

改进重力模型在铁路客运量预测中的应用

李凯, 马驷, 许传粉, 汪颖, 褚岩

(西南交通大学 交通运输与物流学院, 四川 成都 610031)

摘要: 对重力模型参数随时间变化的规律进行了研究, 用正弦函数描述了重力模型参数的波动规律, 改进了原有重力模型将参数标定为常数的缺陷, 并通过数据拟合对实例进行了验证, 结果表明该模型预测精度较高。

关键词: 重力模型; 铁路运输; 运量预测

中图分类号: U29 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)04-0094-05

重力模型在交通流的分配领域占有重要的地位, 同时也是“四阶段法”进行趋势运量预测中的主要手段。但是传统四阶段法不太适合铁路客运需求预测的实际, 在前人基础上引进了影响重力模型预测结果准确性的影响因子, 对重力模型进行改进, 并进行交通量的预测, 进一步完善其在铁路客运量预测中的应用。

1 重力模型基本形式

重力模型是通过模拟牛顿定律产生的 OD 分配模型, 该方法假定 A、B 两地间的交通量与 A 地区的交通发生量、B 地区的交通吸引量成正比, 与两地间的交通阻抗成反比。在运量预测上, 假定该模型的交通发生量和交通吸引量为促进两地之间产生交通交流的因素, 此处称为社会经济因素。

因而重力模型在运量预测时可以写成以下形式

$$T_{ij} = k \frac{SE_i^\alpha SE_j^\beta}{(f(R_{ij}))^\gamma} \quad (1)$$

式中, T_{ij} 表示城市 i 到 j 之间的客运量; k 为比例常数(根据实际两地之间的距离和经济发展程度确定); SE_i 、 SE_j 分别为城市 i 和 j 两个城市的社会经济因素; R_{ij} 为两点间的交通阻抗; $f(R_{ij})$ 为两地间的阻抗函数; α 、 β 、 γ 为分别 SE_i 、 SE_j 和 $f(R_{ij})$ 的修正系数^[1]。

2 改进模型

四阶段法中重力模型的应用基本是在标定上述模型中的重力参数后直接应用于今后该地区的运量预测, 然后通过重力模型参数构造一定的交通诱增量, 得到未来年份的预测运量。这种做法特别适用于交通发展水平很高的两地间运量预测, 但是它忽略了重力模型的系数在交通发展水平不高或者中等时, 随着交通量推动因素和交通阻抗及时间变化会有波动规律。而我国各地区之间交通运输发展水平差异较大且影响运输水平的因素变化波动性强, 因而在利用不变参数的重力模型进行运量预测时, 会存在一定的误差; 并且这种标定方法每进行一次客运量预测, 就需要重新标定一次, 不但繁琐且影响预测精度。

2.1 模型参数改进

将上述模型中的 α 、 β 分别称为出发城市的推动系数和到达城市的吸引系数。以往对系数 α 、 β 的标定主要采用最小二乘法或试算法, 通过对已标定的参数进行研究发现, 参数 α 、 β 随时间变化的值虽有不同,

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2014.04.20

收稿日期: 2013-04-29

作者简介: 李凯 男 1989 年出生 硕士研究生

但当考虑的两个城市 i 和 j 在经济、人口等差距不大时,其值非常相近。为简化计算,在使用重力模型进行客运量预测时,常取参数 α, β 为同一个值,即 $\alpha = \beta = C$ (其中 C 为某一随时间变化的函数)^[3],使用这种方法,通常可以得到较理想的分布预测结果。因此,为了降低数据拟合的难度,本文将使用一个变化的参数来表示 α, β 。

γ 为阻抗函数的修正系数,主要与两地间影响旅客出行的阻力有关,通常被称为距离衰减参数,其中距离的衡量可以是两地间的实际距离,也可以是出行时间或费用等。对以往模型中 γ 的标定结果进行分析研究,发现对于不同的样本组,该参数的变化规律是类似的,即都表现为随着时间的变化呈现出一种波动性。但不同的样本组之间参数的时间路径却是不一样的^[4]。因此,在使用重力模型对客运量进行预测时,可以将阻抗函数的修正系数 γ 表示为一随时间变化的函数。

k 为重力模型的比例系数,是根据实际两地之间的距离和经济发展程度确定的。根据国内外采用重力模型进行运量预测实际情况来看,如果两个地区是确定的,重力模型的比例系数在短期内变化不大,因此本文确定 k 为重力模型的比例常数,即在改进重力模型中,假定随时间变化 k 保持不变。

通过对众多采用重力模型进行客运量预测的实例分析,可以看到模型中的出发城市推动系数、到达城市吸引系数以及阻抗系数总是维持在一定的水平之中,参数的变化实质上是有增有减的变化路径。根据国内采用重力模型进行铁路运量预测时确定出来的重力模型参数随时间呈现波动性变化,并且模型中的出发城市推动系数、到达城市吸引系数以及阻抗系数的波动并非没有界限,而是在一定的区间范围内波动。再结合三个系数的波动周期具有一致性,本文提出重力模型参数随时间的变化所呈现出特定的波动规律采用正弦函数的形式来描述,转化成数学公式为

$$\alpha(t) = \beta(t) = k_1 \sin(a_1 t + b_1) + c_1, \gamma(t) = k_2 \sin(a_2 t + b_2) + c_2 \quad (2)$$

2.2 改进模型

基于上述讨论,为了使预测结果更加精确,对原来的无约束重力模型进行一定的改进,使其参数不再是常数,而是随时间变化的函数。改进后的重力模型

$$T_{ij} = k \frac{(SE_{ij})^{\alpha(t)}}{(f(R_{ij}))^{\gamma(t)}} \quad (3)$$

式中, $\alpha(t), \gamma(t)$ 为重力模型的修正函数,城市 i 的交通发生量与城市 j 的交通吸引量取为同一个修正函数。

3 客运量预测实例

以实际铁路线路中 A, B 两地间以及 C, D 两地间客运量预测为例进行研究,使用改进后的重力模型对参数进行标定,根据参数变化的规律寻求函数表达式,并分析其可靠性。

影响两地间客运量预测的因素很多,其中作用最为明显的是两地间人口和经济发展水平。为了使预测结果更加精确,并与实际相符,本文采用人口和两地的 GDP 两个因素共同作为重力模型中的指标。

阻抗参数代表了两地间的出行阻力,主要是用于拟合出行量与两地间的距离关系。本文结合铁路运输的复杂性,用综合阻抗作为两地间的阻抗函数,其中包含出行时间、距离等。

$$R_{ij} = \sum a_k R_k + \delta \quad (4)$$

式中, R_{ij} 为 A, B 两地间的综合阻抗; R_k 为第 k 个影响因素的阻抗; a_k 为阻抗 R_k 的权重; δ 为修正系数^[5]。

3.1 实例1

选取 2002—2011 年间实际铁路线路中 AB 区段值为计算值,2012 年的客运量为预测值。数据如表 1 所示。

对模型两边取对数,转化为一个线性函数,采用 SPSS 软件对参数 α, γ 进行多元线性回归拟合,得出 2006—2011 年重力模型中 α, γ 值,如表 2,表 2 中 t 表示未来时间年限,单位为 a,基年为 2005 年,即 $t = 0$ 表示 2005 年。

然后采用正弦函数拟合重力模型参数值随时间的波动规律,如图 1、图 2。

表 1 A、B 两地 GDP、人口和客运量

年份	GDP/亿元		人口/万人		A-B 区段客运量/人
	地区 A	地区 B	地区 A	地区 B	
2002	364.88	748.08	245.65	497.38	283 161
2003	432.65	858.52	250.30	510.30	319 828
2004	533.73	999.08	254.78	516.30	341 402
2005	778.26	1 146.89	263.04	533.21	369 390
2006	891.14	1 327.34	270.95	540.97	389 387
2007	1 114.63	1 329.53	276.79	549.19	403 642
2008	1 280.56	1 935.51	281.29	554.73	432 045
2009	1 422.45	2 315.06	285.16	561.58	445 967
2010	1 622.29	2 762.92	285.01	562.65	478 275
2011	1 820.12	3 164.21	287.37	567.39	509 044
2012	2 051.42	3 590.24	288.33	570.21	518 941

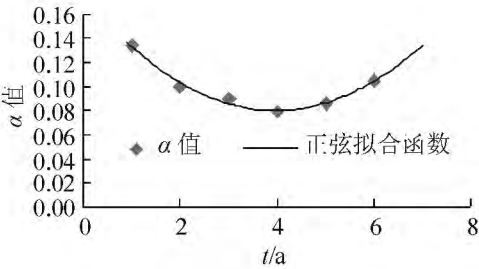


图 1 α 值随时间的变化规律

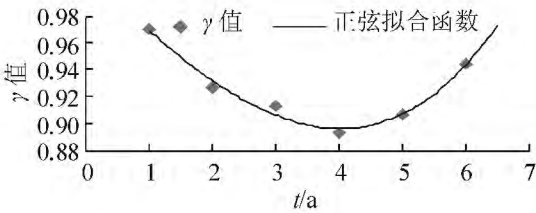


图 2 γ 值随时间的变化规律

从图 1、图 2 拟合得出 α 、 γ 随时间变化的函数。其中,参数 α 随时间变化的函数

$$y = 0.031\sin(0.897t + 1.122) + 0.109 \tag{5}$$

参数 γ 随时间变化的函数

$$y = -0.029\sin(0.897t - 1.772) + 0.931 \tag{6}$$

对 2012 年的运量采用改进的重力模型进行预测,预测出的 2012 年 AB 区段的客运量为 557 740 人,实际客运量为 532 201 人,预

测的相对误差为 4.80%,因此,改进的重力模型预测结果的可靠性比较高。

3.2 实例 2

选取 1998—2009 年间实际铁路线路中 CD 区段值为计算值,2010 年和 2011 的值为预测值。数据如表 3。同实例 1,拟合结果如表 4,表 4 中, t 表示未来时间年限,基年为 2003 年,即 $t = 0$ 表示 2003 年。

表 3 C、D 两地 GDP、人口和客运量

年份	GDP/亿元		人口/万人		C-D 区段客运量/人
	地区 C	地区 D	地区 C	地区 D	
1998	1 102.59	1 602.38	997.00	3 059.69	322 348
1999	1 190.03	1 663.20	1 003.56	3 072.34	402 283
2000	1 312.99	1 791.00	1 013.35	3 091.09	489 382
2001	1 492.04	1 976.86	1 019.90	3 097.91	602 837
2002	1 667.1	2 232.86	1 028.48	3 113.83	757 834
2003	1 044.31	1 870.89	1 044.31	3 130.10	60 267
2004	2 031.07	3 034.58	1 059.69	3 144.23	788 553
2005	2 375.99	3 467.72	1 082.03	3 169.16	848 535
2006	2 772.17	3 907.23	1 103.40	3 198.87	902 873
2007	3 364.78	4 676.13	1 112.28	3 235.32	941 911
2008	3 900.99	5 793.66	1 124.96	3 257.05	984 216
2009	4 502.60	6 530.01	1 139.03	3 275.61	1 065 662
2010	5 551.33	7 925.58	1 142.69	3 303.45	1 207 383
2011	6 854.13	10 011.13	1 404.76	3 329.81	1 386 887

从图3、图4中可以得出 α 、 γ 随时间变化的函数。其中,参数 α 随时间变化的函数

$$\gamma = 0.0035 \sin(2.0944t + 1.5708) + 0.1795 \quad (7)$$

参数 γ 随时间变化的函数

$$\gamma = 0.008 \sin(2.0944t + 1.5708) + 0.017 \quad (8)$$

根据以上 α 、 γ 随时间变化的规律,得到其随时间变化的函数。根据此函数,对重力模型进行标定。然后对2010年和2011年的运量通过改进后的重力模型进行预测,并与实际运量相比较,见表5。

表4 拟合出的 α 和 γ 值

年份	时间 t	α 值	γ 值
2004	1	0.197	0.014
2005	2	0.176	0.007
2006	3	0.183	0.023
2007	4	0.179	0.018
2008	5	0.176	0.014
2009	6	0.185	0.28

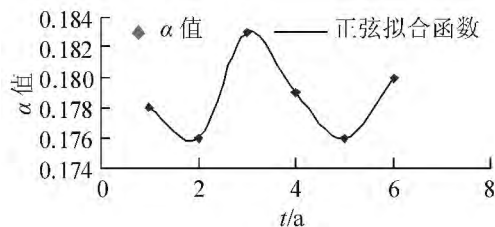


图3 α 值随时间的变化规律

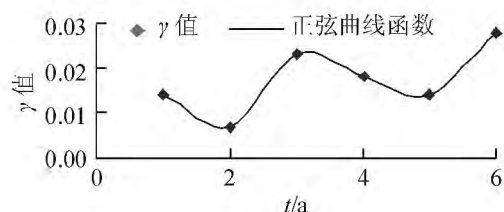


图4 γ 值随时间的变化规律

表5 运量比较

年份	实际运量/人	预测运量/人	相对误差/%
2010	1 207 383	1 169 111	3.27
2011	1 386 887	1 315 333	5.44

由表5所示,采用的改进重力模型对CD区段进行运量预测,预测结果中2010年的相对误差为3.27%,2011年的相对误差为5.44%,由此可得,采用改进的重力模型具有很高的预测精度。改进重力模型的预测精度较高,但也并非适用于任意两个地区之间。因此,为了保证客运量预测的精确度,改进重力模型在使用时需有一定的适用条件,参数的正弦函数波动规律适用于两个规模相当,并且经济发展稳定的地区之间。每两个地区之间重力模型参数的正弦波动函数一般都不相同,参数的正弦波动规律是由所要进行运量预测的两个地区本身属性和两者之间联系属性共同决定的,因此在实际应用中需要结合两个地区之间的历史年运量数据及两个地区的国民经济数据来确定模型中适用于两地之间参数的正弦函数波动规律。

4 结论

传统重力模型结构简单、适用范围广,但是参数标定的过程比较复杂,在一定程度上限制了其在其它方面的使用。本文在以前研究的基础上,研究重力模型参数本身的变化情况,发现参数随时间变化的规律并建立能够反映时间变化对重力模型本身参数影响的函数关系。算例结果表明,采用上述方法能够在不重复拟合参数值的情况下对铁路运量进行连续预测,预测精度较高,对完善重力模型在铁路运量预测中的应用有着积极意义。

参考文献

- [1] 赵长江. 长大干线铁路客运量预测方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2004, 4(3): 92-96.
- [2] 邹文杰, 孙静怡, 胡立伟, 等. 在公交客流分布预测中重力模型的参数标定及其应用研究[J]. 交通与计算机, 2006, 24(2): 47-51.
- [3] 戴特奇, 刘毅. 重力模型系数时间变化路径分析——以中国城际铁路旅客交流为例[J]. 地理科学进展, 2008, 27(4): 110-116.
- [4] 杨天宝, 刘军. 应用改进重力模型法预测铁路行包OD运量的研究[J]. 铁道运输与经济, 2006, 28(3): 84-87.

(下转第103页)

paper. mainly conducts research and design in Routing protocols of data acquisition layer and hardware in the system, analyzes the differences between the wireless meter reading system and the traditional wireless meter reading system and designs the network transmission protocol and the whole structure of the data collection layer. Communication between wireless nodes works in 433 MHz Band under strong penetrating power, which can guarantee the stability and speed of Ad Hoc network.

Key words: wireless meter reading; wireless ad hoc networks; CC1101; routing protocol

(责任编辑 刘宪福)

(上接第 93 页)

Path Selection for Road Transport of Hazardous Chemicals with Time Window Constraint

Xia Chao

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

Abstract: Through the analysis of existing transport models for hazardous chemicals, according to the characteristics of the current distribution network for hazardous category logistics, this paper puts forward the distribution model with time window constraints for hazardous goods in urban road network, with the expectations of the least accident occurrence in the network and the minimum number of people affected as the target. The target integration and label propagation method for solving the integrated objective function is designed to calculate the multi-objective problem of Pareto optimal compromise solution. Finally, the algorithm is verified with a practical example.

Key words: hazardous materials transportation network; transportation mode; time windows; ant colony algorithm

(责任编辑 车轩玉)

(上接第 97 页)

Application of Improved Gravity Model in the Railway Passenger Traffic Volume Forecast

Li Kai, Ma Si, Xu Chuanfen, Wang Ying, Chu Yan

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

Abstract: This paper studies the law of gravity model parameters changing over time, using a sinusoidal function to describes the volatility of the gravity model parameters, improving the defects of original gravity model in which the parameters are calibrated as a constant, which is validated with instances through data fitting, and the results show that the prediction accuracy of the model is high.

Key words: gravity model; railway transportation; traffic volume forecast

(责任编辑 刘宪福)