

供应链中合作博弈批量分解模型

杨 昌^{* 1}, 冯玉强¹, 梁宏伟², 王若钢¹

(1. 哈尔滨工业大学 管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;
2. 大连理工大学 继续教育学院, 辽宁 大连 116011)

摘要: 从供需双方的综合总成本出发, 以一个供应商一个订货商单一产品为背景, 开发了一个供应链中供需双方合作博弈下的批量分解模型, 确定了最优订货批量、发运次数和发运数量. 与传统的单次发运策略相比, 这种基于供需合作的批量分解策略可以明显减少供应链成本, 使供应商和订货商状况都得到改善, 达到了双赢的目的. 所得收益可依据双方对供应链性能改善所做贡献的大小来按比例分配. 另外, 发运数量的收敛特性在物流管理中运输工具的标准化方面也有着重要的指导意义.

关键词: 供应链; 合作博弈; 供应商; 订货商; 批量分解
中图分类号: C931 **文献标识码:** A

0 引 言

供应链管理是 20 世纪末发展起来的一种新型管理思想, 它是通过对整个供应链中的物流与信息流进行设计、控制与优化, 把合适的产品, 以合适的数量, 在合适的时间送到合适的地点, 以满足客户需求, 并保证供应链成员共同获利的整个管理过程. 因此, 供应链管理的核心是客户需求, 其手段是供应链成员之间相互合作, 而供应链成员之间在通过相互合作来满足客户需求的过程中实现了价值增值, 达到了双赢的目的.

供应链中的每个节点既是后一节点的供应商, 又是前一节点的顾客, 供需关系始终贯穿着整个供应链. 因此, 供需研究是供应链管理的一个最重要, 也是最基本的内容. 在传统供需关系中, 订货商根据经济批量模型, 只是从自身利益出发确定使自身成本最低条件下的订货批量. 而供应商往往是按库存生产, 在接到订单后将产品一次性发运给订货商, 从而完成交易. 在此过程中供需双方将注意力放在商业交易活动本身. 对于订

货商来说, 批量过大会增加其库存费用, 而对于供应商来说, 增大批量将减少其设备调整费用, 从而能降低其年生产成本. 因而订货商与供应商是处于矛盾对立的地位, 是典型的非信息对称的博弈过程. 当缺乏有效协调时, 供应链中容易导致双重边际化效应^[1]和牛鞭效应^[2]. 而从供应链管理的角度出发, 供需双方之间是一种合作博弈 (cooperative game) 的关系, 合作博弈的结果是达到双赢, 获得比非合作博弈更高的效益和效率. 这时供需双方建立了战略合作伙伴关系, 订货商从双方总成本出发来确定最佳订货批量, 供应商则按订单生产, 实现了准时化生产方式^[3], 实行小批量多次发运策略, 从而达到双赢的目的.

有关供需合作优化模型的研究已有很多^[4-15], 大多都集中于讨论联合批量、数量折扣和定价机制等方面, 而有关准时制环境下的合作策略却很少. 本文在一个供应商一个订货商单一产品的简单供应链中, 利用成本比较分析法开发一个针对供需合作的批量分解模型, 确定最优订

收稿日期: 2005-12-10; 修回日期: 2006-11-09.
作者简介: 杨 昌^{*} (1972-), 男, 博士生, E-mail yangchang3000@126.com; 冯玉强 (1961-), 女, 博士, 教授, 博士生导师.
©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

货批量、发运次数和每次发运数量等重要指标。

1 基本假设

模型中用到了如下基本假设:

- (1) 供应商面临许多需求不同的订货商,模型只研究一个供应商与一个订货商之间的关系;
- (2) 订货商的年需求量在一年内是均匀分布的;
- (3) 供应商的生产能力远远大于订货商的年需求量;
- (4) 运输费用与运输次数成比例,而与每次运输量无关,运输费用由订货商承担;
- (5) 供需双方共享基本信息,如单位持有成本、需求率、生产率、准备时间等。

假设条件 (1) 符合现实情况,在当今买方市场存在的情况下,顾客追求差异化的产品,供应商面临着满足不同客户不同需求的情况普遍存在,且研究供应商与其单个客户之间的关系不失一般性和代表性。假设条件 (2) 是基于经典经济批量模型基础而提出的。本文所研究的基于均匀分布基础上的批量分解模型,仍可为其他需求分布条件下的建模提供基础。供应商面临许多客户,其生产能力远远大于单个客户的需求量,因而假设条件 (3) 也符合实际情况。假设条件 (4) 只是为了简化模型所做的假设,这也可看做订货商为了优化库存而做的投资,其他类型的运输费用不会影响模型的有效性。假设条件 (5) 是在供应链管理环境下实现准时制采购的基本要求。

2 合作博弈批量分解模型

2.1 基本模型

在非合作博弈的条件下,订货商处于最优状态,而供应商则处于非最优状态。如果让订货商增大批量,则由于库存费用的增加,订货商的利益将受到损害,而这将有利于供应商降低成本。由于供需双方在供应链中关系的非对称性,改进的结果也是非对称的。因此,在实现供应链优化的过程中,必须考虑供需双方利益的重新分配,双方为了供应链的整体利益而愿意放弃目前的既得利益。在供需双方合作博弈关系下,供应链中的各成员都作为供应链的子系统,并都能够从最优化

整个供应链的效率和效益出发来进行生产决策活动,从而使供应链整体达到最优。在前面的假设中订货商愿意承担运输费用,这可以看做是订货商为了降低供应链的整体库存水平而做的投资,当然它会从中受益。

对于订货商一定的订货批量,供应商实行按订单生产,单次准备生产、分期多次等量发运策略,即批量分解策略,而不是传统的按库存生产、一次发运策略。为了不失一般性本文假定多次发运计划按照如下方式组织:每次连续的发运恰好在上一次所发运货物刚好消耗完毕时到达。

订货商总成本包括订购成本、库存成本、订单处理和运输成本,用 C_b 表示,则

$$C_b = \frac{R}{r}O + \frac{r}{2n}S_b + \frac{Rn}{r}T + Rt \quad (1)$$

式中: R 为订货商的年需求量; r 为订货商的订货批量; O 为订货商的每次订货成本; n 为每批订货的发运次数 (整数值); S_b 为订货商的单位库存成本; T 为每次运输的固定费用; t 为订货商的产品单位处理成本。

供应商总成本包括生产准备成本和库存成本^[16],用 C_s 表示,则

$$C_s = \frac{R}{r}S + \frac{rS}{2n} \left[(2-n)\frac{R}{P} + n - 1 \right] \quad (2)$$

式中: S 为供应商的每次生产准备成本; S_s 为供应商的单位库存成本; P 为供应商的年生产量。

将式 (1) 和 (2) 相加得到合作博弈下供需方的联合总成本,用 C_a 表示,则

$$C_a = \frac{r}{2n} \left\{ S_b + S_s \left[\frac{(2-n)R}{P} + n - 1 \right] \right\} + \frac{Rn}{r}T + Rt + \frac{R}{r}(O + S) \quad (3)$$

这里当 $n=1$ 时,式 (1)、(2)、(3) 就变为批量分解策略的一个特例,即传统的按库存生产、一次发运策略。

2.2 优化

由式 (3) 分别对 n 和 r 求一阶导数,并令导数等于零,可得到最优订货批量 r^* 和最优发运次数 n^* 分别如下:

$$r^* = \frac{2R(O + S)}{S_s(1 - R/P)};$$

$$n^* = \frac{(O+S)[P(S_b-S_s)+2RS_s]}{T(P-R)S_s} \quad (4)$$

因为发运次数 $n \geq 1$, 且 $n \in \mathbf{Z}$, 订货批量 $r > 0$, 从式(4)中可以看出 $P > R$, 即订货商的年需求量可作为供应商年生产能力的下限值. 这里假定 $S_b > S_s$, 因为产品在供应链中向下游移动时, 其价值的不断增加导致库存成本的相应增加.

如果式(4)中的 n^* 不是整数, 可以取与 n^* 最接近的两个整数 n^+ 和 n^- , 其中 $n^+ > n^*$, $n^- < n^*$, 分别代入式(3)中, 取使式(3)值小的 n^+ 或 n^- 为 n^* 值. 将 n^* 和 r^* 代入式(3)即可得出供需方的每年联合总成本

$$C_a = \frac{2R(O+S)S_s \left[1 - \frac{R}{P} \right]}{2RT \left[S_b - S_s + \frac{2S_s R}{P} \right]} + Rt \quad (5)$$

2.3 最小订货批量

现在寻求使批量分解策略优于一次发运策略的最小订货批量. 用 S_{av} 表示由于采取批量分解策略而比采取一次发运策略所获得的收益, 则

$$S_{av} = \text{式(3)} - \text{式(3)}|_{n=1} \\ S_{av} = \frac{r}{2} \left[S_b + S_s \left[\frac{2R}{P} - 1 \right] \right] \left[1 - \frac{1}{n} \right] + \frac{R}{r} T(1-n) \quad (6)$$

容易看出 $S_{av}|_{n=1} = 0$. 式(6)所示函数曲线的形状在第一象限内凹向上, 收益随订货批量的增加以递减速率单调增加, 说明订货批量越大, 供需双方从中获得的收益将越大. 最小订货批量 $r_{\min}$ 可通过求解 $S_{av}(q, n) \geq 0$ 得到:

$$r \geq \frac{2RTPn}{P(S_b - S_s) + 2RS_s} = r_{\min} \quad (7)$$

从式(7)中可以看出 $r_{\min}$ 随 n 非线性单调递增. 对于给定订货批量 ($r \geq r_{\min}$), 收益首先与 n 成正比递增; 在 n 达到最优值时收益达到最大值; 在 n 达到最优值之后收益随 n 成反比例递减, 直到 n 达到最大发运次数 $n_{\max}$ 时, 这时收益为零.

2.4 发运数量

发运数量是在实行批量分解策略下的每次发运货物的数量, 在整个订单执行期间是一个常量. 最优发运数量用 q^* 表示, 则

$$q^* = \frac{r^*}{n^*} = \frac{2RTP}{P(S_b - S_s) + 2RS_s} \quad (8)$$

为了检验 q^* 的性质, 首先看一下变量 n 和 q 之间的关系. 对于式(8)中给出的 q^* , 订货批量 r 应在一定范围内变化使得发运次数 n 为整数. 当 $n = i$ 时, 求解不等式 $C_a(r, n=i) - C_a(r, n=i+1) \leq 0$ 作为订货批量 r 的上限; 求解不等式 $C_a(r, n=i) - C_a(r, n=i-1) \geq 0$ 作为订货批量 r 的下限. 从 $n=2$ 开始逐步进行前向替换得

$$\frac{2RTP}{P(S_b - S_s) + 2RS_s} \frac{1}{n(n-1)} \leq r \leq \frac{2RTP}{P(S_b - S_s) + 2RS_s} \frac{1}{n(n+1)} \quad (9)$$

将式(8)代入式(9)得

$$q^* \frac{1}{n(n-1)} \leq r \leq q^* \frac{1}{n(n+1)}, n \geq 2 \quad (10)$$

从式(10)中可看出发运次数 $n+1$ 对应的最小订货批量比发运次数 n 对应的最大订货批量大1, 即 $q^* \frac{1}{n(n+1)+1}$, 并且保持不变直到订货批量大到 $n+2$ 次发运. 相似地发运次数 $n-1$ 对应的最大订货批量为 $q^* \frac{1}{n(n-1)-1}$, 并且保持不变直到订货批量小到 $n-2$ 次发运. 将式(10)除以发运次数 n 得

$$q^* \frac{1}{n} - \frac{1}{n} \leq \frac{r}{n} \leq q^* \frac{1}{n} + \frac{1}{n}, n \geq 2 \quad (11)$$

式(11)中随着 n 的增加, 每次发运数量 r/n 的上、下限趋于最优值 q^* . 根据夹挤定理, 发运数量收敛于某一最优值. 这一性质在物流管理方面的启示具有很大的现实意义. 可以把这一最优值作为基数, 运输工具容量的大小可以设计成这一基数的整数倍, 这种标准化工作将可以优化物料在供应链中的合理流动并达到同步化, 在不增加相邻节点企业库存的情况下改善整体运作效率. 另外这一特性也有利于优化公司内部各生产单元之间的物流系统, 它可以作为确定看板大小的重要依据. 实际上当前大多数实行准时制生产的工厂中, 只考虑了如何去优化看板的数量, 而没有仔细考虑如何优化物料运输单元大小的问题. 同时对看板的数量和大小进行优化将会大大提高整个生产系统的物流运作效率, 从而达到减少库存, 改进

性能的目的.

3 数值算例

为了研究合作博弈批量分解模型对供应链总成本的作用及其优化结果,在基本模型假设的基础上,现给出供应商和订货商各能力相关数据如下:

$$\begin{aligned} R &= 5\,000, O = 30, T = 60, t = 1, \\ P &= 20\,000, S = 650, S_b = 8, S_s = 7 \end{aligned}$$

首先来看收益 S_{av} 与发运次数 n 之间的关系. 由式 (6) 所得计算结果如表 1 所示,可以看出当 $S_b > S_s$ 时, $n^* = 3$ 为最优发运次数,收益最大为 1 124; $n_{max} = 11$ 为最大发运次数,收益最小为 20. 验证了当 $r > r_{min}, n < n_{max}$ 时,对于任何订货批量、任何发运次数,批量分解策略都比传统发运策略的总成本小. 直观地可以这样理解: 因为订货商比供应商的持有成本高,因此订货商会要求供应商频繁地小批量发运,这样可以使系统的持有库存最小并且使总体收益最大化.

表 1 收益结果
Tab. 1 Savings results

n	S_{av}	n	S_{av}
1	0	7	—
2	947	8	—
3	1 124	9	—
4	1 109	10	207
5	—	11	20
6	—	12	- 170

表 2 给出了批量分解模型和单次发运模型的数据对比分析.

表 2 批量分解模型与单次发运模型的对比分析
Tab. 2 Comparative analysis of lot-splitting model and single delivery model

参数	单次发运	批量分解
r^*	933	1 138, $r \in (894, 1\,264)$
R / h^*	5.36	4.39
n^*	1	3
q^*	873	365, $q \in (298, 421)$
$C_a(r^*, n)$	13 514	12 669
$S_{av}(r^*, n)$	0	845

4 结 语

本文利用成本比较分析法研究了合作博弈关系下批量分解策略对供需双方综合总成本的影响. 一方面,供应商应采用准时制的管理哲理,提高生产系统的柔性,对客户需求做出快速反应;另一方面,供应商应与订货商建立起战略联盟,追求优化、高效的供应链. 另外,每次发运数量的收敛性质在物流管理中运输工具容量的标准化方面给了重要启示. 尽管本文是建立在前面假设的基础上,但对于将来的进一步研究会有很大的借鉴意义. 相对于实际情况,在此所建立的模型是一种静态的、确定型的单一产品模型,还比较简单,今后还有必要对此模型进行推广和深化,比如多供应商多订货商多产品的复杂情况,以便更好地解决供应链管理中的现实问题.

参考文献:

[1] 泰勒尔. 产业组织理论 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1998

[2] LEE H L, PADMANABHAN V, WANG S. Information distortion in the supply chain the bullwhip effect [J]. **Manage Sci**, 1997, **43**(4): 546-558

[3] KELLE P, ANDERS MILLER P. Transition to just-in-time purchasing handling uncertain deliveries with vendor-purchaser co-operation [J]. **Int J Oper Prod Manage**, 1998, **18**(1-2): 53-65

[4] 黄祖庆, 达庆利, 张 钦. 供应链中允许缺货情况下的合作竞争订货模型 [J]. 数量经济技术经济研究, 2004, **1**: 87-93

[5] MIN H, ZHOU G. Supply chain modeling Past, present and future [J]. **Comput Ind Eng**, 2002, **43**(1): 231-249

[6] 陈美霞, 沈厚才, 仲伟俊. 供应链管理中的生产批量与数量折扣定价联合决策模型 [J]. 东南大学学报, 2000, **11**: 75-80

[7] GOYAL S K, SRINIVASAN G. The individually responsible and rational decision approach to economic lot sizes for one vendor and many purchases A comment [J]. **Decis Sci**, 1992, **23**: 777-784

- [8] ADEROHUNMU R, MOBOLURIN A, BRYSON N. Joint vendor-buyer policy in JIT manufacturing [J]. **J Oper Res**, 1995, **46**(3), 375-385
- [9] BANERJEE A, KIM S L. An integrated JIT inventory model [J]. **Int J Oper Prod Manage**, 1995, **15**(9), 237-244
- [10] GOYAL S K, GUPTA Y P. Integrated inventory models The buyer-vendor coordination [J]. **Eur J Oper Res**, 1989, **41**(3): 261-269
- [11] HILL R M. The single-vendor single-buyer integrated production inventory model with a generalized policy [J]. **Eur J Oper Res**, 1997, **97**(3), 493-499
- [12] LU L. A one-vendor multi-buyer integrated inventory model [J]. **Eur J Oper Res**, 1995, **81**(3): 312-323
- [13] PAN A C, LIAO C. An inventory model under just-in-time purchasing agreement [J]. **Prod Inventory Manage**, 1989, **30**(1): 49-52
- [14] LEE H, ROSENBLATT M. A generalized quantity discount pricing model to increase supplier's profits [J]. **Manage Sci**, 1986, **32**(9): 1177-1185
- [15] BANERJEE A. A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor [J]. **Decis Sci**, 1986, **17**(2): 292-311
- [16] JOGLEKAR P N. Comments on a quantity discount pricing model to increase vendor profits [J]. **Manage Sci**, 1988, **34**(11): 1391-1398

Lot-splitting model with cooperative game in supply chain

YANG Chang^{* 1}, FENG Yu qiang¹, LIANG Hong wei², WANG Ruo gang¹

(1.School of Manage . , Harbin Inst . of Technol . , Harbin 150001, China ;

2.School of Continuing Edu . , Dalian Univ . of Technol . , Dalian 116011, China)

Abstract Based on the integrated total cost of both buyer and supplier, a lot-splitting model with cooperative game in a simple single buyer, single supplier, single product scenario is developed. The proposed model determines optimal order quantity, the number of deliveries and shipping quantity. Compared with the traditional single delivery, this model can obviously decrease supply cost, improve the situation of both suppliers and the buyers, so as to achieve the win-win purpose. The extra income could be allocated between the two parties according to their contribution. In addition, the convergence in delivery size can offer insights on the issue of the standardization of the transportation vehicle size.

Key words supply chain; cooperative game; supplier; buyer; lot-splitting