

董洁霜, 毛伟航. 考虑时空异质性的新能源汽车保有量增长态势研究[J]. 智能计算机与应用, 2024, 14(11): 9-15. DOI: 10.20169/j. issn. 2095-2163. 24061001

# 考虑时空异质性的新能源汽车保有量增长态势研究

董洁霜, 毛伟航

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

**摘要:** 考虑到新能源汽车保有量增长的影响因素具有时间和空间双重属性, 本文引入了时空地理加权回归模型在 Arcgis 平台上对居民消费水平、公共充电桩保有量、传统燃油车销量、每万人公共交通工具、人口密度、城镇化率等 6 个指标因素进行了分析, 并在此基础上建立了 Bass 扩散模型, 对新能源汽车保有量的增长态势进行预测。研究结果表明: 6 个指标对保有量增长均存在明显的时空异质性, 其中在初期阶段居民消费水平和公共充电桩数量对 NEV 保有量的影响程度最大; 同时, 通过外推预测模型预测东部地区新能源汽车到 2030 年会有 5 742 万辆、中部地区将会达到 2 458 万辆、西部地区将会达到 1 400 万辆; 至 2050 年东部地区将有新能源汽车 2.12 亿辆、中部则有 1.46 亿辆、西部有 1.19 亿辆。

**关键词:** 时空异质性; 时空地理加权回归; Bass 扩散模型; 莫兰指数

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 2095-2163(2024)11-0009-07

## Research on the growth trend of new energy vehicle ownership considering spatial and temporal heterogeneity

DONG Jieshuang, MAO Weihang

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Considering that the factors affecting the growth of the number of new energy vehicles have both temporal and spatial attributes, this paper introduces a spatiotemporal and geographical weighted regression model to analyze six index factors on the Arcgis platform, such as the consumption level of residents, the number of public charging pile, the sales volume of traditional fuel vehicles, public transport vehicles per 10 000 people, population density and urbanization rate. On this basis, Bass diffusion model is established to predict the growth trend of new energy vehicle ownership. The results show that the six indicators have obvious spatiotemporal heterogeneity on the increase of NEV holdings, and the consumption level of residents and the number of public charging piles have the greatest influence on the NEV holdings in the initial stage. At the same time, through the extrapolation prediction model, it is predicted that the eastern region will have 57.42 million new energy vehicles by 2030, the central region will reach 24.58 million, and the western region will reach 14 million. By 2050, there will be 212 million new energy vehicles in the eastern region, 146 million in the central region and 119 million in the western region.

**Key words:** spatiotemporal heterogeneity; spatiotemporal and geographical weighted regression; Bass diffusion model; Moran index

## 0 引言

当今汽车行业的发展形势稳中向好, 传统燃油车主导汽车市场, 而新能源汽车保有量又在快速增长。把握新能源汽车保有量增长态势, 并准确预测其保有量, 对交通规划领域以及汽车行业前景展望均具有重要的意义。国内外对新能源汽车发展的影响因素与保有量预测方面进行了较多研究。国内,

江昊等学者<sup>[1-4]</sup>从个人因素、汽车企业知名度及产品保有量、产品经济性和政策扶持力度等几个角度探究了消费者购买因素。刘耀迪等学者<sup>[5-7]</sup>在收集到历史数据的基础上综合运用 TOPSIS 评价法和熵权法分析出新能源汽车发展各项数据的权重, 再运用 GM(1, 1) 预测出长三角地区新能源汽车保有量。董晓红等学者<sup>[8-9]</sup>分析了不同政策因素对新能源汽车规模演化的影响, 并应用组合预测模型和 SVR 模型对其进行了预测。付跃强等学者<sup>[10-12]</sup>认为新能

基金项目: 国家社会科学基金(23BJY046)。

作者简介: 董洁霜(1973—), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 交通运输规划与管理。Email: 2466617183@qq.com; 毛伟航(1998—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 交通运输规划与管理。

收稿日期: 2024-06-10

源电动汽车发展系统是一个复杂的社会经济系统,其中包含了经济发展、产业政策、核心技术、充电基础设施、环境保护等子系统,并运用系统动力学模型预测出了未来年份 EV 数和 CV 数。于焱等学者<sup>[13]</sup>选取了 5 个自变量作为影响新能源汽车销量的因素,利用多元线性回归的方式预测了未来的销量。Shi 等学者<sup>[14]</sup>基于 BASS 模型对云南省电动汽车保有量进行了预测。Tang 等学者<sup>[15]</sup>在二氧化碳碳达峰目标下通过 PCA-logistic 模型对新能源汽车保有量进行预测。Zeinab 等学者<sup>[16]</sup>基于行为计划理论探讨了蔚来客户的购买行为。

国外,Allahmoradi 等学者<sup>[17]</sup>采用离散选择模型和 Agent-based 的方法选取价格、行驶里程、最高速度、充电成本、政府激励措施和社交网络等因素对影响用户购买新能源汽车的意愿进行建模发现政策对其起到的作用最大。Elisabeth 等学者<sup>[18]</sup>认为新能源汽车保有量和社会经济特征密切相关,家庭购买新能源汽车在很大程度上取决于教育程度和收入水平。Rietmann 等学者<sup>[19]</sup>通过 logistic 增长模型对五大洲 26 个国家的电动汽车保有量进行了长期预测。Abdelbaky 等学者<sup>[20]</sup>提出了一种基于 s 增长模拟曲线和候选人熵权排序法的修正预测模型。研究表明,混合动力电动汽车发展前景最好,而燃料电池电动汽车(FCEV)的发展则预计较为缓慢。

综上所述,关于新能源汽车保有量的预测方法基本上从单独时间序列进行预测或者基于其影响因素的回归分析。中国地域辽阔,区域之间发展的不平衡性就使得从空间维度研究新能源汽车保有量的变化同样具有现实意义。本文基于 GTWR 模型引入了新能源汽车保有量具有时空双层面的指标,接下来具体分析指标在时空层面上对保有量产生怎样的影响并基于此构建适配于 GTWR 模型的新能源汽车保有量的外推预测方法。

## 1 数据获取与变量选取

### 1.1 研究区域

本文选择中国大陆地区的 31 个省市作为研究对象。

### 1.2 数据来源与数据处理

本文在收集如下相关数据基础上对数据进行预处理,包括:数据的清洗与异常值处理。

(1)经纬度数据。通过 maplocation 网站导入相关地理区域的名称就可以批量生成其所对应的经纬度坐标。

(2)相关因素数据及新能源汽车保有量数据。新能源汽车保有量数据和公共充电桩数据以及每万人拥有公共交通车辆数据来自星源官方数据,其余相关因素数据通过国家统计局或者地方统计局统计获得。

### 1.3 影响因素分析及指标选取

在已有的研究基础上并考虑数据的可靠性,本文选取了 6 个指标来构建本次研究的影响因素数据集,具体分析如下:

(1)居民消费水平。在新能源汽车发展的初级阶段,由于新能源汽车电池技术还未臻至成熟,在建造成本方面往往就比同级别的传统燃油车都要贵,所以大部分用户在购买新能源汽车时的首要考虑就是其购买价格。

(2)公共充电桩保有量。在新能源汽车发展得较快的一些较大城市,充电难成了制约新能源汽车发展的关键问题,而公共充电桩的出现弥补了这一不足。公共充电桩的建立大大提高了新能源汽车的充电效率,突破了私有充电桩的局限性,促进了新能源汽车保有量的进一步增长。

(3)传统燃油车销量。在国内汽车保有量还未达到极限值的阶段,燃油车和新能源汽车往往是同时发展的,在某种程度上也形成了竞争关系。随着越来越多的用户购买新能源汽车,燃油车销量也会受到一定的影响。

(4)每万人拥有公共交通车辆。每个地区的公共交通发展水平也会在不同程度上影响着该地区的汽车拥有量。大城市则会因公共交通水平比较发达而使得更多人都会倾向于选择乘坐轨道交通出行。

(5)人口密度。有研究报告显示人口密度越高,通勤和短途运输的需求自然也更大,因此对于电动汽车来说优势尽显:相比较于传统燃油车,新能源汽车的使用成本更低,在相同时间内同一地区交通出行的次数越多、行驶总里程越长、使用新能源汽车所带来的使用成本收益则越大,随即就会有更多的用户转而选择购买新能源汽车。

(6)城镇化率。地区城镇化水平表示一个地区城镇人口占总人口的比重,该值可用城镇化率来表示。城镇化水平越高的地方、机动化水平也越高,人们通过购买汽车来增加通勤次数和距离的意愿也会更强。

## 2 研究方法

### 2.1 全局自相关检验

在 GTWR 模型建立前,首先要进行空间自相关

性检验。本文的空间自相关性检验是通过计算面板数据各个指标的全局莫兰指数来判断新能源汽车保有量及其影响因素是否呈现空间自相关性。全局莫兰指数计算公式具体如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S_0 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

表 1 保有量空间自相关性检验结果

Table 1 The results of inventory space autocorrelation test

全局自相关指标	新能源汽车保有量							
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
Moran's I 指数	0.232	0.232	0.246	0.233	0.246	0.278	0.298	0.282
P 值	0.018	0.018	0.010	0.011	0.008	0.004	0.002	0.004
Z 值	2.362	2.362	2.571	2.553	2.649	2.881	3.043	2.885

表 1 中,  $P$  值和  $Z$  值是用于判断数据是否有显著性、还是离散的。判断标准见表 2。一般来说,莫兰指数呈现空间自相关说明数据就是显著性的,不是离散的。

表 2 Z 值和 P 值判断标准

Table 2 Z-value and P-value judging criteria

Z 值	P 值	置信度/%
<-1.65 或 >+1.65	<0.10	90
<-1.96 或 >+1.96	<0.05	95
<-2.58 或 >+2.58	<0.01	99

统计的  $Z$  值按如下公式来计算:

$$Z_i = \frac{I - E[I]}{\sqrt{VAR(I)}} \quad (2)$$

其中,

$$E[I] = \frac{-1}{n-1} \quad (3)$$

表 3 指标因素多重共线性检验结果

Table 3 Results of multicollinearity test of index factors

指标因素	居民消费水平/ 万元	公共充电桩保有量/ 万台	传统燃油汽车销量/ 万辆	每万人公共交通工具/ 标台	人口密度/ (人·平方公里 <sup>-1</sup> )	城镇化率/ %
VIF 值	3.900	1.566	1.188	1.274	2.170	3.541

### 2.3 GTWR 模型的建立

地理时空加权回归是一种统计分析方法,用于探讨地理现象与时空因素之间的关系。通过考虑地理位置和时间因素,对回归模型进行加权,在回归分析中为不同地理位置和时间段的数据赋予不同的权重,从而更准确地预测和解释变量之间的关系。

其中,  $n$  表示空间单元总数;  $w_{ij}$  表示第  $i$  个空间单元和第  $j$  个空间单元间的空间权重值;  $y_i$  和  $y_j$  分别表示第  $i$  和第  $j$  个空间单元的样本值;  $\bar{y}$  表示样本数据均值;  $S_0$  表示所有空间权重的聚合。全局莫兰指数的范围为  $[-1, 1]$ , 当指数为正时,表明存在空间正相关;指数为负时,表明存在空间负相关;指数为 0 时,不存在空间自相关,新能源汽车保有量的空间自相关性检验结果见表 1。

$$VAR(I) = E[I^2] - E[I]^2 \quad (4)$$

从结果整体上看莫兰指数逐渐增大,说明其空间正相关性在逐渐增强。

### 2.2 共线性检验

本文通过 SPSS 软件得到各个指标的共线性检验结果,具体计算公式如下:

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (5)$$

其中,  $R_i^2$  表示将第  $i$  个变量作为因变量与其余自变量拟合回归方程所得到的决定系数。

指标因素多重共线性检验结果见表 3。通过表 3 可以看出 6 个指标的  $VIF$  值都小于 5,说明本文选取的解释变量都满足不多重共线的情况,都是互相独立不相关的数据,可以开展时空地理加权回归分析。

GTWR 模型的具体公式如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^m \beta_k(u_i, v_i, t_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (6)$$

其中,  $y_i$  表示被解释变量;  $\beta_0$  表示截距项;  $(u_i, v_i)$  表示经纬度;  $t_i$  表示时间;  $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$  表示第  $k$  个解释变量在第  $i$  个样本的拟合系数;  $x_{ik}$  表示第  $k$  个解

释变量在第  $i$  个样本点的取值;  $\varepsilon_i$  表示随机误差。

关于时空权重的确定, 本文使用 Gauss 核函数进行计算:

$$w_{ij} = \exp(- (d_{ij}/\theta)^2) \quad (7)$$

其中,  $\theta$  是描述权重与时空距离之间函数关系的非负数衰减参数, 称为带宽;  $d_{ij}$  表示时空距离。带宽越大, 权重随距离增加衰减得越慢, 反之则衰减得越快, 本文采用的是自适应带宽。

## 2.4 外推预测模型的建立

按照国内经济带划分、将中国大陆地区分为三大区: 东部沿海地区、中部内陆地区、西部边远地区。考虑到不同的时空指标对不同地区的影响不同, 本文利用现阶段比较流行的 Bass 模型分地区建立不同的预测模型, Bass 模型的表达式为:

$$\frac{d(N(t_i))}{dt} = a_i [K_i - N(t_i)] + b_i \frac{N(t_i)}{K_i} [K_i - N(t_i)] \quad (8)$$

其中,  $N(t_i)$  表示不同地区  $t$  时刻新能源汽车保有量;  $a_i$  表示分区的外部扩散系数;  $b_i$  表示分区的内部扩散系数;  $K_i$  表示分区的新能源汽车最大保有量;  $a_i [K_i - N(t_i)]$  表示受外部影响而购买新能源汽车的消费数量;  $b_i \frac{N(t_i)}{K_i} [K_i - N(t_i)]$  表示受已购买者影响而购买新能源汽车的数量。将上式积分得到如下结果:

$$N(t_i) = \frac{K_i (1 - e^{-t(a_i+b_i)})}{1 + \frac{b_i}{a_i} e^{-t(a_i+b_i)}} \quad (9)$$

根据 NEV 渗透率变化规律, 分为 3 个阶段。

(1) 初期、低渗透率阶段, 该阶段需要较长时间, 渗透率达到 20% 左右。

(2) 中期、渗透率快速增长阶段, NEV 保有量由于技术的进步快速增加, 很快突破 50%, 甚至上升到 70%。

(3) 后期、高渗透率阶段, 该阶段 NEV 保有量占汽车总量的 70%~90%, 出现增长缓慢, 甚至停滞

的情况。上述模型中以 GTWR 中的拟合结果对参数进行分区标定, 具体计算公式如下:

$$a_i = a_0 \times \mu_i / \tilde{\mu} \quad (10)$$

$$b_i = b_0 \times \delta_i / \tilde{\delta} \quad (11)$$

其中,  $a_0$  和  $b_0$  分别表示初期阶段全区新能源汽车的外部扩散系数和内部扩散系数, 该部分数据参考了相关文献得出;  $\mu_i$  和  $\delta_i$  分别表示不同分区外部影响因素和内部影响因素的时空影响程度百分比;  $\tilde{\mu}$  和  $\tilde{\delta}$  分别表示外部影响因素和内部影响因素影响程度百分比的均值;  $i$  表示不同的分区, 对应东、中、西部地区。

在此基础上,  $K$  的估计依据是历年新能源汽车保有量的渗透率  $\beta$  值, 渗透率的计算公式如下:

$$\beta_i = \frac{K_i}{F_i} \quad (12)$$

其中,  $K_i$  表示第  $i$  年的新能源汽车保有量,  $F_i$  表示第  $i$  年的汽车保有量。本文汽车极限值采用的标准是汽车保有量/千人, 并按照 450 辆/千人来计算。

本文将以上选取的 6 个时空指标划分为内部影响因素和外部影响因素, 划分结果见表 4。

表 4 内外部影响因素划分

Table 4 Division of internal and external influencing factors

一级指标	二级指标
外部影响因素	居民消费水平、公共充电桩保有量、每万人公共交通工具
内部影响因素	传统燃油汽车销量、人口密度、城镇化率

不同地区历年新能源汽车渗透率见表 5。首先本文计算出 2016~2023 年 NEV 的渗透率, 可以看出直至 2023 年国内三大分区 NEV 保有量的渗透率较低, 还处在初期阶段。本文依据渗透率的发展规律假设到 2030 年 3 个分区新能源汽车保有量的渗透率达到 20% 左右, 并开始进入中期阶段, 至 2050 年渗透率达到 70% 左右, 并进入后期缓慢发展阶段, 至 2060 年三大分区渗透率将达到最大水平 80% 左右, 此时 NEV 汽车保有量增长缓慢, 甚至出现停滞的情况。

表 5 不同地区历年新能源汽车渗透率

Table 5 Penetration rate of new energy vehicles in different regions over the years

地区	渗透率							
	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
东部地区	0.77	0.96	1.46	1.96	2.42	3.36	5.37	7.66
中部地区	0.44	0.55	0.84	1.12	1.29	1.98	3.19	4.82
西部地区	0.28	0.36	0.59	0.82	0.96	1.63	2.69	4.25

%

本文参考已有文献[21]得到初期末端阶段新能源汽车外部影响因素扩散系数  $a_0 = 0.003$ , 内部影响因素的扩散系数  $b_0 = 0.2$ , 代入式(10)、式(11)得到不同地区初期阶段内外部扩散系数, 并根据新

能源汽车发展规律可知, 随着时间的推移影响 NEV 的外部扩散系数先逐渐减弱、至后期有所增强, 而内部扩散系数先逐渐增强、至后期又减弱, 得到的三大分区不同阶段内外部扩散系数估计值见表 6。

表 6 三大分区不同阶段内外部扩散系数估计值

地区	初期末端(2024~2030)		中期(2030~2050)		后期(2050~2060)	
	a 值	b 值	a 值	b 值	a 值	b 值
东部地区	0.003 3	0.224	0.002	0.25	0.003	0.23
中部地区	0.003 6	0.218	0.002	0.25	0.003	0.23
西部地区	0.002 1	0.164	0.001	0.20	0.002	0.18

### 3 结果分析

#### 3.1 GTWR 模型拟合结果评价

本文借助 ArcGis10.8 平台运行时空地理加权回归模型, 将以上收集到的数据集导入到 GTWR 模型中, 计算得到 AIC 值为 1 703.2; 调整后的 R 方值为 0.985 5, 可以看出时空地理加权回归模型很好

地拟合了实验数据, 这也证实了模型的有效性。

#### 3.2 各项指标对保有量的时空异质性分析

本文根据 ArcGis 软件运行得到的结果, 将各个影响因素的回归系数归纳整理成箱型图的形式加以呈现, 以利于更直观地分析各个影响因素对保有量产生的时空异质性。GTWR 拟合结果如图 1 所示。

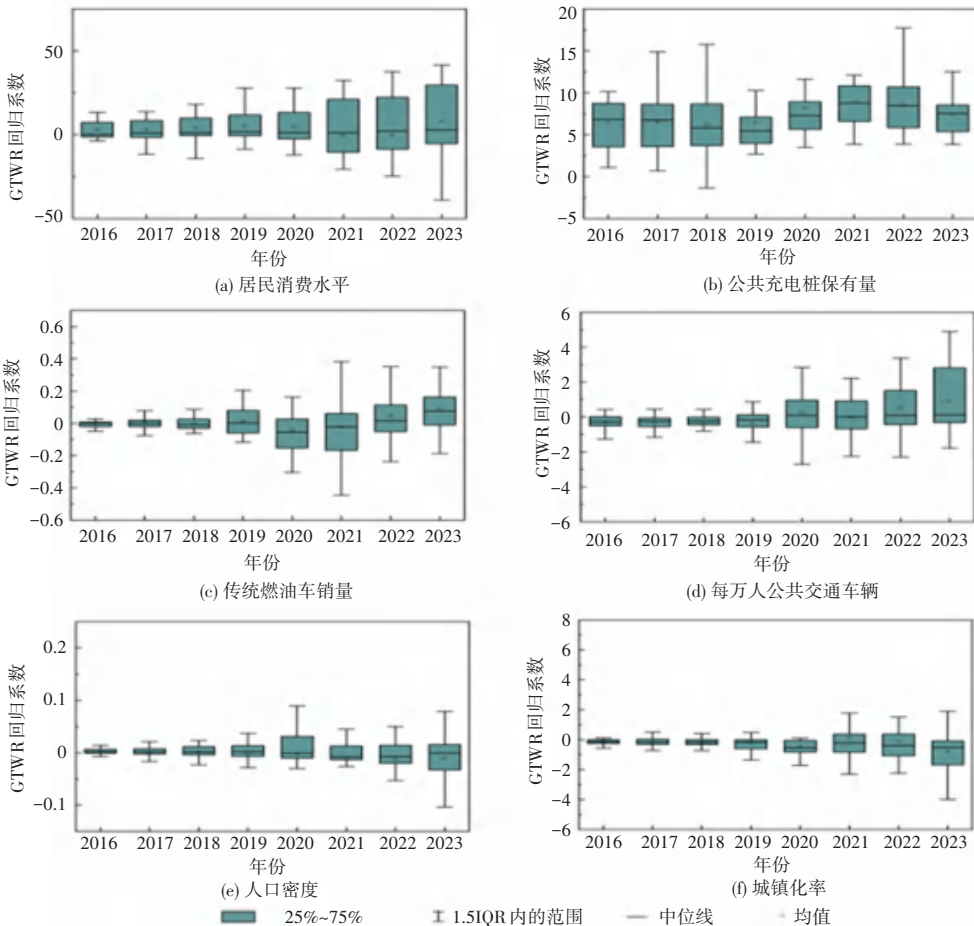


图 1 GTWR 拟合结果

Fig. 1 GTWR fitting results

从图1看出,6个指标均有很强的时空波动性,其中居民消费水平和公共充电桩数量对保有量的影响大部分是正向的促进作用,其他4个因素对于新能源汽车保有量既有正向促进作用,又有负向抑制作用,这说明在新能源汽车引入阶段均是由汽车购买价格和续航里程来决定新能源汽车的数量。从空间上分析,居民消费水平这一指标的空间异质性随着新能源汽车需求量的增加越来越大,在2023年时达到最大;公共充电桩保有量的空间异质性在历年波动性较大,但却没呈现出很强的规律性,这可能与

历年的政策实施有关;其余4个影响因素均是在前一阶段表现出的空间异质性并不明显,但随着时间的推移空间异质性就越发突出。

由图1的6种指标的影响程度判别来看,居民消费水平的影响程度最大,紧随其后的是公共充电桩保有量,接下来依次是:每万人公交拥有量、城镇化率、传统燃油车销量、人口密度。

本文通过计算6个指标的GTWR回归系数的绝对值均值,来比较不同因素对保有量的影响程度大小,见表7。

表7 6种指标的影响程度  
Table 7 Impact of the six indicators

地区	指标因素					
	居民消费水平/万元	公共充电桩保有量/万台	传统燃油汽车销量/万辆	每万人公共交通车辆/标台	人口密度/(人·平方公里 <sup>-1</sup> )	城镇化率/%
东部地区	11.45	6.86	0.09	1.02	0.0304	0.97
中部地区	15.70	7.98	0.10	0.80	0.0263	0.96
西部地区	5.60	7.30	0.07	0.49	0.0298	0.46

### 3.3 保有量的外推预测结果

依据上文分析得到的最大渗透率,并假设各个分区的人口总数不变,再经过汇总本文设定东部地区人口数为6亿;中部地区人口数为4.2亿;西部人口数为3.8亿,代入式(12)得到不同情景设定下的K值,汇总结果见表8。

表8 三大分区K值估计

Table 8 K value estimation of three major partitions

地区	东部地区	中部地区	西部地区
K值/亿辆	2.160	1.512	1.368

将研究得到的 $a$ 、 $b$ 、 $K$ 的估计值代入到式(9)就可以得到2024~2060年新能源汽车保有量的预测值,具体如图2所示。

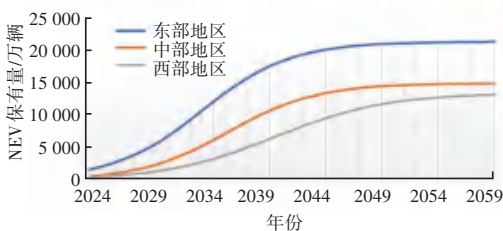


图2 三大分区保有量预测值

Fig. 2 Predicted values of the three zones

## 4 结束语

本文以中国的31个省市作为研究对象,通过影

响因素选取和数据收集,先对数据进行自相关性检验和共线性检验后,并在判断其满足条件的情况下又采用时空地理加权回归模型对多类不同影响因素进行具体的时空分析。在此基础上得到具有时空性质指标,并分地区来构建的新能源汽车保有量的外推预测模型,最后预测不同地区未来几个重要时间点保有量变化情况,得到如下主要结论:

(1)本文选取的6个指标对新能源汽车保有量均存在明显的时空异质性,除公共充电桩保有量这一指标外,其余5个指标均随着时间的推移空间异质性越来越明显,这可能与政策的制定与实施有关。

(2)从6种指标的影响程度来看,居民消费水平与公共充电桩数量的影响最大,这说明在新能源汽车处于初期阶段时,用户会受到外部因素的较大影响,即更多地考虑新能源汽车的购买价格和续航里程。

(3)本文在分析各个指标对保有量产生时空异质性之后,即对不同地区进行了保有量的预测,从预测结果来看东部地区>中部地区>西部地区,并且可以看出东部地区比中西部地区达到保有量峰值的速率更快,而不同地区达到峰值时间点也不尽相同。

## 参考文献

- [1] 江昊. 新能源汽车消费者购买影响因素探究[C]//四川省第十七届汽车行业学术年会论文集. 成都:四川省汽车工程学会,成

- 都市汽车工程学会,2023:72-75.
- [2] 李晓银. 消费者新能源汽车购买意愿分析[J]. 中国市场,2023(4):112-114.
- [3] 祖明,苏晓婕. 消费者新能源汽车购买意愿影响因素的研究综述[J]. 安徽工业大学学报(社会科学版),2021,38(2):15-22.
- [4] 吉星. 尾气伤害感知和绿色出行意愿对新能源汽车消费的影响[J]. 汽车与新动力,2023,6(1):1-4.
- [5] 刘耀迪,肖钰蕙,展晶晶. 基于灰色预测模型的长三角地区新能源汽车的市场保有量预测研究[J]. 内燃机与配件,2023(12):107-109.
- [6] 赵铭杰. 中国消费者传统文化价值观对新能源汽车购买意愿的影响研究[D]. 北京:对外经济贸易大学,2021.
- [7] 陈剑峰. 消费者感知价值因素对购买意愿影响的实证研究:以新能源汽车为例[J]. 中阿科技论坛(中英文),2022(10):76-81.
- [8] 董晓红,冯芷蔚,张家安,等. 含非线性残差的新能源汽车规模预测方法[J]. 电力工程技术,2022,41(5):76-84.
- [9] 李丹奇,郑建勇,史明明,等. 电动汽车充电负荷时空分布预测[J]. 电力工程技术,2019,38(1):75-83.
- [10] 付跃强,夏天添. 基于系统动力学的电动汽车产业发展建模与仿真[J]. 系统仿真学报,2021,33(4):973-981.
- [11] 乔英俊,延建林,钟志华,等. 我国汽车产业转型升级研究[J]. 中国工程科学,2019,21(3):41-46.
- [12] 唐葆君,王翔宇,王彬,等. 中国新能源汽车行业发展水平分析及展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),2019,21(2):6-11.
- [13] 于焱,苑鑫艺. 我国新能源汽车市场销量预测[J]. 内燃机与配件,2021(6):179-180.
- [14] SHI Su, JIANG Jiixin, YIN Chunlin, et al. Research on electric vehicle ownership prediction based on BASS model: A case study of Yunnan Province[J]. EDP Sciences, 2021,293:03032.
- [15] TANG Guoyi, SHAO Jie, YU Xinxin, et al. Prediction of new energy vehicles ownership with PCA-logistic model under peak carbon dioxide emissions and carbon neutrality[C]//International Conference on Frontiers of Traffic and Transportation Engineering (FTTE 2022). Lanzhou, China;SPIE, 2022,12340:253785091.
- [16] HAN Fengfan, YEE C J. Analyzing purchasing behavior of NIO's customers based on theory of planned behavior in China [C]//International Conference on Emerging Technologies and Intelligent Systems. Cham; Springer, 2022:111-121.
- [17] ALLAHMORADI E, MIRZAMOHAMMADI S, BONYADI N A, et al. Policy instruments for the improvement of customers' willingness to purchase electric vehicles: A case study in Iran[J]. Energies,2022,15(12):4269.
- [18] ELISABETH F, ERIK F, LASSE F, et al. Who goes electric? The anatomy of electric car ownership in Norway [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment,2021,92:102727.
- [19] RIETMANN N, HÜGLER B, LIEVEN T. Forecasting the trajectory of electric vehicle sales and the consequences for worldwide CO<sub>2</sub> emissions [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 261: 121038.
- [20] ABDELBAKY M, PEETERS J R, DUFLOU J R, et al. Forecasting the development trend of low emission vehicle technologies: Based on patent data[J]. Technological Forecasting and Social Change,2021,166(4):120651.
- [21] 周玲芝,孙竹,孙林,等. 新能源汽车发展对传统汽车业的影响:基于 Bass 模型的实证研究[J]. 国际经济合作,2018(2):37-42.