

绿色建筑设计对区域碳排放的影响研究

苏香惠*, 程正中#

北方工业大学土木工程学院, 北京

收稿日期: 2025年4月7日; 录用日期: 2025年4月28日; 发布日期: 2025年5月9日

摘要

随着全球气候变化问题的加剧, 建筑行业作为碳排放的重要源头, 其绿色转型对实现碳减排目标具有重要意义。在此背景下, 本文在理论和实证两个方面探讨绿色建筑设计对区域碳排放的影响。理论分析方面通过梳理相关文献, 探讨了绿色建筑设计在项目的设计阶段、施工阶段和运营阶段对区域碳排放的影响, 并在此基础上提出本文的研究假设。研究采用时间个体双固定效应模型, 利用2011~2022年中国30个省份的面板数据进行分析, 以此验证理论分析提出的假设。通过实证分析得到以下结论: 第一, 绿色建筑设计显著降低了区域碳排放量。第二, 绿色建筑设计对区域碳排放的影响存在中介效应, 具体表现为绿色建筑设计通过提高研发强度间接抑制区域碳排放。第三, 环境规制对绿色建筑设计的碳减排作用具有调节效应。第四, 绿色建筑设计对区域碳排放的影响存在显著的区域异质性。相较于中西部地区, 东部地区的绿色建筑设计减排效果更为显著。

关键词

绿色建筑设计, 区域碳排放, 实证分析, 双向固定效应模型

Research on the Impact of Green Building Design on Regional Carbon Emissions

Xianghui Su*, Zhengzhong Cheng#

School of Civil Engineering, North China University of Technology, Beijing

Received: Apr. 7th, 2025; accepted: Apr. 28th, 2025; published: May 9th, 2025

Abstract

As global climate change issues intensify, the construction industry, as a significant source of carbon emissions, plays a crucial role in achieving carbon reduction targets through its green transformation.

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 苏香惠, 程正中. 绿色建筑设计对区域碳排放的影响研究[J]. 土木工程, 2025, 14(5): 999-1010.

DOI: 10.12677/hjce.2025.145108

Against this backdrop, this paper explores the impact of green building design on regional carbon emissions from both theoretical and empirical perspectives. Theoretical analysis involves reviewing relevant literature to examine how green building design influences regional carbon emissions during the project design phase, construction phase, and operation phase, based on which the research hypotheses of this paper are proposed. The study adopts a time-individual dual fixed effect model, analyzing panel data from 30 provinces in China between 2011 and 2022 to verify the hypotheses proposed by the theoretical analysis. The empirical analysis draws the following conclusions: First, green building design significantly reduces regional carbon emissions. Second, the impact of green building design on regional carbon emissions includes a mediating effect specifically manifested as green building design indirectly curbs regional carbon emissions by increasing R&D intensity. Third, environmental regulations have a moderating effect on the carbon emission reduction role of green building design. Fourth, there is a significant regional heterogeneity in the impact of green building design on regional carbon emissions. Compared with central and western regions, the emission reduction effect of green building design in eastern regions is more significant.

Keywords

Green Building Design, Regional Carbon Emissions, Empirical Analysis, Two-Way Fixed Effects Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球气候变化问题日益严峻, 建筑行业作为能源消耗和碳排放的重要来源, 其绿色转型对实现碳减排目标至关重要。中国作为世界上最大的发展中国家, 碳排放量占全球比重较高, 面临巨大的减碳压力。在此背景下, 绿色建筑作为一种有效应对气候变化的创新理念, 逐渐成为建筑行业的主流趋势。然而, 当前研究多聚焦于单体建筑的环境影响, 缺乏对绿色建筑在区域碳排放层面系统性影响的研究。

本研究基于可持续发展等相关理论对研究内容进行深入讨论, 期望通过实证分析揭示绿色建筑对区域碳排放的影响。研究结果有助于优化绿色建筑设计与管理, 推动区域间绿色建筑协调发展, 实现环境、经济和社会效益的多赢局面。

2. 文献综述

随着全球气候变化问题的日益严峻, 绿色建筑作为应对气候变化、减少碳排放的有效手段, 得到了广泛的关注和研究。本文在梳理现有文献的基础上, 对相关研究进行了系统的回顾, 以为本研究提供坚实的理论基础和参考依据。

绿色建筑在减少建筑碳排放方面具有重要意义。叶浩文等(2018)研究指出, 装配式建筑的标准化设计通过确定模数化规则, 满足不同截面布置需求, 是实现建筑工业化和减碳目标的核心方法[1]。梅世强等(2018)强调住宅建筑标准化设计可确保装配式构件的规范化生产, 并提出结合模块化或参数化设计以平衡批量生产和个性化需求, 进一步降低建筑碳排放[2]。张守峰(2023)认为将构配件工厂化生产纳入设计流程, 实现户型、厨卫及管井标准化, 能够有效提高效率并减少碳排放[3]。蔡恩健等(2016)指出设计阶段对后续施工影响深远, 通过模数化、精细化设计可显著提升住宅质量和碳减排效果[4]。任展(2019)以

深圳裕璟幸福家园为例, 证明标准化设计加快施工进度、提高质量的同时, 有效减少了现场碳排放[5]。

数字化设计技术的应用进一步提升了绿色建筑设计的精度与效率。于海申等(2016)以天津周大福金融中心为例, 采用 BIM 技术优化设计文件会审和深化设计, 避免施工返工并节约材料, 显著减少碳排放[6]。宋怡(2023)通过人行天桥项目案例表明, BIM 技术可提高设计精准度, 明确施工阶段任务, 从而优化资源配置并减少浪费[7]。崔海峰(2023)认为 BIM 技术与施工管理一体化结合, 能科学提升整体质量, 避免错误与返工, 从源头实现碳减排[8]。张肖明等(2020)提出在前期规划设计中结合 BIM 技术优化施工工序与材料使用, 可有效减少装饰装修过程中的碳排放[9]。

一体化设计则通过综合考虑建筑功能布局、交通组织与景观设计等因素, 增强绿色建筑设计的系统性与协调性。齐五辉等(2014)以中国尊大厦为例, 通过三维模型精确控制外框筒结构尺寸, 减少材料浪费与返工, 从而降低碳排放[10]。肖绪文(2020)强调全专业一体化协同设计的重要性, 减少施工过程中的设计变更, 实现碳减排的前置控制[11]。王磊等(2022)分析 BIM 技术在装配式建筑装修一体化设计中的应用, 指出其可减少传统装修方式中的材料浪费与额外碳排放[12]。李伟等(2023)认为 BIM 技术促进装配式建筑发展, 通过精确工程量统计和环保材料选用, 降低资源浪费与后期维护成本[13]。张玲(2021)探讨 BIM 技术在装配式建筑装修中的应用优势, 强调其可视化功能便于消费者理解并快速调整方案, 避免因需求更改导致的返工与材料浪费[14]。张子奇(2019)以北京城市副中心职工周转房项目为例, 说明装配式装修一体化设计通过模数化与精细化手段减少湿作业和现场加工, 显著降低碳排放[15]。

3. 理论分析与研究假设

绿色建筑的规划设计阶段是实现节能与减排的关键环节。在这一阶段, 节能设计和再生能源利用是核心内容。何成(2018)指出建设设计通过优化建筑布局、采光通风系统等可以显著减少能耗和碳排放[16]。罗涛(2017)强调采光系统设计可通过最大化利用自然光线来降低人工照明产生的碳排放[17]。罗昊敏(2022)提出高效节能的空调设备和智能化控制系统可精确控制室内温度, 减少建筑碳足迹[18]。王晓霞(2021)认为科学设计的给排水系统结合屋顶绿化, 不仅降低水资源消耗, 还能减少水处理过程中的二氧化碳[19]。张时聪(2023)研究表明合理设置太阳能光伏板、风力发电设备和地源热泵系统等设施, 有助于将自然能源转化为可再生能源, 实现减碳目标[20]。

工程施工阶段受绿色建筑设计指导, 通过采用低碳材料、节能设备和技术, 进一步减少碳排放。范青玉(2023)指出预制装配技术可节约资源、减少施工污染并缩短工期, 从而降低施工过程中的碳排放[21]。陈卓瑜(2024)强调节水技术的应用不仅能减少水资源使用量, 还能降低水处理相关的碳排放[22]。夏松(2024)认为建筑垃圾减量技术通过减少材料浪费和废弃物处理, 实现了碳减排的目标[23]。姜早龙(2022)提出绿色建材因生产过程碳排放较低, 能有效缓解建筑领域的高能耗问题[24]。另外王茹(2024)提出基于 BIM 的碳排放监测与优化系统, 可实现施工阶段碳排放的实时监控与管理[25]。

项目运营阶段是绿色建筑设计理念最终体现的环节。董莉莉(2024)指出智能控制系统可根据实际需求灵活调整设备运行状态, 避免能源过度消耗, 降低碳排放[26]。再生能源利用设施如雨水回收系统、太阳能光伏板等, 在运营阶段直接发挥作用, 减少对传统能源依赖而产生的碳排放。陈娟(2023)和丁志坤(2024)认为, 废弃物分类收集和资源化利用也是绿色建筑的重要组成部分, 通过设置分类回收装置, 降低废弃物处理过程中的碳排放[27] [28]。

总的来说绿色建筑的碳减排贯穿规划设计、工程施工和项目运营三个阶段。设计阶段的节能设计和再生能源利用为后续阶段提供了基础。施工阶段通过绿色技术和材料的应用确保了设计意图的实现。运营阶段则通过智能管理和再生能源利用落实碳减排目标。故提出假设 H1: 绿色建筑对区域碳排放存在显著抑制效应。

本文在分析绿色建筑设计对碳排放的影响机制时, 不容忽视的研发强度扮演着重要角色。规划设计阶段引入节能、环保和智能化技术, 不仅影响工程施工的实际应用, 还能在项目运营阶段提高能源利用效率, 减少碳排放。建筑企业通过采用智能建筑系统、节能材料和可再生能源技术等绿色技术研发, 直接影响自身及区域的碳排放水平。故提出假设 H2: 绿色建筑设计通过提高研发强度进而对区域碳排放产生影响。

同样地绿色建筑设计推广受到了环境规制的支持, 绿色建筑设计的减排效果同样受到外部环境因素的重要调节, 其中环境规制水平尤为关键。政府通过节能减排要求、环保技术支持与奖励等措施, 推动绿色建筑设计的发展与应用, 从而影响区域碳排放水平。故提出假设 H3: 环境规制水平对绿色建筑设计对区域碳排放的关系存在调节效应。

绿色建筑设计对区域碳排放的作用可能因地区经济和技术条件的不同而表现出异质性。具体来说自然地理位置导致的差异性包括东部地区的经济发达且城市化水平高, 而中西部地区经济和技术支持有限, 这些差异可能影响绿色建筑项目的综合效益。故提出假设 H4: 绿色建筑设计对区域碳排放的影响存在异质性。

4. 实证分析

4.1. 模型设定

本文旨在探索绿色建筑设计如何影响区域内的碳排放。研究采用了时间个体双固定效应模型, 以期更准确地捕捉到绿色建筑设计对于碳排放变化的影响。模型公式(4-1)如下: 其中被解释变量是 CO_2 , 解释变量是 Gba , $control$ 是控制变量组, δ 是省份固定效应, μ 是年份固定效应。

$$CO_{2it} = \alpha_1 + \beta_1 * Gba_{it} + \sum \beta_2 control_{it} + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4-1)$$

4.2. 变量选取及数据来源

Table 1. Variable selection and data sources

表 1. 变量选取及数据来源

变量分类	变量名称	符号	含义	数据来源
被解释变量	区域碳排放量	CO ₂	地区二氧化碳排放总量	《中国碳核算数据库 CEADs》
解释变量	绿色建筑项目面积	Gba	地区绿色建筑设计实际效果	绿色建筑标识项目库、 各省份住建部官网
	绿色建筑项目个数	Gbn	地区绿色建筑设计实际效果	
控制变量	能源结构	Es	地区电力消费量/全国电力消费总量	《中国统计年鉴》 《中国科技统计年鉴》 《中国人口和就业统计年鉴》 国家统计局 各省统计局
	城镇化率	Ur	城镇常住人口/该地区年末总人口	
	政府干预程度	Gi	环境治理投资	
	对外开放水平	Od	地区进出口总额	
	受教育程度	EI	文盲人数 * 1 + 小学人数 * 6 + 中学人数 * 9 + 高中人数 * 12 + 专科及以上 * 16	
	产业集聚度	Ia	就业人员数/行政区划面积	
	社会消费水平	Scl	社会消费品零售总额/GDP	
	交通基础设施	Ti	公路里程取对数和货运总量取对数	

本文主要运用 stata16.0 对 2011 年~2022 年中国 30 个省份的面板数据进行实证分析研究。本文选取绿色建筑评价标识项目的建筑面积量化绿色建筑设计, 因为绿色建筑评价标识体系权威能全面反映节能环保设计水平且与碳排放量密切相关, 同时绿色建筑面积可以体现绿色建筑设计的质量与普及程度, 便

于科学衡量其对区域碳减排的整体作用。表 1 为本文变量选取及数据来源。

4.3. 描述性统计分析

首先, 从表 2 中的结果可以看出, 碳排放量作为被解释变量显示了样本间存在较大的差异性, 表明不同地区或时间段内碳排放水平存在较大波动。绿色建筑面积作为核心解释变量, 结果显示部分地区发展较为迅速, 具有较高的绿色建筑比例。上述描述性统计数据不仅揭示了各变量的基本特征, 还为后续的回归分析提供了重要的背景信息。

Table 2. Descriptive statistical analysis

表 2. 描述性统计分析

Var Name	Obs	Mean	SD	Min	Median	Max
CO ₂	360	3.5112	2.831	0.32	2.60	17.00
Gba	360	0.0466	0.179	0.00	0.01	2.52
Es	360	0.0333	0.023	0.00	0.03	0.10
Ur	360	0.5639	0.132	0.29	0.55	0.90
Gi	360	0.2139	0.205	0.00	0.15	1.40
Od	360	1.2398	2.067	0.01	0.37	11.00
EI	360	9.0462	0.929	6.90	8.98	12.68
Ia	360	0.0256	0.037	0.00	0.02	0.22
Scl	360	0.3726	0.066	0.22	0.37	0.54
Ti	360	11.4952	0.837	9.12	11.69	12.98

4.4. 共线性诊断

研究为了确保模型的稳健性和可靠性, 对所有变量进行了共线性诊断。表 3 中列出了各个变量的方差膨胀因子及其倒数。共线性诊断结果显示大多数变量的 VIF 值均低于 5, 处于合理的区间范围内, 模型具有较高的稳健性。

Table 3. Multicollinearity diagnosis

表 3. 共线性诊断

Variable	VIF	1/VIF
Ur	5.790	0.173
EI	4.560	0.219
Ti	2.350	0.426
Es	2.190	0.456
Ia	1.930	0.518
Gi	1.330	0.753
Scl	1.240	0.806
Gba	1.180	0.850
Od	1.150	0.868
Mean	VIF	2.410

4.5. 基准回归检验

本部分基于收集到的数据, 采用时间个体双固定效应模型进行基准回归检验, 以评估绿色建筑设计对区域碳排放的具体影响。研究通过逐步控制时间与个体效应检验绿色建筑设计与区域碳排放间的影响, 结果见表 4。

Table 4. Benchmark regression test
表 4. 基准回归检验

	(1) CO ₂	(2) CO ₂	(3) CO ₂
Gba	-1.548*** (0.448)	-0.533*** (0.150)	-0.448*** (0.153)
Es	-4.532 (5.551)	-54.717*** (20.065)	-52.639*** (19.771)
Ur	-4.594*** (1.684)	5.994*** (1.953)	4.170 (3.644)
Gi	8.995*** (0.789)	0.130 (0.434)	-0.122 (0.514)
Od	-0.118** (0.053)	-0.108 (0.092)	-0.209* (0.116)
EI	0.827*** (0.263)	0.362* (0.185)	-0.058 (0.244)
Ia	-2.834 (3.216)	-10.537 (7.349)	-20.229** (8.137)
Scl	1.064 (1.554)	-1.466 (1.175)	-0.445 (1.197)
Ti	0.581*** (0.178)	0.786*** (0.259)	0.380 (0.359)
_cons	-10.280*** (2.759)	-13.721*** (2.154)	-3.305 (5.422)
year	YES	NO	YES
id	NO	YES	YES
N	360.000	360.000	360.000
r ²	0.523	0.912	0.915

注: ***表示 $p < 0.01$, **表示 $p < 0.05$, *表示 $p < 0.1$ 。

基准回归结果表 4 表明, 在所有三个模型中, 绿色建筑面积的系数均为负值且显著, 表明绿色建筑面积的增加显著降低了碳排放量。这与绿色建筑的设计理念相符, 即通过采用节能材料和技术、优化建筑设计等方式, 减少建筑物生命周期内的能耗和碳排放。基于此证明研究假设 H1 成立。对控制变量分析进一步揭示了其他因素对碳排放的影响。产业集聚度和对外开放水平的系数均为负且显著, 说明资源共享与技术创新、先进技术和管理经验的引入有助于减少碳排放。交通基础设施的系数为正且显著, 表明高效交通系统能够降低运输能耗。能源结构在模型(2)和(3)中显著为负, 证明优化能源结构是减少碳排放的重要途径。社会消费水平在模型(2)和(3)中显著为负, 可能因高消费水平提升了生活质量和能效而间接

减少碳排。城镇化水平在不同模型中表现出阶段性影响, 政府干预程度短期内效果显著, 长期影响需更多时间体现。

4.6. 稳健性检验

Table 5. Robustness test
表 5. 稳健性检验

	(1) CO ₂	(2) CO ₂	(3) CO ₂
Gba	-0.448*** (0.153)		
Es	-52.639*** (19.771)	-56.915*** (19.640)	-40.773** (18.742)
Ur	4.170 (3.644)	4.106 (3.584)	3.716 (3.738)
Gi	-0.122 (0.514)	-0.043 (0.508)	0.031 (0.439)
Od	-0.209* (0.116)	-0.193* (0.111)	-0.221 (0.137)
EI	-0.058 (0.244)	-0.095 (0.241)	0.035 (0.258)
Ia	-20.229** (8.137)	-16.307** (7.945)	-19.796** (8.276)
Scl	-0.445 (1.197)	-0.649 (1.212)	-0.566 (1.119)
Ti	0.380 (0.359)	0.453 (0.358)	0.487 (0.304)
Gbn		-0.088*** (0.023)	
L.Gba			-0.561** (0.282)
_cons	-3.305 (5.422)	-3.696 (5.463)	-5.100 (5.955)
year	YES	YES	YES
id	YES	YES	YES
N	360.000	360.000	330.000
r ²	0.915	0.917	0.925

注: ***表示 $p < 0.01$, **表示 $p < 0.05$, *表示 $p < 0.1$ 。

本文将使用替换解释变量的方法进行稳健性检验, 将解释变量替换为绿色建筑项目个数, 绿色建筑项目个数的数据同样属于绿色建筑评价标识体系, 能够全面反映绿色建筑设计水平, 用于该研究具有科学性和准确性。同时, 为了进一步确保研究结果的可靠性, 本文进行了内生性检验。研究使用滞后一期

的绿色建筑面积 $G_{bai, t-1}$ (L.绿色建筑面积)作为解释变量, 以检验内生性问题。研究结果详见表 5。

表 5 显示模型(1)中, 绿色建筑面积的系数为-0.448, 且在 1%的显著性水平下显著, 模型(2)中, 绿色建筑项目个数的系数为-0.088, 也在 1%的显著性水平下显著, 表明绿色建筑项目个数的增加同样显著降低了碳排放量。各个控制变量的回归系数与基准回归结果基本一致。两模型结果的一致性表明, 无论是用绿色建筑面积还是绿色建筑项目个数作为解释变量, 绿色建筑对碳排放的负面影响都是显著的, 这增强了研究结果的稳健性和可信度。

表 5 的模型(3)表明使用滞后一期的绿色建筑面积作为解释变量, L.绿色建筑面积的系数为-0.561, 在 5%的显著性水平下显著。这表明前一期的绿色建筑面积对当前期的碳排放量有显著的负面影响。这意味着绿色建筑的建设不仅在当期能够减少碳排放, 而且其影响具有持续性, 能够在未来一段时间内继续发挥作用。这一结果与基准回归和稳健性检验的结果一致, 进一步验证了绿色建筑对碳排放的负面影响是稳健的, 不存在明显的内生性问题。

4.7. 中介效应检验

Table 6. Mediation effect test

表 6. 中介效应检验

	(1) CO ₂	(2) Rd	(3) CO ₂
Gba	-0.4477*** (-2.9335)	0.0015* (1.7783)	-0.3218** (-2.2805)
Es	-52.6388*** (-2.6625)	-0.0519* (-1.7556)	-56.9449*** (-2.8010)
Ur	4.1695 (1.1441)	-0.0046 (-0.5462)	3.7860 (1.0575)
Gi	-0.1221 (-0.2374)	0.0015** (2.1699)	-0.0011 (-0.0023)
Od	-0.2092* (-1.8051)	0.0006** (2.4213)	-0.1581 (-1.5915)
EI	-0.0582 (-0.2388)	-0.0000 (-0.0700)	-0.0611 (-0.2516)
Ia	-20.2292** (-2.4862)	0.1407*** (5.4377)	-8.5664 (-0.8509)
Scl	-0.4452 (-0.3719)	0.0126*** (4.6145)	0.5985 (0.5076)
Ti	0.3804 (1.0597)	0.0002 (0.2244)	0.3954 (1.1137)
Rd			-82.9039** (-2.2438)
_cons	-3.3051 (-0.6095)	0.0408*** (3.5795)	0.0757 (0.0140)
N	360	360	360
r ²	0.9149	0.9850	0.9164

注: ***表示 $p < 0.01$, **表示 $p < 0.05$, *表示 $p < 0.1$ 。

中介效应检验可以通过分析解释变量对被解释变量的影响是否通过某些中介变量传递, 可以更深入地理解绿色建筑设计对区域碳排放的作用路径。本文选取了研发强度作为中介变量展开研究, 详见表 6。

检验结果表 6 中模型(1)所示绿色建筑面积的系数为-0.4477, 在 1%的显著性水平下显著。在模型(2)中, 绿色建筑面积的系数为 0.0015, 在 10%的显著性水平下显著。这表明绿色建筑面积的增加显著提高了研发强度。这可能是因为绿色建筑项目的建设和运营过程中, 企业会投入更多的研发资源, 以提高建筑的能效和环保性能。在模型(3)中, 绿色建筑面积的系数为-0.3218, 在 5%的显著性水平下显著。这表明在加入中介变量后, 绿色建筑面积对碳排放量的影响仍保持显著。同时, 研发强度的系数为-82.9039, 在 5%的显著性水平下显著, 表明研发强度的提高显著减少了碳排放量。据温忠麟中介效应三步法, 验证了研发强度在绿色建筑面积与碳排放量之间的中介效应, 且通过 Bootstrap 检验。具体来说, 绿色建筑面积的增加显著提高了研发强度, 而研发强度的提高又显著减少了碳排放量。这表明研发强度在绿色建筑与碳排放关系中起到了部分中介作用。基于以上验证得出研究假设 H2 成立。

Table 7. Moderation effect test

表 7. 调节效应检验

	(1) CO ₂	(2) CO ₂
Gba	-0.4330*** (-2.7843)	4.8045** (1.9786)
ER	-0.1048 (-0.5120)	0.8403* (1.7313)
Es	-52.1511*** (-2.6586)	-52.6925*** (-2.8509)
Ur	3.9111 (1.0976)	0.5360 (0.1584)
Gi	-0.0811 (-0.1739)	-0.4200 (-0.7992)
Od	-0.2123* (-1.8058)	-0.1943* (-1.7309)
EI	-0.0632 (-0.2560)	0.0263 (0.1021)
Ia	-20.5986** (-2.4971)	-26.9484*** (-2.8096)
Scl	-0.4381 (-0.3645)	-0.4254 (-0.3573)
Ti	0.3671 (0.9867)	0.6589* (1.6979)
ER × Gba		22.8412** (2.2834)
_cons	-2.8621 (-0.4960)	-3.9180 (-0.6760)
N	360	360
r ²	0.9150	0.9199

注: ***表示 $p < 0.01$, **表示 $p < 0.05$, *表示 $p < 0.1$ 。

4.8. 调节效应检验

本文实证研究中, 调节效应检验用于探讨不同情境下核心解释变量对被解释变量的影响是否存在差异。通过引入调节变量, 可以更深入地理解绿色建筑设计减排效果差异性及其背后的作用机制。本文选取了环境规制作为调节变量, 构建回归模型进行分析, 详见表 7。

调节效应检验结果表 7 中模型(1)所示绿色建筑面积的系数为-0.4330, 在 1%的显著性水平下显著。在模型(2)中, 绿色建筑面积的系数变为 4.8045, 在 5%的显著性水平下显著。环境规制的系数为 0.8403, 在 10%的显著性水平下显著。交互项的系数为 22.8412, 在 5%的显著性水平下显著。这表明环境规制显著调节了绿色建筑面积对碳排放的影响。具体来说, 环境规制的加强使得绿色建筑面积的增加对碳排放的影响由负转正。这表明在严格的环境规制下, 绿色建筑的建设可能会面临更高的成本和更严格的标准, 从而导致其减排效果不如预期, 提示在制定绿色建筑相关政策时, 需要综合考虑环境规制的强度和实际执行情况, 以确保绿色建筑的建设能够真正实现减排目标。基于以上验证得出研究假设 H3 成立。

4.9. 异质性检验

本文通过异质性检验探讨绿色建筑设计碳减排效果在不同子群体中的差异性, 揭示绿色建筑设计对区域碳排放影响的多样性。通过将样本划分为不同的子群体深入地理解政策效果的分布特征及其背后的作用机制。本文以中西部与东部地理区域分类进行异质性分析, 详见表 8。

Table 8. Heterogeneity test
表 8. 异质性检验

	(1) CO ₂	(2) CO ₂
Gba	-0.295*** (0.100)	1.562 (1.558)
Es	27.009*** (9.586)	-88.309*** (26.219)
Ur	0.578 (1.830)	-3.441 (8.267)
Gi	0.178 (0.213)	0.252 (0.814)
Od	0.068 (0.047)	-0.844** (0.387)
EI	-0.361** (0.165)	-0.058 (0.540)
Ia	-3.108 (4.966)	77.168 (135.039)
Scl	2.292*** (0.810)	-0.290 (2.374)
Ti	0.364* (0.184)	0.861 (0.695)
_cons	-1.008 (3.446)	-3.240 (7.244)

续表

year	YES	YES
id	YES	YES
N	132.000	228.000
r ²	0.738	0.314

注: ***表示 $p < 0.01$, **表示 $p < 0.05$, *表示 $p < 0.1$ 。

异质性结果表 8 中模型(1)东部地区的绿色建筑面积的系数为-0.295, 在 1%的显著性水平下显著。模型(2)中西部地区的绿色建筑面积不显著。表明绿色建筑设计对碳排放的影响在东部地区和中西部地区存在显著差异。东部地区的绿色建筑更能有效减少碳排放, 而中西部地区的绿色建筑则效果不明显。这可能是由于东部地区的经济发展水平更高, 技术更先进, 政策支持更到位, 而中西部地区的绿色建筑发展相对滞后。结果为政策制定者提供了科学依据, 强调了在制定绿色建筑政策时需要考虑不同地区的实际情况。基于以上验证得出研究假设 H4 成立。

5. 结论与政策建议

本研究通过理论分析和实证研究, 探讨了绿色建筑设计对区域碳排放的影响。其一绿色建筑设计对区域碳排放产生了抑制效应。绿色建筑面积的增加显著减少了碳排放量。其二环境规制显著调节了绿色建筑面积对碳排放的影响。在严格的环境规制下, 绿色建筑的建设可能会面临更高的成本和更严格的标准, 从而导致其减排效果不如预期。其三绿色建筑设计对碳排放的影响在不同地区存在显著差异。东部地区的绿色建筑设计更能有效减少碳排放, 而中西部地区的绿色建筑设计则效果不明显。这可能是由于东部地区的经济发展水平更高, 技术更先进, 政策支持更到位, 而中西部地区的绿色建筑设计发展相对滞后。

基于以上研究结论, 本文提出以下政策建议。其一加强绿色建筑设计政策支持。政府应提供财政补贴、税收减免等激励措施, 鼓励开发商和企业采用绿色建筑设计标准。完善绿色建筑评价标准和认证体系, 确保绿色建筑的质量和效果。其二优化环境规制。在制定环境规制时, 应考虑不同地区的实际情况, 采取灵活的政策措施, 避免过高成本阻碍绿色建筑设计的发展。加强对绿色建筑项目的监管和评估, 确保各项绿色设计措施得到有效实施。其三推动区域协调发展。针对不同地区的经济发展水平和技术条件, 制定差异化的绿色建筑设计政策, 重点支持中西部地区的绿色建筑发展。鼓励东部地区与中西部地区开展技术交流合作, 共同推进绿色建筑的发展。

参考文献

- [1] 叶浩文, 樊则森, 周冲, 等. 装配式建筑标准化设计方法工程应用研究[J]. 山东建筑大学学报, 2018, 33(6): 69-74, 84.
- [2] 梅世强, 吴波, 毛凯, 等. 某多层住宅建筑结构标准化设计探索[J]. 钢结构, 2018, 33(2): 51-55.
- [3] 张守峰. 装配式建筑减碳设计研究与工程实践[J]. 建筑, 2023(7): 71-73.
- [4] 蔡恩健, 裴熠麟, 张玉浩. 浅谈建筑工业化中的标准化设计[J]. 中外建筑, 2016(8): 111-112.
- [5] 任展. 深圳裕璟幸福家园工业化建造管理与技术创新[J]. 建筑施工, 2019, 41(8): 1591-1593.
- [6] 于海申, 宁传红, 亓立刚, 等. 基于 BIM 的超高层建筑垃圾减量化探索[J]. 施工技术, 2016, 45(S1): 796-798.
- [7] 宋怡. 基于 BIM 技术的建筑项目数字化设计与仿真研究[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(22): 95-98.
- [8] 崔海峰. BIM 技术在建筑施工管理一体化设计中的应用[J]. 陶瓷, 2023(7): 98-101.
- [9] 张肖明, 黄沛增, 崔庆怡. 西安市建筑垃圾减量化和资源化利用现状研究[J]. 建筑节能, 2020, 48(1): 102-107.

- [10] 齐五辉, 宫贞超, 常为华, 等. 中国尊大厦外框筒建筑-结构一体化设计方法[J]. 建筑结构, 2014, 44(20): 1-6.
- [11] 肖绪文. 抓好建筑垃圾源头减量推动绿色建造落地生根[J]. 住宅与房地产, 2020(35): 30.
- [12] 王磊. 基于 BIM 技术的装配式建筑装修一体化设计及措施探讨[J]. 工程技术研究, 2022, 7(3): 188-190.
- [13] 李伟, 张鹏, 高登松. BIM 技术在装配式建筑装修一体化设计中的应用分析[J]. 住宅与房地产, 2023(Z2): 136-138.
- [14] 张玲. 装配式建筑装修一体化设计应用与发展[J]. 城市住宅, 2021, 28(7): 29-31.
- [15] 张子奇. 基于 BIM 的装配式住宅建筑装修一体化设计研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东建筑大学, 2019.
- [16] 何成, 朱丽, 田玮. 城市建筑布局的能耗敏感性分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2018, 50(4): 174-180.
- [17] 罗涛, 燕达, 江亿, 等. 办公建筑照明能耗模拟方法研究(下)[J]. 建筑科学, 2017, 33(6): 123-129.
- [18] 罗昊敏, 刘伟, 张洁雄, 等. 建筑暖通空调冷水温度节能控制方法设计[J]. 计算机仿真, 2022, 39(8): 286-290.
- [19] 王晓霞, 姜棣. 论绿色建筑暖通和给排水设计的节能策略[J]. 建筑科学, 2021, 37(3): 159.
- [20] 张时聪, 王珂, 徐伟. 低碳、近零碳、零碳公共建筑碳排放控制指标研究[J]. 建筑科学, 2023, 39(2): 1-10, 35.
- [21] 范青玉, 孙瑞武, 吕悦. 装配式建筑的技术经济分析[J]. 工业建筑, 2023, 53(S1): 815-817, 840.
- [22] 陈卓瑜. 基于节水理念的建筑给排水技术及应用分析[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(9): 151-153, 157.
- [23] 夏松, 李晓东, 张宇航. 建筑垃圾减量化与资源化利用技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(5): 108-110.
- [24] 姜早龙, 唐佼, 陈大川. 环境规制下绿色建材低碳发展的演化博弈研究——基于利益相关者视角[J]. 工业技术经济, 2022, 41(12): 45-52.
- [25] 王茹, 毛洁, 黄炜, 等. 外挂墙板施工阶段碳排放的智能监测与优化[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(4): 1596-1604.
- [26] 董莉莉, 何雨峰, 祁乾龙. “双碳”背景下的城市地下空间光热环境的节能设计研究进展与展望[J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(1): 96-103.
- [27] 陈娟, 郑旺. 建筑废弃物资源化管理及碳足迹评价: 方法与进展[J]. 生态经济, 2023, 39(11): 213-221.
- [28] 丁志坤, 王欣睿, 文馨平. 基于混合仿真实验的建筑拆除废弃物管理减碳减排效益研究[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(6): 2444-2453.