

考虑采购资金约束的物流服务能力采购决策^①

赵海峰¹, 何青¹, Edison TSE²

(1. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092; 2. 斯坦福大学管理科学与工程系, 美国 94043)

摘要: 以物流服务供应链为研究对象, 研究集成商期初时期对服务能力批发量和期权预订量的决策、需求即将发生时期对期权执行量的决策以及需求确定时期对现货采购量的决策, 构建在无采购资金约束条件下集成商的采购决策模型, 求得服务集成商3个时期的采购决策。然后引入采购资金约束, 分析存在采购资金约束情况下集成商各个时期的采购策略, 并对比有无采购资金约束条件下集成商采购策略的不同, 分析采购资金约束对集成商采购策略的影响。最后, 通过数据分析对研究结论进行说明和验证。

关键词: 资金约束; 物流服务供应链; 服务能力采购

中图分类号: F253.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2017)05-0102-09

0 引言

近年来, 产品服务化和服务外包不断发展, 为服务供应链的形成与发展奠定了坚实的基础。随着物流产业在国民经济中地位的提升, 物流服务供应链(logistics service supply chain, LSSC)的运作效率变得尤为重要。物流服务供应链是以能力合作为核心的服务供应链, 它具有物流服务不可存储性、无形性和同步性等特征。

目前, 国内外关于物流服务供应链的研究刚刚起步, 其概念尚未形成统一定义。作为物流服务供应链思想的萌芽, Goran和Helge^[1]对物流服务提供者进行了分类。Choy和Li^[2]研究了如何管理物流服务供应链中的不确定性。在国内, 田宇^[3]认为物流服务供应链是以集成物流供应商(或物流服务集成商)为核心, 以“集成物流服务供应商的供应商(或功能型物流服务提供商)→集成物流服务供应商(或物流服务集成商)→制造、零售企业”为基本结构, 通过提供柔性化的物流服务保证产品供应链的物流运作的新型供应链。

物流服务集成商作为物流服务供应链的核心企业, 他通过向不同的专业物流服务供应商采购不同类型的物流服务并进行订单分配和整合, 为顾客提供一揽子服务。其具有的物流能力全部或绝大部分来自于外部采购, 采购的策略一般有批发价格预订、期权预订以及当需求发生时从现货市场进行采购。Milner和Rosenblatt^[4]将以期权契约为代表的柔性契约应用到短生命周期产品中, 发现通过此契约买方可以通过信息更新改变初始订购量, 避免不必要的投资浪费, 也可以更好地适应市场需求。Tsay^[5-6]研究了数量弹性条款下, 提供商和购买者的最优决策, 以此提高供应链的绩效。Wu等^[7-8]以资本密集型产业为研究对象, 在具有多买方和多卖方的供应链中采取了将电子市场和合同市场进行融合采购的策略, 详细探讨分析了组合采购中所运用合同的成本结构组成, 对买卖双方的最优策略进行分析, 构建了基于交易成本经济的一般框架, 评价组合策略的价值。Spinler等^[9-10]在化学等工业中运用期权契约实现交易伙伴的风险共担, 得出了买方最优预订量

^① 收稿日期: 2016-08-19; 修订日期: 2017-01-17.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71272045; 71090404; 71090400); 教育部人文社会科学研究专项任务资助项目(14JJDGC016).

作者简介: 赵海峰(1971—), 男, 北京人, 博士, 副教授. Email: hfzhao@tongji.edu.cn

和卖方最优收费,并将其应用拓展到生产不可存储货物或服务产品的产业,分析了期权合同与现货市场的组合效应.尤晓岚等^[11]运用期权合同的稳定性和在线现货采购的灵活性的特点,研究了生产商和零售商的均衡策略,并对现货价格和零售需求服从均匀分布的情形做了进一步探讨.徐贤浩等^[12]研究了短生命周期产品的订货策略,提出了有限供应的现货市场与期权合约下的采购策略,分析了期权约定价参数之间的关系,认为可以通过改变参数,实现收益的合理分配,进而提高交易双方的期望利润.尚文芳^[13]考虑需求信息更新条件下的供应链期权协调机制,研究了供应链3个阶段的生产 and 订购策略. Lynch 等^[14]对物流服务供应链中的能力合作进行了研究,提出了协调的策略.

从经济学的角度来看,资源总是稀缺的.对于限制性因素供应链契约的研究,当前主要集中在交货时间约束和产能约束上. Yang^[15]研究了存在批量交付时间约束的产品分销调度问题. Zhang 和 Du^[16]研究了能力约束下外包策略对模型最优解的影响. Murray 等^[17]在资源能力约束的条件下,建立了基于价格敏感的多产品报童模型,并利用整数规划方法给出模型的最优解. Zhang 和 Hua^[18]通过组合方法对带有预算约束条件的模型进行求解. 陈杰等^[19]对随机需求环境下有能力约束的多产品报童问题进行了研究,提出了带有能

力约束的多元马氏需求报童模型,给出了多产品的最优采购策略. 胡本勇等^[20]研究了在销售商存在采购资金预算资金的约束时的供应链期权柔性契约,得出了不同资金稀缺程度下的订货策略. 占济舟和卢锐^[21]对零售商存在采购资金约束的问题进行了研究,分析了资金约束对采购策略的影响和融资方式. 李超和骆建文^[22]研究了零售商自有资金不足时供应链契约的设计,以及预付款情况下,供应链的协调机制.

本文在前人研究的基础上,对 LSSC 中物流服务集成商的采购策略进行研究,分析集成商3个决策时期采购资金约束对其采购策略的影响,在第一个决策时期,当存在采购资金约束时,利用 Kuhn—Tucker 条件,讨论了模型解的特征,并讨论对比了各个时期没有采购资金约束和有采购资金约束时模型解的特征.

1 问题描述

考虑单周期二级 LSSC 系统,包括1个供应单一物流能力的物流服务提供商(functional logistics service provider FLSP)和1个从物流服务提供商订购物流能力并满足最终物流需求的物流服务集成商(logistics service integrator LSI). LSI 本身不具备提供客户物流需求的能力,需要从 FLSP 处订购物流服务能力来满足客户的需求(如图1所示).

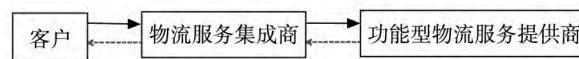


图1 物流服务供应链的结构

Fig. 1 Structure of LSSC

集成商的采购决策分为3个时期,分别为 t_0 、 t_1 和 t_2 时刻.在 t_0 时刻,LSI根据对市场需求的预测向FLSP提供初始订货量和期权购买量,以供FLSP对所订购的需求进行准备;在 t_1 时刻,即需求即将发生时刻,LSI根据对市场信息的观察重新对需求量进行预测,从而确定期权执行量;在 t_2 时刻,即需求发生时刻,LSI根据实际需求确定现货采购量.

2 模型假设与符号说明

为便于研究作如下假设.

假设1 物流服务集成商(LSI)所面临的物流服务需求是随机的,其价格由市场决定.

假设2 1单位的物流服务需求需要1单位的物流能力来满足,集成商所需的物流能力全部通过向分包商订购来满足.

假设3 物流服务集成商(LSI)和物流服务提供商(FLSP)之间信息对称,且两者均为有限理性和风险中性.

假设4 LSSC中物流服务集成商(LSI)占主导地位.

假设5 在物流服务集成商(LSI)的采购方式中,批发预订价格小于期权采购价格(期权预

定价格和期权执行价格之和) 小于现货市场采购价格.

本文的符号定义如下:

q : 集成商初始订货量

m_1 : 集成商的期权购买量

m_e : 集成商的期权执行量

m_2 : 集成商的现货采购量

ω_1 : 单位物流服务能力批发价格

ω_2 : 单位物流服务能力现货采购价格

ω_0 : 单位期权预订价格

ω_e : 单位期权执行价格

p : 单位销售价格

Y : 集成商物流服务能力采购资金预算总额

D : 集成商所需提供的物流需求 ($D \geq 0$, 是个随机变量, 其平均值为 $\mu = E(x) = \int_0^\infty xf(x) dx$,

分布函数和密度函数分别为 $F(x)$ 和 $f(x)$ ($x \geq 0$), $F(x)$ 是连续可微且可逆的严格递增函数, $F(0) = 0$, $F^{-1}(x)$ 为 $F(x)$ 的反函数)

C_i : 集成商的采购期望成本

q : 集成商信息更新后的市场需求量
满足如下关系

$$0 < \omega_1 \leq \omega_0 + \omega_e \leq \omega_2 \leq p$$

上述关系式表示 LSI 的所有采购方式中, 批发价格最低, 现货采购价格最高, 期权采购价格(期权预订价格和期权执行价格之和) 居于两者之间, 同时, 三者均低于销售价格, 表示 3 种采购方式对与 LSI 都是有利的.

此外, 文中出现的符号加上标* 表示该符号所代表变量的最优解.

3 模型建立与分析

按照前文的分析, LSI 的采购决策有 3 个, 分别为 t_0 、 t_1 和 t_2 时刻. 在 t_0 时刻, LSI 确定初始订货量 q 和期权购买量 m_1 ; 在 t_1 时刻, LSI 确定期权执

行量 m_e ; 在 t_2 时刻, LSI 确定现货采购量 m_2 .

3.1 集成商 t_0 时刻的采购决策

3.1.1 无资金约束时的采购模型

在没有采购资金约束时, 集成商的采购期望成本为

$$C_i(q, m_1) = \int_q^{q+m_1} \omega_e(x-q)f(x) dx + \int_{q+m_1}^\infty [\omega_e m_1 + \omega_2(x-q-m_1)]f(x) dx + \omega_1 q + \omega_0 m_1 \tag{1}$$

其中 $\int_q^{q+m_1} \omega_e(x-q)f(x) dx$ 表示当需求预测量大于物流能力的批发量小于物流服务能力的批发量与期权预订量之和时的期权执行成本; $\int_{q+m_1}^\infty [\omega_e m_1 + \omega_2(x-q-m_1)]f(x) dx$ 表示当需求预测量大于批发量与期权预订量之和时的成本; $\omega_1 q$ 表示批发成本; $\omega_0 m_1$ 表示期权预订成本.

于是, 目标函数为

$$\min C_i(q, m_1) = \int_q^{q+m_1} \omega_e(x-q)f(x) dx + \int_{q+m_1}^\infty [\omega_e m_1 + \omega_2(x-q-m_1)]f(x) dx + \omega_1 q + \omega_0 m_1 \tag{2}$$

一阶偏导

$$\frac{\partial C_i(q, m_1)}{\partial q} = \omega_e F(q) + (\omega_2 - \omega_e) \times F(q + m_1) + \omega_1 - \omega_2 \tag{3}$$

$$\frac{\partial C_i(q, m_1)}{\partial m_1} = (\omega_2 - \omega_e) F(q + m_1) + \omega_e + \omega_0 - \omega_2 \tag{4}$$

二阶偏导

$$\frac{\partial^2 C_i(q, m_1)}{\partial q^2} = \omega_e f(q) + (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2 C_i(q, m_1)}{\partial m_1^2} = (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) \tag{6}$$

所以, 函数 $C_i(q, m_1)$ 的黑塞矩阵为

$$H = \begin{vmatrix} \omega_e f(q) + (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) & (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) \\ (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) & (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) \end{vmatrix} \tag{7}$$

在 H 中, 因为 $\omega_e > 0$, $\omega_2 - \omega_e > 0$, 所以

$$\omega_e f(q) + (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) > 0 \tag{8}$$

$$\begin{vmatrix} \omega_e f(q) + (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) & (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) \\ (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) & (\omega_2 - \omega_e) f(q + m_1) \end{vmatrix} > 0 \quad (9)$$

即由式(8) H 的一阶主子式大于 0, 由式(9) H 的二阶主子式大于 0, 所以 H 为正定矩阵, 即目标函数式(2) 为凸函数, 存在极小值.

令式(3) = 0、式(4) = 0, 即

$$\frac{\partial C_i(q, m_1)}{\partial q} = \omega_e F(q) + (\omega_2 - \omega_e) \times F(q + m_1) + \omega_1 - \omega_2 = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial C_i(q, m_1)}{\partial m_1} = (\omega_2 - \omega_e) F(q + m_1) + \omega_e + \omega_0 - \omega_2 = 0 \quad (11)$$

解式(10)、式(11) 得

$$q^* = F^{-1}\left(\frac{\omega_0 + \omega_e - \omega_1}{\omega_e}\right) \quad (12)$$

$$m_1^* = F^{-1}\left(\frac{\omega_2 - \omega_e - \omega_0}{\omega_2 - \omega_e}\right) - q^* \quad (13)$$

3. 1. 2 有资金约束时的采购模型

作为采购策略的重要约束——采购资金, 当其存在约束时, 集成商的采购策略也会受到重大影响. 总的资金约束条件为

$$Y < \omega_1 q^* + (\omega_0 + \omega_e) m_1^* + \omega_2 m_2^* \quad (14)$$

由上面分析可以得出, 当存在采购资金约束时, 集成商第一阶段的决策问题是有约束的非线性规划问题, 本文将利用 Kuhn-Tucker 条件, 对其解的特征进行分析, 并以命题的形式给出.

资金约束为

$$Y < \omega_1 q^* + (\omega_0 + \omega_e) m_1^* \quad (15)$$

定义函数

$$L(q, m_1, \gamma) = C_i(q, m_1) - \gamma_1 [\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 - Y] - \gamma_2 q - \gamma_3 m_1 \quad (16)$$

则 Kuhn-Tucker 条件为

$$\frac{\partial L}{\partial q} = \omega_e F(q) + (\omega_2 - \omega_e) F(q + m_1) + \omega_1 - \omega_2 - \gamma_1 \omega_1 - \gamma_2 = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial L}{\partial m_1} = (\omega_2 - \omega_e) F(q + m_1) + \omega_e + \omega_0 - \omega_2 - \gamma_1 \omega_0 - \gamma_1 \omega_e - \gamma_3 = 0 \quad (18)$$

$$\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 - Y \geq 0 \quad (19)$$

$$q \geq 0 \quad (20)$$

$$m_1 \geq 0 \quad (21)$$

$$\gamma_1 [\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 - Y] = 0 \quad (22)$$

$$\gamma_2 q = 0 \quad (23)$$

$$\gamma_3 m_1 = 0 \quad (24)$$

$$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \geq 0 \quad (25)$$

其中 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ 为广义拉格朗日(Lagrange) 乘子.

命题 1 如果 $\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 = Y$ 成立, 那么 $q = 0, m_1 = 0$ 不可能是最优解.

证明 假设 $q = 0, m_1 > 0$ 成立, 则由式(24) 得 $\gamma_3 = 0$, 由式(17) 得

$$F(m_1) = \frac{\omega_2 + \gamma_2 - (1 - \gamma_1) \omega_1}{\omega_2 - \omega_e} \quad (26)$$

由式(18) 得

$$F(m_1) = \frac{\omega_2 - (1 - \gamma_1) (\omega_0 + \omega_e)}{\omega_2 - \omega_e} \quad (27)$$

联立式(26) 和式(27) 得

$$1 - \gamma_1 = \frac{\gamma_2}{\omega_1 - \omega_0 - \omega_e} \quad (28)$$

将式(28) 代入式(26) 得

$$F(m_1) = \frac{\omega_2 + \gamma_2 - \frac{\omega_1 \gamma_2}{\omega_1 - \omega_0 - \omega_e}}{\omega_2 - \omega_e} \quad (29)$$

因为 $F(m_1) \leq 1$, 所以

$$F(m_1) = \frac{\omega_2 + \gamma_2 - \frac{\omega_1 \gamma_2}{\omega_1 - \omega_0 - \omega_e}}{\omega_2 - \omega_e} \leq 1 \quad (30)$$

由式(30) 得

$$\gamma_2 \leq \frac{\omega_e (\omega_1 - \omega_0 - \omega_e)}{\omega_0 + \omega_e} \quad (31)$$

因为

$$0 < \omega_0, 0 < \omega_e, 0 < \omega_1 < \omega_0 + \omega_e \quad (32)$$

所以 式(32) 满足

$$\gamma_2 \leq \frac{\omega_e (\omega_1 - \omega_0 - \omega_e)}{\omega_0 + \omega_e} < 0 \quad (33)$$

即 $\gamma_2 < 0$, 这与 Kuhn-Tucker 条件式(25) 中 $\gamma_2 \geq 0$ 矛盾, 所以假设不成立, 命题 1 成立.

命题 1 给出了当存在采购资金约束时, 集成商采购决策问题解的一个边界. 同时命题 1 也说明了当集成商的采购决策受到资金约束 $\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 = Y$ (其中 $Y < \omega_1 q^* + (\omega_0 + \omega_e) m_1^*$) 时, 集成商的初始订购量 q 一定大于 0. 这是因为, 当存在采

购资金约束时,集成商的物流服务能力采购量相比于没有资金约束时必然有所降低,而初始采购价格相对于期权采购价格较低,为了降低采购成本避免缺货,同时实现最大销售量,集成商会尽可能地采用初始批发价格采购才能优化决策。

命题2 如果 $\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 = Y$ 则

$$F(q) \leq 1 - \frac{\omega_1 \omega_e}{\omega_2(\omega_0 + \omega_e) - \omega_1(\omega_2 - \omega_e)}$$

关系成立,那么问题的最优解为 $q = \frac{Y}{\omega_1}, m_1 = 0$ 。

证明 假定命题2成立,则有 $q = \frac{Y}{\omega_1}, m_1 = 0$ 。

由式(23)得:当 $q > 0$ 时 $\gamma_2 = 0$ 。又因为 $m_1 = 0$ 。则由式(17)得

$$F(q) = \frac{\omega_2 - (1 - \gamma_1)\omega_1}{\omega_2} \quad (34)$$

由式(18)得

$$F(q) = \frac{\omega_2 + \gamma_3 - (1 - \gamma_1)(\omega_0 + \omega_e)}{\omega_2 - \omega_e} \quad (35)$$

联立式(34)和式(35)得

$$1 - \gamma_1 = \frac{\omega_2(\gamma_3 + \omega_e)}{\omega_2(\omega_0 + \omega_e) - \omega_1(\omega_2 - \omega_e)} \quad (36)$$

将式(36)代入式(34)得

$$F(q) = 1 - \frac{(\gamma_3 + \omega_e)\omega_1}{\omega_2(\omega_0 + \omega_e) - \omega_1(\omega_2 - \omega_e)} \quad (37)$$

由式(37)得

$$F(q) \leq 1 - \frac{\omega_1 \omega_e}{\omega_2(\omega_0 + \omega_e) - \omega_1(\omega_2 - \omega_e)} \quad (38)$$

综上所述,命题2成立。

从命题1和命题2可以看出:

第一,无论采购预算资金如何短缺,集成商都不会放弃批发价格采购。

第二,当采购预算资金短缺到一定程度时,集成商将放弃期权采购,而将有限的资金全部用于批发价格采购。

通过以上分析,显然,对于本问题还需要分析集成商将在什么时候开始以两种采购方式(批发价格采购和期权采购)采购物流服务能力。对此,提出命题3。

命题3 如果 $\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 = Y$,

$$F(q) > 1 - \frac{\omega_e \omega_1}{\omega_2(\omega_0 + \omega_e) - \omega_1(\omega_2 - \omega_e)}$$

关系成立,那么问题的最优解 q, m_1 都大于零,并且 $q,$

m_1 满足以下关系

$$F(q) = \frac{(\omega_0 + \omega_e - \omega_1)(1 + \gamma_1)}{\omega_e} \quad (39)$$

$$F(q + m_1) = \frac{\omega_2 - (1 + \gamma_1)(\omega_0 + \omega_e)}{\omega_2 - \omega_e} \quad (40)$$

式(39)和式(40)中 $\gamma_1 \geq 0$,联立式(39)、式(40)和 $\omega_1 q + (\omega_0 + \omega_e) m_1 = Y$,求解三元一次方程组,可得出具体的 q, m_1 和 γ_1 的值。

证明 根据命题1 $q > 0$ 必然成立,又根据命题2,当 $F(q) \leq 1 - \frac{\omega_1 \omega_e}{\omega_2(\omega_0 + \omega_e) - \omega_1(\omega_2 - \omega_e)}$ 时, $q = \frac{Y}{\omega_1}, m_1 = 0$,所以,当 $F(q) \leq 1 - \frac{\omega_1 \omega_e}{\omega_2(\omega_0 + \omega_e) - \omega_1(\omega_2 - \omega_e)}$ 时,因为 $F(q)$ 是严格递增函数,此时,若需要满足需求,如果全部采取批发价格预定,所需的预算资金必定会大于采购资金 Y ,而相对于批发价格,期权预定价格会较为便宜(因为批发价格大于期权预定价格),而且可以规避掉后期需求超量的风险,所以,此时,问题的最优解 q, m_1 必然都大于零。而当 $q > 0, m_1 > 0$ 时,由 Kuhn-Tucker 条件中式(24)和式(25)可得

$$\gamma_2 = 0, \gamma_3 = 0 \quad (41)$$

将式(41)代入 Kuhn-Tucker 条件式(18)和式(19)化简后可得

$$F(q) = \frac{(\omega_0 + \omega_e - \omega_1)(1 + \gamma_1)}{\omega_e}$$

$$F(q + m_1) = \frac{\omega_2 - (1 + \gamma_1)(\omega_0 + \omega_e)}{\omega_2 - \omega_e}$$

综上所述,命题3成立。

命题3表明当集成商的采购资金超过某一数值时,将同时采用初始订购和期权采购两种采购方式,实现采购决策的最优化。

上述3个命题讨论了集成商在 t_0 时刻决策问题最优解的特征,以及最优解随采购预算资金短缺程度的变化,为现实中集成商的决策提供了有价值的参考。

3.2 集成商 t_1 时刻的采购决策

LSI 在 t_1 时刻的决策主要是对期权执行量 m_e 的确定,即在需求即将发生时,根据从 t_0 到 t_1 这段时间对市场需求的掌握对需求量的重新预测,同

时考虑初始采购量, 确定期权执行量. 假设此时基于市场新信息 i 修正后的顾客需求概率密度函数为 $f(x/i)$, 假设市场的其他参数不变, 此时, LSI 预测的市场总需求为 q' .

当没有资金约束时, LSI 在此阶段的采购决策为

$$m_e^* = \min\{ [q' - q^*]^+ m_1^* \} \quad (42)$$

式(42)中 $[q' - q^*]^+$ 是非负数. m_e^* 取值为期权预订量和新的预测量与第一阶段需求量差值中的较小值, 可理解如下:

当 $q' \leq q^*$, 即当 LSI 在 t_1 时刻预测的市场需求比 t_0 时刻批发价格预订的量小时, $[q' - q^*]^+$ 为 0, 此时 LSI 批发价格采购的物流服务能力足够满足市场需求, LSI 不执行期权, 即 m_e^* 为 0;

当 $q^* < q' < q^* + m_1^*$, 即当 LSI 在 t_1 时刻预测的市场需求在 t_0 时刻批发价格预订与期权预订量之间时, LSI 选择部分执行期权, 且期权执行量为最新预测的市场需求减去批发价格预订量, 即 m_e^* 为 $q' - q^*$;

当 $q' \geq q^* + m_1^*$, 即当 LSI 在 t_1 时刻预测的市场需求比 t_0 时刻批发价格预订与期权预订量之和为大时, LSI 选择全部执行期权, 且最优期权执行量 m_e^* 为 m_1^* .

当存在资金约束时, 资金约束可表示为

$$\omega_e m_e^* \leq Y - \omega_1 q^* - \omega_0 m_1^* \quad (43)$$

当 $q' \leq q^*$ 时, 即 $m_e^* = 0$, 式(43)成立, 此时 LSI 在该阶段不追加订货, LSI 的最优期权执行量为 0.

当 $q^* < q' < q^* + m_1^*$ 时, 即 $m_e^* = q' - q^*$, 式(43)成立, 此时 LSI 在该阶段追加订货, LSI 的最优期权执行量为 $q' - q^*$.

当 $q' \geq q^* + m_1^*$ 时, 即 $m_e^* = m_1^*$, 式(43)不成立, 此时 LSI 在该阶段追加订货, LSI 的最优期权执行量等于期权预订量, 为 m_1^* .

3.3 集成商 t_2 时刻的采购决策

集成商 t_2 时刻的采购决策是指当需求发生时, 集成商的初始采购量和期权采购量不满足需求, 从而需要在现货市场进行采购一定的物流服务能力来满足需求.

当没有采购资金约束时, 集成商会根据市场需求, 采购缺少的物流服务能力, 此时集成商的现货采购量为

$$m_2^* = \max\{ D - q^* - m_e^*, 0 \} \quad (44)$$

式(44)中, q^* 和 m_e^* 分别是式(12)和式(42)所表示的集成商的最优初始采购量和最优期权执行量, m_2^* 由市场需求 D , 集成商初始采购量 q 和期权执行量 m_e 确定, 为需求减去初始订购量和期权执行量之后的值, 由于需求量不确定, 所以在确定现货采购量时, 需要用需求减去初始采购量和期权执行量, 同时与 0 对比而确定.

当存在采购资金约束时, 集成商会将剩余的采购资金用来采购不足的物流服务能力, 即

$$m_2^* = \min\left\{ [D - q^* - m_e^*]^+, \frac{Y - \omega_1 q^* - (\omega_0 m_1^* + \omega_e m_e^*)}{\omega_2} \right\} \quad (45)$$

式(45)中, q^* , m_1^* 和 m_e^* 分别由式(12)、式(13)和式(42)确定, m_2^* 除了与市场需求以及 LSI 已经采购的物流服务能力有关之外, 还受到采购资金的影响, 后一项表示现有资金可以采购到的最大现货量.

3.4 资金短缺对集成商采购策略的影响

根据前文中的分析, 提出以下推论.

推论 1 当存在采购资金约束, 集成商初始采购量和期权采购量之和比没有采购资金约束时要小.

证明 在没有采购资金约束时, 根据式(13) 集成商最优初始采购量和现货采购量之和 $q^* + m_1^*$ 满足

$$F(q^* + m_1^*) = \frac{\omega_2 - \omega_e - \omega_0}{\omega_2 - \omega_e} \quad (46)$$

而存在采购资金约束时, 根据命题 3 中式(40)所示, 集成商的初始采购量和现货采购量之和满足

$$F(q + m_1) = \frac{\omega_2 - (1 + \gamma_1)(\omega_e + \omega_0)}{\omega_2 - \omega_e}$$

因为 $\gamma_1 \geq 0$, 所以 $F(q^* + m_1^*) \geq F(q + m_1)$. 又因为 $F(x)$ 为 x 的增函数, 所以

$$q^* + m_1^* \geq q + m_1$$

推论 1 得证.

推论 2 当存在采购资金约束时, 集成商将增加初始采购量, 减少期权采购量.

证明 在没有采购资金约束时, 根据式(12) 集成商最优初始采购量 q^* 满足

$$F(q^*) = \frac{\omega_0 + \omega_e - \omega_1}{\omega_e} \quad (47)$$

而存在采购资金约束时,根据命题3中式(39)所示,集成商的初始采购量满足

$$F(q) = (1 + \gamma_1) \frac{\omega_0 + \omega_e - \omega_1}{\omega_e}$$

因为 $\gamma_1 \geq 0$, 所以 $F(q^*) \leq F(q)$. 又因为 $F(x)$ 为 x 的增函数, 所以

$$q^* \leq q, m_1^* \geq m_1$$

推论2得证.

推论1和推论2反映了采购资金短缺对集成商初始采购和期权采购的影响.

4 算例分析

将采用数值模拟方法,进一步验证本文所得

出的结论.

假设某物流服务集成商面临的物流服务能力需求满足 $[0, 300]$ 的均匀分布, 相应的市场参数分别为 $p = 90, \omega_1 = 60, \omega_0 = 10, \omega_e = 60, \omega_2 = 80$. 通过数值分析, 考察采购资金对集成商决策的影响.

在无资金约束时, 根据式(12)和式(13)可得, 集成商的最优初始采购量 $q^* = 50$, 最优期权采购量 $m_1^* = 100$, 此时集成商所需的采购预算资金 $Y = 10\,000$. 如果集成商无法筹齐所需的采购资金, 即 $Y < 10\,000$ 时, 那么集成商的订货策略将会受到影响, 不能按照最优订货策略进行采购. 根据当存在采购资金约束时集成商的采购决策问题, 考察不同资金约束程度下集成商的采购策略, 分析如下:

表1 不同预算资金下LSI的采购策略及利润
Table 1 Order policy and profit under different fund

| 采购量 | Y/千元 | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 0 | 1 000 | 2 000 | 3 000 | 4 000 | 5 000 | 6 000 | 7 000 | 8 000 | 9 000 | 10 000 |
| 批发量 | 0 | 16 | 32 | 50 | 62 | 65 | 62 | 60 | 58 | 56 | 50 |
| 期权预订量 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 16 | 33 | 49 | 65 | 81 | 100 |
| 预订总量 | 0 | 16 | 32 | 50 | 66 | 81 | 95 | 109 | 123 | 137 | 150 |
| 利润/千元 | 0 | 480 | 960 | 1 500 | 1 940 | 2 290 | 2 550 | 2 810 | 3 070 | 3 330 | 3 500 |

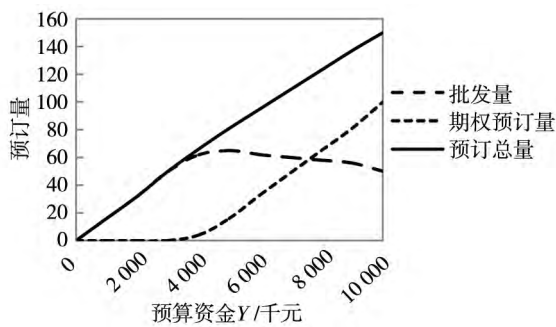


图2 不同预算资金下LSI的采购策略
Fig. 2 Order policy under different fund

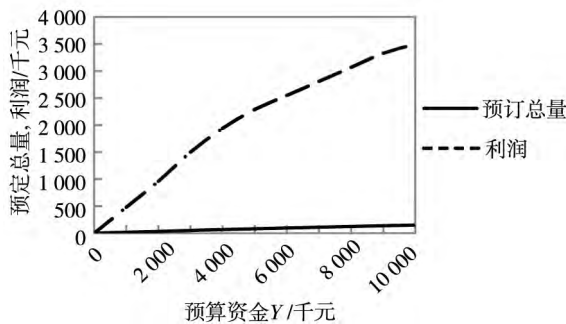


图3 不同预算资金下LSI的采购策略及利润
Fig. 3 Order policy and profit under different fund

从表1和图2可得:

- 1) 集成商的初始采购量 q 始终大于0, 表明对集成商来说, 当存在需求时, 初始采购方式是集成商必定会采用的采购方式, 这也验证了命题1的结论.
- 2) 随着采购资金的增加, 集成商的总采购量 $q + m_1$ 也随之增加, 直至采购资金为10 000时, 达到最大值150, 这也正是没有采购资金约束时的最优的总采购量, 这也验证了推论1的结论.
- 3) 资金短缺程度越高, 集成商越会增加初始采购量的比例, 减少现货采购量的比例, 即 Y 越小, q 所占采购量比例越大, m_1 所占采购量比例越小, 当资金短缺到一定程度时, 集成商将只会采用初始采购, 这也验证了推论2的结论.

从表1和图3可得, 随着采购资金的增加, LSI可能的利润大致上是逐渐增加的. 因为此处的利润是按照市场需求等于批发价格采购与期权预订量之和计算出的大致利润, 但具体的利润情况还需要结合后续信息更新情况以及市场的实际情况进行精确的计算.

5 结束语

本文从 3 个阶段研究了物流服务集成商受资金约束条件下的采购策略,研究发现在有资金约束条件下,集成商初始采购量和期权采购量之和比没有采购资金约束时要少;同时,存在采购资金约束时,集成商将增加初始采购,减少期权采购。

存在采购资金约束时,LSI 在第二阶段的期权执行量和第三阶段的现货采购量也不仅仅会受到需求的影响,也会受到采购资金的影响。

本文的结果是在特定假设条件下得到的,还需要在实践及现实数据中进行验证。另外,本文研究的是单一服务集成商和单一服务供应商组成的供应链,而现实中多集成商和多供应商组成的供应网络更为常见,这为进一步研究提供了方向。

参考文献:

- [1] Goran P, Helge V. Growth strategies for logistics service providers: A case study [J]. *International Journal of Logistics Management*, 2001, 12(1): 53–64.
- [2] Choy K L, Li C H. Managing uncertainty in logistics service supply chain [J]. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 2007, 7(1): 19–25.
- [3] 田宇. 物流服务供应链构建中的供应商选择研究 [J]. *系统工程理论与实践*, 2003, (5): 49–53.
Tian Yu. Supplier selection in constructing logistics service supply chain [J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2003, (5): 49–53. (in Chinese)
- [4] Milner J M, Rosenblatt M J. Flexible supply contracts for short life-cycle goods: The buyer's perspective [J]. *Naval Research Logistics*, 2002, 49(1): 25–45.
- [5] Tsay A A. The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives [J]. *Management Science*, 1999, 45(10): 1339–1358.
- [6] Tsay A A. Quantity flexibility contract and supply chain performance [J]. *Manufacturing and Operation Management*, 1999, 1(2): 89–111.
- [7] Wu D J, Kleindorfer P R, Zhang J E. Optimal bidding and contracting strategies for capital-intensive goods [J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 137(3): 657–676.
- [8] Kleindorfer P R, Wu D J. Integrating long-and short-term contracting via business-to-business exchanges for capital-intensive industries [J]. *Management Science*, 2003, 49(11): 1597–1615.
- [9] Spinler S, Huchzermeier A, Kleindorfer P R. Risk hedging via options contracts for physical delivery [J]. *OR Spectrum*, 2003, 25(3): 379–395.
- [10] Spinler S, Huchzermeier A. The valuation of options on capacity with cost and demand uncertainty [J]. *European Journal of Operation Research*, 2006, 171(3): 915–934.
- [11] 尤晓岚, 冯耕中, 徐金鹏, 等. 基于期权和 B2B 电子交易的供应链均衡策略 [J]. *管理科学学报*, 2014, 17(6): 1–12.
You Xiaolan, Feng Gengzhong, Xu Jinpeng, et al. Balanced strategies for supply chain based on options contract and B2B E-markets [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(6): 1–12. (in Chinese)
- [12] 徐贤浩, 陈雯, 廖丽平, 等. 基于需求预测的短生命周期产品订货策略研究 [J]. *管理科学学报*, 2013, 16(4): 22–32.
Xu Xianhao, Chen Wen, Liao Liping, et al. Ordering strategy of short life-cycle products based on the demand of forecasting [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2013, 16(4): 22–32. (in Chinese)
- [13] 尚文芳. 考虑需求预测更新的零售商期权采购策略及其应用风险分析 [J]. *中国管理科学*, 2015, 23(Z1): 571–580.
Shang Wenfang. Risk analysis of purchasing policy with options contracts for buyers under forecast updating [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(Z1): 571–580. (in Chinese)

- [14] Lynch D F, Kellers S B, Ozment J. The effects of logistics capabilities and strategy on firm performance [J]. *Journal of Business Logistics*, 2002, 21(2): 47–67.
- [15] Yang X. Scheduling with generalized batch delivery dates and earliness penalties [J]. *IIE Transactions*, 2000, 32(8): 735–741.
- [16] Zhang B, Du S. Multi-product newsboy problem with limited capacity and outsourcing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 202(1): 107–113.
- [17] Murray C C, Gosavi A, Talukdar D. The multi-product price-setting newsvendor with resource capacity constraints [J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 138(1): 148–158.
- [18] Zhang B, Hua Z. A portfolio approach to multi-product newsboy problem with budget constraint [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2010, 58(4): 759–765.
- [19] 陈杰, 陈志祥, 邢灵博, 等. 带有能力约束的多元马氏需求报童模型 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19(7): 37–49.
Chen Jie, Chen Zhixiang, Xing Lingbo, et al. Capacitated newsboy model with multivariate Markovian demand [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(7): 37–49. (in Chinese)
- [20] 胡本勇, 彭其渊, 王性玉. 考虑采购资金约束的供应链期权柔性契约 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(12): 62–71.
Hu Benyong, Peng Qiyuan, Wang Xingyu. Supply chain option flexibility contract with consideration of influence of shortage of capital [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(12): 62–71. (in Chinese)
- [21] 占济舟, 卢锐. 零售商采购资金约束下供应链融资方式的选择策略研究 [J]. *管理工程学报*, 2016, 30(3): 106–113.
Zhan Jizhou, Lu Rui. Study on the strategy of supply chain financing methods with retailer's procurement capital constraint [J]. *Journal of Industrial Engineering/Engineering Management*, 2016, 30(3): 106–113. (in Chinese)
- [22] 李超, 骆建文. 基于预付款的资金约束供应链收益共享协调机制 [J]. *管理学报*, 2016, (5): 763–771.
Li Chao, Luo Jianwen. Revenue sharing coordination mechanism for financial constrained supply chain based on advance payment [J]. *Chinese Journal of Management*, 2016, (5): 763–771. (in Chinese)

Decision of purchasing logistics service capabilities considering the influence of shortage of capital

ZHAO Hai-feng¹, HE Qing¹, Edison TSE²

1. School of Management and Economics, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2. Department of Management Science and Engineering, Stanford University, Stanford 94043, USA

Abstract: This paper discusses the procurement decision for logistics service integrator, including the number of whole sale price and booking option in the first period, options to perform in the second period and the spot purchasing in the third period, and sets up a purchase model without the influence of shortage of capital to find the purchase decision for logistics service integrator in the third period. Then introduced the constraint of order budget, analyzed the procurement decision for integrator under this condition, and compared the decision of logistic service integrator in both situation, discussed the influence of shortage of capital on logistic capabilities procurement for integrator. Finally, the research findings was described and verified by data analysis.

Key words: shortage of capital; logistic service supply chain; procurement of supply capabilities