

基于实物期权的供应链能力柔性决策研究

潘景铭, 唐小我, 倪得兵

(电子科技大学管理学院 成都 610054)

【摘要】应用实物期权方法研究完全竞争市场环境下的供应链管理中的能力决策问题。通过对能力投资决策的价值分析, 给出柔性条件下的能力决策规则, 并研究了市场演进的性质、投资成本和缺货成本对决策的影响。结果表明: 风险较大(小)的市场、较高(低)的能力投资成本和较低(高)的缺货成本将使得供应链管理者推迟(提前)其扩大能力决策的实施。

关键词 供应链; 能力; 柔性; 决策; 实物期权

中图分类号 O221.3; C931; F272.7 **文献标识码** A

A Study on the Supply Chain Capacity Decision with Flexibility Based on the Real Option

PAN Jing-ming, TANG Xiao-wo, NI De-bing

(School of Management, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract This paper applies the real-option approach to study the capacity decision in supply chain management under perfect competitive markets. Through analyzing the value of capacity investment decision, we give some rules of the capacity decision with flexibility. We also analyze the influence of three main factors upon the investment decision, which include the property of market evolvment, investment cost, and out of stock cost. The results show that a more (less) risky market, a higher (lower) capacity investment cost, or a lower (higher) out of stock cost is likely to postpone (advance) the implementing of capacity expansion.

Key words supply chain; capacity; flexibility; decision; real option

近年来, 关于供应链能力设计方面的研究比较多^[1-7]。但上述文献大多致力于一次性、静态条件下供应链能力的决策过程和决策方法方面的研究, 而在大多数供应链中, 生产和销售往往会持续多期。因此, 面对不确定性的市场需求, 能力决策是一个动态的决策过程。本文应用实物期权方法, 研究供应链在具备一定的初始生产能力的条件下, 面对一个不确定性的市场需求, 供应链管理者如何进行扩大能力的投资决策问题。

1 扩大能力决策的价值分析

供应链管理问题的研究大多是面临类似完全竞争的市场环境, 这样大多数供应链企业是价格的接受者。假设某一条供应链的市场需求 Q 在给定的价格下的变化可以描述成几何布朗运动, 即:

$$dQ = aQ dt + sQ dz \quad (1)$$

式中 $a > 0$ 为 Q 的期望增长率; $s > 0$ 为 Q 的波动率; dz 为维纳过程的增量, 且 $E(dz) = 0$, $Var(dz) = 1$,

收稿日期: 2003-06-16

基金项目: 教育部博士点基金资助项目(20030614011), 国家杰出青年科学基金资助项目(79725002), 信息产业部软科学基金资助项目

作者简介: 潘景铭(1973-), 男, 博士生, 主要从事供应链管理方面的研究。

$Q(0) = Q_0 > 0$ 。式(1)表示该供应链所面临的市场为增长性市场。随着市场需求向供应链初始能力的逼近, 供应链管理者为了实现其快速响应顾客需求的需要, 必然会考虑是否作出扩大其能力的决策。另外, 由于市场具有不确定性, 供应链中各节点企业在进行其能力投资决策时, 就如同持有一种类似于金融看涨期权的“选择权”(企业拥有在它所选定的某一未来时刻进行投资的权利但不是义务)^[8]。

假设供应链的初始能力为 \bar{O}_0 , 任意时刻单位能力的投资成本为 c , 若计划扩大能力为 $\Delta\bar{O}$, 则所需投资成本为 $I = c \cdot \Delta\bar{O}$ 。不失一般性, 假设供应链扩大能力前后的产品边际生产成本均为0, 且假定扩大能力投资和能力的增加可以在瞬间完成, 且供应链采用MTO生产策略。本文将分两种情况分析扩大能力前后供应链利润的变化情况:

1) 当 $Q \leq \bar{O}_0$ 时。供应链不需要扩大能力就能完全满足市场需求, 因此进行扩大能力的投资并不能给供应链带来额外利润, 即 $\Delta p(Q) = 0$, 它意味着投资无价值。

2) 当 $Q > \bar{O}_0$ 时。如果供应链不能及时扩大能力, 产品在市场上就会出现缺货现象。缺货会导致顾客满意度的下降和顾客的流失, 从而会使得供应链的销售成本中增加缺货成本, 最终影响企业利润。假设单位产品的缺货成本为 s , 则供应链的销售利润就表示为 $p_0 = p\bar{O}_0 - s(Q - \bar{O}_0)$ 。如果供应链及时扩大能力, 则供应链的销售利润为 $p_1 = pQ$ 。因此, 供应链扩大能力前后的销售利润增长额为:

$$\Delta p = p_1 - p_0 = pQ - [p\bar{O}_0 - s(Q - \bar{O}_0)] = (p + s)(Q - \bar{O}_0) \quad (2)$$

上述分析表明, 供应链扩大能力前后的销售利润增长额依赖于市场需求状态 Q 的大小。综合1)、2)两种情况, 可将供应链扩大能力前后的销售利润增长额表示为:

$$\Delta p(Q) = \begin{cases} 0 & Q \leq \bar{O}_0 \\ (p + s)(Q - \bar{O}_0) & Q > \bar{O}_0 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)展示了供应链管理者所拥有的扩大能力决策的价值基础。由于扩大能力可以获得一个依赖于需求状态 Q 的增加利润序列 $\{\Delta p(Q)\}$, 因而扩大能力决策的价值为增加利润序列 $\{\Delta p(Q)\}$ 的贴现值之和, 这意味着供应链的扩大能力决策应当在投资成本 I 与扩大能力价值之间进行权衡。

2 柔性决策分析

本文分以下两种情况对供应链扩大能力决策的权衡进行分析:

1) 当市场需求状态 $Q \leq \bar{O}_0$ 时, 供应链的初始能力能够满足利润最大化时的生产或供应的需要, 因而供应链管理者不会考虑扩大能力的决策。

事实上, 对于任意观察到的时刻 T 的市场需求状态 $Q(T) > \bar{O}_0$ 时, 由式(3)可知, 时刻 T 就开始扩大能力投资的期望净现值可表示为:

$$V_e = E_T \left\{ \int_T^{T^*(\bar{O}_0)} 0 \times e^{-r(t-T)} dt + \int_{T^*(\bar{O}_0)}^{\infty} [(p + s)(Q - \bar{O}_0)] e^{-r(t-T)} dt \right\} - I$$

式中 $E_T(\cdot)$ 为以时刻 T 观察到的市场需求状态 $Q(T)$ 为条件的条件期望算子; r 为贴现率且 $r > a$; $T^*(\bar{O}_0)$ 为过程 Q 首次到达 \bar{O}_0 的时刻。

若供应链等待到 $T + \Delta T$ (ΔT 足够小)才开始进行扩大能力投资, 则该投资在时刻 T 的期望净现值为:

$$V_w = E_T \left\{ \int_{T+\Delta T}^{T^*(\bar{O}_0)} 0 \times e^{-r(t-T)} dt + \int_{T^*(\bar{O}_0)}^{\infty} [(p + s)(Q - \bar{O}_0)] e^{-r(t-T)} dt \right\} - e^{-r\Delta T} I$$

从而, $V_w - V_e = (1 - e^{-r\Delta T})I > 0$ 。这表明, 在需求状态满足 $Q > \bar{O}_0$ 的情形下, 在时刻 T 等待一段时间才进行扩大能力投资比立即进行扩大能力的投资所创造的价值大, 也就是说等待决策优于立即决策。

由于 $Q(T)$ 为任意时刻 T 的市场需求状态, 所以在 $Q > \bar{O}_0$ 的情形下, 供应链不会做出扩大能力的决策。

2) 当市场需求状态满足 $Q > \bar{O}_0$, 即 $T > T^*(\bar{O}_0)$ 时, 供应链进行扩大能力投资决策可表示为:

$$\max_T E_T \left\{ \left[\int_T^{\infty} [(p + s)(Q - \bar{O}_0)] e^{-r(t-T)} dt - I \right] e^{-rT} \right\} \quad (4)$$

上式的含义是, 在 $Q > \bar{O}_0$ 的条件下, 供应链进行扩大能力投资的决策将会根据市场需求状态的变化, 选择使其期望净现值最大化的时刻 T 作为其最佳投资时刻。

记最大化问题(4)的值函数为 $F(Q)$, 并整理式(4)可得:

$$F(Q) \equiv \max_T E_T \left\{ \left[\int_T^\infty (p+s)Q \cdot e^{-r(t-T)} dt - \left(\frac{(p+s)\ddot{O}_0}{\tilde{n}} + I \right) \right] e^{-rT} \right\}$$

由于 Q 是由式(1)定义的几何布朗运动, 因此有 $E \left[\int_0^\infty Q e^{-rt} dt \right] = \frac{Q(0)}{r-a}$ 。将其代入 $F(Q)$ 并整理可得:

$$F(Q) \equiv \max_T \left\{ \left[\frac{(p+s)Q}{r-a} - \left(\frac{(p+s)\ddot{O}_0}{r} + I \right) \right] e^{-rT} \right\} \quad (5)$$

考虑供应链等待扩大能力投资的情形。假设供应链在时刻 t (相应的市场需求状态为 $Q(t)$) 时没有扩大能力, 如果他继续等待 dt , 则扩大能力机会(权利)的价值随着市场需求的演进而增加 dF 。由 ITO 引理和无套利均衡思想, 可得:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 Q^2 F''(Q) + aQF'(Q) - rF(Q) = 0 \quad (6)$$

同时, $F(Q)$ 还必须满足下面的边界条件:

$$F(0) = 0 \quad (7)$$

$$F(Q^*) = \frac{(p+s)Q^*}{r-a} - \left(\frac{(p+s)\ddot{O}_0}{r} + I \right) \quad (8)$$

$$F'(Q^*) = \frac{p+s}{r-a} \quad (9)$$

式(6)是一个二阶齐次线性方程式, 因此其解为任意两个相互独立的解的线性组合, 即:

$$F(Q) = A_1(Q)^{b_1} + A_2(Q)^{b_2} \quad (10)$$

式中 A_1 和 A_2 为待定常数; $b_1 > 1$, $b_2 < 0$ 。

由式(7)和 $b_2 < 0$ 可得 $A_2 = 0$, 从而 $F(Q) = A_1(Q)^{b_1}$, 进而式(8)和式(9)变为:

$$A_1(Q^*)^{b_1} = \frac{(p+s)Q^*}{r-a} - \left(\frac{(p+s)\ddot{O}_0}{r} + I \right) \quad (11)$$

$$A_1 b_1 (Q^*)^{b_1-1} = \frac{p+s}{r-a} \quad (12)$$

联立式(11)和式(12)可解出 Q^* 和 A_1 , 求得:

$$Q^* = \left(\frac{r-a}{r} \ddot{O}_0 + \frac{r-a}{p+s} I \right) \frac{b_1}{b_1-1} \quad (13)$$

$$A_1 = \frac{\frac{p+s}{r-a}}{b_1 \left(\frac{r-a}{r} \ddot{O}_0 + \frac{r-a}{p+s} I \right)^{b_1-1}} \quad (14)$$

从而等待区域($Q < Q^*$)的价值得以确定。综合等待区域和扩大能力区域两种情况, 该扩大能力决策机会的价值为:

$$F(Q) = \begin{cases} A_1(Q)^{b_1} & Q < Q^* \\ \frac{(p+s)Q}{r-a} - \left(\frac{(p+s)\ddot{O}_0}{r} + I \right) & Q \geq Q^* \end{cases} \quad (15)$$

归纳起来, 可以给出供应链进行扩大能力投资的最优柔性决策规则:

命题 1 当 $Q < \ddot{O}_0$ 时, 供应链将不会考虑进行扩大能力的投资。当 $Q > \ddot{O}_0$ 时, 供应链将考虑进行扩大能力的投资, 但最优投资时机 Q^* 则由式(13)确定: 当 $Q < Q^*$ 时等待, 当 $Q \geq Q^*$ 时进行扩大能力投资; 投资机会的价值由式(15)确定。

3 比较静态分析

根据命题1, 供应链管理是否进行扩大能力投资决策取决于观察到的市场需求状态 Q 与临界状态 Q^* 的对比关系, 而临界状态 Q^* 值的大小又取决于扩大能力投资成本 (I)、市场演进的性质 (s) 和缺货成本 (s)。下面考察扩大能力的投资时机如何取决于这些因素的不确定性程度。

命题 2 当市场需求状态 $Q > \bar{Q}_0$ 时, 供应链管理进行扩大能力投资的市场需求状态临界值 Q^* , 随着投资成本 I 的增大而增大, 随着投资成本 I 的减小而减小。

证明 当 $Q > \bar{Q}_0$ 时, 根据式(13), 可得: $\frac{dQ^*}{dI} = \frac{r-a}{p+s} \cdot \frac{b_1}{b_1-1}$ 。因为 $r > a$, $b_1 > 1$, 所以 $\frac{dQ^*}{dI} > 0$ 。

用类似命题2的方法, 可以证明如下两个命题。

命题 3 当市场需求状态 $Q > \bar{Q}_0$ 时, 供应链扩大能力投资的市场需求状态临界值 Q^* , 随着波动率 s 的增大而增大, 随着波动率 s 的减小而减小。

命题 4 当市场需求状态 $Q > \bar{Q}_0$ 时, 供应链扩大能力投资的市场需求状态临界值 Q^* , 随着缺货成本的增大而减小, 随着缺货成本的减小而增大。

4 结束语

由于拥有决策柔性等价于扩大了决策的可行空间, 因而实施投资行为所要求的门阈市场需求高于没有该柔性的门阈需求。本文的研究是基于供应链管理的实际问题出发, 因此其研究结果对于指导供应链能力设计具有一定的应用价值。

参 考 文 献

- [1] Cachon G P, Larivieri M A. Capacity choice and allocation: strategic behavior and supply chain performance [J]. Management Science, 1999, 45(8): 1 091-1 108
- [2] Hood S J, Bermon S, Barahona F. Capacity Planning Under Demand Uncertainty for Semiconductor Manufacturing [J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2003, 16(2): 273-280
- [3] Çatay B, Erengüç S, Vakharia A J. Tool capacity planning in semiconductor manufacturing [J]. Computers & Operations Research, 2003, 30(9): 1 349-1 366
- [4] Karabuk S, Wu S D. Coordinating strategic capacity planning in the semiconductor industry [J]. Operations Research, 2003 51(6): 839-849
- [5] Uribe A M, Cochran J K, Shunk D L. Two-stage simulation optimization for agile manufacturing capacity planning [J]. International Journal of Production Research, 2003, 41(6): 1 181-1 197
- [6] Chauhan S S, Nagi R, Proth J-M. Strategic capacity planning in supply chain design for a new market opportunity. International Journal of Production Research, 2004, 42(11): 2 197-2 206
- [7] 潘景铭, 唐小我. 需求不确定条件下柔性供应链生产决策模型及优化[J]. 控制与决策, 2004, 19(4): 411-415
- [8] Dixit A K, Pindyck R S. Investment under Uncertainty [M]. Princeton: Princeton University Press, 1994

编 辑 徐安玉