

DOI:10.16356/j.1005-2615.2022.02.019

考虑双边努力的卡车航班供应链决策与协调

李玉民, 代冬霞, 刘志勇, 潘晓景

(郑州大学管理工程学院, 郑州 450000)

摘要: 考虑由单个航空公司和单个运输公司组成的卡车航班供应链, 在运输价格和双边努力水平影响运输需求的情形下, 讨论集中和分散决策下的运价、双边努力水平和利润, 设计双边努力“成本共担+收益共享”契约对卡车航班供应链进行协调。研究表明, 分散决策下的双边努力水平和利润均小于集中决策, 供应链整体利润较低; 双边努力“成本共担+收益共享”组合契约下双边努力水平达到了集中决策时的水平, 实现了卡车航班供应链的协调; 在满足一定条件时, 组合契约可使得卡车航班供应链各方收益实现 Pareto 改进。最后, 通过仿真检验组合契约的有效性, 并分析相关参数的灵敏度。

关键词: 交通运输规划与管理; 卡车航班; 双边努力; 成本共担; 收益共享; 供应链协调

中图分类号: C934 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2615(2022)02-0321-11

Decision-Making and Coordination for Truck-Flight Supply Chains Based on Bilateral Efforts

LI Yumin, DAI Dongxia, LIU Zhiyong, PAN Xiaojing

(School of Management Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: This paper proposes a cooperation strategy based on the bilateral effort “cost sharing + revenue sharing” contract for truck-flight supply chains. This strategy considers a truck-flight supply chain that includes a single flight and a single transport company, and investigates the freight, bilateral efforts and profits of the centralized and the decentralized decision-makings. Our investigation finds out that (1) the levels of bilateral efforts and profits of the decentralized decision-making are lower than those of the centralized decision-making; (2) the bilateral efforts under the combined contract of “cost sharing + revenue sharing” can reach the level of the centralized decision-making, and realize the coordination of the truck-flight supply chain; (3) with certain conditions, the combination contract can make Pareto improvement on the revenues of all parties in the truck-flight supply chain. Finally, the simulation verifies the effectiveness of the combination contract, and the sensitivities of the parameters are analyzed.

Key words: transportation planning and management; truck-flight; bilateral efforts; cost sharing; revenue sharing; supply chain coordination

航空货运在多式联运运输中起着非常重要的作用, 其多式联运模式主要有空陆、空海和空铁联运。卡车航班是一种相对成熟的空陆联运方式, 目

前业内并没有统一概念, 有学者视其为全公路运输方式, 而有学者视其为空陆联运方式。本文将视其为一种衔接航空货运定时定点定线路且满足客户

基金项目: 国家自然科学基金(71501173); 河南省重点软科学研究(202400410174); 河南自贸区政策研究专项课题重点项目(2019-ZM-T06)。

收稿日期: 2021-02-24; **修订日期:** 2021-06-25

通信作者: 李玉民, 男, 教授, E-mail: li.yu.min@163.com。

引用格式: 李玉民, 代冬霞, 刘志勇, 等. 考虑双边努力的卡车航班供应链决策与协调[J]. 南京航空航天大学学报, 2022, 54(2): 321-331. LI Yumin, DAI Dongxia, LIU Zhiyong, et al. Decision-making and coordination for truck-flight supply chains based on bilateral efforts[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2022, 54(2): 321-331.

“门到门”需求的公路快捷货运方式,既能享受航空高效快捷准时的运输服务,又能发挥卡车低价便利的运输优势,满足客户高效快捷低价的运输要求。卡车航班供应链提供的服务具有无形性、易逝性和不可存储性等特点,是一种服务供应链^[1]。参考《物流术语 GB/T18354—2021》中供应链的概念^[2](生产及流通过程中,围绕核心企业的核心产品或服务,由所涉及的原材料供应商、制造商、分销商、零售商直到最终用户等形成的网链结构),以及卡车航班运营情况,将卡车航班供应链定义为在空公联运过程中,所涉及的航空公司、运输公司直到最终收货人等上下游成员链接形成的网链结构。2020年11月13日,中国民航局在新闻发布会中指出,“当前航空货运还存在空地联运不够高效、‘最后一公里’效率有待提升、空运优势被打折扣等问题,鼓励航空货运企业向物流集成商转型,向产业链上下游延伸,才能在现代流通体系中发挥更大作用。”随着卡车航班的开通运营,从双边努力的角度入手,研究卡车航班供应链中航空公司和运输公司的决策与协调问题,将有效促进卡车航班上下游企业联合重组,提升空公联运效率。

现有航空多式联运相关研究主要集中在空铁和空巴联运两个方面。(1)空铁联运:空铁联运可有效缓解机场营运压力,减少环境破坏,但对社会福利的影响具有不确定性^[3];同时,中心辐射式航空公司与高速铁路运营商可以形成合作关系以缓解枢纽机场容量受限的问题^[4],减少航空与高铁之间的衔接时间将会增加整个运输网络的总盈余^[5],而两者之间的共址问题会影响航空与高铁的合作水平^[6]。(2)空巴联运:机场巴士时刻表会影响乘车人数和运营成本^[7],航班计划编排能有效配置资源^[8],在时空网络和机场巴士时间表基础上,建立优化模型能有效提供时间表方案^[9],建立航班调度优化模型可以减少航班延误次数^[10]。

现有卡车航班相关研究主要集中在卡车航班开行情况以及优势方面。(1)开行情况:香港至江门卡车航班能有效简化通关手续,减少作业环节;天津至北京卡车航班扩大了物流辐射范围,增强了天津的货运枢纽地位;云南运行卡车航班,实现了空陆联运的无缝对接;重庆以智能关锁为载体开通卡车航班,有效健全重庆航空网络覆盖面,丰富重庆航线资源。(2)开行优势:卡车航班开行,能有效提高大型货机载运率,扩大机场辐射区域,节省通关时间,简化通关手续^[11];对留住本地货源、吸引外地货源发挥着至关重要的作用,有效提升区域产业竞争力和高质量集群化发展能力^[12]。

现有供应链协调考虑双边努力因素的相关研究主要集中在供应商、制造商、零售商、物流企业等角度。(1)零售商角度:在供应链中考虑努力因素,可以解决销售商努力在回馈策略中的供应链协调问题^[13],研究不确定需求下零售商销售努力和订货问题^[14]。(2)供应商-零售商角度:考虑需求受销售努力影响和产出受生产努力影响,可以较好地解决供应链全局优化问题^[15]、激励问题^[16]以及契约设计问题^[17]。(3)制造商-零售商角度:考虑制造商质量努力和零售商营销努力,可以增强收益共享契约的有效性^[18],协调供应链^[19]。(4)其他角度:将双边努力因素引入二级网购供应链^[20]以及三级农产品供应链^[21]均能实现供应链的协调。

综上所述,国内外学者在航空相关多式联运模式、卡车航班开行优势以及双边努力因素下的供应链协调等方面的研究已经较完善。但仍存在以下不足:(1)国内外学者对航空相关多式联运的研究主要集中在空铁和空巴联运方面,空公联运的研究较少;(2)国内外学者通常从开行情况及优势方面对卡车航班进行定性阐述,从定量角度分析卡车航班的研究比较少见;(3)国内外学者大多从供应商-制造商-零售商-物流企业等角度引入双边努力因素研究供应链协调问题,鲜有文献将卡车航班供应链看成整体并研究其协调契约。

因此,根据卡车航班实际运营情况,本文将卡车航班供应链中的航空公司和运输公司作为研究对象,引入航空公司经营努力因素和运输公司运输努力因素,考虑运输价格和双边努力对运输需求的影响,研究考虑双边努力的卡车航班供应链决策与协调。首先,建立集中决策与分散决策下的卡车航班供应链模型,分析分散决策下的相关情况;其次,在卡车航班供应链协调中引入双边努力“成本共担+收益共享”组合契约,分析实现卡车航班供应链协调的条件,以及实现卡车航班供应链参与方收益 Pareto 改进的条件;最后,通过算例验证模型的有效性。

1 问题描述与符号说明

根据卡车航班实际运营情况,本文将1个航空公司和1个运输公司构成的卡车航班供应链作为研究对象。航空公司从托运人手中获得运输需求,并通过航运将货物运至目的地附近的机场,与运输公司无缝衔接,实现“门到门”运输。航空公司通过经营努力获得更多的运输需求;运输公司通过运输努力提高收货人的满意度,间接使得航空公司运输需求增多;运输需求的增多使得航空公司和运输公

司的收益上升。在这个过程中,假设航空公司和运输公司之间信息对称,且两者均为有限理性和风险中性^[22-23],并分别决定自己的经营努力水平和运输努力水平。参考文献[19],航空公司经营努力成本设为 $\alpha\phi^2/2$,运输公司运输努力成本设为 $\beta\varphi^2/2$ 。航空公司获得的运输需求 d 受到运输价格 p ,经营努力水平 ϕ 和运输努力水平 φ 的影响,根据文献[20],它们之间的关系为

$$d = a - bp + \lambda\phi + \delta\varphi \quad (1)$$

与传统产品供应链不同,航空公司没有物流能力积压成本,无需支付这部分费用^[24]。因此,航空公司、运输公司和供应链的利润为

$$L_A = (p - k)d - \alpha\phi^2/2 \quad (2)$$

$$L_T = (k - c)d - \beta\varphi^2/2 \quad (3)$$

$$L_S = (p - c)d - \alpha\phi^2/2 - \beta\varphi^2/2 \quad (4)$$

文中所用的符号及其含义如表 1 所示。

表 1 符号及其说明

Table 1 Symbols and their descriptions

符号	说明	符号	说明
a /单	潜在运输需求量	d /单	运输需求量
ϕ	经营努力水平	φ	运输努力水平
p /万元	航空公司提供的运输价格	$b(b > 0)$	运输需求对运输价格的弹性系数,表示运输价格每增加一个单位时运输需求的减少量
$\lambda(\lambda > 0)$	运输需求对经营努力的弹性系数,表示经营努力每增加一个单位时运输需求的增加量	$\delta(\delta > 0)$	运输需求对运输努力的弹性系数,表示运输努力每增加一个单位时运输需求的增加量
k /万元	运输公司提供的运输价格	t /万元	运输固定费用
c /万元	运输公司的运输成本	$\alpha(\alpha > 0)$	经营努力成本对经营努力敏感系数,表示经营努力每增加一个单位时经营努力成本的增加量
$\beta(\beta > 0)$	运输努力成本对运输努力敏感系数,表示运输努力每增加一个单位时运输努力成本的增加量	$\alpha\sigma\sigma \in [0, 1]$	运输公司讨价还价能力
$x(x \in [0, 1])$	航空公司分担的经营努力成本比例, $1 - x$ 为运输公司分担的经营努力成本比例	$y(y \in [0, 1])$	航空公司分担的运输努力成本比例, $1 - y$ 为运输公司分担的运输努力成本比例
$z(z \in (0, 1))$	航空公司分享给运输公司的收益比例, $1 - z$ 为航空公司获得的收益比例	L_A /万元	航空公司利润
L_T /万元	运输公司利润	L_S /万元	供应链利润

2 卡车航班供应链决策模型

2.1 集中决策

在集中决策下,航空公司和运输公司是合作联盟,其中运输公司提供的运输价格属于内部决策,二者从整体供应链利益最大化的角度进行决策,共同决定 p, ϕ 和 φ 。

将式(1)代入式(4)可得

$$L_S = (p - c)(a - bp + \lambda\phi + \delta\varphi) - \alpha\phi^2/2 - \beta\varphi^2/2 \quad (5)$$

对式(5)求关于 p, ϕ 和 φ 的一阶导数并令其等于 0,得

$$\frac{\partial L_S}{\partial p} = a - 2bp + bc + \lambda\phi + \delta\varphi = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial L_S}{\partial \phi} = (p - c)\lambda - \alpha\phi = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial L_S}{\partial \varphi} = (p - c)\delta - \beta\varphi = 0 \quad (8)$$

根据式(6~8)可得 Hessian 矩阵 A_3

$$A_3 = \begin{pmatrix} -2b & \lambda & \delta \\ \lambda & -\alpha & 0 \\ \delta & 0 & -\beta \end{pmatrix}$$

Hessian 矩阵 A_3 的各阶顺序主子式为

$$|A_1| = -2b$$

$$|A_2| = 2b\alpha - \lambda^2$$

$$|A_3| = -2b\alpha\beta + \alpha\delta^2 + \beta\lambda^2$$

可知,若 α 和 β 满足 $2b\alpha - \lambda^2 > 0$ 和 $-2b\alpha\beta + \alpha\delta^2 + \beta\lambda^2 < 0$ 时, Hessian 矩阵 A_3 负定, L_S 是关于 p, ϕ 和 φ 的联合凹函数,联立求解式(6~8)可得 $(p_1^*, \phi_1^*, \varphi_1^*)$ 使得 L_S 最优。通过分析,可得命题 1。

命题 1 当 $2b\alpha - \lambda^2 > 0$ 且 $-2b\alpha\beta + \alpha\delta^2 + \beta\lambda^2 < 0$ 时:(1) L_S 是关于 p, ϕ 和 φ 的联合凹函数;(2) 存在唯一最优解 $(p_1^*, \phi_1^*, \varphi_1^*)$ 满足:

最优运输价格

$$p_1^* = \frac{(a + bc)\alpha\beta - c(\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2)}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$$

最优经营努力水平

$$\phi_1^* = \frac{\beta\lambda(a-bc)}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$$

最优运输努力水平

$$\varphi_1^* = \frac{\alpha\delta(a-bc)}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$$

将 p_1^* , ϕ_1^* 和 φ_1^* 代入式(5)可得公式最优解:

供应链最大利润

$$L_{S1}^* = \frac{\alpha\beta(a-bc)^2}{2(2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)}$$

最优运输需求量

$$d_1^* = \frac{b\alpha\beta(a-bc)}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$$

2.2 分散决策

在卡车航班供应链中,运输公司根据货物量、距离等因素制定航空公司应给的运输费用,对航空公司制定运输价格会产生相应影响。为了消除双边的双重边际效应,在分散决策下利用两部收费模型^[20]对卡车航班供应链进行协调,以接近或达到集中决策时的利润。分散决策时,航空公司和运输公司是独立个体,运输公司在满足客户“门到门”需求中发挥着重要作用。同时参考相关文献[25],在博弈过程中,本文将运输公司作为略占优势的领导者,航空公司作为略占劣势的追随者,二者从自身利益最大化进行决策。双边博弈表现为:首先,航空公司将固定费用 t 给运输公司,然后运输公司确定运输服务单价和运输努力水平。其次,航空公司决定是否接受,若接受,双方达成协议,航空公司根据预期运输费用和运输需求决定经营努力水平和运输价格;若反对,结束博弈,进行下一轮博弈。

采用逆向归纳法求解,定义两部收费模型为 (k, t) ,其大小取决于航空公司和运输公司之间的讨价还价能力。此时航空公司和运输公司利润为

$$L_{A2} = (p - k)d - \alpha\phi^2/2 - t \quad (9)$$

$$L_{T2} = (k - c)d - \beta\varphi^2/2 + t \quad (10)$$

对式(9)求关于 p, ϕ 的一阶导数并令其等于0得

$$\frac{\partial L_{A2}}{\partial p} = a - 2bp + bk + \lambda\phi + \delta\varphi = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial L_{A2}}{\partial \phi} = (p - k)\lambda - \alpha\phi = 0 \quad (12)$$

根据式(11,12)可得 Hessian 矩阵 A_2

$$A_2 = \begin{pmatrix} -2b & \lambda \\ \lambda & -\alpha \end{pmatrix}$$

Hessian 矩阵 A_2 的各阶顺序主子式为

$$|A_1| = -2b$$

$$|A_2| = 2b\alpha - \lambda^2$$

可知,若 α 满足 $2b\alpha - \lambda^2 > 0$ 时, Hessian 矩阵 A_2 负定,存在使得 L_{A2} 取极大值的最优解。根据式(11,12)可得

$$p_2 = \frac{\alpha(a + \delta\varphi) + k(b\alpha - \lambda^2)}{2b\alpha - \lambda^2} \quad (13)$$

$$\phi_2 = \frac{\lambda(a - bk + \delta\varphi)}{2b\alpha - \lambda^2} \quad (14)$$

将式(13,14)代入式(10)得

$$L_{T2} = \frac{b\alpha(k - c)(a - bk + \delta\varphi)}{2b\alpha - \lambda^2} - \frac{\beta\varphi^2}{2} + t \quad (15)$$

对式(15)求 k, φ 的一阶函数并令其等于0,得

$$\frac{\partial L_{T2}}{\partial k} = \frac{b\alpha(a - 2bk + bc + \delta\varphi)}{2b\alpha - \lambda^2} = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial L_{T2}}{\partial \varphi} = \frac{b\alpha\delta(k - c)}{2b\alpha - \lambda^2} - \beta\varphi = 0 \quad (17)$$

根据式(16,17)可得 Hessian 矩阵 A_2

$$A_2 = \begin{pmatrix} -2b^2\alpha & b\alpha\delta \\ \frac{2b\alpha - \lambda^2}{b\alpha\delta} & -\beta \end{pmatrix}$$

可知,若 α 和 β 满足 $4b\alpha^2\beta - 2\alpha\beta\lambda^2 - \alpha^2\delta^2 > 0$ 时, Hessian 矩阵 A_2 负定,存在使得 L_{T2} 取极大值的最优解。通过以上分析,可得命题2。

命题 2 在分散决策下,当 $2b\alpha - \lambda^2 > 0$ 且 $4b\alpha^2\beta - 2\alpha\beta\lambda^2 - \alpha^2\delta^2 > 0$ 时,唯一最优 $(p_2^*, k_2^*, \phi_2^*, \varphi_2^*, d_2^*)$ 满足以下条件。

根据式(16,17)可得:

最优运输服务单价

$$k_2^* = \frac{(a - bc)(2b\alpha\beta - \beta\lambda^2)}{b(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)} + c$$

最优运输努力水平

$$\varphi_2^* = \frac{\alpha\delta(a - bc)}{4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$$

将 k_2^* 和 φ_2^* 分别代入式(13,14)可得:

最优运输价格

$$p_2^* = \frac{\alpha\beta(a - bc)}{4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2} + \frac{(a - bc)(2b\alpha\beta - \beta\lambda^2)}{b(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)} + c$$

最优经营努力水平

$$\phi_2^* = \frac{\beta\lambda(a - bc)}{4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$$

将 $k_2^*, \varphi_2^*, p_2^*$ 和 ϕ_2^* 代入式(9,10)可得最优解:

航空公司最大利润

$$L_{A2}^* = \frac{\alpha\beta(a - bc)^2(2b\alpha\beta - \beta\lambda^2)}{2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)^2} - t$$

运输公司最大利润

$$L_{T2}^* = \frac{\alpha\beta(a - bc)^2}{2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)} + t$$

供应链最大利润

$$L_{S2}^* = \frac{\alpha\beta(a-bc)^2(6b\alpha\beta - 3\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)}{2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)^2}$$

最优运输需求量

$$d_2^* = \frac{b\alpha\beta(a-bc)}{4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$$

命题 3 在分散决策下:(1)航空公司经营努力水平与经营努力成本和运输努力成本负相关;(2)运输公司运输努力水平与运输努力成本和经营努力成本负相关。

证明:

$$\frac{\partial\phi_2^*}{\partial\alpha} = -\frac{(a-bc)\beta\lambda(4b\beta - \delta^2)}{[4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2]^2} < 0$$

$$\frac{\partial\phi_2^*}{\partial\beta} = -\frac{(a-bc)\alpha\delta^2\lambda}{[-4b\alpha\beta + 2\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2]^2} < 0$$

$$\frac{\partial\varphi_2^*}{\partial\alpha} = -\frac{2(a-bc)\delta\beta\lambda^2}{[-4b\alpha\beta + 2\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2]^2} < 0$$

$$\frac{\partial\varphi_2^*}{\partial\beta} = -\frac{(a-bc)\alpha\delta(4b\alpha - 2\lambda^2)}{[4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2]^2} < 0$$

命题 4 在分散决策下:(1)航空公司利润与经营努力成本和运输努力成本负相关;(2)运输公司利润与运输努力成本和经营努力成本负相关。

证明:

$$\frac{\partial L_{A2}^*}{\partial\alpha} = -\frac{(a-bc)^2\beta^2\lambda^2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2)}{2[4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2]^3} < 0$$

$$\frac{\partial L_{A2}^*}{\partial\beta} = -\frac{(a-bc)^2\beta\alpha\delta^2(2b\alpha - \lambda^2)}{[4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2]^3} < 0$$

$$\frac{\partial L_{T2}^*}{\partial\alpha} = -\frac{(a-bc)^2\beta^2\lambda^2}{[-4b\alpha\beta + 2\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2]^2} < 0$$

$$\frac{\partial L_{T2}^*}{\partial\beta} = -\frac{(a-bc)^2\alpha^2\delta^2}{2[-4b\alpha\beta + 2\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2]^2} < 0$$

命题 3 和命题 4 启示:经营努力成本和运输努力成本增加,将增加航空公司和运输公司承担的利润风险,此时,航空公司和运输公司会降低各自努力水平,致使运输需求减少,其利润也随之减少,反之亦然。因此,在实际应用中,航空公司和运输公司应尽量降低经营努力成本和运输努力成本,从而提高利润。

假设 $\sigma(\sigma \in [0, 1])$ 为运输公司讨价还价能力,采用纳什讨价还价模型求解最优利润方案,即 $\text{Max}_t (L_{T2}^*)^\sigma (L_{A2}^*)^{1-\sigma}$ 。将该式对 t 求一阶导数并令其等于 0,可得

$$t = \frac{\alpha\beta(a-bc)^2(2b\alpha\beta - \beta\lambda^2)\sigma}{2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)^2} - \frac{\alpha\beta(a-bc)^2(1-\sigma)}{2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)} \quad (18)$$

从分散决策下供应链最大利润 L_{S2}^* 可知,该决策下卡车航班供应链的总利润与固定费用 t 是独立的。可得命题 5。

命题 5 分散决策下航空公司的经营努力水平、运输公司的运输努力水平和卡车航班供应链利润均低于集中决策下的最优水平,即分散决策下卡车航班供应链整体利润较低。

证明: $\frac{\phi_1^*}{\phi_2^*} - 1 = \frac{4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2} - 1 = \frac{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2}$, 由于 $2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 > 0$ 且 $2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2 > 0$, 可得 $\phi_1^* > \phi_2^*$ 。

同理可证: $\varphi_1^* > \varphi_2^*, d_1^* > d_2^*, L_{S1}^* > L_{S2}^*$ 。

命题 5 启示:分散决策下卡车航班供应链整体利润较低。但是,在实际中,航空公司和运输公司大多是分散决策。因此,如果在分散决策下通过某种契约提高供应链利润使之接近或达到集中决策下的水平,增加航空公司和运输公司的收益,将是卡车航班供应链的理想状态。

命题 6 航空公司利润与运输公司运输努力水平正相关,运输公司利润与航空公司经营努力水平正相关。

证明: $\frac{\partial L_{A2}}{\partial\varphi} = (p-k)\delta > 0, \frac{\partial L_{T2}}{\partial\phi} = (k-c)\lambda > 0$ 。

命题 6 启示:运输公司提高运输努力水平,而航空公司保持原有的经营努力水平,也会增加收益;航空公司提高经营努力水平,而运输公司保持原有的运输努力水平,也会增加收益。因此,航空公司和运输公司提高各自的努力水平是一种互惠共利行为,双方应该充分合作,实现共赢。

3 卡车航班供应链契约协调

上述分析表明,任一方提高其努力水平时,均可增加另一方收益,但只由一方承担成本和享有收益并不合理。因此本文提出双边努力“成本共担+收益共享”组合契约,以激励双方提高努力水平,增加利润,实现卡车航班供应链各方收益的 Pareto 改进。假定航空公司分担 $x(0 \leq x \leq 1)$ 比例的经营努力成本和 $y(0 \leq y \leq 1)$ 比例的运输努力成本,运输公司分担 $1-x$ 比例的经营努力成本和 $1-y$ 比例的运输努力成本。同时,航空公司为激励运输公司运输努力水平的提高,满足客户“门到门”需求,促成二者合作共赢,将自身收益 pd 的 $z(0 < z < 1)$

比例分享给运输公司,航空公司则获得 $1-z$ 比例的收益,此时航空公司和运输公司的利润分别为

$$L_{A3} = (p(1-z) - k)(a - bp + \lambda\phi + \delta\varphi) - x\alpha\phi^2/2 - y\beta\varphi^2/2 \quad (19)$$

$$L_{T3} = (pz + k - c)(a - bp + \lambda\phi + \delta\varphi) - (1-x)\alpha\phi^2/2 - (1-y)\beta\varphi^2/2 \quad (20)$$

采用逆向归纳法进行求解,过程与分散决策相

$$k_3^* = \frac{((az - bc - 2a)x - a(z-1))(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(az - bc - a)x^2)(y-1)\beta - abc\delta^2 x^2(z-1)}{((y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (23)$$

$$\varphi_3^* = \frac{\alpha\delta x^2(a-bc)}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (24)$$

将 k_3^* 和 φ_3^* 代入式(21)和(22)可得

$$p_3^* = \frac{(y-1)\left\{[(az - bc - 2a)x - a(z-1)](z-1)\lambda^2 + 2b\alpha\left(az - \frac{bc}{2} - \frac{3a}{2}\right)x^2\right\}\beta - abc\delta^2 x^2}{((y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (25)$$

$$\phi_3^* = \frac{\lambda(z-1)(y-1)(a-bc)\beta x}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (26)$$

将 k_3^* 、 φ_3^* 、 p_3^* 和 ϕ_3^* 代入式(19)和(20)可得:

航空公司最大利润

$$L_{A3}^* = -\frac{\beta(a-bc)^2\alpha x^3[(\lambda^2(z-1) + 2abx)(y-1)^2(z-1)\beta + y\alpha\delta^2 x]}{2((y-1)\{2b\alpha(z-2)x^2 + [(x-1)z - 3x + 1]\lambda^2(z-1)\}\beta - \alpha\delta^2 x^2)^2} \quad (27)$$

运输公司最大利润

$$L_{T3}^* = -\frac{\alpha\beta(a-bc)^2(y-1)x^2}{2(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - 2\alpha\delta^2 x^2} \quad (28)$$

将 L_{A3}^* 和 L_{T3}^* 相加可得

供应链最大利润

$$L_{S3}^* = -\frac{\alpha\beta(a-bc)^2 x^2 \left((y-1)^2 \left\{ \left[(z-2)x - \frac{z}{2} + \frac{1}{2} \right] (z-1)\lambda^2 + 2b\left(z - \frac{3}{2}\right)\alpha x^2 \right\} \beta + \frac{\alpha\delta^2 x^2}{2} \right)}{((y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (29)$$

最优运输需求量

$$d_3^* = -\frac{b\alpha\beta x^2(y-1)(a-bc)}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (30)$$

命题7 当 $x=y=\frac{z-1}{z-2}$ 时,双边努力“成本共担+收益共享”组合契约下双边努力水平达到集中决策时的效果,即卡车航班供应链实现了协调。

同,由式(19)可得到

$$p_3 = \frac{\alpha\delta\varphi xz + a\alpha xz - abkx - \alpha\delta\varphi x - k\lambda^2 z - a\alpha x + k\lambda^2}{2abxz + \lambda^2 z^2 - 2abx - 2\lambda^2 z + \lambda^2} \quad (21)$$

$$\phi_3 = -\frac{(\delta\varphi z + az + bk - \delta\varphi - a)\lambda}{2abx + \lambda^2 z - \lambda^2} \quad (22)$$

将式(21,22)代入(20)并求解可得

$$k_3^* = \frac{((az - bc - 2a)x - a(z-1))(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(az - bc - a)x^2)(y-1)\beta - abc\delta^2 x^2(z-1)}{((y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (23)$$

$$\varphi_3^* = \frac{\alpha\delta x^2(a-bc)}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (24)$$

将 k_3^* 和 φ_3^* 代入式(21)和(22)可得

$$p_3^* = \frac{(y-1)\left\{[(az - bc - 2a)x - a(z-1)](z-1)\lambda^2 + 2b\alpha\left(az - \frac{bc}{2} - \frac{3a}{2}\right)x^2\right\}\beta - abc\delta^2 x^2}{((y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (25)$$

$$\phi_3^* = \frac{\lambda(z-1)(y-1)(a-bc)\beta x}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (26)$$

将 k_3^* 、 φ_3^* 、 p_3^* 和 ϕ_3^* 代入式(19)和(20)可得:

航空公司最大利润

$$L_{A3}^* = -\frac{\beta(a-bc)^2\alpha x^3[(\lambda^2(z-1) + 2abx)(y-1)^2(z-1)\beta + y\alpha\delta^2 x]}{2((y-1)\{2b\alpha(z-2)x^2 + [(x-1)z - 3x + 1]\lambda^2(z-1)\}\beta - \alpha\delta^2 x^2)^2} \quad (27)$$

运输公司最大利润

$$L_{T3}^* = -\frac{\alpha\beta(a-bc)^2(y-1)x^2}{2(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - 2\alpha\delta^2 x^2} \quad (28)$$

将 L_{A3}^* 和 L_{T3}^* 相加可得

供应链最大利润

$$L_{S3}^* = -\frac{\alpha\beta(a-bc)^2 x^2 \left((y-1)^2 \left\{ \left[(z-2)x - \frac{z}{2} + \frac{1}{2} \right] (z-1)\lambda^2 + 2b\left(z - \frac{3}{2}\right)\alpha x^2 \right\} \beta + \frac{\alpha\delta^2 x^2}{2} \right)}{((y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (29)$$

最优运输需求量

$$d_3^* = -\frac{b\alpha\beta x^2(y-1)(a-bc)}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} \quad (30)$$

证明:当组合契约下的最优航空公司经营努力水平以及运输公司运输努力水平与集中决策下的相等时,满足

$$\varphi_3^* = \frac{\alpha\delta x^2(a-bc)}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} = \varphi_1^* = \frac{\alpha\delta(a-bc)}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2} \quad (31)$$

$$\phi_3^* = \frac{\lambda(z-1)(y-1)(a-bc)\beta x}{(y-1)\{(z-3)x - z + 1\}(z-1)\lambda^2 + 2b\alpha(z-2)x^2)\beta - \alpha\delta^2 x^2} = \phi_1^* = \frac{\beta\lambda(a-bc)}{2b\alpha\beta - \beta\lambda^2 - \alpha\delta^2} \quad (32)$$

求解可得

$$x = y = \frac{z-1}{z-2} \quad (33)$$

命题7启示:当航空公司分担一定比例的经营努力成本和运输努力成本,运输公司分担一定比例的经营努力成本和运输努力成本,同时航空

公司将一定比例的自身收益分享给运输公司时,使得经营努力水平和运输努力水平达到集中决策时的效果,从而实现卡车航班供应链的协调。因此,在实际应用中,航空公司和运输公司可采用双边努力“成本共担+收益共享”组合契约来协调卡

车航班供应链,决策时应尽量满足上述条件,从而提高利润。

命题 8 当 t 满足 $E \leq t \leq F$ 时,卡车航班供应链参与方收益实现 Pareto 改进。其中

$$E = \frac{1}{2} (a - bc)^2 \alpha \beta \left\{ \frac{(z - 1)[2b\alpha\beta + (z - 2)(\alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)]}{(z - 2)^2(-2b\alpha\beta + \alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)^2} - \frac{\beta(\lambda^2 - 2b\alpha)}{(-4b\alpha\beta + 2\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2)^2} \right\}$$

$$F = \frac{1}{2} (a - bc)^2 \alpha \beta \left[\frac{1}{(2 - z)(2b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - \beta\lambda^2)} - \frac{1}{4b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - 2\beta\lambda^2} \right]$$

证明:在卡车航班供应链协调的情形下,航空公司、运输公司和供应链的利润分别为

$$L_{A3}^* = \frac{(a - bc)^2 \alpha \beta [2b\alpha\beta(z - 1) + (z - 2)(z - 1)(\alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)]}{2(z - 2)^2(2b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - \beta\lambda^2)^2} \quad (34)$$

$$L_{T3}^* = \frac{(a - bc)^2 \alpha \beta}{2(2 - z)(2b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - \beta\lambda^2)} \quad (35)$$

$$\frac{(a - bc)^2 \alpha \beta [2b\alpha\beta(z - 1) + (z - 2)(z - 1)(\alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)]}{2(z - 2)^2(2b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - \beta\lambda^2)^2} \geq \frac{\alpha\beta(a - bc)^2(2b\alpha\beta - \beta\lambda^2)}{2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)^2} - t$$

$$\frac{(a - bc)^2 \alpha \beta}{2(2 - z)(2b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - \beta\lambda^2)} \geq \frac{\alpha\beta(a - bc)^2}{2(4b\alpha\beta - 2\beta\lambda^2 - \alpha\delta^2)} + t$$

整理可得

$$\frac{1}{2} (a - bc)^2 \alpha \beta \left(\frac{(z - 1)[2b\alpha\beta + (z - 2)(\alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)]}{(z - 2)^2(-2b\alpha\beta + \alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)^2} - \frac{\beta(\lambda^2 - 2b\alpha)}{(-4b\alpha\beta + 2\beta\lambda^2 + \alpha\delta^2)^2} \right) \leq t \leq \frac{1}{2} (a - bc)^2 \alpha \beta \left[\frac{1}{(2 - z)(2b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - \beta\lambda^2)} - \frac{1}{4b\alpha\beta - \alpha\delta^2 - 2\beta\lambda^2} \right]$$

命题 8 启示:虽然一方可通过共担另一方更大比例的努力成本来提高努力水平,但由努力水平和努力成本关系可知,提高努力水平,将增加努力成本。双方不会无限提高努力水平和努力成本共担比例,否则付出的成本会高于提高努力水平带来的收益。因此,双方在增强各自收益时,应考虑满足相关条件,制定合理的固定费用,提高利润,实现 Pareto 改进。

4 数值算例分析

为了验证双边努力“成本共担+收益共享”组合契约对卡车航班供应链的协调效果,通过模型参数的设定和计算进行具体分析。在保证所假设参数满足以上约束的条件下,结合企业调查情况,不失一般性将参数设置为: $a = 100, b = 5, \lambda = 3, \delta = 2, \alpha = 4, \beta = 2, k = 10, c = 8$ 。同时,根据式(34~36)可知,其他参数不变时, z 的取值对组合契约的利润有着重要影响,探究 z 的取值对 L_{A3}^*, L_{T3}^* 和 L_{S3}^* 的影响情况,如图 1 所示。

由图 1 可知运输公司和卡车航班供应链的利润均与 z 正相关,但航空公司利润曲线呈现为凸函数,存在一个极大值,经计算可得 z 取 34/57 时,航

$$L_{S3}^* = \frac{(a - bc)^2 \alpha \beta [2b\alpha\beta(2z - 3) + (z - 2)^2(\alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)]}{2(z - 2)^2(-2b\alpha\beta + \alpha\delta^2 + \beta\lambda^2)^2} \quad (36)$$

当组合契约下的航空公司最大利润不小于分散决策下的航空公司最大利润和组合契约下的运输公司最大利润不小于分散决策下的运输公司最大利润时,即: $L_{A3}^* \geq L_{A2}^*, L_{T3}^* \geq L_{T2}^*$

可得

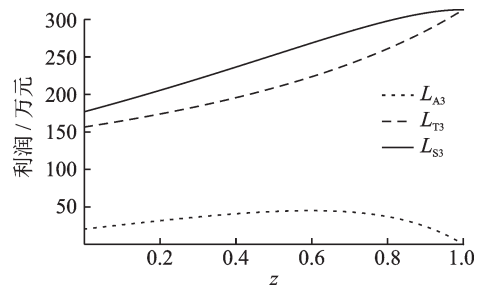


图 1 z 对利润的影响

Fig.1 Effect of z on profit

空公司利润最大。因此,为兼顾航空公司和运输公司的获利情况,使卡车航班供应链成员达到共赢,将 x, y 和 z 的取值设置为 $x = y = 23/80, z = 34/57$ 。在此基础上,考察 α 和 β 对决策行为以及卡车航班供应链利润的影响。

4.1 不同模型下计算结果分析

集中决策、分散决策和双边努力“成本共担+收益共享”组合契约的相关变量和利润结果如表 2 所示。

(1)组合契约的运输价格小于分散决策的运输价格,即 $p_3^* = 21.435 < 41.556 = p_2^*$,因此消费者在组合契约下能获得更多的利益。

表2 不同模型下的计算结果

Table 2 Calculation results of different models

模型	ρ 运价/ 万元	ϕ 经营努力	φ 运输努力	d 运输 需求/单	L_A 航空 利润/万元	L_T 运输 利润/万元	L_S 供应链 利润/万元
集中决策	18.435	7.826	10.435	52.174	—	—	313.043
分散决策	41.556	3.333	4.444	22.222	$76.543-t$	$133.333+t$	209.876
组合契约	21.435	7.826	10.435	37.174	45	223.044	268.044

(2)组合契约下满足 $x=y=(z-1)/(z-2)$ 时,航空公司和运输公司各自的努力水平均与集中决策的最优水平一致,即 $\phi_1^* = \phi_3^* = 7.826$, $\varphi_1^* = \varphi_3^* = 10.435$,因此,组合契约实现了卡车航班供应链的协调,从而验证了命题7的有效性。

(3)组合契约的运输需求大于分散决策的运输需求,即 $d_3^* = 37.174 > 22.222 = d_2^*$,因此,卡车航班供应链在组合契约下能获得更多的运输需求量,从而提高利润。

(4)组合契约的供应链利润大于分散决策的供应链利润,即 $L_{S3}^* = 268.044 > 209.876 = L_{S2}^*$,因此卡车航班供应链在组合契约下能获得更多的利润。

(5)航空公司和运输公司在分散决策和组合契约的利润随着固定费用 t 的变化情况如图2所示。可以看出,相对于分散决策,当固定费用 t 满足 $E \leq t \leq F$ (其中 $E = 31.543, F = 89.711$) 时,航空公司和运输公司在组合契约下实现了 Pareto 改进,达成企业之间的双赢,与命题8的结论一致。

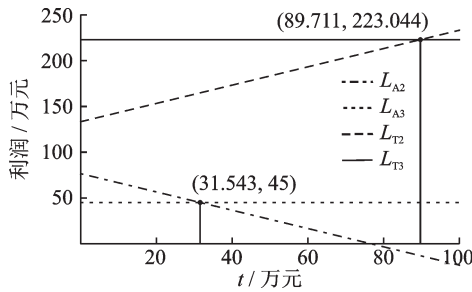


图2 固定费用 t 对利润的影响
Fig.2 Effect of fixed expense t on profit

4.2 α 和 β 对决策行为的影响分析

4.2.1 α 对航空公司经营努力水平和运输公司运输努力水平的影响分析

图3展示的是 α 对航空公司经营努力水平的影响。可以看出 ϕ_1^* 和 ϕ_3^* 的线条是完全重合的,且高于 ϕ_2^* 的线条,由此可知,航空公司在双边努力“成本共担+收益共享”组合契约的最优经营努力水平高于分散决策的最优经营努力水平,且与集中决策的最优水平一致。此外,航空公司在集中决策、分散决策和组合契约的最优经营努力水平与航空公司经营努力成本负相关(命题3(1))。

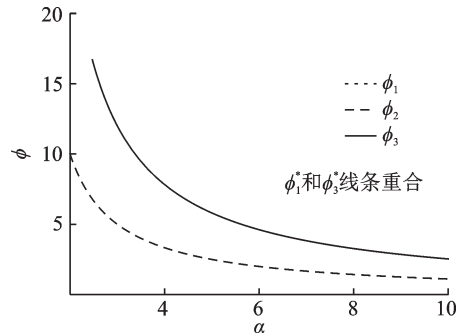


图3 α 对 ϕ 的影响
Fig.3 Effect of α on ϕ

图4展示的是 α 对运输公司运输努力水平的影响。可以看出 φ_1^* 和 φ_3^* 的线条是完全重合的,且高于 φ_2^* 的线条,由此可知,运输公司在双边努力“成本共担+收益共享”组合契约的最优运输努力水平高于分散决策的最优运输努力水平,且与集中决策的最优水平一致。此外,运输公司在在集中决策、分散决策和组合契约的最优运输努力水平与航空公司经营努力成本负相关(命题3(1))。

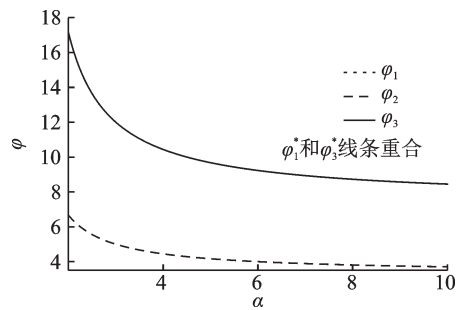


图4 α 对 φ 的影响
Fig.4 Effect of α on φ

4.2.2 β 对航空公司经营努力水平和运输公司运输努力水平的影响分析

图5展示的是 β 对航空公司经营努力水平的影响。可以看出 ϕ_1^* 和 ϕ_3^* 的线条是完全重合的,且高于 ϕ_2^* 的线条,由此可知,航空公司在双边努力“成本共担+收益共享”组合契约的最优经营努力水平高于分散决策的最优经营努力水平,且与集中决策的最优水平一致。此外,航空公司在集中决策、分散决策和组合契约的最优经营努力水平与

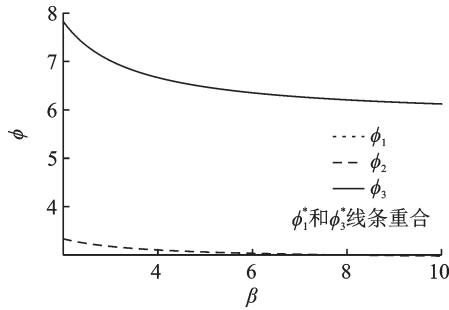


图 5 β 对 ϕ 的影响
Fig.5 Effect of β on ϕ

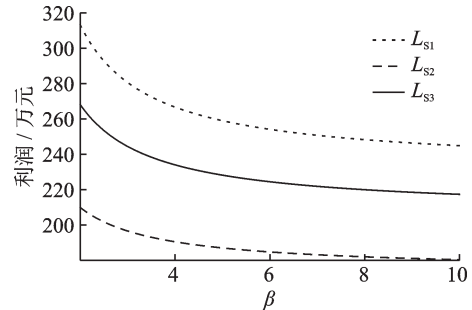


图 8 β 对 L_s 的影响
Fig.8 Effect of β on L_s

输公司的运输努力成本负相关(命题 3(2))。

图 6 展示的是 β 对运输公司运输努力水平的影响。可以看出 ϕ_1^* 和 ϕ_3^* 的线条是完全重合的,且高于 ϕ_2^* 的线条,由此可知,运输公司在双边努力“成本共担+收益共享”组合契约的最优运输努力水平高于分散决策的最优运输努力水平,且与集中决策的最优水平一致。此外,运输公司在集中决策、分散决策和组合契约的最优运输努力水平与运输公司的运输努力成本负相关(命题 3(2))。

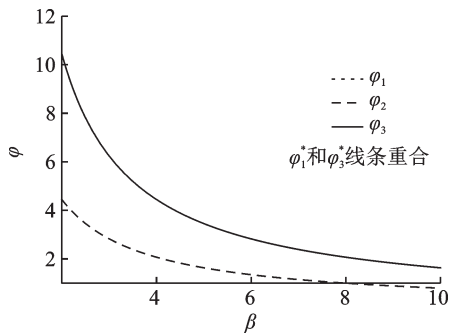


图 6 β 对 ϕ 的影响
Fig.6 Effect of β on ϕ

4.3 α 和 β 对卡车航班供应链利润的影响分析

图 7、8 展示的是 α 和 β 对卡车航班供应链利润的影响。可以看出,相对于分散决策,双边努力“成本共担+收益共享”组合契约改善了卡车航班供应链的效益,但没有达到集中决策下的水平。此外,在集中决策、分散决策和组合契约下的卡车航班供

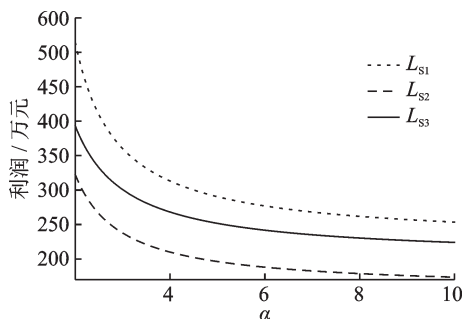


图 7 α 对 L_s 的影响
Fig.7 Effect of α on L_s

链利润均随着航空公司经营努力成本(运输公司运输努力成本)的增加而减少。

5 结 论

目前,卡车航班发展迅速且得到广泛关注。本文考虑运输价格、经营努力水平和运输努力水平影响运输需求,研究考虑双边努力的卡车航班供应链决策与协调;分析卡车航班供应链集中决策、分散决策以及双边努力“成本共担+收益共享”组合契约的卡车航班供应链协调问题。结果表明:

(1) 航空公司利润与运输公司运输努力水平正相关,运输公司利润与航空公司经营努力水平正相关。因此,航空公司和运输公司提高各自的努力水平是一种互惠共利行为,双方应该充分合作,实现共赢。

(2) 分散决策下航空公司的经营努力水平、运输公司的运输努力水平和卡车航班供应链利润均低于集中决策下的最优水平,即分散决策下卡车航班供应链整体利润较低。因此,在分散决策下通过某种契约提高供应链整体利润使之接近或达到集中决策下的水平,增加航空公司和运输公司的收益,这将是卡车航班供应链的理想状态。

(3) 当 $x = y = \frac{z-1}{z-2}$ 时,双边努力“成本共担+收益共享”组合契约下双边努力水平达到集中决策时的效果,从而实现了卡车航班供应链的协调。因此,在实际应用中,航空公司和运输公司可采用双边努力“成本共担+收益共享”组合契约来协调卡车航班供应链,在做决策时应尽量满足上述条件,从而提高利润。

(4) 当 t 满足一定条件时,卡车航班供应链参与方收益将实现 Pareto 改进。虽然一方可通过共担另一方更大比例的努力成本来提高努力水平,但由努力水平和努力成本关系可知,提高努力水平,将增加努力成本。因此,双方在增强各自收益时,

应考虑满足相关条件,提高利润,实现 Pareto 改进。

未来将主要从以下 3 个方面进行拓展研究:(1)考虑多航空公司和多运输公司。本文以单航空公司和单运输公司组成的卡车航班供应链为研究对象,而在实际情形中,多航空公司和多运输公司的情形比较普遍,未来可研究多航空公司和多运输公司的情形。(2)考虑信息不对称。本文仅讨论了努力成本信息对称的情形,而未考虑经营努力和运输努力成本信息不对称的情况,因此,未来可能在这方面进一步完善。(3)考虑领导者角色转换。在不同的合作模式或运营情况下,卡车航班供应链各成员在决策时,可能是运输公司为领导者,也可能是航空公司为领导者,甚至可能是双方平等决策。因篇幅有限,本文仅考虑了将运输公司作为略占优势的领导者的情况,航空公司为领导者或者双方平等决策的情况,拟另行研究。

参考文献:

- [1] 卢安文,刘佳奇.物流服务供应链信息共享激励策略研究[J].科技管理研究,2019,39(7):221-225.
LU Anwen, LIU Jiaqi. Research on incentive strategy of information sharing in logistics service supply chain [J]. Science and Technology Management Research, 2019, 39(7): 221-225.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. GB/T18354—2021,物流术语[S].北京:中国国家标准化管理委员会,2021.
- [3] SOCORRO M P, VIECENS M F. The effects of airline and high speed train integration [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2013, 49: 160-177.
- [4] JIANG C, ZHANG A. Effects of high-speed rail and airline cooperation under hub airport capacity constraint [J]. Transportation on Research Part B: Methodological, 2014, 60: 33-49.
- [5] XIA Wenyi, ZHANG Anming. Air and high-speed rail transport integration on profits and welfare: Effects of air-rail connecting time [J]. Air transport Management, 2017, 65: 181-190.
- [6] LI Xiaoyu, JIANG Changmin, WANG Kun, et al. Determinants of partnership levels in air-rail cooperation [J]. Journal of Air Transport Management, 2018, 71: 88-96.
- [7] 陆婧,杨忠振,刘瑞菊.考虑发车间隔与乘客人数关系的机场长途巴士时刻表优化设计[J].系统工程理论与实践,2013,33(8):2097-2104.
LU Jing, YANG Zhongzhen, LIU Ruiju. Timetable design of the airport coach based on the relationship between the headway and the passenger volume [J]. System engineering theory and practice, 2013, 33(8): 2097-2104.
- [8] 王莉莉,胡畔.基于容流匹配的进离场航班调度优化模型和算法[J].南京航空航天大学学报,2015,47(6):827-832.
WANG Lili, HU Pan. Arrival and departure scheduling optimization model and algorithm based on matching of traffic flow with capacity [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2015, 47(6): 827-832.
- [9] YANG Z. Design of timetable for airport coach based on time-space network and passenger's trip chain [J]. Transport, 2018, 33(1): 32-40.
- [10] 张海峰,胡明华.航空公司短期航班计划编排模型及算法[J].南京航空航天大学学报,2015,47(4):553-558.
ZHANG Haifeng, HU Minghua. Planning model and algorithm for short-term flight scheduling of airlines [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2015, 47(4): 553-558.
- [11] 刘俊伟.天津机场航空货运发展研究[J].空运商务,2014(2):29-32.
LIU Junwei. Research on air cargo development of Tianjin Airport [J]. Air Freight Business, 2014(2): 29-32.
- [12] 卢凤禄,李志辉.航空物流园区发展趋势[J].中国国情国力,2020(1):61-62.
LU Fenglu, LI Zhihui. Aviation logistics park development trend [J]. China's National Conditions And Strength, 2020(1): 61-62.
- [13] TAYLOR T A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects [J]. Management Science, 2002, 48(8): 992-1007.
- [14] HEESE H S, SWAMINATHAN J M. Inventory and sales effort management under unobservable lost sales [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3): 1263-1268.
- [15] 王永龙,蹇明.考虑双边努力的农产品供应链风险分担组合契约设计[J].系统科学学报,2017,25(4):70-74.
WANG Yonglong, JIAN Ming. Risk sharing combined contract design of agricultural products supply chain considering the bilateral efforts [J]. Journal of Systems Science, 2017, 25(4): 70-74.
- [16] 胡本勇,曲佳莉.基于双重努力因素的供应链销量担保期权模型[J].管理工程学报,2015,29(1):74-81,113.
HU Benyong, QU Jiali. Supply chain sale-surety-option model based on the double effort factors [J]. Journal of Management Engineering, 2015, 29(1): 74-81,113.

- [17] 李小美,张光军,刘人境,等.供需不确定条件下考虑双边努力的供应链组合契约设计[J].运筹与管理, 2019, 28(8): 48-58.
LI Xiaomei, ZHANG Guangjun, LIU Renjing, et al. Supply chain combined contract design under supply and demand uncertainty considering bilateral efforts [J]. Operation and management, 2019, 28(8): 48-58.
- [18] 王永龙,蹇明,方新,等.双边努力水平影响需求及回购的供应链协调策略[J].计算机集成制造系统, 2018, 24(10): 2622-2630.
WANG Yonglong, JIAN Ming, FANG Xin, et al. Coordination of supply chain considering bilateral effort levels affect demand and return[J]. Computer integrated manufacturing system, 2018, 24(10): 2622-2630.
- [19] MA P, WANG H, SHANG J. Contract design for two-stage supply chain coordination: Integrating manufacturer-quality and retailer-marketing efforts[J]. International Journal of Production Economics, 2013, 146(2): 745-755.
- [20] 何彦东,王旭,周福礼,等.基于双边努力因素的网购供应链协调研究[J].中国管理科学, 2019, 27(2): 83-92.
HE Yandong, WANG Xu, ZHOU Fuli, et al. Coordination of online shopping supply chain based on bilateral effort factors [J]. China Management Science, 2019, 27(2): 83-92.
- [21] 杨怀珍,刘瑞环.考虑损耗和努力水平的农超对接三级供应链协调[J].系统科学学报, 2018, 26(4): 47-52.
YANG Huaizhen, LIU Ruihuan. Three-stage supply chain coordination of connecting agriculture with supermarkets considering loss and effort level[J]. Journal of Systems Science, 2018, 26(4): 47-52.
- [22] 赵海峰,何青, EDISON T S E.考虑采购资金约束的物流服务能力采购决策[J].管理科学学报, 2017, 20(5): 102-110.
ZHAO Haifeng, HE Qing, EDISON T S E. Decision of purchasing logistics service capabilities considering the influence of shortage of capital[J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(5): 102-110.
- [23] 张广胜,刘伟.考虑价格风险的物流服务供应链能力组合采购决策[J].计算机集成制造系统, 2019, 25(8): 2109-2120.
ZHANG Guangsheng, LIU Wei. Combined purchasing decision of logistics service supply chain capability under price risk[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(8): 2109-2120.
- [24] 刘艳秋,蔡超.考虑可靠性的物流服务供应链的契约设计[J].控制与决策, 2017, 32(11): 2039-2044.
LIU Yanqiu, CAI Chao. Contract design of logistics service supply chain considering[J]. Control and Decision, 2017, 32(11): 2039-2044.
- [25] 杜妮,韩庆兰.随机需求下物流服务供应链订购策略研究[J].运筹与管理, 2018, 27(7): 10-19.
DU Ni, HAN Qinglan. Ordering decision in logistics service supply chain with stochastic demand[J]. Operations Research and Management Science, 2018, 27(7): 10-19.

(编辑:张蓓)