

基于“三阶段法”的高速铁路短期运量预测

李 凯

(西南交通大学 交通运输与物流学院 四川 成都 610031)

摘要: 考虑到我国未来年度的 OD 分布预测中的路网构成变化、区域经济布局变动、区域经济增长速度差异等一些具有时变性和特殊性因素, 采用在“四阶段法”运量预测基础上改进而成的“三阶段法”进行高速铁路短期客运量预测。首先采用组合预测模型进行趋势运量预测, 然后采用多元 LOGIT 模型进行方式分担, 最后采用弹性系数诱增模型进行诱增运量预测。以京沪高铁为例, 采用“三阶段法”预测了 2014 年和 2015 年京沪高铁本线及跨线单向客流量。

关键词: 三阶段法; 铁路运量预测; 组合预测模型; 多元 LOGIT 模型; 弹性系数诱增模型

中图分类号: U29 文献标志码: A 文章编号: 2095-0373(2014)03-0090-06

0 引言

目前, 铁路客流预测主要采用的定量预测方法包括回归分析法、时间序列分析法、灰色预测法、人工神经网络法、支持向量机等。回归分析法的主要优点是预测过程简单, 缺点是误差较大, 外推特性差。时间序列分析法有效的前提是过去的发展模式会延续到未来。GM(1,1) 灰色预测模型是具有偏差的指数模型, 在许多领域的实际应用中既有很多成功的实例, 同时也存在一些预测偏差过大的情况。神经网络模型属于数据驱动的方法, 预测的过程需要大量的样本。支持向量机法中核函数的选取在 SVM 方法中是一个较为困难的问题, 至今没有一定的理论方面的指导。上述这些方法都存在有一些不完善之处, 对研究年度的 OD 分布预测没有考虑诸如路网构成变化、区域经济布局变动、区域经济增长速度差异等一些具有时变性和特殊性因素, 基于这些时变因素, 本文提出的“三阶段法”进行高铁短期运量预测。

1 “三阶段法”预测模型

本文改进的“三阶段法”中, 首先采用组合预测模型进行趋势运量预测, 然后采用多元 LOGIT 模型进行高速铁路分担量预测, 最后采用由 LOGIT 模型推导出的弹性系数诱增模型进行高铁诱增运量的预测。具体如下:

1.1 趋势运量预测模型

关于趋势运量预测常用的方法包括移动平均、指数分布、灰色预测方法、曲线趋势外推、指数平滑法、乘幂等时间序列方法。一般地, 对于同一个预测对象, 不同的预测方法往往能提供不同的有用信息, 如果简单将预测误差平方和较大的一些方法舍弃掉, 可能会丢失一些有用的信息。因此本文提出的组合预测更强调来源于不同信息的各种预测, 而非构造复杂的单项预测, 从而具有更高的预测性能和出现极端预测误差的更小风险。趋势运量预测采用乘幂、指数平滑、移动平均、灰色预测等几种方法组合预测模型, 具体模型结构如下

$$Y_{ij} = \lambda_{ij}^{\text{指}} Y_{ij}^{\text{指}} + \lambda_{ij}^{\text{乘}} Y_{ij}^{\text{乘}} + \lambda_{ij}^{\text{移}} Y_{ij}^{\text{移}} + \lambda_{ij}^{\text{灰}} Y_{ij}^{\text{灰}} \quad (1)$$

式中, Y_{ij} 为预测年度各种方法所得的 OD 分布 ij 预测值; $Y_{ij}^{\text{指}}$, $Y_{ij}^{\text{乘}}$, $Y_{ij}^{\text{移}}$, $Y_{ij}^{\text{灰}}$ 为各 OD 分布 ij 间不同种预测

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2014.03.19

收稿日期: 2013-04-25

作者简介: 李凯 男 1989 年出生 硕士研究生

方法趋势运量预测值; $\lambda_{ij}^{\text{指}}$ $\lambda_{ij}^{\text{乘}}$ $\lambda_{ij}^{\text{移}}$ $\lambda_{ij}^{\text{灰}}$ 为各 OD 分布 ij 间不同种预测方法的权重系数。本文提出选用标准差法来确定加权组合预测模型的权数 $\lambda_{ij}^{\text{指}}$ $\lambda_{ij}^{\text{乘}}$ $\lambda_{ij}^{\text{移}}$ $\lambda_{ij}^{\text{灰}}$ 其数学表达式为

$$\lambda_i = \frac{1}{n-1} \left(1 - \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, S_i 为第 i 个模型的标准差 $S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$ [1-2]。

1.2 运输方式分配模型

多项式对数分配模型(LOGIT) 是主要用于预测各种运输方式的分担运量。即方式 k 的市场份额模型的基本结构如下

$$P_{ij}^k = \frac{e^{-\lambda C_{ij}^k}}{\sum_k e^{-\lambda C_{ij}^k}} \quad (3)$$

式中, P_i 为乘客选择第 k 种运输方式的概率, 即方式 k 的市场份额; C_{ij}^k 为第 k 种方式的广义成本。

1.3 运量诱增模型

高速铁路建成后, 不仅从通道内其他原有运输方式中吸引一部分客流, 而且随着社会经济发展与高速铁路的固有技术特点, 将诱发产生一部分新的运输需求[3]。模型的基本结构如下

$$R_{ij} = [C_{ij\text{前}}/C_{ij\text{后}}]^\beta - 1 \quad (4)$$

式中, R_{ij} 为 OD 的诱发率; $C_{ij\text{前}}$ 为京沪高速铁路建成前广义成本; $C_{ij\text{后}}$ 为有京沪高速铁路条件下 OD 对广义费用。广义成本 C_{ij} 为各种运输方式的综合费用, 其表达式如下

$$C_{ij} = -\frac{1}{\lambda} \ln \sum_k \exp(-\lambda C_{ij}^k) \quad (5)$$

式中, λ 为正态分布系数, 控制各种运输方式的离散程度。

运输方式 k 的广义费用 C_{ijk} 包括直接费用和旅客所花费时间(包括旅行时间、到达和离开站/场的时间和等候时间等) 转化为价值后的两者之和, 其表达式为

$$C_{ijk} = \alpha_{0k} + \alpha_{1k} t_{ijk} + \alpha_{2k} p_{ijk} + \alpha_{3k} w_{ijk} + \alpha_{4k} F_{ijk} \quad (6)$$

式中, α_{0k} 为 k 种运输方式的方式罚因子, 表示交通方式服务属性中除时间、费用以外的其它因素(安全、舒适、方便性等) 价值转换; t_{ijk} 为 i, j 间 k 种运输方式的在车旅行时间; p_{ijk} 为 ij 间 k 种运输方式的进出站场时间; w_{ijk} 为 ij 间 k 种运输方式的等候时间(含中转时间); α_{1k} 、 α_{2k} 、 α_{3k} 为 k 种运输方式时间价值与权重的乘积; F_{ijk} 为 ij 间 k 种运输方式直接付出的费用(包括票价和附加费); α_{4k} 为 k 种运输方式各费用元素的权重[4-5]。

本文效用价值用费用来表示时, 时间与费用的转换系数称为时间价值(包括在车时间价值、进出站场时间价值、中转时间价值和等候时间价值等), 费用项的系数为 -1 [3-6]。一般大多数中国人宁愿多花些时间在车上, 也不愿花同样长的时间候车或进出站场。因此一般取进出站场时间价值和等候时间价值为旅行时间价值的 2 倍, 将效用表达式中的时间合并为 T_{ij} , 其表达式可简化为

$$C_{ij} = \beta_1 + \beta_2 T_{ij} - F_{ij} \quad (7)$$

式中, β_1 为该方式的方式罚因子; β_2 为时间价值[7]。

LOGIT 模型中需要估计的参数主要是表示各种运输方式的“负效用”的效用函数系数, 在对 LOGIT 模型进行效用函数参数标定时, 考虑我国各方式旅行时间和费用间存在的严重“多重共线性”, 本文采用“伯克森-泰勒(Berkson-Thail) 法”进行标定[3]。

2 “三阶段法”在京沪高速铁路运量预测中的应用

2.1 运量预测准备条件

2.1.1 京沪通道相关 OD 区域的划分

目前,京沪通道内现有的运输方式包括高速铁路、既有铁路、航空、公路等四种方式^[8]。根据现有的客流组织模式,在我国高速铁路尚未成网的条件下,与京沪高铁相关联的高速铁路有胶济客专、沪杭城际、宁杭城际、及东南沿海客专等,因此以现有开通的铁路车站为参照,京沪高铁本线 OD 区域主要包括:北京、滕州、廊坊、天津、沧州、德州、济南、泰安、曲阜、枣庄、徐州、宿州、蚌埠、定远、滁州、南京、镇江、丹阳、常州、无锡、苏州、昆山、上海等 23 个城市。

京沪高速铁路跨线 OD 区域主要包括:昌乐、福鼎、福州、海宁、汉口、杭州、嘉善、嘉兴、胶州、乐清、胶州、宁波、宁德、宁海、青岛、青州、三门、上虞、绍兴、松江、台州、桐乡、潍坊、温岭、温州、雁荡、永嘉、余杭、余姚、章丘、淄博、合肥等 32 个城市。

通过调查并计算得 2012 年京沪高速铁路本线 300 km/h 单向客流区段密度如下:北京—廊坊 838 万人/a;廊坊—天津 874 万人/a;天津—沧州 930 万人/a;沧州—德州 927 万人/a;德州—济南 838 万人/a;济南—泰州 722 万人/a;泰州—曲阜 683 万人/a;曲阜—枣庄 702 万人/a;枣庄—徐州 792 万人/a;徐州—宿州 638 万人/a;宿州—蚌埠 984 万人/a;蚌埠—滁州 937 万人/a;滁州—南京 993 万人/a;南京—镇江 528 万人/a;镇江—常州 838 万人/a;常州—无锡 782 万人/a;无锡—苏州 492 万人/a;苏州—上海 639 万人/a。

2012 年京沪高铁本线 200 km/h 单向客流区段密度如下:北京—廊坊 528 万人/a;廊坊—天津 482 万人/a;天津—沧州 568 万人/a;沧州—德州 538 万人/a;德州—济南 542 万人/a;济南—泰州 429 万人/a;泰州—曲阜 482 万人/a;曲阜—枣庄 451 万人/a;枣庄—徐州 394 万人/a;徐州—宿州 472 万人/a;宿州—蚌埠 469 万人/a;蚌埠—滁州 483 万人/a;滁州—南京 518 万人/a;南京—镇江 449 万人/a;镇江—常州 403 万人/a;常州—无锡 387 万人/a;无锡—苏州 382 万人/a;苏州—上海 375 万人/a。

2012 年京沪线上单向跨线高铁运量见表 1。

速度等级/(km·h ⁻¹)	胶济	沪杭	合宁	东南沿海
300	283	173	19	102
200	197	103	24	83

2.1.2 运输方式服务属性的确定

(1) 旅行时间。目前京沪高速铁路本线及跨线均开行了最高速度为 300 km/h 的 G 字头列车和行车速度 200 km/h 的 D 字头列车,本文依照两种列车开行比例计算速度折扣系数,以确定本线与跨线列车的旅行时间。既有铁路运行时间按照现状取值。公路民航预测年度不会有大的改善也按现状取值。

(2) 进出站(场)时间。影响旅客进出站时间的主要因素是城市及市郊道路的交通状况。预测年度,各交通小区进出车站时间根据各地规划的城市道路或其它交通方式的速度、里程确定。由于本文主要进行短期预测,因此认为京沪沿线地区的城市及市郊道路、交通状况改善程度有限,对旅客进出站时间的影响不会太大,2014 年各种运输方式进出站时间依照现状。2015 年随着经济的发展,城市道路交通运输效率将会有所提高,旅客进出站时间按比现状减少 5% 考虑。

(3) 等候时间。本文探讨的旅客在站等候时间以现状为基础,2014 年等候时间按照现有列车开行的实际服务频率来计算;2015 年随着客流需求的增加,列车开行对数将会有所增加,因此按照现状基础上减少 5% 考虑。公路与民航等候时间确定方法与铁路相同。

(4) 运价水平。京沪高铁现行的客运运价水平,G 字头列车平均运价为 0.45 元/人 km,D 字头列车平均运价为 0.25 元/人 km,按照始发站与终到站间不同种类列车开行比例,对高铁运价进行加权平均。另外,既有铁路的快速、旅游客车平均运价为 0.21 元/人 km。按高速公路系统公布票价,京沪区段现状平均运价在 0.6~0.8 元/人 km 之间,预测年度,预测年度比照目前高速公路已通车地区运价率计算旅客票价。民航旅客票价在预测年度基本按现状公布票价考虑。

(5) 其它费用。公路旅客的其它费用主要是旅客进出站场费用,预测年度对旅客进出站场费用影响较小,按维持现状不变考虑。民航旅客的其它费用包括旅客进出机场费用、机场建设费及保险费,也按维持现状不变考虑。

(6) 旅客时间价值。预测中的时间价值是通过京沪通道客流调查所得,调查旅客为节省1、2、3 h的旅行时间旅客愿多支付的票价来体现旅客出行时间价值。调查结果表明,旅客的时间价值基本与收入成正比相关,见表2。再结合京沪通道内不同收入旅客所占的比例,计算出旅客平均时间价值约为40元/h。

表2 旅客时间价值与收入关系

收入/元	有效问卷数量/份	1 h 时间价值/元	2 h 时间价值/元	3 h 时间价值/元
0~1 000	3 003	30.57	58.02	86.51
1 000~2 000	4 274	35.96	66.03	99.88
2 000~4 000	7 636	40.26	72.54	109.85
4 000~6 000	3 115	45.50	82.83	125.11
6 000~8 000	887	52.69	94.50	140.98
8 000及以上	697	56.81	106.24	156.61

按车种分析乘坐不同客运产品旅客的时间价值,乘坐300 km速度等级列车的旅客时间价值为51元/h,乘坐200 km速度等级列车的旅客的时间价值为44元/h,其他既有线旅客时间价值为34元/h,见表3。

表3 乘坐不同车种旅客的时间价值

车种	有效问卷数量/份	1 h 时间价值/元	2 h 时间价值/元	3 h 时间价值/元
“G”字头列车	1 224	50.94	89.59	130.25
“D”字头列车	5 770	43.97	80.60	120.83
其它列车	14 369	34.26	61.37	93.17

2.2 京沪高速铁路运量预测结果及分析

采用“三阶段法”对京沪高铁本线及跨线客流进行运量预测,预测结果及分析如下:

2.2.1 本线客流预测结果

由于京沪通道内高速铁路本线、京津城际铁路、沪宁城际铁路已经开通,预测时考虑京津与沪宁城际铁路的趋势客流,测算北京—天津段、南京—上海段的城际客流具有较低的转移比例,其他区段包括徐州、济南、南京、上海等大站承担京沪高铁本线与跨线大站之间的客流交流,因此高速铁路所占运输方式份额较大。

2014年京沪高铁本线300 km/h单向客流区段密度如下:北京—廊坊1 264万人/a;廊坊—天津1 239万人/a;天津—沧州1 421万人/a;沧州—德州1 340万人/a;德州—济南1 320万人/a;济南—泰州1 028万人/a;泰州—曲阜1 178万人/a;曲阜—枣庄1 172万人/a;枣庄—徐州1 118万人/a;徐州—宿州1 020万人/a;宿州—蚌埠1 325万人/a;蚌埠—滁州1 312万人/a;滁州—南京1 421万人/a;南京—镇江953万人/a;镇江—常州1 204万人/a;常州—无锡1 100万人/a;无锡—苏州724万人/a;苏州—上海1 001万人/a。

2015年京沪高铁本线300 km/h单向客流区段密度如下:北京—廊坊1 585万人/a;廊坊—天津1 573万人/a;天津—沧州1 835万人/a;沧州—德州1 732万人/a;德州—济南1 713万人/a;济南—泰州1 348万人/a;泰州—曲阜1 536万人/a;曲阜—枣庄1 528万人/a;枣庄—徐州1 460万人/a;徐州—宿州1 336万人/a;宿州—蚌埠1 777万人/a;蚌埠—滁州1 759万人/a;滁州—南京1 887万人/a;南京—镇江1 278万人/a;镇江—常州1 655万人/a;常州—无锡1 520万人/a;无锡—苏州971万人/a;苏州—上海1 368万人/a。

2014年京沪高铁本线200 km/h单向客流区段密度如下:北京—廊坊384万人/a;廊坊—天津371万人/a;天津—沧州424万人/a;沧州—德州409万人/a;德州—济南401万人/a;济南—泰州328万人/a;泰州—曲阜307万人/a;曲阜—枣庄304万人/a;枣庄—徐州273万人/a;徐州—宿州337万人/a;宿州—蚌埠346万人/a;蚌埠—滁州374万人/a;滁州—南京380万人/a;南京—镇江335万人/a;镇江—常州328万人/a;常州—无锡307万人/a;无锡—苏州280万人/a;苏州—上海260万人/a。

2015年京沪高铁本线200 km/h单向客流区段密度如下:北京—廊坊288万人/a;廊坊—天津282万人/a;天津—沧州328万人/a;沧州—德州318万人/a;德州—济南311万人/a;济南—泰州256万人/a;泰州—曲阜235万人/a;曲阜—枣庄234万人/a;枣庄—徐州207万人/a;徐州—宿州267万人/a;宿州—蚌埠275万人/a;蚌埠—滁州289万人/a;滁州—南京292万人/a;南京—镇江267万人/a;镇江—常州262万人/a;常州—无锡245万人/a;无锡—苏州219万人/a;苏州—上海202万人/a。

京沪高速铁路300 km/h客流最大区段密度出现在天津—济南段,2014年超过1 300万人/单向,2015

年超过 1 700 万人/单向。最小区段密度出现在常州—上海段,造成预测年度改变的主要原因是由于沪宁城际高速铁路分流了京沪高铁上南京—上海间绝大部分城际流,宁杭城际高速铁路分流了部分南京及以远至杭州及以远长客流,造成京沪高铁上此区段密度较小。京沪高速铁路 300 km/h 本线总运量 2014 年为 2 978 万人/单向、2015 年 3 982 万人/单向。

2.2.2 跨线客流预测结果及分析

目前,与京沪高铁相关联的线路主要有胶济高铁、沪杭城际、合宁高铁、及东南沿海高铁(主要为杭州—宁波—台州—温州—福州段)等,其中胶济高铁主要是以济南为跨线点,开行 D 字头和 G 字头跨线列车;沪杭城际主要以上海为跨线点,开行 D 字头和 G 字头跨线列车;东南沿海高铁主要是通过沪杭城际连接与京沪高铁产生跨线,开行的是 D 字头列车。本文预测的合宁高铁跨线客流主要包括与京沪高铁本线南京—上海区段车站的跨线客流、经过南京—上海区段与沪杭、东南沿海高铁的跨线客流。结合“三阶段法”预测出各条线路与京沪高速铁路预测年度的跨线运量如表 4。

表 4 京沪高铁单向跨线运量预测结果

万人/a

年度	列车等级/(km·h ⁻¹)	胶济	沪杭	合宁	东南沿海
2014 年	300	450	310	41	182
2014 年	200	150	80	18	64
2015 年	300	638	443	56	262
2015 年	200	120	58	16	57

因为是短期运量预测,与传统的“四阶段法”相比,“三阶段法”在趋势运量预测中采用组合预测模型,坚持以时间序列预测模型为主、影响因素预测模型为辅的原则,通过组合尽可能的利用全部信息,提高预测精度,克服了“四阶段法”采用重力模型仅考虑人口或经济等个别单一因素,而且采用重力模型预测趋势运量时需要繁多的历史年及未来年的国民经济数据。“三阶段法”在趋势运量预测完之后,采用国际上通用的多元 LOGIT 模型进行方式分担,最后由诱增模型进行高速铁路诱增运量的预测,因此整个过程完全符合预测的逻辑规律。预测过程中的数据也是经过大量的调查统计所得,各个模型的参数也是通过大量历史年份数据拟合确定的,因此“三阶段法”预测结果的可信度比较高。与“四阶段法”相比,预测过程中考虑了一系列的时变性和特殊性因素,因此,“三阶段法”比“四阶段法”预测结果更加贴近实际。

3 结论

“三阶段法”在预测年度的 OD 分布预测中考虑了诸如路网构成变化、区域经济布局变动、区域经济增长速度差异等一系列具有时变性和特殊性因素。首先采用的组合预测模型更强调来源于不同信息的各种预测,而非构造复杂的单项预测,从而具有更高的预测性能和出现极端预测误差的更小风险。采用多元 LOGIT 模型进行方式分担时,有关参数的标定是通过各 OD 对间的时间、费用、服务水平等多种因素综合确定,本文考虑了这些因素时变性的特点,使参数标定值更加准确。在运量诱增模型中,不仅考虑了时间费用因素,还考虑了安全、舒适、方便性等其它因素。通过以上“三阶段”预测方法,可以使高铁运量预测更加合理,预测结果也就更加准确。

参 考 文 献

- [1] 宋光平. 铁路货运量预测方法研究[D]. 北京: 北京交通大学经济管理学院, 2007.
- [2] 郝佳, 李澜. 铁路货运量组合预测模型的研究[J]. 铁道运输与经济, 2004, 26(11): 73-75.
- [3] 刘娜. 客运专线客流预测理论研究及实际应用[D]. 北京: 北京交通大学交通运输学院, 2006.
- [4] 高麟. 我国发展区域城际快速铁路的相关问题的研究[D]. 成都: 西南交通大学交通运输与物流学院, 2006.
- [5] 南敬林. 京沪通道旅客行为价值研究[J]. 铁道运输与经济, 2002(3): 36-38.
- [6] 高木, 清倩. 京沪高速铁路运量预测[J]. 中国铁路, 2000(12): 24-26.
- [7] 金琰. 成绵峨城际客运专线客运量预测研究[D]. 成都: 西南交通大学交通运输与物流学院, 2007.
- [8] 何莉华. 高速铁路对大通道客运体系作用的评价—以京沪大通道为例[D]. 北京: 北京交通大学经济管理学院, 2009.

Short-term Traffic Forecast of the High-speed Railway Based on “Three-stage method”

Li Kai

(College of Transportation and Logistics Southwest Jiaotong University ,Chengdu 610031 ,China)

Abstract: Considering the time-varying and special factors in the forecast of China's OD distribution in the coming years , such as the road network structure changes , changes in the regional economic layout , and different speeds of regional economic growth , this paper mainly uses the “three-stage method” evolved on the basis of the “four-stage method” for the short-term forecast of the high-speed railway traffic volume. First , Combination Forecast Model is used to forecast the trend traffic volume , then , Multivariate LOGIT Model is used to forecast the share of each mode of transportation , and finally Elasticity Coefficient Induced Model is used to forecast induced traffic volume. Taking an example of Beijing-Shanghai high-speed railway , this paper uses the “three-stage method” to forecast the original-line and cross-line traffic volume in 2014 and 2015.

Key words: three-stage method; railway traffic volume forecast; Combination Forecast Model; multivariate LOGIT model; elasticity coefficient induced model

(责任编辑 车轩玉)

~~~~~  
( 上接第 89 页)

## Comprehensive Assessment on Transportation Safety of Railway Station Specialized for Dangerous Goods Based on Multi-level Grey Evaluation Method

Zhang Chao

( School of Transportation and Logistics Southwest Jiaotong University , Chengdu 610031 , China )

**Abstract:** This paper puts forward the multi-level grey evaluation method applied in the railway dangerous goods transport station safety evaluation in view of the fact that the station safety evaluation indexes of railway dangerous goods are many and most of them are qualitative evaluation. Firstly , through the analysis of the influence factors of railway dangerous goods transportation , this paper establishes evaluation index system. At the same time , both AHP and entropy method are combined to calculate the weights in the determination of weight of each index. Then this paper assesses each index using the grey evaluation principle and obtains the comprehensive evaluation result on this basis.

**Key words:** transportation of dangerous goods; multi-level grey evaluation method; AHP; entropy evaluation method

( 责任编辑 车轩玉)