第 4 卷 第 2 期
2004 年 6 月
交通运输工程学报
Journal of Traffic and Transportation Engineering
Vol. 4 No. 2
June 2004

文章编号:1671-1637(2004)02-0085-04

企业供应链中库存与运输服务

陈治亚,付延冰,陆凤山,方晓平
(中南大学 交通运输工程学院,湖南 长沙 410075)

摘　要:应用随机过程和管理经济学理论,研究了企业供应链中库存和运输服务。按企业总费用最少的原理,建立了单种商品的库存模型,导出了不同需求分布和不同服务水平时订货量、订货点和最大库存容量等的计算公式;同时导出了考虑运输费用的库存模型和合理的送车间隔时间的计算公式。实例表明这两种模型的建立是可行的。

关键词:物流;库存;运输服务;随机服务理论;供应链管理
中图分类号:F50　　**文献标识码**:A

Stock and transport service of enterprise supply chain

CHEN Zhi-ya, FU Yan-bing, LU Feng-shan, FANG Xiao-ping
(School of Traffic and Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: Based on stochastic process theory and management economy theory, this paper studied the stock and transport service. Due to the principle that the total cost in an enterprise should be the least, this paper put forward a stock model of one kind of product, and deduced the formulas of order quantity, order point and the most stock quantity under varying demand distribution conditions and the service standard for customers, and put forward a stock model, which includes the transportation cost. The tested results show that those models are feasible. 5 tabs, 8 refs.

Key words: logistics; stock; transport service; stochastic service theory; supply chain management

Author resume: CHEN Zhi-ya(1958-), male, professor, doctoral tutor, 86-731-8830806, czy@mail.csu.edu.cn.

0 引　言

企业供应链是由原材料供应点与生产加工点以及生产加工点与客户之间的 2 条沟通渠道组成的,包含了生产—运输—销售一体化的价值链活动[1]。供应链管理的目的在于使生产系统能较好地管理由原料到生产成品,由厂家到客户的生产、运输和销售过程,提高客户的满意度,降低企业生产成本。供应链管理的决策中心是库存和运输服务 2 个关键问题,库存能增加实物的时间价值,运输服务能增加实物的空间价值[1],研究供应链的管理活动也就是研究物品的时空价值。

1 供应链管理

物流是物质(有形和无形)在运载工具和运输网络容量有限的条件下,在客户的需求随机变化的环境中,根据信息流由供给点向需求点的流动过程,即控制管理实物供给渠道和实物需求渠道之间的时空间隔,是企业的一体化管理活动,因而企业物流管理也被称为供应链管理。企业供应链中的关键性活动是

收稿日期:2003-08-03
基金项目:湖南省自然科学基金项目(02JJY2106)
作者简介:陈治亚(1958-),男,湖南临湘人,中南大学教授,博导,从事交通运输规划与管理研究.

指它们或者在总成本中所占比重很大,或者是有效协调完成物流工作的关键性环节。库存和运输服务是供应链管理成本消耗最大的活动,库存一方面保证产品对顾客的可得性,另一方面使生产和物流以更加灵活和更加有效的方法进行。同时,客户服务水平决定了产出水平和供应链系统的反应能力,物流成本随着服务水平的提高呈指数增长[2],因此,服务水平的设定是降低供应链活动成本的重要因素。

2 商业企业的库存模型

2.1 客户对单一商品需求的分布情况

客户对商品量的需求是随机的[3],根据对湖南省几家大型超市(新一佳、家润多、旺和等)实际资料的统计分析,发现客户对单一商品需求分布一般为均匀分布、指数分布和正态分布3种情况[4,5]。

设客户对某种商品的需求量为 s,分布密度为 $f(s)$,期望值为 $\bar{s}$,均方差为 $\sigma(s)$,偏离系数为 $v(s)$,任一时刻这种商品的库存量为 I,令 $t_s=\frac{s-\bar{s}}{\sigma(s)}$,表示库存量为 s 时开始订货,从这一时刻起至所订货物到达仓库时的间隔时间。当 $s\to I$ 时

$$t_I=\frac{I-\bar{s}}{\sigma(s)}\Rightarrow I=\bar{s}+t_I\sigma(s) \tag{1}$$

在任意时刻库存量为 I 时,3种分布的平均缺货量 E_I、缺货系数 F_I 和服务水平 Z_I 的计算公式见表1。当需求量为正态分布时,服务水平 Z_I、订货至货物到达仓库的间隔时间 t_I 和缺货系数 F_I 的关系[6]见表2。

2.2 商业企业库存模型的构建

根据客户对某种商品的需求分布情况便可求出合理的订货量(每次的订货数量为 Q)和相应的订货点(开始订货时的库存量为 P)以及总的库存费用[7]。

表1 E_I、F_I 和 Z_I 的计算公式

Tab.1 Formulas of E_I、F_I and Z_I

分布	平均缺货量(E_I)	缺货系数(F_I)	服务水平(Z_I)
均匀分布	$E_I=\frac{\sigma(s)}{4\sqrt{3}}(\sqrt{3}-t_I)^2$	$F_I=\frac{(\sqrt{3}-t_I)^2}{4\sqrt{3}}$	$Z_I=1-\frac{v(s)}{4\sqrt{3}}(\sqrt{3}-t_I)^2$
指数分布	$E_I=\sigma(s)e^{-(1+t_I)}$	$F_I=e^{-(1+t_I)}$	$Z_I=1-e^{-(1+t_I)}$
正态分布	$E_I=\sigma(s)[f(t)-t_I\varphi(t)]$	$F_I=\frac{E_I}{\sigma(s)}=f(t)-t_I\varphi(t)$	$Z_I=1-v(s)F_I$

表2 Z_I、t_I 和 F_I 的关系

Tab.2 Relationship among Z_I、t_I and F_I

t_I	$f(I)$	$\varphi(I)$	F_I	服务水平 Z_I/a					
				0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
−2.5	0.0175	0.9938	2.947	—	—	—	—	—	—
−2.0	0.0540	0.9772	2.008	0.000	0.000	—	—	—	—
−1.5	0.1295	0.9332	1.529	0.236	0.080	0.000	0.000	—	—
−1.0	0.2420	0.8413	1.083	0.460	0.350	0.250	0.140	0.000	0.000
−0.5	0.3521	0.6915	0.698	0.650	0.580	0.510	0.440	0.370	0.300
0	0.3989	0.5000	0.399	0.800	0.760	0.720	0.680	0.640	0.600
0.5	0.3521	0.3085	0.198	0.900	0.880	0.860	0.840	0.820	0.800
1.0	0.2420	0.1587	0.084	0.958	0.950	0.940	0.930	0.925	0.916
1.5	0.1295	0.0668	0.029	0.985	0.982	0.980	0.975	0.973	0.970
2.0	0.0540	0.2280	0.008	0.996	0.995	0.944	0.994	0.993	0.992

库存模型的总费用 E 由3部分组成:订货费用 $E_{订}$,它与订货的次数有关,而与订货数量无关;存储费用 $E_{存}$,它与库存商品的数量有关;缺货费用 $E_{缺}$,表示仓库缺少货物时的损失,则库存总费用为

$$E=E_{订}+E_{存}+E_{缺}$$

(1)$E_{订}$。设某种商品的年需求量(即年销售量)为 S,每次订货量为 Q,则年订货次数为 $\frac{S}{Q}$;若每次订货费为 $C_{订}$,则年订货费为

$$E_{订}=\frac{S}{Q}C_{订}$$

(2)$E_{存}$。设所订货物到达仓库时所应保持的最低库存量为 B,$B=P-\bar{s}$,则平均库存量为 $\frac{Q}{2}+B$;设每单位货物的存贮费为 $C_{存}$,则年库存费为

$$E_{存}=\left(\frac{Q}{2}+B\right)C_{存}=\left(\frac{Q}{2}+P\right)C_{存}-\bar{s}C_{存}$$

(3)$E_{\text{缺}}$。设库存量为 P 时的缺货系数为 F_p，需求量的偏离系数为 $v(s)$，平均需求量为 $\bar{s}$，则每次订货间隔内的缺货量为 $v(s)F_p\bar{s}$，设缺少一个单位产品的损失为 $C_{\text{缺}}$，则年缺货费为

$$E_{\text{缺}}=v(s)F_p\bar{s}\ \frac{S}{Q}C_{\text{缺}}=F_p\sigma(s)\frac{S}{Q}C_{\text{缺}}$$

因此，一年内库存模型的总费用为

$$E=\frac{S}{Q}C_{\text{订}}+\left(\frac{Q}{2}+P\right)C_{\text{存}}-\bar{s}C_{\text{存}}+\frac{F_p\sigma(s)S}{Q}C_{\text{缺}} \quad (2)$$

为了使总费用最小，对费用函数式(2)中的 Q 和 P 求偏导，并使之等于 0，即

$$\frac{\partial E}{\partial Q}=\frac{-C_{\text{订}}\ S}{Q^2}+\frac{1}{2}C_{\text{存}}-\frac{F_p\sigma(s)S}{Q^2}C_{\text{缺}}=0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial E}{\partial P}=C_{\text{存}}+\frac{S\sigma(s)C_{\text{缺}}}{Q}\ \frac{\partial F_p}{\partial P}=0 \quad (4)$$

式(3)经变换可得

$$Q=\sqrt{\frac{2S}{C_{\text{存}}}\left[C_{\text{订}}+\sigma(s)\ C_{\text{缺}}F_p\right]} \quad (5)$$

当库存量为订货点 P 时，由式(1)可知

$$t_p=\frac{P-\bar{s}}{\sigma(s)}$$

按照复合函数的微分规则有

$$\frac{\partial F_p}{\partial P}=\frac{\partial F_p}{\partial t_p}\frac{\partial t_p}{\partial P}=\frac{\partial F(t_p)}{\partial t_p}\ \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}P}\left[\frac{P-\bar{s}}{\sigma(s)}\right]=\frac{\partial F(t_p)}{\partial t_p}\ \frac{1}{\sigma(s)}$$

代入式(4)有

$$C_{\text{存}}+\frac{SC_{\text{缺}}}{Q}\ \frac{\partial F(t_p)}{\partial t_p}=0 \quad (6)$$

根据客户对商品需求的不同分布情况就可以推导出相应的订货量和订货点的计算公式，3 种分布情况下的 Q 和 P 公式列于表 3。

表 3　Q 和 P 的计算公式

Tab. 3　Formulas of Q and P

	订货量(Q) 和订货点(P)
均匀分布	$Q=\sqrt{\dfrac{2C_{\text{订}}\ C_{\text{缺}}\ S^2}{C_{\text{存}}[SC_{\text{缺}}-2\sqrt{3}\sigma(s)C_{\text{存}}]}}$
	$P=\bar{s}+\sigma(s)\sqrt{3}-2\sqrt{3}\sqrt{\dfrac{2C_{\text{订}}\ C_{\text{存}}}{C_{\text{缺}}[SC_{\text{缺}}-2\sqrt{3}\sigma(s)C_{\text{存}}]}}$
指数分布	$Q=\bar{s}+\sqrt{s^{-2}+\dfrac{2SC_{\text{订}}}{C_{\text{存}}}}$
	$P=\bar{s}\ln\left(\dfrac{C_{\text{存}}}{SC_{\text{缺}}}\bar{s}+\sqrt{\dfrac{2SC_{\text{订}}}{C_{\text{存}}}+s^{-2}}\right)$
正态分布	$Q=-\sigma(s)t_p\pm\sqrt{\sigma^2(s)t_p^2+\left[\dfrac{2SC_{\text{订}}}{C_{\text{存}}}+\dfrac{2\sigma(s)SC_{\text{缺}}\ f(t_p)}{C_{\text{存}}}\right]}$
	$P=t_p\sigma(s)+\bar{s}$

对于指数分布，当设定服务水平 Z_p 后，可以确定 Q 和 P 的最佳值 Q^* 和 P^*

$$Z_p=1-v(s)F_p\Rightarrow F_p=\frac{1-Z_p}{v(s)}$$

而 t_p 取决于 F_p，它可应用经验公式求得[3]

$$t_p=2.5-3.46F_p^{0.4}$$

2.3　实例分析

设存贮同种货物的仓库，货物按随机的间隔时间出库。每月期望订货量(销售量)$\bar{s}=1\ 000$ 单位，年订货量(销售量)$S=12\ 000$ 单位，在库存量为 P 单位货物时根据需要补充 Q 单位货物，并补足。从订货到到货需要时间 t_p，若每次订货费 $C_{\text{订}}=500$ 元，库存费 $C_{\text{存}}=0.6$ 元，缺货费 $C_{\text{缺}}=1.5$ 元/单位货物。试求合理的订货量 Q^* 和订货点 P^*。订货方案见表 4，计算结果见表 5。

表 4　三种方案

Tab. 4　Three kinds of schemes

方案	分布	$\bar{s}$	$\sigma(s)$	$v(s)$
1	均匀分布	1 000	500	0.5
2	指数分布	1 000	1 000	1.0
3	正态分布	1 000	500	0.5

表 5　计算结果

Tab. 5　Calculation results

指标	分布率				
	均匀分布	指数分布	正态分布		
			0.90	0.95	0.99
订货量 Q/t	4 620	5 580	5 100	4 610	3 930
订货点 P/t	1 525	1 680	1 345	1 560	1 887
储备点 B/t	525	680	345	560	887
订货次数 N/次	2.60	2.17	2.35	2.60	3.06
订货日期 T/d	141	168	156	141	119
服务水平/%	0.966	0.814			
缺货系数 F_p	0.066	0.186	0.200	0.110	0.020
缺货量 E_l/t	53	186	100	50	10
实际总费用 E/万元	3 134	3 755	3 268	3 215	8 286
需要库存 M/t	5 112	5 070	5 345	5 120	4 807

由表 5 可知：均匀分布时总费用最少(服务水平相近时)；指数分布时总费用最大(服务水平相近时)；正态分布的 3 种服务水平中当 $Z_p=0.95$ 时最优。因此，在供应链设计时应采用指数分布；在实际检验时应采用具体分布律。

3　工业企业的库存模型

设某企业在单位时间内均衡生产某产品 k 单位，先将产品送到仓库暂时存放，再由仓库装车发往

销售地。设单位时间内存贮单位产品的费用为$C_{存}$;到仓库取送一次车辆的费用为$C_{取送}$,与每次取送的车辆数无关;车辆在仓库外(货物专用线)排队等待装车和装车作业停留时间的费用为$C_{停}$/veh,与每次装车数有关;若在θ周期内,企业总共生产η单位产品,求库存容量应为多少时,才能使总费用最少?合理的送车间隔时间T为多少最好?

为了便于计算,将单位货物看作一车货物。设最大库存容量为Q,在两次发货之间的平均库容量为$\frac{Q}{2}$,故其平均存贮费为$\frac{Q}{2}C_{存}$,而在θ周期内的存贮费为$\frac{Q\eta}{2k}C_{存}$,取送车辆的总费用为$\frac{\eta}{Q}C_{取送}$。

若每次在仓库装车n veh($n=Q$),在仓库内有i台装车机器,每台装车机器将装$I=\frac{n}{i}$veh,每装1 veh的平均时间为$\frac{1}{\mu}$,一旦装完全部车辆后,一起拉到车站。那么一次装车所有车辆在货物专用线上总共停留时间为$\frac{n^2}{\mu i}$,在θ周期内车辆在专用线停留的总费用为$\frac{\theta\eta}{\mu i}C_{停}$。因此,在$\theta$周期内的总费用为

$$E=\frac{Q\eta C_{存}}{2k}+\frac{\eta C_{取送}}{Q}+\frac{\theta\eta C_{停}}{\mu i^2}$$

为了得到最优值,使$\frac{dE}{dQ}=0$,解得

$$Q^*=\sqrt{\frac{2C_{取送}ki\mu}{C_{存}i\mu+2C_{停}k}} \tag{7}$$

由$\frac{d^2E}{dQ^2}=\frac{2\eta C_{取送}}{Q^3}>0$,可知最佳库容量为$Q^*$时总费用最少,合理送车间隔时间为

$$T=\frac{Q^*}{k} \tag{8}$$

某工厂每小时生产$k=90$ t货物,或1.5车皮的货物,产品集中在仓库内,库内备存$i=2$台装车机,每台每小时装1 veh,每辆车的装载量为60 t,存贮费$C_{存}=0.6$元/(veh·h),车辆小时费率$C_{停}=0.1$元/(veh·h),取送一次车辆的费用$C_{取送}=1.0$元/次,求最佳库存容量和送车间隔时间?根据式(7)、式(8)可得Q^*为433 t(或7.22 veh),T为4.81 h。

车辆取送费用还应包括在途运输费用,它取决于运输线路长度、运输吨数和运输速度等。

4 结语

供应链活动过程的实际资料表明它确实存在随机性,并服从3种不同的分布:均匀分布、指数分布和正态分布。指数分布可用来设计新的供应链,其余分布可用来验算既有供应链。本文使用的概念、方法,能使读者由经典的确定性环境顺利地转移到随机性环境中,讨论供应链的管理活动[8]。

参考文献:

References:

[1] [美]Ronald B. 企业物流管理[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[2] 丁立言,张 铎. 物流系统工程[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

[3] 陆凤山. 排队论及其应用[M]. 长沙:湖南科技出版社,1993.

[4] 陆凤山,周永红. 技术经济原理、方法与应用[M]. 北京:北京经济科学出版社,1994.

[5] 李夏苗,陆凤山. 巴尔姆流的模拟与应用[J]. 交通运输工程学报,2002,2(1):88—91.
LI Xia-miao, LU Feng-shan. Approxination of flow-Palm and application[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2002,2(1):88—91. (in Chinese)

[6] 陆凤山. 管理经济学[M]. 广州:广东经济出版社,1998.

[7] 蔡希贤,夏士智. 物流合理化的数量方法[M]. 武汉:华中工学院出版社,1985.

[8] 吴家豪. 铁路编组站系统设计优化[M]. 北京:中国铁道出版社,1994.