

基于广义费用的城际运输方式竞争力模型

宇文翀, 裴玉龙, 侯琳, 魏婉莹, 李佳骏
(东北林业大学交通学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 为分析城际间各类运输方式竞争力, 针对客运、货运 2 个方面分别构建竞争力模型。针对公路运输中私家车出行和长途客运出行广义费用构成的差异性, 引入巢式 Logit 构建旅客运输方式竞争力模型。考虑货物自身性质和特点以及托运方对价格的敏感程度划分城际间货物种类, 针对不同种类货物, 分别提出修正系数对广义费用函数进行修正, 构建基于 Influ-Logit 的货物运输方式竞争力模型。以哈尔滨市—佳木斯市城际间客货运输方式为例开展实证研究。结果表明: 所构建的模型可以较好地描述城际各交通运输方式的客货竞争力以及相关影响因素变化下竞争力的变化情况, 为相关运输企业制定优化对策、调整运输策略、提升自身竞争力提供理论参考。

关键词: 交通规划; 出行广义费用; 城际交通运输; 巢式 Logit 模型; Influ-Logit 模型; 竞争力分析

中图分类号: U 491

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2023)08-0896-10

doi: 10.11936/bjtxb2022030014

A Competitiveness Model of Intercity Transportation Modes Based on Generalized Cost

YUWEN Chong, PEI Yulong, HOU Lin, WEI Wanying, LI Jiajun
(School of transportation, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: To analyze the competitiveness of intercity transportation modes, a competitiveness analysis model of passenger and freight transportation was constructed, respectively. Considering the differences of the components of generalized cost between private car and public transportation of road intercity transport, the Nested-Logit model was introduced to construct the competitiveness analysis model of different passenger transportation modes. The intercity freight transportation was classified on the basis of characteristic of freight and consignor's sensitivity towards freight rate. Correction factors were proposed to modify the generalized cost function for each freight type. Then, the competitiveness analysis model of different freight transportation modes was constructed based on Influ-Logit model. Taking the intercity passenger and freight transportation modes from Harbin to Jiamusi as an example to carry out an empirical study of the model constructed. Results show that the constructed model can better describe the competitiveness of various intercity passenger and freight transportation modes and the competitiveness under the changes of related influencing factors, which provide theoretical reference for relevant transportation enterprise to formulate optimization strategies, adjust transportation strategies, and enhance their competitiveness.

收稿日期: 2022-03-20; 修回日期: 2022-10-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51278158)

作者简介: 宇文翀(1973—), 男, 博士研究生, 主要从事交通规划与设计方面的研究, E-mail: ywc2000000@163.com

通信作者: 裴玉龙(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事交通规划与设计、交通安全与事故、智能交通与管理方面的研究, E-mail: peiyulong@nefu.edu.cn

Key words: traffic planning; generalized cost; intercity transportation; Nested-Logit model; Iflu-Logit model; competitiveness analysis

城际不同交通运输方式在旅客出行和货物资源运输上存在着竞争关系,城际交通运输方式的竞争力就是指各运输方式通过发挥各自运输服务属性优势所形成的一种在客货运市场争夺客货运输资源的能力。

目前在交通运输方式竞争方面,研究者多从各交通方式服务属性入手对其竞争关系进行研究。Roman等^[1]以马德里与巴塞罗那的客运通道为例分析航空与铁路的竞争,结果表明在中长途运输中,高铁可通过提高准点率使自身竞争力超过航空。Ahern等^[2]和郭明瓚^[3]通过RP与SP调查,分析旅客出行选择。李世琦等^[4]量化分析了商品车铁路运输的优势运距及其竞争力,得出对铁路运输分担率有较大影响的条件因素。段莉珍等^[5]对旅游和公务运输通道的公铁竞争力进行研究,结果表明公务型通道中,铁路运输竞争力强于公路运输。张旭等^[6-7]从时间成本、经济成本、舒适度和安全性方面构建客运竞争模型,李智^[8]在此基础上加入环保性的因素,构建旅客效用函数。丁金学等^[9]构建了二项Logit模型分析高铁开通后对民航市场的冲击情况,结果表明,500~900 km是高铁和航空运输市场竞争博弈的显著距离。周国华等^[10]引入偏好性因素对传统的Logit效用函数进行改进,基于运行时速和距离,构建了竞争市场分担率演变模型。宋建强等^[11]分析托运方选择货物运输方式时考虑的影响因素,结果显示铁路运输在短距离的货物运输市场处于竞争劣势。方琪根等^[12]构建了基于改进Logit的货物运输方式竞争力模型,对模型进行弹性分析和运输方式的服务特性分析,并探讨未来该地区各种运输方式的竞争力变化情况。

在旅客运输方式相互竞争方面,国内外学者多从高铁引入前后对公路客运以及航空客运造成的冲击入手,选择经济性、快速性等因素分析旅客运输方式的竞争力,主要研究范围停留在公共客运方式间即公路客运、铁路客运以及航空客运间的相互竞争,但较少考虑公路运输中私家车在竞争中发挥的作用;而在货物运输方式相互竞争方面,现有研究从托运方角度出发,筛选影响选择货物运输方式的相关因素,构建Logit模型分析货物运输方式的竞争力情况,大多未考虑到不同货物品类以及托运方对运价的敏感程度对运输方式选择的影响。

城际间交通运输方式的竞争力是指各方式在运输市场夺取客货运资源的能力,因此在城际客、货运市场,占有的市场份额即分担率越多认为该方式的竞争力越强,因此,选择Logit模型作为研究的基础。本研究分析城际间各交通运输方式在客运以及货运市场上的竞争力情况,针对公路运输中私家车出行和长途客运出行广义费用构成的差异性,将公路运输分为私家车和长途客运,分别构建私家车出行和长途客运出行的广义费用函数,在此基础上引入巢式Logit构建旅客运输方式竞争力模型。考虑货物自身性质和特点以及托运方对价格的敏感程度划分城际间货物种类,针对不同种类货物,分别提出修正系数对广义费用函数进行修正,建立基于Influ-Logit的货物运输方式竞争力模型。以哈尔滨市—佳木斯市为例,对城际各交通运输方式的客货运竞争力进行实证研究,模拟运输费用和运输速度等因素变化下,各种交通运输方式的客货竞争力变化情况,研究成果可为综合交通运输需求预测提供需求端理论参考,为综合交通运输经济效益分析提供量化方法,为推进城际各交通运输方式协调发展及城际间交通规划提供方法指引。

1 城际旅客运输方式竞争力模型

本文选用时间成本、经济成本、疲劳恢复成本、便捷成本、准时性、安全性6个影响因素构成城际客运方式的广义费用函数。引入巢式Logit(Nested-Logit)模型,构建公路、铁路、航空、水运4种运输方式竞争力模型。客运竞争力广义费用函数内涵构成如表1所示。

1.1 客运竞争力影响因素的选择及量化

1) 时间成本

旅客出行的时间成本一般包括乘坐交通工具的耗时以及不同交通工具衔接换乘过程中消耗的时间,是旅客出行效率的体现。由于本文研究对象为城际间旅客运输方式相互竞争的情况,因此不考虑城际间不同运输方式间的相互合作即运输方式间的换乘,因此这里的时间成本仅包含乘坐交通工具的耗时,具体时间成本为

$$F_i = \left(\frac{L_i}{v_i} \right) \frac{1}{w \times h} \quad (1)$$

式中: F_i 为旅客所选运输方式的时间成本; L_i 为旅客所选运输方式的行程距离; v_i 为第*i*种运输方式的运输速度; I 为月均收入水平; w 为月平均工作天数,取 $w=22$ d; h 为每日平均工作时长,取 $h=8$ h。

2) 经济成本

经济成本是旅客出行所选择运输方式费用总和。对于公共交通方式而言,经济成本即相应出行方式的票价,对于私家车出行,经济成本包含燃油费与过路费。具体出行成本计算式为

$$E_i = K_i \times L_i \quad (2)$$

$$E_{\text{car}} = F_o + F_r \quad (3)$$

式中: E_i 为旅客选择公共交通方式的经济成本; E_{car} 为旅客选择私家车的经济成本; F_o 为私家车出行燃油费; F_r 为私家车出行全程所需过路费; K_i 为旅客乘坐第*i*种公共交通运输方式的运价率。

3) 疲劳恢复成本

本文采用旅客从出行引起的疲劳中恢复所需的时间对疲劳恢复成本进行衡量,疲劳恢复时间取决于旅客的出行时间和乘坐环境,计算式为^[13]

$$D_i = \frac{T_r \times T}{w \times h} \quad (4)$$

$$T_r = \frac{t_{\text{max}}}{1 + a \exp(-bt)} \quad (5)$$

式中: D_i 为旅客出行选择第*i*种运输方式的疲劳恢复成本; T_r 为旅客出行选择第*i*种运输方式疲劳恢复的时间; t_{max} 为出行后疲劳恢复所需的最长时间; t 为旅客出行所用时间; a 为纲量一参数; b 为单位时间内疲劳恢复时间的强度系数,系数越大,说明恢复时间越长。

4) 便捷成本

便捷成本使用旅客所乘坐的运输方式候车时间、购取票时间和进出站时间以及城市公共交通方式即常规公交、轨道交通等换乘城际运输方式的换乘时间之和表示;私家车使用停车时间来定量描述,便捷成本计算式为

$$C_p = \frac{I}{w \times h} \times \sum_{j=1}^4 T_j \quad (6)$$

$$C_{\text{car}} = \frac{I}{w \times h} \times T_p \quad (7)$$

式中: C_p 为公共交通方式的便捷成本; $T_j, j=1, 2, 3, 4$,分别为旅客所乘坐的运输方式等待时间、购取票时间和进出站时间,城市公共交通方式换乘城际运输方式的换乘时间; C_{car} 为私家车出行的便捷成本; T_p 为私家车停车时间。

5) 准时性

准时性 Z_i 通常用公共交通方式的正点率来衡量;针对私家车,本文选择旅客出行的预计出行时间和实际出行时间的偏差率来表示。

6) 安全性

安全性指选择交通方式*i*的安全程度。这一指标无法用成本来量化。计算式为

$$S_i = \frac{h_i - g_i}{h_i} \quad (8)$$

式中: S_i 为第*i*种运输方式的安全性; g_i 为第*i*种运输方式的年死亡人数; T_i 为第*i*种运输方式的年客流量。

表1 客运竞争力广义费用函数内涵构成

Table 1 Components of the generalized cost function of passenger transportation

| 影响因素 | 内涵构成 |
|--------|---------------------|
| 时间成本 | 乘坐交通工具出行消耗的时间成本 |
| 疲劳恢复成本 | 乘坐交通方式出行后疲劳恢复所需时间成本 |
| 安全性 | 交通运输方式年客运死亡率 |
| 便捷成本 | 公共交通方式 |
| | 候车时间成本 |
| | 购取票时间成本 |
| 准时性 | 公共交通方式 |
| | 进出站时间成本 |
| 经济成本 | 私家车 |
| | 换乘时间成本 |
| 经济成本 | 公共交通方式 |
| | 正点率 |
| 经济成本 | 私家车 |
| | 预计出行时间和实际出行时间的偏差率 |
| 经济成本 | 公共交通方式 |
| | 票价 |
| 经济成本 | 私家车 |
| | 燃油费 |
| | 过路费 |

1.2 广义费用函数的建立

在旅客出行中,广义费用是指旅客出行所产生的各种成本。出行所产生的广义费用越高,旅客对出行的满意程度越低,其所选的交通运输方式的核心竞争力越弱。

通过对旅客出行方式选择影响因素的分析,建立广义费用函数。由于水运受到季节影响(冬季个别地区河面冰冻,船舶不运营),提出船舶运营系数 g ,对水运广义费用函数进行修正。综上,客运广义费用函数的表达式为

$$V_i = \frac{F_i + C_i + D_i + E_i}{Z_i S_i} \quad (9)$$

$$V_{\text{水运}} = \frac{g(F_i + C_i + D_i + E_i)}{Z_i S_i} \quad (10)$$

式中: V_i 为第 i 种客运方式的广义费用值; C_i 为第 i 种客运方式的便捷成本; Z_i 为第 i 种客运方式的准时性。

1.3 基于巢式 Logit 的客运竞争模型的构建

旅客根据出行需求, 在不同交通方式中进行选择, 若旅客选择了公路, 则会在公路客运和私家车中进行更进一步的选择, 若旅客选择了铁路, 则会在普速铁路和高铁中进行进一步选择。根据这一特点, 考虑到传统的多项 Logit (multi-mominal logit, MNL) 模型无法处理各选择枝存在相关性的问题。因此, 本研究引入巢式 Logit 模型^[14], 建立如图 1 所示的旅客交通方式选择树状图, 上层模型为交通方式选择模型, 包括公路、铁路、航空与水运; 公路下层为私家车与长途客运; 铁路下层为普速铁路和高铁。

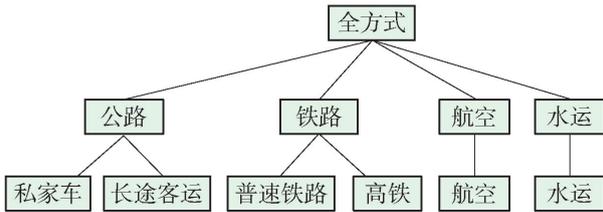


图 1 旅客交通方式选择树状图

Fig. 1 Tree view of passenger traffic mode selection

在上层结构中, 公路、铁路、航空、水运的选择概率为

$$P_i = \frac{\exp(-V_i)}{\sum_{k=1}^4 \exp(-V_k)} \quad (11)$$

式中 V_k ($k=1, 2, 3, 4$) 分别为公路、铁路、航空、水运 4 种运输方式的效用值。

模型的下层结构中各选择枝的概率通过条件概率计算, 以公路选择枝为例, 公路下层的方式选择可通过二项 Logit 模型描述, 公路选择枝下选择交通方式 j (包含私家车和长途客运 2 种方式) 的条件概率表达式为

$$P(j|H) = \frac{\exp(-V_j)}{\exp(-V_{\text{car}}) + \exp(-V_l)} \quad (12)$$

式中: $P(j|H)$ 为公路选择枝下选择交通方式 j 的条件概率; V_{car} 为旅客选择私家车出行的广义费用; V_l 为旅客选择长途客车出行的广义费用。

联立式 (11) (12) 可得

$$P(j) = P_H \times P(j|H) = \frac{\exp(-V_l)}{\sum_{k=1}^4 \exp(-V_k)} \times \frac{\exp(-V_j)}{\exp(-V_{\text{car}}) + \exp(-V_l)} \quad (13)$$

式中: P_H 为旅客选择公路出行的概率; $P(j)$ 为选择公路运输后, 继续选择方式 j 出行的概率。

其余铁路、航空与水运选择枝下各个交通方式的概率以同样的方式计算。航空、水运的效用值可直接用相应的广义费用替代, 重点在于确定公路、铁路的效用值, 根据巢式 Logit 理论^[15], 确定公路、铁路的效用函数并构建客运竞争力模型为

$$\begin{cases} V_1 = \frac{1}{\alpha} \ln(e^{\alpha V_{\text{car}}} + e^{\alpha V_l}) \\ V_2 = \frac{1}{\beta} \ln(e^{\beta V_{\text{or}}} + e^{\beta V_{\text{hr}}}) \\ P_i = \frac{\exp(-V_i)}{\sum_{k=1}^4 \exp(-V_k)} \end{cases} \quad (14)$$

式中: V_{or} 为旅客选择普速铁路的广义费用; V_{hr} 为旅客选择高速铁路的广义费用; α, β 为模型参数; P_i 为第 i 种旅客运输方式的选择概率。

2 城际货物运输方式竞争力模型

在选择货物运输方式的过程中, 托运方会根据货物属性和运输条件选择合理的运输方式, 不同的影响因素在托运方心中的重要程度有所不同^[16]。需要对各个影响因素的权重系数进行确定。随着经济社会的发展进步, 货物流通可选择多种交通运输方式。货物流通运输方式选择主要影响因素由运输能力、运输时间、运输费用、服务水平组成。货运竞争力广义费用函数内涵构成如表 2 所示。

2.1 货物运输方式竞争力影响因素的选择及量化

货物运输方式的选择遵循一定的原则, 即满足自身的流通需求, 实现效益最大化。一般来说, 影响货物运输方式的因素主要从 2 个方面考虑。一类与货物属性有关, 如货物运输规模、货物种类等; 另一类与运输条件有关, 如货运能力、运输价格等。本文主要选用运输能力、运输时间、运输费用、服务水平方面来考虑货物运输方式竞争力影响因素。

1) 运输能力: 不同运输方式, 运用各种技术手段在一定时间内所能完成的最大运输量。不同运输

方式的运输能力用货物周转量来表示。运输能力计算式为

$$C_{AB}^i = \frac{t_i}{L_{\text{总}}^i} \times L_i \quad (15)$$

式中: C_{AB}^i 为第 i 种运输方式从 A 地到 B 地之间的运输能力; t_i 为第 i 种运输方式的年货物周转量; $L_{\text{总}}^i$ 为第 i 种运输方式的总里程; L_{AB}^i 为从 A 地到 B 地第 i 种运输方式的运输距离。

2) 运输时间: 货物在运输途中花费的总时间以及装卸时间, 是衡量运输效率的重要指标。运输时间计算式为

$$T_{AB}^i = \frac{L_{AB}^i}{v_i} + T_z^i \quad (16)$$

式中: T_{AB}^i 为从 A 地到 B 地第 i 种运输方式的运输总时间; v_i 为第 i 种运输方式运输速度; T_z^i 为第 i 种运输方式的货物装卸货时间。

3) 运输费用: 货物在运输中各项费用的总和。运输费用可以简单通过运价来衡量, 运输费用计算式为

$$f_{AB}^i = R_i \times L_{AB}^i \quad (17)$$

式中: f_{AB}^i 为第 i 种运输方式的运输费用; R_i 为第 i 种运输方式的运价率。

4) 服务水平: 包括延误率、货损率等因素。一般来说总体服务水平越高, 该方式对托运方的吸引力越强, 服务水平计算式为

$$g_{AB}^i(t) = d_i + Y_i \quad (18)$$

式中: $g_{AB}^i(t)$ 为第 i 种运输方式从 A 地到 B 地之间的服务水平; d_i 为延误率, 延误指在 30 d 内, 第 i 种运输方式到站时间比计划到站时间延迟 15 min 以上或取消班次的情况; Y_i 为货损率, 指货物在装卸、运输、中转过程中发生损坏、丢失、变质等现象的概率。

表 2 货运竞争力广义费用函数内涵构成

Table 2 Components of the generalized cost function of freight transportation

| 影响因素 | 内涵构成 |
|------|----------------|
| 运输能力 | 城际间年货运周转量 |
| 运输时间 | 运输在途时间 装卸时间 |
| 运输费用 | 运输中各项费用的总和 |
| 服务水平 | 延误率 货损率 |

2.2 基于 Influ-Logit 的货运竞争力模型的构建

通过对货物运输方式选择影响因素的分析, 本文选用运输能力、运输时间、运输费用、服务水平 4 个影响因素属性构成货物运输方式选择的广义费用函数。由于水运受到季节影响(冬季个别地区河面冰冻, 船舶不运营), 提出船舶运营系数对水运广义费用函数进行修正。当系统内存在多种运输方式可供货物运输选择时, 托运方就会结合货物的生产成本、货物品种及性质、形状与不同运输方式的服务特性, 进行比较分析后做出选择。本文通过分析影响托运方选择货物运输方式的主要因素, 构造运输系统内托运方选择货物运输方式的广义费用函数。

$$U_i = \alpha_1 C_{AB}^i + \alpha_2 T_{AB}^i + \alpha_3 f_{AB}^i + \alpha_4 g_{AB}^i(t) \quad (19)$$

$$U_{\text{水运}} = g[\alpha_1 C_{AB}^{\text{水运}} + \alpha_2 T_{AB}^{\text{水运}} + \alpha_3 f_{AB}^{\text{水运}} + \alpha_4 g_{AB}^{\text{水运}}(t)] \quad (20)$$

式中: U_i 为第 i 种运输方式的广义费用值; α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 为运输方式服务特性的权重系数。

以各交通运输方式在货运市场的占有率表示其竞争力, 构建随机阈值 Logit 模型, 来处理货运分担率属性过多的问题^[17]。货运竞争力模型为

$$Q_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{i=1}^n e^{U_i}} \quad (21)$$

式中 Q_i 为第 i 种货物运输方式的竞争力。

2.3 考虑货物类型的影响因素权重修正

托运方在选择货物运输方式时, 会根据货物自身特点以及自身对运输价格敏感程度, 考虑上述 4 种影响因素的重要程度, 如对时效性要求较高的货物, 托运方在选择运输方式时将会更看重运输速度, 而对价格敏感程度较高的托运方在选择运输方式时将会更看重运输费用, 因此需要对城际间货物类别进行划分。

城际间所运输的货物可先分为大宗货物与其他零散货物, 大宗货物是指可进入流通领域, 但非零售环节, 具有商品属性用于工农业生产与消费使用的大批量买卖的物质商品, 一般具有大批量、长距离运输, 低运价、低时效性的特点。零散货物是指除大宗货物以外的货物。本文根据货物本身的性质与特点并结合托运方对运输价格的敏感程度将零散货物再分为 3 种, 具体分类结果如表 3 所示。

由层次分析法(analytical hierarchy process, AHP)构建不同类型的判断矩阵 $A_1 \sim A_4$, 计算结果均通过一致性检验, 同时得出 4 种货物运输市场类型对 4 个影响因素的权重系数, 如表 4 所示。

表 3 货物类别、包含品类及特点

Table 3 Types and characteristics of the intercity freight and main categories included

| 货物类型 | 货物类型代码 | 货物特点 | 货物主要品类 |
|--------|--------|-----------------------|---------------------|
| 大宗货物 | I 类 | 大批量、长距离运输, 低运价、低时效性 | 煤炭、钢铁、原油、谷物等普通大宗货物 |
| | II 类 | 低时效性, 托运方高价格敏感度 | 图书、生活日用品、衣物、普通快递包裹等 |
| 其他零散货物 | III 类 | 较高时效性, 托运方中等价格敏感度 | 蔬菜、水果、肉类、鲜花、快速消费品等 |
| | IV 类 | 极高时效性, 高价值, 托运方低价格敏感度 | 电子产品、海鲜、冻肉、紧急快件包裹等 |

表 4 不同货物类型的 4 个影响因素权重

Table 4 Weights of four impact factors of different types of intercity freight

| 货物类型 | 运输能力 | 运输时间 | 运输费用 | 服务水平 |
|------|------|------|------|------|
| I | 0.06 | 0.15 | 0.69 | 0.10 |
| II | 0.06 | 0.17 | 0.62 | 0.15 |
| III | 0.06 | 0.25 | 0.44 | 0.25 |
| IV | 0.06 | 0.38 | 0.20 | 0.36 |

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/9 & 1/2 \\ 3 & 1 & 1/7 & 2 \\ 9 & 7 & 1 & 6 \\ 2 & 1/2 & 1/6 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 1/8 & 1/3 \\ 4 & 1 & 1/4 & 1 \\ 8 & 4 & 1 & 5 \\ 3 & 1 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 1/5 & 1/4 \\ 4 & 1 & 1/2 & 1 \\ 5 & 2 & 1 & 2 \\ 4 & 1 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1/6 & 1/4 & 1/5 \\ 6 & 1 & 2 & 1 \\ 4 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 5 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

由上述可知, 不同营收水平及货物类型的广义费用函数表达式为

$$U_1 = 0.06C_{AB}^i + 0.15T_{AB}^i + 0.69f_{AB}^i + 0.10g_{AB}^i(t) \tag{22}$$

$$U_2 = 0.06C_{AB}^i + 0.17T_{AB}^i + 0.62f_{AB}^i + 0.15g_{AB}^i(t) \tag{23}$$

$$U_3 = 0.06C_{AB}^i + 0.25T_{AB}^i + 0.44f_{AB}^i + 0.25g_{AB}^i(t) \tag{24}$$

$$U_4 = 0.06C_{AB}^i + 0.38T_{AB}^i + 0.20f_{AB}^i + 0.36g_{AB}^i(t) \tag{25}$$

影响因素值的处理: 由于各影响因素单位不同, 本文将 4 种影响因素进行处理, 以得到消除单位的“相对费用值”^[18]。

正影响因素 (影响因素与实际费用成正比关系) 的计算式为

$$x_n(i)' = \frac{x_n(i)}{\max x_n(i)} \tag{26}$$

逆影响因素 (影响因素与实际费用成反比关系) 的计算式为

$$x_n(i)' = \frac{\min x_n(i)}{x_n(i)} \tag{27}$$

式中: $x_n(i)$ 为第 i 种运输方式下第 n 种影响因素的实际费用; $x_n(i)'$ 为第 i 种运输方式下第 n 种影响因素的相对费用。

3 案例分析

选取哈尔滨市—佳木斯市城际 (以下简称哈—佳城际) 各交通运输方式在客运及货运市场的竞争力为研究对象。目前, 客运方面, 哈—佳城际存在 3 种交通运输方式, 其中: 公路运营里程为 368 km, 普速铁路运营里程为 507 km, 快速铁路运营里程 345 km。货运方面, 哈—佳城际同样存在 3 种交通运输方式, 其中: 公路运营里程 368.0 km, 铁路运营里程 507.0 km, 水运运营里程 419.3 km。

3.1 客运不同运输方式的竞争力分析

根据相关购票网站数据, 哈尔滨—佳木斯的普速铁路硬座平均票价为 72 元, 平均运行时间为 7 h 35 min, 快速铁路平均票价为 120 元, 平均运行时间为 2 h 22 min; 私家车的平均速度取 90 km/h, 过路费为 152 元, 长途客运平均速度取 70 km/h, 票价为 99 元。根据哈尔滨市、佳木斯市 2020 年统计年鉴显示两地城镇非私营单位在岗职工年平均工资分别为 82 385 元和 70 308 元, 安全性取值参考已有文献对公路运输安全性取 0.90, 铁路运输安全性取 0.99^[10]。通过以上数据, 得到各交通方式的运输属性基本情况, 如表 5 所示。

表5 哈—佳城际不同交通运输方式指标参数

Table 5 Indicator parameters of different modes of freight transportation in Ha-Jia intercity

| 运输属性 | 时间成本/元 | 经济成本/元 | 疲劳恢复成本/元 | 便捷成本/元 | 准时性 | 安全性 |
|---------|--------|--------|----------|--------|------|------|
| 私家车 | 139 | 377 | 35 | 6 | 0.92 | 0.90 |
| 长途客运 | 177 | 99 | 55 | 24 | 0.90 | 0.90 |
| 普速铁路 | 266 | 72 | 45 | 33 | 0.86 | 0.99 |
| 哈—佳快速铁路 | 85 | 120 | 18 | 27 | 0.96 | 0.99 |

将表5中数据带入前文建立的客运竞争力模型,可得到两地间各交通运输方式的现状竞争力

$$P_{\text{公}} = 41.66\%$$

$$P_{\text{铁}} = 58.34\%$$

可以看出,现目前哈—佳城际的客运市场,铁路运输在公铁竞争中有较大的竞争优势。主要原因是哈—佳快速铁路在2018年的开通,由于其快速性以及舒适性,彻底改变了此前该城际公路运输始终占领竞争优势地位的竞争格局。为定量分析哈—佳快速铁路的引入为哈—佳城际的公铁竞争格局带来的影响,下面在前文构建的竞争力模型中不考虑哈—佳快速铁路,分析2018年哈—佳快速铁路引入前,哈—佳城际各交通方式的竞争力情况。

$$P_{\text{公}} = 78.96\%$$

$$P_{\text{铁}} = 21.04\%$$

通过表6的对比计算结果可以直观地看出,哈—佳快速铁路引入前,两地间仅有时速70 km/h的普速铁路,运行时间接近8 h,公路运输在速度和舒适性上相较于普速铁路有较大优势,因此公路运输在哈—佳城际的客运市场内占据绝对的竞争优势地位。当哈—佳快速铁路开通后,两地运行时间缩短为2 h,快速铁路在快速性以及舒适性上的优势,大大提高了铁路运输在客运市场的竞争力。

表6 哈—佳快速铁路引入前后交通方式竞争力

Table 6 Competitiveness of passenger transportation modes before and after the introduction of Ha-Jia high speed railway

| 时段 | 交通方式 | 交通方式竞争力/% |
|------------|------|-----------|
| 哈—佳快速铁路引入前 | 公路 | 78.96 |
| | 铁路 | 21.04 |
| 哈—佳快速铁路引入后 | 公路 | 41.66 |
| | 铁路 | 58.34 |

目前,公路运输在哈—佳城际的客运市场竞争

中都处于劣势,若想寻求竞争力上的提升,公路运输企业需要在经济性、快速性等影响因素上有所提升,而由于现目前,受限于城际间相对固定的道路条件,公路运输的速度较难有大幅度提升,因此,本文考虑以下情况,即公路运输企业通过降低运营成本进而降低旅客选择公路运输出行的经济费用,同时,保持其余相关影响条件不变,以公路经济费用为变量,分析公路铁路竞争力的变化情况,如图2所示。

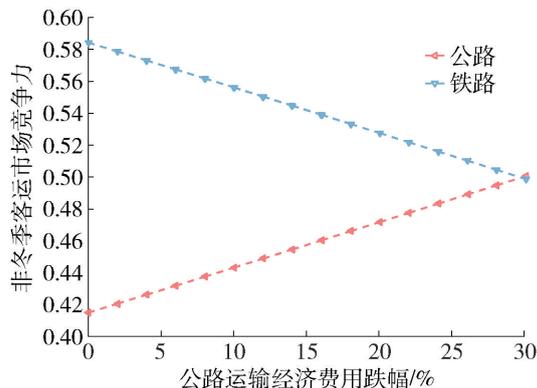


图2 公路运输经济费用降低时公路铁路客运竞争力变化情况

Fig. 2 Competitiveness of road and railway with the economic cost of road transportation decreasing

从图2可以看出,目前处于竞争劣势的公路运输,通过提高自身服务水平、降低出行费用可以一定程度上提升自身的竞争力。当公路运输的经济费用跌幅达到30%时,公路运输可以从铁路运输抢占8.2%的客运市场,其竞争力超越了铁路运输。

3.2 货运不同运输方式的竞争力分析

根据国家发改委公布的中国公路物流运价指数^[19]以及对快运公司实际调查,对哈—佳城际的各类公路货运单位运价取值为:Ⅰ类货物单位运价率为0.3元/(t·km),Ⅱ类货物单位运价率为0.5元/(t·km),Ⅲ类货物单位运价率为0.6元/(t·km),Ⅳ类货物单位运价率为0.79元/(t·km);根据政府指导价的铁路货物运价率表^[20],选取典型货物原煤的运价为Ⅰ类货物运价,基价一取16.3元/t,基价二取0.098元/(t·km),得到单位运价率为0.13元/(t·km),同理得到Ⅱ类货物单位运价率为0.15元/(t·km),Ⅲ类货物单位运价率是0.15元/(t·km),Ⅳ类货物单位运价率为0.17元/(t·km);根据交通运输部网站发布的关于水运运价指数的相关资料表明,水路货运种类较为单一,多为大宗货物,取船舶运营系数0.5,单位运价0.055元/(t·km),具体各类货运方式单位运价率如表7所示。3种货运平均速

度分别取 80、45、32 km/h, 将上述相关数据代入到式 (15) ~ (18), 得出货运影响因素值, 再将影响因素值代入式 (26) (27), 得到哈—佳城际不同交通运输方式货运影响因素相对广义费用值, 如表 8、9 所示。

表 7 哈—佳城际不同运输方式单位运价率

Table 7 Freight rate of different modes of freight transportation in Ha—Jia intercity

元/(t·km)

| 市场类型 | 公路 | 铁路 | 水路 |
|------|------|------|-------|
| I | 0.3 | 0.13 | |
| II | 0.5 | 0.15 | |
| III | 0.6 | 0.15 | 0.055 |
| IV | 0.79 | 0.17 | |

表 8 哈—佳城际货运各影响因素

相对广义费用值(不含运输费用)

Table 8 Relative generalized cost value of each impact factor of Ha—Jia intercity freight transportation (excluded freight transportation cost)

| 哈尔滨—佳木斯 | 公路 | 铁路 | 水运 |
|---------|-------|-------|-------|
| 运输能力 | 0.250 | 1.000 | 0.007 |
| 运输时间 | 1.00 | 0.41 | 0.35 |
| 服务水平 | 1.00 | 1.00 | 0.41 |

表 9 哈—佳城际货运运输费用相对广义费用值

Table 9 Relative generalized cost value of the freight transportation cost

| 哈尔滨—佳木斯 | 公路 | 铁路 | 水运 |
|---------|------|------|----|
| I 类 | 0.21 | 0.35 | 1 |
| II 类 | 0.13 | 0.30 | 1 |
| III 类 | 0.10 | 0.28 | 1 |
| IV 类 | 0.07 | 0.27 | 1 |

将上述数据带入前文构建的货运竞争力模型中, 可得到当前哈—佳城际各交通方式的货运竞争力, 如表 10 所示。

表 10 哈—佳城际不同交通方式货运竞争力

Table 10 Competitiveness of different freight transportation modes in Ha—Jia intercity

| 市场类型 | 公路/% | 铁路/% | 水路/% |
|------|-------|-------|-------|
| I | 28.39 | 47.88 | 23.73 |
| II | 46.78 | 42.13 | 11.09 |
| III | 65.41 | 32.24 | 2.35 |
| IV | 85.12 | 14.64 | 0.23 |

从表 10 的竞争力计算结果可以得到以下结论: 由于水路运输的运输速度是 3 种运输方式中最

慢的, 且受到季节影响较大(研究对象哈—佳城际地处东北, 冬季河面冰冻, 船舶不运营), 因此水路货运只在在对时效性要求不高的大宗货物市场和 II 类货运市场有一定的竞争力, 在其他 2 类货运市场, 几乎不占有市场份额。

在大宗货物运输市场, 铁路有着较为明显的竞争优势, 由于大宗货物具有运量大、时效性低、价值低等特点, 因此铁路的价格与运输能力的优势在该市场得到了有效发挥。

而对于其他 3 类货运市场, 公路都有较大的竞争优势, 从第 II 类市场到第 IV 类市场, 公路的竞争优势都在不断上升, 这是由于从第 II 类市场到第 IV 类市场, 所运输的货物种类对时效性的要求不断提高, 同时托运方对价格的敏感程度逐步减弱, 因此, 公路运输快速性的特点得以有效发挥, 而铁路运输的价格优势随着托运方价格敏感程度的减弱难以得到有效发挥, 因此, 其竞争力逐步减弱。

目前, 与公路运输相比, 铁路运输最大劣势在于运输速度, 因此铁路方面需要通过提速以提高自身的竞争力。货运列车提速会在维修、运营等方面提升成本, 因此铁路货物运输运价也会相应地提升。本文做出以下假设: 参考列车速度每提升 20 km/h, 相应的运价率提升 5%, 以铁路运输的运行速度与运价作为变量, 第 III 类市场为例, 分析 3 种运输方式竞争力的变化情况。

从图 3 可以看出, 在其他条件不变的情况下, 随着铁路运行速度的提升, 公路运输的竞争力逐渐减弱, 铁路运输在货运市场的分担率逐渐升高, 表明铁路运输竞争力加强。铁路货运区间平均速度达到 81 km/h 时, 铁路运输可以从水运与公路运输抢占 16.92% 的货运市场。若铁路提速, 则其运价也会相

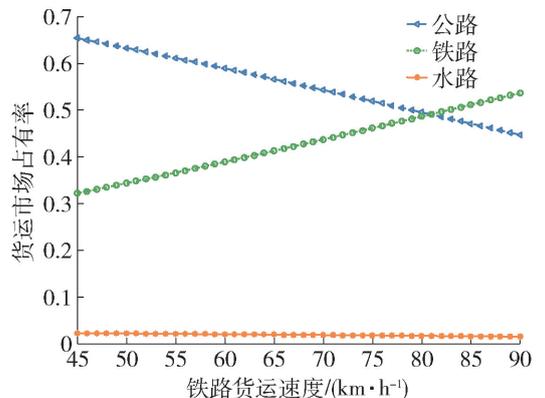


图 3 铁路货运速度提升时公铁水货运竞争力变化情况

Fig. 3 Competitiveness of road, railway and ship with increasing speed of railway

应地改变,因此,为更贴近实际,以铁路运价和运行速度作为变量,分析铁路运行速度与铁路运价同时变化下,3种运输方式竞争力的变化情况如图4所示,可以看出只有在低运价、高速度的时候,铁路运输才能在哈—佳城际的货运市场中有较强的竞争力,当铁路运价超过 $0.19 \text{ 元}/(\text{t}\cdot\text{km})$ 时,即便铁路货运的速度有所提升,也无法在公铁的竞争中占据优势地位。

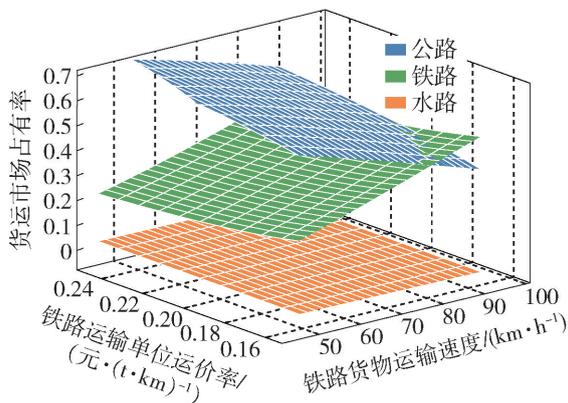


图4 铁路货运速度与单位运价率同时变化时公铁水货运竞争力变化情况

Fig. 4 Competitiveness of road, railway and ship with the changes of the freight rate and speed of railway

4 结论

1) 通过对哈—佳城际多种客运方式竞争力的分析,城际快速铁路的引入,改变了城际客运市场的公铁竞争格局。哈—佳城际快速铁路未开通前,公路运输处于绝对的竞争优势地位,城际快速铁路开通后,其在快速性以及舒适性上的巨大优势,大大提高了铁路在该城际客运市场的竞争力。

2) 时效性的劣势是制约铁路运输和水路运输竞争城际货运市场份额的主要因素。铁路运输除在城际大宗货运市场中有竞争优势外,在其余3类货运市场,公路都占有最大的市场份额,并且随着所运输货物种类对时效性要求的提高以及托运方对价格敏感程度的减弱,公路货运的竞争力不断上涨,抢占铁路运输和水路运输的货运市场份额。

3) 处于竞争劣势的运输方式,可通过改变自身的服务属性,在一定程度上提升自身竞争力。哈—佳城际客运市场处于竞争劣势的公路运输,可以通过降低经济费用提升自身竞争力,当公路运输的经济费用跌幅达到30%时,公路运输可以分别从铁路运输抢占7.4%的客运市场;哈—佳城际货运市场

处于竞争劣势的铁路运输,通过提速可提升自身的竞争力,以第Ⅲ类市场为例,当铁路货运的区间平均速度达到 $81 \text{ km}/\text{h}$ 时,铁路运输的竞争力与公路持平,若继续提速,铁路运输的竞争力将超过公路运输。

参考文献:

- [1] ROMAN C, SPINO R, MARTIN J C. Competition of high-speed train with air transport: the case of Madrid - Barcelona [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2007, 13(5): 277-284.
- [2] AHERN A A, TAPLEY N. The use of stated preference techniques to model modal choices on interurban trips in Ireland [J]. *Transportation Research Part A Policy & Practice*, 2008, 42(1): 15-27.
- [3] 郭明贇. 成渝城市群城际出行方式选择行为研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
GUO M Z. Research on intercity travel mode choice behavior in Chengdu - Chongqing urban agglomeration [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2021. (in Chinese)
- [4] 李世琦, 郎茂祥, 于雪娇, 等. 中国商品车铁路运输竞争力分析——以京津冀地区为例[J]. *北京交通大学学报*, 2020, 44(1): 49-56, 63.
LI S Q, LANG M X, YU X Q, et al. Analysis on the competitiveness of China's commodity vehicle railway transportation—taking the Beijing - Tianjin - Hebei region as an example [J]. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2020, 44(1): 49-56, 63. (in Chinese)
- [5] 段莉珍, 何民, 何保红, 等. 旅游和公务运输通道公铁竞争研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2011(2): 193-197.
DUAN L Z, HE M, HE B H, et al. Study on the competition of public and railway in tourism and official transportation channels [J]. *Transportation System Engineering and Information*, 2011(2): 193-197. (in Chinese)
- [6] 张旭, 栾维新, 蔡权德. 高铁与航空运输竞争研究[J]. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2011, 32(1): 42-46.
ZHANG X, LUAN W X, CAI Q D. Research on the competition between high speed railway and air transportation [J]. *Journal of Dalian University of Technology (Social Science Edition)*, 2011, 32(1): 42-46. (in Chinese)
- [7] 张旭, 栾维新, 赵冰茹. 基于非集计模型的武广线高铁与民航竞争研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2012, 12(6): 17-21.

- ZHANG X, LUAN W X, ZHAO B R. Research on the competition between Wuhan - Guangzhou high speed railway and civil aviation based on non aggregate model [J]. *Transportation System Engineering and Information*, 2012, 12(6): 17-21. (in Chinese)
- [8] 李智. 我国铁路客运竞争态势与应对策略研究——以外部竞争为视角[J]. *西南交通大学学报(社会科学版)*, 2013, 13(6): 14-20.
- LI Z. Research on competitive situation and countermeasures of railway passenger transport in China—from the perspective of external competition [J]. *Journal of Southwest Jiaotong University (Social Science Edition)*, 2013, 13(6): 14-20. (in Chinese)
- [9] 丁金学, 金凤君, 王姣娥, 等. 高铁与民航的竞争博弈及其空间效应——以京沪高铁为例[J]. *经济地理*, 2013(5): 104-110.
- DING J X, JIN F J, WANG J E, et al. Competitive game between high-speed rail and civil aviation and its spatial effect—taking Beijing - Shanghai high-speed rail as an example [J]. *Economic Geography*, 2013(5): 104-110. (in Chinese)
- [10] 周国华, 陈德捷, 周芳汀, 等. 高铁与公路客运竞争的市场分担率模型研究[J]. *铁道学报*, 2020, 42(1):1-8.
- ZHOU G H, CHEN D J, ZHOU F T, et al. Study on market share model of high-speed rail and highway passenger transport competition [J]. *Journal of Railways*, 2020, 42(1): 1-8. (in Chinese)
- [11] 宋建强, 鲍学英, 王起才, 等. 基于 Inlu-Logit 模型的兰州至中川铁路货运量分担率研究[J]. *铁道科学与工程学报*, 2016(1): 176-180.
- SONG J Q, BAO X Y, WANG Q C, et al. Study on freight volume sharing rate of Lanzhou - Zhongchuan railway based on Inlu-Logit model [J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2016(1): 176-180. (in Chinese)
- [12] 方琪根, 刘明君, 钱堃. 货物运输通道方式竞争力评估方法[J]. *铁道科学与工程学报*, 2010, 7(3): 114-117.
- FANG Q G, LIU M J, QIAN K. Competitiveness assessment method of freight transport channel mode [J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2010, 7(3): 114-117. (in Chinese)
- [13] 江登英, 余玲. 基于巢式 Logit 模型的城际交通方式研究[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2018, 37(8): 96-101, 111.
- JIANG D Y, YU L. Research on intercity traffic mode based on Nested-Logit model [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition)*, 2018, 37(8): 96-101, 111. (in Chinese)
- [14] 杨昌涛, 靳文舟, 范雪婷. 基于巢式 Logit 模型的交通方式选择行为研究[J]. *公路与汽运*, 2011(4): 62-65.
- YANG C T, JIN W Z, FAN X T. Study on choice behavior of transportation mode based on Nested-Logit model [J]. *Highways and Trucks*, 2011(4): 62-65. (in Chinese)
- [15] HU W J, ZHOU X Z. Multi-user and multi-mode stochastic user equilibrium model based on cross-nested Logit [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2012, 25(4): 133-140.
- [16] 叶静. 基于 Inlu-Logit 模型的广深铁路货运量分担率研究[J]. *铁道货运*, 2013, 31(12): 17-21.
- YE J. Study on freight volume sharing rate of Guangzhou - Shenzhen railway based on the Inlu-Logit model [J]. *Railway Freight*, 2013, 31(12): 17-21. (in Chinese)
- [17] CASTRO M. Estimation of a constrained multinomial Logit model [J]. *Transportation*, 2013, 40(3): 563-581.
- [18] 徐飞远, 李博威, 唐诗韵. 基于 Inlu-Logit 模型的综合运输方式货运量分担率研究——以四川省为例[J]. *交通运输研究*, 2017, 3(6): 52-60.
- XU F Y, LI B W, TANG S Y. Study on the freight volume sharing rate of comprehensive transportation mode based on the Inlu-Logit model—taking Sichuan Province as an example [J]. *Transportation Research*, 2017, 3(6): 52-60. (in Chinese)
- [19] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中国公路物流运价指数 [EB/OL]. (2022-04-29) [2022-06-05]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/jjmy/ltyfz/202204/t20220429_1323942.html?code=&state=123. National Development and Reform Commission. Freight index of highway logistics in China [EB/OL]. (2022-04-29) [2022-06-05]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/jjmy/ltyfz/202204/t20220429_1323942.html?code=&state=123. (in Chinese)
- [20] 张梦迪. 我国铁路货运定价优化方法与管理策略研究 [D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2021.
- ZHANG M D. Research on optimal method and method and management strategies of railway freight pricing in China [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2021. (in Chinese)