

文章编号: 1003-207(2005)01-0037-05

对称信息下具有需求预测更新的 供应链协调模型分析

陈金亮, 徐渝, 贾涛

(西安交通大学管理学院, 西安 陕西 710049)

摘要: 针对传统预测与订货模式对不确定的需求缺乏反应的问题, 建立了具有需求预测更新的订货模式模型, 比较了两种订货模式在集中决策供应链中的收益和最优订货水平。而后针对分散决策供应链中具有需求预测更新的批发价合同引起的双重边际化问题, 利用收入分配合同进行分析并得到解决方案及一些有用的结论。

关键词: 供应链协调; 需求预测更新; 供应链合同; 对称信息; 贝叶斯分析

中图分类号: F273; C931 文献标识码: A

1 引言

随着科技的进步与先进制造技术的不断发展, 供应链中生产与采购的提前期不断缩短, 供应链企业的利润也因此不断增加, 但是管理和控制提前期一直是供应链企业生产和运作的重要内容之一。应对和处理提前期的方法除了库存策略之外还有提前订货策略, 即下游企业在预测市场需求的基础上, 提前一段时间订货, 以便上游企业有足够的时间进行生产、设计、和运输等活动。传统的提前订货策略是下游企业一次订货和上游企业一次生产, 此时若订货太少会出现缺货损失, 若订货太多则会出现滞销损失, 此外上下游企业分散决策还会造成双重边际化(double marginalization)问题, 因此传统的提前订货策略存在很大的缺陷。

为了弥补预测不准确的缺陷, Fisher 和 Hammond^[1]等人提出了精确反应策略, 通过多次订货使零售商对需求预测的准确性增强。Eppen^[2]和 Iyer 以时髦商品采购与销售为例, 建立了快速反应的随机动态规划模型, 通过预测更新降低了需求不确定性的影响。Iyer 和 Bergen^[3]基于 Bayesian 理论方法, 比较分析了快速反应策略与传统的提前订货策略的差别, 得出快速反应策略是比传统的策略帕雷

托优化的重要结论。Gurnani 和 Tang^[4]在报童模型的基础上探讨了面临两次订货的零售商的最优订货策略, 并给出了信息对称条件下与信息不对称条件下的不同结果。Donohue^[5]研究了单一销售季节的两阶段报童模型, 供应商在两个阶段分别制造产品并对零售商进行销售, 零售商在两个阶段分别订货并对产品分销, 文章通过 (W_1, W_2, b) 合同协调供应商与零售商组成的供应链渠道并使总受益最大化, 其中 W_i 表示第 i 阶段的批发价格, b 表示未销售商品的退货价格。针对双重边际化问题, 人们设计了大量的供应链合同, Cachon^[6]给出了供应链合同的研究综述, Tsay^[7]建立了基本的数量柔性合同模型, 比较分析了集中决策和分散决策下供应链的协调, 研究了数量柔性合同下供应链的效率。Yunzeng Wang^[8]等研究分析了利润分配谈判合同下的供应链渠道绩效。Cachon 和 Lariviere^[9]基于报童模型对利润分配合同进行分析, 比较了集中决策与分散决策的结果, 分析了利润分配合同与回配合同、数量柔性合同的异同, 并对利润分配合同进行了扩展分析。张菊亮和陈剑^[10]在对供应链合同背景分析的基础上, 给出了零售商的努力影响需求变化的供应链合同。此外还有很多关于提前期与质量担保合同的研究^[11-13]。

本文研究的具有需求预测更新的订货模式不是通过增加订货次数, 也不是通过推迟订货压缩提前期, 来弥补传统提前订货策略的缺陷, 而是在传统提前订货策略的提前期中引入第二次订货修正, 从而减少一次订货的非准确性造成的损失。此外在具有

收稿日期: 2004-06-17; 修订日期: 2004-12-27

基金项目: 国家自然科学基金海外杰出青年基金 B 类项目 (70028102)

作者简介: 陈金亮 (1980-), 男 (汉族), 湖北唐山人, 西安交通大学管理学院硕士研究生, 研究方向: 系统优化及其应用物流供应链管理。

需求预测更新的订货模式下,提高订货预测的准确性与解决双重边际化可以分别处理。因此本文在建立具有需求预测更新的订货模型并比较传统的提前订货策略与具有需求预测更新的订货模式后,针对分散决策造成的双重边际化问题,采用相关的供应链合同加以分析并给出解决方案。

2 集中决策下具有需求预测更新的订货模型

2.1 问题的描述

传统的应对提前期的策略是在下游企业对市场需求预测的同时,提前一段时间订货,从而为上游的供应商预留足够的时间,以便进行相关的生产和设计等活动。如图 2-1 所示,零售商在销售期 t_2 时刻到达前的 t_0 时刻,对需求进行预测的同时订货,从而供应商可以在提前期 T 内安排与生产供应相关的活动。

具有需求预测更新的订货模式的基本思想,是在一般策略下的预测与订货的提前期中引入第二次订货修正,从而使下游企业可以充分利用两次订货之间的信息,减少一次订货的非准确性造成的损失。如图 2-2 所示,零售商在销售期 t_2 时刻到达之前的 t_0 时刻进行预测并订货,到 t_1 时刻零售商可以利用在 t_0 到 t_1 时刻产生的信息对 t_0 时刻的订货进行修正,从而减小一次订货的非准确性产生的损失。

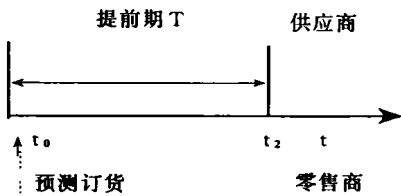


图 2-1 传统策略下的预测与订货

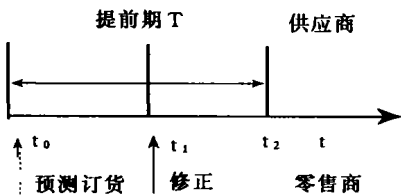


图 2-2 具有需求预测更新的订货

2.2 模型建立与求解

(1) 模型的变量及假设说明

在 t_0 时刻,不论传统策略下的预测与订货模式还是具有需求预测更新的订货模式,零售商根据先前的经验 θ (对市场平均需求的认识)预测 t_2 的市场需求并进行订货。

在 t_1 时刻,在具有需求预测更新的订货模式中,零售商根据在 $t_0 - t_1$ 时间内获得市场需求信息,修正 t_0 时刻的订货量。这里假定 θ 的密度函数为 $\pi(\theta)$, $\pi(\theta) \sim N(\mu, \sigma_1^2)$,在 θ 已知的条件下, $t_0 - t_1$ 时间内观察到的市场需求的密度函数为 $m(x/\theta)$, $m(x/\theta) \sim N(\theta, \sigma_2^2)$ 。其中, $\mu, \sigma_1^2, \sigma_2^2$ 为已知量, θ 是参数变量,其他变量及假设的说明如下:

- a. 单一的零售商销售单一的供应商提供的单一的同质产品
- b. 市场需求是随机变量,零售商要提前预测并订货,订货形式由二者协商决定
- c. 供应商的库存水平为 k ,单位原料成本为 c
- d. 零售商对商品的单位售价为 p
- e. 二者均为风险中性者
- f. 其它相关成本均为 0

(2) 基本模型及求解

根据上面假设的相关变量计算可以得到, t_0 时刻预测的 t_2 时刻的市场需求 x 的密度函数 $f(x) \sim N(\mu, \sigma_1^2 + \sigma_2^2)$, t_1 时刻预测的 t_2 时刻的市场需求 x 的密度函数 $f(x/\Delta) \sim N(\mu(\Delta), \sigma_2^2 + (1/\rho))$,其中 Δ 表示在 $t_0 - t_1$ 时间内观察到的市场需求的样本, $\rho = \frac{1}{\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2^2}$, $\mu(\Delta) = \frac{\sigma_2^2 \mu}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} + \frac{\sigma_1^2 \Delta}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ [14-15]

由供应商和零售商组成的供应链为一个集中决策系统时,系统的收益函数为:

$$\Pi_c(k) = \int_0^k p x g(x) dx + \int_k^\infty p k g(x) dx - ck \quad (1)$$

因收益函数为凹函数(一阶导数存在,二阶导数小于等于 0),故 k 在收益函数驻点处的取值使得收益函数极大。令收益函数最大时供应商的库存水平为 k^* ,则有标准的连续型报童模型的结果:

$$G(k^*) = (p - c)/p \quad (2)$$

(其中: $g(x), G(x)$ 为任意随机需求变量 x 的密度函数与分布函数)

将传统策略下预测与订货问题和具有需求预测更新的订货问题的相关参数,带入(1)(2)式,可得:传统模式下的最优库存水平:

$$k_{tr}^* = \mu + z(s) \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (3)$$

需求预测更新模式下的最优库存水平:

$$k_{fd}^* = \mu(\Delta) + z(s) \sqrt{\sigma_2^2 + (1/\rho)} \quad (4)$$

传统模式最大收益:

$$\Pi_{tr}^*(k_{tr}^*) = (p - c)\mu - p \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \phi(z(s)) \quad (5)$$

需求预测更新模式最大收益:

$$\Pi_{dfd}^*(k_{fd}^*) = (p - c)\mu(\Delta) - p \sqrt{\sigma_2^2 + 1/\rho} \phi(z(s)) \quad (6)$$

(其中: $\phi(\cdot)$, $\Phi(\cdot)$ 分别表示标准正态分布的密度函数与分布函数, 上面各式中的 $z(s) = \Phi^{-1}((p - c)/p)$, s 表示最优服务水平)

针对 Δ 的不同取值, 计算需求预测更新模式下期望的最优库存水平与期望的最大收益分别为:

$$Ek_{fd}^* = \mu + z(s) \sqrt{\sigma_2^2 + (1/\rho)} \quad (7)$$

$$E \Pi_{fd}^*(k_{fd}^*) = (p - c)\mu - p \sqrt{\sigma_2^2 + 1/\rho} \phi(z(s)) \quad (8)$$

比较(5)(8) 两式, 当两种模式下的最优服务水平相同时, 因 $\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \geq \sqrt{\sigma_2^2 + 1/\rho}$, 所以具有需求预测更新的订货模式比传统策略下订货模式所能得到的收入水平要高。相反, 具有需求信息更新的订货模式需要准备的库存水平比传统策略下订货模式所要准备的库存水平要低。这是供应链当中增加了 $t_0 - t_1$ 时间段内有关需求的信息, 使供应链末端的需求不确定性有所降低的原因。可见在集中决策的前提下, 具有需求信息更新的订货模式比传统策略下订货模式有更高的益处。

3 分散决策下具有需求预测更新的合同协调模型分析

3.1 批发价合同的双重边际化

批发价合同是指供应商和零售商在各自利益最大化的基础上相互约定固定的批发价格, 零售商根据市场需求和批发价格决定订货量, 供应商根据销售商的订货量组织生产库存, 销售损失完全由零售商承担。在批发合同当中, 假定供应商对零售商单位商品的转移价格为 w , 零售商对供应商的订货量为 Q , 其中 $p > w > c > 0$ 。此时系统当中供应商与零售商的利润函数分别为:

供应商的利润函数:

$$\Pi_s(k) = \int_0^k w x f(x/\Delta) dx + \int_k^\infty w k f(x/\Delta) dx - ck \quad (9)$$

零售商的利润函数:

$$\Pi_r(Q) = \int_0^Q p x f(x/\Delta) dx + \int_Q^\infty p Q f(x/\Delta) dx - w Q \quad (10)$$

所以, 假定使供应商与零售商各自利润最大化时的库存水平为 k_s^* , 订货量为 Q^* 则有:

$$Ek_s^* = \mu + z(s_1) \sqrt{\sigma_2^2 + (1/\rho)} \quad (\text{其中 } s_1 = (w - c)/w) \quad (11)$$

$$EQ_s^* = \mu + z(s_2) \sqrt{\sigma_2^2 + (1/\rho)} \quad (\text{其中 } s_2 = (p - w)/p) \quad (12)$$

因正态分布函数 $F(\cdot/\Delta)$ 为增函数, $p > w > c > 0$, 所以 $Ek_s^* < Ek_{fd}^*$, $EQ^* < Ek_{fd}^*$, 即分散决策时供应商的库存水平比集中决策时的库存水平低, 分散决策时零售商的订货量比集中决策时的订货水平低。当 $w \geq \sqrt{pc}$ 时, 供应链中产品的最终销售量为 Q_s^* , 当 $w < \sqrt{pc}$ 时, 供应链中产品的最终销售量为 k_s^* , 即供应链中产品的最终销售量为 $\min(k_s^*, Q^*)$ 。所以分散决策时供应链的整体收益比集中决策时要小, 供应链的整体收益受到了损失, 具有需求预测更新的订货模式没有解决传统的预测与订货模式中存在的双边际化问题, 因此仍需要用相关的供应链合同进行协调。

3.2 利润分配合同协调模型

利润分配合同是指供应商以某一较低的价格对零售商进行销售商品后, 从零售商那里取得零售商收入的一定比例, 从而解决供应链当中的双重边际化问题的契约形式。假定供应商和零售商不再完全以个人利益最大化进行库存和订货, 而是在考虑供应链整体收益的基础上进行库存和订货活动, 最后在协商的基础上进行利润分成。设零售商分得的销售收入的份额零售商的利润函数为:

$$\Pi_r(Q) = \alpha [\int_0^Q p x f(x/\Delta) dx + \int_Q^\infty p Q f(x/\Delta) dx] - w Q \quad (13)$$

通过对零售商的利润函数求一、二阶导数可知, 零售商的利润函数为凹函数, 假设最优的订货量为 Q_{rs}^* 则有:

$$EQ_{rs}^* = \mu + z(s_3) \sqrt{\sigma_2^2 + (1/\rho)} \quad (\text{其中 } s_3 = (\alpha p - w)/\alpha p) \quad (14)$$

要使利润分配合同下系统的整体收益达到集中决策时的收益, 供应商必须以低于单位成本的售价对零售商进行定价, 因此:

$$w = \alpha c \quad (15)$$

零售商的所得利润为:

$$E \Pi_r^*(Q_{rs}^*) = \alpha(p - c)\mu - \alpha p \sqrt{\sigma_2^2 + 1/\rho} \phi(z(s)) \quad (16)$$

供应商的所得利润为:

$$E \Pi_s^*(k_{rs}^*) = (1 - \alpha) E \Pi_{dfd}^*, \quad (\text{其中 } k_{rs}^* = Q_{rs}^*) \quad (17)$$

可见,只要供应商以低于其成本的价格对零售商进行订货,就能够实现系统的协调运作,使系统的总收益达最大。但是在供应商与零售商进行最后的利润分成时,必须保证供应商分得的利润能弥补其成本的损失,同时又能使其获得适当的收入,否则供应商不可能以低于成本的定价对零售商进行销售。

由(14)(16)(17)可知, α 的取值决定了供应链整体收益的大小和双方收益的分配, α 取值越小零售商的利润所得越小, 供应商的利润所得越大, 而且零售商利润的减少正好就是供应商利润的增加。因此 α 的取值是供应商与零售商谈判的核心。

4 数值与图解分析

假定 $\mu = 100, \sigma_1^2 = 9, \sigma_2^2 = 16$, 从而当零售商的单位售价和供应商的单位成本 p, c 取不同值的时候, 传统模式下的预测与订货策略和具有需求更新的订货策略的最优库存水平和最优收益如表 4-1 所示:

表 4-1

序号	p	c	k_{ir}^*	Ek_{dfd}^*	$\Pi_{ir}^*(k_{ir}^*)$	$E \Pi_{dfd}^*(k_{dfd}^*)$
1	10	1	106.4	105.9708	891.2076	891.7971
2	10	2	104.2	103.9184	785.9828	786.9226
3	10	3	102.6	102.4257	682.5754	683.7437
4	11	3	103.5	102.8455	781.7832	783.0046
5	12	3	103.35	103.1253	880.8758	882.1580
6	13	3	103.7	103.4519	980.2797	981.6019

从表 4-1 可以看出,在成本和定价相同的情况下,传统模式下的库存水平高于具有需求预测更新模式的库存水平,而具有需求预测更新模式的收益高于传统模式下的收益水平。此外,分别计算两种模式下第 2、3 行的收益与第 1 行收益的比值有:传统模式下为 0.88193、0.7659,具有需求预测更新模式下为 0.8824、0.7667;分别计算两种模式下第 4、5、6 行的收益与第 3 行收益的比值有:传统模式下为 1.1453、1.2905、1.4361,具有需求预测更新模式下为 1.1451、1.2901、1.4356,具有需求预测更新的模式的变化较小。因此当成本或价格有一定程度的波动时,具有需求预测更新的模式比传统的模式更稳定。

图 4-1 所示:

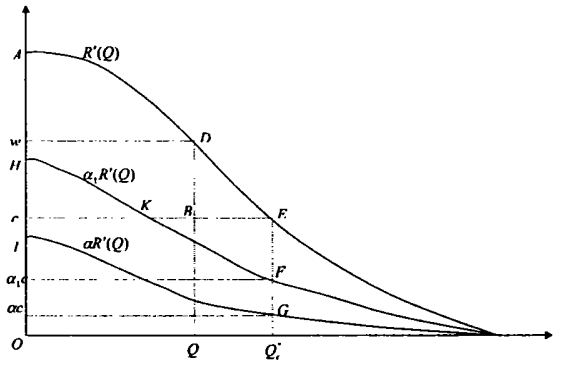


图 4-1

当供应商与零售商组成的供应链是集中决策的系统时, 边际收益曲线 $R'(Q)$ 与边际成本曲线 c 的交点为 E , 最优的订货量为 $Q_c^* = k_{dfd}^*$, 供应商与零售商的总收益之和为面积 $AAcE$ 。当供应商与零售商组成的供应链为分散决策的系统而且采用批发价合同时, 零售商的边际收益曲线 $R'(Q)$ 与其边际成本曲线 w 的交点为 D , 其最优订货量为 Q , 供应商与零售商的总收益之和为面积 $AcBD$, 其中零售商的收益为面积 AwD , 供应商的收益为面积 $wcBD$ 。可见, 当供应链为分散决策的系统时, 系统损失的收益至少为面积 DBE 。

当供应链为分散决策的系统而且采用收入分配合同时, 为了达到供应链的整体收益最大化, 供应商必须以低于成本的水平对零售商定价, 此时零售商的边际收益曲线在 $0 - R'(Q)$ 之间波动。如果零售商的边际收益曲线为 $\alpha R'(Q)$, 那么供应商对零售商的定价为 αc , 此时零售商的收益为面积 $IacG$, 供应商的收益为面积 $AAcE$ 减去面积 $cEG\alpha c$, 供应商的收益为其谈判的底线, 若面积 $AAcE$ 小于面积 $cEG\alpha c$, 则收入分配合同就无法达成。如果零售商的边际收益曲线为 $\alpha_1 R'(Q)$, 则零售商的收益为面积 $H\alpha_1 cF$, 供应商的收益为面积 $AHKE$ 减去面积 $cEF\alpha_1 c$, 同样只有当面积 $AHKE$ 小于面积 $cEF\alpha_1 c$ 时, 收入分配合同也无法达成。因此确定的 α 值范围必须保证供应商的收益为正。而 α 的具体取值取决于供应商与零售商在交易与协商当中所起的主导作用。

5 结束语

具有需求预测更新的订货模式在现实当中有比较好的应用。作者通过对一汽-大众公司及其特约经销商 BJ 公司的调研发现, 公司双方为了应对生产

$$\text{令 } R(Q) = \int_0^Q p x f(x/\Delta) dx + \int_Q^\infty p Q f(x/\Delta) dx,$$

对批发合同与收入分配合同进行图解比较分析, 见

与采购的提前期, BJ 公司每天登记汽车和备件出入库信息和销售信息, 按计划统计库存和销售状况, 并在此基础上提前 4 个月制定采购的滚动计划下达滚动订单, 而后 2 个月内 BJ 公司搜集为变更计划提供决策支持的内外信息, 2 个月后按照规定的程序制定变更计划下达变更订单, 实现对滚动订单的修正并形成最终的订货订单。这种订货方式基本与具有需求预测更新的订货模式相仿, 通过这种订货方式, BJ 公司提高了对需求预测的准确性, 从而在很大程度上减小了订货不准确造成的损失。对于分散决策的双重边际化问题, 除了采用收入分配合同解决之外, 还可设计其他相关的合同模型, 这也是具有需求预测更新的订货模式的后继研究问题, 另外还可以在信息不对称或多个供应商与多个零售商的前提下研究具有需求预测更新的订货模式。

参考文献:

- [1] M. Fisher, H. Hammond. Making supply meet demand in an uncertainty world[J]. *Harvard Business Review*, 1994, (5-6): 83-93
- [2] G. D. Eppen, A. V. Iyer. Improved fashion buying with Bayesian updates[J]. *operations research*, 1997, 45: 805-819.
- [3] A. V. Iyer, M. E. Bergen. Quick response in manufacturer-retailer channels[J]. *Management Science*, 1997, 43(4): 559-570
- [4] H. Gurnani, C. S. Tang. Optimal ordering decisions with uncertain cost and demand forecast updating[J]. *Management Science*, 1999, 45: 1456-1462.
- [5] K. L. Donohue. Efficient supply contract for fashion goods with forecast updating and two production modes[J]. *Management Science*, 2000, 46: 1397-1411.
- [6] G. P. Cachon. Supply chain coordination with contracts [C]. *Handbooks in operation and management science: supply chain management*. North-Holland, 2003
- [7] A. A. Tsay. The Quantity Flexibility Contract and Supplier-Customer Incentives[J]. *Management Science*, 1999, 45(10): 1339-1358.
- [8] Yunzeng Wang, Li Jiang, Zuojun Shen. Channel Performance Under Consignment Contract with Revenue Sharing [J]. *Management Science*, 2004, 50(1): 34-48.
- [9] G. Cachon, M. Lariviere. Contracting to assure supply: how to share demand forecasts in a supply chain[J]. *Management Science*, 2001, 47(5): 629-646.
- [10] 张菊亮, 陈剑. 销售商的努力影响需求变化的供应链的合约[J]. *中国管理科学*, 2004, 12(4): 50-56.
- [11] J. R. Grout, D. P. Christy. An inventory model of incentives of on-time delivery in just-in-time purchasing contracts[J]. *Naval Research Logistics*, 1993(40): 863-877.
- [12] D. J. Reyniers, C. S. Tapiero. The delivery and control of quality in supplier-producer contracts[J]. *Management Science*, 1995, 41(10): 1581-1589
- [13] G. Tagaras, H. L. Lee. Economic models for vendor evaluation with quality cost analysis[J]. *Management Science*, 1996, 42(11): 1531-1543
- [14] Berger, James O, 贾乃光译. 统计决策论及贝叶斯分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998, 118-152
- [15] 张尧庭, 陈汉峰. 贝叶斯统计推断[M]. 北京: 科学出版社, 1991, 46-58.
- [16] Sunil Chopra, Peter Meindl. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation[M]. Prentice Hall, Inc, 2001, 9: 368-405.

Supply Chain Coordination Model in Demand Forecast Update Conditions with Symmetric Information

CHEN Jin-liang, XU Yu, JIA Tao

(School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Facing the lack of response to uncertain demand in traditional ordering mode, based on the model of the demand forecast update ordering mode, compared the profit of supply chain and the optimal ordering level of the two different mode. Then, in order to solve the double marginalization problem induced by the wholesale price contract in demand forecast update mode, the revenue sharing contract model was made, the solution to the problem and some useful conclusions were drawn.

Key words: supply chain coordination; demand forecast update; supply chain contract; symmetric information; Bayesian analysis