

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2017.04.021

广深运输通道内公共客流分担率预测模型研究

朱鸿国, 赵文静, 马壮林, 胡大伟
(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 为了解决广深运输通道内长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路4种运输方式的客流分担率测算问题, 采用行为调查方法调查了4种运输方式特性对旅客出行方式选择的影响。提出采用两层巢式Logit (NL) 模型构建各种运输方式的客流分担率预测模型, 选取经济性、舒适性、安全性、快捷性和方便性5个变量作为效用函数的构成变量。运用二阶段估计法将NL模型分解为1个二项Logit (BL) 和1个多项Logit (MNL) 模型后对各种运输方式的客流分担率进行求解。广深运输通道案例数据测算表明: 2020年公路和铁路的客流分担率分别为16%和84%, 其中铁路运输方式中的常规铁路、高速铁路和城际铁路的客流分担率分别为2%, 57%和41%。

关键词: 运输经济; 分担率预测; 巢式Logit模型; 运输通道; 效用函数

中图分类号: U116

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2017) 04-0146-08

Study on Prediction Model of Share Rate of Passenger Flow in Guangzhou-Shenzhen Transport Corridor

ZHU Hong-guo, ZHAO Wen-jing, MA Zhuang-lin, HU Da-wei
(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China)

Abstract: In order to solve the problem of calculating the passenger flow sharing ratios of long-distance bus, conventional railway, high-speed railway and intercity railway in Guangzhou - Shenzhen transport corridor, the effect of the characteristics of 4 transport modes on passenger travel mode choice is studied by employing revealed preference survey. The prediction model of share ratios of passenger flow for different modes is established by adopting bi-level nest Logit model. In the prediction model, 5 variables, including economy, comfort, safety, rapidness and convenience, are selected as the component of utility function. The nest Logit model is divided into a binary Logit (BL) model and a multinomial Logit (MNL) model by the two-stage estimation method, which is used to calculate the model. The case data of Guangzhou - Shenzhen transport channel shows that the sharing ratios of highway and railway are 16% and 84% respectively in 2020, among them, the sharing ratio of conventional railway, high-speed rail and intercity railway in railway modes are 2%, 57% and 41% respectively.

Key words: transport economics; share ratio prediction; nest Logit model; transport corridor; utility function

0 引言

广深运输通道是珠江三角洲地区重要的交通运输走廊, 它连接珠江三角洲地区的广州、东莞和深圳3座城市, 沿线经济发达。目前, 该运输通道内

已经形成由长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路4种运输方式构成的综合客运系统。

随着广深运输通道沿线地区经济的持续快速发展及城镇化水平的提高, 广深运输通道内的客运需求将大幅度增加; 同时, 广深沿线经济的进一步发

收稿日期: 2016-03-29

基金项目: 交通运输部应用基础研究项目 (2014319812240)

作者简介: 朱鸿国 (1974-), 男, 四川巴中人, 博士研究生. (gdzhg@163.com)

展诱发大量的旅客出行需求,对现有的客运系统也提出了更高的要求。因此,十分有必要分析广深运输通道内旅客出行方式选择的行为特征,预测广深运输通道内不同运输方式的分担率,为运输政策的制订和协调管理提供理论依据。

目前,国内外学者对运输通道内不同运输方式分担率模型的构建和求解进行了广泛研究,并取得了一定的研究成果。Yao等^[1]采用NL模型分别建立了基于RP数据、SP数据和RP+SP数据的不同运输方式的分担率预测模型,以分析日本城际铁路建成运营对现有的常规铁路、公路客运、民航和小汽车出行的影响。Park等^[2]采用BL模型建立了首尔-大邱运输通道内高速铁路和航空运输的分担率模型。Roman等^[3]采用NL模型分析了马德里-萨拉戈萨和马德里-巴塞罗纳运输通道内高速铁路对私人小汽车、长途汽车、航空运输的影响。曾曦等^[4]采用BL模型建立了不同运输方式的客流分担率模型,以分析成渝城际铁路开通对成渝运输通道内公路客运和民航的影响。毛伟^[5]采用MNL模型建立了不同运输方式的客流分担率模型,以分析西(安)兰(州)客运专线开通后对西(安)兰(州)综合运输通道内其他运输方式的影响。李滨汀等^[6]采用基于信息熵理论的比较方法分析了京津城际动车开通对高速公路客运的影响。陈馥利^[7]采用MNL模型建立了客运专线修建前后城际旅客出行方式选择模型,并以郑西客运专线为例进行了实证性分析。叶玉玲等^[8]采用MNL模型建立了旅客出行方式选择模型,以分析沪杭客运专线建成后不同收入水平旅客群体的出行方式选择行为偏好。胡华等^[9]采用NL模型建立了旅客出行方式选择模型,以分析上海居民区到上海南站的出行选择行为偏好。魏华等^[10]采用MNL模型构建了常规公交、出租车和地铁3种运输方式的客流分担率模型。分析上述文献可知,在运输通道内仅有两种运输方式时,采用BL模型分析不同运输方式的分担率是适用的;但当运输通道内有两种以上运输方式时,不同的研究人员根据个人偏好分别选择了MNL和NL模型。

本文通过RP调查方法获得广深运输通道内旅客选择长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路4种运输方式的个人偏好,考虑到常规铁路、高速铁路和城际铁路3种运输方式具有相关性,而MNL模型不易处理这种因变量的相关性,因此本文采用NL模型构建广深运输通道内4种运输方式客流分担率预测模型。

1 旅客出行调查方法

调查旅客出行数据的方法包括行为调查和意愿调查两种。考虑到广深运输通道内4种运输方式已经全部投入运营,本文采用行为调查获得旅客的出行方式选择数据。

本次调查分别在广州市和深圳市进行,同时选择6个地点进行调查,具体调查地点如表1所示。

表1 调查地点

Tab.1 Investigation location

序号	名称	运输方式	所在城市
1	广州火车站	常规铁路、城际铁路	广州
2	广州南站	高速铁路	广州
3	广东省汽车客运站	长途汽车	广州
4	深圳火车站	常规铁路、城际铁路	深圳
5	深圳北站	高速铁路	深圳
6	福田客运站	长途汽车	深圳

在广州火车站、广州南站和广东省客运站进行调查的对象是从广州市出发前往深圳市的旅客;在深圳火车站、深圳北站和福田客运站进行调查的对象是从深圳市出发前往广州市的旅客。调查内容包括4种运输方式的进站时间、出站时间、候车时间、衔接时间,以及旅客出行的经济性、舒适性、安全性、快捷性和方便性等出行特性。

考虑到除春运、“十一”黄金周特殊出行需求外,因旅客日常出行尚属平稳,故本次调查根据调查对象的收入情况和出行目的进行分类,在每个调查地点选择每种情况的典型代表进行问卷调查,其中每个地方分别发放50份调查问卷,共发放问卷300份,回收280份,回收率为93.33%。通过对回收问卷进行整理和筛选,对存在漏填的问卷进行过滤,同时检测识别出错填的问卷,最终确认的有效问卷为243份,有效率达到81.00%。

2 客流分担率模型的构建

2.1 预测模型的选取

目前,用于研究客流分担率预测的模型主要有Logit和Probit两类。在充分考虑模型构建的简洁性、方便性、预测准确性的基础上,本文采用Logit模型构建客流分担率预测模型。

在同时考虑多种运输方式的客流分担率预测模型中,大多数研究选择MNL和NL模型两种。虽然MNL模型较传统的集计模型在预测精度上有了显著提高,但由于其非相关选择方案相互独立性等问题,

容易错误地标定预测模型参数,导致预测偏差的问题。而NL模型可以有效地克服MNL模型的不足,适用于选择方案中某几个选择方案具有类似性的情况。因此,本文拟建立基于NL模型的客流分担率预测模型,为各种运输方式的客流预测工作提供依据。

根据广东省“十三五”交通发展规划,广深运输通道内的公共运输方式包括公路和铁路两种运输方式,同时铁路又包括常规铁路、高速铁路和城际铁路3类。因此,本文构建两层NL模型来预测广深运输通道内不同运输方式的客流分担率,具体的NL模型结构如图1所示。

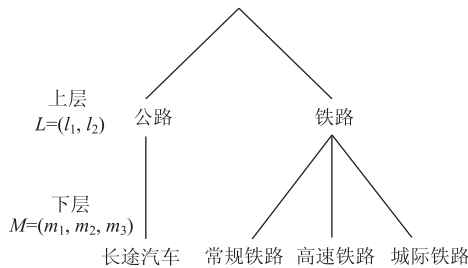


图1 NL模型结构

Fig.1 Structure of NL model

从图1可以看出,本文构建的NL模型有两层结构,其中,上层结构为公路和铁路两种运输方式。由于本文没有考虑私人小汽车的城际出行,因此在公路运输方式 l_1 的下层结构中只考虑了长途汽车,而铁路运输方式 l_2 的下层结构中考虑了常规铁路、高速铁路和城际铁路。

在上层结构中,公路和铁路运输方式客流分担率的概率模型形式如式(1)和式(2)所示:

$$P_{l_1} = \frac{\exp V_{l_1}}{\exp V_{l_1} + \exp V_{l_2}}, \quad (1)$$

$$P_{l_2} = 1 - P_{l_1}, \quad (2)$$

式中, P_{l_1} 为旅客选择公路运输方式出行的客流分担率; V_{l_1} 为旅客选择公路运输方式出行的效用函数; V_{l_2} 为旅客选择铁路运输方式出行的效用函数; P_{l_2} 为旅客选择铁路运输方式出行的客流分担率。

在 l_2 的下层结构中,常规铁路、高速铁路和城际铁路3种类型的客流分担率概率模型形式如式(3)~(5)所示:

$$P_{m_1|l_2} = \frac{\exp V_{m_1|l_2}}{1 + \sum_{j=1}^2 \exp V_{m_j|l_2}}, \quad (3)$$

$$P_{m_2|l_2} = \frac{\exp V_{m_2|l_2}}{1 + \sum_{j=1}^2 \exp V_{m_j|l_2}}, \quad (4)$$

$$P_{m_3|l_2} = 1 - \sum_{j=1}^2 P_{m_j|l_2}, \quad (5)$$

式中, $P_{m_1|l_2}$ 为旅客选择铁路运输方式中常规铁路的客流分担率; $V_{m_1|l_2}$ 为旅客选择铁路运输方式中常规铁路的效用函数; $V_{m_j|l_2}$ 为旅客选择铁路运输方式中第 m_j 种运输方式的效用函数; $P_{m_2|l_2}$ 为旅客选择铁路运输方式中高速铁路的客流分担率; $V_{m_2|l_2}$ 为旅客选择铁路运输方式中高速铁路的效用函数; $P_{m_3|l_2}$ 为旅客选择铁路运输方式中城际铁路的客流分担率。

根据条件概率的计算原理,可以计算出下层结构中长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路4种运输方式的客流分担率,具体计算公式为:

$$P_{l_1 m_1} = P_{l_1}, \quad (6)$$

$$P_{l_2 m_1} = P_{l_2} P_{m_1|l_2}, \quad (7)$$

$$P_{l_2 m_2} = P_{l_2} P_{m_2|l_2}, \quad (8)$$

$$P_{l_2 m_3} = P_{l_2} P_{m_3|l_2}, \quad (9)$$

式中, $P_{l_1 m_1}$ 为旅客选择长途汽车的客流分担率; $P_{l_2 m_1}$ 为旅客选择常规铁路的客流分担率; $P_{l_2 m_2}$ 为旅客选择高速铁路的客流分担率; $P_{l_2 m_3}$ 为旅客选择城际铁路的客流分担率。

同时,式(6)~(9)必须满足以下约束条件:

$$P_{l_1 m_1} + P_{l_2 m_1} + P_{l_2 m_2} + P_{l_2 m_3} = 1. \quad (10)$$

2.2 时间价值计算

在交通运输领域,时间价值是指旅客在出行过程中所消耗的时间具有的经济价值,其估算方法有直接估计法和间接估计法。其中,直接估计法包括收入法、生产法和费用法等;间接估计法包括陈述或显示偏好分析法^[11]。本文选取收入法对时间价值进行估算,其计算公式为:

$$W^* = \frac{I}{ht}, \quad (11)$$

式中, W^* 为某地旅客的时间价值; I 为某地的人均年收入水平; h 为每年的工作天数; t 为每天的工作时间。根据全国假日办的规定,除双休日和法定节假日外,每人每年工作250 d,每天工作时间为8 h。

由于广州市和深圳市旅客的收入水平不同,导致两座城市居民的时间价值也不同。因此,本文采用这两座城市旅客时间价值的平均值作为旅客出行的时间价值,计算公式为:

$$W = (W_1^* + W_2^*)/2, \quad (12)$$

式中, W 为广州和深圳两地的平均时间价值; W_1^* 为广州市旅客出行的时间价值; W_2^* 为深圳市旅客出行的时间价值。

2.3 效用函数的变量

根据运输方式客流分担率以往的研究成果,总结影响旅客对运输方式的因素,结合现有问卷调查的影响因素,本文构建的效用函数选取5个变量,即经济性、舒适性、安全性、快捷性和方便性。

2.3.1 经济性 (Z_{i1})

经济性指旅客选择某种运输方式完成出行而支付的费用。鉴于城市内部出行费用远小于城际出行费用,因此本文仅考虑旅客乘坐某种运输方式的城际出行费用,其计算公式为:

$$Z_{i1} = K_i L_i, \quad (13)$$

式中, Z_{i1} 为第*i*种运输方式的经济性广义费用; K_i 为第*i*种运输方式的运价率; L_i 为第*i*种运输方式的运行距离。

2.3.2 舒适性 (Z_{i2})

舒适性指旅客对不同运输方式提供服务质量的感知评价,它包括旅客对座椅的柔软程度、车内的拥挤程度和运行的平稳性等综合评价。由于该指标很难量化,因此本文采用定性分析方法确定不同运输方式的舒适性系数。

2.3.3 安全性 (Z_{i3})

安全性指旅客在出行过程中不同运输方式为旅客提供的安全保护程度,它是旅客完成运输过程的基本保障。由于不同运输方式的运营技术特征不同,其安全性也存在显著差异;此外,不同运输方式的事故率很难进行横向对比,因此本文采用定性分析方法确定不同运输方式的安全性系数。

2.3.4 快捷性 (Z_{i4})

快捷性指不同运输方式的出行时间,它直接决定了旅客的出行效率。快捷性主要体现在出行起点的交通枢纽到出行终点交通枢纽的运行时间和从起/终点到达交通枢纽的衔接时间。具体公式为:

$$Z_{i4} = W(L_i/V_i + T_{0i}), \quad (14)$$

式中, Z_{i4} 为第*i*种运输方式快捷性的广义费用; V_i 为第*i*种运输方式的运行平均速度; T_{0i} 为第*i*种运输方式从起/终点到达交通枢纽的衔接时间。

2.3.5 方便性 (Z_{i5})

方便性指旅客乘车、购票过程的难易程度,以及旅客识别交通枢纽内外各种交通标识的难易程度。由于该指标很难量化,因此本文采用定性分析方法确定不同运输方式的方便性系数。

2.4 效用函数的形式

效用函数的形式取决于各个基础指标之间的关系。本文采用混合形式构建效用函数,旅客选择第*i*

种运输方式的效用函数形式为:

$$V_i = (\theta_1 Z_{i1} + \theta_2 Z_{i2} + \theta_4 Z_{i4} + \theta_5 Z_{i5}) \theta_3 Z_{i3} + a_i, \quad (15)$$

式中, V_i 为第*i*种运输方式的效用函数值; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ 分别为影响经济性、舒适性、安全性、快捷性和方便性的效用值参数,即偏好调整系数; a_i 为常数。

3 模型求解方法

本文采用分段估计法求解 NL 模型。由于本文所构建的模型为两层 NL 模型,因此采用二阶段估计法对模型进行参数估计,即将两层 NL 模型的求解转化为分别求解 BL 模型和 MNL 模型。求解 BL 模型和 MNL 模型采用的方法是最大似然估计法。

3.1 BL 模型的求解

采用最大似然估计法求解 BL 模型的具体步骤如下。

第1步:构造 BL 概率模型的似然函数,并假设似然函数取得最大值,具体公式为:

$$\max L_1 = \max_{w_1 \in W_1} \prod_{w_1} P_{w_1}(l_1)^{\delta_{w_1}(l_1)} P_{w_1}(l_2)^{\delta_{w_1}(l_2)}, \quad (16)$$

式中, L_1 为样本的似然函数; W_1 为样本容量; $P_{w_1}(l_1)$ 和 $P_{w_1}(l_2)$ 分别为个体 w_1 选取运输方式 l_1 和 l_2 的概率; $\delta_{w_1}(l_1)$ 为0-1变量,其取值原则为当个体 w_1 选取的方案是 l_1 时, $\delta_{w_1}(l_1)$ 取1,而当个体 w_1 选取的方案不是 l_1 时, $\delta_{w_1}(l_1)$ 取0; $\delta_{w_1}(l_2)$ 为0-1变量,其取值原则与 $\delta_{w_1}(l_1)$ 的取值原则相同。

第2步:求样本 W_1 似然函数的对数似然函数形式,具体表达式为:

$$\ln L_1 = \sum_{w_1 \in W_1} \left[\delta_{w_1}(l_1) \ln \frac{\exp V_{l_1}}{\exp V_{l_1} + \exp V_{l_2}} + \delta_{w_1}(l_2) \ln \frac{\exp V_{l_2}}{\exp V_{l_1} + \exp V_{l_2}} \right], \quad (17)$$

式中, V_{l_1} 和 V_{l_2} 分别为个体 w_1 选取的方案是 l_1 和 l_2 的效用函数,根据式(15)可以求解出 V_{l_1} 和 V_{l_2} 的表达式为:

$$V_{l_1} = (\theta_1 Z_{l_1} + \theta_2 Z_{l_2} + \theta_4 Z_{l_4} + \theta_5 Z_{l_5}) \theta_3 Z_{l_3}, \quad (18)$$

$$V_{l_2} = (\theta_1 Z_{l_1} + \theta_2 Z_{l_2} + \theta_4 Z_{l_4} + \theta_5 Z_{l_5}) \theta_3 Z_{l_3} + a_l, \quad (19)$$

式中, V_{l_1} 为旅客选择公路运输方式出行的效用函数; V_{l_2} 为旅客选择铁路运输方式出行的效用函数; $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ 分别为影响旅客选择上层模型 L 中运输方式的经济性、舒适性、安全性、快捷性和方便性的效用值参数,即偏好调整系数; a_l 为上层模型的常数。

由式(18)~(19)可以看出 $\ln L_1$ 是关于 θ_k ($k=1, 2, \dots, 5$) 的凸函数, 对 $\ln L_1$ 求 θ_k 的偏导, 使其等于 0, 则可以求解出使 $\ln L_1$ 达到最大值时的 θ_k 。

第3步: 令

$$\frac{\partial \ln L_1}{\partial \theta_k} = 0 \quad (k=1, 2, \dots, 5), \quad (20)$$

当 $\ln L_1$ 达到极大时求出的估计值 θ_k , 即当 L_1 达到极大时模型参数的估计值, 也就是采用最大似然估计方法求得的最优参数估计值。

第1步: 构造 MNL 概率模型的似然函数, 并假设似然函数取得最大值, 具体公式为:

$$\max L_2 = \max_{w_2 \in W_2} \prod_{j=1}^3 P_{w_2}(m_j | l_2)^{\delta_{w_2}(m_j | l_2)}, \quad (21)$$

式中, L_2 是样本的似然函数; W_2 为样本容量; $P_{w_2}(m_j | l_2)$ 为个体 w_2 已知 l_2 的条件下选取常规铁路、高速铁路、城际铁路运输方式 m_j 的概率; $\delta_{w_2}(m_j | l_2)$ 为 0-1 变量, 其取值原则与 $\delta_{w_1}(l_1)$ 的取值原则相同。

第2步: 样本 W_2 似然函数的对数似然函数形式, 具体表达式为:

$$\ln L_2 = \sum_{w_2 \in W_2} \sum_{j=1}^2 \delta_{w_2}(m_j | l_2) \ln \frac{\exp V_{m_j | l_2}}{1 + \sum_{j=1}^2 \exp V_{m_j | l_2}} + \sum_{w_2 \in W_2} \delta_{w_2}(m_j | l_2) \ln \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^2 \exp V_{m_j | l_2}}, \quad (22)$$

式中, $V_{m_j | l_2}$ 为个体 w_2 在已知 l_2 的条件下选取 m_j 的效用函数。根据式(15)可以求解出 V_{m_j} 的表达式为:

$$V_{m_j} = (\theta_1 Z_{m_j 1} + \theta_2 Z_{m_j 2} + \theta_4 Z_{m_j 4} + \theta_5 Z_{m_j 5}) \theta_3 Z_{m_j 3} + a_{m_j}, \quad (23)$$

式中, V_{m_j} 为旅客选择下层模型 M 中的常规铁路、高速铁路、城际铁路的运输方式的效用函数; $Z_{m_j 1}$, $Z_{m_j 2}$, $Z_{m_j 3}$, $Z_{m_j 4}$, $Z_{m_j 5}$ 分别为旅客选择下层模型 M 中铁路运输方式的经济性、舒适性、安全性、快捷性和方便性的广义费用值; a_{m_j} 为下层模型的常数。

由式(22)和式(23)可以看出 $\ln L_2$ 是关于 θ_q ($q=1, 2, \dots, 5$) 的凸函数, 对 $\ln L_2$ 求 θ_q 的偏导, 使其等于 0, 则可以求解出使 $\ln L_2$ 达到最大值时的 θ_q 。

第3步: 令

$$\frac{\partial \ln L_2}{\partial \theta_q} = 0, \quad q=1, 2, \dots, 5, \quad (24)$$

当 $\ln L_2$ 达到极大时求出的估计值 θ_q , 即当 L_2 达到极大时模型的参数估计值, 也就是采用最大似然估计方法求得的最优参数估计值。

4 实例分析

4.1 时间价值的估算

从广州和深圳“十三五”规划指标可以看出, 2020年广州市和深圳市城镇居民人均可支配收入将分别达到65 000元和60 000元, 据此根据式(11)计算出广州市和深圳市的时间价值分别为32.5和30。将该时间价值代入式(12)可得广深通道内旅客的时间价值为31.25。

4.2 效用函数变量的取值

4.2.1 经济性 (Z_{i1})

根据式(13)可以看出各种运输方式的经济性广义费用取决于自身票价, 具体结果如表2所示。

表2 各种运输方式的经济性广义费用(单位: 元)

Tab. 2 Generalized costs of economy of different transport modes (unit: yuan)

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
广义费用	64	25	87	90

4.2.2 舒适性 (Z_{i2})

本文采用定性分析方法确定不同运输方式的舒适性系数, 舒适性系数取值参考文献[12], 结果如表3所示。

表3 各种运输方式的舒适性系数

Tab. 3 Comfort coefficients of different transport modes

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
广义费用	0.8	0.85	0.9	0.9

4.2.3 安全性 (Z_{i3})

本文采用定性分析方法确定不同运输方式的安全性系数, 安全性系数取值参考文献[12]和文献[13], 结果如表4所示。

表4 各种运输方式的安全性系数

Tab. 4 Safety coefficients of different transport modes

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
安全性系数	0.8	0.85	0.9	0.95

4.2.4 快捷性 (Z_{i4})

根据问卷调查可以获得各种运输方式人均衔接时间为0.5 h, 因此各种运输方式所需的出行时间如表5所示。

表5 各种运输方式的出行时间(单位: h)

Tab. 5 Travel time of different transport modes (unit: h)

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
出行时间	1.93	2.47	1.00	1.42

将表5中各种运输方式的出行时间和旅客出行时间价值代入式(14), 可以计算出2020年各种运

输方式的快捷性广义费用,具体结果如表6所示。

表6 各种运输方式的快捷性广义费用(单位:元)

Tab. 6 Generalized costs of rapidness of different transport modes (unit: yuan)

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
广义费用	89.68	109.61	40.60	70.86

4.2.5 方便性 (Z_{is})

本文采用定性分析方法确定不同运输方式的方便性系数,方便性系数取值参考文献[12],结果如表7所示。

表7 各种运输方式的方便性系数

Tab. 7 Convenience coefficients of different transport modes

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
广义费用	0.95	0.85	0.9	0.9

综上所述,2020年长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路4种运输方式特性的广义费用如表8所示。

表8 各种运输方式特性的广义费用

Tab. 8 Generalized costs of different transport modes

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
经济性/元	64	25	87	90
舒适性	0.8	0.85	0.9	0.9
安全性	0.8	0.85	0.9	0.95
快捷性/元	89.68	109.61	40.6	70.86
方便性	0.95	0.85	0.9	0.9

4.3 效用函数的标定

首先,利用统计分析软件STATA采用最大似然估计法对BL模型进行求解,取显著性水平为0.05,模型求解结果如表9所示。

表9 BL模型中公路和铁路的参数估计值

Tab. 9 Estimation values of highway and railway in BL model

变量	铁路客运/公路客运	
	参数	t 检验值
α	2.6	7.8
θ_1	-0.09	1.96
θ_2	0.06	1.96
θ_3	0.11	3.60
θ_4	0.4	2.9
θ_5	-0.28	3.27
ρ^2	0.23	
x^2	29.51	

从表9可以看出:

(1) 参数 $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ 为正值,表明在广深运输通道内出行的旅客如果考虑出行的舒适性、安全性和快捷性,那么旅客更加愿意选择铁路运输方式出行;参数 θ_1 和 θ_5 为负值,表明在广深运输通道内出行的旅客如果考虑出行的经济性和方便性,那么旅客更加愿意选择公路运输方式出行。

(2) 从|t|检验来看,参数 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$

对应的|t|检验值的绝对值都大于1.96,说明在95%的置信区间内,上述5个自变量对因变量都有显著的影响。

(3) 检验指标 ρ^2 :从优度比检验来看,McFadden决定系数 ρ^2 的值为0.23,正好介于0.2~0.4之间,表明模型的精度可以接受。

(4) 检验指标 x^2 :从似然比检验指标来看,在显著性水平为0.05的条件下,模型的 x^2 值为29.51,大于检验标准 $x_{0.05}^2(5) = 11.07$,可见模型所选择的自变量对运输方式选择有显著的影响。

因此,公路和铁路两种运输方式对应的效用函数 V_{l_1} 和 V_{l_2} 分别为:

$$V_{l_1} = (-0.09Z_{l_1} + 0.06Z_{l_2} + 0.40Z_{l_4} - 0.28Z_{l_5})0.11Z_{l_3}, \quad (25)$$

$$V_{l_2} = (-0.09Z_{l_1} + 0.06Z_{l_2} + 0.40Z_{l_4} - 0.28Z_{l_5})0.11Z_{l_3} + 2.60, \quad (26)$$

式中, $Z_{l_1}, Z_{l_2}, Z_{l_3}, Z_{l_4}, Z_{l_5}$ 分别为旅客选择下层模型M中铁路运输方式的经济性、舒适性、安全性、快捷性和方便性的广义费用值。

其次,利用统计分析软件STATA采用最大似然估计法对MNL模型进行求解,取显著性水平为0.05,模型求解结果如表10所示。

表10 MNL模型中3种运输方式的参数估计值

Tab. 10 Estimation values of 3 kinds of transport modes in MNL model

变量	常规铁路/城际铁路		高速铁路/城际铁路	
	参数	t 检验值	参数	t 检验值
α	-4.69	0.13	0.59	0.34
θ_1	0.92	0.91	0.4	2.08
θ_2	-0.25	0.37	0.59	2.18
θ_3	-0.08	1.96	-0.02	0.35
θ_4	-0.18	2.58	0.18	2.92
θ_5	-0.29	7.42	-0.59	4.27
ρ^2	0.24			
x^2	48.62			

从表10可以看出:

(1) 常规铁路运输方式的参数 $\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ 为负值,表明在广深运输通道内出行的旅客如果考虑出行的舒适性、安全性、快捷性和方便性,与常规铁路相比,旅客更加愿意选择城际铁路出行;参数 θ_1 为正值,表明在广深运输通道内出行的旅客如果考虑出行的经济性,与城际铁路相比,旅客更加愿意选择常规铁路出行。

(2) 高速铁路运输方式的参数 $\theta_1, \theta_2, \theta_4$ 为正值,表明在广深运输通道内出行的旅客如果考虑出行的经济性、舒适性和快捷性,与城际铁路相比,

旅客更加愿意选择高速铁路出行；参数 θ_3 和 θ_5 为负值，表明在广深运输通道内出行的旅客如果考虑出行的安全性和方便性，与高速铁路相比，旅客更加愿意选择城际铁路出行。

(3) 从常规铁路和高速铁路的参数值可以看出，在广深运输通道内出行的旅客如果考虑出行的舒适性和快捷性，旅客更加愿意选择高速铁路出行；如果考虑出行的安全性和方便性，旅客更加愿意选择城际铁路出行。

(4) 从 $|t|$ 检验来看，常规铁路中的参数 θ_3 和 θ_5 对应的 $|t|$ 检验值的绝对值均大于 1.96，说明在 95% 的置信区间内，安全性、快捷性和方便性对旅客选择常规铁路有显著的影响；高速铁路中的参数 $\theta_1, \theta_2, \theta_4, \theta_5$ 对应的 $|t|$ 检验值的绝对值均大于 1.96，说明在 95% 的置信区间内，经济性、舒适性、快捷性和方便性对旅客选择城际铁路有显著的影响。

(5) 检验指标 ρ^2 ：从优度比检验来看，McFadden 决定系数 ρ^2 的值为 0.24，正好介于 0.2 ~ 0.4 之间，表明模型的精度可以接受。

(6) 检验指标 χ^2 ：从似然比检验指标来看，在显著性水平为 0.05 的条件下，模型的 χ^2 值为 48.62，大于检验标准 $\chi_{0.05}^2(6) = 11.07$ ，可见本文构建模型的自变量对运输方式选择有显著的影响。

因此，铁路运输方式中常规铁路和高速铁路的效用函数 V_{m_1} 和 V_{m_2} 分别为：

$$V_{m_1} = (0.68Z_{m_11} - 0.25Z_{m_12} - 0.18Z_{m_14} - 0.29Z_{m_15})(-0.08Z_{m_13}) - 4.69, \quad (27)$$

$$V_{m_2} = (0.40Z_{m_21} + 0.59Z_{m_22} + 0.18Z_{m_24} - 0.59Z_{m_25})(-0.02Z_{m_23}) + 0.59. \quad (28)$$

4.4 分担率的估算

从表 10 可以获得 2020 年广深运输通道内公路和铁路两种运输方式特性的广义费用。在已知各种运输方式广义费用的条件下，根据式 (25) 和式 (26) 可以计算出两种运输方式的效用函数值。将两种运输方式的效用函数值代入式 (1) 和式 (2)，可以计算出 2020 年公路和铁路的客流分担率，结果如表 11 所示。

表 11 公路和铁路的客流分担率

Tab. 11 Share ratios of passenger flow between highway and railway

运输方式	公路	铁路
效用函数值	26.59	138.83
分担率/%	16	84

其次，从表 8 可以获得 2020 年广深运输通道内

铁路运输方式中常规铁路、高速铁路和城际铁路 3 种方式特性的广义费用。在已知各种运输方式的广义费用的条件下，根据式 (27) 和式 (28) 可以计算出这 3 种方式的效用函数值。将 3 种方式的效用函数值代入式 (3) ~ (5)，可以计算出 2020 年铁路运输中 3 种方式的客流分担率，结果如表 12 所示。

表 12 铁路运输中 3 种方式的客流分担率

Tab. 12 Share ratios of passenger flow of 3 modes in railway transport

运输方式	常规铁路	高速铁路	城际铁路
效用函数值	0.06	1.34	0
分担率/%	2	57	41

最后，将表 11 和表 12 中各种运输方式的分担率代入式 (6) ~ (9)，可以分别计算出 2020 年长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路 4 种方式的客流分担率，结果如表 13 所示。

表 13 4 种运输方式的客流分担率

Tab. 13 Share ratios of passenger flow of 4 kinds of transport modes

运输方式	长途汽车	常规铁路	高速铁路	城际铁路
分担率/%	16	2	4	34

从表 13 中可以看出：

(1) 2020 年广深通道长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路的客流分担率分别为 16%，2%，48%，34%。

(2) 2020 年广深通道高速铁路和城际铁路占总客流量的 82%。

与文献 [7-8] 相比，本文使用的 NL 模型考虑了各出行方式之间的相互联系，克服了已有文献中构建的 MNL 模型中要求的其非相关选择方案相互独立性的缺点，且所提出的模型也适用于沪杭、长三角等客运通道。此外，用本文标定的参数值计算 2014 年广深通道的长途汽车、常规铁路、高速铁路和城际铁路的客流分担率分别为 25%，5%，40% 和 30%，与实际抽样统计的 4 种运输方式客流分担率相比，最大误差为 3%，最小误差仅为 1%，精度较高。

5 结论

(1) 采用 NL 模型对广深运输通道内 4 种运输方式进行客流分担率预测简单可行。

(2) 从案例分析结果和现状对比可以看出，广深通道长途汽车和常规铁路的客流分担率将减少，高速铁路和城际铁路的客流分担率将显著增加。

(3) 与现状相比，2020 年广深运输通道长途汽车和常规铁路的客流分担率约将分别减少 11% 和

2%, 高速铁路和城际铁路将分别增加6%和7%。

本文在采用分阶段估计方法求解NL模型的过程中,并没有考虑同一层内研究对象之间的相互影响,这将是后续的研究内容之一。

参考文献:

References:

- [1] YAO E, MORIKAWA T, KURAUCHI S, et al. A Study on Nested Logit Mode Choice Model for Intercity High-speed Rail System with Combined RP/SP Data [C] // Proceedings of the 3rd International Conference on Traffic and Transportation Studies. Guilin: ASCSE, 2002: 612-619.
- [2] PARK Y, HA H K. Analysis of the Impact of High-speed Railroad Service on Air Transport Demand [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2006, 42 (2): 95-104.
- [3] ROMAN C, ESPINO R, MARTIN J C. Analyzing Competition between the High Speed Train and Alternative Modes: The Case of the Madrid-Zaragoza-Barcelona Corridor [J]. Journal of Choice Modelling, 2010, 3 (1): 84-108.
- [4] 曾曦, 王慈光. Logit模型的改进及其在客流分担率预测中的应用:以成渝城际铁路为例 [J]. 长沙交通学院学报, 2007, 23 (4): 50-53.
ZHENG Xi, WANG Ci-guang. Improvement of Logit Model and Its Application in Forecasting the Distribution Ratios of Passenger Flows on Cheng-Yu Intercity Railroad [J]. Journal of Changsha Communications University, 2007, 23 (4): 50-53.
- [5] 毛伟. 基于旅客出行行为分析的通道客运分担率预测研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
MAO Wei. Study on Mode Share Forecast Based on Analysis of Passenger Behavior in Transportation Corridor [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [6] 李滨汀, 陈子君, 王英. 京津城际动车组对旅客出行方式影响分析 [J]. 交通科技与经济, 2010, 12 (2): 49-55.
LI Bin-ting, CHEN Zi-jun, WANG Ying. Analysis for the Influence of Beijing-Tianjin Intercity CHR Trains on Passenger Travel Mode [J]. Technology & Economy in Area of Communications, 2010, 12 (2): 49-55.
- [7] 陈馥利, 张蕾. 客运专线修建后城际旅客出行方式选择的变化 [J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2010, 29 (1): 42-44, 48.
CHEN Fu-li, ZHANG Lei. Changes in Trip Mode Chosen By Inter-city Passengers after Dedicated-passengers Line Constructed [J]. Journal of Xihua University: Natural Science Edition, 2010, 29 (1): 42-44, 48.
- [8] 叶玉玲, 王艺诗. 沪杭运输通道内旅客出行方式选择行为研究 [J]. 铁道科学, 2010, 32 (4): 13-17.
YE Yu-ling, WANG Yi-shi. Research on Travel Mode Choice Behavior in Shanghai-Hangzhou Transport Corridor [J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32 (4): 13-17.
- [9] 胡华, 滕靖, 高云峰, 等. 多模式公交信息服务条件下的出行方式选择行为研究 [J]. 中国公路学报, 2009, 22 (2): 87-92.
HU Hua, TENG Jing, GAO Yun-feng, et al. Research on Travel Mode Choice Behavior under Integrated Multi-modal Transit Information Service [J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22 (2): 87-92.
- [10] 魏华, 马荣国, 赵跃峰, 等. 综合客运枢纽旅客换乘交通方式分担模型 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2014, 34 (2): 94-98.
WEI Hua, MA Rong-guo, ZHAO Yue-feng, et al. Split Model in Urban Comprehensive Passenger Hub [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2014, 34 (2): 94-98.
- [11] 杨杰娇. 基于时间价值调查的公交定价研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
YANG Jie-jiao. Research on Public Transport Fare Based on Survey of Time Value [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2009.
- [12] 谢如鹤, 邱祝强, 李庆云, 等. Logit模型在广深铁路客流分担率估算中的应用 [J]. 中国铁道科学, 2006, 27 (3): 111-115.
XIE Ru-he, QIU Zhu-qiang, LI Qing-yun, et al. Application of Logit Model in Estimating the Distribution Rate of Passenger Flows on Guangzhou-Shenzhen Railway [J]. China Railway Science, 2006, 27 (3): 111-115.
- [13] 张钰莹, 彭其渊. 客运专线对运输通道分担率的影响 [J]. 铁道运输与经济研究, 2006, 28 (12): 16-19.
ZHANG Yi-ying, PENG Qi-yuan. Effect of Passenger Dedicated Lines on the Sharing Rate of Transportation Corridors [J]. Railway Transport and Economy, 2006, 28 (12): 16-19.
- [14] 史峰, 邓连波, 黎新华, 等. 客运专线相关旅客列车开行方案研究 [J]. 铁道学报, 2004, 26 (2): 16-20.
SHI Feng, DENG Lian-bo, LI Xin-hua, et al. Research on Passenger Train Plans for Dedicated Passenger Traffic Lines [J]. Journal of the China Railway Society, 2004, 26 (2): 16-20.
- [15] 栾琨, 隽志才, 宗芳. 通勤者出行方式与出行链选择行为研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (6): 107-111.
LUAN Kun, JUAN Zhi-cai, ZONG Fang. Research on Commuter's Choice Behavior between Travel Mode and Trip Chain [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (6): 107-111.
- [16] 韩艳, 关宏志. 基于SP和RP融合数据的小汽车通勤出行频率选择模型 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (7): 131-135.
HAN Yan, GUAN Hong-zhi. Car Car Commuting Frequency Choice Model Based on SP and RP Fusion Data [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (7): 131-135.