

文章编号: 1000-6788(2007)07-0026-08

基于不同预测技术的供应链牛鞭效应分析

刘 红, 王 平

(1. 上海海事大学 交通运输学院, 上海 200135; 2. 中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海 200011)

**摘要:** 以 H·L·Lee 提出的消费需求 AR(1) 自相关模型为基础, 在假定采用订货点库存策略的前提下, 分别推导出了零售商采用移动平均法、一次指数平滑法预测及均方误差优化预测市场需求时, 生产商所面对的需求波动, 建立三种需求预测技术对一个两级供应链牛鞭效应影响的量化模型及仿真模型并进行了验证, 分析了不同预测技术对供应链牛鞭效应的影响及适用范围。

**关键词:** 供应链; 牛鞭效应; 移动平均预测; 指数平滑预测; 均方误差优化预测

**中图分类号:** F272.1 **文献标志码:** A

Bullwhip Effect Analysis in Supply Chain for Demand Forecasting Technology

LIU Hong, WANG Ping

(School of Transportation, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China; Marine Design & Research Institute of China, Shanghai 20011, China)

**Abstract:** Based on the AR(1) stochastic process model for consume demand which proposed by professor H·L·Lee, the qualified and simulation model of bullwhip effect are established when order-up-to inventory policy employed, which investigate demand variability caused by forecasting technology, such as moving average method (MA) or exponentially weighted moving average method (EWMA) or mean square error-optimal forecasting method (MSE-optimal). The influence of forecasting method on bullwhip effect are also analyzed, and carried out rules decreasing the bullwhip effect for employing MA, EWMA or MSE-optimal forecasting scheme.

**Key words:** supply chain; bullwhip effect; moving average forecasting method; exponential weighted moving average method; mean square error-optimal forecasting method

1 引言

牛鞭效应是指市场需求信息从供应链下游向上游传递的过程中, 需求波动被不断放大的一种现象. 这种现象使得供应链上游企业无法准确把握市场需求信息, 难以制订合理的企业能力需求规划和生产计划, 造成生产能力过剩或者库存产品过多或者缺货, 并使整个供应链的成本过高, 运作效率和顾客满意度降低.

供应链的牛鞭效应现象并非最近才发现. 20 世纪 60 年代初, Forrest<sup>[1]</sup>采用系统动力学原理, 首先分析了消费需求波动向上游企业逐级放大的供应链系统特性, 并用案例证实了该效应. 1984 年, 美国麻省理工学院的 Sterman<sup>[2]</sup>教授主持了一项以啤酒为对象的供应链库存管理动态模拟试验, 即所谓的啤酒实验, 也证实了牛鞭效应的存在, 并认为该效应是供应链成员系统性、非理性行为和对反馈信息的错误理解造成的. 20 世纪 90 年代初, 宝洁、通用、福特、克莱斯勒、惠普、康柏等公司在研究其产品的市场销售量和分销商订货量时, 也发现了牛鞭效应.

对供应链牛鞭效应现象做出较为系统全面分析的是 H·L·Lee<sup>[3,4]</sup>. 他建立了供应链牛鞭效应的量化模型, 并通过研究认为牛鞭效应是供应链成员战略性行为相互影响的产物, 是对各自局部利益的最优化决策

收稿日期: 2005-08-04  
资助项目: 国家自然科学基金(70273019); 上海市教委科技项目(04FB11)

作者简介: 刘红(1969—), 女(汉), 重庆市人, 上海海事大学副教授, 博士生, 主要研究方向: 交通运输规划与管理, 供应链管理; 王平(1968—), 男(汉), 浙江绍兴人, 中国船舶及海洋工程设计研究院军船中心高级工程师, 博士, 主要研究方向: 军船设计及研究, 供应链管理.

的博弈结果·H·L·Lee 同时给出了影响供应链牛鞭效应的四个主要因素:供应链成员对需求信息的处理技术;批量订货方式;价格波动;以及预计供应量不足导致的零售商之间的短缺博弈·之后的学者基本上都是围绕着上述观点展开研究的<sup>[5~9]</sup>·

本文着重研究需求信息的处理技术对供应链牛鞭效应的影响问题·作者以 H·L·Lee<sup>[3,4]</sup>提出的市场消费需求的 AR(1)自相关过程为基础,建立移动平均、一次指数平滑预测技术和均方误差优化预测技术对供应链牛鞭效应影响的量化模型及仿真模型,分析不同预测技术对供应链牛鞭效应的影响及适用条件·

2 问题描述

考察一个简单的两级供应链系统,由一个零售商和一个生产商组成·假设零售商是生产商的唯一买方,他们之间只交易一种产品·双方的行为发生在一个无限离散的时间范围内,即  $t = -\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty$ ·在  $t$  期末,零售商根据过去的销售数据,采用一定的预测技术对  $t+1$  期的市场需求进行估计,并根据一定的库存策略确定订货量,在  $t+1$  期初向生产商发出订单  $q_t$ ·进一步假定从生产商到零售商的补货备货期为常量  $l$ ,则零售商在  $t+l+1$  期初收到货物·

假设零售商面对的市场消费需求  $D_t$  为一个简单的 AR(1)自相关过程:

$$D_t = \mu + \rho D_{t-1} + \epsilon_t,$$

(1)

式中  $\mu$  为非负常量,  $\rho$  为自相关系数,  $|\rho| < 1$ , 表征两个相邻时期市场消费需求之间的相关性,  $\epsilon_t$  为一独立同分布的随机变量,均值为 0, 方差为  $\sigma^2$ , 表征市场消费需求的波动误差·显然, 当  $\rho=0$  时,  $D_t$  服从均值为  $\mu$ , 方差为  $\sigma^2$  的独立同分布·

由(1)式容易导出:

$$\begin{cases} E(D_t) = \frac{\mu}{1-\rho} \\ \text{Var}(D_t) = \frac{\sigma^2}{1-\rho^2} \end{cases}.$$

(2)

假定零售商采用移动平均法、一次指数平滑法或均方误差优化法来预测  $t$  期开始的  $l$  期内的真实市场需求  $D_t^l$ , 采用订货点法来计算库存的最高水平  $S_t$ , 并据此确定向生产商的订货量  $q_t$ , 即:

$$S_t = D_t^l + z\sigma_t^l,$$

(3)

$$q_t = S_t - S_{t-1} + D_t,$$

(4)

式中,  $z\sigma_t^l$  为零售商  $l$  期内的安全库存,  $z$  表征服务水准系数,  $\sigma_t^l$  为  $l$  期内预测误差标准差的估计值·显然, 此时该两级供应链的牛鞭效应即可归结为求解  $\text{Var}(q_t)/\text{Var}(D_t)$ ·

3 移动平均法预测时的牛鞭效应

采用移动平均法预测时, 以前  $p$  期的需求数据为基础, 则从  $t$  期开始的  $l$  期内市场消费需求的估计值  $D_t^l$  为:

$$D_t^l = l \left[ \frac{\sum_{i=1}^p D_{t-i}}{p} \right],$$

(5)

根据式(3)和式(4), 不难得到零售商向生产商发出的订货量  $q_t$  为:

$$\begin{aligned} q_t &= D_t^l - D_{t-1}^l + z(\sigma_t^l - \sigma_{t-1}^l) + D_t \\ &= l \left[ \frac{D_{t-1} - D_{t-p-1}}{p} \right] + D_{t-1} - z(\sigma_t^l - \sigma_{t-1}^l) \\ &= \left[ 1 + \frac{l}{p} \right] D_{t-1} - \left[ \frac{l}{p} \right] D_{t-p-1} + z(\sigma_t^l - \sigma_{t-1}^l), \end{aligned}$$

(6)

为简化分析, 进一步假定  $z=0$ , 即不考虑安全库存, 则  $q_t$  的方差为:

$$\begin{aligned} \text{Var}(q_t) &= \left(1 + \frac{l}{p}\right)^2 \text{Var}(D_{t-1}) - 2\left(\frac{l}{p}\right)\left(1 + \frac{l}{p}\right) \text{Cov}(D_{t-1}, D_{t-p-1}) + \left(\frac{l}{p}\right)^2 \text{Var}(D_{t-p-1}) \\ &= \left[1 + \frac{2l}{p} + \frac{2l^2}{p^2}\right] \text{Var}(D_t) - \left[\frac{2l}{p} + \frac{2l^2}{p^2}\right] \rho \text{Var}(D_t) \\ &= \left[1 + \left(\frac{2l}{p} + \frac{2l^2}{p^2}\right)(1 - \rho)\right] \text{Var}(D_t), \end{aligned} \tag{7}$$

上式中：

$$\begin{aligned} \text{Cov}(D_{t-1}, D_{t-p-1}) &= \frac{\sigma^2 \rho}{1 - \rho^2} \\ \text{Var}(D) &= \text{Var}(D_t) = \text{Var}(D_{t-1}) = \dots = \frac{\sigma^2}{1 - \rho^2} \end{aligned} \tag{8}$$

于是在  $z=0$  时有：

$$\frac{\text{Var}(q_t)}{\text{Var}(D_t)} = 1 + \left(\frac{2l}{p} + \frac{2l^2}{p^2}\right)(1 - \rho) > 1, \tag{9}$$

上式表明，零售商采用移动平均法预测市场的消费需求时，其向生产商发出的订货量的波动  $\text{Var}(q_t)$  大于真实市场需求波动  $\text{Var}(D_t)$ ，即存在着牛鞭效应。

4 一次指数平滑法预测时的牛鞭效应

采用一次指数平滑法预测时，从  $t$  期开始的  $l$  期内市场消费需求的估计值  $D_t^l$  为：

$$D_t^l = l[\alpha D_t + (1 - \alpha) D_{t-1}], \tag{10}$$

式中  $\alpha(0 < \alpha < 1)$  为平滑系数。将上式代入式(3)和式(4)，可得  $q_t$  为：

$$q_t = D_t^l - D_{t-1}^l + z(\hat{\sigma}_t^l - \hat{\sigma}_{t-1}^l) + D_t = (1 + \alpha l) D_{t-1} - \alpha l D_{t-1} + z(\hat{\sigma}_t^l - \hat{\sigma}_{t-1}^l), \tag{11}$$

同样，假定零售商不考虑安全库存，则  $q_t$  的方差为：

$$\begin{aligned} \text{Var}(q_t) &= (1 + \alpha l)^2 \text{Var}(D_{t-1}) - 2\alpha l(1 + \alpha l) \text{Cov}(D_{t-1}, D_{t-1}) + \alpha^2 l^2 \text{Var}(D_{t-1}) \\ &= \left[1 + \frac{2\alpha l[2 - (1 - L)\alpha]}{1 - (1 - \alpha)\rho} \cdot \frac{1 - \rho}{2 - \alpha}\right] \text{Var}(D_t), \end{aligned} \tag{12}$$

式中：

$$\text{Cov}(D_{t-1}, D_{t-1}) = \text{Cov}\left[D_{t-1}, \sum_{i=1}^{t-2} \alpha(1 - \alpha)^{i-1} D_{t-1-i}\right] = \frac{\alpha \rho}{1 - (1 - \alpha)\rho} \cdot \frac{\sigma^2}{1 - \rho^2}, \tag{13}$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(D_t) &= \text{Var}[\alpha D_{t-1} + (1 - \alpha) D_{t-1}] \\ &= \alpha^2 \text{Var}(D_{t-1}) + (1 - \alpha)^2 \text{Var}(D_{t-1}) + 2\alpha(1 - \alpha) \text{Cov}(D_{t-1}, D_{t-1}) \\ &= \frac{1 + \rho(1 - \alpha)}{1 - \rho(1 - \alpha)} \cdot \frac{\alpha}{2 - \alpha} \cdot \frac{\sigma^2}{1 - \rho^2}, \end{aligned} \tag{14}$$

于是，当  $z=0$  时，有：

$$\frac{\text{Var}(q_t)}{\text{Var}(D_t)} = 1 + \frac{2\alpha l[2 - (1 - L)\alpha]}{1 - (1 - \alpha)\rho} \cdot \frac{1 - \rho}{2 - \alpha} > 1. \tag{15}$$

上式表明，零售商采用一次指数平滑法预测市场的消费需求时，其向生产商发出的订货量的波动  $\text{Var}(q_t)$  大于真实市场需求波动  $\text{Var}(D_t)$ ，即存在着牛鞭效应。

5 均方误差优化预测时的牛鞭效应

简单两级供应链中零售商采用均方误差优化预测技术来预测其面对服从  $AR(1)$  过程的市场需求，采用订货点策略确定其向上游成员发出的订货量时，零售商对  $t + i$  期的市场消费需求估计  $D_t^l$  表现为如下的条件期望：

$$D_{t+i}^l = E(D_{t+i} | D_t), \tag{16}$$

对式(1)进行递归, 不难得到如下关系:

$$\begin{aligned} D_{t+i} &= (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{i-1}) \mu + \rho^i D_t + \rho^{i-1} \epsilon_{t+1} + \rho^{i-2} \epsilon_{t+2} + \dots + \epsilon_{t+i} \\ &= \frac{1-\rho^i}{1-\rho} \mu + \rho^i D_t + \rho^{i-1} \epsilon_{t+1} + \rho^{i-2} \epsilon_{t+2} + \dots + \epsilon_{t+i}, \end{aligned} \tag{17}$$

由于  $\epsilon_t$  是独立同分布的随机变量, 因此对于任意的  $i=1, 2, 3, \dots$ , 有:

$$E(\epsilon_{t+i} \mid D_t) = 0, \tag{18}$$

于是, 式(16)成为:

$$D_{t+i} = E(D_{t+i} \mid D_t) = \frac{1-\rho^i}{1-\rho} \mu + \rho^i D_t, \tag{19}$$

而零售商对  $l$  备货期内的需求总估计值  $D_t^l$  为:

$$\begin{aligned} D_t^l &= \sum_{i=1}^l \left( \frac{1-\rho^i}{1-\rho} \mu + \rho^i D_t \right) = \frac{l\mu}{1-\rho} - \frac{\mu}{1-\rho} \sum_{i=1}^l \rho^i + \left( \sum_{i=1}^l \rho^i \right) D_t \\ &= \frac{l\mu}{1-\rho} - \frac{\mu}{1-\rho} \cdot \frac{\rho(1-\rho^l)}{1-\rho} + \frac{\rho(1-\rho^l)}{1-\rho} D_t \\ &= \frac{\mu}{1-\rho} \left[ l - \frac{\rho(1-\rho^l)}{1-\rho} \right] + \frac{\rho(1-\rho^l)}{1-\rho} D_t, \end{aligned} \tag{20}$$

根据式(3)和式(4), 不难得到零售商向生产商发出的订货量  $q_t$  为:

$$\begin{aligned} q_t &= D_t^l - D_{t-1}^l + D_t + z(\hat{\sigma}_t^l - \hat{\sigma}_{t-1}^l) \\ &= \left[ 1 + \left( \frac{1-\rho^l}{1-\rho} \right) \cdot \rho \right] D_t - \left( \frac{1-\rho^l}{1-\rho} \right) \cdot \rho D_{t-1} + z(\hat{\sigma}_t^l - \hat{\sigma}_{t-1}^l), \end{aligned} \tag{21}$$

同样, 假定零售商不考虑安全库存, 则  $q_t$  的方差为:

$$\text{Var}(q_t) = (1 + C)^2 \text{Var}(D_t) - 2(1 + C) C \rho \text{Var}(D_t) + C^2 \text{Var}(D_t), \tag{22}$$

式中:

$$C = \left[ \frac{1-\rho^l}{1-\rho} \right] \rho. \tag{23}$$

注意到对于  $AR(1)$  需求, 有:

$$\text{Cov}(D_t, D_{t-1}) = \frac{\sigma^2 \rho}{1-\rho^2} = \rho \text{Var}(D_t), \tag{24}$$

因此:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Var}(q_t)}{\text{Var}(D_t)} &= 1 + 2 \frac{\rho(1-\rho^l)}{1-\rho} (1-\rho) \left[ 1 + \frac{\rho(1-\rho^l)}{1-\rho} \right] \\ &= 1 + 2\rho(1-\rho^l) \left( \frac{1-\rho+\rho-\rho^{l+1}}{1-\rho} \right) = 1 + 2\rho(1-\rho^l) \left( \frac{1-\rho^{l+1}}{1-\rho} \right), \end{aligned} \tag{25}$$

由上式可知, 当  $0 \leq \rho < 1$  时, 对于任意的  $l \geq 1$ , 必然有  $\frac{\text{Var}(q_t)}{\text{Var}(D_t)} > 1$ , 即供应商所面对的订货量波动  $\text{Var}(q_t)$  大于真实市场需求波动  $\text{Var}(D_t)$ , 供应链存在牛鞭效应. 而当  $-1 < \rho \leq 0$  时, 对于任意的  $l \geq 1$ , 必然有  $\frac{\text{Var}(q_t)}{\text{Var}(D_t)} < 1$ , 即供应商所面对的订货量波动  $\text{Var}(q_t)$  小于真实市场需求波动  $\text{Var}(D_t)$ , 供应链不存在牛鞭效应. 这一点与移动平均预测技术和一次指数平滑预测技术明显不同.

6 不同预测技术的供应链牛鞭效应仿真建模与验证

为进一步考察两级供应链  $AR(1)$  需求过程不同预测技术对牛鞭效应的影响, 对不同预测技术的供应链牛鞭效应进行仿真建模. 采用美国 Imagine That 公司开发的通用仿真平台 EXTEND 进行仿真建模, 该软件轻巧、直观、功能强大, 易于使用, 建模效率高.

仿真对象为由一个零售商和一个供货商(或称为生产商)组成的简单两级供应链. 假设零售商是供货

商的唯一买方,他们之间只交易一种产品.双方的行为发生在一个无限离散的时间范围内,即  $t=-\infty, \dots, -1, 0, 1, \dots, \infty$ . 在  $t$  期末,零售商根据过去的销售数据,同时考虑到从供货商到零售商的补货备货期  $l$ , 分别采用移动平均预测技术、一次指数平滑预测技术与均方误差优化预测技术对  $t+l$  期的市场需求进行估计,采用订货点法确定订货量,在  $t+l$  期初向供货商发出订单  $q_t$ , 零售商在  $t+l+1$  期初收到货物. 允许零售商无条件退货,且假定服务水平  $z=0$ . 零售商面对的需求为一个简单的平稳  $AR(1)$  自相关时间序列.

基于上述假设的简单两级供应链牛鞭效应 EXTEND 仿真模型如图 1~3 所示.

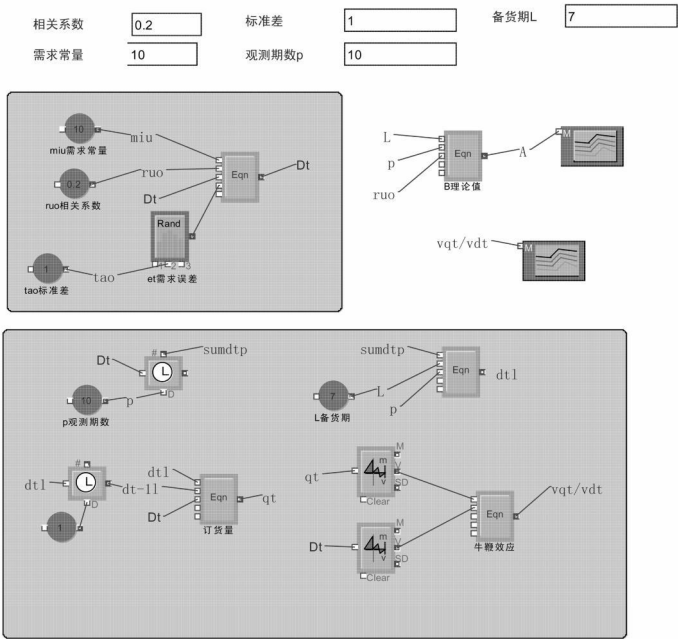


图 1 基于  $AR(1)$  需求的两级供应链牛鞭效应 EXTEND 仿真模型(移动平均预测)

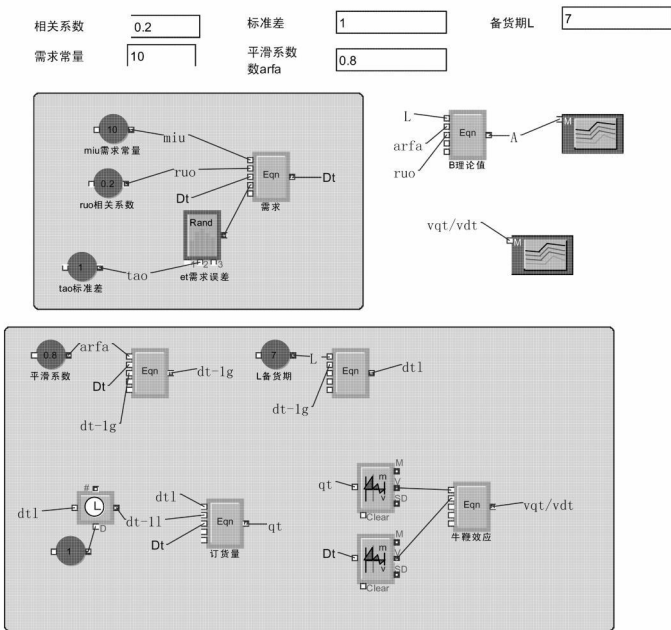


图 2 基于  $AR(1)$  需求的两级供应链牛鞭效应 EXTEND 仿真模型(一次指数平滑预测)

为验证上述仿真模型,假定需求相关系数  $\rho=0.2$ ,需求常量  $\mu=10$ ,标准差  $\sigma=1$ ,零售商备货期  $l=7$ ,基础观测数据期数  $p=10$ ,平滑系数  $\alpha=0.8$ ,仿真分别运行  $10^5$  及  $10^6$  时间单位,各运行 4 次,预热期为一 100 时间单位.仿真结果与理论结果式(9)、(15)、(25)的比较分别如表 1~3 所示.

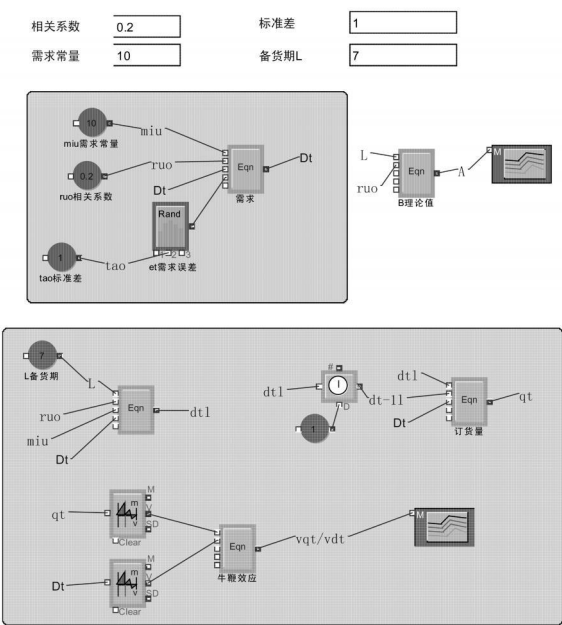


图 3 基于  $AR(1)$  需求的两级供应链牛鞭效应 EXTEND 仿真模型(均方误差优化预测)

表 1 仿真  $10^5$ 、 $10^6$  单位时间牛鞭效应试验值与理论值的比较(移动平均预测)

运行次数	1	2	3	4
理论值	3.380	3.380	3.380	3.380
$10^5$ 时间单位试验值	3.392	3.371	3.381	3.394
相对误差(%)	0.355	-0.266	0.030	0.414
$10^6$ 单位时间试验值	3.376	3.384	3.382	3.384
相对误差(%)	-0.118	0.118	0.059	0.118

表 2 仿真  $10^5$ 、 $10^6$  单位时间牛鞭效应试验值与理论值的比较(一次指数平滑预测)

运行次数	1	2	3	4
理论值	53.889	53.889	53.889	53.889
$10^5$ 时间单位试验值	53.859	53.586	53.712	53.330
相对误差(%)	-0.056	-0.562	-0.328	-1.037
$10^6$ 单位时间试验值	53.890	53.809	53.907	53.888
相对误差(%)	0.002	-0.148	0.033	-0.002

表 3 仿真  $10^5$ 、 $10^6$  单位时间牛鞭效应试验值与理论值的比较(均方误差优化预测)

运行次数	1	2	3	4
理论值	1.500	1.500	1.500	1.500
$10^5$ 时间单位试验值	1.500	1.498	1.501	1.503
相对误差(%)	0.00	-0.133	0.067	0.2
$10^6$ 单位时间试验值	1.499	1.500	1.500	1.500
相对误差(%)	-0.067	0.00	0.00	0.00

由以上表 1~3 可以得出以下结论:基于  $AR(1)$  需求、订货点库存策略、分别采用移动平均预测技术、一次指数平滑预测及均方误差优化预测技术的两级供应链牛鞭效应仿真结果与理论结果吻合得很好,所建立的仿真模型是正确的.仿真  $10^5$  时间单位与  $10^6$  时间单位对仿真结果的影响很小,仿真运行  $10^5$  时间单位已有足够的精度.

7 AR(1)需求下不同预测技术的供应链牛鞭效应比较分析

为考察不同预测技术对供应链牛鞭效应的影响,在上述验证后的仿真模型基础上采用正交设计进行仿真试验.对影响上述三种预测技术的四个因素  $p$ 、 $\alpha$ 、 $\rho$  和  $l$ ,各设计三个水平进行比较试验,各因子的水平取值如表 4 所示.由于当需求相关系数  $\rho$  小于 0 时,采用均方误差优化预测技术的两级供应链不存在牛鞭效应,而采用移动平均预测技术和一次指数平滑预测技术时两级供应链均存在牛鞭效应,没有比较的必要,因此试验时需求相关系数  $\rho$  仅考虑取正值.选用正交表  $L_9(3^4)$  安排试验.同时假定需求常量  $\mu=10$ ,标准差  $\sigma=1$ ,仿真  $10^6$  时间单位,预热期为一 100 时间单位.仿真试验结果如表 5 所示.

表 4 因素水平表(三种预测技术比较)

水平/因子	$p$	$\alpha$	$\rho$	$l$
1 水平	5	0.2	0.2	5
2 水平	10	0.5	0.5	10
3 水平	15	0.8	0.8	15

表 5 不同预测技术对基于 AR(1)需求的两级供应链牛鞭效应的影响比较

试验号	$p$	$\alpha$	$\rho$	$l$	移动平均	指数平滑	均方误差
1	1(5)	1(0.2)	1(0.2)	1(5)	4.994	3.962	<b>1.500</b>
2	2(10)	3(0.8)	1(0.2)	2(10)	4.998	103.319	<b>1.500</b>
3	3(15)	2(0.5)	1(0.2)	3(15)	5.009	81.014	<b>1.499</b>
4	3(15)	3(0.8)	2(0.5)	1(5)	<b>1.889</b>	20.250	2.906
5	1(5)	2(0.5)	2(0.5)	2(10)	12.623	29.940	<b>3.005</b>
6	2(10)	1(0.2)	2(0.5)	3(15)	8.484	14.350	<b>3.005</b>
7	2(10)	2(0.5)	3(0.8)	1(5)	<b>2.334</b>	5.454	4.971
8	3(15)	1(0.2)	3(0.8)	2(10)	<b>3.143</b>	5.691	7.539
9	1(5)	3(0.8)	3(0.8)	3(15)	17.155	63.947	<b>8.511</b>

注:黑体为最小值.

由上述比较试验,我们有如下主要结论:

- 1)由试验 1~3 可知,在需求相关系数较小时,无论备货期长短,采用均方误差优化预测技术均有最小的牛鞭效应.至于移动平均预测技术和一次指数平滑预测技术,只有在指数平滑系数取小值,且零售商的备货期和基础数据期数均取小值时,采用移动平均预测技术时的牛鞭效应大于一次指数平滑预测技术.
- 2)由试验 4~9 可知,随着需求相关系数的增大,采用均方误差优化预测技术时的牛鞭效应与采用移动平均预测技术时的牛鞭效应的比较与零售商备货期的大小有关.如当需求相关系数等于 0.5 时,若零售商备货期小于 5~10 之间的某个数值  $l^*$ ,则移动平均预测技术的牛鞭效应小于均方误差优化预测技术,而当零售商备货期大于  $l^*$ ,则均方误差优化预测技术的牛鞭效应小于移动平均预测技术.而且  $l^*$  随着需求相关系数的增大而增大.
- 3)由试验 8 可以预见,随着需求相关系数的增大,采用均方误差优化预测技术时的牛鞭效应与采用一次指数平滑预测技术时的牛鞭效应的比较也应存在与移动平均预测技术比较时相类似的结论.即存在一个  $l^*$ ,当零售商备货期小于该值时,一次指数平滑预测技术的牛鞭效应小于均方误差优化预测技术,当零售商备货期大于该值时,均方误差优化预测技术的牛鞭效应小于一次指数平滑预测技术.并且  $l^*$  应随着平滑系数的减小而增大.

8 结论

本文推导了基于 AR(1)需求和订货点库存策略,零售商分别采用移动平均预测技术、一次指数平滑预测技术和均方误差优化预测技术来预测其所面对的市场需求时,简单两级供应链的牛鞭效应量化模型.在此基础上利用 EXTEND 软件建立了零售商采用三种预测技术时简单两级供应链牛鞭效应的仿真模型并进

行了验证. 采用正交试验技术, 比较了零售商分别采用三种预测技术预测市场需求时简单两级供应链的牛鞭效应, 有如下主要结论:

1) 随着需求相关系数的增大, 采用均方误差优化预测技术时的牛鞭效应与采用移动平均预测技术时的牛鞭效应的比较与零售商备货期的有关. 即存在某个备货期  $l^*$ , 当零售商备货期小于  $l^*$  时, 移动平均预测技术的牛鞭效应小于均方误差优化预测技术, 而当零售商备货期大于  $l^*$ , 均方误差优化预测技术的牛鞭效应小于移动平均预测技术. 而且  $l^*$  随着需求相关系数的增大而增大.

2) 随着需求相关系数的增大, 采用均方误差优化预测技术时的牛鞭效应与采用一次指数平滑预测技术时的牛鞭效应的比较也与零售商备货期的有关. 即存在一个备货期  $l^*$ , 当零售商备货期小于  $l^*$  时, 一次指数平滑预测技术的牛鞭效应小于均方误差优化预测技术, 当零售商备货期大于  $l^*$  时, 均方误差优化预测技术的牛鞭效应小于一次指数平滑预测技术. 并且  $l^*$  随着平滑系数的减小而增大.

#### 参考文献:

- [1] Forrester J W. Industrial Dynamics[M]. New York: MIT Press and John Wiley & Sons Inc, 1961.
- [2] Sterman J D. Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment [J]. Management Science, 1989, 35(3): 321—339.
- [3] Lee H L, Padmanabhan V, Whang S. The bullwhip effect in supply chains[J]. Sloan Management Review, 1997, 38(3): 93—102.
- [4] Lee H L, Padmanabhan V, Whang S. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect[J]. Management Science, 1997, 43(4): 546—558.
- [5] Richard M. Quantifying the bullwhip effect in supply chains[J]. Journal of Operations Management, 1997, (15): 89—100.
- [6] Frank Chen, Zvi Drzner, Ryan Jennifer K. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead time, and information[J]. Management Science, 2000, 46(3): 436—443.
- [7] Lee Hau L, So Kut C, Tang Christopher S. The value of information sharing in a two-level supply chain[J]. Management Science, 2000, 46(5): 626—643.
- [8] 傅烨, 郑绍濂. 供应链中的牛鞭效应——成因及对策分析 [J]. 管理工程学报, 2002, 16(1): 82—83.  
Fu Ye, Zheng Shaolian. Bullwhip effect in supply chain — cause and countermeasure [J]. Journal of Industrial Engineering/Engineering Management, 2002, 16(1): 82—83.
- [9] 万杰, 寇纪淞, 李敏强. 需求信息预测与处理中的牛鞭效应[J]. 天津大学学报, 2003, 36(3): 369—373.  
Wan Jie, Kou Jisong, Li Minqian. Bullwhip effect in demand forecasting and processing [J]. Journal of Tianjin University, 2003, 36(3): 369—373.