

# 鄱阳湖生态经济区能源消费碳排放预测

杨云松

(南昌工学院经济与管理学院, 南昌 330013)

**摘要:** 为了实现鄱阳湖生态经济区的“双碳”目标,从能源消耗角度分析鄱阳湖生态经济区的碳排放,并采用 Logistic 模型对 2024—2035 年的碳排放量进行预测。结果表明:Logistic 模型预测的 2011—2022 年碳排放量与该时段的实际值最大误差为 9.0%,平均误差为 2.43%,能够较好地拟合鄱阳湖生态经济区的碳排放趋势;Logistic 模型预测的 2035 年碳排放量达到 23 345.38 万 t;碳排放增长率处于减小趋势,由 2024 年的 0.85% 减少到 2035 年的 0.04%,2035 年可基本实现碳达峰。研究成果对促进鄱阳湖生态经济区科学制定碳减排路径具有重要意义。

**关键词:** 碳排放预测; 时空演变; Logistic 模型; 鄱阳湖生态经济区

**中图分类号:** X24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)15-0242-05

全球气候变暖正威胁着人类生存,人类活动引起的碳排放是全球气候变暖的主要因素<sup>[1]</sup>。中国碳排放总量从 1980 年的 7.4 亿 t 增长至 2022 年的 114.8 亿 t,年均增长率为 6.6%<sup>[2]</sup>。面对日益增长的环境压力,2020 年中国在联合国大会上宣布,争取 2030 年碳达峰,2060 年实现碳中和<sup>[3]</sup>。鄱阳湖生态经济区是长江中下游地区的重要经济发展区域<sup>[4]</sup>,涵盖江西省的南昌、九江、景德镇、鹰潭、新余、抚州、宜春、上饶、吉安 9 个地级市,是中国重要的生态功能保护区。近年来,鄱阳湖生态经济区进入快速发展时期,社会经济发展加大了资源消耗,对生态环境造成严重影响。2009 年 12 月,国务院批复《鄱阳湖生态经济区规划》,提出把鄱阳湖生态经济区建设成为中国低碳经济发展先行区。分析鄱阳湖生态经济区碳排放特征并进行碳排预测,对促进鄱阳湖生态经济区低碳发展、制定有效的碳减排路径与发展策略具有重要意义。

早期的碳排放研究主要聚焦碳排放变化特征和影响因素。“双碳”目标提出后,碳排放预测成为研究的焦点。相关预测方法可分为 4 类。第 1 类是以 TPAT 和 STIRPAT 模型为代表的经济计量模型。王丽等<sup>[5]</sup>利用 TPAT 模型分析了不同气候下各影响因素对碳排放的贡献;牛君和程智超<sup>[6]</sup>采用 STIRPAT 模型预测了甘肃省碳达峰时间。该类方法基于线性回归假设,而碳排放影响因素较多,存

在一定的不确定性。第 2 类为灰色预测法。苏琪等<sup>[7]</sup>运用灰色预测模型,结合帝王蝶优化算法预测了天津市的碳排放。灰色模型预测由于不考虑随机性,导致对中长期预测存在较大偏差。第 3 类是系统动力学模型。马雪薇<sup>[8]</sup>运用该方法预测了京津冀的碳排放量,结果为 2036 年实现碳达峰。该类方法在计算时需要多次迭代以获得理想模拟效果。第 4 类神经网络模型善于刻画复杂的事物,但在经济学上的解释含义弱于经济计量模型。赵金辉等<sup>[9]</sup>将 BP(back propagation)神经网络与 Lasso 模型相结合,预测了河南省 2021—2035 年的碳排放量。目前,在碳排放预测方面,哪种方法更优并无统一结论。本文结合相关学者的研究结论,选择能够较好描述“S”形增长的 Logistic 模型,基于碳排放量与能源消费量成正比的假设,进行鄱阳湖生态经济区碳排放预测。

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源

原始数据来源于《江西省统计年鉴》以及江西省各市的国民经济与社会发展统计公报;碳排放因子数据来源于《中国能源统计年鉴》《城市温室气体清单研究》《2006 年国家温室气体排放清单指南》。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 碳排放测算方法

借鉴苏泳娴等<sup>[10]</sup>计算碳排放的方法测算鄱阳

**收稿日期:** 2025-02-02

**基金项目:** 江西省教育厅科技项目:鄱阳湖生态经济区碳源/碳汇时空演变机制及碳平衡预测(GJJ2202918)

**作者简介:** 杨云松(1974—),男,甘肃兰州人,博士,副教授,研究方向为区域资源环境与经济。

湖生态经济区各市的能源消耗碳排放量,公式为

$$CO_2 = \frac{44}{12} \times \sum_{i=1}^n K_i E_i \quad (1)$$

式中: $i$ 为能源种类; $E_i$ 为第*i*种能源的消费量,万t,按标准煤计; $K_i$ 为第*i*种能源的CO<sub>2</sub>排放系数,万t碳/万t标准煤。依据《综合能耗计算通则》的国家标准,能源消耗标准煤折算系数及CO<sub>2</sub>排放系数见表1。

### 1.2.2 Logistic 碳排放预测模型

Logistic 模型已广泛应用于预测学、信息科学和经济学等多个学科领域。建立碳排放量增长的 Logistic 预测模型方程<sup>[11]</sup>为

$$\frac{dx}{dt} = rx \left( 1 - \frac{x}{k} \right) \quad (2)$$

式中:初始条件为  $x_0 = x|_{t=0}$ ,  $x_0$  为初始年份碳排放量; $x$  为碳排放增量; $k$  为碳排放最大容量; $r$  为不定常数; $t$  为年份。

将式(2)变化后积分得到

$$\ln|x| - \ln \left| r - \frac{r}{k}x \right| = rt + c \quad (3)$$

式中: $c$  为常数项。

将初始条件  $x_0 = x|_{t=0}$ , 代入式(3)得到

$$\ln \left| \frac{x_0}{r - \frac{r}{k}x_0} \right| = c \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)化简得到

$$x = \frac{k}{1 + \left( \frac{k}{x_0} - 1 \right) e^{-rt}} \quad (5)$$

设  $Y = \ln \frac{k-x}{x}$ ,  $\frac{k}{x_0} - 1 = e^a$ , 对式(5)变形得到

$$Y = a - rt \quad (6)$$

式中: $a$  为数学参数。

模拟过程中的回归分析采用非线性最小二乘法,其基本原理是假设两组相关的数据变量  $t_i$  和  $y_i$  (因变量),使每个数据点  $t_i$  值对应的因变量预测值  $y$  的余残差平方和最小化。目标函数为

$$\min \sum_{t=1}^n [Y(t) - y(t)]^2$$

## 2 结果与分析

### 2.1 碳排放时空演变特征

如图1所示,整体上,2000—2022年鄱阳湖生

态经济区能源消费碳排放呈上升态势。从2000年的4869.8012万t增长到2022年的21767.5143万t,增长了4.47倍。这与经济活动的增强有紧密关系。近20年来,鄱阳湖生态经济区工业化、城市化快速发展,能源需求大幅增加,碳排放量明显上升。从每一年的碳排放量空间分布看,碳排放高值区主要分布在南昌、九江、上饶等地区,该类城市占地面积大,工业企业规模大。碳排放低值区集中在鹰潭、新余和景德镇等地区,这些城市占地面积小,人口规模小。各市的碳排放量均随时间呈现增加趋势,说明各市在大力发展经济的同时,能源消耗大幅增加。在碳排放量增幅方面,南昌、九江、宜春和上饶的碳排放量增幅相对较大,景德镇、鹰潭和新余的碳排放量增幅相对较小。

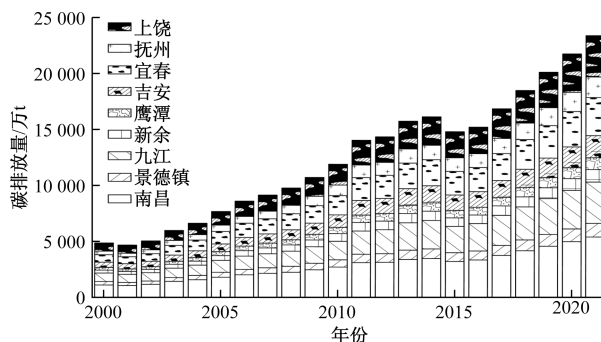


图1 2000—2022年鄱阳湖生态经济区各市碳排放量变化趋势

### 2.2 碳排放预测

#### 2.2.1 模型参数统计检验

根据鄱阳湖生态经济区9市的碳排放数据,初步确定  $k$  值范围,进行回归分析,其检验结果及各市的  $k$  值、 $a$  值、碳排放拟合函数见表2,各市拟合方程的  $R^2$  均达到0.9以上。

#### 2.2.2 模型验证

利用构建的 Logistic 碳排放量预测模型对鄱阳湖生态经济区各市2011—2022年的碳排放量进行预测(图2)。可以看出,绝大部分年份碳排放量的预测值与实测值极为接近,仅有个别年份存在一定的误差。2011—2022年各市碳排放量预测值与实测值的最大误差及误差均值见表3,整个鄱阳湖生态经济区预测值与实测值的最大误差为9%,出现在2014年,误差的平均值为2.43%。各市预测值

表1 能源消费碳排放系数和换算系数

能源种类	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
换算系数/(万吨标准煤·万t <sup>-1</sup> )	0.714	0.971	1.429	1.471	1.471	1.457	1.429	1.330	0.345
碳排放系数/(万吨碳·万吨标准煤 <sup>-1</sup> )	0.756	0.855	0.586	0.554	0.571	0.592	0.619	0.448	0.272

表 2 各市碳排放量统计检验参数及拟合函数

城市	函数	k	R <sup>2</sup>	r	a
南昌	$x = \frac{6\,400}{1 + e^{0.29x + 1.03}}$	6 400	0.905	-0.29	1.03
九江	$x = \frac{4\,000}{1 + e^{0.31x + 0.94}}$	4 000	0.903	-0.31	0.94
景德镇	$x = \frac{1\,500}{1 + e^{0.32x + 1.00}}$	1 500	0.902	-0.32	1.00
新余	$x = \frac{1\,500}{1 + e^{0.34x + 0.97}}$	1 500	0.904	-0.34	0.97
鹰潭	$x = \frac{1\,300}{1 + e^{0.32x + 0.98}}$	1 300	0.900	-0.32	0.98
吉安	$x = \frac{2\,600}{1 + e^{0.34x + 0.99}}$	2 600	0.904	-0.34	0.99
宜春	$x = \frac{4\,000}{1 + e^{0.30x + 0.97}}$	4 000	0.903	-0.30	0.97
抚州	$x = \frac{2\,200}{1 + e^{0.32x + 0.95}}$	2 200	0.905	-0.32	0.95
上饶	$x = \frac{4\,400}{1 + e^{0.31x + 1.00}}$	4 400	0.905	-0.31	1.00

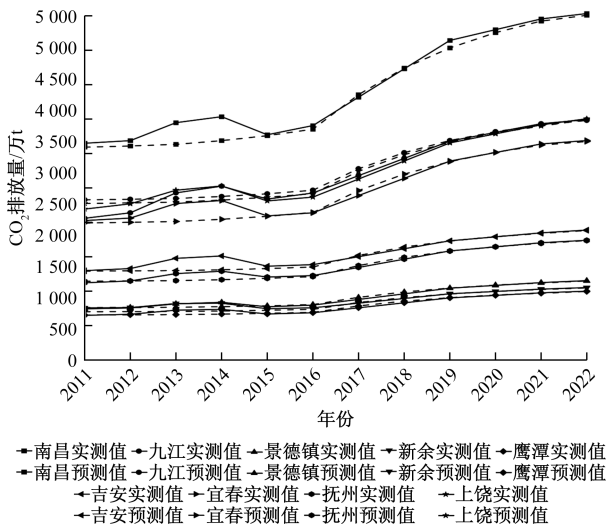


图 2 2011—2022 年鄱阳湖生态经济区各市碳排放量实际值与预测值的对比

与实测值的最大误差为 14%，出现在 2013 年的新余市，各市误差均值最大也出现在新余市，为 4.72%。因此，Logistic 模型能够较好地拟合鄱阳湖生态经济区的碳排放趋势。

2.2.3 碳排放预测

鄱阳湖生态经济区 2024—2035 年碳排放预测结果如图 3 所示。2035 年碳排放量将达到 23 345.38

万 t，与 2024 年相比，增量为 710.57 万 t。其中，南昌、九江、景德镇、新余、鹰潭、吉安、宜春、抚州、上饶各市相应的碳排放增量分别为 207.29 万 t、104.49 万 t、31.58 万 t、24.17 万 t、27.91 万 t、40.77 万 t、117.94 万 t、92.89 万 t、107.79.09 万 t，碳排放增量最大的是南昌市，主要是南昌作为省会城市经济相对发达，人口及工业规模大，能源消耗大。碳排增量最小的为新余市，该市旅游业发达，人口及工业规模相对较小。根据预测，尽管今后一段时间鄱阳湖生态经济区碳排放量仍处于增长状态，但增长幅度逐年减小，全区的碳排放量增长率由 2024 年的 0.85% 减少到 2035 年的 0.04%。南昌、九江、景德镇、新余、鹰潭、吉安、宜春、抚州、上饶各市的碳排增长率分别由 2024 年的 1.03%、0.80%、0.75%、1.31%、0.66%、0.77%、0.62%、0.77%、0.83% 降低到 2035 年的 0.06%、0.04%、0.03%、0.02%、0.03%、0.02%、0.05%、0.03%、0.03%，2035 年可基本实现碳达峰。

杜强等<sup>[11]</sup>采用 Logistic 模型对中国各省碳排放进行 10 年的预测，取得较高的精度。采用 Logistic 模型进行碳排放预测是以近年来的碳排放数据为基础不考虑情景模式的预测。该方法预测碳排放与其他设置情景分类预测模型中的基础情景一致。目前，关于鄱阳湖生态经济区碳排放预测的研究成果鲜见报道。杨学新<sup>[12]</sup>基于 IPSO-BP 神经网络模型对江西省工业碳排放进行了预测，在基础情境下 2035 年可碳达峰。由于能源消费碳排放主要来源为工业，且江西省 11 个市鄱阳湖生态经济区占据 9 个市。本文的研究成果与杨学新的较为一致。

3 结论

(1)2000—2022 年鄱阳湖生态经济区能源消费碳排放量逐年上升，这一现象与该地区近 20 年来工业化、城市化大发展有关。同时，区内各市的碳排放量亦呈现增加状态，南昌增幅最大，景德镇、鹰潭和新余的增幅相对较小。2000—2022 年不同时期高碳排放区域集中在南昌、九江和上饶。低碳排放城市主要为抚州、景德镇、鹰潭、新余。

(2)利用 Logistic 构建的鄱阳湖生态经济区各

表 3 2011—2022 年鄱阳湖生态经济区各市碳排放量最大误差与误差均值统计

城市		南昌	九江	景德镇	新余	鹰潭	吉安	宜春	抚州	上饶	全区
最大误差	误差值/%	10.0	13.0	7.0	14.0	9.0	13.0	12.0	9.0	8.0	9.0
	出现时间	2014 年	2011 年	2014 年	2013 年	2014 年	2014 年	2014 年	2014 年	2014 年	2014 年
误差均值/%		2.8	4.08	2.48	4.72	2.65	3.39	3.25	2.6	3.01	2.43

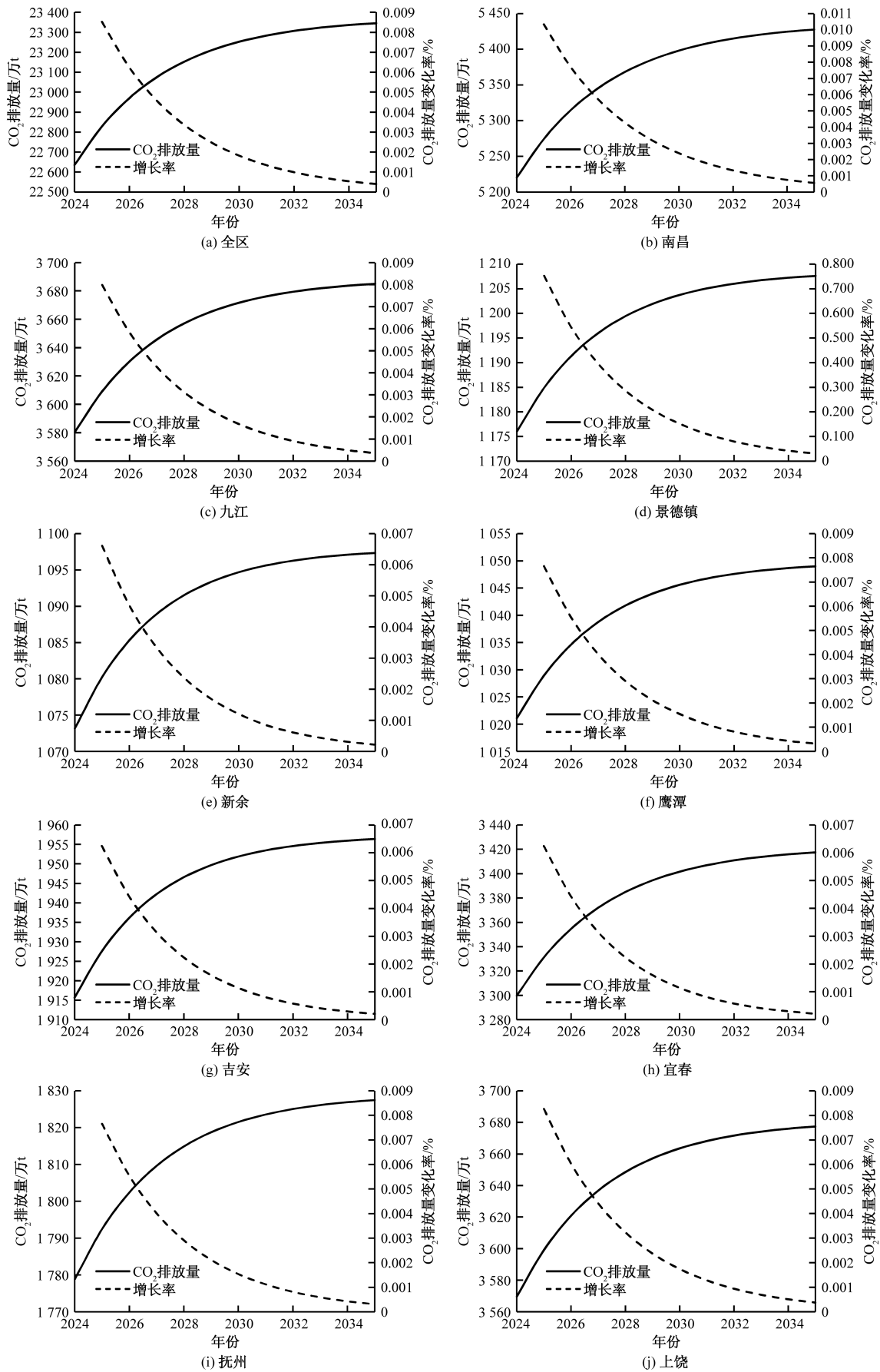


图3 2022—2035年鄱阳湖生态经济区各市碳排量预测值

市的碳排放模型  $R^2$  均达到 0.9 以上,同时利用模型预测的 2011—2022 年的碳排放量与该时段的实际观测值最大误差为 9%,平均误差为 2.43%,说明 Logistic 模型能够较好地拟合鄱阳湖生态经济区的碳排放趋势。

(3)根据预测,2035 年鄱阳湖生态经济区碳排放量将达到 23 345.38 万 t,与 2024 年相比,增量为 710.57 万 t。今后一段时间碳排放量仍处于增长趋势,但增长幅度逐年减小,全区的碳排增长率由 2024 年的 0.85% 减少到 2035 年的 0.04%,2035 年可基本实现碳达峰。

### 参考文献

- [1] 邓光耀,陈刚刚. 兰西城市群能源消费碳排放时空分布特征及影响因素:基于 DMSP/OLS 与 NPP/VIIRS 夜间灯光数据[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版), 2022, 41(6): 40-60.
- [2] 刘畅. 东北三省碳排放影响因素分析和趋势预测:基于 STIRPAT 模型和情景分析法[J]. 科技和产业, 2024, 24(21): 348-358.
- [3] 杨华磊,杨敏. 碳达峰碳中和:中国式现代化的能源转型之路[J]. 经济问题, 2024(3): 1-7.
- [4] 张田,余敦. 基于景观格局的鄱阳湖生态经济区湿地时空变化[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(4): 1-7.
- [5] 王丽,欧阳慧,马永欢. 经济社会发展对环境影响的再认识:基于 IPAT 模型的城市碳排放分析[J]. 宏观经济研究, 2017(10): 161-168.
- [6] 牛君,程智超. 基于 STIRPAT 模型的甘肃省碳达峰预测[J]. 开发研究, 2022(4): 123-132.
- [7] 苏琪,王海波,施晓辰,等. 基于灰色预测模型的参数寻优方法及能源预测应用[J]. 南昌大学学报(理科版), 2022, 46(3): 371-378.
- [8] 马雪薇. 京津冀地区碳排放系统的模拟仿真与优化建议研究[J]. 中国商论, 2023(5): 149-151.
- [9] 赵金辉,李景顺,王潘乐,等. 基于 Lasso-BP 神经网络模型的河南省碳达峰路径研究[J]. 环境工程, 2022, 40(12): 151-156, 164.
- [10] 苏泳娴,陈修治,叶玉瑶,等. 基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理[J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1513-1526.
- [11] 杜强,陈乔,杨锐. 基于 Logistic 模型的中国各省碳排放预测[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(2): 143-151.
- [12] 杨学新. 基于 IPSO-BP 神经网络模型的江西省工业碳排放预测研究[D]. 南昌:南昌大学, 2023.

## Prediction of Energy Consumption Carbon Emissions in the Poyang Lake Eco-economic Region

YANG Yunsong

(School of Economics and Management, Nanchang Institute of Science & Technology, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** In order to realize of the Poyang Lake Eco-economic Region's "dual-carbon" goal, carbon emissions was analyzed on energy consumption, and carbon emissions from 2024 to 2035 was predicted using the logistic model. The results showed the the maximum inaccuracies between the carbon emissions predicted by the Logistic model and the actual value from 2011 to 2022 was 9.0%, and the average inaccuracies was 2.43%, which is able to fit the trend of carbon emissions in Poyang Lake Eco-economic Region. The logistic model predicts that carbon emissions in 2035 will reach  $23\ 345.38 \times 10^4$  t. The growth rate of carbon emissions is in a decreasing trend, from 0.85% in 2024 to 0.04% in 2035, and the carbon peak would be basically realized in 2035. The research results are of great significance in promoting the scientific development of carbon emission reduction pathway in Poyang Lake Ecological and Economic Zone.

**Keywords:** carbon emission prediction; spatio-temporal evolution; Logistic model; Poyang Lake Eco-economic Region