

私人汽车拥有率预测方法探讨

朱松丽

(国家发展改革委员会能源研究所, 北京 100038)

【摘要】目前预测私人汽车拥有率的方法主要有集合模型和非集合模型两类,前者又可以细分为两种方法:有饱和水平限制和没有饱和水平限制。这两种方法的应用范围和所要求的数据各不相同,各有优缺点。集合方法多用于宏观政策分析或远期预测;非集合方法多用于微观政策分析或短期预测,数据要求比较高。

【关键词】私人汽车,拥有率,集合模型,非集合模型

Survey on methodology of private vehicle ownership forecast

ZHU Songli

(Energy Research Institute of National Development & Reform Commission, Beijing, 100038, China)

Abstract: There are basically two kinds of methodologies to forecast ownership of private vehicle: aggregate and disaggregate model. Aggregate ones could be further divided into models with and without limitation on saturation. Both application scope and data required by these two kinds of models are different, as well their advantages and disadvantages. The aggregate model is often used for macro-policy analysis of long-term forecast and the later one usually for microanalysis and short-term forecast. The disaggregate model requires more data.

Key words: private vehicle, ownership, aggregate model, disaggregate model

我国正经历着这私人汽车(特别是私人乘用车)的快速增长,随之而来的是交通拥堵、大气污染、石油制品需求旺盛和能源安全等问题。因此,相对准确地预测未来私人汽车拥有率的变化,对基础设施建设以及交通政策、环境政策和能源政策的制定都有非常重要的意义。汽车拥有率的预测一直是国际科研领域的热点之一,相关理论和研究非常多。但在我国,这方面的研究尚处于起步阶段,这与我国汽车工业发展相对滞后、私人乘用车刚刚进入家庭、各种数据可获得性较差有关。本文通过深入广泛的研究,对国外普遍应用的方法进行了分类、分析和比较。目前预测私人机动车拥有率的方法主要有集合模型和非集合模型两类,前者又可以划分为两种方法:有饱和水平限制和没有饱和水平限制。这两种方法的应用范围和所要求的数据各不相同,各有优缺点。集合方法多用于宏观政策分析或远期预测;非集合方法多用于微观政策分析或短期预测,数据要求比较高。

1. 预测目的和影响因子

方法论的选择与预测目的和预测区域的选择有密切关系。一般而言,私人汽车

拥有率预测的目的有以下几类：

- 1) 日常或短期城市交通结构和客流量预测，采取有效措施提高交通效率；
- 2) 服务于中远期交通和土地利用规划(20 年或更长)，例如大型交通设施的建设投资、交通网络布局和密度、城市发展类型和交通发展政策；
- 3) 服务于能源和环境问题，与能源政策和环境约束相结合以获得交通部门的可持续发展。

对于第一类目的，动态或非集合模型更适用一些；对于第三类目的拥有率预测，集合模型更实用；服务于第二类目的拥有率预测，可以根据数据的可获得性，同时考虑集合和非集合方法。

预测区域可以划分为国家级和城市级两类。根据预测区域的不同，模型中所考虑的影响因子也可能略有不同。在各种预测模型中，最常用到的决定因子是收入，其余因素例如机动车使用成本、公共交通的发达程度以及票价、税收制度、机动车的售价、公共交通设施的服务质量和土地利用模式，气候、物理和地理条件也都对私人机动车拥有率有很大的影响。总体来说，这些决定因子可以划分为经济、社会人口以及区域性质三类，见表 1 所示。这些因子被广泛地应用在各种预测私人机动车拥有率的模型当中。

表 1 私人汽车拥有率预测模型中通常使用的影响因子

Table 1 Influencing factors usually used in models for private vehicle ownership forecast

经济因子	社会人口因素	区域性质
(人均) GDP (GNP) 购车成本，燃油价格， 各种交通模式出行成本 等等	家庭收支情况 家庭规模和结构 就业情况 性别、年龄，等	城市发展模式(社区、城市人口密度、城市化水平等) 公共交通发达程度 土地利用模式(路网密度)

预测国家级的私人机动车拥有率，通常用到的相关因子为人均 GDP、燃油价格；预测城市级的私人机动车拥有率，除了收入和成本，社区人口密度、公共交通发达程度等因子也非常重要。对于动态机动车拥有率预测方法，社会人口因素的优先性很高。

2. 集合模型

集合方法将所有车辆拥有者看成一个统一的整体，没有考虑个人行为的多样化，类似与我们通常所说的“top-down”方法。通常使用的模型为计量经济模型，包括回归分析、类别分析、时间序列分析、弹性分析等。在这些方法中，最

常用的是回归模型,即利用时间序列数据或横向数据建立机动车拥有率与主要驱动因子之间的相关关系,然后利用可预测的自变量(驱动因子)来预测变量(拥有率)。

回归模型有很多形式,单变量或多变量,一个方程或多个方程,线性或非线性。在交通需求预测中,应用最多的是一般线性模型。在此类模型中,非线性关系用对数线性、半对数线性或指数模型来模拟。在这些模型中,居民收入(人均GDP或GDP)和油品价格是最常选择的驱动因子。

由于注意到人均收入与拥有率之间的关系是一个类似于“S”型的曲线,说明当人均收入达到一定水平时,机动车拥有率将达到一个饱和值,于是具有饱和水平限制的回归模型又应运而生。

2.1 无饱和水平限制的集合模型

在这类模型中,最常用到的模型是对数线性模型(Log-Linear model)。

对数线性模型的一般形式是:

$$\log Y = \alpha + \beta_i \log X_i + \varepsilon \quad (1)$$

其中: Y - 随机变量; X - 自变量; ε - 随机误差

对数线性(双对数或柯克-道格拉斯)模型将拥有率的对数看成是潜在决定因子对数的线性方程,诸如价格、GDP、人口。由于简单实用,对数线性模型成为应用最广泛的私人机动车拥有率预测模型。它有三个优点:1)每个变量的系数就是相应的需求弹性系数;2)能够处理非线性关系;3)它与来源于柯克-道格拉斯生产方程的需求方程相类似。同时,该模型还广泛地应用在交通周转量和交通能源需求预测方面。

对数线性模型最大的缺点是:对所有的数据点来说,弹性系数都是固定不变的,而不是随着需求曲线的位置而变化。当研究者所关注的问题是不同时间序列数据和横向数据的弹性系数变化时,对数线性模型显然是不能胜任的。

在所考察的资料中,对数线性方程的应用极为广泛,例如 Button 等对发展中国家轿车拥有率的预测^[1],Ingram 等分别对国家级和城市级的机动车拥有率的预测^[2],沈仲元对北京、上海的私车发展的预测^[3],等。

除了对数线性模型，线性模型或半对数线性模型也有相当的应用，它们的基本形式是：

$$Y = \alpha + \sum \beta_i X_i + \varepsilon \quad (2)$$

$$Y = \alpha + \sum \beta_i \log X_i \quad (3)$$

或者

$$\log Y = \alpha + \sum_i \beta_i X_i \quad (4)$$

Button 等对发展中国家的机动车拥有率进行回顾和预测时，利用了线性模型^[1]；Kain 在研究居民收入、城市发展模式、轿车拥有率及其使用之间的相互关系时，也使用了线性模型^[4]；沈仲元在预测中国未来人均汽车拥有率时采用了半对数模型^[3]。

基于以上基本模型，工作人员不断地对模型加入一些动态调整机制，使模型本身和预测结果更加贴近合理。分布延迟模型(distribute lag model)就是其中一个例子。

分布延迟模型在交通部门的应用主要根据是经济变化带来的其它变化可能是延迟的，而不是立杆见影。例如，收入的提高不可能马上带来私人小轿车拥有率的上升，而是滞后一段时间；而目前私人汽车拥有率的提高可能是几个时间段以前收入上升的结果。所以，分布滞后模型的一般形式是：

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots = \alpha + \sum_{s=0}^{\infty} \beta_s X_{t-s} + \varepsilon_t \quad (5)$$

或者：

$$Y_t = \alpha + \sum_i \beta_i X_{it} + \gamma_1 Y_{t-1} + \gamma_2 Y_{t-2} + \Lambda = \alpha + \sum_i \beta_i X_{it} + \sum_s \gamma_s Y_{t-s} \quad (6)$$

以上两种表达方式还可以以对数线性的形式表示。

理论上，滞后(lag)可以是无穷的。在实际工作中，滞后通常选一到二个。

分布滞后模型的应用比较普遍。美国国家能源模型系统(NEMS)中的交通需求模型(TRAN)所利用的就是分布滞后模型^[5]。

2.2 有饱和水平限制的集合模型

Gomperta 模型

Gomperta 模型的一般形式是：

$$V^* = \gamma e^{\alpha e^{\beta GDP}} \quad (7)$$

式中， V^* 代表长期车辆/人口之比的均衡水平，GDP 代表人均收入， γ 是机动车拥有率的饱和水平，而 α 和 β 则是确定曲线形状的参数，一般为负值。

与对数方程相似，Gomperta 方程也表现为 S 型曲线(见图 1)。两个模型都在低收入水平时表现出低的增长率，当收入上升时，增长率上升，到一定阶段，增长率又放缓，直到达到饱和水平。两个方程的主要区别是，后者接近饱和水平的速率要比前者慢一些。Gomperta 的一个主要优点是它比对数模型更灵活一些，特别是在不同收入阶段它可以允许不同的曲率存在。更重要的一点是，在 Gomperta 模型中，收入弹性系数在不同的收入点上是不同的(见方程 8 和图 2)，而对数模型则是固定不变的。在现实生活中，变化的弹性系数应该是更合理的。

$$\eta_t^{LR} = \alpha \beta GDP_t e^{\beta GDP_t} \quad (8)$$

Dargey 和 Gatel y 用此模型研究过到 2015 年世界范围内的小轿车拥有率情景以及收入的影响程度^[6,7]。根据数据的可获得性，研究固定了 γ 和 α 的取值，而让 β 随国家的不同而变化($\gamma = 0.62$, $\alpha = -6.42$)。根据一些工业化国家的发展经验，最终的小轿车拥有率饱和水平在 0.4 到 0.7 之间。

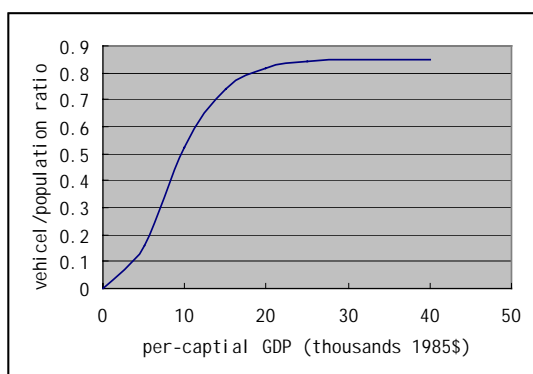


图 1 Gomperta 方程图示

Figure 1 Gomperta equation

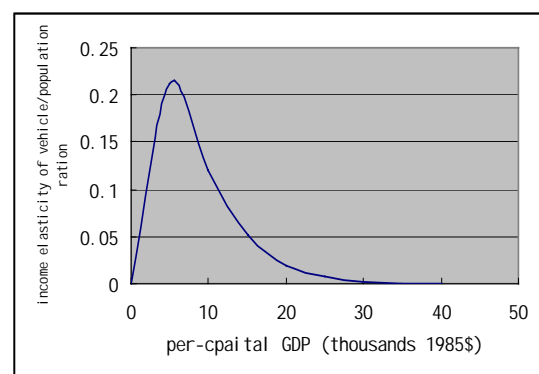


图 2 变化的收入弹性系数

Figure 2 Changes of income elasticity

类对数模型(Quasi-logistic model)

同 Gomperta 模型一样，类对数模型也采取了 S 型的方程来确立机动车拥有率与收入之间的非线性关系。

假设 P 为机动车拥有率(车/人)，S 为饱和水平，X₁，X₂，X_n 是一系列影响拥有率的社会经济因子，a, b₁, b₂, ... b_n为相应的系数，模型可以表示为：

$$P = S / (1 + e^{-a} X_1^{-b_1} X_2^{-b_2} \dots X_n^{-b_n}) \quad (9)$$

上式可以转化为自然对数形式：

$$\ln\left(\frac{P}{S-P}\right) = a + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + \dots + b_n \ln X_n \quad (10)$$

在这里饱和水平可以看成是一个修正预测结果的技术手段。英国的国家公路交通预测(NRTF)就采用此模型来预测机动车拥有率。也有研究者对 NRTF 的模型提出异议^[8]，认为它低估了小轿车的发展速度，相反对数线性模型可以得到与已有数据更吻合的预测结果。Button 等 曾用类对数模型研究过发展中国家的机动车拥有率问题^[1]。

不人为设定饱和水平的集合模型

在以上两个设置了饱和水平的模型中，饱和水平都是人为设定的，因此这成为模型受到质疑的地方。Medlock 等建立了一个基于效用理论的统计模型^[9]，希望能够估计不同国家机动车保有量的饱和水平，而不是提前设定。该模型是一个以燃油价格和人均收入为自变量的二次对数方程¹：

$$\ln v_{t,j}^* = \phi_j + \rho_1 \ln p_{g,t,j} + \rho_2 \ln y_{t,j} + \rho_3 \ln y_{t,j}^2 \quad (12)$$

其中：

- V* - 长期车辆/人口之比的均衡水平；
- P - 燃油价格；
- Y - 人均 GDP；
- 与国家有关的参数；
- 参数，不同国家取相同值；
- j - 代表不同国家；t - 时间；g - 燃料品种

长期收入弹性系数为：

$$\eta_{t,j}^{LR} = \rho_2 + 2\rho_3 \ln y_{t,j} \quad (13)$$

¹ 该模型建立于效应理论之上，这里省略其理论推倒过程，详细内容请见参考文献。

由此可以推算，当人均收入达到：

$$\ln y^{sat} = e - \rho_2 / 2\rho_3 \quad (14)$$

时，机动车拥有率当达到饱和。将式(14)带入式(12)就可以估算该收入水平下的拥有率饱和水平。该研究认为当人均 GDP 达到 21992 美元时，收入弹性系数降为零，也就是机动车拥有率达到饱和。

3. 集合模型

不满于以上集合模型对个体行为的忽视，一些预测小轿车拥有率的动态方法应运而生。瑞典公路和车辆研究所就尝试了一种基于轿车“加入和退出”特性的动态模型^[10]。在这个模型中，小轿车拥有的“加入”和“退出”被作为主要的因变量。在某一年加入小轿车拥有者之列的人数与上年末没有小轿车的人数之比，称为“加入”；相反，在某一年退出小轿车所有者之列的人数与上年末拥有小轿车的人数之比被称做“退出”。在这个模型中，年龄、性别、居住地(城市或乡村)和每个成年人的收入被看作是主要的可解释变量。模型有以下几个重要发现：

- 1) 年龄是一个和收入同样重要的变量。不同年龄组的成员对轿车的拥有量的贡献很不相同：只有低于 40 岁的人口才对小轿车数量增长有正的影响，年龄在 40-65 之间的人口的贡献可以认为是零。当然高于 65 的年龄组人口的贡献是负的。只有当年轻人口的正贡献大于老龄组的负贡献时，总的小轿车拥有率才会上升。
- 2) 年龄和轿车“加入-退出”特性之间的关系基本是稳定的。
- 3) 对所有年龄组来说，男性的“加入”特性要比女性高许多，相反女性的“退出”特性要比男性高。

Dargay 和 Vythoulkas 曾根据英国的年家庭消费调查建立了一个预测轿车拥有率的模型框架^[11]，REM-ARI。该模型将家庭按照一定的标准分成若干组，比如户主的年龄，以五年为步长。该研究发现，在 50 岁以前，轿车拥有率随户主年龄的增长而增长，50 岁以后则呈下降趋势。模型的实验结果令人鼓舞。Abu-Elisheh 和 Mannering 也用动态模型模拟了经济转型国家的轿车拥有率^[12]。

非集合模型的最大缺点是需要一个覆盖面非常广泛的数据库，而且由于涉及到个人信息，这些数据一般都不是能很容易得到的。即使能够收集到，成本也比

较高昂。

4. 小结

机动车拥有率预测是一项非常复杂的工作,将人们的经济行为大大简化的模型成为不可缺少的工具。在集合模型中,购车行为被认为是一种平均的行为,没有考虑行为的多样化。相反,非集合或动态模型建立在效用理论的基础上,更注重家庭和个人的选择。

集合模型,主要指计量经济模型,虽然应用非常普遍,一直受到一些质疑,例如不能解释不同的经济行为、方法不够均衡、过于简单的人口经济假设以及过于依赖于结果调整。相反,虽然非集合模型也受到一些批评,诸如如何将分散的结果进行集合以及由每种集合方法所引起的误差,但此类模型被普遍认为具有概念和实践上的优势。其一,动态模型的理论基础为以一种连续的方式模拟经济行为提供了依据;其二,它的灵活性允许不同决策之间的反馈作用,而不是像集合模型那样将出行行为单纯地看成是连续的。其三,就是非集合模型的政策敏感性,适合于模拟出行者对政策变化的反应。另外还有一点是模型的通用性。由于非集合模型直接模拟购车者的行为,模型本身对数据特性和特定城市的地理、人口特征的依赖性不是非常强,因此可以比较容易地移植到其它地区以及其它时间段。

不同层次的汽车拥有率预测需要考虑不同的影响因子。在国家层次的预测中,更多考虑的是人均收入和燃油价格,而在城市层次的预测中,城市的特性,诸如社区人口密度、平均家庭人口数、公共交通的发达程度,也是非常重要的影响因子^[13,14],但是应该避免出现多重线性的问题。另一方面,这两种层次的方法并不对立,可以相互渗透,国家层次的预测也可以考虑更多的影响因子,城市的预测也可以采用简化的方法。

本研究所回顾的资料几乎都来自发达国家,这些研究更关注私人交通和家庭小轿车。实际上,与发达国家相比,发展中国家的交通状况更为复杂。比如交通模式的多样化:在中国自行车目前和将来都还是极为重要的交通工具,在印度和东南亚国家,摩托车的保有量非常高。另外行人也在交通周转量中占一定比例。更重要的是,发展中国家的变化非常快,人口增长、城市化进程加快、机动车保有量突飞猛进,速度之快难以估计。在中国,出行受收入、价格影响比较小的公

务轿车的数量较大，这也给汽车拥有率以及交通需求和能源需求的预测带来困难。最后便是数据问题。在发展中国家，很难得到应用动态模型所需要的个人和家庭调查资料，这方面需要进行更多的研究。

参考文献

- [1] Button K., Ngoe N., Hine J., Modeling vehicle ownership and use in low income countries [J], *Journal of Transport Economics and Policy*, January 1993; 51-67.
- [2] Ingram G.K., Liu Z., Motorization and the provision of Roads in Countries and Cities [R], Policy Research Working Paper 1842, the World Bank, 1997.
- [3] 沈中元, 中国的汽车化进程和能源政策[J], *中国能源*, 2004, 26(6): 11-18.
- [4] Kain J.F., A tale of two cities: relationship between urban form, car ownership and use and implication for public policy [J], *Journal of Transport Economics and Policy*, January 2001, Vol. 35, part 1: 31-70.
- [5] NESM Transport Model [EB/OL], 2002-7-21, www.eia.doe.gov
- [6] Dargay J., Gately D., Vehicle ownership to 2015: implication for energy use and emissions [J], *Energy Policy*, 1997, Vol. 25, Nos. 14-15: 1121-1127.
- [7] Dargay J., Gately D., Income's effect on car and vehicle ownership, worldwide: 1960-2015 [J], *Transportation Research Part A*, 1999, 33: 101-138.
- [8] Romilly P., Song H., Liu X, Modelling and forecasting car ownership in Britain: a cointegration and general to specific approach [J], *Journal of Transport Economics and Policy*, 1999, Vol. 32, part 2: 165-185.
- [9] Medlock, K.B., Soligo R., Car ownership and economic development with forecasts to the year 2015 [J], *Journal of Transport Economics and Policy*, 2002, volume 36, part 2, pp.163-188;
- [10] Jansson J.O., Car demand modelling and forecasting a new approach [J], *Journal of Transport Economics and Policy*, May 1989:125-140.
- [11] Dargay J.M., Vythoulkas P.C., Estimation of a dynamic car ownership model: a pseudo-panel approach [J], *Journal of Transport Economics and Policy*, 1999, Vol. 33, part 3: 287-302.
- [12] Abu-Elisheh S.A., Mannering F. L., Forecasting Automobile Demand for Economies in Transition: A Dynamic Simultaneous-Equation System Approach [J], *Transportation Planning and Technology*, 2002, Volume 25, number 4, pp: 311-331;
- [13] Holtzclaw J., Clear R., Dittmar H., Goldstein D., Haas P., Location Efficiency: neighborhood and social-economic characteristics determine auto ownership and use – studies in Chicago, Los Angeles and San Francisco [J], *Transportation Planning and Technology*, 2002, Volume 25, number 1, pp: 1-27
- [14] Kenworthy J.R., Laube F.B., Patterns of automobile dependence in cities: an international overview of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy [J], *Transportation Research Part A*, 1999, 33: 691-723.