

航空公司干支线联运收益分配问题研究

王 雪, 柳 雪

(中国民用航空飞行学院, 经济与管理学院, 四川 广汉 618300)

摘要:搭建和完善干支线航空网络是构建现代民航运输体系的必然要求和发展趋势,而理想的航空公司合作收益分配方案是促进航空干支线联运的前提条件。以分别运营干线和支线航班的两家航空公司为研究对象,根据国内支线航空发展现状和市场特点,构建了合作和不合作情况下的收益函数,并以“格尔木-西宁-成都”联运为例进行算例分析。结果表明,通过基于 Shapley 值法提出的改进收益分配方案,两家航空公司最终收益分配额较合作之前都有所提高。与合作初始收益分配方案相比,改进后的分配方案考虑了边际贡献以外的其他影响收益分配的重要因素,并可通过调整其权重来优化分配结果。采用效率降低的敏感性分析验证了优化后的收益分配模型更加公平合理,为解决航空干支线联运收益分配问题提供了更稳定的方案。

关键词:航空运输;收益分配;改进 Shapley 值法;干支线联运;合作博弈

中图分类号:F560.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)16-0134-07

建立通达、高效、经济的航线网络,是实现民航强国梦的必要手段。支线航空运输已成为中国现代航空运输系统中的重要组成部分,同时又是联系中小城市的主要方式之一,担负着为枢纽和干线机场集散旅客(货)源的重要功能^[1]。支线航线主要集中在中西部地区,以“点到点”运营模式为主,时刻资源宽松但客流量不稳定、航班频次较低,航空公司盈利维艰,发展面临瓶颈^[2]。为此,一些航空公司推出航空运输干支线联运模式,通过资源共享、信息互通,打造“干支通,全网连”的运输网络体系,实现合作共赢。

“干支线联运”是在不依赖增加机队、机场等资源的前提下,对民航现存资源进行更精准、深入的挖掘,是整合跨航司之间的航线,向旅客提供一次支付、一次值机、一次安检、行李直挂、无忧中转等服务,开设介于经停航班与中转航班之间的新型模式。尽管市场上已经出现“航空干支线联运”产品,该联运市场正处在培育期,发展缓慢。学术界关于“航空干支线联运”的研究很少。例如,李桂进^[3]通过对北美干支联运的运力购买模式(capacity purchase agreement, CPA)的介绍以及其与中国当下推广国内通程航班(TCHB)的对比,认为 TCHB 是 CPA 的过渡形态,在 TCHB 的基础上,由大型网络

航空公司发起,与支线航空联手,开发并实施富有中国特色的 CPA 模式。陈烁^[4]对新疆航空市场“干支联运”模式发展情况、存在问题及其对新疆航空市场的影响进行了分析。徐慧^[5]针对航空干支线合作运营同一航线网络的竞争与合作展开研究,分别建立了同时博弈和序贯博弈决策模型,从收益分配和消费者剩余、社会福利角度进行分析。

现推行的“空铁联运”与该运输模式有共同之处,研究“航空干支线联运”可以借鉴“空铁联运”的研究方法。马继辉等^[6]通过收益共享合同协调航空和高速铁路之间的利益冲突,分别建立航空主导和具有议价行为的收益分配模型,并与分散决策、集中决策下的收益模型进行对比,实例验证具有议价行为的收益分配方案更理想。Xia 和 Zhang^[7]关注到减少空铁联运的连接时间对运输经营者的利润、消费者剩余和社会福利的影响并证明了其合理性。Jiang 等^[8]和 Yuan 等^[9]均对空铁一体化服务(air rail integrated services, ARIS)进行了探讨,前者以石家庄正定国际机场的旅客为例,进行了 SP 调查(stated preference survey),并使用多元有序 logistic 回归分析了影响空铁一体化服务中转过程的因素;后者则从乘客心理和行为变量之间的因果关系以及识别不同的乘客群体,以精准改善服务

收稿日期:2023-04-28

基金项目:国家自然科学基金联合基金(U1733127);中央高校基本科研业务费专项资金(J2019-100)。

作者简介:王雪(1984—)女,四川广汉人,中国民用航空飞行学院经济与管理学院,副教授,硕士研究生导师,研究方向为民航运输规划与管理;柳雪(1997—),女,山东青岛人,中国民用航空飞行学院经济与管理学院,硕士研究生,研究方向为民航运输规划与管理。

两方面展开。蒋琦玮等^[10]构建考虑空铁联运的参与运营商和乘客的双重利益的双层规划模型,研究空铁联运的定价策略。李晓津等^[11]应用收入法和调查法,基于混合 Logit 模型测算了不同出行目的的旅客时间价值及其可以接受的空铁联运价格。刘翌洋等^[12]基于民航和铁路时刻表构建空铁联运时空服务网络,考虑时空路径多维度特性,研究时空层面的空铁联运旅客出行路径。梅正男等^[13]在固定铁路列车时刻表的基础上,考虑双向空铁联运的航班优先级,以优化基于机场实际情况选择时间窗宽度的空铁联运 OD(origin-destination)服务频率。吕宗磊等^[14]在枢纽航线网络的基础上,引入高铁线路,建立面向空铁联运的枢纽航线网络优化模型,以期可以较好地缓解枢纽机场的客流量拥堵问题。徐凤等^[15]针对东航空铁联运客运网络,建立双层加权网络模型,有效识别关键节点并进行排序,进而分析其抗毁性。

国内外学者对“空铁联运”的研究居多,主要从收益分配、票价定价、中转服务、时空网络规划等方面开展,但对“航空干支线联运”收益分配的研究少之又少,多以航空市场“干支联运”模式发展情况、现存问题及其对航空市场的影响,以及对未来航空干支联运的设想等方面进行了分析,而从收益分配角度分析航空市场“干支联运”的很少。为完善这一领域的研究,本文以干支线航空合作收益最大化为目标,综合考虑风险和企业市场竞争力因素对收益分配的影响,基于 Shapley 值法进行修正并进行敏感性分析,探讨干支线联运动态收益分配的最优方案,力求实现双方合作共赢,为航空公司联运收益分配提供实践参考,为稳定“干支通,全网连”的运输网络体系提供理论支持。

1 干支航线联运合作收益分析

广义的航空公司之间的联运行为是指在一个完整的旅客运输过程中,由两家或两家以上的航空公司协作多个航段的一种联合运输;我国航空干支线联运基本上只涉及两家航空公司承运,两者最终目标均是实现收益最大化。要使两家公司达成合作,形成稳定的联盟,需要对干支线联合运输提出一个公平合理的收益分配方案。首先对干支线联合运输模式进行问题描述和假设,其次对拟合作双方合作与非合作时的收益进行分析。

1.1 问题描述与假设

本文研究航空公司 a 与航空公司 b 合作某条航线的收益分配问题(图 1),研究背景为航空公司 a 承运某支线航线甲-乙的航班,同时航空公司 b 承运

某干线航线乙-丙的航班,由于时间、空间上可以衔接,两家公司拟合作承运航线甲-乙-丙的航班。如果开展联运合作,航空公司 a 和 b 在分别销售其承运的单程机票的同时还可销售甲-乙-丙的联运机票,以提高航班客座率,增加收益。

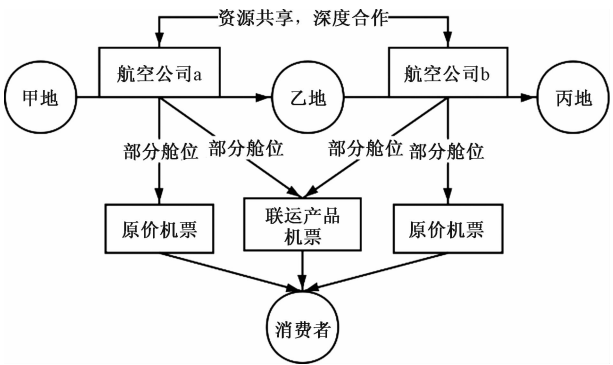


图 1 航空公司干支线联运模式

为了更客观准确地分析两家航空公司的合作收益及其分配问题,提出以下假设:

- 1) 航空公司 a 和 b 都是理性人,都以收益最大化为目标;
- 2) 航空公司 a 和 b 在进行座位控制时,优先满足合作联运的航线运输市场需求;
- 3) 在合作过程中,两家航空公司信息完全共享;
- 4) 两家航空公司单独承运的单程及合作承运的联程航线航班的市场需求相互独立。

在此背景下,假定航空公司 a 承运的甲-乙航线航班市场需求为 X ,航空公司 b 承运的乙-丙航线航班市场需求为 Y ,两家公司合作联运甲-乙-丙的航线航班市场需求为 Z , X 、 Y 、 Z 为非负随机变量且服从均匀分布,其概率分布函数和概率密度函数如下。

航空公司承运甲—乙航线单程航班市场需求:
 $X \sim F_a(X), f_a(x)$;

航空公司 b 承运乙—丙航线单程航班市场需求:
 $Y \sim F_b(Y), f_b(y)$;

合作承运甲—乙—丙航线航班市场需求:
 $Z \sim F_z(X), f_z(x)$ 。

1.2 收益函数分析

1.2.1 合作收益函数

在合作模式下,承担干线和支线运输的航空公司分别销售单程机票,同时销售联运机票,合作收益函数^[16]为

$$\begin{cases} \Pi_{a+b}(P_c, Q) = P_c \min(Q, Z) + P_a \min(C_a - Q, X) + P_b \min(C_b - Q, Y) \\ \text{s.t. } 0 < Q \leq \min(C_a, C_b) \end{cases} \quad (1)$$

式中: C_a 为航空公司 a 承运甲—乙航线航班的可利用座位数; C_b 为航空公司 b 承运乙—丙航线航班的可利用座位数; Q 为两家公司联运协议中甲—乙—丙航线航班预留座位数量; P_a 为航空公司 a 单独承运的甲—乙航线航班的机票价格; P_b 为航空公司 b 单独承运的乙—丙航线航班的机票价格; P_c 为两家公司承运甲—乙—丙航线航班的机票价格, 且 $P_c < P_a + P_b$; Π_{a+b} 为航空公司 a 和 b 合作模式下的总收益。

合作期望收益函数为

$$E(\Pi_{a+b}(P_c, Q)) = P_c \left[Q - \int_0^Q (Q-z) f_c(z) dz \right] + P_a \left[C_a - Q - \int_0^{C_a-Q} (C_a - Q - x) f_a(x) dx \right] + P_b \left[C_b - Q - \int_0^{C_b-Q} (C_b - Q - y) f_b(y) dy \right] \quad (2)$$

对式(2)分别求关于 Q 的一阶导数、二阶导数:

$$\frac{\partial E}{\partial Q} = P_c \left[1 - \int_0^Q f_c(z) dz \right] + P_a \left[\int_0^{C_a-Q} f_a(x) dx - 1 \right] + P_b \left[\int_0^{C_b-Q} f_b(y) dy - 1 \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial Q^2} = -P_c f_c(Q) - P_a f_a(C_a - Q) -$$

$$P_b f_b(C_b - Q) < 0 \quad (4)$$

由式(4)可知, 合作期望收益函数二阶导数小于 0, 说明存在 Q^* 使得 $E[\Pi_{a+b}(P_c, Q)]$ 达到最大值。

1.2.2 非合作收益函数

若两家航空公司不能结成合作联盟, 则航空公司 a 和 b 在非合作模式下各自决策, 整合资源以期达到自身收益最大化, 独立运营各自航线时收益分别为 $\Pi_a(P_a, X) = P_a \min(C_a, X)$ 和 $\Pi_b(P_b, Y) = P_b \min(C_b, Y)$; 航空公司 a 和 b 的总收益为 $\Pi'_{a+b} = P_a \min(C_a, X) + P_b \min(C_b, Y)$, 且 $\Pi_{a+b}(P_c, 0) = \Pi'_{a+b}$ 。

由上述分析, 当 $Q = Q^* > 0$ 时, 期望收益函数 $E[\Pi_{a+b}(P_c, Q)]$ 有唯一最大值, 只有 $\Pi_{a+b}(P_c, Q^*) > \Pi'_{a+b}$ 时, 双方才能达成合作意愿; 反之, 航空公司 a 和 b 独立运营即可。

2 合作收益分配模型

航空公司干支线联运的收益分配额是合作双方互相博弈的结果, Shapley 值法是求解合作博弈最常用的方法, 是由 Shapley 于 1953 年提出的, 该方法原理简单、应用广泛, 可以针对传统模型进行改进, 可塑性较强, 在实际应用中往往会根据合作成员不同特征加入修正因子, 使得收益分配方法更

加公平合理。

2.1 Shapley 值法收益分配模型

设集合 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ 是参与者的集合, φ 是通过合作可获得特征函数值, 将其表示为 (N, φ) 。假设 T 是参与者组成的子联盟, N 是所有参与者组成的大联盟。对于任意子联盟 $T \subseteq N$, 满足:

$$\varphi(\varphi) = 0 \quad (5)$$

$$\varphi(T_1 \cup T_2) \geq \varphi(T_1) + \varphi(T_2), T_1 \cap T_2 =$$

$$\varphi(T_1 \subseteq N, T_2 \subseteq N) \quad (6)$$

用 x_i 表示 N 中第 i 个成员从合作中获得的收益, 合作收益分配用 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示, 对于所有 $i \in N$, 合作的达成必须满足如下条件:

$$1) \sum_{i=1}^n x_i = \varphi(N), \text{ 即合作需满足总体合理性,}$$

合作获得的总收益应以合适的方式全部分配给参与者。

2) $x_i \geq \varphi(i), i = 1, 2, \dots, n$, 即合作需满足个体合理性, 合作后得到的收益大于其单独运营时的收益。

在合作中, 第 i 个成员所分配到的收益, 可用下列公式求得:

$$x_i = \sum_{T \in T_i^w} (|T|) \left[\varphi(T) - \varphi\left(\frac{T}{i}\right) \right] \quad (7)$$

$$w(|T|) = \frac{(n-|T|)! (|T|-1)!}{n!} \quad (8)$$

式中: $w(|T|)$ 为加权因子; T_i 为子联盟中包含成员 i 的所有子集; $i = 1, 2, \dots, n$; $|T|$ 为子联盟中成员个数; $\varphi(T)$ 为子联盟 T 可获得的收益; $\varphi(T/i)$ 为子联盟 T 除成员 i 外可获得的收益。

2.2 考虑影响因素的改进分配模型

2.2.1 引入影响因素的改进分配模型的构建

Shapley 值法依照贡献大小分配原则, 对合作整体收益进行分配, 避免了分配不均导致一些合作成员“搭便车”的弊端, 但忽略了影响合作收益的其他重要因素。为了使分配方案更加客观公正, 引入影响因素对 Shapley 值模型进行改进, 构建新的分配模型。

设修正因子为 λ_i , 对各修正因子进行归一化处理; Shapley 值法认为各影响因素对收益分配的影响是相等的, 那么各合作成员影响因素的综合评价

值与 Shapley 值法默认值的差额为 $\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} - \frac{1}{n}$ 。修正

因子 λ_i 的计算公式为

$$\lambda_i = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)^T \tag{9}$$

式中： ω_i 为第 i 个影响因素的权重，且 $\sum_{i=1}^n \omega_i = 1$ ，可通过专家打分法、云重心法等方法确定； γ_i 为第 i 个影响因素的评价值，应由合作双方综合考虑各自实际情况共同制定取值规则。

单个航空公司的收益最大调整额，以合作的整体收益与除去该成员子联盟的收益之差 $\varphi(T) - \varphi(T/i)$ 为上限，以该航空公司独立运营时所得收益 Π_i 为收益下限，即 $[\varphi(T) - \varphi(T/i) - \Pi_i]$ ，于是各合作成员实际收益分配的修正量：

$$\Delta x_i = \left[\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} - \frac{1}{n} \right] \left[\varphi(T) - \varphi\left(\frac{T}{i}\right) - \Pi_i \right] \tag{10}$$

最终各合作成员获得的收益分配额为

$$x_i^* = x_i + \Delta x_i, i = 1, 2, \dots, n \tag{11}$$

2.2.2 分配方案影响因素的选取

现阶段对 Shapley 值法进行修正的已有研究中，选取风险因子、资源投入、努力水平、企业市场竞争力、服务质量、谈判力等影响因素^[17]的较多。根据目前我国航空公司开展干支线联运的实践经验以及对该领域中专家学者的访问，选取风险和企业市场竞争力两个影响因素进行修正。

1) 风险因子。Shapley 值法并未考虑干支线联运中各成员承担的风险以及在应对风险时需付出的人力、物力等成本，应当根据其承担风险的不同，适当调整收益分配的比例，从而使合作联盟更加稳定。

2) 企业市场竞争力。从干支航线联运的角度分析，企业市场竞争力是衡量航空公司对于干航线上客运量的贡献程度的重要指标。Shapley 值法默认各合作成员企业市场竞争力相同，而现实中实力较强的航空公司拥有更强的企业市场竞争力，在合作谈判时更有话语权，从而在收益分配中为自身争取更多的利益。

3 算例分析

以航空公司 a 和 b 合作推出的联运产品为例，该产品包含从格尔木到西宁的支线运输和从西宁到成都的干线运输，即以“格尔木-西宁-成都”这一航班，应用本文建立的收益分配模型进行算例分析，参考两家公司对外公布的数据和信息假设，如表 1 所示。

3.1 合作收益分析

根据式(1)合作收益函数以及案例参数赋值，可知合作期望收益函数为

$$E[\Pi_{a+b}(P_c, Q)] = 800 \times \left[Q - \int_0^Q \frac{1}{10}(Q - z)dz \right] + 800 \times \left[100 - Q - \int_{70}^{100-Q} \frac{1}{20}(100 - Q - x)dx \right] + 1\,000 \times \left[150 - Q - \int_{100}^{150-Q} \frac{1}{40}(150 - Q - y)dy \right]$$

s. t $0 < Q \leq 100$ (12)

对式(12)求一阶导数和二阶导数可得， $\frac{\partial E}{\partial Q} = -145Q + 1\,450$ ， $\frac{\partial^2 E}{\partial Q^2} = -145 < 0$ ，表明合作收益的期望函数是凸函数，存在最优 $Q^* = 10$ 使得合作收益最大化。在此基础上，合作期望收益函数值为 192 800。

根据航空公司 a 和 b 独立运营时的收益公式 $\Pi_a(P_a, X) = P_a \min(C_a, X)$ 和 $\Pi_b(P_b, Y) = P_b \min(C_b, Y)$ ，总收益 $\Pi'_{a+b} = P_a \min(C_a, X) + P_b \min(C_b, Y)$ 可知，航空公司 a 独立运营收益为 62 000 元，航空公司 b 独立运营收益为 118 750 元，两家公司各自独立运营总收益为 180 750 元。从数据来看，合作整体收益大于其分别独立运营收益之和，证明合作对双方具有积极意义。

3.2 收益分配方案

3.2.1 基于 Shapley 值模型的收益分配方案

根据 Shapley 值法进行初始分配，航空公司 a 和 b 的收益结果分别如表 2 和表 3 所示。

表 1 参数设定及赋值

变量	航空公司 a (格尔木—西宁)	航空公司 b (西宁—成都)	航空公司 a (甲—乙)	航空公司 b (乙—丙)	备注
机票价格/元	340~1 210	350~1 690	800	1 000	均值,取整
可利用座位数/个	128	178	100	150	根据实际平均承运数量取整
联运产品机票价格/元	610~970		800		均值,取整
甲-乙-丙航线航班市场需求 Z	在(0~10)上服从均匀分布				根据相关数据以及参考闵德权等 ^[18] 假设
甲-乙航线航班市场需求 X	在(70~90)上服从均匀分布				
乙-丙航线航班市场需求 Y	在(100~140)上服从均匀分布				

注：数据来自航空公司和航班管家官网。

表 2 航空公司 a 收益分配结果

T	收益/元	
	a	a∪b
$\varphi(T)$	62 000	192 800
$\varphi(T/i)$	0	118 750
$\varphi(T) - \varphi(T/i)$	62 000	74 050
$ T $	1	2
$\omega(T)$	0.5	0.5
$\omega(T)[\varphi(T) - \varphi(T/i)]$	31 000	37 025
合计	68 025	

表 3 航空公司 b 收益分配结果

T	收益/元	
	a	a∪b
$\varphi(T)$	118 750	192 800
$\varphi(T/i)$	0	62 000
$\varphi(T) - \varphi(T/i)$	118 750	130 800
$ T $	1	2
$\omega(T)$	0.5	0.5
$\omega(T)[\varphi(T) - \varphi(T/i)]$	59 375	65 400
合计	124 775	

航空公司 a 和航空公司 b 的初始收益分配额分别为 68 025 元和 124 775 元。

3.2.2 考虑影响因素的改进分配方案

根据已有研究以及两家航空公司在开展联运合作的实践经验,设航空公司 a 和 b 的风险因子、企业市场竞争力因素评价价值分别为 $(\gamma_1, \gamma_2)_a = (0.4, 0.6)$, $(\gamma_1, \gamma_2)_b = (0.6, 0.4)$, 权重 $(\omega_1, \omega_2) = (0.3, 0.7)$, 算得 $\lambda_a = 0.54, \lambda_b = 0.46$, 则航空公司 a 最终收益分配额: $x_a^* = x_a + \Delta x_a = x_a +$

$$\left[\frac{\lambda_a}{2} - \frac{1}{2} \right] [\varphi(T) - \varphi(T/a) - \Pi_a] = 68\ 507$$
; 航

空公司 b 最终收益分配额: $x_b^* = x_b + \Delta x_b = x_b +$

$$\left[\frac{\lambda_b}{2} - \frac{1}{2} \right] [\varphi(T) - \varphi(T/b) - \Pi_b] = 124\ 293$$
。

3.3 分配方案结果分析

不同收益分配方案对比如表 4 所示,两家公司独立运营时收益之和为 180 750 元,合作之后总收益为 192 800 元,收益提高了 6.67%,说明存在合理 Q^* 值使得合作整体收益大于双方单独运营时收益

表 4 不同收益分配方案结果

收益分配方案	航空公司 a	航空公司 b	合计
独立运营收益/元	62 000	118 750	180 750
Shapley 值法收益分配方案/元	68 025	124 775	192 800
修正后收益分配方案/元	68 507	124 293	192 800
修正后收益增长率/%	10.50	4.67	6.67

之和,合作可以带来“1+1>2”的效果;相较于收益分配方案(1),方案(2)中航空公司 a 收益增长了 9.72%,航空公司 b 增长了 5.07%,满足个体合理性;方案(3)是在方案(2)的基础上对分配结果进行修正,航空公司 a 收益增长了 10.50%,航空公司 b 增长了 4.67%。与方案(2)比较,方案(3)中航空公司 a 的收益增长幅度略高,而航空公司 b 的收益增长幅度略低,说明航空公司 a 在联合运输中贡献更大,这体现在修正因子对收益分配的影响。

修正因子由影响因素 (γ_1, γ_2) 及其权重共同决定,而修正因子的大小会影响两家公司最终分配到的收益(图 2)。图 2 为利用 $\sum \omega_i = 1$ 刻画风险因子与企业市场竞争力两者的权重对修正因子的影响情况。图中白色平面表示航空公司 a 的修正因子 λ_a , 黑色平面表示航空公司 b 的修正因子 λ_b ; 两平面相交线左侧航空公司 b 更占优势,右侧航空公司 a 修正因子占比更大。

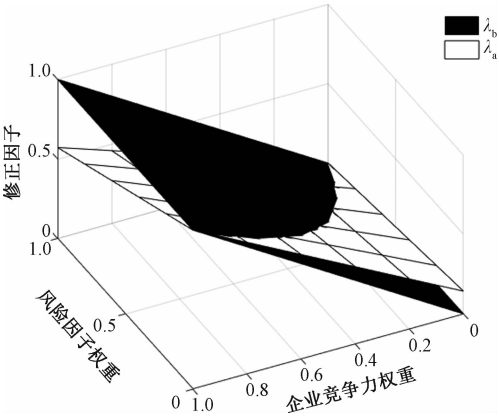


图 2 修正因子与风险因子、企业市场竞争力权重的关系

3.4 敏感性分析

假设合作结果 $\varphi(N)$ 可以因合作双方在合作中采取积极或消极的态度而导致合作效率变化,最终影响收益^[19]。例如,在两人合作中,如果一方参与者采取消极态度,则会导致包括合作方 1 在内的所有盟,即 $\varphi(1), \varphi(1, 2)$ 收益减少。考虑两合作方分别采取消极态度的两种情况,图 2 显示了当合作整体收益在 x 轴上每减少 0.5%,各合作方收益分配额在 y 轴上的变化。图 3(a)显示,由于航空公司 a 的行为效率低下,随着合作整体收益减少的比例越大,分配给航空公司 a 的收益比航空公司 b 减少的更多。然而,将图 3 以不同比例展示,有些趋势是相反的,如图 4(b)所示,航空公司 a 的收益甚至会随着航空公司 b 效率的降低而增加。两种情况下的敏感性分析结果表明,航空公司 a 对整个合作联运的

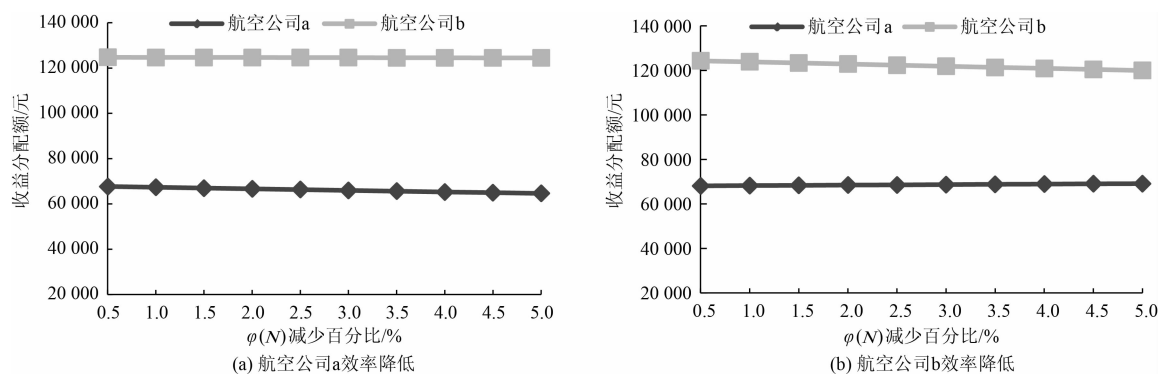


图 3 每个成员效率低下导致合作成员收益分配变化

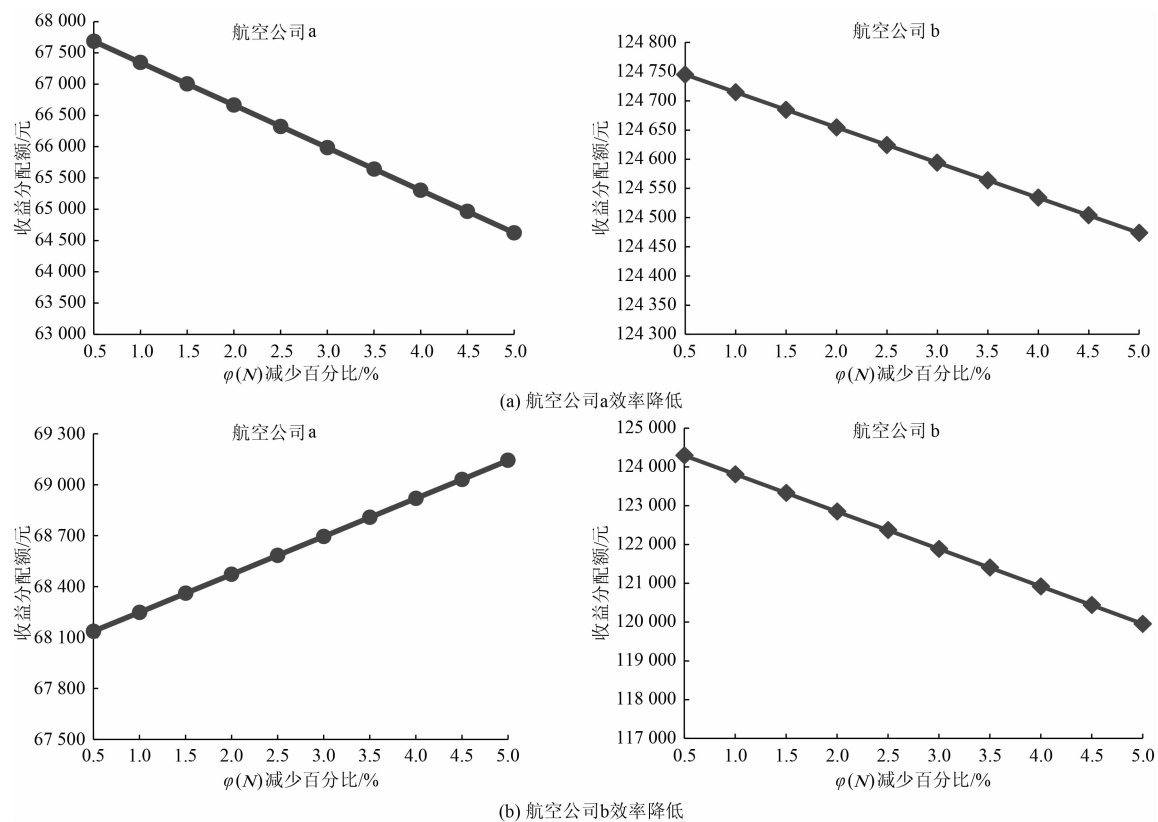


图 4 每个成员效率低下导致合作成员收益分配变化

贡献更大,本文提出的修正方案在补偿贡献方面是合理的。

4 结论

公平合理的收益分配机制是航空公司干支线联运稳定发展的关键。本文基于航空干支线的市场特性,引入合作博弈理论,考虑机票价格、各自承运航线的载客数以及联运产品市场需求等,构建收益分配模型。修正后的收益分配方案,对合作整体收益进行了合理的分配。研究结果表明:①航空公司 a 和 b 最终收益分配额较合作之前都有所提高,收益增长率分别达到 10.50% 和 4.67%,表明合作

更有利于实现双方收益最大化;②考虑效率降低的敏感性分析显示航空公司 b 的收益随着航空公司 a 效率的降低而减少,而航空公司 a 的收益却随着航空公司 b 效率的降低而增加,说明航空公司 a 在合作中的贡献更大,验证了优化后的收益分配方法的有效性。

本文研究的航空公司在完全理性下的收益分配的博弈模型,在应用时具有一定的局限性,同时,也未考虑运输市场内外部竞争的因素。因此,未来可在有限理性的条件下探讨航空公司联运收益分配的动态博弈模型,或者在该航线上增加其他航班

的竞争等因素改进现有模型,使之更加客观和普适。

参考文献

[1] 王琨,朱金福,朱星辉. 基于博弈分析的支线航空合作动因[J]. 西南交通大学学报,2015(3):557-561.

[2] 罗彤. 干支结合的网络化运营方式是发展支线航空的必由之路[J]. 民航管理,2020,35(8):19-22.

[3] 李桂进. 北美干支联运的 CPA 模式及其启示[J]. 民航管理,2022(8):47-51.

[4] 陈烁. 新疆航空市场干支联运模式发展分析[J]. 中国高新科技,2020(10):121-122.

[5] 徐慧. 基于博弈论的航空运输干支线合作运营问题研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2016.

[6] 马继辉,王瀛帆,姜秀山,等. 基于博弈论的空铁联运收益分配模型[J]. 交通运输系统工程与信息,2021,21(4):23-29.

[7] XIA W,ZHANG A. Air and high-speed rail transport integration on profits and welfare:effects of air-rail connecting time[J]. Journal of Air Transport Management,2017(10):181-190.

[8] LI S,CHENG L,LIU X. City type-oriented modeling electric power consumption in China using NPP-VIIRS nighttime stable light data[J]. Energy,2019,189:0360-5442.

[9] YUAN Y L,YANG M,FENG T,et al. Heterogeneity in passenger satisfaction with air-rail integration services:results of a finite mixture partial least squares model[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice,2021,147(7):133-158.

[10] 蒋琦玮,穆鹏程,姚加林. 基于双层规划模型的空铁联运定价策略研究[J]. 铁道科学与工程学报,2021,18(12):3130-3137.

[11] 李晓津,史晨钰,李烁烁. 我国航空与铁路联运定价策略研究——基于旅客时间价值的测算分析[J]. 价格理论与实践,2020(8):128-131.

[12] 刘翌洋,聂磊,佟璐等. 基于旅客感知的空铁联运路径选择研究[J]. 铁道运输与经济,2022,44(12):36-42.

[13] 梅正男,聂磊,任广建,等. 基于空铁联运 OD 服务频率优化的航班时刻表调整模型[J]. 铁道科学与工程学报,2022,19(12):3581-3589.

[14] 吕宗磊,吴志帅,徐涛,等. 面向空铁联运的枢纽航线网络优化模型[J]. 计算机工程与设计,2021,42(4):1188-1194.

[15] 徐凤,朱金福,陈丹. 东航空铁联运双层加权网络的关键节点识别与抗毁性分析[J]. 铁道运输与经济,2023,45(1):93-100.

[16] 吴笙. 航空公司与酒店合作联盟的最优决策及收益分配机制研究[D]. 成都:电子科技大学,2009.

[17] 常征,范瀚文,张聆晔. 基于修正 Shapley 值模型的航运联盟利益分配[J]. 上海海事大学学报,2022,43(1):38-44.

[18] 闵德权,赵琼,崔琪,等. 基于 TOPSIS 改进 Shapley 值的邮轮公司与航空公司合作收益分配[J]. 上海海事大学学报,2020,41(3):73-81.

[19] WANG Z,HU H,ZENG Q,et al. Profit sharing and the stability of shipping alliances based on game theory[J]. Journal of Transport Economics & Policy,2016,50(3):245-261.

Research on Revenue Allocation of Airline Trunk and Branch Combined Transport

WANG Xue, LIU Xue

(School of Economics and Management,Civil Aviation Flight University of China,Guanghan 618300,Sichuan,China)

Abstract: To build and improve the trunk and feeder airline network is a necessary requirement and development trend for the construction of modern civil aviation transportation system, while an ideal airline cooperative revenue allocation scheme is a prerequisite for promoting airline trunk and feeder combined transportation. Based on China’s current development situation and market characteristics of regional airline, the revenue functions under cooperative and non-cooperative situations were constructed for two airlines operating mainline and regional flights respectively. Then the “Golmud-Xining-Chengdu” interline was used as an empirical case for calculation and analysis. The results show that by proposing an improved profit-sharing scheme based on the Shapley value method the final revenue allocation of two airlines has increased compared with that before the cooperation, respectively. Compared with the initial revenue allocation scheme, the improved allocation scheme takes into account of other important factors affecting the revenue allocation in addition to the marginal contribution, and the allocation results can be optimized by adjusting their weights. The sensitivity analysis using efficiency reduction verifies that the optimized revenue allocation model is fairer and more reasonable, providing a more stable solution to the problem of revenue allocation of airline trunk and feeder combined transport.

Keywords: air transportation; revenue allocation; improved Shapley value method; combined transportation of trunk and branch lines; cooperative game