

跨国双向供应链下物流合作的政府激励策略研究

于 辉¹, 余 黎¹, 孙彩虹²

(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400030;

2. 重庆工商大学会计学院, 重庆 400067)

摘要: 考虑政府采取针对运载总量和运载平衡性的双重激励策略, 建立了政府财政激励政策下跨国双向供应链的物流合作模型, 探讨政府财政补贴的激励效应. 结果表明, 政府针对总量和运载平衡性的双重激励策略是有效的, 能够实现物流通道运量和供应链节点企业收益的双重改善, 但这两项激励之间存在“激励对冲效应”, 且政府追求双向运载量平衡与追求双向供应链整体利润最优存在冲突, 政府决策时应权衡. 同时还发现物流成本分担比例将显著影响双向供应链的合作空间和合作效果.

关键词: 政府激励; 跨国双向供应链; 物流合作; 双向运载量平衡

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2019)06-0770-13

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2019.06.005

Research on the government incentive strategy of logistics cooperation under the transnational two-way supply chain

Yu Hui¹, Yu Li¹, Sun Caihong²

(1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. School of Accountancy, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Taking into account the government adopts a dual incentive strategy on traffic volume and balance of delivery, a logistics cooperation model for global bidirectional supply chains under the government incentive policy is established to discuss the incentive effect of government financial subsidies. The results show that the government's dual incentive strategy for the balance of total volume and transport is effective, and can realize the dual improvement of logistics channel volume and supply chain node enterprise income, but there is an incentive hedging effect between the two incentives. The pursuit of balancing the two-way traffic is in conflict with the goal of maximizing the overall profit of the bidirectional supply chains, government needs to weigh when making decision. Moreover, logistics cost sharing ratio will significantly influence the cooperation space and cooperation effect.

Key words: government's incentives; global bidirectional supply chains; logistics cooperation; balance of two-way traffic

1 引言

中欧贸易的蓬勃发展以及“一带一路”战略的推进为中欧国际物流通道带来了千载难逢的发展机遇. 中欧铁路运输通道作为重要的国际贸易通道, 面临良好发展机会的同时, 仍有诸多问题亟待解决. 自 2011 年

收稿日期: 2016-12-27; 修订日期: 2017-10-12.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71872021; 71571024); 中央高校基本科研业务费资助项目(2018CDJSK02XK17).

首次开行至 2016 年 6 月底, 中欧班列累计开行 1 881 列, 其中回程 502 列, 国内始发城市 16 个, 境外到达 8 个国家 12 个以上的城市, 运行线达到 39 条, 实现进出口贸易总额约 170 亿 USD^[1]. 然而, 在中欧班列迅猛发展的同时, 运量不足, 回程货源难组织, 双向运载量不平衡等问题也严重制约着班列综合运输成本的降低. 目前开行的中欧班列平均满载率不足 50%, 仅少数几条线路实现了双向常态化运行. 长期的单向运输使得中欧班列全线亏损, 各地政府为保证货运代理不亏损和维持班列的价格优势, 纷纷提供了高额的财政补贴, 且补贴力度“一浪高过一浪”.

在此乱象下, 有必要对财政补贴的效果进行思考的问题是, 政府应该激励总量还是激励平衡? 如何激励最有效? 政府激励策略下, 两条商品流向相反的跨国供应链是否有动力进行物流合作, 在破解物流通道回程货源难题的同时又增加供应链企业的利润?

现有文献中, 供应链合作的形式主要分为两类, 即水平合作和垂直合作. 水平合作指生产链中处于相同阶段的企业或者产业集群中相似的企业, 出于生产能力的平衡利用^[2]、采购成本最小化^[3]等目的进行的合作. 这种合作通常是跨链的, 如刘春玲等^[4]建立了两单链间两零售商跨链间库存协作的时变鲁棒控制系统模型并用鲁棒优化算法来研究供应链的跨链库存合作对供应链系统的库存、订货及牛鞭效应的影响. 除了生产运营领域的水平合作, 部分学者关注物流领域的水平合作, 如 Schulz 等^[5]探究了人道主义组织在救灾物流中的水平合作产生的潜在好处和可能面临的阻碍, 发现物流水平合作不仅降低了成本, 更重要的是带来了时间、质量方面的改善. Perez-Bernabeu 等^[6]关注公路运输方面的水平合作对中小企业的重要性, 分析了运输服务提供商间横向合作的案例, 说明水平合作不仅减少分销成本, 而且降低了温室气体排放. 供应链的垂直合作则涉及到供应链中处于不同生产阶段的企业, 这些企业可能在库存管理^[7]等方面进行合作, 合作的切入点主要有三类. 一是以信息流作为供应链合作基础, 如吴江华等^[8]针对供应链上下游企业的合作广告问题, 运用 Stackelberg 博弈模型研究了不确定性对供应链上下游企业决策及绩效的影响. 同样涉及到信息共享问题, 石园等^[9]将合作预测的概念和方法应用到旅游供应链中, 具体分析了信息差异度对合作预测效果和决策的影响. 二是以资金流为切入点进行供应链合作, 合作参与者不仅仅局限于供应链上下游企业, 也可能包括银行、电商平台等第三方. 供应链节点企业间基于资金流的合作多体现在收入共享、成本共担, 如钟宝嵩等^[10]运用博弈论方法研究了供应链中厂商与销售商合作促销中, 厂商愿意分担部分促销费用时, 销售商的最优合作促销费用投入问题. 于辉等^[11]基于订单转保理融资模式, 研究了当供应商面临资金约束向银行融资时, 零售商为供应商提供信用担保, 是否应该收取担保费用的问题. 三是基于物流的供应链合作, 如公彦德等^[12]将第三方物流服务提供商引入到供应链协调中, 研究制造商和零售商共担物流成本情况下, 供应链应独立决策还是联合决策. Mortensen 等^[13]研究了制造商与第三方物流提供商目前的整合程度以及这种合作模式未来的发展趋势. Stock 等^[14]运用实证研究方法探索供应链结构与物流整合方法的匹配程度对组织绩效的影响. 但上述对供应链合作的研究大多考虑的是纯商业合作, 即企业从自身利益出发, 与其他企业/供应链形成合作关系, 很少考虑政府引导或激励下的供应链合作, 也未涉及政府或其他第三参与方对供应链合作格局的影响.

当前, 虽然也有部分文献研究了政府对供应链的激励政策, 但主要集中于绿色供应链、逆向供应链等. 在绿色供应链方面, 陈志松等^[15]综合运用 Stackelberg 博弈、收益共享-成本共担契约与 Nash 谈判理论, 研究了增值税即征即退和环境税等政府激励政策下人造板绿色供应链的协调问题. 田一辉等^[16]建立了基于价格补贴的三阶段演化博弈模型, 研究了政府补贴对绿色供应链管理实践在企业群体间的扩散影响和绿色产品在消费者间的推广作用. 在逆向供应链方面, 张汉江等^[17]在研究政府财政补贴鼓励制造商回收再制造问题时, 把政府作为决策主体引入到供应链中, 讨论了政府决策的绩效对闭环供应链的影响. 曹束等^[18]针对一个道德风险与逆向选择并存的逆向供应链系统, 分别设计了制造商与回收商、政府与制造商之间的激励机制, 并比较了对称信息和不对称信息下契约的差异. 王文宾等^[19]想探讨政府应如何设计奖惩机制以有效引导逆向供应链, 研究了电子类产品逆向供应链的政府奖惩机制, 讨论了奖惩机制的最优参数. 杨玉香

等^[20]利用双层规划、均衡理论及变分不等式等工具,研究了环保部门如何制定有效的激励监督策略以推动企业开展逆向物流活动.上述研究均考虑了政府的作用,把政府引入到供应链系统中,但都是基于单条供应链,很少考虑到双向供应链中政策效果的传递效应.

综上可知,已有不少学者对供应链合作进行了多角度的研究,也有部分学者考虑了政府的作用,研究政府激励政策下单条供应链的协调问题或政府的最优决策,但对于政府激励政策下两条供应链合作的研究还很少见,尤其是两条商品流向相反的跨国的供应链之间的物流合作.而以中欧班列为代表的国际铁路货运大通道连接着两个跨国的贸易主体,由此连接着两条跨国的双向供应链,研究政府如何设定科学合理的激励政策以引导跨国双向供应链进行物流合作,在增加供应链企业利润的同时又能解决物流通道回程货源的难题,具有重要的现实意义.鉴于此,本文从现实出发,运用资源整合的思想,考虑政府提供运费补贴以鼓励跨国双向供应链进行物流合作,构建了跨国双向供应链基于物流成本共担的物流合作模型,对比分析两条双向供应链在不合作与合作两种情形下的最优决策和利润,探讨财政补贴的激励效应.

2 跨国双向供应链的物流非合作模型

考虑两条商品流向相反的跨国供应链(以下简称“跨国双向供应链”),每条供应链由一个供应商和一个零售商组成,其中供应商和零售商都是完全理性的决策主体,根据期望利润最大化的原则进行决策.零售商面对确定的市场需求,供应商向零售商供应商品,并承担运输费用,第三方物流企业提供商品运输服务.

供应商和零售商在批发价契约下以自身利润最大化为目标进行 Stackelberg 博弈.供应商优先制定批发价格,随后零售商根据批发价格和市场需求确定订货量.第三方物流服务提供商将商品运送至目的地并收取运输费用.在本文中,下标 R 代表零售商,下标 S 代表供应商,下标 A 代表供应链整体.本文暂不考虑税收和汇率等问题.

线性需求函数作为最基础的研究模型,在研究中比较常见,更便于对问题的直接理解和获得理论上的结论,故本文假设市场需求是产品价格的线性函数,具体形式如 $D = a - bp$,其中 a 表示潜在的市场规模.进一步假设:1) 供应商和零售商之间信息共享,且信息对称;2) 假定无不确定因素影响,零售商面对确定的市场需求,订货量等于市场需求;3) 第三方物流服务提供商作为外部环境条件,不参与决策,单位产品的运输费用为外生决定;4) 为保证各方有利可图,假定 $p_i > w_i > c_i, i = 1, 2$.文中的符号说明见表 1.

表 1 符号说明
Table 1 The symbols description

符号	意义
c_1	供应商 S_1 的单位产品成本
w_1	供应商 S_1 确定的单位产品的批发价格(S_1 的决策变量)
q_1	零售商 R_1 的订货量(R_1 的决策变量)
p_1	产品在市场 1 的单位售价
l_1	去程的单位产品运输费用
D_1	市场 1 对产品的需求, $D_1 = a_1 - b_1 p_1$, a_1, b_1 均为大于 0 的常数
c_2	供应商 S_2 的单位产品成本
w_2	供应商 S_2 确定的单位产品的批发价格(S_2 的决策变量)
q_2	零售商 R_2 的订货量(R_2 的决策变量)
p_2	产品在市场 2 的单位售价
l_2	回程的单位产品运输费用
D_2	市场 2 对产品的需求, $D_2 = a_2 - b_2 p_2$, a_2, b_2 均为大于 0 的常数
l_3	平衡激励因子
l_4	运载总量激励因子
k_0	当双向运载量实现完全平衡时,政府提供的最大激励金额

无政府介入情形下, 两条供应链相互独立, 每条供应链的供应商各自寻求与第三方物流的合作, 独自承担商品的运输费用. 设供应链 1 的物流成本函数为 $L_1 = l_1 q_1$, l_1 表示第三方物流收取的去程的单位产品运输费用. 供应链 2 的物流成本函数为 $L_2 = l_2 q_2$, l_2 表示第三方物流收取的返程的单位产品运输费用. 该模型的系统流程如图 1 所示.

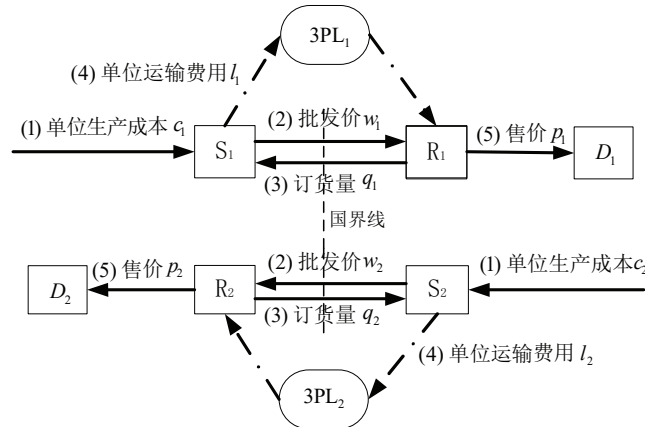


图 1 跨国双向供应链物流非合作的系统流程图

Fig. 1 System flow chart of transnational two-way supply chain logistics without cooperation

零售商面对确定性需求, $p > w$, 即零售商向市场供货总是有利可图的, 因此零售商会最大限度满足市场需求, 按照市场需求量来订货, 即 $q = D$.

R_1 的利润函数为

$$\pi_{R_1} = p_1 q_1 - w_1 q_1. \quad (1)$$

S_1 承担产品的物流费用, 利润函数为

$$\pi_{S_1} = w_1 q_1 - c_1 q_1 - l_1 q_1, \quad (2)$$

其中等式右边第一项表示 S_1 取得的销售收入, 第二项表示 S_1 的生产成本, 最后一项表示 S_1 承担的全部物流成本.

S_1 和 R_1 在批发价契约下进行 Stackelberg 博弈, S_1 为博弈主方, R_1 为博弈从方, 故具体决策顺序为 S_1 首先决定批发价, 然后 R_1 根据批发价确定订货量. 通过逆序方法分析, 可得 Stackelberg 均衡解.

命题 1 两条跨国双向供应链相互独立, 各自寻找物流服务提供商并承担全部物流成本时, 对于供应链 1, 其最优订货量、最优批发价和最优零售价分别为

$$\begin{aligned} q_1^* &= (a_1 - b_1(c_1 + l_1))/4, \\ w_1^* &= (a_1 + b_1(c_1 + l_1))/(2b_1), \\ p_1^* &= (3a_1 + b_1(c_1 + l_1))/(4b_1). \end{aligned}$$

证明 给定 S_1 确定的 w_1 , R_1 的优化问题为 $\max_{q_1 \geq 0} \pi_{R_1}(q_1 | w_1) = p_1 q_1 - w_1 q_1$.

将市场需求函数 $D_1 = a_1 - b_1 p_1$ 代入上式得到

$$\pi_{R_1} = \left(\frac{a_1 - q_1}{b_1} - w_1 \right) q_1,$$

π_{R_1} 是关于 q_1 的凹函数, 存在唯一的最优订货量 $q_1^*(w_1) = (a_1 - b_1 w_1)/2 \geq 0$.

将最优订货量 $q_1^*(w_1)$ 代入式(2), 得到 S_1 的最优化问题

$$\max_{w_1 \geq 0} \pi_{S_1}(w_1 | q_1) = (w_1 - c_1 - l_1) q_1(w_1).$$

显然, π_{S_1} 是关于 w_1 的凹函数, 可得最优批发价 $w_1^* = \frac{a_1 + b_1(c_1 + l_1)}{2b_1}$, 从而得到零售商的最优订货量 $q_1^* = \frac{a_1 - b_1(c_1 + l_1)}{4}$, 最优价格策略 $p_1^* = \frac{3a_1 + b_1(c_1 + l_1)}{4b_1}$. 证毕.

3 跨国双向供应链的链间物流合作模型

针对目前以中欧货运班列为代表的国际铁路货运大通道存在的运量不足、双向运载量严重不平衡问题, 政府制定激励政策, 向供应链企业提供运费补贴. 其旨在根据物流通道双向运载量之差和运载量之和采取一定力度的激励措施. 满足以下两个特点: 1) 当双向运载量之差越来越小, 即双向运量不平衡逐步改善时, 政府对供应链企业的激励越大, 提供的运费补贴越多. 当双向运载量之差为零, 即双向运载量实现了完全平衡时, 政府提供的补贴最大, 为 k_0 ; 2) 随着物流通道双向运载总量的增加, 政府的补贴金额也越多.

设物流总成本为 $L(q_1, q_2) = l_1 q_1 + l_2 q_2 - (k_0 - l_3(q_1 - q_2)) - l_4(q_1 + q_2)$. l_1 表示去程的单位产品运输费用, l_2 表示返程的单位产品运输费用, l_3 表示平衡激励因子, l_4 表示运载总量激励因子. 政府财政补贴激励下两条跨国双向供应链在物流方面进行合作, 共用物流大通道, S_1 和 S_2 共同分担物流总费用, t 为 S_1 的运输成本分担比例, $t \in (0, 1)$. 该情形下, 政府参与博弈, 以双向供应链整体利润最大化为决策目标, 供应商和零售商在批发价契约下进行 Stackelberg 博弈. 决策顺序为政府先对平衡激励因子 l_3 和运载总量激励因子 l_4 进行决策, 接着双向供应链进行决策, 供应商为 Stackelberg 博弈主方, 首先决定批发价, 零售商为博弈从方, 根据批发价确定订货量. 两条供应链同时决策, 不分先后. 根据逆向归纳法的思想, 先求供应商与零售商的博弈, 再求政府与供应链的博弈. 文中把跨国双向供应链的物流合作模式用上标 c 表示. 该模型的系统与流程如图 2 所示.

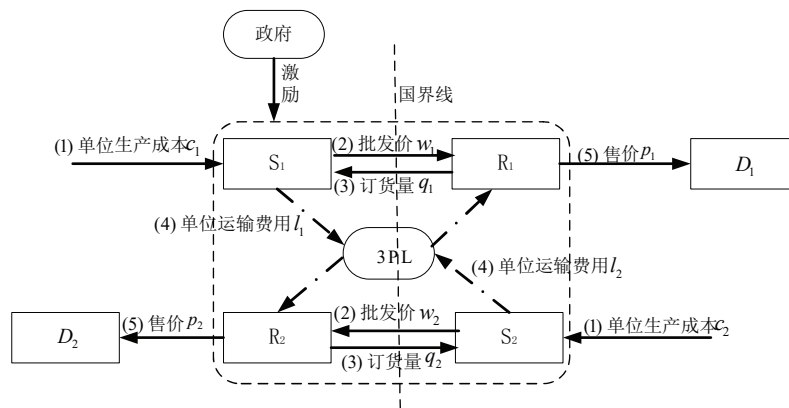


图 2 跨国双向供应链链间物流合作的系统流程图

Fig. 2 Systematic flow chart of logistics cooperation between transnational two-way supply chains

3.1 供应链最优决策

给定政府的激励策略, 即给定平衡激励因子 l_3 和运载总量激励因子 l_4 , 双向供应链上的节点企业以各自利润最大化为目标制定最优决策. 供应链 1 中, 零售商 1 和供应商 1 的利润函数分别为

$$\pi_{R_1}^c = p_1^c q_1^c - w_1^c q_1^c, \quad (3)$$

$$\pi_{S_1}^c = w_1^c q_1^c - c_1 q_1^c - t(l_1 q_1^c + l_2 q_2^c - k_0 + l_3(q_1^c - q_2^c) - l_4(q_1^c + q_2^c)). \quad (4)$$

供应链 2 中, 零售商 2 和供应商 2 的利润函数分别为

$$\pi_{R_2}^c = p_2^c q_2^c - w_2^c q_2^c, \quad (5)$$

$$\pi_{S_2}^c = w_2^c q_2^c - c_2 q_2^c - (1-t)(l_1 q_1^c + l_2 q_2^c - k_0 + l_3(q_1^c - q_2^c) - l_4(q_1^c + q_2^c)). \quad (6)$$

命题2 政府激励政策下, 当两条原本互相独立的供应链寻求物流方面的合作, 共用物流大通道, 共同分担物流费用时, 两条供应链的最优策略分别为

$$\begin{aligned} q_1^{c*} &= (a_1 - b_1 c_1 - t b_1 (l_1 + l_3 - l_4)) / 4, \quad q_2^{c*} = (a_2 - b_2 c_2 - (1-t) b_2 (l_2 - l_3 - l_4)) / 4, \\ w_1^{c*} &= (a_1 + b_1 c_1 + t b_1 (l_1 + l_3 - l_4)) / (2b_1), \quad w_2^{c*} = (a_2 + b_2 c_2 + (1-t) b_2 (l_2 - l_3 - l_4)) / (2b_2), \\ p_1^{c*} &= (3a_1 + b_1 c_1 + t b_1 (l_1 + l_3 - l_4)) / (4b_1), \quad p_2^{c*} = (3a_2 + b_2 c_2 + (1-t) b_2 (l_2 - l_3 - l_4)) / (4b_2). \end{aligned}$$

证明 供应链1中, 给定 S_1 确定的 w_1^c , R_1 的优化问题为 $\max_{q_1^c \geq 0} \pi_{R_1}^c(q_1^c | w_1^c) = p_1^c q_1^c - w_1^c q_1^c$.

将市场需求函数 $D_1 = a_1 - b_1 p_1$ 代入上式得 $\pi_{R_1}^c = ((a_1 - q_1^c) / b_1 - w_1^c) q_1^c$, $\pi_{R_1}^c$ 是关于 q_1^c 的凹函数, 存在唯一的最优订货量 $q_1^{c*}(w_1^c) = (a_1 - b_1 w_1^c) / 2 \geq 0$.

将零售商1的最优订货量代入式(4), 得到供应商1的最优化问题

$$\max_{w_1^c \geq 0} \pi_{S_1}^c(w_1^c | q_1^c) = w_1^c q_1^c - c_1 q_1^c - t(l_1 q_1^c + l_2 q_2^c - k_0 + l_3(q_1^c - q_2^c) - l_4(q_1^c + q_2^c)).$$

显然, $\pi_{S_1}^c(w_1^c)$ 是关于 w_1^c 的凹函数. 由一阶条件可得 S_1 的最优批发价 $w_1^{c*} = (a_1 + b_1 c_1 + t b_1 (l_1 + l_3 - l_4)) / (2b_1)$, 由 $q_1^{c*}(w_1^c) = (a_1 - b_1 w_1^c) / 2$ 可知 R_1 的最优订货量为 $q_1^{c*} = (a_1 - b_1 c_1 - t b_1 (l_1 + l_3 - l_4)) / 4$.

类似对供应链1的讨论, 得到 S_2 的最优批发价 $w_2^{c*} = (a_2 + b_2 c_2 + (1-t) b_2 (l_2 - l_3 - l_4)) / (2b_2)$, R_2 的最优订货量 $q_2^{c*} = (a_2 - b_2 c_2 - (1-t) b_2 (l_2 - l_3 - l_4)) / 4$.

当 $l_3 = 0, l_4 = 0$ 时, 上述结果退化为两条供应链相互独立时的最优结果. 政府激励政策下, 跨国双向供应链进行物流合作, 共担物流成本, 成为利益共同体. 批发价契约下, 随着平衡激励因子 l_3 的增加, 供应商1和2会各自调整批发价格促使对应的零售商改变订货量, 使得两条链的订货量之差尽可能小. 随着运载总量激励因子 l_4 的增加, 两条链上的供应商又会调整批发价格促使对应的零售商增加订货量, 使得两条链的订货量之和尽可能大, 从而使总物流成本下降.

3.2 政府最优激励策略

政府采取激励策略引导跨国双向供应链进行物流合作, 不仅以平衡物流通道双向运载量和提高运载总量为目标, 还期望供应链整体利润在合作过程中得到改善.

政府考虑供应链整体利润最大化, 即

$$\max_{l_3 \geq 0, l_4 \geq 0} \pi_A = \pi_{R_1}^c + \pi_{S_1}^c + \pi_{R_2}^c + \pi_{S_2}^c.$$

将式(3)、式(4)、式(5)和式(6)相加, 政府的最优化问题可描述为

$$\max_{l_3 \geq 0, l_4 \geq 0} \pi_A = (p_1^c - c_1) q_1^c + (p_2^c - c_2) q_2^c - (l_1 q_1^c + l_2 q_2^c - k_0 + l_3(q_1^c - q_2^c) - l_4(q_1^c + q_2^c)). \quad (7)$$

命题3 跨国双向供应链进行链间物流合作, 政府追求供应链整体利润最大化, 最优平衡激励因子和最优运载总量激励因子满足 $(l_3, l_4) \in \arg(\max\{\pi_{A1}, \pi_{A2}, \pi_{A3}, \pi_{A4}\})$, 其中 $\arg$ 表示取 $\pi_{A1}, \pi_{A2}, \pi_{A3}, \pi_{A4}$ 中的最大值时所对应的最优变量值,

$$\begin{aligned} \pi_{A1}(l_3, l_4) &= (3(a_1 - b_1 c_1)^2 - (t b_1 l_1)^2 - 2t b_1 (a_1 - b_1 c_1) l_1) / (16b_1) - l_1(a_1 - b_1 c_1 - t b_1 l_1) / 4 + \\ &\quad (3(a_2 - b_2 c_2)^2 - ((1-t) b_2 l_2)^2 - 2(1-t) b_2 (a_2 - b_2 c_2) l_2) / (16b_2) - \\ &\quad l_2(a_2 - b_2 c_2 - (1-t) b_2 l_2) / 4, \\ \pi_{A2}(l_3, l_4) &= 3(a_1 - b_1 c_1)^2 / (16b_1) + (3(a_2 - b_2 c_2)^2 - ((1-t) b_2 (l_2 - l_1))^2 - \\ &\quad 2(1-t) b_2 (a_2 - b_2 c_2) (l_2 - l_1)) / (16b_2) - (l_2 - l_1) (a_2 - b_2 c_2 - (1-t) b_2 (l_2 - l_1)) / 4, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi_{A3}(l_3, l_4) &= (3(a_1 - b_1c_1)^2 - (2tb_1l_1)^2 - 4tb_1(a_1 - b_1c_1)l_1)/(16b_1) + k_0 - l_1(a_1 - b_1c_1 - 2tb_1l_1)/2 + \\ &\quad (3(a_2 - b_2c_2)^2 - ((1-t)b_2(l_2 - l_1))^2 - 2(1-t)b_2(a_2 - b_2c_2)(l_2 - l_1))/(16b_2) - \\ &\quad (l_2 - l_1)(a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2(l_2 - l_1))/4, \\ \pi_{A4}(l_3, l_4) &= (3(a_1 - b_1c_1)^2 - (tb_1l_1)^2 - 2tb_1(a_1 - b_1c_1)l_1)/(16b_1) + k_0 + \\ &\quad (3(a_2 - b_2c_2)^2 - ((1-t)b_2(l_2 - 2l_1))^2 - 2(1-t)b_2(a_2 - b_2c_2)(l_2 - 2l_1))/(16b_2) - \\ &\quad l_1(a_1 - b_1c_1 - tb_1l_1)/4 - (l_2 - 2l_1)(a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2(l_2 - 2l_1))/4.\end{aligned}$$

证明 将命题2中双向供应链的最优决策代入政府的目标函数式(7), 得

$$\begin{aligned}\pi_A &= \left(3(a_1 - b_1c_1)^2 - (tb_1(l_1 + l_3 - l_4))^2 - 2tb_1(a_1 - b_1c_1)(l_1 + l_3 - l_4)\right)/(16b_1) + \\ &\quad \left(3(a_2 - b_2c_2)^2 - ((1-t)b_2(l_2 - l_3 - l_4))^2 - 2(1-t)b_2(a_2 - b_2c_2) \times \right. \\ &\quad \left.(l_2 - l_3 - l_4)\right)/(16b_2) - \left(l_1(a_1 - b_1c_1 - tb_1(l_1 + l_3 - l_4)) - \right. \\ &\quad \left.l_2(a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2(l_2 - l_3 - l_4))\right)/4 + k_0 - (l_3 + l_4) \times \\ &\quad (a_1 - b_1c_1 - tb_1(l_1 + l_3 - l_4) - a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2(l_2 - l_3 - l_4))/4.\end{aligned}$$

上式分别对 l_3, l_4 求一阶导数和二阶导数

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi_A}{\partial l_3} &= -(a_1 - b_1c_1)(2+t) + tb_1(l_1 + l_3 - l_4)(4-t) + (a_2 - b_2c_2)(3-t) - \\ &\quad (1-t)b_2(l_2 - l_3 - l_4)(3+t))/8, \\ \frac{\partial \pi_A}{\partial l_4} &= ((a_1 - b_1c_1)(2+t) + tb_1(l_1 + l_3 - l_4)(t-4) + (a_2 - b_2c_2)(3-t) - \\ &\quad (1-t)b_2(l_2 - l_3 - l_4)(3+t))/8, \\ \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_3^2} &= (tb_1(4-t) + (1-t)b_2(3+t))/8 > 0, \\ \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_3 \partial l_4} &= ((1-t)b_2(3+t) - tb_1(4-t))/8, \\ \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_4^2} &= (-tb_1(t-4) + (1-t)b_2(3+t))/8 > 0.\end{aligned}$$

π_A 关于 l_3, l_4 的 Hesse 矩阵为 $\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_3^2} & \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_3 \partial l_4} \\ \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_4 \partial l_3} & \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_4^2} \end{pmatrix}$. 易判断出 $\mathbf{H}$ 矩阵为正定, $\pi_A(l_3, l_4)$ 为凸函数,

最大值必定在定义域的某处边界上取到. 又因为 $\frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_3^2} > 0, \frac{\partial^2 \pi_A}{\partial l_4^2} > 0$, 所以最大值在端点处取到.

$l_3, l_4 \in [0, \max(l_1, l_2)]$, 不失一般性, 假设 $l_1 > l_2$, 则 l_3, l_4 能取到的最大值均为 l_1 . 二元函数的图像为一个曲面, 四个端点分别为 $(0, 0), (0, l_1), (l_1, 0), (l_1, l_1)$, $\pi_{A1}, \pi_{A2}, \pi_{A3}, \pi_{A4}$ 分别是对应端点处的函数值. 当 $l_3 = 0$ 时, 政府针对运载平衡不采取激励措施, 有 $k_0 = 0$. 下面分别求解四个端点处的供应链整体利润.

当 $l_3 = 0, l_4 = 0$ 时, 双向供应链整体利润为

$$\begin{aligned}\pi_{A1} &= \frac{3(a_1 - b_1c_1)^2 - (tb_1l_1)^2 - 2tb_1(a_1 - b_1c_1)l_1}{16b_1} - l_1 \frac{a_1 - b_1c_1 - tb_1l_1}{4} - \\ &\quad l_2 \frac{a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2l_2}{4} + \frac{3(a_2 - b_2c_2)^2 - ((1-t)b_2l_2)^2 - 2(1-t)b_2(a_2 - b_2c_2)l_2}{16b_2}.\end{aligned}$$

当 $l_3 = 0, l_4 = l_1$ 时, 双向供应链整体利润为

$$\pi_{A2} = \frac{3(a_1 - b_1c_1)^2}{16b_1} + \frac{3(a_2 - b_2c_2)^2 - ((1-t)b_2(l_2 - l_1))^2 - 2(1-t)b_2(a_2 - b_2c_2)(l_2 - l_1)}{16b_2} - (l_2 - l_1) \frac{a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2(l_2 - l_1)}{4}.$$

当 $l_3 = l_1, l_4 = 0$ 时, 双向供应链整体利润为

$$\pi_{A3} = \frac{3(a_1 - b_1c_1)^2 - (2tb_1l_1)^2 - 4tb_1(a_1 - b_1c_1)l_1}{16b_1} + k_0 - l_1 \frac{a_1 - b_1c_1 - 2tb_1l_1}{2} + \frac{3(a_2 - b_2c_2)^2 - ((1-t)b_2(l_2 - l_1))^2 - 2(1-t)b_2(a_2 - b_2c_2)(l_2 - l_1)}{16b_2} - (l_2 - l_1) \frac{a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2(l_2 - l_1)}{4}.$$

当 $l_3 = l_1, l_4 = l_1$ 时, 双向供应链整体利润为

$$\pi_{A4} = \frac{3(a_1 - b_1c_1)^2 - (tb_1l_1)^2 - 2tb_1(a_1 - b_1c_1)l_1}{16b_1} + k_0 + \frac{3(a_2 - b_2c_2)^2 - ((1-t)b_2(l_2 - 2l_1))^2 - 2(1-t)b_2(a_2 - b_2c_2)(l_2 - 2l_1)}{16b_2} - l_1 \frac{a_1 - b_1c_1 - tb_1l_1}{4} - (l_2 - 2l_1) \frac{a_2 - b_2c_2 - (1-t)b_2(l_2 - 2l_1)}{4}.$$

命题 3 表明, 政府在制定激励政策以期解决物流通道运载总量和平衡性问题的基础上, 如果以双向供应链整体利润最大为决策目标, 那就需要采取较极端的激励方式, 如把针对平衡的激励力度增到最大, 或把针对运载总量的激励力度增到最大, 或者两者都增加到最大限度. 这也间接说明政府的两个目标之间存在某种冲突, 难以两全.

4 数值分析

前面的模型分析得出了跨国双向供应链在相互独立时和物流合作时的供应链最优决策以及政府的最优激励策略. 下面将通过数值仿真来分析以下几个问题: 1) 物流合作模式, 相比于传统模式, 将对跨国双向供应链带来何种影响? 2) 双向供应链是否存在合作空间以及运输成本分担比例对两条供应链物流合作空间和合作效果的影响; 3) 物流合作模式下, 平衡激励因子、运载总量激励因子等参数的影响. 相关参数设定由表 2 给出. 由这些参数值计算可得跨国双向供应链在物流合作前后的最优决策和最优利润.

表 2 参数设置
Table 1 The parameter setting

参数	a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2	l_1	l_2	k_0	t
取值	200	7	10	100	2	20	3	3	20	0.65

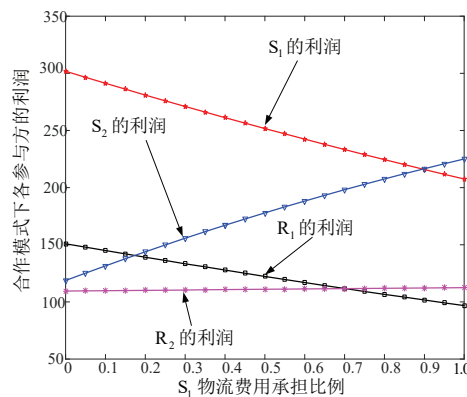
物流合作前后供应链的最优决策和利润见表 3. 由表 3 可知, 原本两条相互独立的双向供应链进行物流合作后, 两条链上的订货量差距缩小, 物流通道的双向运载总量增加. 同时, 双向供应链运输成本降低, 各节点企业利润也得到了不同幅度的改善, 双向供应链整体的利润增加. 此结果表明: 对政府而言, 其针对运载总量和平衡性的双重激励政策是有效的, 在一定程度上实现了物流通道运载量和供应链利润的双重改善, 且财政补贴政策下跨国双向供应链在物流方面存在很大的合作空间, 供应商 1 有强烈动机设计一种物流成本分担机制来激励供应链 2 与其合作, 实现共赢.

表3 物流合作前后供应链的最优决策和利润($l_3 = 1.65, l_4 = 0.95$)Table 2 Optimal decisions and profits of supply chain before and after logistics cooperation($l_3 = 1.65, l_4 = 0.95$)

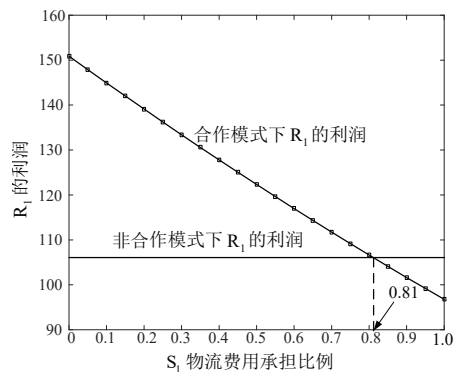
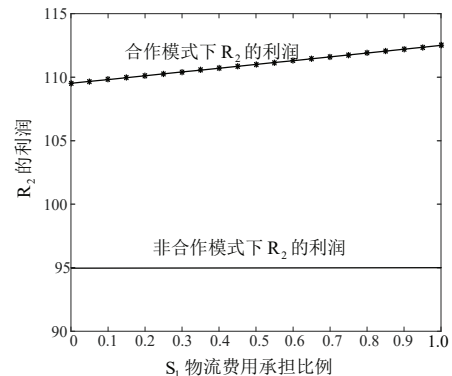
情形	链	q^*	w^*	p^*	L	π_S	π_R	π_A	$ q_1 - q_2 $	$q_1 + q_2$
相互独立	链1	27.25	20.79	24.68	81.75	212.16	106.08	591.62	13.75	40.75
	链2	13.50	36.50	43.25	40.50	182.25	91.13	—	—	—
物流合作	链1	28.29	20.49	24.53	58.92	237.80	114.34	656.86	13.36	43.22
	链2	14.93	35.07	42.54	31.73	193.27	111.34	—	—	—

4.1 运输成本分担比例 t 对供应链合作的影响

S_1 物流费用承担比例 t 与供应链节点企业利润的关系如图3所示. 由图3可知, 随着供应商1承担的物流费用的增加, 供应商1和零售商1的利润大幅减少, 供应商2和零售商2的利润均增加. 其中供应商2的利润得到显著改善, 说明两条双向供应链的链间物流合作模式对于供应商2是个有利机会, 其有意愿与供应链1达成合作共识, 以减少双方的物流成本.

图3 S_1 物流费用承担比例 t 与供应链节点企业利润的关系Fig. 3 The relationship between logistics cost bearing rate t of S_1 and supply chain nodal enterprise profit

物流合作前后供应链节点企业利润的变化如图4所示. 由图4可知, 物流费用的承担问题会影响跨国双向供应链的合作空间. 由图4(a)、图4(c)和图4(d)可知, 只有当供应商1承担的物流费用比例 t 达到某种条件时, 零售商1、供应商1和供应商2的利润才会得到改善, 大于两条供应链相互独立时的利润. 由图4(b)知, 对于零售商2, 只要跨国双向供应链进行链间物流合作, 就可搭上合作的“便车”, 利润就会得到改善. 因此图4表明当供应商1承担的物流费用比例 t 满足特定条件时, 跨国双向供应链上的节点企业的利润会同时得到改善, 实现四方共赢.

(a) 物流合作前后 R_1 的利润变化(a) Profit changes of R_1 before and after logistics cooperation(b) 物流合作前后 R_2 的利润变化(b) Profit changes of R_2 before and after logistics cooperation

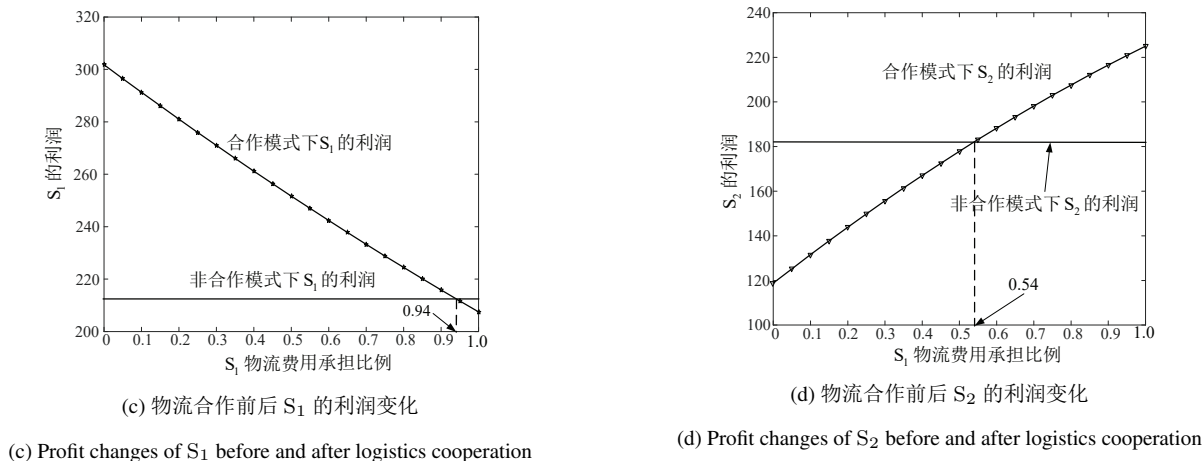


图4 物流合作前后供应链节点企业利润的变化

Fig. 4 The change of profit of supply chain enterprises before and after logistics cooperation

S_1 物流费用承担比例 t 对双向运载量的影响如图 5 所示. 由图 5 可知, 物流合作模式下, 随着供应商 1 承担的物流费用的增加, 物流通道双向运载总量递减, 但始终大于两条供应链相互独立时的运载总量. 同时, 双向运载量的差距逐步缩小, 当物流费用承担比例 t 满足特定条件时, 合作模式下的运载量之差小于两条供应链相互独立时的运载量之差, 双向运载量不平衡问题得到一定程度的缓解. 这说明物流费用的分摊比例会影响跨国双向供应链链间物流合作的合作效果.

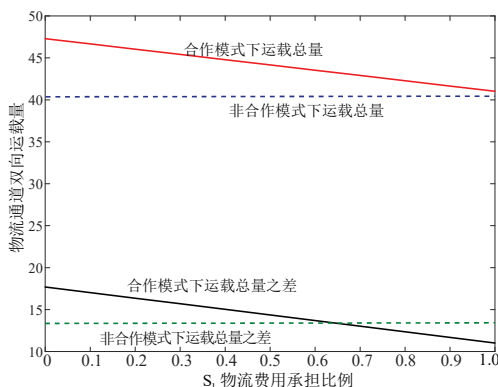
图5 S_1 物流费用承担比例对双向运载量的影响

Fig. 5 The influence of logistics cost sharing ratio on two-way traffic

4.2 相关参数的影响

政府通过调节平衡激励因子 l_3 和运载总量激励因子 l_4 来改变激励策略, 体现激励重点. 在这里, 主要分析激励因子对合作效果、供应链各节点企业利润的影响以及激励因子与双向供应链整体利润的关系.

l_3 对供应链各方的影响如表 4 所示($l_4 = 0.95$, 其他参数与基本参数相同). 由表 4 可知, 随着平衡激励因子 l_3 的增大, 零售商 1 的订货量减少, 零售商 2 的订货量增加, 从而导致两条链的订货量之差减小, 说明政府针对运载平衡性的激励策略是有效的. 同时, 随着激励因子 l_3 的增大, 两条链上的订货量之和减少, 意味着物流通道双向运载总量减少, 表明激励双向运载量平衡与激励总运载量增加这两者存在明显冲突, 不可兼得.

随着对运载量平衡激励强度 l_3 的增大, 供应链系统中只有零售商 2 处于利润改善的状态, 其他三方的利润均随之下降, 供应链整体的利润也下降. 这为政府激励政策的制定提供了一个启示: 向企业提供的运费补贴应适量, 一味地增加补贴以期平衡往返的运载量并不能达到想要的效果, 反而会适得其反.

表 4 l_3 对供应链各方的影响($l_4 = 0.95$, 其他参数与基本参数相同)

Table 4 The influence of l_3 on supply chain enterprises with the parameter setting in table 1($l_4 = 0.95$)

l_3	q_1^c	q_2^c	$ q_1^c - q_2^c $	$q_1^c + q_2^c$	$\pi_{S_1}^c$	$\pi_{R_1}^c$	$\pi_{S_2}^c$	$\pi_{R_2}^c$	π_A^c
0.0	30.17	14.64	15.53	44.81	253.52	130.02	199.72	107.18	690.44
0.5	29.60	14.73	14.87	44.33	248.48	125.16	197.52	108.47	679.63
1.0	29.03	14.82	14.21	43.85	243.68	120.40	195.53	109.76	669.37
1.5	28.46	14.90	13.56	43.37	239.12	115.73	193.76	111.06	659.67
2.0	27.89	14.99	12.90	42.88	234.81	111.15	192.20	112.37	650.52
2.5	27.32	15.08	12.25	42.40	230.73	106.66	190.85	113.68	641.93
3.0	26.76	15.17	11.59	41.92	226.90	102.27	189.72	115.01	633.90

l_4 对供应链各方的影响如表 5 所示($l_3 = 1.65$, 其他参数与基本参数相同). 由表 5 可知, 随着运载总量激励因子 l_4 的增大, 供应链 1 和 2 的订货量均增加, 从而物流通道的双向运载总量也增加, 说明运载总量激励因子可以有效激励双向供应链增加产品供给量, 提高物流通道往返运载总量的同时也改善了消费者福利. 然而, 运载总量激励因子的增大, 也加剧了双向运载量的不平衡状态. 这也再次说明在政府引导的物流市场中, 两种激励存在“激励对冲效应”. 政府不能两项同时激励, 而应分阶段进行.

表 5 l_4 对供应链各方的影响($l_3 = 1.65$, 其他参数与基本参数相同)

Table 4 The influence of l_4 on supply chain enterprises with the parameter setting in table 1($l_3 = 1.65$)

l_4	q_1^c	q_2^c	$ q_1^c - q_2^c $	$q_1^c + q_2^c$	$\pi_{S_1}^c$	$\pi_{R_1}^c$	$\pi_{S_2}^c$	$\pi_{R_2}^c$	π_A^c
0.0	27.21	14.76	12.45	41.97	211.59	105.77	180.68	108.98	607.03
0.5	27.78	14.85	12.93	42.63	225.28	110.24	187.21	110.28	633.01
1.0	28.35	14.94	13.41	43.29	239.21	114.80	193.95	111.58	659.54
1.5	28.92	15.03	13.89	43.94	253.38	119.46	200.91	112.89	686.63
2.0	29.49	15.11	14.37	44.60	267.79	124.20	208.08	114.21	714.28
2.5	30.05	15.20	14.85	45.26	282.44	129.04	215.46	115.54	742.48
3.0	30.62	15.29	15.33	45.91	297.33	133.97	223.06	116.87	771.24

随着政府对运载总量激励强度 l_4 的增大, 供应链整体利润增加, 各节点企业的利润均得到改善, 实现多方共赢.

激励因子与供应链整体利润关系如图 6 所示.

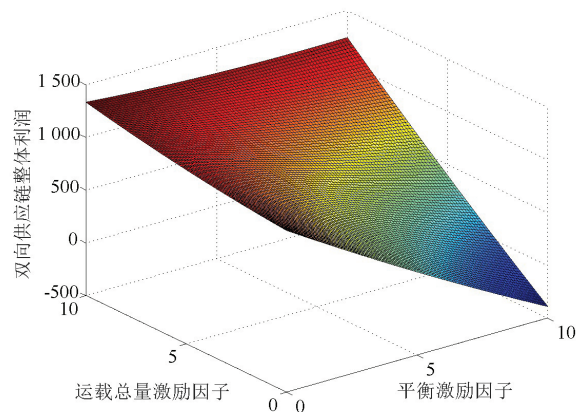


图 6 激励因子与供应链整体利润之间的关系

Fig. 6 The relationship between incentive factor and overall profit of supply chain

由图 6 可知, 双向供应链整体利润随平衡激励力度的增加而减少, 随运载总量激励力度的增加而增加. 这说明, 政府追求物流通道运载总量增加与追求双向供应链整体利润最优具有一致性, 平衡物流通道双向运载量与追求双向供应链整体利润最优存在冲突. 而物流通道双向运载量是否平衡关系到物流通道运营方

是否能降低成本、提高盈利, 政府在决策时需要权衡。

5 结束语

本文针对以中欧班列为代表的国际铁路物流大通道存在的运量不足、双向运载量不平衡的现实问题, 提出了跨国双向供应链共享物流大通道共担物流成本的物流合作模式, 构建了政府激励政策下的两条双向供应链链间物流合作的模型, 研究了政府财政补贴的激励效应。研究表明, 在政府引导的物流市场中, 政府针对总量和运载平衡性的激励策略是有效的, 可以实现物流通道运量和供应链企业收益的双重改善。但必须要注意到两条供应链对总运输成本的分担比例会显著影响两条供应链的合作空间和合作效果。同时, 这两项激励之间存在“激励对冲效应”, 且政府追求物流通道运载总量增加与追求双向供应链整体利润最优具有一致性, 平衡物流通道双向运载量与追求双向供应链整体利润最优存在冲突, 容忍一定程度的双向运载量失衡以追求供应链整体利润的最优, 还是尽力平衡双向运载量, 取决于政府在不同阶段实施激励的目的。

本文虽然从资源整合角度出发, 考虑政府采取财政政策引导双向供应链进行链间物流合作来解决国际铁路物流通道存在的现实问题, 探讨了两条供应链进行物流合作的合作基础以及财政补贴的激励效应, 但是对于政府激励政策下, 供应链企业开拓市场的努力水平是否会变化, 政府干预下供应链的合作格局会如何变化等问题还需进一步探讨。

参考文献:

- [1] 国家发展与改革委员会. 中欧班列建设发展规划(2016-2020). <http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201610/P020161017544178660107>. National Development and Reform Commission. Development plan of CR express(2016-2020). <http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201610/P020161017544178660107>. (in Chinese)
- [2] Carbonara N, Giannoccaro I, Pontrandolfo P. Supply chains within industrial districts: A theoretical framework. *International Journal of Production Economics*, 2002, 76(2): 159-176.
- [3] Coro G, Grandinetti R. Evolutionary patterns of Italian industrial districts. *Human Systems Management*, 1999, 18(2): 117-129.
- [4] 刘春玲, 孙林夫, 黎继子. 多级集群式供应链跨链库存合作及鲁棒优化算法. *控制理论与应用*, 2009, 26(9): 1046-1050. Liu C L, Sun L F, Li J Z. Cross-chain inventory coordination of multi-echelon cluster supply chains and robust optimization algorithm. *Control Theory & Applications*, 2009, 26(9): 1046-1050. (in Chinese)
- [5] Schulz S F, Tatham P, Blecken A. Horizontal cooperation in disaster relief logistics: Benefits and impediments. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2010, 40(8): 636-656.
- [6] Perez-Bernabeu E, Juan A A, Faulin J, et al. Horizontal cooperation in road transportation: A case illustrating savings in distances and greenhouse gas emissions. *International Transactions in Operational Research*, 2015, 22(3): 585-606.
- [7] Toni A D, Nassimbeni G. Supply networks: Genesis, stability and logistics implications: A comparative analysis of two districts. *Omega: The International Journal of Management Science*, 1995, 23(4): 403-418.
- [8] 吴江华, 翟 昕. 信息共享对供应链合作广告影响的博弈分析. *中国管理科学*, 2012, 20(5): 100-107. Wu J H, Zhai X. Game analysis on the influence of information sharing on cooperative advertising in supply chain. *Chinese Journal of Management Science*, 2012, 20(5): 100-107. (in Chinese)
- [9] 石 园, 黄晓林, 张智勇, 等. 基于信息共享的旅游供应链合作预测问题研究. *经济地理*, 2013, 33(6): 170-175. Shi Y, Huang X L, Zhang Z Y, et al. Research of collaborative forecasting in tourism supply chain based on information sharing. *Economic Geography*, 2013, 33(6): 170-175. (in Chinese)
- [10] 钟宝嵩, 李 悝, 李宏余. 基于供应链的合作促销与定价问题. *中国管理科学*, 2004, 12(3): 69-74. Zhong B S, Li K, Li H Y. Cooperative promotion and pricing in a supply chain. *Chinese Journal of Management Science*, 2004, 12(3): 69-74. (in Chinese)
- [11] 于 辉, 马云麟. 订单转保理融资模式的供应链金融模型. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(7): 1733-1743. Yu H, Ma Y L. The supply chain finance model Based on the order-to-factoring mode. *Systems Engineering: Theory Practice*, 2015, 35(7): 1733-1743. (in Chinese)

- [12] 公彦德, 李帮义, 刘 涛. 3PL 服务提供商参与下的供应链定价及协调策略. 商业研究, 2008(11): 162–165.
Gong Y D, Li B Y, Liu T. Pricing and coordination strategies for supply chain based on third-party logistics provider. Commercial Research, 2008(11): 162–165. (in Chinese)
- [13] Mortensen O, Lemoine O W. Integration between manufacturers and third party logistics providers. International Journal of Operations Production Management, 2008, 28(4): 331–359.
- [14] Stock G N, Greis N P, Kasarda J D. Enterprise logistics and supply chain structure: The role of fit. Journal of Operations Management, 2000, 18(5): 531–547.
- [15] 陈志松. 政府激励政策下人造板绿色供应链谈判-协调机制研究. 中国管理科学, 2016, 24(2): 115–123.
Chen Z S. A bargaining-coordination mechanism for green supply chain of wood-based panel under the government incentive policy. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(2): 115–123. (in Chinese)
- [16] 田一辉, 朱庆华. 政府价格补贴下绿色供应链管理扩散博弈模型. 系统工程学报, 2016, 31(4): 526–535.
Tian Y H, Zhu Q H. Game model for diffusion of green supply chain management based on price subsidies of the government. Journal of Systems Engineering, 2016, 31(4): 526–535. (in Chinese)
- [17] 张汉江, 李聪颖, 姚 琴, 等. 闭环供应链上的最优回收激励契约与政府补贴再制造政策的最优化. 系统工程, 2014, 32(8): 74–79.
Zhang H J, Li C Y, Yao Q, et al. Optimal recycling incentive contract on closed-loop supply chain and optimization of government subsidy policy of remanufacturing. Systems Engineering, 2014, 32(8): 74–79. (in Chinese)
- [18] 曹 束, 胡丽玲, 姚清钦, 等. 基于激励理论的政府与逆向供应链系统协调机制. 系统工程学报, 2015, 30(6): 821–835.
Cao J, Hu L L, Yao Q Q, et al. Coordination mechanism between government and reverse supply chain system based on incentive theory. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(6): 821–835. (in Chinese)
- [19] 王文宾, 达庆利. 考虑政府引导的电子类产品逆向供应链奖惩机制设计. 中国管理科学, 2010, 18(2): 62–67.
Wang W B, Da Q L. Study on premium and penalty mechanisms for the electronic product reverse supply chain considering the leading of government. Chinese Journal of Management Science, 2010, 18(2): 62–67. (in Chinese)
- [20] 杨玉香, 周根贵. 报废产品回收激励与监督的竞争博弈模型. 系统工程学报, 2013, 28(2): 202–210.
Yang Y X, Zhou G G. Competition game model for incentive and supervision of EOL products recovery. Journal of Systems Engineering, 2013, 28(2): 202–210. (in Chinese)

作者简介:

于 辉(1973—), 男, 重庆人, 博士, 教授, 研究方向: 物流与供应链管理, 突发事件应急管理, 金融工程, Email: yuhui@cqu.edu.cn;

余 黎(1992—), 女, 重庆人, 硕士生, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: njcjyl@163.com;

孙彩虹(1974—), 女, 重庆人, 博士, 副教授, 研究方向: 新产品供应链管理, Email: caihongsun@ctbu.edu.cn.