

吉林省建筑业碳排放影响因素及达峰预测分析研究

苗泽惠¹, 李龙²

1. 吉林建筑大学, 吉林 长春 130000

2. 南昌市凯华建筑工程有限公司, 江西南昌 330000

DOI: 10.61369/SSSD.2025080029

摘要：建筑业作为我国支柱性产业之一，在带来发展的同时也消耗许多资源，属于高排行业。本文以吉林省建筑业为研究对象，采用 IPCC 碳排放系数法测算出吉林省建筑业 2007–2021 年碳排放量，利用文献分析法与灰色关联分析法筛选出 11 个关键因素，通过 STIRPAT 模型与岭回归方法对驱动因素进行分析发现建筑业房屋竣工面积、城镇化率、国内生产总值指数、人口规模以及公路运输量为主要驱动因素，对五个指标进行情景预测研究发现，在低碳发展路径下，吉林省建筑业碳排放量将于 2030 年实现峰值目标 11,841.4 万吨，此后逐步下降，至 2035 年可降至 10,893 万吨，并提出相关减碳建议。

关键词：建筑业；吉林省；碳排放；影响因素；达峰预测

Study on Influencing Factors of Carbon Emissions and Peak Prediction in Jilin Province's Construction Industry

Miao Zehui¹, Li Long²

1. Jilin University of Architecture, Changchun, Jilin 130000

2. Nanchang Kaihua Construction Engineering Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi 330000

Abstract : As one of China's pillar industries, the construction industry drives development while consuming substantial resources and belongs to the high-emission sector. This paper takes Jilin Province's construction industry as the research object. First, it calculates the carbon emissions of Jilin Province's construction industry from 2007 to 2021 using the IPCC carbon emission coefficient method. Then, 11 key influencing factors are screened out through literature analysis and grey relational analysis. Further analysis of driving factors via the STIRPAT model and ridge regression method reveals that the main driving factors include the completed floor area of construction projects, urbanization rate, gross domestic product (GDP) index, population size, and highway transportation volume. Scenario prediction research on these five indicators shows that under the low-carbon development path, carbon emissions of Jilin Province's construction industry will reach the peak of 118.414 million tons in 2030, and then gradually decrease to 108.93 million tons by 2035. Finally, relevant carbon reduction suggestions are put forward.

Keywords : construction industry; Jilin Province; carbon emissions; influencing factors; peak prediction

引言

近年来，温室气体过度排放造成极端天气频发、海平面上升等生态问题，严重威胁人类健康可持续的未来。据统计，我国当前的二氧化碳排放总量约占全球排放量的 29%，已然成为世界上最大的温室气体排放国和能源消费国。我国政府于 2020 年 9 月在联合国大会上作出重要承诺：将通过强化政策调控和实施更有效的减排措施，力争在 2030 年实现碳达峰，并计划在 2060 年达成碳中和目标。

据 IPCC 第五次评估报告统计，近三分之一的全球碳排放及约 32% 的终端能源使用均源自建筑行业相关活动^[1-2]。《2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告》表明，全国建筑全过程能源消耗量占全国总能耗的 45.5%，产生了 50.8 亿 tCO₂^[3]。吉林省作为重要的老工业基地，在改革开放后的经济发展相对滞后，同时面临较高的能源需求，本研究通过测算吉林省建筑业的温室气体排放规模，深入剖析其排放特征及影响因素，通过多情景模拟预测未来排放趋势^[4]。为制定该地区建筑行业低碳发展策略提供科学依据，对于实现 2030 年碳达峰与 2060 年碳中和的战略目标具有重要意义^[5]。

一、研究方法

(一) 碳排放测算方法

本文采用 IPCC 碳排放系数法和冯博提出的谁消费谁买单的理念作为测算方法，将吉林省建筑业碳排放分为直接碳排放与间接碳排放。以能源统计年鉴中的 10 种能源消耗量作为直接碳排放数据，将水泥、钢材、玻璃、木材、铝材 5 种材料消耗量作为间接碳排放数据^[6]。吉林省建筑业碳排放量测算模型构建如下：

$$E_c = \sum_{i=1}^{11} E_i \times ACV_i \times C_i \times O_i \times \frac{44}{12} + E_e \times f_e + E_h \times f_h \\ + \sum_{j=1}^5 M_j \times \beta_j \times (1 - \varepsilon_j) \#(1)$$

上式中， E_i 表示直接碳排放各种能源消耗量； ACV_i 表示能源平均低位发热量； $C_i \times O_i \times \frac{44}{12}$ 表示碳排放因子； E_e 、 E_h 、 f_e 和 f_h 分别表示电力和热力消耗量和平均 CO₂ 排放系数； M_j 表示间接碳排放材料的消耗量； β_j 表示建筑材料的二氧化碳排放系数； ε_j 表示建筑材料的回收系数。

(二) STIRPAT 模型

STIRPAT 模型是由 IPAT 模型拓展而来，由于其良好的拓展性被广泛应用于影响因素分析和数值预测中。在 IPAT 模型中将环境影响因素归结为技术、人口和经济三方面，但随着环境的多变，该模型纳入因素过于单一，在此基础上诞生了 STIRPAT 模型，STIRPAT 模型能有效避免异方差^[7]，模型如下：

$$\ln I = \sum_{i=1}^n a_i \ln x_i + e \#(2)$$

式中， x_i 表示影响因素， a_i 表示弹性系数， e 为残差。

二、碳排放计算结果分析

(一) 数据来源

不同能源的消耗量和建筑材料使用量主要来源于《吉林省统计年鉴》等。

(二) 数据处理与分析

根据式（1）计算得出 2007-2021 年吉林省建筑业碳排放总量，趋势如图 1 所示。



图 1 吉林省建筑业碳排放量和增长率

吉林省建筑业排放总量从 2007 年的 4081.19 万吨攀升至 2021 年的 5150.87 万吨，总体增幅 26.2%，年均增长约 1.56%。2008-2014 年间，受四万亿经济刺激计划与当时的房地产影响，行业

进入高速扩张期。2008 年排放量同比暴涨 62.16%，次年仍维持 27.29% 的高位增长，直至 2014 年达到 43662.61 万吨峰值。2015-2016 年进入调整阶段。随着“十二五”规划政策收紧，2015 年排放量断崖式下跌 66.15% 至 14783.84 万吨，2016 年进一步探底至 6472.92 万吨。

最近五年则呈现震荡复苏态势。2017 年随着基建投资回暖，排放量强势反弹 65.3%，但 2018 年后增速明显放缓。2020 年疫情冲击导致排放量暴跌 66.4%，虽在 2021 年实现 12.64% 的回升，仍未恢复至疫前水平。这种过山车式的波动轨迹，既印证了政策调控的主导作用，也凸显行业抵御外部风险的能力短板。

三、碳排放影响因素模型构建

(一) 影响因素筛选

通过检索核心期刊，搜索“建筑业”、“碳排放影响因素”等关键词^[8]，按建筑业全生命周期划分，汇总出了影响建筑业碳排放的主要影响因素，即建材生产阶段 5 个（钢材、木材、水泥、玻璃、铝材）、建材运输阶段 3 个（铁路、公路、水运）、建筑运行阶段 10 个（煤、煤油、焦炭、汽油、柴油、燃油、液化石油气、天然气、电力、热力）、建筑施工阶段 1 个（房屋竣工面积）、经济指标 3 个（人均 GDP、国内生产总值、建筑总产值）、人口指标 2 个（人口规模、城镇化率）。

(二) 灰色关联度分析

根据 2007-2021 年数据对吉林省建筑业碳排放的 24 个影响因素进行灰色关联度分析^[9]，测算出其关联系数与关联度，结果显示，传统建材与产业规模指标占据主导地位，其中钢材（0.867）、水泥（0.864）与玻璃（0.863）位列前三，建筑总产值（0.850）和电力消耗（0.846）紧随其后，这五类要素共同构成行业发展的核心动力体系。城镇化水平（0.815）与人口规模（0.808）的影响效力相对有限，分列第八和第十位，该结果揭示了东北地区人口净迁出态势对住房及基础设施建设需求的持续抑制效应。其他因素如人均 GDP（0.828）、建筑业房屋竣工面积（0.826）国内生产总值（0.810）公路（0.805）水运（0.793）分别列 6、7、9、11、12 位等，13 位以后略。

(三) 选取指标构建模型

为提高模型精度并确保变量选择的科学性，基于灰色关联分析结果，筛选关联度大于 0.8 的 11 个关键影响因素作为 STIRPAT 模型构建的基础变量（如式 3），即钢材（S1）、水泥（S2）、玻璃（S3）、建筑总产值（A1）、电力（Y）、人均 GDP（A2）、建筑业房屋竣工面积（T1）、城镇化率（P1）、国内生产总值（A3）、人口规模（P2）、公路货运量（T2）。

$$\ln y = \sum_{i=1}^{11} c_i \ln x_i + e \#(3)$$

其中： y 表示碳排放量； x_i 为影响因素； c_i 为各指标的弹性系数； e 为常数项。

(四) 多元线性拟合和岭回归分析

采用 SPSS 27.0 软件对吉林省建筑业碳排放影响因素进行多元

线性回归分析。结果显示，模型的决定系数 R^2 达到 0.949，能够有效揭示 94.9% 的建筑碳排放总量变化原因。方差膨胀因子 (VIF) 检验显示，除玻璃 (VIF 值 8.081) 和国内生产总值指数 (VIF 值 4.594) 外，其余自变量的 VIF 值均超过 10，表明模型存在严重的多重共线性问题。为克服这一统计缺陷，研究进一步采用岭回归方法进行再分析。通过 SPSS 软件生成的岭迹如图 2 所示。

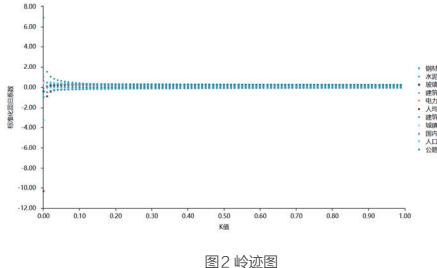


图2 岭迹图

经过岭回归分析，当岭参数 K 取值 0.10 时，各变量的回归系数趋于稳定状态。模型检验结果显示， F 检验的显著性水平 $P=0.005$ ($p<0.01$)，在 1% 的显著性水平上拒绝原假设，模型具有意义。模型的决定系数 R^2 维持在 0.949，证明模型具有优秀的解释能力。基于上述分析结果，最终建立的回归模型如式 (4) 所示。

$$\begin{aligned} \ln C = & -63.137 + 0.233 \ln S_1 + 0.031 \ln S_2 + 0.256 \ln S_3 + \\ & 0.489 \ln A_1 + 0.140 \ln Y + 0.178 \ln A_2 + 5.479 \ln T_1 + 1.524 \ln P_1 \\ & + 1.301 \ln A_3 + 3.489 \ln P_2 + 1.601 \ln T_2 \end{aligned} \quad (4)$$

(五) 回归结果分析

基于 STIRPAT 模型的回归分析表明，吉林省建筑业碳排放总量受多维度因素影响，其中建筑业房屋竣工面积的弹性系数最高 (5.479)，成为碳排放增长的核心动力，反映出建筑规模扩张通过建材消耗与施工能耗直接推高排放强度。人口规模 (3.489) 与公路运输量 (1.601) 分列二、三位，前者通过住房需求与基础设施配套间接拉动碳排放，后者则凸显建材物流链中燃油依赖的突出问题。城镇化率 (1.524) 和国内生产总值指数 (1.301) 的影响表明，尽管经济转型削弱了部分增长动能，但城镇化带来的土地开发与城市基建仍是重要驱动因素。建筑总产值 (0.489) 的较低弹性系数暗示行业可能已通过技术升级部分缓解了规模扩张的碳排放压力，而钢材 (0.233)、玻璃 (0.256) 等建材的影响则指向生产环节的高能耗特性，但其系数相对较低或与建材使用效率提升有关。电力消耗 (0.140) 与人均 GDP (0.178) 的微弱关联性进一步表明，清洁能源替代与经济结构转型可能已对减排产生积极作用。

四、碳达峰预测

(一) 情景设计

采用情景预测分析方法，基于 STIRPAT 模型对吉林省建筑业碳排放发展趋势进行量化研究。通过设定基准情景、低碳情景和高碳情景三种发展路径，预测不同政策干预强度下的碳排放演变趋势^[10]。在预测过程中，以 2007–2021 年历史数据中各影响因素的演变规律为基础，参考近五年 (2017–2021) 的平均变动率，将 2021 年作为基准年，合理设定各变量在 2022–2035 年期间

的变化速率，反映不同发展模式下的碳排放轨迹差异，为吉林省建筑业碳达峰时间节点的研判提供科学依据。

基于“吉林省第十四规划和 2035 年远景目标纲要”等政策，针对模型弹性系数排名前五的影响因素，即建筑业房屋竣工面积、城镇化率、国内生产总值、人口规模以及公路运输量，分别设置在不同情景下的参数（见表 1），其余影响因素则采用 2017–2021 年的历史平均增长率作为基准参数。

表1 不同情景模式下的参数(部分)

| 参数 | 模式 | 年份 | | |
|-------------------|------|-----------|-----------|-----------|
| | | 2022–2025 | 2026–2030 | 2031–2035 |
| 建筑业房 屋竣工面 积 | 低碳情景 | 0.20 | 0.50 | 0.30 |
| | 基准情景 | 0.50 | 0.80 | 0.50 |
| | 高碳情景 | 1.00 | 1.50 | 1.00 |
| 城镇化率 | 低碳情景 | 0.60 | 0.40 | 0.20 |
| | 基准情景 | 0.80 | 0.60 | 0.40 |
| | 高碳情景 | 1.00 | 0.80 | 0.60 |

(二) 情景分析

将各影响因素所设置的参数代入预测模型 (4)，获得了三种情景下吉林省 2022 年–2035 年建筑业碳排放量的预测值（见图 3）。

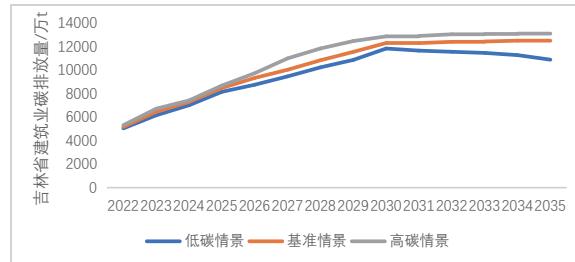


图3 吉林省2022–2035年建筑业碳排放预测趋势图

预测结果显示，在低碳发展路径下，吉林省建筑业碳排放量将于 2030 年实现峰值目标 11,841.4 万吨，此后逐步下降，至 2035 年可降至 10,893 万吨。相较之下，基准与高碳情景呈现持续增长态势，2035 年排放量分别攀升至 12,530.6 万吨和 13,154.6 万吨，表明传统发展模式难以实现减排突破。

五、结论与建议

通过上述研究与结果分析可知：通过推广应用低碳建筑技术，吉林省建筑业有望在 2030 年前实现碳排放达峰目标；其次，通过科学调控房屋建设规模、优化城镇化发展进程以及合理引导人口流动等关键因素，能够有效控制行业碳排放总量增长，为实现减排目标提供可行的技术路径。因此提出以下建议：

(一) 促进低碳技术发展与应用

政府加大对超低能耗、近零能耗、低碳、零碳等新一代建筑技术研发的支持，将建筑节能降碳关键技术列入科技研发的重点领域，促进科技成果转化。建立相关交流平台，加强高效、科研机构以及企业之间的联系，促进技术的交流。采用绿色低碳的建筑材料，推广绿色化、智能化、工业化的建造方式等。

(二) 发展新型城镇化

推动新建建筑的高质量化发展，积极推广超低能耗建筑；利用自然采光与通风优化布局，通过建筑朝向、遮阳系统设计减少冬季热损失与夏季制冷需；提高人口城市化的质量，引导农业人口向城市转移。

(三) 改善能源结构

大力发展清洁能源，着力改善能源结构，根据吉林省自然资

源分布情况因地制宜开发，如：松原、白城等西部地区风力资源与太阳能资源丰富，可大力发展风力发电和太阳能光伏电站；水能资源主要分布在东部山区的吉林、延边、白山和通化等市，东部山区部分河流水库落差大，水能资源丰富，适宜发展抽水蓄能电站。同时积极推进“光伏+”模式的组合实现多元化布局，推广可再生能源建筑应用技术，加快实施建筑业各环节能源消耗用电能替代化脚步。

参考文献

- [1] 马占云,任佳雪,陈海涛,等.IPCC 第一工作组评估报告分析及建议 [J].环境科学研究,2022,35(11):2550–2558.
- [2] 梁媚聪,秦圆圆,樊星,等.IPCC 第六次评估报告第三工作组报告主要结论解读及对策建议 [J].环境保护,2022,50(13):72–76.
- [3] 中国建筑能耗与碳排放研究报告 (2023年) [J].建筑,2024,(02):46–59.
- [4] 张森森.江苏省建筑碳排放情景预测与脱钩分析研究 [D].扬州大学,2024.
- [5] 黄小恒.重庆市民用建筑碳排放影响因素研究及达峰预测 [D].重庆交通大学,2024.
- [6] 冯博.建筑业二氧化碳排放及能源环境效率测算分析研究 [D].天津大学,2015.
- [7] 蔡佳雪,代智彬,赵良仕,等.东北三省碳排放时空异质性分析及其影响因素 [J/OL].首都师范大学学报(自然科学版),1–13[2025–05–03].
- [8] 苗泽惠,代远杰.建筑业碳排放影响因素研究 [J].安徽建筑,2024,31(06):81–84.
- [9] 邓昧昧.江西省建筑业碳排放影响因素及碳达峰预测研究 [D].江西财经大学,2024.
- [10] 苗泽惠,李龙.基于 STIRPAT 模型湖南省建筑碳排放影响因素研究 [J].山西建筑,2024,50(13):20–24.