

文章编号: 1674—8247(2024)06—0027—07

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.005

# 基于“四阶段”模型的高速铁路货运需求预测

赵 旭

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

**摘 要:**为合理预测高速铁路货运需求,科学指导高速铁路货运网络规划布局,构建科学的高速铁路货运需求预测模型势在必行。本文结合高速铁路货运需求特点,从高速铁路货运目标市场出发,针对快递运输需求构建了“四阶段”高速铁路货运需求预测模型理论框架,并对模型参数标定方法进行了全面阐述,最后基于全国高速铁路货运需求预测对构建的预测模型可操作性进行了验证。

**关键词:**“四阶段”法;模型;高速铁路货运;快递;需求预测

中图分类号:U294

文献标志码:A

## High-speed Railway Freight Demand Forecasting Based on the “Four-Stage” Model

ZHAO Xu

(China Railway Engineering Design and Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

**Abstract:** To reasonably predict the demand for high-speed rail freight and scientifically guide the planning and layout of high-speed rail freight network, it is imperative to build a scientific forecasting model for high-speed rail freight demand. Based on the characteristics and the target market of high-speed rail freight demand, this paper constructed the theoretical framework of “Four-Stage” high-speed rail freight demand forecasting model for express transportation demand, and comprehensively expounded the parameter calibration method of the model. Finally, the operability of the constructed forecasting model was verified based on the national high-speed rail freight demand forecasting.

**Key words:** “Four-Stage” Method; model; high-speed railway freight; express; demand forecasting

近年来,国家高速铁路网建设取得了显著成绩,“四纵四横”高速铁路网已全面建成,“八纵八横”高速铁路网正在加密形成,为国民经济发展建设提供了强有力的保障。日益完善的高速铁路网络既为广大旅客提供了快速、便捷、安全、绿色、舒适的高品质出行服务,也为高速铁路货运业务发展奠定了基础。2020 年 9 月中央财经委员会第八次会议提出“加强高速铁路货运能力建设”,《“十四五”现代物流发展规划》也明确指出“推进铁路(高速铁路)快运稳步发展”<sup>[1]</sup>,高速

铁路快运已成为铁路货运重要发展方向。合理预测高速铁路货运需求是科学谋划高速铁路货运布局、探索高速铁路货运发展模式的重要基础。因此,加强高速铁路货运需求预测模型研究具有重要意义。

## 1 高速铁路货运内涵及目标市场

### 1.1 高速铁路货运内涵

高速铁路货运也可以称作“高速铁路快运”,目前国内尚处“萌芽”阶段,尚无统一的定义。在中国铁路

收稿日期:2023-08-11

作者简介:赵旭(1989-),男,高级工程师。

基金项目:国家铁路局科研开发项目(KFJF2021-052)

引文格式:赵旭.基于“四阶段”模型的高速铁路货运需求预测[J].高速铁路技术,2024,15(6):27-33.

ZHAO Xu. High-speed Railway Freight Demand Forecasting Based on the “Four-Stage” Model[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):27-33.

总公司《高速铁路快件运输管理暂行办法》<sup>[2]</sup>中,高速铁路快件业务是指:铁路局、中铁快运股份有限公司等铁路企业利用高速铁路动车组列车,在高速铁路沿线城市间提供“门到门”“站到门”“站到站”的小件物品运送服务。本文在结合国内外对高速铁路货运定义的基础上,确定高速铁路货运的内涵为:利用高速铁路和高速动车组列车完成快捷货物运输过程的一种高端货运产品。

## 1.2 高速铁路货运目标市场

### 1.2.1 高速铁路货运特点

与其他货运方式相比,高速铁路货运具有以下3个显著特征:

#### (1) 速度快、运量大

按照我国目前对铁路技术等级的划分,设计速度达到250 km/h以上(含)的线路为高速铁路<sup>[3]</sup>。高速铁路货运线路设计速度高、经停站少,货物运输速度可达到公路货运的3倍以上。目前中车唐山机车车辆有限公司已研发出载重达到110 t的货运专用动车组,远超波音757和波音737等拆座椅客机的8 t和20 t,与波音747-400 F专用货机载重(120 t)基本相当;同时货运动车组容积可以达到820 m<sup>3</sup>,装载货物全部或大部分为轻泡货物时,实际装载量按容积计算,可以达到波音747-400的4.5倍以上,运输优势极大。

#### (2) 网络发达、运输稳定

我国目前已建成世界上规模最大的高速铁路网,并正在加快形成“八纵八横”高速铁路主骨架。届时,高速铁路网络将覆盖全国90%以上的地级及以上城市。同时,高速铁路货运基本不受天气和航空管制的影响,运输稳定性和可靠性极高。

#### (3) 配套设施要求高

高速铁路货运发车点一般要求在动车存车场、高速铁路车站和部分具备高速铁路线路引入的物流基地<sup>[4]</sup>,高速铁路车站一般要求设置专用的货运通道,否则将对车站客运组织产生较大影响。

### 1.2.2 高速铁路货运目标市场确定

国内快运市场的主要货源种类较多、大小不一、性质各异。

目前快运市场运输基本由公路和航空运输承担,二者优劣势明显:公路运输速度低,但运输灵活、运价较低,适宜短距离快件运输;航空运输运输速度快,但运输能力小、运价高、运输稳定性差,适宜长距离快件运输。

高速铁路货运速度快、稳定性强、运价适中,可满足快运市场中长距离运输需求,特别是时效性要求突出、附加值较高的信函文件、电商、生鲜、电子产品是高

速铁路货运的主要目标市场<sup>[5]</sup>。

目前信函文件、电商、电子产品的物流运输主要采用快递形式,生鲜产品由于运输环境要求高,主要采用冷链运输。目前国家邮政部门和交通运输部门对快递运输建立了完善的统计制度,每年国家邮政局和各省市(自治区)均发布含快递业务量在内邮政业统计公报,为快递运输需求预测建模奠定了基础;而针对冷链和其他高附加值货物运输,目前尚无统一、权威、公开的统计数据,现阶段难以进行详细、全面的建模预测。因此,本研究重点针对快递运输需求,建立高速铁路货运需求预测模型进行研究。

## 2 既有铁路货运需求预测模型局限性

### 2.1 高速铁路货运需求预测特点

根据高速铁路货运目标市场分析,高速铁路货运需求预测具有以下特点:

(1) 运输需求零散化。高速铁路货运的品类繁多,并显著区别于传统铁路货运以煤炭、石油等大宗货物运输为主的特征,呈现运输需求来源广、集中程度低、时间要求高等特点。

(2) 影响因素多样化。传统铁路货运需求影响因素主要为地区经济发展水平、工业布局、人口规模等;而高速铁路货运需求与“互联网经济”关系密切,特别是与电商产业发展密不可分,影响因素不仅包含地区经济发展水平、人口规模,还包括电子商务市场规模、社会消费品零售规模等。影响因素和作用机理呈现新变化。

(3) 历史统计数据不完整。高速铁路货运的目标市场目前依赖公路和航空运输,历史统计数据集约程度低,缺乏完整的全方式货运OD统计,更无历史高速铁路货运OD数据作为研究基础。

### 2.2 既有铁路货运预测方法的局限性

目前铁路货运需求预测常用的方法有产销平衡法、弹性系数法、指数平滑法、增长系数法<sup>[6]</sup>。

产销平衡法是铁路货运预测中应用最广的方法之一,适用于企业规模大、集约化程度高的煤炭、石油、钢铁、矿石等大宗货物运量的预测,对于高速铁路货运承担的电商、生鲜、精密仪器等零散化的货物运输难以准确反映。

弹性系数法、指数平滑法等目前在铁路货运需求预测应用范围有限,通常只适用于货运总量预测。同样,在高速铁路货运预测中,上述方法也只适用于总量预测,而难以对运量分布特征进行合理预测。

增长系数法必须依据现状完整的铁路货运OD数据,但高速铁路货运作为一种新兴货运产品,尚无详细

完整的货运 OD 数据统计。因此,增长系数法不适用于高速铁路货运预测。

### 2.3 高速铁路货运需求预测方法研究现状

目前国内外关于高速铁路货运需求预测方法研究尚无成熟的理论方法,仍处于探索阶段,主要集中于高速铁路货运分担率研究。栾廷玉<sup>[7]</sup>和梁皓妍<sup>[8]</sup>分别采用组合预测模型和时间序列法建立了快递总量预测模型,利用 Logit 模型预测得到高速铁路货运分担率;张莹莹<sup>[9]</sup>建立了基于改进的铁路货运高端产品分担率 Logit 模型,并采用极大似然法标定模型;霍明坤<sup>[10]</sup>综合考虑运输方式的经济性、快速性、安全性和准时性建立了高速铁路快递分担率模型;高金俊<sup>[11]</sup>等探讨了高速铁路快运的适运品类和潜在运输需求。整体而言,目前高速铁路货运需求预测侧重于宏观市场规模预测,模型架构不够完善,特别是缺少交通分配阶段,难以定量指导高速铁路货运网络布局和运输组织设计。

## 3 高速铁路货运“四阶段”需求模型架构

### 3.1 “四阶段”模型特点及优势

“四阶段”模型是目前国际上主流的交通需求预测模型,广泛应用于客运、物流等需求预测,用以指导公共交通设施、物流基础设施等布局规划。“四阶段”模型具体包含4个“子模型”模块,即:交通生成、交通分布、交通方式划分和交通分配。相较于其他模型方法,“四阶段”模型具有以下优势:

(1)理论成熟、逻辑清晰。1962年,美国芝加哥市交通规划研究中提出的“生成-分布-方式划分-分配”的预测方法标志着“四阶段”交通预测模型的形成。“四阶段”法由于逻辑清晰,结构简单,在国内交通规划中广泛应用。

(2)数据要求少。相较于增长系数法,“四阶段”法中对未来货运分布预测无需完整的现状 OD 矩阵作为基础。当特定交通小区之间的 OD 交通量为零时,该方法也能预测<sup>[12]</sup>,尤其适合高速铁路货运这类现状 OD 难以确定的预测。

### 3.2 高速铁路货运需求预测“四阶段”模型

#### 3.2.1 总体思路

本文以全国快递需求预测为基础,首先采用灰色关联度、主成分分析法等确定快递需求主要影响因素,明确快递需求规模生成机理;其次,以调研拟合得到的现状 OD 为基础,采用重力模型预测得到研究年度快递 OD 分布;然后根据主要运输方式技术经济特征建立效用函数,采用 Logit 模型进行方式划分预测;最后,

结合国家高速铁路网布局规划,进行分配预测,得到主要高速铁路通道和各线路高速铁路货运密度。

#### 3.2.2 模型生成

生成预测包括发件量与收件量预测。全国快递业务总量可作为总控制量,用来预测和校核各地区的发件量和收件量。

##### (1) 全国快递业务总量预测模型

根据全国历年邮政行业发展统计公报公布的全国快递业务量统计数据,采用主成分分析法和灰色关联度法识别得到影响全国快递业务总量的主要影响因素为:电子商务市场规模、社会消费品零售总额、一般公共预算收入、居民消费水平。

由此,可建立全国快递业务总量预测的多元回归模型:

$$Q = b_0 + \sum_{i=1} b_i X_i + \varepsilon \quad (1)$$

式中: $Q$ ——快递业务量( $10^4$ 件/a);

$X_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ ——快递业务量相关影响因素;

$b_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ ——待标定系数;

$\varepsilon$ ——扰动项。

##### (2) 分地区发件量预测

分地区发件量的增长与地区 GDP 增长呈现线性关系,可采用弹性系数法进行预测,即:

$$\varepsilon = (\Delta O / O) / (\Delta \text{GDP} / \text{GDP}) \quad (2)$$

式中: $\varepsilon$ ——弹性;

$\Delta O$ ——地区发件量变化量( $10^4$ 件/a);

$\Delta \text{GDP}$ ——地区 GDP 变化量( $10^8$ 元);

$O$ ——地区发件量( $10^4$ 件/a)。

##### (3) 分地区收件量预测

地区收件量可用人均快递收件量表征。人均收件量与地区居民购买力关系密切,地区居民购买力通常可用地区人均可支配收入和人均 GDP 表示,因此可建立地区人均快递收件量与地区人均可支配收入和人均 GDP 的回归模型进行预测。结合地区人口规划,可进一步预测得到地区收件量:

$$d = k_0 + k_1 Y_1 + k_2 Y_2 + \delta \quad (3)$$

$$D = dXp \quad (4)$$

式中: $d$ ——地区人均快递收件量(件/a);

$Y_1$ ——地区人均可支配收入(元);

$Y_2$ ——地区人均 GDP(元);

$k$ ——待标定系数;

$\delta$ ——扰动项;

$D$ ——地区收件量( $10^4$ 件/a);

$p$ ——地区人口规模( $10^4$ 人)。

分地区快递发件量和收件量预测需满足以下约束条件:

$$\sum_i O_i = \sum_j D_j = Q \quad (5)$$

式中: $O_i$ —— $i$ 地区快递发件量( $10^4$ 件/a);

$D_j$ —— $j$ 地区快递收件量( $10^4$ 件/a);

$Q$ ——全国快递业务量( $10^4$ 件/a)。

### 3.2.3 分布模型

分布模型可采用双约束重力模型,具体模型结构如下:

$$q_{ij} = \alpha_i O_i \beta_j D_j f(c_{ij}) \quad (6)$$

式中: $q_{ij}$ ——地区 $i$ 发往地区 $j$ 的快递量( $10^4$ 件/a);

$f(c_{ij})$ ——阻抗函数;

$c_{ij}$ ——物流阻抗,采用平均快递费用(元/件);

$\alpha_i, \beta_j$ ——调整系数,满足如下约束条件:

$$\alpha_i = \left[ \sum_j \beta_j D_j f(c_{ij}) \right]^{-1} \quad (7)$$

$$\beta_j = \left[ \sum_i \alpha_i O_i f(c_{ij}) \right]^{-1} \quad (8)$$

阻抗函数 $f(c_{ij})$ 常见的形式有幂函数、指数函数等。本文采用指数函数形式,即:

$$f(c_{ij}) = e^{-bc_{ij}} \quad (9)$$

式中, $b$ 为待定参数,可根据现状 OD 数据利用最小二乘法标定。现状 OD 可在国内主要快递企业快递流向调研基础上,结合现状全国和分地区快递量进行扩样得到。

### 3.2.4 方式划分模型

方式划分模型主要包括:转移曲线法、回归模型法、概率模型法等。其中应用最广泛的是概率模型法中的 Logit 模型。Logit 模型结构清晰、易操作、适应性强,适用于对运输方式结构的计算,计算结果误差小<sup>[13]</sup>。模型基本结构如下:

$$P_k = \frac{\exp(U_k)}{\sum_{m \in M} \exp(U_m)} \quad (10)$$

式中: $U_k$ ——运输方式 $k$ 的效用;

$U_m$ ——第 $m$ 种运输方式的效用;

$M$ ——运输方式选择集合,本文研究包含高速铁路、普速铁路、航空、公路4种运输方式;

$P_k$ ——运输方式 $k$ 承担的运输份额(%)。

运输方式 $m$ 的效用函数形式通常采用线性形式,即参数向量 $\theta$ 和属性向量 $X_i$ 乘积的线性函数,即:

$$U_m = \theta_{0m} + \sum_{i=1} \theta_i X_{im} \quad (11)$$

式中, $X_{im}$ ( $m = i = 1, 2, 3, \dots, n$ )为运输方式 $m$ 的属性,主要包括运输费用、运输时耗等便于量化的属性; $\theta_{0m}$ ( $m = i = 1, 2, 3, \dots, n$ )为常数项,表征便捷性、可靠

性等不易量化的属性。

由于快递企业对运输方式的选择主要受运输费用和运输时间的影响,效用函数可进一步简化为:

$$U_m = \theta_{0m} + \theta_1 X_{1m} + \theta_2 X_{2m} \quad (12)$$

式中: $X_{1m}$ ——运输方式 $m$ 的运输费用(元/kg);

$X_{2m}$ ——运输方式 $m$ 的运输时耗,包括在途时间和两端作业时间(h)<sup>[14]</sup>。

### 3.2.5 分配模型

交通分配模型包括平衡模型与非平衡模型两大类,其中非平衡模型具有结构简单、计算简便等优势,实际应用广泛。常见的非平衡模型有最短路交通分配法、容量限制交通分配法、多路径交通分配法(包括静态和动态)、容量限制-多路径交通分配法<sup>[15]</sup>。考虑到铁路货运通常按照最短径路进行运输组织,同时在沿海、沿江等高速铁路主通道上还存在“高速铁路双径路”的现象,因此高速铁路货运分配模型宜在结合线路合理分工基础上采用最短路交通分配法。

## 4 实例分析

### 4.1 生成预测

#### 4.1.1 全国快递总量预测

根据2011—2021年全国快递业务量统计数据,对全国快递总量预测模型参数进行标定,模型标定结果为:

$$Y = -362\,520 - 75.1X_1 + 946.9X_2 - 20.5X_3 + 107\,909.1X_4 \quad (13)$$

回归结果显示 $R^2 = 0.989\,4$ ,表明拟合效果好;同时对 $F$ 检验进行分析, $F = 117.175$ ,在显著性水平; $\alpha = 0.05$ 时, $F_{0.05}(1, 4) = 7.71 < F$ ,因此回归模型的线性关系显著。

在对研究年度全国一般公共预算收入、居民消费水平、社会消费品零售总额、电子商务市场规模预测的基础上,采用标定的多元回归模型进行预测。预测得到2035年全国快递总量将达到3 000亿件。

#### 4.1.2 分地区快递发件量/收件量预测

发件量:根据近10年各地区快递发件量和GDP统计数据,计算得到各地区平均弹性系数,在对各地区GDP预测的基础上,采用弹性系数模型预测得到2035年各地区快递发件量,预测结果如图1所示。

收件量:根据近10年各地区快递收件量、人均可支配收入和人均GDP统计数据对预测模型参数进行标定,以安徽省为例,模型标定结果如下:

$$D = -71.926\,6 - 0.002\,4X_1 + 0.009\,7X_2 \quad (14)$$

回归结果显示 $R^2 = 0.98$ ,拟合效果好。在此基础上,结合2035年安徽省人均可支配收入、人均GDP和

人口规模预测结果,可预测得到 2035 年安徽地区快递收件量。同理可进一步预测得到 2035 年国内其他地区快递收件量,如图 1 所示。未来广东与浙江两省仍是全国快递发件量最大的地区;收件量排名靠前的主要

要为东部地区的广东、北京、浙江、山东等地区,同时随着西部川渝地区的快速发展,西部快递收件量增长显著。

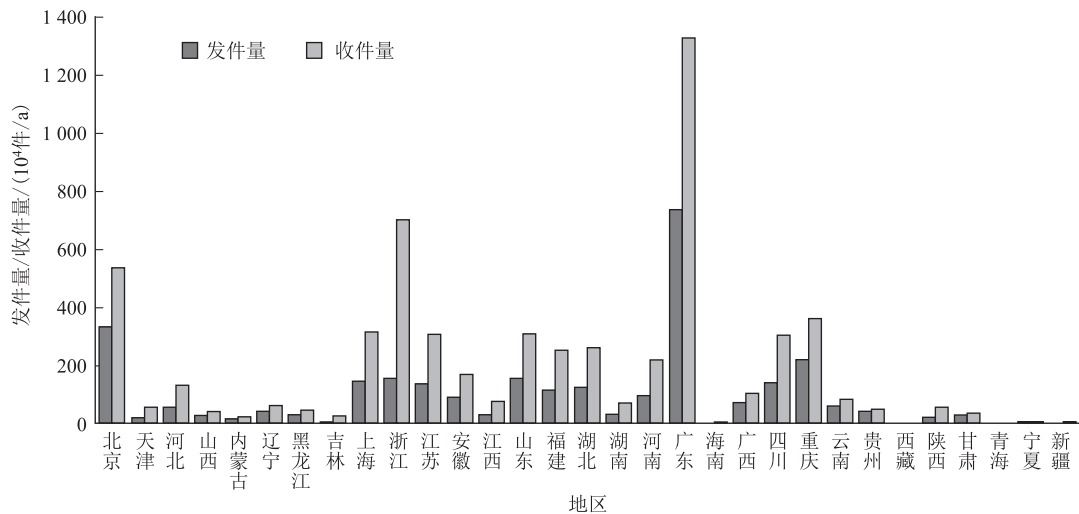


图 1 2035 年分地区快递发件量/收件量预测图 (10<sup>8</sup> 件)

4.2 分布预测

根据快递比价网查询数据,可获得国内主要快递企业地区间平均运价( $c_{ij}$ )矩阵表,如表 1 所示。

根据调查的现状全国快递 OD,利用 TransCAD 软

件平台进行参数标定,参数  $b$  的标定结果为  $-0.059\ 941\ 64$ 。

在此基础上,采用双约束重力模型对 2035 年全国快递分布进行预测,预测结果如图 2 所示。

表 1 地区间快递平均费用矩阵表 (元/kg)

省份	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	黑龙江	吉林	上海	浙江	江苏	安徽	江西	山东	福建	湖北	湖南	河南	广东	海南	广西	四川	重庆	云南	贵州	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
北京	11	14	14	18	19	19	19	18	18	19	19	29	19	18	19	18	18	18	20	19	20	19	18	18	18	23	19	20	22	21	25
天津	14	11	10	16	20	17	19	18	19	18	17	18	18	17	18	19	19	17	18	20	19	19	18	19	19	24	18	19	23	19	25
河北	14	10	8	16	17	19	19	18	18	19	18	18	18	15	18	17	18	16	19	18	20	18	18	19	19	25	18	19	20	20	24
山西	18	16	16	11	18	18	19	18	19	17	17	17	18	18	19	27	18	9	18	20	20	17	18	19	18	41	17	19	19	20	24
内蒙古	19	20	17	18	16	20	20	20	19	21	21	21	26	21	19	21	26	21	21	19	27	22	22	27	23	35	20	26	24	26	35
辽宁	19	17	19	18	20	11	16	14	18	18	18	17	19	18	19	12	19	18	18	18	20	18	18	21	18	25	18	20	21	32	25
黑龙江	19	19	19	19	20	16	12	15	16	18	17	19	19	17	19	19	19	18	20	21	21	20	19	20	21	25	19	21	21	21	23
吉林	18	18	18	18	20	14	15	12	19	19	18	19	18	19	19	19	19	18	18	19	21	20	19	21	20	24	19	21	20	20	24
上海	18	19	18	18	19	19	18	16	19	11	11	13	17	15	15	17	14	16	16	17	19	19	16	18	19	24	18	19	22	21	25
浙江	19	18	19	17	21	18	18	19	11	11	10	11	16	16	15	15	16	16	16	17	17	17	16	11	18	22	17	19	12	19	23
江苏	19	17	18	17	21	18	17	18	11	10	10	11	16	15	15	15	22	16	16	16	17	17	16	11	18	22	17	19	11	19	23
安徽	29	18	18	17	21	17	19	19	13	11	11	11	14	16	17	16	17	16	17	17	18	18	17	18	17	23	18	19	20	20	23
江西	19	18	18	18	26	19	19	19	17	16	16	14	11	18	16	14	15	17	17	19	19	18	18	18	18	23	18	19	21	21	22
山东	18	17	15	18	21	18	17	18	15	16	15	16	18	10	18	18	18	15	18	19	18	18	18	18	18	25	18	19	21	19	22
福建	19	18	18	19	19	19	19	19	15	15	15	17	16	18	10	17	16	17	16	17	19	18	18	18	18	25	18	13	21	20	23
湖北	18	19	17	27	21	12	19	19	17	15	15	16	14	18	17	11	15	16	18	18	18	18	18	18	18	22	17	19	20	20	22
湖南	18	19	18	18	26	19	19	19	14	16	22	17	15	18	16	15	11	17	16	17	16	18	18	18	17	40	18	29	20	18	24
河南	18	17	16	9	21	18	18	18	16	16	16	16	17	15	17	16	17	11	17	18	17	16	16	18	18	23	15	18	20	19	24
广东	20	18	19	18	21	18	20	18	16	16	16	17	17	18	16	18	16	17	11	16	17	18	28	18	10	25	16	20	21	20	42
海南	19	20	18	20	19	18	21	19	17	17	16	17	19	19	17	18	17	18	16	11	18	18	17	18	20	25	18	21	19	19	25
广西	20	19	20	20	27	20	21	21	19	17	17	18	19	19	19	18	16	17	17	18	11	19	19	18	18	24	23	21	22	22	26
四川	19	19	18	17	22	18	20	20	19	17	17	18	18	18	18	18	18	16	18	18	19	12	13	18	17	22	17	18	18	19	21
重庆	18	18	18	18	22	18	19	19	16	16	16	17	18	18	18	18	18	16	28	17	19	13	11	17	18	22	17	18	20	19	22
云南	18	19	19	19	27	21	20	21	18	11	11	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17	12	17	23	18	19	20	20	22
贵州	18	19	19	18	23	18	21	20	19	18	18	17	18	18	18	18	17	18	10	20	18	17	18	17	9	24	19	21	22	21	38
西藏	23	24	25	41	35	25	25	24	24	22	22	23	23	25	25	22	40	23	25	25	24	22	22	23	24	19	29	28	30	30	28
陕西	19	18	18	17	20	18	19	19	14	17	17	18	18	18	18	17	18	15	16	18	23	17	17	18	19	29	11	17	18	17	22
甘肃	20	19	19	19	26	20	21	21	19	19	19	19	19	19	13	19	29	18	20	21	21	18	18	19	21	28	17	11	17	20	20
青海	22	23	20	19	24	21	21	20	22	12	11	20	21	21	21	20	20	20	21	19	22	18	20	20	22	30	18	17	10	20	25
宁夏	21	19	20	20	26	32	21	20	21	19	19	20	21	19	20	20	18	19	20	19	22	19	19	20	21	30	17	20	20	12	21
新疆	25	25	24	24	35	25	23	24	25	23	23	23	22	22	23	22	24	24	42	25	26	21	22	22	38	28	22	20	25	21	19

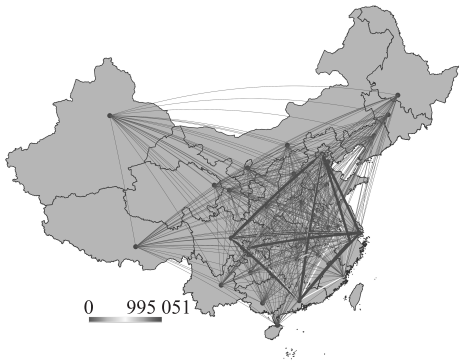


图2 2035年全国快递分布示意图(10<sup>4</sup>件)

由预测结果可知,2035年华东和华南地区仍是快递发件量和收件量集中地区,其中华东、华北、华南地区区间地区流量较大;同时随着国家产业布局调整和西南、中部地区的快速发展,西南、华中地区与华北、华东、华南地区的快递流量也明显增长。

4.3 方式划分预测

4.3.1 效用函数标定

运输费用:按照目前的快递费用统计,各运输方式的快递费率取值如表2所示。

运输时耗:运输时耗包括在途时间和两端作业时间。在途时间可根据运距和旅行速度计算得到;根据相关统计和调研,各运输方式的两端作业时间取值如表2所示。

参数标定及检验:根据现状快递企业运输方式选择结果和各运输方式费用矩阵,利用 TransCAD 软件平台对效用函数参数进行标定和检验,标定和检验结果如表3所示。各参数的  $t$  检验的绝对值大于2,选取的特性变量所对应参数均满足  $t$  检验要求。

表2 各运输方式参数选择汇总表

运输方式	快递费率/(元/kg)	速度/(km/h)	两端作业时间/h
高速铁路	3.0	300	3
普速铁路	0.5	160	4
航空	6.0	900	6
公路	0.5	80	2

表3 模型参数标定及检验结果表

参数	参数标定值	$t$ 检验值
$\theta_{0\_HSR}$	53.745 893	5.856 721
$\theta_{0\_NSR}$	47.112 539	5.223 793
$\theta_{0\_EXP}$	49.003 625	6.052 784
$\theta_1$	-0.152 403	-3.336 547
$\theta_2$	-0.086 324	-2.074 552

4.3.2 预测结果

根据模型标定结果进行运输方式划分,预测得到各运输方式研究年度承担的份额。2035年全国快递

运输市场结构如表4所示。

表4 2035年全国快递运输市场结构预测表(%)

运距/km	高速铁路	普速铁路	航空	公路	合计
0~500	0.05	0.08	0.02	99.85	100
500~1 000	23.69	7.96	16.31	52.04	100
1 000~1 500	32.09	8.77	30.46	28.68	100
1 500~2 000	34.03	12.15	32.63	21.19	100
2 000~2 500	20.53	15.56	46.49	17.42	100
2 500~3 000	2.51	37.32	53.04	7.13	100
3 000以上	1.09	32.49	63.25	3.17	100

分地区来看,2035年西南、华中地区与东部地区的流量快速增长,其中广东、浙江、北京、上海、湖北、四川、重庆等地区间的高速铁路货运流量均在5亿件/a以上。2035年全国高速铁路货运流量流向如图3所示。

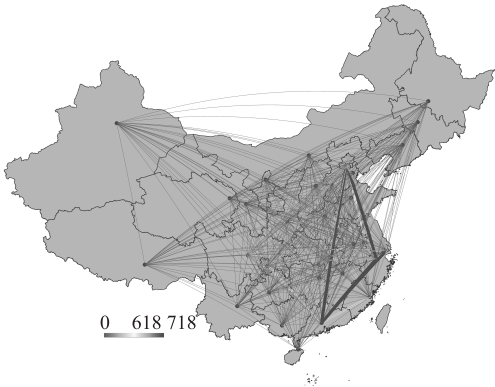


图3 2035年全国高速铁路货运流量流向示意图(10<sup>4</sup>件)

4.4 分配预测

2035年国家“八纵八横”高速铁路网基本建成,地区间高速铁路快运网络得以完善。根据方式划分结果,以“八纵八横”高速铁路网络为基础,在考虑通道线路合理分工的基础上,采用最短路交通分配法对高速铁路货运OD进行分配预测。各通道主要高速铁路干线运量分配结果如图4所示。由图4可知,2035年

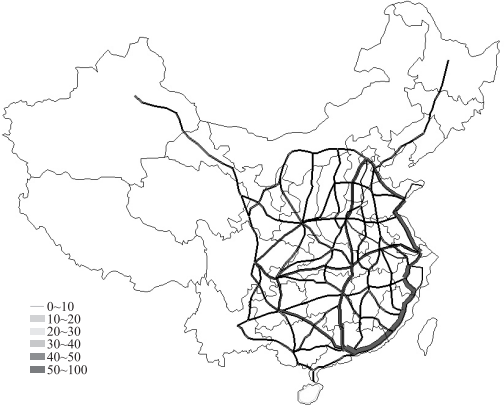


图4 2035年全国高速铁路货运分配示意图(10<sup>4</sup> t/a)



高速铁路货运主要集中在沿海、京港澳、沿江等高速铁路主通道,特别是东南沿海通道,随着沿海新高速铁路的贯通,既有杭深铁路货运功能得以恢复,可承担珠江三角洲与长江三角洲地区间高速铁路货运,2035年重车方向高速铁路货运货流密度达到83万t/a。

## 5 结论

本文根据高速铁路货运需求特点,建立“四阶段”模型架构,并对模型参数选取与标定方法进行详细阐述,最后以2035年全国高速铁路货运需求预测为应用案例,验证了预测方法的可操作性,预测结果可作为全国高速铁路网络进行高速铁路货运组织和相关配套设施建设的重要参考依据,对支撑全国高速铁路货运网络规划布局具有重要意义。

受现阶段统计资料不完善的制约,本文高速铁路货运需求预测主要以快递运输为对象,尚未包含冷链和其他高附加值货物运输需求,预测口径和预测方法有待进一步完善,将是后续研究重点。

## 参考文献:

- [1] 国办发[2022]17号,国务院办公厅关于印发“十四五”现代物流发展规划的通知[Z].  
Guo Ban Fa[2022]No. 17, Notice of the General Office of the State Council on the Issuance of the “14th Five-Year Plan” Modern Logistics Development Plan [Z].
- [2] 铁总运[2013]192号,中国铁路总公司关于印发《高速铁路快件运输管理暂行办法》的通知[Z].  
Tie Zong Yun[2013]No. 192, Notice of China Railway Corporation on Issuing the Interim Measures for the Management of High-speed Rail Express Transportation [Z].
- [3] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].  
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway[S].
- [4] 江思雨. 高速铁路货运动车组货物作业地点选择研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.  
JIANG Siyu. Study on Selection Freight Operating Locations of Freight EMU on High-speed Railway [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.
- [5] 李敏. 双铁联动模式下的高速铁路快运货物城市分拨体系构想[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(1): 26-31.  
LI Min. Conception of Turban Distribution System of High-speed Railway Express Freight under a Bimodal System of High-speed Railway and Metro [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(1): 26-31.
- [6] 中国中铁二院工程集团有限责任公司. 中国工程设计技术手册: 铁路运量[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. China Engineering Design Technical Manual: Railway Transport Volume [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010.
- [7] 栾廷玉. 高速铁路货运班列货类选择及货运量预测研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.  
LUAN Tingyu. High Speed Rail Freight Train Cargo Class Selection and Freight Volume Forecast Research [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.
- [8] 梁皓妍. 高速铁路快递产品优化配置研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.  
LIANG Haoyan. Research on Optimal Allocation of Railway High Speed Express [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.
- [9] 张莹莹. 铁路货运高端产品市场需求预测和竞争力分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.  
ZHANG Yingying. Market Demand Forecast and Competitive Power Analysis of Railway High-end Freight Transport Product [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.
- [10] 霍明坤. 基于空铁博弈的高速铁路快递列车开行方案设计研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.  
HUO Mingkun. Research on the Train Operation Plan Organization of High-speed Rail Express Based on the Game between Rail and Air [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.
- [11] 高金俊, 张家发, 吴朝荣. 高速铁路开展快运物流有关问题的探讨[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(1): 60-64.  
GAO Jinjun, ZHANG Jiafa, WU Chaorong. On Related Problems of Express Delivery with High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(1): 60-64.
- [12] 邵春福. 交通规划原理[M]. 2版. 北京: 中国铁道出版社, 2014.  
SHAO Chunfu. Traffic Planning [M]. 2nd ed. Beijing: China Railway Publishing House, 2014.
- [13] 王炜. 交通规划[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.  
WANG Wei. Transportation Planning [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [14] 王含嫣. 高速铁路成网条件下高速铁路快运多元需求预测研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2019.  
WANG Hanyan. Research on Multi-demand Forecast of High Speed Rail Express under High-speed Rail Network Conditions [D]. Dalian: Dalian Jiaotong University, 2019.
- [15] 赵怡婧. 成渝中线高速铁路功能定位及运输需求研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(3): 87-91, 96.  
ZHAO Yijing. A Study on Functional Orientation and Transport Demand of the Second Chengdu-Chongqing High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(3): 87-91, 96.