

张人龙,谭理,刘小红. 基于ESQ的物流分销成本模型及其分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2019, 34(2): 117-124. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.02.016

Zhang R L, Tan L, Liu X H. Research on Logistics Distribution Cost Model Based on ESQ and Its Application [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2019, 34(2): 117-124. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.02.016

基于ESQ的物流分销成本模型及其分析

张人龙^{1*}, 谭理¹, 刘小红²

(1. 湖南科技大学 商学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 湖南大学 工商管理学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 随着经济全球化发展的趋势, 企业生产、物流等环节的覆盖面越来越广, 同时市场环境由企业间竞争转变为供应链间的竞争. 为了增加供应链集成化管理程度, 产生了供应商管理库存 (Vendor Managed Inventory, VMI) 思想. 本文在供应商库存管理的思想下, 利用经济订货批量 (Economic Order Quantity, EOQ) 模型及其理论, 基于供需双方配送成本和库存成本的相反变动情况, 建立单个供应商与多个分销商间产成品的供货模型, 该模型是一种 VMI&ESQ 供货运行模式下的经济供货批量 (Economic Supply Quantity, ESQ) 模型. 在准时交货的前提下, 通过延迟单个订单的供货时间, 在等待时间内与多个订单组合, 达到一次出货数量增加的目的. 探讨如何制定 VMI&ESQ 不断供货运行模式产品最佳出货数量, 以实现降低供需双方的物流分销成本.

关键词: 物流分销成本; VMI; ESQ; EOQ

中图分类号: TP311

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2019)02-0117-08

Research on Logistics Distribution Cost Model Based on ESQ and Its Application

Zhang Renlong¹, Tan Li¹, Liu Xiaohong²

(1. School of Business Administration, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. School of Business Administration, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: With the trend of economic globalization, the coverage of enterprises' production and logistics was becoming more and more extensive. At the same time, the market environment was transformed from competition among enterprises to competition among supply chains. In order to increase the integrated management level of the supply chain, the idea of Vendor Managed Inventory (VMI) was formed. Under the idea of VMI supplier inventory management, the principle of Economic Order Quantity (EOQ) economic order model was used to construct the principle. The supply model between single supplier and multiple distributors was constructed based on the opposite change of distribution cost and inventory cost between suppliers and buyers. This model is an Economic Supply Quantity (ESQ) model under VMI&ESQ mode. On the premise of punctual delivery, by delaying the delivery time of a single order and combining with multiple orders in the waiting time, the purpose of increasing the quantity of one shipment could be achieved. In order to reduce the logistics distribution cost of both suppliers and suppliers, how to make the best shipment quantity of VMI& ESQ supply operation mode was

收稿日期: 2018-07-03

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2017JJ2093); 湖南省教育厅基金资助项目(17C0667)

* 通信作者, E-mail: zhangrenlonggj@163.com

discussed.

Keywords: Logistics distribution cost; VMI; ESQ; EOQ

2017年,清华大学交通研究所所长陆化普在“三亚·财经国际论坛:全球治理挑战与中国角色”上表示,我国物流成本占GDP的比例是14.9%,美国是7%,英国等欧洲发达国家比重是9%.由于分销商多且分布较广,所以分销环节的配送成本以及库存成本占了较大比重.因此,降低分销成本,提高物流效率,这仍然是一个非常严峻的任务与挑战.分销成本主要包括分销环节的库存成本与配送成本,源头上影响配送成本的主要因素是货物配送次数及配送距离.目前已经有许多专家从优化配送路径和提高装载率的角度来降低配送成本,但是从企业供货模式上提高装载率,减少配送次数的方式的研究很少,并且各自为政的传统库存管理使得企业的库存成本较高.

大型制造商在各区域与多级分销商间货物流动容易形成错综复杂的供应链,就目前而言,我国大部分供应链各环节上的企业只参考与其相邻的下级企业的需求信息进行生产或供应决策,需求信息的不真实性会沿着供应链逆流而上,产生逐级放大的现象,导致制造商供给不平衡而产生“牛鞭效应”.供应商供货的波动程度会大于顾客需求的波动程度,并且随着供应链下游分销商的不断扩大,这种波动程度将会越来越大.制造商根据不真实信息盲目投资生产,最终导致企业面临经营危机,由此可见,制造商与下游企业的合作协调性对企业的发展至关重要.在整个供应链管理中,物流成本管理和库存成本管理作为一个重要的组成部分,对供应链整体绩效起着极其重要的作用.本研究的目的是在VMI管理思想下,根据EOQ经济模型原理,平衡供需双方的库存成本与配送成本,构建ESQ经济供货批量模型,将其应用到制造企业供货方面.优化一条线路上的分销商和供应商之间的库存成本和配送成本,降低双方分销成本,可以通过提高制造商与下游企业的合作协调性,缓解制造企业产能过剩现象来提高企业的物流效率,从而实现制造企业的真实价值.

1 国内外研究现状

随着经济全球化的发展,各类产品原材料的采购、生产、销售打破了时间和地域的限制.这引起了供应链的产生,随之而来的是管理上带来的挑战,由原来的企业与企业之间的竞争转变为供应链与供应链的竞争,供应商管理库存(VMI)就是在这基础上被提出,P&G, Walmart 和 DELL 公司最先开始运用该策略.运用VMI技术后,企业不仅可以提高服务客户的水平,更为重要的是能够缓解供应链的整体库存.2015年,Arqum Mateen等^[1]针对Jams等人提出的VMI进行了具体的研究,通过开展VMI库存可以使供应链中供应商与相关企业的成本降低,由供应商在签订共同协议下对各下游企业进行库存管理,从而降低库存成本,有效地提高供应链效率.在以往也有许多学者研究VMI思想下制造企业的运行模式:2002年,Cheung和Lee^[2]站在下游企业的角度来平衡下游企业的库存,研究了一个供应商和多个零售商之间的协调运输和库存平衡的问题,但未考虑供应商自身的库存成本;2007年,王玉燕^[3]等研究了当供应商与分销商之间处于不同的优劣地位时,在忽略分销商利益的情况下,就如何选择不同的最佳出货时间从而使供应商的供货成本最少进行了相关的研究;2013年,全春光^[4]研究了供应商与两分销商间的VMI协同补货策略,从而实现供应商与分销商间利益最大化;2016年,Zainab Belalia和Fouzia Ghaiti^[5]运用VMI库存控制策略结合物料分类法,对原材料进行分类库存管理,计算出制造企业的最优订货批量,使制造企业成本最低;2015年,Arqum Mateen等^[6]研究原材料供应商到制造企业的VMI&TPL的运作模式,对于原材料的供应流程以及供应环节的优化都进行了具体的分析与探讨;2018年,Hariga M等^[7]研究了分散VMI供应链,在供应商存在不公平厌恶的情形下,供应商存在唯一的最优产品生产量.以上的研究主要考虑制造企业采购和存储生产资料方面的成本问题,在供货方式上也主要考虑下级供应商的需求时间为限制条件,对于单制造商与分销商间产成品的供货成本及其模型构建等没有过多研究.1913年,Harris提出经济订货批量模型,此后经过学者的完善和应用,EOQ模型成为企业控制库存的主要模型.2018年,A.G. Lagodimos等^[8]对EOQ

模型进行了修正及应用,利用模型的原理构建EPQ(Economic Production Quantity)经济生产批量模型并运用到生产中;2009年,陈军^[9]利用EOQ模型对生鲜进行损耗控制;2017年,Sandun Perera等^[10]在分销商存在延期支付的情况下,供应商根据分销商的订货量给予延期支付的优惠,建立分销商EOQ库存决策模型;2013年,但斌等^[11]利用EOQ模型分析了2种不同保鲜情形下零售商的最优订货决策和最优保鲜投入;2014年,Daria Battini等^[12]通过EOQ模型的理论分析,探求影响企业库存成本的因素,对库存等指标进行了分析;2016年,杨善林^[13]研究了在库存影响销售的情况下的EOQ库存控制模型。

本文考虑增加一次配送货物数量从而达到减少配送次数来降低配送成本,相反,分销商库存成本将会增加,针对配送成本和库存成本之间的平衡问题进行研究模拟,达到供应环节双方经济效益最大化.据中国物流与采购联合会的调查,近年来约56%的制造企业产成品物流费用占销售额的5%~10%,其中库存成本和配送成本在物流成本中高达75%~80%.目前,学者们的研究往往考虑交货时间、优化配送路径、合理安排车辆装载的角度来降低物流成本,很少有从确定最优供货数量的角度来研究降低配送成本^[14-16].本文在VMI思想和准时交货的前提下,构建制造商与分销商间的供货决策模型,平衡双方的库存成本和配送成本,研究制造企业各产品的最佳出货量,从而增加一次运送产品总数,达到降低分销成本的目的.因此,本文可以通过制定VMI&ESQ供货运行模式产品最佳出货数量,以实现降低供需双方的物流分销成本的目标来提高企业利润。

2 标准ESQ供货模型构建

在产成品的供应环节中,供应商对一条配送路径上分销商的销售数据进行处理,由于没有VMI的介入,供应商只考虑自身的利益,通过平衡自身的库存成本和配送成本,求得使两者之和最小的最佳供货量.在满足交货期的前提下,延迟单个订单的供货时间,在等待时间内,与多个分销商的商品需求订单进行组合,当需求数量累积达到最佳供货量的时候,立马进行配送,从而获得规模经济效益,降低供应商分销成本。

2.1 研究假设

在建立经济供货批量模型(ESQ)时,为了便于研究,做出如下假设:

- 1) 考虑一种产品;
- 2) 考虑同一条运输路线上分销商的需求;
- 3) 不出现缺货,也就是所有分销商订单都能够得到100%满足,出现缺货时则通过与客户进行协商交货期,通过延长交货期来实现产品的供给,达到不缺货的目的;
- 4) 货物在配送之前的等待时间中,产品库存持有费率是固定不变的,由于企业对订单采用延时供货,所以存在一定的供应时间,但是要满足订单的交货期,所以供应时间不会过长,从而假定产品库存持有费率是固定不变的;
- 5) 企业的库存销售速度是常量,通过供应商联合库存与经济批量的研究,可以设计VMI&ESQ供货模式运行流程如图1所示。

2.2 供货商的需求信息及其相关参数

由于供应商在一个供货周期内,库存数量不是每天变化的,所以平均库存持有成本可以计算如下:

$$h_r = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n h_r.$$

式中: h_r 为供货商的供货周期内的库存持有成本,箱/元/天; r 为供货周期; $n = 1, 2, \dots, \frac{D}{Q^*}$ (D 为月总需求量; Q^* 为最佳供货量)。

由于分销商靠近供应链下游的终端,所以库存几乎每天都在变动, h_i 为分销商每天的单位库存持有成本,箱/元/天, $h_r > h_i$. 配送成本与配送次数和配送数量有关,所以配送一次的总成本由固定发货成本

C_a 和单位运输成本 C_b 一起构成.

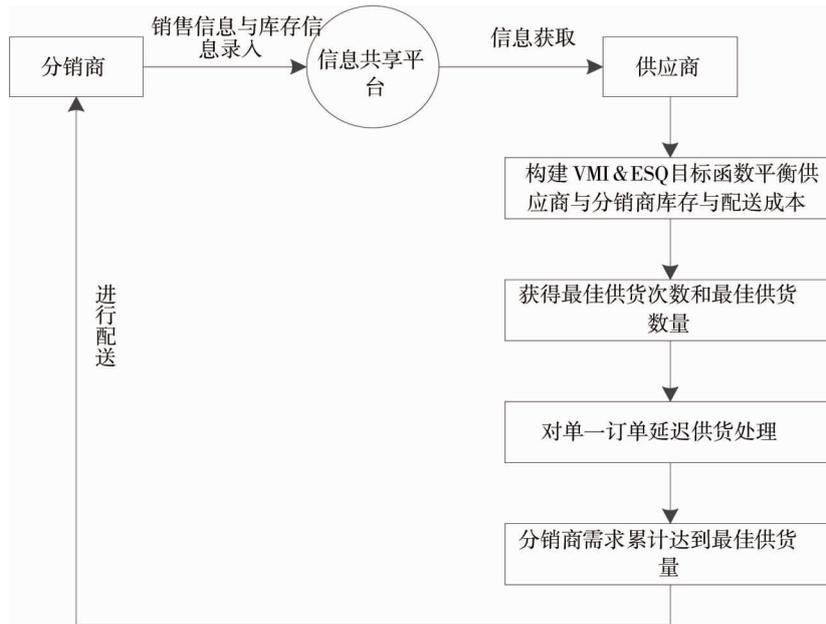


图 1 VMI&ESQ 供货模式运行流程

在没有 VMI 介入的 ESQ 供货模式的运作下,供应商的一次配送数量增加,由于分销商一个月的需求量为一定数值,所以企业一个月内的配送成本肯定会降低.虽然延迟单个订单配送的时间,导致货物会在企业仓储空间滞留的时间增加,从而增加了企业库存成本.在此种模式下,供应商的供货成本 T_1 如下:

$$T_1 = C_1 + C_2 = \frac{2D_i C_a + Q^*{}^2 h_r}{2Q^*} + D_i C_b \tag{1}$$

式中: C_1 为供应商的供应成本; C_2 为供应商的存货成本; D_i 为第 i 个分销商的月销售量; Q^* 为最佳供货量.

对一条线路上的分销商来说,存在的成本有订货成本与库存成本.由于供应商没有考虑到分销商的利益,所以分销商的库存成本不是在最优的状态.供应商的一个供货周期内各分销商的需求量如表 1 所示.

表 1 1 个供货周期内分销商需求信息

分销商	1	2	...	n	D_i
1	d_{11}	d_{12}	...	d_{1n}	D_1
2	d_{21}	d_{22}	...	d_{2n}	D_2
...
m	d_{m1}	d_{m2}	...	d_{mn}	D_m
合计	$\sum_{m=1}^m d_{m1}$	$\sum_{m=1}^m d_{m2}$	$\sum_{m=1}^m d_{m3}$	$\sum_{m=1}^m d_{mn}$	Q^*

注: d_{mn} 为第 m 个分销商第 n 天的需求量

此时,所有分销商都只订货了 1 次,分销商在第 1 个供货周期的库存成本和订货成本为

$$T' = K + q_{x_1} h_r \tag{2}$$

式中: K 为分销商每次的订货成本; q_{x_1} 为第 1 个供货周期总共的库存单位(x_1 为第 1 个供货周期结束所对应的时间点).

$$\begin{aligned}
 q_1 &= Q^* - d_{m1}; \\
 q_2 &= Q^* - d_{m1} + Q^* - d_{m1} - d_{m2} = q_1 + Q^* - d_{m1} - d_{m2}; \\
 &\dots
 \end{aligned}$$

$$q_m = q_{m-1} + Q^* - \sum_{j=1}^{x_1} d_{mj}.$$

式中: q_m 为累积第 m 天的库存单位.

当 $\sum_{j=1}^{x_1} d_{mj} = Q^*$ 时,完成一个供货周期的计算.同理可以推出:

$$q_{x_2} = q_{x_2-1} + Q^* - \sum_{j=x_1+1}^{x_2} d_{mj} (n=2);$$

...

$$q_{x_n} = q_{x_n-1} + Q^* - \sum_{j=x_{n-1}+1}^{x_n} d_{mj} (n = D/Q^*).$$

式中: q_{x_n} 为第 n 个供货周期总共的库存单位

由此一条线路上分销商一个月的存货成本 T_2 为

$$T_2 = \frac{D}{Q^*}K + \sum_{n=1}^{\frac{D}{Q^*}} q_{x_n} h_r. \quad (3)$$

在整个模式中,产品从供应到配送再到分销商销售整个流程中供应链的分销成本分为 2 部分,一部分是供应商的供货成本,另一部分是分销商的存货成本,总的分销成本 T 如下所示:

$$T = T_1 + T_2 = \frac{2DC_a + Q^{*2}h_r}{2Q^*} + DC_b + \frac{D}{Q^*}K + \sum_{n=1}^{\frac{D}{Q^*}} q_{x_n} h_r. \quad (4)$$

本文既考虑企业的库存成本和配送成本间的反向变动作用,又考虑了不间断批量供应状态下的最佳经济供货批量,因此,将 VMI&ESQ 供货模式下经济订货批量模型(EOQ)拓展为不间断批量供应状态下的经济供货批量模型(ESQ),以供货成本最低为目标确定产品最佳出货量,为提高企业利润提供了很好的思路.

3 VMI&ESQ 供货模型构建

VMI&EOQ 供货策略运行模式一般适用于零售企业或者制造企业,分销商或者零售层数目众多,产品销售周期短,数目多.其主要是由供应商来制定库存计划,在使分销商不缺货的条件下使两者的库存成本最小,该 VMI&ESQ 供货运行模式主要包括以下几个步骤:

1) VMI&ESQ 供货模式的运作是建立在两者共享的信息管理平台上的,货物销售成功的时刻,销售数据立马进入共享的信息系统,以确保下游企业销售数据的真实性、可靠性.

2) VMI&ESQ 供货模式下供应商依照真实的需求数据平衡分销商和供应商的库存成本、配送成本,根据这一机制下的目标函数,得到对下游企业供应的一次最优数量和配送次数.

3) 对一条线路上的 VMI&ESQ 供货模式下的分销商进行供货.

研究假设:(1)企业已经存在成熟的共享平台;(2)分销商处于一条运输路线上;(3)供应商的生产没有周期,分销商一段时间的需求供应商都能满足.

为了实现是否有 VMI 管理思想介入的 2 种 ESQ 供货模式的经济对比,在此模型的构建中,仍然采用同一月的需求量来进行计算.此时 VMI&ESQ 供货模式下平衡供需双方库存成本和配送成本的目标函数:

$$\min T = \partial(C_a + \sum_{i=1}^m k_i) + \frac{D}{\partial}(\frac{1}{2}h_r + \partial C_b) + \sum_{\beta=1}^{\partial} q_{y_\beta} h_r. \quad (5)$$

式中: ∂ 为月配送次数; k_i 为分销商在第 i 次的订货成本; β 为供货次数 ($\beta = 1, 2, \dots, \partial$); y_β 为第 β 个供货期结束所对应的时间点.

供应商成本:

$$C_1 = \partial C_a + \frac{D}{\partial} \left(\frac{1}{2} h_r + \partial C_b \right);$$

$$q_1 = Q^{*'} - d_{m1};$$

$$q_2 = Q^{*'} - d_{m1} + Q^{*'} - d_{m1} - d_{m2} = q_1 + Q^{*'} - d_{m1} - d_{m2};$$

...

$$q_{y_1} = q_{y_1-1} + Q^{*'} - \sum_{j=1}^{y_1} d_{mj};$$

$$q_{y_2} = q_{y_1-1} + Q^{*'} - \sum_{j=1}^{y_2} d_{mj};$$

...

$$q_{y_\beta} = q_{y_\beta-1} + Q^{*'} - \sum_{j=y_{\beta-1}}^{y_\beta} d_{mj}.$$

在月销售数据固定, VMI&ESQ 供货模式下分销商每天不缺货的情况下, 通过适当补货来平衡整个产成品供应链的物流成本. 其月配送次数 ∂ 决定了目标函数的大小, 因此目标函数只与 ∂ 的变化有关. 为了方便快速地得到答案, 在此利用计算机语言, 算法流程如下图 2 所示. 此时 VMI&ESQ 供货模式下的最佳供货量为 $Q^* = \frac{D}{\partial}$.

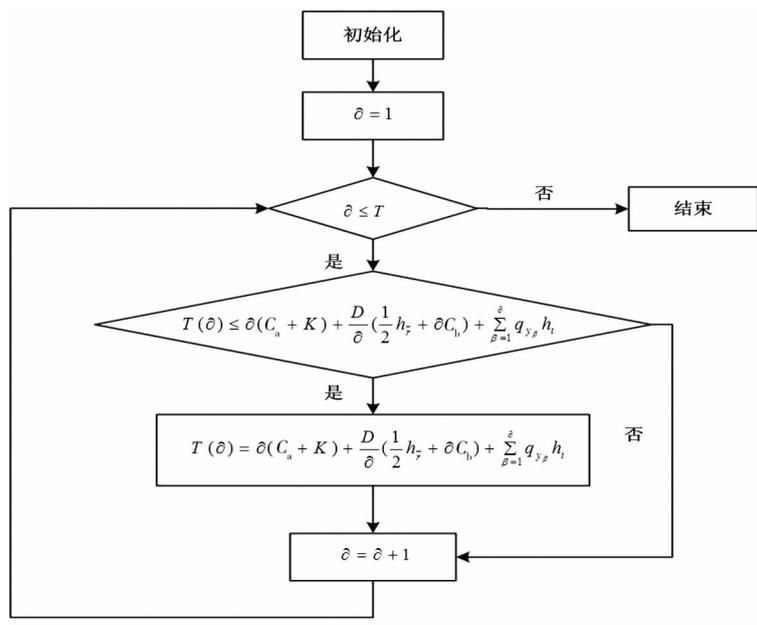


图 2 算法流程

4 算例

由于一个供货周期的销售量可能不会刚好等于最佳供货量, 存在超过最佳供货量的情况, 因此, 参照每天的销售数据调整一个月的配送次数. 通过某企业供货周期每天的需求数据作为实验的算例(算例数据来源于调研企业的供货周期每天的需求情况), 其中调整配送次数为 8 次, 8 个供货周期的每天销售具体数据如下表 2 所示.

如果 VMI&ESQ 供货模式下供应商只考虑自身的利益所得到的最佳供货量 Q^* 以及最佳供货次数 N^* 为

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DC_a}{h_r}} \approx 411;$$

$$N^* = \frac{D}{Q^*} = \sqrt{\frac{Dh_r}{2C_a}} \approx 9.$$

同理推出: $q_{x_1} = q_{x_{1-1}} + Q^* - \sum_{j=1}^{x_1} d_{mj} = 693; q_{x_2} = 678; q_{x_3} = 748; q_{x_4} = 695; q_{x_5} = 736; q_{x_6} = 714; q_{x_7} = 731; q_{x_8} = 380.$

表 2 供货周期每天的需求数据

时间	配 7 送次数							
	1	2	3	4	5	6	7	8
第一天	114	115	118	123	127	120	120	131
第二天	110	102	121	125	127	120	117	134
第三天	116	111	123	114	123	126	113	123
第四天	117	118	127	114	121	114	128	--

由此,通过公式可得 $T = 18\ 422.70$.此时,分销商预备未来 4 天的需求量,缓解了库存压力.按照某企业提供数据可知 $C_b = 0.5$, 通过调整计算可以得到当供应商每 2 天进行供货时目标函数最小,此时 $\sum_{\beta=1}^a q_{y_\beta} = 1\ 782; \min T = 17\ 217.4$.

通过演算 2 种供应方式带来的经济预期,可以明显地得到供应商与分销商之间产成品供货的物流成本对比,VMI&ESQ 供货运行模式相比没有 VMI 介入的 ESQ 供货运行模式节约了 6.54%的分销成本,大幅度提高了企业的利润.其中,VMI&ESQ 供货模式下库存成本的变化为 $\Delta = 10\ 971 - 4\ 861 = 6\ 110$, 配送成本的变化为 $\Delta = 5\ 856.5 - 9\ 356.5 = -3\ 500$. 配送成本的增加低于节约库存成本带来的经济效益.此时某企业的库存就是预备 2 天的销售量,即可缓解分销商的库存压力.供应商应该站在整体的利益角度去管理下一级企业的库存,只站在自身的角度考虑问题,将库存转移到下级企业,将失去更多的合作机会.相反,和下级企业合作销售更多的产品,将零售网络做得更大,将会有更多的利润回报.分销商应该服从上游企业的管理,不虚报需求信息和库存信息,减少整个供应链的“牛鞭效应”.由于上游企业在 VMI&ESQ 供货模式下相对于 ESQ 供货模式,增加了配送次数,下游企业的需求可以分多次满足,缺货风险会降低.所以 VMI&ESQ 供货模式下,分销商没必要为了避免缺货带来的风险而虚报需求量.

5 结论与展望

1) 构建 VMI&ESQ 经济供货批量理论模型及其决策机制.同时在准时交货的前提下,通过延迟单个订单的供货时间,从而达到一次出货数量增加的目的,实现降低供需双方的物流分销成本.该机制不仅能满足需求方的产品需求,更重要的是降低供需双方的库存成本与配送成本.

2) 将模型运用到企业供货方面,得出有 VMI 介入时能优化 6.54%分销成本.在 VMI&ESQ 供货模式下满足交货时间的前提下采取延迟单个订单出货时间,能够组合多个分销商的需求订单,从而获得好的经济效益.

3) 本文研究中也考虑不足的方面,论文假设的模型有较多约束,与现实情况存在较大差异,因此在实践过程中要考虑理想化的条件.在 VMI&ESQ 供货模式下考虑延迟订单时间下物流分销模型的构建以及多订单不间断与中断供货模式下的 ESQ 模型构建及其应用;在存在供需双方信息共享平台前提下应该去开发共享平台所需技术及其收益模型.因此本研究具有很大的局限性,因此这些仍然有待于我们去进一步探讨.

参考文献:

- [1] Mateen A, Chatterjee A K. Vendor managed inventory for single-vendor multi-retailer supply chains [J]. *Decision Support Systems*, 2015,70(12): 31-41.
- [2] Cheung K L, Lee H L. The inventory benefit of shipment coordination and stock rebalancing in a supply chain[J]. *Management Science*, 2002, 48(2):300-306.
- [3] 王玉燕,申亮,李帮义.几种不同的准时交货博弈模型研究[J].*管理评论*, 2007, 19(2):57-62.
- [4] 全春光.随机需求下单供应商两分销商 VMI 协调策略[J].*系统工程理论与实践*, 2013,33(7):1801-1812.
- [5] Belalia Z, Ghaiti F. The value of Vendor Managed Inventory in an autocorrelated demand environment[J]. *IFAC-Papers OnLine*, 2016,49(12):668-673.
- [6] Mateen A, Chatterjee A K, Mitra S. VMI for single-vendor multi-retailer supply chains under stochastic demand [J]. *Computers & Industrial Engineering*,2015,79(1): 95-102.
- [7] Hariga M, Gumus M, Daghfous A. Storage constrained vendor managed inventory models with unequal shipment frequencies [J].*Omega*,2014,48(11):94-106.
- [8] Lagodimos A G, Skouri K, Christou I T, et al. The discrete-time EOQ model: Solution and implications[J]. *European Journal of Operational Research*, 2018,266(1): 112-121.
- [9] 陈军.多级价格折扣下基于损耗控制的生鲜农产品 EOQ 模型[J].*系统工程理论与实践*, 2009,29(7):43-54.
- [10] Perera S, Janakiraman G, Niu S C. Optimality of (s, S) policies in EOQ models with general cost structures [J]. *International Journal of Production Economics*, 2017,187(2): 216-228.
- [11] 但斌,王磊,李宇雨,等.考虑消费者效用与保鲜的生鲜农产品 EOQ 模型[J].*中国管理科学*, 2011,19(1):100-108.
- [12] Battini D, Persona A, Sgarbossa F. A sustainable EOQ model: Theoretical formulation and applications[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014,149(1): 145-153.
- [13] 杨善林.随机补货间隔且存货影响销售的变质品 EOQ 模型[J].*系统工程学报*, 2004,31(1):101-110.
- [14] Niu Y F, Lam W H K, Gao Z. An efficient algorithm for evaluating logistics network reliability subject to distribution cost[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2014,67(1):175-189.
- [15] Awad F H. Optimization of relay node deployment for multisource multipath routing in Wireless Multimedia Sensor Networks using Gaussian distribution[J]. *Computer Networks*, 2018,145(8):96-106.
- [16] 倪冬梅.需求预测综合模型及其与库存决策的集成研究[J].*管理科学学报*, 2013,16(9):44-74.