

2023 年第三届长三角高校数学建模竞赛

题目 基于多模型对新能源汽车与碳排放的研究

摘要:

本题研究的是长三角地区新能源汽车发展情况与双碳关系,通过收集相关 2013 年到 2022 年的相关数据,研究新能源汽车行业的变化规律,综合考虑政策支持、市场需求、行业竞争等因素,预测长三角地区未来新能源汽车行业的发展规律与双碳关系。

针对问题一,我们通过大数据搜集全国各地区新能源汽车的产销量、科研机构数量和新能源汽车企业数量,利用 **TOPSIS 算法**,计算出各个地区新能源汽车生产评分,从而得出各地区新能源汽车生产的地位和作用。利用**非线性最小二乘法**,拟合曲线,根据 2014 年到 2022 年长三角地区新能源汽车保有量数据,预测未来三年长三角新能源汽车市场保有量。

针对问题二,我们通过大数据收集新能源汽车和传统燃油汽车的市场占有率及保有量等能反映竞争关系的数据,并将这些数据进行可视化,从而分析两者间的竞争关系。对于影响该竞争关系的因素,我们从政策、市场和技术三个层面,选取多维度多方面的数据,通过 **Spearman 相关性分析**测定,判断各因素与竞争关系的相关性。我们应用 **matlab 贝叶斯神经网络**拟合数据,得出 2023-2030 年新能源汽车市场保有量随时间变化的预测和传统燃油汽车市场保有量随时间变化的演化规律。

针对问题三,我们通过 **Spearman 相关性分析**测定新能源汽车发展与双碳的关系,运用**灰色预测模型**以及 **sigmoid 生长函数模型**拟合对人口、经济产出、能源强度和碳强度四个方面进行未来量的预测,之后采用 **kaya 模型**,计算每一年的碳排放,从而预测碳达峰和碳中和的时间。

最后,本文分析了模型优缺点,并对模型进行了简单的推广。

关键词: TOPSIS 非线性最小二乘法 sigmoid 生长函数 spearman 相关性分析 贝叶斯神经网络 Kaya 模型

目录

基于多模型对新能源汽车与碳排放的研究	1
1、问题的背景与重述	1
1.1 问题的背景	1
1.2 问题的重述	1
2、问题分析	1
3.模型假设	2
4.符号说明	2
5.问题一的模型建立与求解	3
5.1 数据选取和处理	3
5.1.1 数据指标选取	3
5.1.2 数据处理	3
5.2 模型的求解	4
5.2.1 利用 TOPSIS 构建评价体系	4
5.2.2 利用最小二乘法对多项式函数进行拟合，预测未来三年的长三角新能源 汽车保有量	5
6.问题二的模型建立与求解	6
6.1 数据选取和处理	6
6.1.1 数据选取	7
6.2 模型的求解	6
6.2.1 新能源汽车和传统燃油汽车的市场竞争关系分析	6
6.2.2 通过 spearman 相关性分析测定竞争关系的影响因素	7
6.2.4 利用贝叶斯神经网络预测新能源汽车和传统燃油汽车的未来市场保有量	9
7.问题三的模型建立与求解	10
7.1 数据选取和处理	10
7.2 模型求解	11
7.2.1 通过 spearman 相关性分析新能源汽车和双碳的关系	11
7.2.2 碳达峰和碳中和的时间预测	11
8. 模型的评价和推广	14
8.1 模型的优点	14
8.2 模型的缺点	14
8.3 模型的推广	14
9.参考文献	15
10.附录	16

基于多模型对新能源汽车与碳排放的研究

1、问题的背景与重述

1.1 问题的背景

新能源汽车是实现碳达峰和碳中和的重要途径，国家和地方政府都制定了相关的发展规划和目标。《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》提出至 2035 年，新能源汽车市场占比超过 50%，燃料电池汽车保有量达到 100 万辆，节能汽车全面实现混合动力化，汽车产业实现电动化转型的明确目标。国务院办公厅印发的《新能源汽车产业发展规划(2021—2035 年)》也提出了相同的目标。

长三角地区是国内新能源汽车产业的重要集聚区，对全国新能源汽车市场有着重要的影响和作用。长三角地区已经出台了一系列促进新能源汽车发展的政策措施，如严格控制煤炭消费总量，推动清洁电力通道建设，加快充电桩建设及换电模式创新，加强交通运输领域绿色低碳产品供给等。长三角地区在新能源产业集聚度城市排行榜上占据了半数以上的席位。

新能源汽车与传统燃油汽车的市场竞争关系受到多种因素的影响，需要进行分析 and 预测。这些因素包括政策支持、消费者偏好、成本价格、续航里程、充换电设施、环境意识等。随着新能源汽车技术的不断进步和市场的不断扩大，传统燃油汽车将面临越来越大的挑战和压力。

1.2 问题的重述

问题一：分析长三角地区新能源汽车的发展情况，包括生产规模、技术水平、市场占有率等方面，研究其在全国新能源汽车市场的地位及作用，预测未来 3 年长三角地区新能源汽车的市场保有量及增长趋势。

问题二：研究我国新能源汽车与传统燃油汽车的市场竞争关系，分析该竞争关系受到哪些因素的影响，如何量化这些因素，并建立相应的数学模型，给出我国新能源汽车和传统燃油汽车市场保有量随时间变化的演化规律及预测结果。

问题三：研究新能源汽车发展与双碳目标的关系，分析新能源汽车对碳排放减少的贡献程度，并对长三角地区碳达峰和碳中和的时间进行预测，如有必要可结合其它相关因素，并给出相应的数学模型及预测结果。

2、问题分析

问题一：对于研究长三角地区新能源汽车生产在全国新能源汽车市场的地位及作用，我们选取全国各地区新能源汽车的产量、销量、科研机构数量和汽车企业数量作为影响因素，采用 TOPSIS 算法进行研究，得到得到各地区新能源汽车生产的归一化得分，即该问题中新能源汽车生产在全国市场的地位。TOPSIS 得分越高，表示该地区新能源汽车生产重要性越高。

对于未来三年长三角地区新能源汽车市场保有量的预测，我们根据 2014 年到 2022 年长三角地区新能源汽车保有量数据，采用非最小二乘方法进行多项式拟合，计算出未来三年的长三角新能源汽车保有量数据。

问题二：对于新能源汽车与传统燃油汽车的市场竞争关系，即不同产品间的竞争关系，我们选取新能源汽车保有量与传统燃油车保有量的比值、市场占有率能反映传统燃油车和新能源汽车市场竞争关系的数据，将数据可视化，分析我国新能源汽车与

传统燃油汽车的市场竞争关系。

对于影响该竞争关系的因素，我们选取新能源汽车保有量与传统燃油车保有量的比值和新能源汽车市场占有率作为市场竞争关系的代表。我们从政策、技术和市场选取多个因素的数据，如燃油价格、新能源车政府补贴金额和新能源汽车专利申请数量等，通过 Spearman 相关性分析测定新能源汽车保有量比传统燃油车保有量、新能源汽车市场占有率与其他数据的相关程度 $\|r\|$ ，当 $\|r\| > 0.8$ 时，便认为两个因素高度相关，并判断出正负、强弱相关影响。

对于我国新能源汽车和传统燃油汽车市场保有量随时间变化的演化规律，应用 matlab 贝叶斯神经网络拟合数据，得出 2023-2030 年新能源汽车市场保有量随时间变化的预测和传统燃油汽车市场保有量随时间变化的预测（政府对于部分车企的传统燃油车的禁售政策，影响因数较大，仅预测时间为 2023-2030 年）。

问题三：对于新能源汽车发展与双碳的关系，我们采用 Spearman 相关性分析两者之间的关系。

对于长三角地区碳达峰和碳中和的时间的预测，采用 Kaya 模型，从人口、经济产出、能源强度和碳强度四个方面计算碳排放量，从而预测碳达峰和碳中和的时间。

3.模型假设

假设 1 假设人口在增长到一定程度后呈现稳定，不考虑负增长情况（时间跨度长且难以考虑）

假设 2 假设人均 GDP 在增长到一定数量后会趋向于稳定

假设 3 假设传统汽车将被彻底淘汰

假设 4 假定不会突然出现不可预期因素（诸如固碳技术的技术爆炸发展），从而对于碳达峰造成巨大影响。

4.符号说明

模型符号	符号说明
x_{ij}	第 i 个评价对象的第 j 个指标
Z_{ij}	标准化矩阵中 Z 的元素
Z_j^+	最优向量矩阵
Z_j^-	最劣向量矩阵
D_i^+	最优向量矩阵距离
D_i^-	最劣向量矩阵距离
S_i	未归一化得分
\tilde{S}_i	归一化得分
ρ	斯皮尔曼等级相关系数
d_i	两个排序后训练集 x_i 和 y_i 的差
F	碳排放量
P	人口
G	人均 GDP
E	能源强度
C	碳强度

5.问题一的模型建立与求解

5.1 数据选取和处理

5.1.1 数据指标选取

为评价长三角地区新能源汽车在全国新能源汽车市场的地位和作用，我们选取汽车产量、销量、汽车企业数量和科研机构数量四个方面的数据作为评价指标。这四个评价指标的具体解释如下：

(1) 汽车产量反映了长三角地区新能源汽车的生产能力和规模，也是衡量区域产业发展水平的重要指标。

(2) 汽车销量反映了长三角地区新能源汽车的市场表现和受欢迎程度，也是衡量区域产业效益和竞争力的重要指标。

(3) 汽车企业数量反映了长三角地区新能源汽车的产业集聚度和创新活力，也是衡量区域产业多样性和潜力的重要指标。

(4) 科研机构数量反映了长三角地区新能源汽车的技术支撑和人才储备，也是衡量区域产业发展前景和战略布局的重要指标。

5.1.2 数据处理

我们从《2021 中国汽车市场年鉴》^[1]中获取了相关数据

表 1 TOPSIS 评分用表

城市	产量（万）	销量（万）	科研机构数	汽车企业数
京津冀	37.8	24.5	25	34
长三角	51.66	43.75	18	76
山东	27.5	6.2	10	35
珠三角	32.5	11.8	2	14
陕西	23.6	4.8	2	3
河南	6.2	7.6	3	14
辽宁	5.4	4.4	2	4
四川	7.5	5.2	2	15

我们根据各地统计报告^{[2][3][4][5][6][7][8][9][10][11]}汇总以下数据。

表 2 长三角地区新能源汽车保有量

年份（汽车单位： 万辆）	上海市	江苏省	浙江省	安徽省	长三角
2014	0.23	0.18	0.23	0.26	0.9
2015	0.47	0.53	0.63	1.5	2.76
2016	8.9	5.22	1.62	3.7	19.44
2017	14.5	10.05	3.46	8.7	36.71
2018	22.7	21.56	6.7	14.7	65.66
2019	32.7	22.7	10.97	19.8	86.17
2020	31.4	50.5	27.2	23.5	132.6

5.2 模型的求解

5.2.1 利用 TOPSIS 构建评价体系

针对各地区新能源汽车的影响力，我们选取的四个指标是极大型指标，越大越好，因此，选用极大化指标正向化公式：

$$x'_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

再建立建立由 n 个评价对象， m 个评价指标组成的评价体系 \mathbf{X} ：

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

并根据题中条件建立评价指标体系：

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

根据以上公式，我们可以得到最优向量 Z_j^+ 和最劣向量 Z_j^- ：

$$Z_j^+ = \max_{1 \leq j \leq n} |Z_{ij}|$$

$$Z_j^- = \min_{1 \leq j \leq n} |Z_{ij}|$$

然后计算选取的第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个地区与最优向量和最劣向量的距离 D_i^+ 和 D_i^- ：

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^+ - Z_{ij})^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_j^- - Z_{ij})^2}$$

再计算第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个地区未归一化的的得分 S_i ：

$$S_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

最后将 S_i 归一化：

$$\tilde{S}_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

根据构建的 TOPSIS 模型，我们计算出以下得分，得分越高，该地区在全国新能源汽车市场的重要性越高。

表 3 各地区 TOPSIS 评分

城市	得分
长三角	0.359383
京津冀	0.256117
山东	0.140045
珠三角	0.103139
陕西	0.060508
河南	0.039773
四川	0.037873
辽宁	0.003162

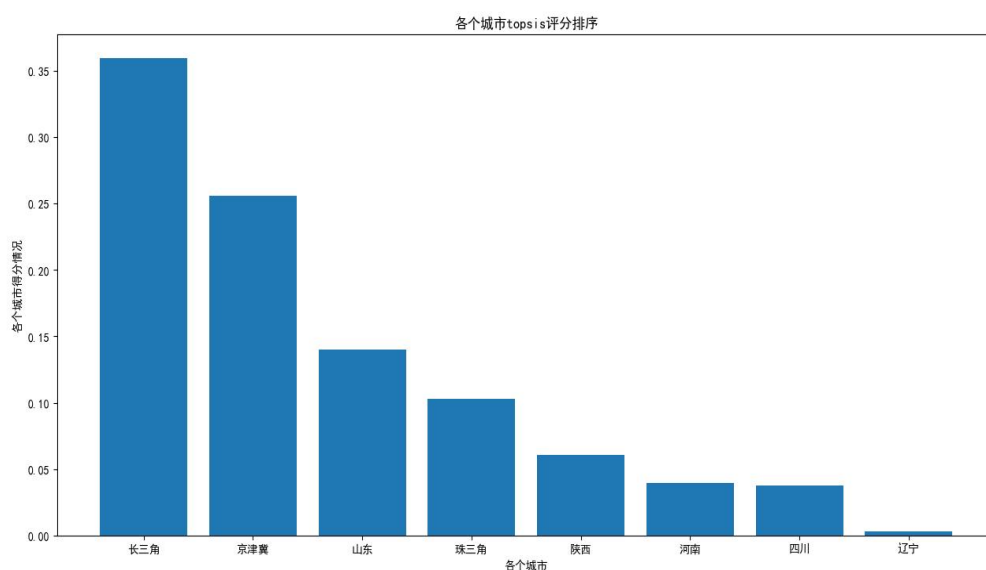


图 1 各个城市 TOPSIS 评分排序

由以上可知，长三角地区是全国新能源汽车产业链的核心区域，拥有完善的产业配套和创新能力，是全国新能源汽车发展的先行者和引领者，拥有积极的政策支持和市场需求。

5.2.2 利用最小二乘法对多项式函数进行拟合，预测未来三年的长三角新能源汽车保有量

我们根据 2014 年到 2020 年的长三角地区新能源汽车保有量数据，采取 curve_fit 方法拟合，curve_fit 是使用非线性最小二乘法将函数 f 进行拟合，寻找到最优曲线。拟合结果如下：

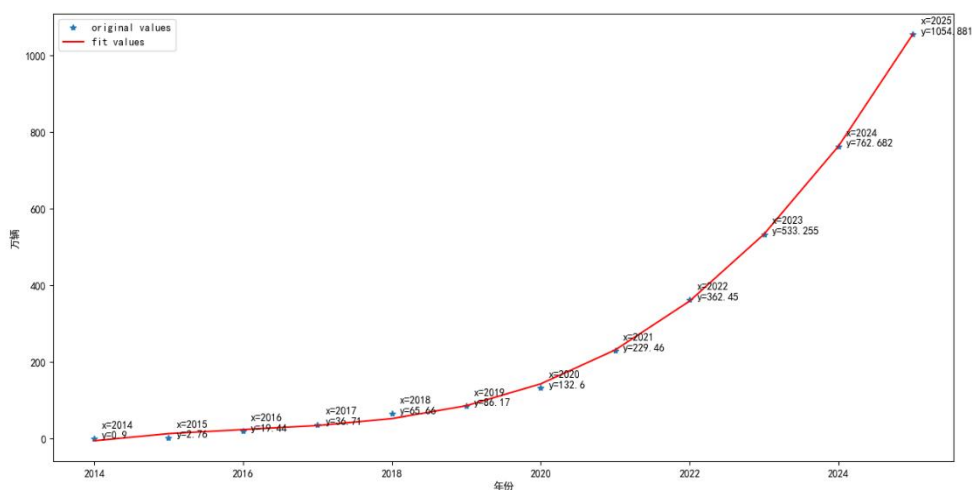


图 2 2014 年到 2025 年长三角地区新能源汽车保有量拟合图（后三年为预测值）

表 4 未来 3 年长三角地区新能源汽车的市场保有量预测

年份	保有量（万）
----	--------

2023	533.255
2024	762.682
2025	1054.881

6.问题二的模型建立与求解

6.1 数据选取和处理

6.2 模型的求解

6.2.1 新能源汽车和传统燃油汽车的市场竞争关系分析

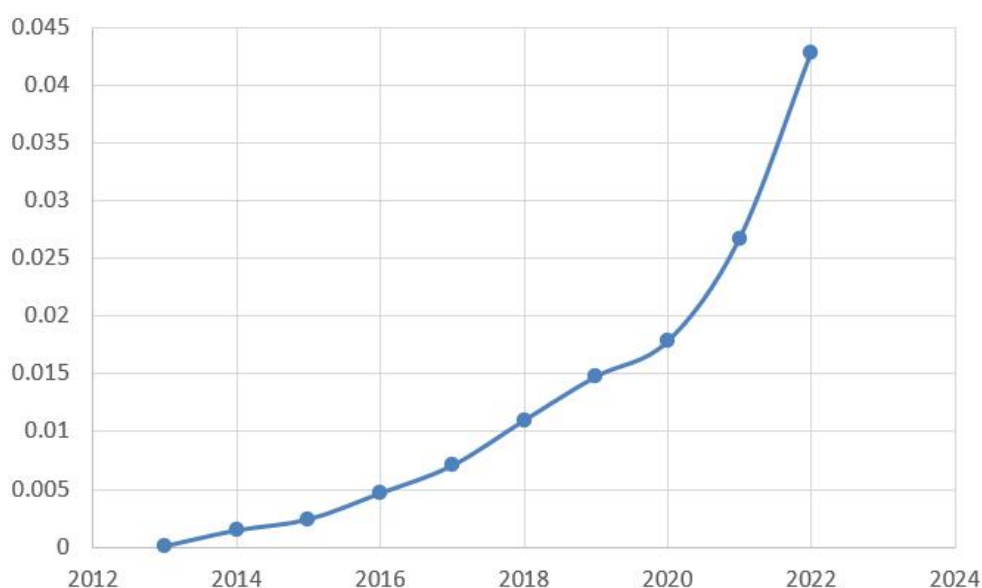


图 3 新能源汽车和传统燃油汽车的保有量比值变化

如图 3 可知，虽然目前传统能源汽车占据了绝大部分的汽车市场，但是随着政策导向的变化、消费者对环保和节能的需求和新能源汽车技术创新，新能源汽车近年来发展迅速，2022 年新能源汽车保有量已经是 2013 年的 744 倍，新能源汽车保有量与传统燃油车保有量的比值快速增长，而传统燃油汽车保有量增速较为缓慢，将进一步缩短新能源汽车和传统燃油汽车间的差距。

因此，从保有量的角度来看，新能源汽车和传统燃油车的市场竞争关系是不对称的，前者处于上升阶段，后者处于平稳阶段。

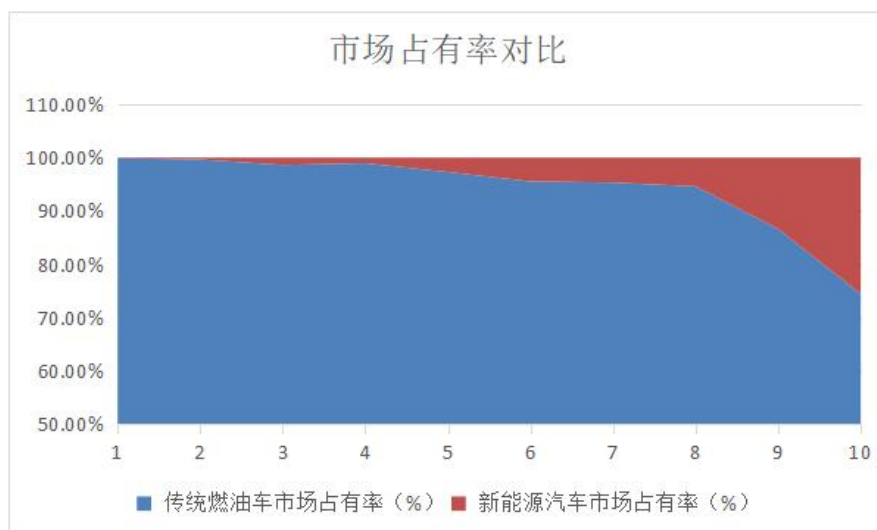


图4 新能源汽车市场占有率变化

根据图4，目前传统燃油汽车虽然保持中国汽车销售市场上的明显优势，但2022年新能源汽车市场占有率为25.6%，连续两年翻倍增长，传统燃油汽车面临较大的压力和挑战，未来新能源汽车的市场占有率将进一步增加。

因此，从市场占有率的角度来看，新能源汽车和传统燃油车的市场竞争关系也是不对称的，前者处于快速扩张阶段，后者处于缓慢增长阶段。

综上所述，新能源汽车与传统燃油汽车竞争越来越剧烈，新能源汽车正处于快速扩张阶段，市场占有率进一步增加。传统燃油汽车市场占有率下降较快，但因为传统燃油汽车的保有量巨大，未来数年仍然占据市场主导地位。长远来看，随着新能源技术的创新和政策的推动，新能源汽车最终会成为市场主流。

6.1.1 数据选取

对于新能源汽车与传统燃油汽车的市场竞争关系，新能源汽车保有量与传统燃油车保有量能显示不同类型的汽车在消费者中的受欢迎程度和市场份额。一般来说，保有量越高，说明当前市场竞争力越强。新能源汽车和传统燃油汽车的市场占有率能显示不同类型的汽车在总销量中的比例和增长速度，一般来说，市场占有率越高，说明未来市场竞争力越强。

表5 汽车保有量和市场占有率数据^{[12][13][14][15][16][17][18][19]}

年份	新能源汽车保有量比传统燃油车保有量	新能源汽车市场占有率 (%)
2013	0.0001281	0.08%
2014	0.001491183	0.36%
2015	0.00244385	1.35%
2016	0.004703085	1.03%
2017	0.007086614	2.69%
2018	0.010981613	4.47%
2019	0.014785207	4.68%
2020	0.017829317	5.40%
2021	0.026696632	13.40%
2022	0.042820253	25.60%

对于影响该竞争关系的因素，我们从政策、技术和市场多个维度考虑，因此选取新能源汽车保有量比传统燃油车保有量、新能源汽车市场占有率、新能源汽车市场渗透率等因素(见附录表 12、13)。

对于我国新能源汽车和传统燃油汽车市场保有量随时间变化的演化规律，我们从——汽车工业报告[2][3][4][5][6][7][8][9][10][11]——获得了 2013 年到 2022 年我国新能源汽车和传统燃油汽车的保有量数据。

表 6 2013 年到 2022 年新能源汽车和传统燃油汽车市场保有量

年份	传统燃油汽车市场保有量（万辆）	新能源汽车保有量（万辆）
2013	13739	1.76
2014	15424	23
2015	17186	42
2016	19349	91
2017	21590	153
2018	23767	261
2019	25769	381
2020	27595	492
2021	29367	784
2022	30593	1310

6.2.2 通过 spearman 相关性分析测定竞争关系的影响因素

spearman 相关性分析用来估计两个变量 X、Y 之间的相关性，其中变量间的相关性可以使用单调函数来描述。如果两个变量取值的两个集合中均不存在相同的两个元素，那么，当其中一个变量可以表示为另一个变量的很好的单调函数时，两个变量之间的ρ可以达到+1 或-1。

现在有两个数据集 X 和 Y，每个的长度是 n，对 X、Y 进行排序（同时为升序或降序），两个随即变量取的第 i（1<=i<=n）个值分别用x_i、y_i表示。令d_i=x_i-y_i，（1<=i<=n）。变量x_i、y_i之间的斯皮尔曼等级相关系数ρ可以由d_i计算得到，其计算方式如下所示：

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

当||ρ|| ≥ 0.8 时，两个变量高度相关，当 0.5 ≤ ||ρ|| ≤ 0.8 时，两个变量中度相关，当 0.3 ≤ ||ρ|| ≤ 0.5 时，两个变量低度相关，当||ρ|| ≤ 0.3 时，便认为两个变量不相关。

表 7 spearman 相关系数表

影响因素	新能源汽车保有量比传统燃油车保有量	新能源汽车市场占有率（%）
新能源汽车市场渗透率（%）	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
燃油价格（元/升）	0.494 (0.213)	0.593 (0.121)
燃油车平均价格（万元）	-1 (0.000***)	-0.976 (0.000***)
电动车充电成本（元/千瓦时）	-0.994 (0.000***)	-0.97 (0.000***)
电动车平均价格	-1 (0.000***)	-0.976 (0.000***)

(万元)		
新能源汽车能源效率 (公里/千瓦时)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
燃油车能源效率 (公里/升)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
新能源车政府补贴金额 (亿元人民币)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
新能源汽车市场规模 (亿元人民币)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
新能源汽车企业数量 (家)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
新能源汽车专利申请数量 (项)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
新能源汽车产业链规模 (家)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)
新能源汽车充电桩数量 (万个)	1 (0.000***)	0.976 (0.000***)

注：***、**、*分别代表 1%、5%、10%的显著性水平

由数据可知，新能源汽车市场渗透率，新能源汽车能源效率，燃油车能源效率，新能源车政府补贴金额，新能源汽车市场规模，新能源汽车企业数量，新能源汽车专利申请数量，新能源汽车产业链规模，新能源汽车充电桩数量对新能源汽车市场占有率是高度正相关，对传统燃油汽车是高度负相关；燃油车平均价格，电动车充电成本，电动车平均价格对新能源市场占有率是高度负相关，对传统燃油汽车是高度正相关；燃油价格对新能源市场占有率是中度正相关，对传统燃油汽车是中度负相关。由此可以看出以上因素对新能源汽车和传统燃油汽车的竞争关系的影响。

6.2.4 利用贝叶斯神经网络预测新能源汽车和传统燃油汽车的未来市场保有量

贝叶斯神经网络，可以对预测分布进行学习，不仅可以给出预测值，而且可以给出预测的不确定性，具有非常强的鲁棒性。

神经网络用于建模分布 $p(Y|X)$ ，即给定数据 x ，输出预测值 y 的分布设训练集为 D ，我们对 $p(Y|X)$ 进行如下变化

$$p(Y|X) = \int p(Y|X, W)p(D)p(D) \, dW$$

$p(Y|X, W)$ 表示给定权重 w 和输入 x ，输出 y 的概率分布，即神经网络。我们需要依据训练集 D 建模出权重的分布 $p(W|D)$ ，就可以依据蒙特卡罗方法，采样 m 个服从 $p(W|D)$ 分布的样本，计算即可得到 $p(Y|X)$ 。

我们将 2013 年到 2022 年的新能源汽车和传统燃油汽车的保有量作为训练集 D_1 和 D_2 分别训练神经网络模型，然后对未来汽车保有量进行预测，结果如下。

表 8 未来新能源和传统燃料汽车保有量

年份	新能源汽车预测数量 (万辆)	燃油汽车预测数量 (万辆)
2023	1818.005594	32781.27382
2024	2124.906841	34429.6926
2025	2273.099801	35971.62283
2026	2345.643065	37364.41155
2027	2388.391455	38582.46974

2028	2419.991956	39618.7337
2029	2447.231844	40480.84152
2030	2472.46751	41185.62735

根据各地政府政策及车企公告，如海南省在 2030 年全面禁售燃油车^[22]，比亚迪在 2022 年 3 月全面停售燃油车^[23]，在 2030 年前中国将会有大量车企停售燃油车，全国各地禁售燃油车政策也将落地，因为以上因素，2030 年以后数据预测偏差较大，难以准确预测，因此汽车保有量预测到 2030 年

7.问题三的建立与求解

7.1 数据选取和处理

通过各省份统计年鉴，易查得以下数据

表 9 各省人均 GDP

时间	江苏省（元）	上海市（元）	浙江省（元）	安徽省（元）
2013	72768	95700	65105	34404
2014	78711	102800	68569	37580
2015	85871	109200	73276	39692
2016	92658	121400	78384	43686
2017	102202	133500	85612	49092
2018	110508	145700	93230	56063
2019	116650	153300	98770	60561
2020	121333	156800	100738	62411
2021	137039	173600	113032	70321

表 10 各省人口

时间	江苏省（人）	上海市（人）	浙江省（人）	安徽省（人）
2013	81920000	24480000	57840000	59880000
2014	82810000	24670000	58900000	59970000
2015	83150000	24580000	59850000	60110000
2016	83810000	24670000	60720000	60330000
2017	84230000	24660000	61700000	60570000
2018	84460000	24750000	62730000	60760000
2019	84690000	24810000	63750000	60920000
2020	84770000	24880000	64680000	61050000
2021	85050000	24890000	65400000	61130000

然后通过 Excel 的 sum 等函数，处理得到以下数据

表 11 长三角相关数据

时间	长三角（总人口）	长三角（总 GDP）	长三角人均 GDP（元）
2013	224120000	1.41297E+13	63045.13332
2014	226350000	1.51714E+13	67026.12596
2015	227690000	1.64385E+13	72196.6374
2016	229530000	1.78547E+13	77788.0183
2017	231160000	1.9858E+13	85905.69865
2018	232700000	2.18923E+13	94079.65819
2019	234170000	2.34799E+13	100268.4764

2020	235380000	2.44254E+13	103770.192
2021	236470000	2.72489E+13	115232.0991

而长三角地区能源消耗总量以及能源生产总量数据在附录表 14、15 中。

7.2 模型求解

7.2.1 通过 spearman 相关性分析新能源汽车和双碳的关系

我们采取 spearman 相关性分析用来估计新能源汽车和双碳之间的相关性，对于影响该相关性关系的因素，我们从政策、技术和市场多个维度考虑，选取了中国碳排放量（百万吨）、新能源汽车保有量比传统燃油车保有量、新能源汽车市场占有率、新能源汽车市场渗透率等因素进行分析(见附录表 12、13)：

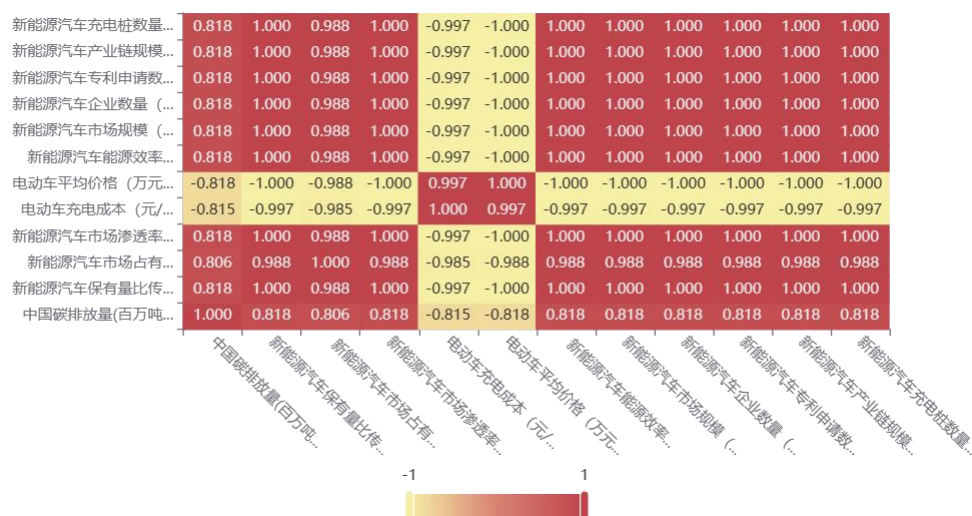


图 5 碳排放量与新能源汽车发展因素 Spearman 热力图

由图我们可以比较容易得知，中国的碳排放量与新能源汽车的发展总体呈现正相关关系。

7.2.2 碳达峰和碳中和的时间预测

我们采用 Kaya 模型计算未来中国碳排放量。Kaya 模型是一种用于分析全球温室气体排放的数学模型，它将人类活动对碳排放的影响分解为四个因素：人口、经济产出、能源强度和碳强度。Kaya 模型的计算公式如下：

$$F = P \times G \times E \times C$$

F 是碳排放量，单位是吨/年；P 是人口，单位是人；G 是人均 GDP，单位是元/人；E 是能源强度，单位是千克标准煤/元；C 是碳强度，单位是千克二氧化碳/千克标准煤。

我们采用灰色预测模型计算能源强度和碳强度。在对于能源强度的未来预测中，通过灰色预测模型 GM(1,1) 算法，以时间为因变量，分别以能源强度、碳强度为自变量进行预测，以下为灰色模型构建结果，而相关分析报告在附件中。

能源强度：发展系数 a 为 0.054，灰色作用量 b 为 0.43，后验差比 C 值为 0.025，模型平均相对误差为 2.175%。



图6 能源强度灰色模型预测图

详细预测结果见灰色预测模型 GM(1, 1)_能源强度.docx 文件。

碳强度：发展系数 a 为 0.008，灰色作用量 b 为 2.723，后验差比 C 值为 0.07，模型平均相对误差为 0.354%。

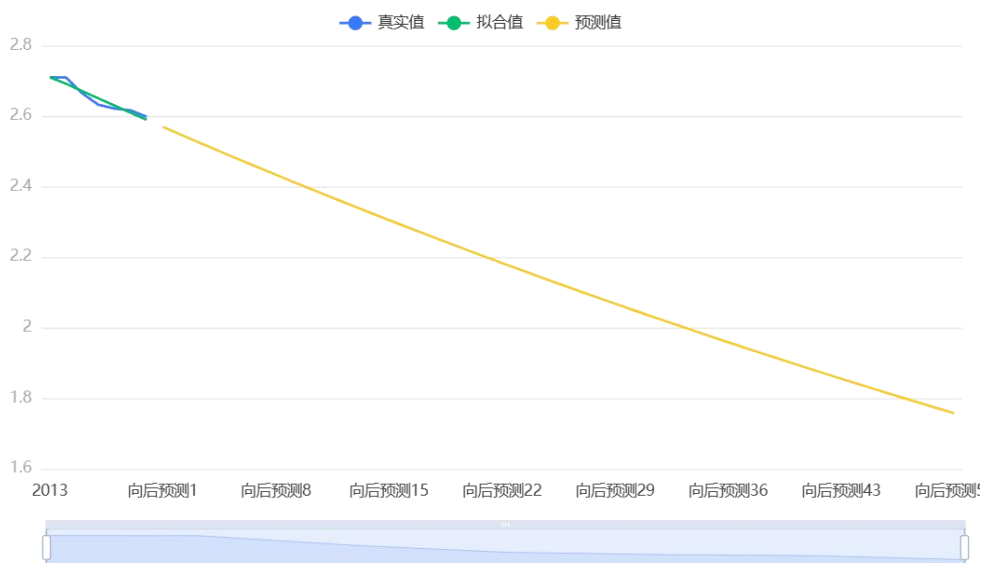
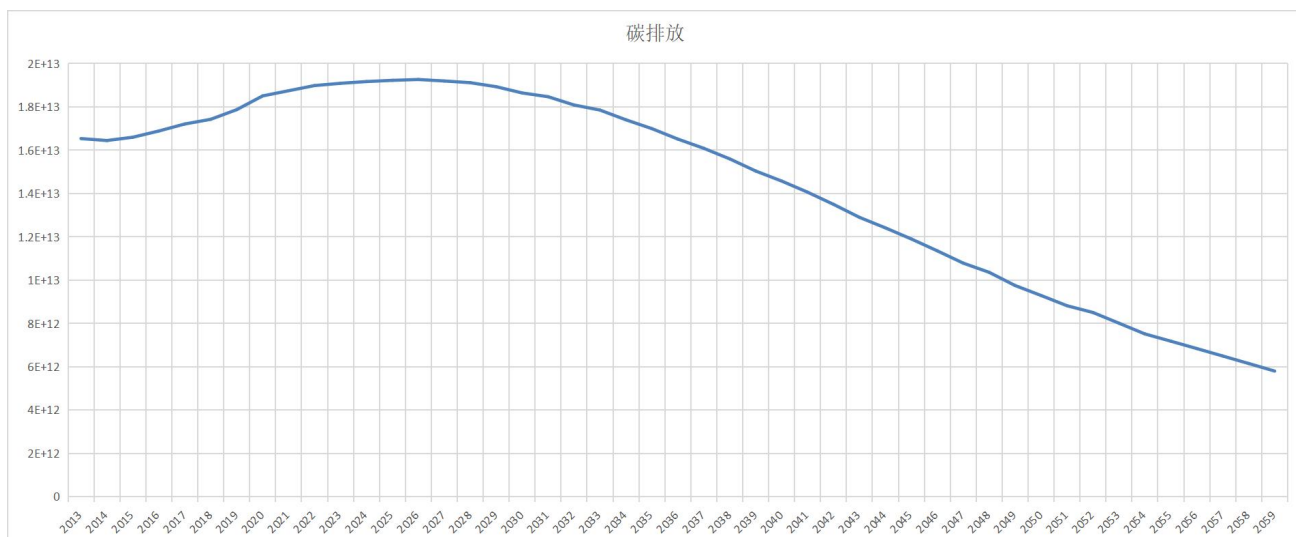


图7 碳强度灰色模型预测图

预测结果见灰色预测模型 GM(1, 1)_碳强度.docx 文件。

之后我们运用附录中的碳排放预测用数据.xlsx 文件（图表过大不在此展示），画出相对应的时间趋势图。



而由 Excel 函数已知，2026 年达到最大值为 1.92622E+13，之后趋向于下降，由于未知每年中国固碳数据，故而暂时推测碳中和时间为 2060 年以前。

8. 模型的评价和推广

8.1 模型的优点

(1) 本文考虑了多方面因素，选取了中国各省统计年鉴、人民政府以及中国碳核算数据库 (CEADs) 等相关机构的报告作为数据，比较权威。同时采用了 TOPSIS 层次分析法等等评价方法，该模型常常运用于模型评价，直观易懂，对数据的要求比较低，方便处理与推广。

(2) 本文采用了定性分析与定量分析相结合的方法，既能够考虑到定量分析所不能考虑到的因素，又能量化处理数据，使其具有一定的精度与准度。

(3) 本文运用 matlab 工具箱，采取贝叶斯神经网络进行预测，泛化能力较强，对于数据预测拟合较为准确，且方便易上手。同时结合灰色预测模型等常规方法配合预测，同时结合 sigmoid 生长函数等对相关指标，结合现实进行拟合。

(4) 本文采用生长函数对汽车保有量、人均 GDP 等数据进行拟合，具有较高的调整 R 方，精度较高，也更加符合实际情况。

(5) 本文采取 KAYA 模型对碳排放实行预测，结果较为符合现实情况

(6) 广泛巧妙运用 Spearman 系数，方便易懂。

8.2 模型的缺点

(1) 数据较为杂乱，来源众多，存在一定误差

(2) 本文的模型难以考虑政策影响（因为大部分为定量分析），故而普遍预测时间较短，即便是碳排放预测也删去了异常的年份。

(3) 考虑可能不周到不完全，比如新能源汽车生产的地位评价可能缺少考虑因素。

(4) 部分模型由于预测较多，经过处理后存在误差。

8.3 模型的推广

本文运用了 TOPSIS、神经网络预测、曲线拟合等数学模型进行建模，便于计算机求解，这易于推广。同时结合了生物科学领域的 KAYA 模型等进行建模，对于碳排放量能有一个比较准确的预测。

9.参考文献

- [1] 沈进军.2021 中国汽车市场年鉴[M], 2021.
- [2] 中国汽车工业协会. 中国汽车工业经济运行报告[R], 2021.
- [3] 中国汽车工业协会.2021 中国汽车工业经济运行报告[R]: 1-42,, 2021.
- [4] 中国汽车工业协会.2020 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2020.
- [5] 中国汽车工业协会.2019 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2019.
- [6] 中国汽车工业协会.2018 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2018.
- [7] 中国汽车工业协会.2017 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2017.
- [8] 中国汽车工业协会.2016 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2016.
- [9] 中国汽车工业协会.2015 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2015.
- [10] 中国汽车工业协会.2015 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2014.
- [11] 中国汽车工业协会.2015 中国汽车工业经济运行报告[R] : 1-42, 2013.
- [12] 沈进军.2021 中国汽车市场年鉴[M], 2021.
- [13] 沈进军.2020 中国汽车市场年鉴[M], 2020.
- [14] 沈进军.2019 中国汽车市场年鉴[M], 2019.
- [15] 沈进军.2018 中国汽车市场年鉴[M], 2018.
- [16] 沈进军.2017 中国汽车市场年鉴[M], 2017.
- [17] 沈进军.2016 中国汽车市场年鉴[M], 2016.
- [18] 沈进军.2015 中国汽车市场年鉴[M], 2015.
- [19] 沈进军.2014 中国汽车市场年鉴[M], 2014.
- [20] 徐维超. 相关系数研究综述[J]. 广东工业大学学报,2012,29(3):12-17.
- [21] 绿色和平国内低碳发展政策研究项目组. 中国 30 省（市）碳排放情况追踪, “第一梯队”谁来领跑? [EB/OL]. 2021[. <https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2022/01/subnational-carbon-emission-briefing.pdf>.
- [22] 卢奇秀. 海南: 2030 年全面禁售燃油车[N]. 中国能源报, 2022 年 08 月 29 日(第 03 版).
- [23] 吴遇利. 全球首家! 比亚迪宣布停产燃油车, 3 月新能源车销量逾十万辆[EB/OL]. 2022[. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_17454073.

10.附录

表 12 新能源汽车与传统燃油汽车影响因素 1

年份	新能源汽车保有量比传统燃油车保有量	新能源汽车市场占有率 (%)	新能源汽车市场渗透率 (%)	燃油价格 (元/升)	燃油车平均价格 (万元)	电动车充电成本 (元/千瓦时)	电动车平均价格 (万元)
2015	0.00244385	1.35%	1.35%	7.2	13	1	29
2016	0.004703085	1.03%	1.80%	6.5	12	0.9	26
2017	0.007086614	2.69%	2.70%	6.8	11	0.8	23
2018	0.010981613	4.47%	4.54%	7.2	10	0.7	21
2019	0.014785207	4.68%	4.70%	7.5	9	0.6	19
2020	0.017829317	5.40%	5.40%	6.8	8	0.5	17
2021	0.026696632	13.40%	13.40%	7.2	7	0.4	15
2022	0.042820253	25.60%	27.60%	7.5	6	0.4	13

表 13 新能源汽车与传统燃油汽车影响因素 2

年份	新能源汽车能源效率 (公里/千瓦时)	燃油车能源效率 (公里/升)	新能源车政府补贴金额 (亿元)	新能源汽车市场规模 (亿元)	新能源汽车企业数量 (家)	新能源汽车专利申请数量 (项)	新能源汽车产业链规模 (家)	新能源汽车充电桩数量 (万)
2015	4.8	12.4	4	71.5	70	1020	320	1.2
2016	5.1	12.6	5.2	162.5	90	1170	370	3.5
2017	5.4	12.8	7	331.5	120	1360	420	8.2
2018	5.7	13	9.3	609.5	150	1470	460	15.6
2019	6	13.2	12.1	956.7	180	1610	500	28.4
2020	6.3	13.4	14.9	1521.6	220	1750	550	44.7
2021	6.6	13.6	17.8	2002.5	250	1900	590	59.1
2022	6.9	13.8	20.9	2483.4	280	2000	630	74.2

表 14 长三角二氧化碳排放表 (除最后一列, 单位都是百万吨)

年份	浙江省	上海市	江苏省	安徽省	长三角	长三角二氧化碳排放 (千克)
2013	382.4288334	207.6336299	706.6238201	356.7316024	1653.417886	1.65342E+13
2014	378.7776463	194.2199469	708.2423863	363.2736197	1644.513599	1.64451E+13
2015	378.8417139	195.3237818	721.6548661	363.9109301	1659.731292	1.65973E+13
2016	374.5719106	194.7097847	743.0444139	376.14539	1688.471499	1.68847E+13
2017	384.5641901	196.1535085	757.8805058	382.216441	1720.814645	1.72081E+13
2018	388.8253375	190.6416104	764.0493127	398.9842765	1742.500537	1.7425E+13
2019	381.4072157	192.9121822	804.5942139	408.0643411	1786.977953	1.78698E+13

表 15 长三角能源消耗表 (除最后一列, 单位都是万吨标准煤)

年份	浙江省	上海市	江苏省	安徽省	长三角	长三角能源消耗（千克标准煤）
2013	18640.00	10 890.39	30293.98	12083	61016.98	6.1017E+12
2014	18826.00	10 639.86	29863.03	12011.02	60700.05	6.07001E+12
2015	19610.00	10 930.53	30374.14	12301.23	62285.37	6.22854E+12
2016	20275.60	11 241.73	31209.71	12662.89	64148.2	6.41482E+12
2017	21030.01	11 381.85	31602.09	13018.71	65650.81	6.56508E+12
2018	21674.56	11 453.73	31635.2	13294.71	66604.47	6.66045E+12
2019	22393.00	11 696.46	32525.97	13869.73	68788.7	6.87887E+12

注：表 14、15 数据来自中国碳核算数据库（CEADs）。