, 可令  $C_{fu} = (1 + \beta)C_{1u}, \beta > 0$ 。

在第一阶段, 生产商根据第二阶段配气商确定的价格  $p_2^*$ , 以自身利润  $\pi_i = (P - c_i)(D - kp) - C_{fi} = (P$

$- c_i)(D - kp - kc_r - kc_u)/2 - C_{fi}$  最大化为目标来寻求最优定价, 即令  $\frac{\partial \pi_i}{\partial P} = 0$ , 可得到生产商的最优定价, 用  $P_2^*$  来表示, 即为

$$P_2^* = \frac{D + kc_i - kc_r - kc_u}{2k} \tag{7}$$

将  $P_2^*$  代入式(6)中, 得到配气商的最优定价为

$$p_2^* = \frac{3D + kc_i + kc_r + kc_u}{4k} \tag{8}$$

## 3 两种不同情形下的生产商、配气商定价及利润对比

为对不实行第三方准入制的天然气供应链博弈定价模型与引入第三方准入制的天然气供应链博弈定价模型进行比较分析, 这里假设两条供应链中, 天然气生产商和配气商的边际成本、固定成本均相同, 在第三方准入制度下, 政府需对管道公司进行严格的监控, 管道公司利润相对较低, 即  $\alpha$  与  $\beta$  的取值较小。

在不实行第三方准入制的天然气供应链模型中, 生产商、管道公司及配气商采取最优定价时, 市场需求量设为  $d_1$ , 不失一般性, 应有  $d_1 > 0$ , 可得

$$d_1 = D - kp_1^* = D - k \left( \frac{7D + kc_i + kc_r + kc_u}{8k} \right) = \frac{D - kc_i - kc_r - kc_u}{8}$$

在引入第三方准入制的天然气供应链模型中, 在它们都采取最优定价时, 市场需求量设为  $d_2$ 。同样不失一般性, 应有  $d_2 > 0$ , 可得

$$d_2 = D - kp_2^* = D - k \left( \frac{3D + kc_i + kc_r + kc_u}{4k} \right) = \frac{D - kc_i - kc_r - kc_u}{4}$$

### 3.1 两种不同情形下的生产商、配气商定价对比

#### 3.1.1 天然气供应链中生产商定价对比

对比式(3)及式(7), 由于  $c_u > c_1$ , 易得到:  $P_2^* < P_1^*$ 。

由此可以看出, 引入第三方准入制后, 天然气生产商较不实行第三方准入制条件下定价要低。

#### 3.1.2 天然气供应链中配气商定价对比

将式(5)与式(8)相减, 可得

$$p_1^* - p_2^* = \frac{7D + kc_i + kc_r + kc_u}{8k} - \frac{3D + kc_i + kc_r + kc_u}{4k} = \frac{D - kc_i - kc_r - kc_u - (kc_u - kc_1)}{8k}$$

显然当  $kc_u - kc_1 < D - kc_i - kc_r - kc_u$  时, 有  $p_2^* < p_1^*$ 。由于  $D - kc_i - kc_r - kc_u = 4d_2$ , 且  $c_u = (1 + \alpha)c_1$ , 从而即当  $\alpha c_1 < \frac{4d_2}{k}$  时, 有  $p_2^* < p_1^*$ 。

结合现实情况,对  $\alpha c_1$  与  $\frac{4d_2}{k}$  进行分析。Pindyck

研究了世界经合组织国家不同部门的需求结构,发现天然气长期价格弹性为 1.7<sup>[10]</sup>。Griffin 研究了 1955—1972 年共计 17 a 的各国天然气数据发现,价格短期弹性是 0.95,长期弹性为 2.61<sup>[11]</sup>。高千惠等发现中国天然气短期的价格弹性较小(在 0.6 以内),且不稳定,而长期价格弹性值较大(达到 2.5 左右),相对稳定<sup>[12]</sup>。故可认为,天然气价格弹性要

小于 3,由公式  $d_2 = D - kp_2^*$ ,得价格弹性  $\frac{kp_2^*}{d_2} < 3$ ,变形

可得到  $\frac{4}{3}p_2^* < \frac{4d_2}{k}$ 。显然,又有  $\alpha c_1 < \frac{4}{3}p_2^*$ 。因此,  $\alpha c_1$

$< \frac{4d_2}{k}$  必定成立,从而  $p_2^* < p_1^*$  必成立。即在市场条件

下,在引入第三方准入制后,天然气配气商定价将下降,天然气最终用户受益。同时,由  $d = D - kp$ ,可得  $d_2 > d_1$ 。

### 3.2 两种不同情形下的生产商、配气商利润对比

#### 3.2.1 天然气生产商获取的利润对比

在不实行第三方准入制时,记天然气生产商单位产品的边际毛利为  $M_{i1}$ ,可得

$$M_{i1} = P_1^* - c_i = \frac{D - kc_i - kc_r - kc_u}{2k}$$

在引入第三方准入制后,记生产商单位产品的边际毛利为  $M_{i2}$ ,可得

$$M_{i2} = P_2^* - c_i = \frac{D - kc_i - kc_r - kc_u}{2k}$$

进而可得

$$M_{i2} - M_{i1} = \frac{c_i - c_u}{2} < 0$$

由此可见,在引入第三方准入制后,由于天然气生产商最优定价的下调,使其单位产品的边际毛利下降  $\frac{c_u - c_i}{2}$ 。

#### 3.2.2 天然气配气商获取的利润对比

在不实行第三方准入制时,记天然气配气商单位产品的边际毛利为  $M_{r1}$ ,可得

$$M_{r1} = p_1^* - T_1^* - c_r = \frac{7D + kc_i + kc_r + kc_u}{8k} - \frac{3D + kc_i - 3kc_r + kc_u}{4k} -$$

$$c_r = \frac{D - kc_i - kc_r - kc_u}{8k} = \frac{d_1}{k}$$

在引入第三方准入制后,记天然气配气商单位产品的边际毛利为  $M_{r2}$ ,可得

$$M_{r2} = p_2^* - P_2^* - c_u - c_r = \frac{3D + kc_i + kc_r + kc_u}{4k} - \frac{D + kc_i - kc_r - kc_u}{2k} -$$

$$c_u - c_r = \frac{D - kc_i - kc_r - kc_u}{4k} = \frac{d_2}{k}$$

进而可得

$$M_{r2} - M_{r1} = \frac{d_2 - d_1}{k} > 0$$

由此可见,在引入第三方准入制后,天然气配气商单位产品的边际毛利得到提升。

## 4 结论

(1)分别给出了在不实行及引入第三方准入制两种情形中,天然气生产商、管道公司、配气商的最优定价策略。通过最优定价公式可以看出,经营中的变动成本会成为影响调价的重要因素,因此政府应注意对天然气企业进行技术扶持、鼓励技术创新、提高企业效率,从而降低成本,引导市场价格的降低。

(2)在引入第三方准入制后,天然气生产商的最优定价有所下降。这是因为在此情形下,下游配气商可直接与上游生产商进行价格谈判,且可自由选择管输公司,使得配气商议价能力明显增强,生产商在天然气供应链中的控制力有所下降,有利于天然气行业的健康发展。

(3)在引入第三方准入制后,天然气配气商的最优定价亦会有所下降。目前中国天然气价格相对偏低,在引入市场竞争定价机制后,天然气价格势必有较大程度的提升,使得天然气用户的利益受到损害。而第三方准入制度的实行,将使市场条件下天然气的终端价格有所下调,从而在一定程度上保障了天然气用户的利益。

(4)在引入第三方准入制后,天然气生产商单位产品边际毛利有所下降,而天然气配气商单位产品的边际毛利有所提升。这也印证了天然气生产商在供应链中的主导地位有所下降。同时,单位产品边际毛利的下降亦有利于提升天然气生产商勘探开采以增加天然气供应量、获取更多利润的积极性。

从对不实行第三方准入制和引入第三方准入制的天然气供应链博弈定价模型的比较分析中,可以看出,中国天然气行业实行“第三方准入”制度能够在保证供应安全的条件下提高天然气下游市场的议价能力,进而保证用户的利益,同时有利于引入竞争,提高天然气供应链效率。

## 参考文献:

- [1] GORDON D V, GUNSCH K, PAWLUK C V. A natural monopoly in natural gas transmission[J]. *Energy Economics*, 2003, 25(5):473-485.
- [2] MURRY Donald, ZHU Zhen. Asymmetric price responses, market integration and market power: a study of the U. S. natural gas market [J]. *Energy Economics*, 2008, 30:748-765.
- [3] 于立, 肖兴志, 姜春海. 自然垄断的“三位一体”理论[J]. *当代财经*, 2004(8):5-12.  
YU Li, XIAO Xing-zhi, JIANG Chun-hai. "Trinity" theory of natural monopoly[J]. *Contemporary Finance & Economics*, 2004(8):5-12.
- [4] 周淑慧, 杜国敏, 陈进殿. 积极稳妥高效发展城市燃气业务: 中国石油集团城市燃气业务发展之我见[J]. *国际石油经济*, 2008(6):29-35.  
ZHOU Shu-hui, DU Guo-min, CHEN Jin-dian. To develop urban gas business positively, stably and efficiently: opinions on CNPC's development of urban gas business [J]. *International Petroleum Economics*, 2008(6):29-35.
- [5] 姚锋敏, 滕春贤, 陈兆波, 等. 二层供应链网络均衡模型的研究[J]. *运筹与管理*, 2011, 20(5):8-13.  
YAO Feng-min, TENG Chun-xian, CHEN Zhao-bo, et al. A bilevel supply chain network equilibrium model [J]. *Operations Research and Management Science*, 2011, 20(5):8-13.
- [6] DONG J, ZHANG D, YAN H, et al. Multi-tiered supply chain networks: multi-criteria decision making under uncertainty[J]. *Annals of Operations Research*, 2005, 135:155-178.
- [7] 司江伟, 陈月璇, 丁浩. 天然气管道运输中两阶段动态博弈定价模型[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2010, 34(1):170-175.  
SI Jiang-Wei, CHEN Yue-xuan, DING Hao. Two-stage dynamic game-pricing model for natural gas pipeline transportation[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2010, 34(1):170-175.
- [8] yon HIRSCHHAUSEN Christian. Infrastructure, regulation, investment and security of supply: a case study of the restructured US natural gas market[J]. *Utilities Policy*, 2008, 16:1-10.
- [9] 周志斌, 周怡沛. 中国天然气产业链协调发展的基础、前景与策略[J]. *天然气工业*, 2009, 29(2):1-5.  
ZHOU Zhi-bin, ZHOU Yi-pei. Foundation, prospect and strategy of coordinated development of natural gas industrial chain in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2009, 29(2):1-5.
- [10] PINYCK R S. The structure of world energy demand [M]. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 1979:64-225.
- [11] BALTAGI B H, GRIFFIN J M. Pooled estimators vs. their heterogeneous counterparts in the context of dynamic demand for gasoline[J]. *Journal of Econometrics*, 1997, 77(4):303-327.
- [12] 高千惠, 叶作亮, 代丽, 等. 天然气价格弹性实证研究: 以成都地区为例[J]. *天然气工业*, 2012, 32(8):113-116.  
GAO Qian-hui, YE Zuo-liang, DAI Li, et al. Case studies of natural gas price elasticity in Chengdu, Southwest China[J]. *Natural Gas Industry*, 2012, 32(8):113-116.

(编辑 修荣荣)