■ 文章编号:1672-5328(2012)01-0026-06

郑州市交通模型开发与应用:困惑与创新

Research and Development of Transportation Planning Models in Zhengzhou: Problem & Innovation

吴子啸，付凌峰
(中国城市规划设计研究院,北京 100037)
Wu Zixiao, Fu Lingfeng
(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China)

摘要： 由于出行涉及社会、地理、工程、信息等多个领域并且诸多因素相互作用,交通模型的开发和应用往往受制于数据获取、建模理论、时间与费用预算等现实约束。以郑州市为例,探讨交通模型开发和应用中的理论困惑与技术创新。首先对比传统的基于出行的模型和基于活动的模型的优缺点及局限性。然后,针对交通模型开发所采用的基于出行的建模理论和四阶段建模方法,重点阐述建模的困难所在及内在的理论瑕疵,并探讨OD反推、生成量模型等新方法在传统需求分析框架中的应用。在此基础上,提出交通模型在短期预测和近期预测方面的应用框架。

Abstract： Because travel demands are affected by a host of factors such as social economic development, geographic layout, infrastructure development and information technology, development of transportation planning models is often restricted by data availability, modeling theory, time, budget, and etc. Taking Zhengzhou as an example, this paper discusses the problems of theoretical complexity and technique innovation in transportation model development and application. The paper first compares the functionalities and limitations of traditional trip-based models with the activity-based models. Focusing on trip-based and four-stage modeling approaches, the paper elaborates the challenges and theoretical drawbacks in model development and discusses how to introduce new methodologies such as OD estimation and traffic generation model in traditional travel demand analysis. Finally, the paper presents the application framework of transportation planning model on forecasting short-term and medium-term travel demand.

关键词:交通规划;交通模型;基于出行的模型;需求预测;OD反推
Keywords: transportation planning; transportation model; trip-based model; demand forecasting; origin-destination estimation
中图分类号： U491.1+2　　文献标识码： A

收稿日期: 2011-11-20
基金项目:国家自然科学基金项目“基于需求不确定性的OD矩阵估算模型与算法研究”(70901073/G0103)
作者简介:吴子啸(1970—),男,陕西岐山人,博士,高级工程师,主要研究方向:多模式交通系统建模与优化。E-mail:wuzx@caupd.com

近半个世纪以来，交通需求分析模型在交通系统设施规划和交通政策评价中得到日益广泛的应用。传统和广为应用的交通模型采用基于出行的建模理论，包含出行产生、出行分布、方式划分和交通分配四个阶段[1]。对于经典四阶段模型的批评和改进贯穿于近年交通模型理论和实践的发展历程中[2]。先进建模理论的不断涌现使模型工程师面临更多的权衡和选择，面对具体的交通系统、不同的需求特征、特定的社会经济发展阶段等众多因素约束，交通模型开发和应用中往往有不少令人困惑的地方。本文以郑州市交通模型开发和应用为例，阐述建模主要环节对于方法技术选择的考量及整体一致性的问题。

1 交通模型的开发

1.1 建模理论

传统交通模型是基于出行的模型，即以一次出行为基本分析单元。一次出行与两个场所相联系，即出行的起讫点。当把出行作为基本分析单元时，一个出行者多次出行相关联的起讫点间的空间次序关

系便被忽略。当交通系统中存在众多的链式出行时(如下班途中先去购物然后再回家)，传统交通模型的缺陷将被放大。基于活动的模型似乎提供了一个很好的解决方案，此类模型把一个巡回(即从家出发，经过一系列场所后回到家的封闭出行链)作为基本分析单元[3]。然而，这个在理论上更为先进的模型需要更为翔实的数据进行标定，意味着需要进行更为复杂和昂贵的交通调查，数据质量往往较差。因此，建模理论上的先进程度并不代表更高的精度，也不是建模选择的唯一依据。

显然，当交通系统中的绝大多数出行属于从家出发，进行完一个活动后(即完成一个出行目的)直接回家，那么以上两种模型的结果将趋于一致。传统交通模型对于出行起讫点间的空间次序关系的忽略导致其在描述非基于家的出行时产生较大的误差。当非基于家的出行所占比例很低时，基于出行的模型比基于活动的模型具有更多的优势(如易于实施等)。以郑州市居民出行为例，非基于家的出行仅占总出行的9%，见表1。由此可见，尽管传统交通模型对于非基于家的出行建模存在较大的误差，但对于总体出行产生而言影响甚微。对于非基于家的出行的准确建模和预测取决于对链式出行形成机理的把握，在这一方面，无论是基于活动的模型还是基于出行的模型都或多或少有所欠缺。

1.2 模型架构

郑州市交通需求分析模型的总体框架如图1

表1 郑州市居民出行产生模型值与调查值回归分析

Tab.1 Regressive analysis on trip generation results from model and survey data in Zhengzhou

出行目的	比例/%	R^2
基于家的上班出行	37	0.97
基于家的上学出行	8	0.88
基于家的购物、餐饮出行	17	0.90
基于家的其他出行	29	0.92
非基于家的出行	9	0.54
总体	100	0.97

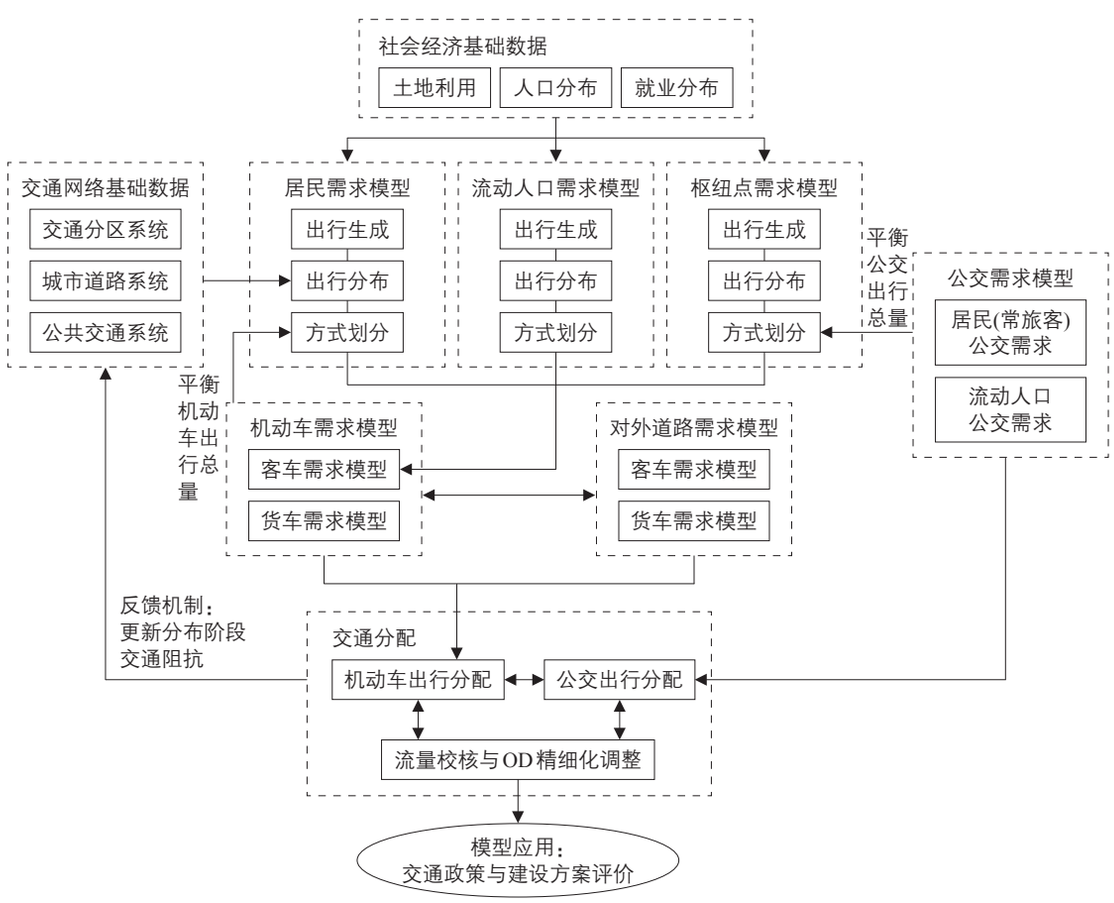

图1 交通需求分析模型总体框架

Fig.1 Framework of travel demand analysis models

所示，涉及出行产生、出行分布、方式划分和交通分配四个阶段。为克服传统四阶段建模流程的显著缺点(即四阶段模型的依序进行，上一阶段模型的输出结果作为下一阶段模型的输入数据，导致最终结果与分析过程中一些参数的不一致)，模型引入反馈机制，即将交通分配后的出行阻抗(或服务水平)反馈至出行分布阶段，经过迭代循环确保分配结果的合理性与稳定性[4]。反馈机制为几乎相互独立的模块之间建立了特定的联系，实现了模型的一致性。然而，现实出行决策中许多因素的相互联系和相互作用，仍然没能或很好地在现有的模型架构中得以描述。

1) 出行生成模型。

不同属性(如不同家庭人数、小汽车拥有水平、收入水平)的家庭在出行生成特征上有较大的差异，出行生成模型一般以家庭为基本分析单元[5]。居民出行调查也提供了用以标定按家庭特征进行交叉分类的出行生成模型的数据。然而，大多数城市的人口统计中没有详细的家庭特征信息。因此，许多城市的生成模型(如郑州)选择以个人为单元标定模型参数，忽略了不同家庭属性对于个体出行的影响。

在缺乏交通小区家庭信息的情况下，一个家庭子模型可纳入到模型构架中，用以从小区平均的家庭属性参数来生成各种属性家庭的分布，如从小区平均的家庭收入(可从调查获得)生成该小区高收入、中等收入、低收入家庭的比例。小区的其他人口统计特征(如年龄结构)可被引入作为家庭子模型的解释变量，以提高该模型的预测精度。家庭子模型的纳入使得出行生成模型能够以家庭为基本分析单位，从而近似地考虑不同家庭属性参数对于个体出行的影响。

在基于家的出行生成模型中，同一家庭属性的个体具有相同的出行参数。然而，更多的研究表明，家庭成员间的出行决策是相互作用的[6]。例如，在一个人口较多的大家庭中，老年人基本承担了该家庭的生活性出行(如购物等)，就业者基本以基于家的上班出行为主；相比之下，在一个一口之家，除了工作出行，户主还需承担所有生活性出行。一些研究开始探索家庭成员间的互动出行决策建模，但迄今为止的成果距离能够在实际上运用尚有很大差距。

2) 出行分布模型。

与其他城市类似，郑州市出行分布模型采用重力模型，即小区间的出行量与小区生成量成正比、与小区间出行的困难程度成反比。小区间出行的困难程度通常用阻尼函数表示，其为出行时耗或费用的函数。鉴于出行时耗的可获取性(可从居民出行调查直接得到)，通常以出行时耗来标定阻尼函数[7]。另一方面，由于出行时耗具有良好的稳定性，以出行时耗为解释变量可使出行分布模型有很好的应用性(可用于中长期的出行分布预测)。然而，出行时耗数据仅仅反映了出行在时间上的规律(即不同时耗范围出行的分布情况)，出行空间分布规律将无法通过出行分布模型来描述。例如，对于一次耗时15 min的出行，采用步行方式或机动化方式，其出行距离的差异性无法反映在模型中。由此可见，以出行时耗标定的阻尼函数仅仅把握了出行的时间分布规律，而忽略了出行的其他规律。图2是郑州市出行分布模型的标定结果。虽然模型预测结果能够“重现”调查的出行距离分布特征，但其对于各个出行时耗段内出行距离分布规律的把握能力仍无法评价。

在重力模型的阻尼函数中引入其他解释变量(如引入社会经济调整K系数)不仅会增加数据获取的难度，也会影响模型的应用范围。鉴于重力模型的上述缺陷，有一类出行分布模型——目的地选择模型，近年来被提出并在美国的几个城市得到应用[8]。这类模型引入出行者属性、出行条件及代表出行目的地吸引力的参数等。有些学者认为目的地选择模型是优于重力模型的出行分布模型，但尚没有将这两类模型进行对比评价的研究成果。毋庸置疑的是，在引入了很多变量后，目的地选择模型的预测结果将会在很大范围内变动，这会使模型的实用性大打折扣。另一方面，标定目的地选择模型所需要的数据基础也很庞杂，这往往意味着引入更多的误差。

3) 方式划分模型。

由于步行出行对于出行距离非常敏感，所以步行方式可以采用步行转移曲线进行划分。对于

竞争性的交通方式，Logit或内嵌式Logit模型被广泛应用于方式划分模型。由于影响方式选择的因素众多，各方式的效用函数有时会非常复杂。另一方面，用来标定效用函数的数据基础往往不甚理想。例如，居民出行调查的抽样率通常不超过4%，在调查小区数目较多的情况下，调查所获得的小区间分出行目的、分方式OD的数量将非常有限且十分离散，交通小区间各方式的出行时耗数据也往往十分粗略。对公交出行而言，总行程时间由到离站时间、等车时间和车内时间构成(出行者一般对各部分时间有不同的敏感度)，如此详细的数据通常难以获得或精度很低。因此，方式划分模型的预测结果往往很难“重现”现实的方式结构。

在郑州市模型开发过程中，利用公交IC卡数据和公共汽车GPS数据生成动态的公交OD[9]。从动态公交OD可以获得交通小区间详细的公交出行时耗数据(包括各个时间分项)，其他方式的出行时耗矩阵也可以由公交时耗矩阵结合网络模型进行推算，这为方式划分模型标定提供了高精度的数据基础。但由公交系统推算出的公交OD不包含出行目的信息，也就无法弥补居民出行调查样本量不足的缺陷。

4) 交通分配模型。

交通分配模型分为机动车分配和公交分配两部分。在郑州市交通模型中，机动车采用基于路径的多模式平衡分配方法，而公交采用了基于最优策略的容量限制分配方法。

交通分配是四阶段模型的最后一个阶段，此前三个阶段的建模误差都会引入交通分配阶段。因此，将观测流量与模型模拟流量进行比对不仅仅是对交通分配模型的校验，更是对模型整体的校验。

1.3 模型校验与OD调整

即使交通分配前的各阶段模型都经过标定和校验，预测结果也有可能与实际观测值有较大差异。这其中可能有多方面的原因，比如交通流受各种随机因素影响，每天都在变化。而更重要的原因是受数据可获取性、建模可操作性等客观条件制约，各阶段模型只是刻画出行在某些方面的主要规律，而现实中众多出行者的出行决策却是多种因素相互交织、相互作用的结果。

为了使预测流量与观测值相匹配，可对交通分配前各阶段的模型参数进行调整。这可以称为一种“试试看”的方法，因为每次调整都不一定能保证预测流量与观测值的差距减小。另外一种方法是根据观测值来调整OD，当把调整后的OD在交通网络上进行分配时，能够或在一定程度上“重现”观测值，即OD反推方法[10]。这种方法可被构造为精致的数学模型并采用诸多成熟的算法

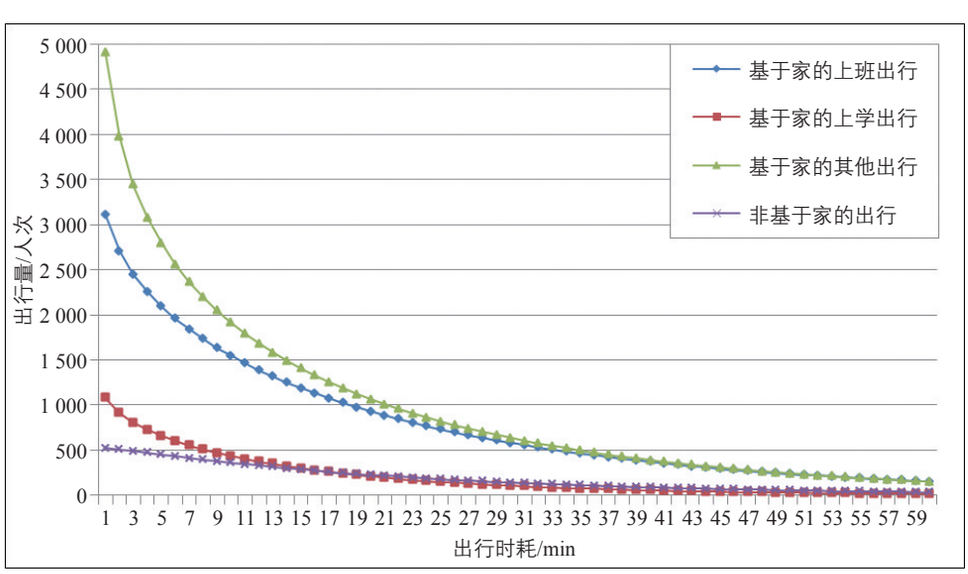

图2 不同目的出行分布模型标定结果

Fig.2 Calibration results of trip distribution model by different trip purposes

来确保预测流量接近观测值。大部分交通需求商业软件也提供了进行这项工作的一些程序[11]。

图3为经过机动车OD反推后郑州查核线路段机动车预测流量与观测值拟合度的回归分析。可以看出，尽管用于校核的观测值数据来自一年中不同时期和不同区域的多次交通调查，调整后的机动车OD仍能给出与观测值具有较高拟合度的预测流量。然而，当出行OD不是由方式划分模型获得时，预测结果与土地利用的(单向)联系也就此割断，这也将模型的应用空间限制在一个非常狭小的范围(仅能用于短期内的交通分析)。公交分配面临同样的问题。而与模型能够“重现”实际网络流量分布同等重要的是，模型应能反映土地利用变化、交通政策等对出行的影响。

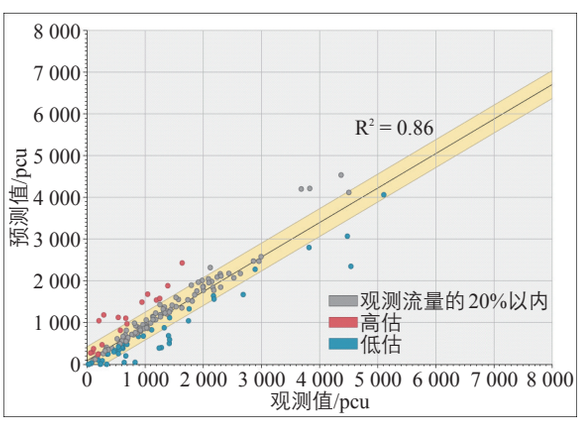

图3 高峰小时路段机动车预测流量与观测值拟合度回归分析

Fig.3 Goodness of fit of traffic volume from model and observation during peak hour

2 交通模型的应用

2.1 短期预测

在对机动车OD和公交OD进行调整后，交通分配模型具有“重现”网络交通量分布的能力。在短期内，可以认为土地利用不会有显著变化，则模型可用来分析交通设施变动及交通管理措施，如道路设施的年度改造、建设计划、交通组织方案、公交线路的调整等。图4为特定道路建设方案的模型测试分析，模型可以模拟出道路建设前后网络流量的转移与变化情况。图中绿色流量表示新建高架路后诱增的交通量，而红色流量表示由于新建高架路而转移出去的交通量。

虽然OD调整割裂了交通分配与其前面几个阶段的联系，使预测结果无法反映土地利用变化对出行的影响，但将OD反推模块并入交通分配模型后，模型可根据最新的调查数据进行更新(不需要经过繁琐的四阶段过程)，而新的调查数据也可以认为是已经体现了最新土地利用变化对出行的影响。在这个意义上，模型更新的过程将模型与最新的土地利用建立了联系。

2.2 近期预测

1) OD差分法的应用。

现状模型OD调整前后的差异可以认为是由四阶段模型无法把握的因素和(或)其内在的缺陷所致。也就是说，四阶段模型预测的OD在追加

图4 新建高架路前后网络机动车流量变化

Fig.4 Motorized traffic flow distribution before and after the opening of an elevated roadway

OD调整前后的差异值后(即等于调整后的OD)才进一步接近客观现实。在进行近期预测时，由于要考虑土地利用变化对出行的影响，仍然采用四阶段模型进行预测。另外，考虑到四阶段模型本身的缺陷和众多未纳入模型的影响因素，需要对近期预测的OD进行调整。那么，切实可行的方法是将现状模型的预测差异值(即调整后的OD减去调整前的OD)叠加到近期预测的OD上去，这种方法被称为OD差分法[12]。可以预期，这种调整能在一定程度上提高预测的精度。

2) 新方法的探索。

由于经过调整的机动车或公交OD能够再现观测流量，可以认为其所代表的空间分布状态是相对合理的。聚合调整后的OD可得到交通小区机动车或公交生成量。在此基础上，可以标定一种新的生成量模型，将某种方式(机动车或公交)的生成量表达为交通小区土地利用属性(如人口数量、人口密度、就业岗位数、就业岗位密度等)、交通服务水平(如可达性)等的函数。也就是说，直接建立了某种方式的生成量与土地利用、该方式服务水平等因素的关系。实际上，在郑州市交通模型开发中，公交OD可以从公交IC卡数据和公共汽车GPS数据获得，公交生成量模型的成功标定也说明了该方法的有效性。机动车生成量模型可以采用类似的方法建立。显然，这样的生成量模型可应用于近期预测。

借助OD差分法的思想，将模型近期预测值减去现状预测值，再与现状生成量(由调整的OD聚合而成)相加，就得到近期调整后的生成量，各个小区生成量的增长率也可以得到。于是，采用增长率法对现状OD进行调整就可以得到近期OD。这样的方法简化了出行分布阶段、省略了方式划分阶段，从而最大限度地保留现状调整后的OD结构。

3 结语

尽管四阶段需求预测模型在实践中已应用多年并得到持续完善，但面对错综复杂的出行决策，仍需不断引入新的技术。交通分配模型与OD反推技术结合可以认为是对之前各个模块不能全面把握出行规律的一种修正，而各个模块以简明的技术把握了出行在某一方面的主要规律，从而为OD反推提供了高质量的初始OD。OD反推的运用在一定程度上削弱了交通模型与土地利用的联系，从而限制了模型的应用范围。为了能使交通模型广泛用于短期和近期预测，通过OD差分法、生成量模型等重新建立交通模型与土地利用的关系是十分必要的。

参考文献：

References:

[1] William A Martin, Nancy A Mcguckin. HCHRP Report 365: Travel Estimation Techniques for Urban Planning[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 1998.

[2] Rick Donnelly, Greg D Erhardt, Rolf Moeckel, et al. NCRP synthesis 406: Advanced Practices in Travel Forecasting[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2010.

[3] Hao Jiangyang, Hatzopoulou Marianne, Miller Eric J. Integrating an Activity-Based Travel Demand Model with Dynamic Traffic Assignment and Emission Models: Implementation in the Greater Toronto, Canada, Area[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010(2176): 1–13.

[4] 吴子啸，杨建新，蔡润林. 基于出行时耗预算的交通需求预测方法[J]. 城市交通，2008，6(1): 23–27.
Wu Zixiao, Yang Jianxin, Cai Runlin. Travel Demand Forecasting Methods with the Consideration of Travel Time Budget[J]. Urban Transport of China, 2008, 6(1): 23–27.

[5] Kermanshah M, Kitamura R. Effects of Land Use and Socio-Demographic Characteristics on Household Travel Pattern Indicators[J]. Scientia Iranica, 1995, 2(3): 245–262.

[6] Zhang Junyi, Masashi Kuwano, Backjin Lee, Akimasa Fujiwara. Modeling Household Discrete Choice Behavior Incorporating Heterogeneous Group Decision-making Mechanisms[J]. Transportation Research Part B, 2009, 43(2): 230–250.

(下转第37页)