

摘 要

随着全球气候变化的加剧和能源资源的逐渐紧张,建筑节能减排成为了缓解这一问题的关键措施之一。我国作为一个发展中的大国,建筑能源消费和碳排放问题尤为突出,特别是在城镇居住建筑领域。本研究以江西省城镇居住建筑的能耗和碳排放为例,使用系统动力学(SD)方法,构建了一个定性与定量评估模型,旨在深入分析江西省城镇居住建筑能耗和碳排放的现状,并提出相应的节能减排策略。

本文首先综合能源平衡表和终端能源分解的方法构建了城镇居住建筑能耗和碳排放的计算模型,详细拆分了建筑不同终端和设备的能耗情况,确保能够从宏观和微观两个层面理解和计算城镇居住建筑能耗及碳排放;其次通过采用 Kaya 恒等式的扩展模型及 LMDI 因素分解方法,进一步深入探究了影响城镇居住建筑能耗和碳排放的多种因素,并对这些因素进行定量分析以揭示其对总排放的贡献程度;最后根据江西省发展规划目标,设置保守情景、规划情景、积极情景在建立的系统动力学仿真模型中进行情景仿真,并依据仿真结果提出实现江西省城镇居住建筑节能减排的对策。

本文研究结果显示:

(1) 不同时期的江西省城镇居住建筑能耗和碳排放逐年放缓,单位建筑面积能耗和碳排放强度趋于稳定,逐步向更加可持续的方向转变,因此通过调整能源结构向更清洁的能源倾斜,有助于减少单位能耗产生的碳排放量;且江西省终端能耗碳排放主要是由电器在生活工作中产生的,空调、热水等终端能耗占比也呈现出逐年增长的趋势,而采暖、照明、炊事终端能耗则呈现出一定程度的下降趋势。

(2) 建筑能源碳排放系数、能源消费强度对城镇居住建筑碳排放具有负向抑制作用,单位面积居住建筑住宅支出、人均居住建筑面积、城镇化率、地区总人口规模具有正向驱动作用,其中单位面积居住建筑住宅支出影响贡献度最大,政府与企业在未来居住建筑碳减排路径中要关注降低节能建筑的增量成本影响效应。

(3) 本文选定了 AS-1 情景(也即社会经济参数设定基准情景,市场环境参数、技术政策参数设定高速情景)作为研究江西省城镇居住建筑节能减排路径的最佳情景,此情景下预计 2029 年实现碳达峰,峰值为 28585.1 万吨 CO₂,此时江西能实现 2030 年战略目标,并分别从终端能耗角度、社会经济角度、市场环境角度、技术政策角度详细分析了江西省在城镇居住建筑节能减排路径上应采取的策略,确定了加强建筑节能改造、加大技术创新和提高建筑能效是实现节能减排目标的核心途径,并强调了在此过程中,政府的引导和协调作用不可或缺。

关键词: 城镇居住建筑; 系统动力学; 节能减排; LMDI 因素分解法

Abstract

With the intensification of global climate change and the gradual tension of energy resources, building energy conservation and emission reduction has become one of the key measures to alleviate this problem. As a large developing country, China's construction energy consumption and carbon emissions are particularly prominent, especially in the field of urban residential construction. Taking the energy consumption and carbon emission of urban residential buildings in Jiangxi Province as an example, this study constructs a qualitative and quantitative evaluation model using system dynamics (SD) method, aiming to deeply analyze the current situation of energy consumption and carbon emission of urban residential buildings in Jiangxi Province, and put forward corresponding energy saving and emission reduction strategies.

This thesis first constructs the calculation model of energy consumption and carbon emission of urban residential buildings by integrating the energy balance sheet and terminal energy decomposition method, and divides the energy consumption of different terminals and equipment in detail to ensure that the energy consumption and carbon emission of urban residential buildings can be understood and calculated from both macro and micro levels. Secondly, by adopting the extended model of Kaya identity and the LMDI factor decomposition method, various factors affecting the energy consumption and carbon emission of urban residential buildings are further explored, and these factors are quantitatively analyzed to reveal their contribution to the total emission. Finally, according to the development planning objectives of Jiangxi Province, conservative scenarios, planning scenarios and positive scenarios are set up. After simulating in the established system dynamics simulation model, the countermeasures to achieve energy conservation and emission reduction in urban residential buildings in Jiangxi Province are proposed according to the simulation results.

The results of this thesis show that:

(1) In different periods, the energy consumption and carbon emission of urban residential buildings in Jiangxi Province slow down year by year, and the energy consumption and carbon emission intensity per unit building area are gradually more sustainable. Therefore, by adjusting the energy structure to cleaner energy, the carbon emission per unit energy consumption is reduced, and the carbon emission of terminal energy consumption in Jiangxi Province is mainly generated by electrical appliances in the life and work, and the proportion of terminal energy consumption of air conditioning and hot water also shows a trend of increasing year by year, while the energy consumption of heating, lighting and cooking is decreasing to a certain extent.

(2) Building energy carbon emission coefficient, energy consumption intensity of urban residential building carbon emissions have negative inhibitory effect, residential spending per

unit area, residential building area, urbanization rate, regional total population has positive driving effect, including residential buildings per unit area spending contribution, the government and enterprises in the future residential building carbon reduction path to reduce the incremental cost of energy-saving building effect.

(3) This thesis selects the AS-1 scenario (i. e., the social economy is in the planning scenario, When the market environment and technology policy are in a positive scenario), as the best scenario to study the energy conservation and emission reduction path of urban residential buildings in Jiangxi Province, In this scenario, carbon peak in 2029, The peak value was 285.851 million tons of CO₂, At this time, Jiangxi can achieve the 2030 strategic goal, From the perspective of terminal energy consumption, social economy, market environment and technology policy, the energy conservation and emission reduction path in Jiangxi Province are analyzed in detail, Strengthening building energy conservation renovation, increasing technological innovation and improving building energy efficiency is the core way to achieve the goal of energy conservation and emission reduction, And highlighted that, in the process, The guidance and coordination role of the government is indispensable.

Key Words: Urban residential buildings; System dynamics; Energy conservation and emission reduction; The LMDI factor decomposition method

目 录

1	绪论	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的和意义	2
1.2.1	研究目的	2
1.2.2	研究意义	3
1.3	国内外研究现状	3
1.3.1	国内外文献研究计量分析	3
1.3.2	建筑碳排放核算研究发展现状	5
1.3.3	建筑碳减排影响因素分析现状	8
1.3.4	建筑碳排放预测方法发展现状	10
1.3.5	文献评述	11
1.4	研究内容与技术路线图	12
1.4.1	研究内容	12
1.4.2	技术路线图	14
2	理论基础与研究方法	15
2.1	理论基础	15
2.1.1	可持续发展理论	15
2.1.2	城镇居住建筑理论	16
2.2	研究方法	17
2.2.1	LMDI 因素分解法	17
2.2.2	系统动力学模型	18
2.2.3	情景分析法	20
2.3	本章小结	20
3	江西省城镇居住建筑能耗分解与碳排放计算	21
3.1	江西省建筑能耗现状分析	21
3.2	江西省城镇居住建筑能耗分解与碳排放计算	23
3.2.1	基于能源平衡表的能耗与碳排放计算	23
3.2.2	基于终端用能模型的碳排放分解计算	26
3.3	本章小结	29
4	江西省城镇居住建筑碳排放影响因素识别及分析	31
4.1	基于 Kaya 恒等式的影响因素分析与识别	31
4.2	基于 LMDI 因素分解法定量分析	31
4.3	城镇居住建筑碳排放影响领域因素分析	37

4.4	本章小结	40
5	江西省城镇居住建筑碳排放 SD 模型构建	41
5.1	仿真动态系统建模目的及边界假设	41
5.2	各子系统因果回路图及分析	42
5.3	模型存量流量图	46
5.4	模型主要参数及函数方程	48
5.5	模型有效性检验	53
5.5.1	模型结构性检验	53
5.5.2	模型行为一致性检验	54
5.5.3	模型稳定性检验	55
5.6	本章小结	56
6	江西省城镇居住建筑碳排放仿真预测及节能减排对策分析	57
6.1	江西省建筑节能减排发展历程	57
6.2	预测情景参数设定	58
6.2.1	社会经济系统参数调节	59
6.2.2	市场环境系统参数调节	60
6.2.3	技术政策系统参数调节	62
6.3	预测情景设定及描述	64
6.4	江西省城镇居住建筑运行能耗与碳排放达峰预测	66
6.4.1	江西省城镇居住建筑运行能耗预测趋势	66
6.4.2	江西省城镇居住建筑碳排放达峰预测趋势	68
6.5	江西省城镇居住建筑节能减排对策分析	71
6.5.1	优化终端能耗管理	71
6.5.2	社会经济驱动节能发展	73
6.5.3	市场环境激活建筑转型	74
6.5.4	技术政策革新碳减实践	75
6.6	本章小结	76
7	结论与展望	77
7.1	主要结论	77
7.2	主要创新	78
7.3	不足与展望	79
参 考 文 献	80
致 谢	86

TABLE OF CONTENTS

1	Introduction.....	1
1.1	Research background.....	1
1.2	Study purpose and significance.....	2
1.2.1	Purpose of research.....	2
1.2.2	Research meaning.....	3
1.3	Research status, both at home and abroad.....	3
1.3.1	Measurement and analysis of domestic and foreign literature research.....	3
1.3.2	Research and development of building carbon emission accounting.....	5
1.3.3	Analysis of the influencing of building carbon emission reduction.....	8
1.3.4	The development status of building carbon emission prediction method.....	10
1.3.5	Literature review.....	11
1.4	Research content and technology roadmap.....	12
1.4.1	Research contents.....	12
1.4.2	Technical roadmap.....	14
2	Theoretical basis and research methods.....	15
2.1	Theoretical principle.....	15
2.1.1	Sustainable development theory.....	15
2.1.2	Urban residential building theory.....	16
2.2	Research technique.....	17
2.2.1	The LMDI factor decomposition method.....	17
2.2.2	System dynamics model	18
2.2.3	Scenario analysis method.....	20
2.3	Chapter summary.....	20
3	Energy consumption decomposition and carbon emission calculation of urban residential buildings in Jiangxi Province.....	21
3.1	Analysis of building energy consumption in Jiangxi Province.....	21
3.2	Energy consumption decomposition and carbon emission calculation of urban residential buildings in Jiangxi Province.....	23
3.2.1	Energy consumption and carbon emissions on the energy balance sheet.....	23
3.2.2	Carbon emission decomposition on the terminal energy use model.....	26
3.3	Chapter summary.....	28
4	Identification and analysis of the factors affecting carbon emission in urban residential buildings in Jiangxi Province.....	31
4.1	Analysis and identification of influencing factors based on the Kaya identity.....	31
4.2	Quantitative analysis based on the LMDI factor decomposition method.....	31
4.3	Analysis of factors affecting the carbon emission in residential buildings.....	37
4.4	Chapter summary.....	40

5	Construction of SD model of carbon emission from urban residential buildings in Jiangxi Province.....	41
5.1	Modeling purpose and boundary assumption of simulation dynamic system.....	41
5.2	Cause and effect circuit diagram and analysis of each subsystem.....	42
5.3	Model stock flow diagram.....	46
5.4	Main main parameters and function equations.....	48
5.5	Model validity test.....	53
5.5.1	Test of the model structure.....	53
5.5.2	Model test of behavior.....	54
5.5.3	Model stability test.....	55
5.6	Chapter summary.....	56
6	Simulation and prediction analysis of carbon emission and energy saving and emission reduction countermeasures in Jiangxi Province.....	57
6.1	Development process of building energy conservation and emission reduction in Jiangxi Province.....	57
6.2	Prediction scenario parameter setting.....	58
6.2.1	Regulation of the socioeconomic system parameters.....	59
6.2.2	Market environment system parameter adjustment.....	60
6.2.3	Technical policy system parameter adjustment.....	62
6.3	Prediction scenario setting and description.....	64
6.4	Forecast of peak energy consumption and carbon emission of urban residential buildings in Jiangxi Province.....	66
6.4.1	Forecast trend of operation energy consumption of urban residential buildings in Jiangxi Province.....	66
6.4.2	Forecast trend of peak carbon emission of urban residential buildings in Jiangxi Province.....	68
6.5	Analysis on the countermeasures of energy conservation and emission reduction in urban residential buildings in Jiangxi Province.....	71
6.5.1	Optimize terminal energy consumption management.....	71
6.5.2	Social economy drives energy conservation development.....	73
6.5.3	Market environment activates building transformation.....	74
6.5.4	Technology policy innovation in carbon reduction practices.....	75
6.6	Chapter summary.....	76
7	Conclusions and Outlook.....	77
7.1	Main conclusion.....	77
7.2	The main innovation.....	78
7.3	Shortcomings and prospects.....	79
	Reference documentation.....	80
	Express one's thanks.....	86

图目录

图 1.1 国内建筑碳排放关键词共振聚类	4
图 1.2 国外建筑碳排放关键词共振聚类	5
图 1.3 研究技术路线图	14
图 3.1 江西省房地产投资概况（按工程用途分）	21
图 3.2 2021 年江西省各地区能源消费概况	22
图 3.3 建筑业能源消费量趋势	23
图 3.4 江西省城镇居住建筑碳排放变化趋势	26
图 3.5 终端能源分解模型	27
图 4.1 江西省城镇居住建筑碳排放 LMDI 影响效应逐年贡献度趋势	36
图 5.1 社会经济子系统因果回路图	42
图 5.2 市场经济环境子系统因果回路图	43
图 5.3 技术政策子系统因果回路图	44
图 5.4 终端能源能耗子系统因果回路图	45
图 5.5 建筑碳排放子系统因果回路图	45
图 5.6 江西省城镇居住建筑碳排放存量流量图	47
图 5.7 模型结构性检验	54
图 5.8 模型稳定性检验	56
图 6.1 江西省城镇居住建筑终端能源设备能耗构成	67
图 6.2 江西省城镇居住建筑运行能耗情景预测趋势	67
图 6.3 江西省城镇居住建筑碳排放情景预测趋势	69

表目录

表 3.1 化石能源碳排放系数	24
表 3.2 电力碳排放系数	24
表 3.3 江西省城镇居住建筑能耗和碳排放结果计算	25
表 3.4 江西省城镇居住建筑终端用能碳排放分解结果	28
表 4.1 2000-2022 年江西省城镇居住碳排放影响因素值	32
表 4.2 2001-2022 年江西省城镇居住建筑碳排放 LMDI 分解结果	34
表 4.3 影响因素筛选结果	38
表 5.1 线性回归 F 检验	50
表 5.2 残值检验及拟合程度	50
表 5.3 模型行为一致性检验	54
表 6.1 江西省建筑节能减排相关政策	57
表 6.2 GDP 增长率情景设置	59
表 6.3 人口增长率情景设置	60
表 6.4 居民低碳意识情景设置	60
表 6.5 城镇居住建筑增长率情景设置	61
表 6.6 新建建筑节能改造情景设置	61
表 6.7 既有建筑节能改造情景设置	62
表 6.8 科技创新投入比例	63
表 6.9 政府干预力度情景设置	63
表 6.10 能源结构情景设置	64
表 6.11 预测情景设定	64
表 6.12 江西省城镇居住建筑碳排放预测仿真结果	69
表 6.13 江西省城镇居住建筑碳排放峰值	70

1 绪论

1.1 研究背景

工业、建筑和交通构成了能源需求的核心，同时也是温室气体排放的主要贡献者。IEA 数据显示^[1]：2016 年，建筑部门的能源消费量为 28.4 亿吨标准油，占全球终端能源消费量的 29.7%，超过工业部门和交通部门的 27.5 亿吨标准油，是能源消耗最高的部门。在 2019 年举行的第 25 次联合国气候变化大会指出随着新兴经济体的发展，发展中国家人口数量、建筑总量以及消费能力的飞速提升，将推动全球建筑用能以及二氧化碳排放量不断攀升，预测至 2060 年，建筑行业的终端能源需求将比现状提高一半。尽管建筑领域能源消耗的占比呈现快速上升趋势，但在节能降耗方面，也展现了巨大的改进空间。2016 年，国家发改委能源所、美国伯克利实验室（LBNL）等机构共同发布《重塑能源》研究报告^[2]，为推动建筑部门的可持续发展提供参考和建议，研究数据显示：重塑能源情景下，到 2050 年中国建筑行业有望实现大幅度节能，预计能够减少能源消耗达到 12.7 亿吨的标煤以及减少二氧化碳排放量 28.8 亿吨，建筑行业的节能潜力最大，贡献率高达 74%。作为当下快速崛起的新兴经济大国，中国的建筑能源消耗以及碳排放水准仍低于全球平均标准，因此其节能减排还有相当的上升空间。2024 年，《中国建筑能耗与碳排放研究报告（2023 年）》数据显示^[3]：截至 2021 年，我国建筑运行阶段能耗和碳排放总量分别占全过程能源消费的 60.4%和碳排放的 56.6%。未来，中国社会经济将继续保持中高速的稳定增长态势，随着居民生活品质的逐步提升，建筑领域的能源需求亦将持续攀升，因此建筑行业面临着较大的能效提升和碳减排压力，同时也被视为最具节能潜力的关键领域，在实现国家节能减排目标方面扮演着核心角色。

为缓解全球变暖的影响，中国作为全球最大的能源消费和碳排放国提出了一系列的低碳政策，于 2020 年提出二氧化碳 2030 年前达到碳达峰，2060 年前实现碳中和。2021 年，将碳达峰、碳中和纳入生态文明建设总体布局：“十四五”期间，单位国内生产总值能耗和二氧化碳排放将分别降低 13.5%和 18%，到 2030 年，单位国内生产总值二氧化碳排放将比 2005 年下降 65%以上^[4]。根据《2021 年全球建筑建造业现状报告》显示全球温室气体排放量的 73%来自能源消费，其中 35%来自建筑业，是碳排放最高的行业之一^[5]。随着城镇化水平的逐步提高，城镇居住建筑碳排放约占建筑碳排放的 40%^[6]。截至 2020 年底，全国城镇当年新建绿色建筑占新建建筑比例达到 77%，累计建成绿色建筑面积超过 66 亿平方米，累计建成节能建筑面积超过 238 亿平方米，节能建筑占城镇民用建筑面积超过 63%。当前我国的城镇化率约为 60%，处于高速发展阶段且仍将保持一段时间的中高速发展，相关研究表明^[7-8]，未来城镇化发展的峰值水平在 83%左右。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/298137003065007006>