



中国建筑节能协会
CHINA ASSOCIATION OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY



重庆大学
CHONGQING UNIVERSITY

2022 中国城市生活垃圾处理碳排放研究报告

2022 Research Report of China Urban Domestic Waste Treatment Carbon Emissions



中国 重庆
2022 · 12

2022中国城市生活垃圾处理碳排放研究报告

RESEARCH REPORT OF CHINA URBAN DOMESTIC WASTE TREATMENT CARBON EMISSIONS

免责声明：

本研究报告由中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专业委员会撰写，由中国建筑节能协会和重庆大学联合发布，研究报告中所提供的信息仅供参考。本报告根据公开、合法渠道获得相关数据和信息，并尽可能保证可靠、准确和完整，对于本报告所提供之任何直接的或者间接的后果，中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专业委员会不承担任何责任。

如引用发布本报告，需注明出处为中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专业委员会，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。本报告之声明及其修改权、更新权及最终解释权均归中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专业委员会所有。

推荐引用格式：

中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会 . 2022 中国城市生活垃圾处理碳排放研究报告 [R]. 重庆 , 2022.

报告作者：

蔡伟光，武涌，倪江波，刘源，吴景山，付宇，李春艳，沈俊怡，魏裕晨，仲宇轩，田盼，王霞，霍腾飞，高景鑫，施庆伟，马敏达

专委会专家组成员：

周雄，任宏，李德英，那威，苏醒，徐强，宋业辉，于忠，乔振勇，王庆辉，卢振，刘正荣，罗多，郑超超，孙金磊，曹慧，马晓雯，吴蔚沁，朱宝旭，刘绍勇，刘雄伟，李林涛，杜博轩

本报告受到国家社会科学基金（项目号：19BJY065）、儿童投资基金会（项目号：2107-06837）、能源基金会（项目号：G-2109-33435）资助。

在此郑重感谢资助方对本报告的支持和帮助。

中国建筑节能协会简介

中国建筑节能协会（CABEE）是经国务院同意、民政部批准成立的国家一级协会，业务主管部门为住房和城乡建设部。协会由城乡建设领域碳达峰碳中和及建筑节能与绿色建筑相关企事业单位、社会组织及个人自愿结成的全国性、行业性、非营利性社团组织，主要从事城乡建设领域碳达峰碳中和与绿色建筑领域的社团标准、认证标识、技术推广、国际合作、会展培训等服务。

协会宗旨：落实党中央、国务院的决策部署，贯彻生态文明建设的总体方针，秉承“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念，根据我国城乡建设发展和节能减排的战略目标，坚持以人为本、依法推进，坚持节约资源和保护环境的基本国策，以打造“绿色、健康”建筑为己任，面向政府、行业、市场、企业、从业人员五个服务，大力推进建筑行业可持续发展。

协会愿景：引领建筑向更高能效、更加健康的方向发展，营造未来可持续人居环境

共同价值观：卓越 服务 创新 包容 合作





中国建筑节能协会 建筑能耗与碳排放数据专委会简介

中国建筑节能协会（CABEE）于2016年3月组织成立了能耗统计专业委员会，旨在整合行业力量，协同开展建筑能耗和建筑碳排放专项研究，夯实建筑节能数据基础。2021年，专委会正式更名为**中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会（Professional Committee of Building Energy and Emissions, CABEE）**。

专委会是广大致力于中国建筑能耗与碳排放数据核算、研究与应用的相关单位和专业人士自愿加入组成的社会团体，隶属于中国建筑节能协会的分支机构。专委会定位为公益性、研究型组织。

专委会的目的和宗旨在于：搭建中国建筑能耗和碳排放数据共享平台，为政府制定政策、标准、规划提供数据支撑，为建筑节能科学研究提供数据来源，为建筑节能行业提供数据增值服务，为我国建筑节能与绿色建筑事业发展做出贡献。

专委会现有成员单位15家，包括：重庆大学、北京建筑大学、中国建筑科学研究院、上海建筑科学研究院、深圳市建筑科学研究院、四川省建筑科学研究院、辽宁省建设科学研究院、河南建筑科学研究院、陕西省建筑科学研究院、中国水发兴业能源集团、上海朗绿建筑科技、云南建筑技术发展中心、天津市建筑节能推广培训中心、中国建筑集团技术中心、湖南省建筑设计院，重庆大学为主任委员单位。

中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放专委会自2016年起每年发布《中国建筑能耗研究报告》，历年报告主题分别为：

- 2016年，全国建筑能耗测算；
- 2017年，分省建筑能耗测算；
- 2018年，建筑碳排放核算；
- 2019年，建筑碳达峰情景预测；
- 2020年，建筑全过程碳排放核算与碳中和情景预测；
- 2021年，省级建筑碳排放达峰形势评估；
- 2022年，城市建筑碳排放核算，城镇污水处理碳排放核算，城市生活垃圾处理碳排放核算。

通过多年的研究与积累，专委会建立了涵盖区域建筑能耗、建筑面积、建筑碳排放核算方法体系，构建了区域建筑碳达峰碳形势与状态评估模型、碳达峰碳中和情景预测方法，开发了中国建筑能耗与碳排放数据库（www.cbeed.cn），为中国建筑领域碳达峰碳中和战略提供支撑。

核心作者单位介绍



重庆大学城乡建设发展研究院（智库）（URCD）是由重庆大学1977级杰出校友詹复成捐资、经重庆大学批准，由重庆大学管理科学与房地产学院牵头，建筑城规学院、土木工程学院、城市建设与环境工程学院联合参与的一所中国特色新型智库。2018年入选CTTI中国智库索引，2020年首批入选重庆市新型智库。研究院旨在立足行业、钻研学术、建言政府、服务大众，通过依托重庆大学建筑学部、人文学部、社会科学学部等学科群，组织跨学科的综合研究。研究院将紧紧围绕我国城镇化发展过程中的重大战略、制度、政策和基础理论中的关键性问题，依托充裕的科研资源和多学科专家学者组成的智囊团，通过科学研究、行业创新、政府咨询、示范推广等融智服务方式，为政府与相关行业协会提供决策咨询与服务，推进城乡建设创新体制机制和“产、学、研、政”一体化协作网络建设，引领开放、创新、高效和可持续的中国建设管理新趋势。



重庆大学可持续建设国际研究中心（IRCSBE）于2012年10月，由重庆大学管理科学与房地产学院牵头，依托重庆大学建筑学部成立。2013年中心与英国里丁大学、澳大利亚邦德大学、美国佛罗里达大学、加拿大蒙特利尔大学、香港理工大学等国内外7所知名院校成立了可持续建设国际研究联盟。2017年中心成为重庆大学首批校级人文社科重点科研平台。中心深耕可持续建设领域，围绕城乡资源可持续利用、城乡安全可持续统筹以及城乡双碳可持续发展，践行多学科交叉引领下的多尺度、多维度、多粒度研究，赢得广泛赞誉。

目 录

CONTEN T CO NTENT

1 研究背景	
2 城市生活垃圾处理碳排放测算方法	
2.1 城市生活垃圾处理碳排放核算边界	3
2.2 城市生活垃圾处理碳排放测算框架	5
2.3 城市生活垃圾处理碳排放测算公式	6
3 全国城市生活垃圾处理碳排放数据分析	
3.1 全国城市生活垃圾处理全过程碳排放现状	8
3.2 全国城市生活垃圾处理及碳排放变化趋势	11
3.3 全国城市生活垃圾处理碳排放影响因素分析	15
4 分省城市生活垃圾处理碳排放数据分析	
4.1 分省城市生活垃圾处理及全过程碳排放现状	16
4.2 分省城市生活垃圾处理全过程碳排放变化趋势	20
4.3 分省城市生活垃圾处理碳排放与社会经济因素的相关性	21
5 新冠疫情对 2020 年城市生活垃圾处理全过程碳排放影响分析	
5.1 新冠疫情对 2020 年全国城市生活垃圾处理全过程碳排放影响	22
5.2 新冠疫情对 2020 年分省城市生活垃圾处理全过程碳排放影响	23
6 结语	
参考文献	

1 研究背景



2020 年 9 月 22 日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上庄严宣布：中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。为推动实现碳达峰、碳中和目标，国家印发了《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、《国务院 2030 年前碳达峰行动方案》，搭建了双碳战略的顶层设计，此后陆续发布重点领域和行业碳达峰实施方案和一系列支撑保障措施，构建起碳达峰碳中和 1+N 政策体系。其中特别要求“加快建立统一规范的碳排放统计核算体系”“加强甲烷等非二氧化碳温室气体管控”等。2022 年 6 月，住房和城乡建设部、国家发展改革委联合印发了《城乡建设领域碳达峰实施方案》，将城镇污水处理、生活垃圾处理低碳化作为城乡建设领域碳达峰的一项重要任务。城市生活垃圾处理产生大量的 CH₄, N₂O 以及 CO₂ 排放，是城市非二氧化碳温室气体排放的主要来源。核算城市生活垃圾处理温室气体排放数据，是推动城市市政基础设施绿色低碳发展的基础，对实现城乡建设领域碳达峰具有重要作用。然而，当前城市生活垃圾处理温室气体排放数据严重缺乏，不利于相关工作的开展。

涉及城乡建设领域重大“双碳”政策文件

中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于推动城乡建设绿色发展的意见》》

2021年10月21日

“落实碳达峰、碳中和目标任务……**加快转变城乡建设方式**，促进经济社会发展全面绿色转型。强化能源消费强度和总量双控……严格控制能耗和二氧化碳排放强度，合理控制能源消费总量，统筹建立二氧化碳排放总量控制制度。”

中共中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》

2021年10月24日

“强化能源消费强度和总量双控，……严格控制能耗和二氧化碳排放强度……**加强甲烷等非二氧化碳温室气体管控**”

国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》

2021年10月24日

“重点实施……城乡建设碳达峰行动……。实施城市节能降碳工程，开展建筑、交通、照明、供热等基础设施节能升级改造……。**加强碳排放统计核算能力建设，深化核算方法研究，加快建立统一规范的碳排放统计核算体系。**”

住房和城乡建设部、国家发展改革委联合印发《城乡建设领域碳达峰实施方案》

2022年6月30日

“提高基础设施运行效率。基础设施体系化、智能化、生态绿色化建设和稳定运行，可以有效减少能源消耗和碳排放。……**推进生活垃圾污水治理低碳化**。建立完善法律法规和标准计量体系。”

图 1.1 城乡建设领域重大“双碳”政策文件

在此背景下，研究团队在往年建筑碳排放研究基础上，将研究范围进一步拓展到市政设施碳排放，本报告聚焦城市生活垃圾处理碳排放，构建省级城市生活垃圾处理碳排放核算方法，分析城市生活垃圾处理碳排放现状与变化趋势，夯实城市生活垃圾处理碳排放数据基础。



2 城市生活垃圾处理 碳排放测算方法



2.1 城市生活垃圾处理碳排放核算边界

本报告所涉及城市生活垃圾处理碳排放核算边界包括城市生活垃圾收集与处理全过程的大部分环节。从生活垃圾产生通过源头分类收集，经运输车辆清运到中转站，再运输至不同处理方式的生活垃圾处理厂。其中，有害垃圾与可回收垃圾的处理由于占比较少或缺乏统计数据，故未涵盖在本报告的核算范围内。



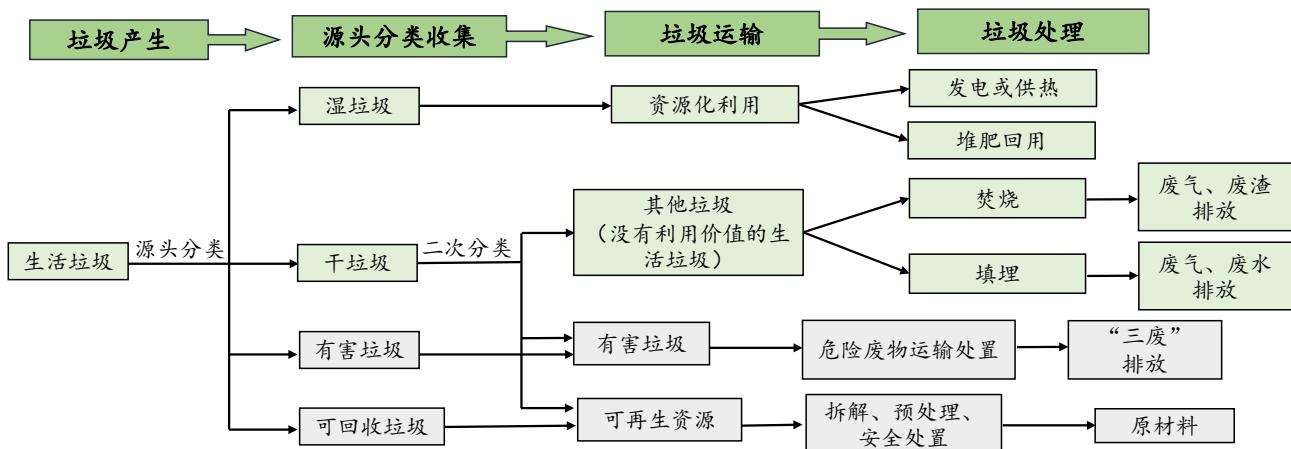


图 2.1 城市生活垃圾处理碳排放核算边界

注：本报告核算边界为绿色标记部分，包括城市生活垃圾分类收集与处理全过程的大部分环节；灰色标记部分代表有害垃圾及可回收垃圾的处理，由于占比较少或缺乏统计数据的原因，故未涵盖在核算范围内。

按照城市生活垃圾处理碳排放核算边界，针对主要环节进行碳排放源识别，具体可以分为垃圾处理产生的 CH_4 、 N_2O 和化石 CO_2 直接排放以及垃圾运输和处理过程中消耗燃油和电力导致的间接排放。在温室气体净排放核算过程中，主要考虑了垃圾焚烧发电、堆肥产肥带来的碳抵消量。另外，由于生物源 CO_2 未造成大气中二氧化碳排放净增加，故本研究的排放源仅针对化石碳造成的 CO_2 进行核算，未包含生物源造成的 CO_2 排放。

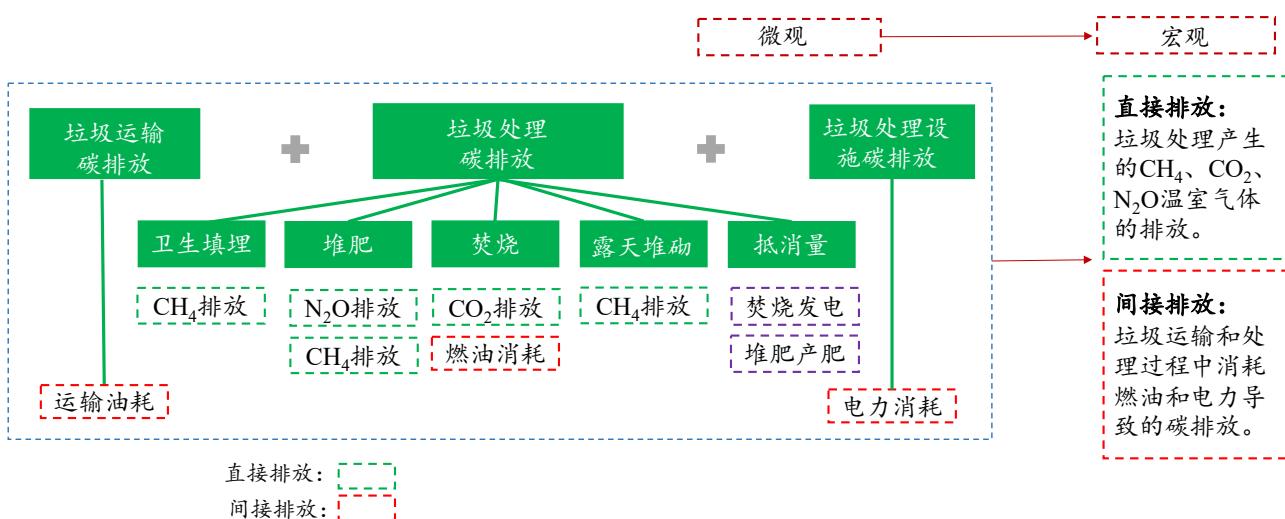


图 2.2 城市生活垃圾处理全过程碳排放源识别

注：本报告核算的碳排放源，只包括 CH_4 、 N_2O 和化石碳造成的 CO_2 排放，由于生物源造成的 CO_2 排放并未造成大气中碳排放净增加，故未涵盖在核算范围内。

2.2 城市生活垃圾处理碳排放测算框架

基于本报告城市生活垃圾处理碳排放测算边界，城市生活垃圾处理全过程碳排放总量包括生活垃圾运输碳排放、处理过程碳排放、处理设施碳排放三部分，其净排放需要扣除碳抵消量。具体测算框架如图 2.3 所示。

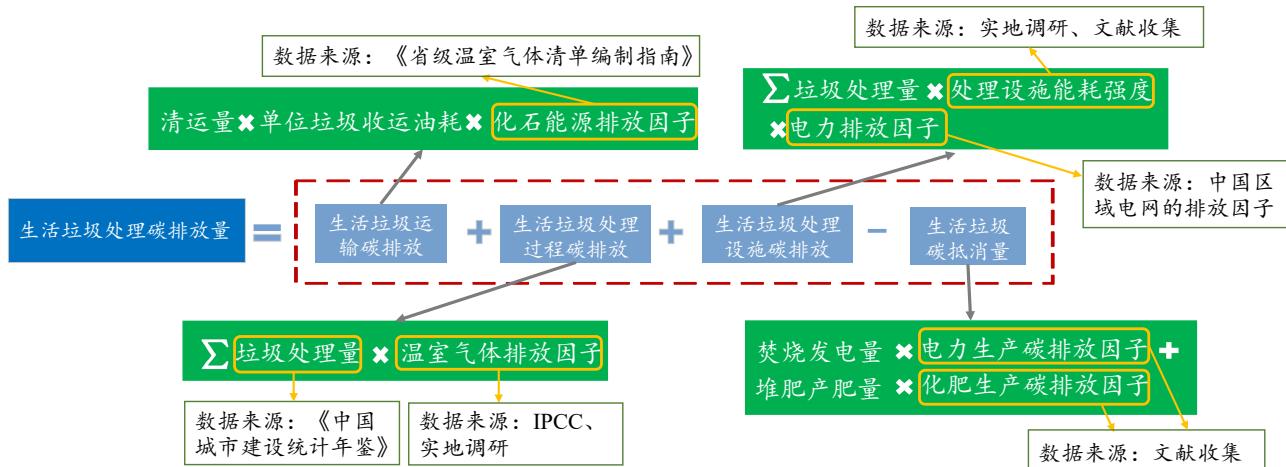


图 2.3 城市生活垃圾处理碳排放测算框架

生活垃圾运输碳排放根据垃圾清运量、单位垃圾收运油耗及化石能源排放因子进行计算。其中垃圾清运量数据来源于《中国城市建设统计年鉴》，单位垃圾收运油耗通过文献收集取全国均值，化石能源排放因子数据来源于《省级温室气体清单编制指南》。

生活垃圾处理过程碳排放根据卫生填埋、焚烧、堆肥和露天堆砌四种处理方式处理量及对应温室气体排放因子进行计算。其中各处理方式处理量数据来源于《中国城市建设统计年鉴》，温室气体排放因子结合《IPCC 指南》和实地调研获取。

生活垃圾处理设施碳排放根据卫生填埋、焚烧、堆肥三种处理方式处理量、处理设施能耗强度及电力排放因子进行计算。其中处理设施能耗强度结合文献收集和实地调研获取，电力排放因子取区域电网排放因子。

生活垃圾焚烧发电碳抵消量根据生活垃圾焚烧量、焚烧热值和发电效率进行计算，堆肥产肥碳抵消量根据堆肥处理量、化肥替代比例及化肥生产排放因子获得。其中焚烧热值、发电效率、化肥替代比例主要根据文献收集得到。

2.3 城市生活垃圾处理碳排放测算公式

城市生活垃圾处理主要分为卫生填埋、焚烧、堆肥和露天堆砌四种处理方式结合《IPCC 指南》和《省级温室气体清单编制指南》，主要测算公式如下：

(1) 卫生填埋

$$E_{LF-CH_4} = \sum_i MSW_{LF} \times MCF \times DOC_i \times DOC_j \times F \times \frac{16}{12} \times (1 - R_1) \times (1 - OX_1)$$

其中， E_{LF-CH_4} 是卫生填埋的甲烷排放量， i 是城市生活垃圾的类型， MSW_{LF} 是填埋处理的 i 类垃圾的量， $MCF \times DOC_i \times DOC_j \times F \times \frac{16}{12} \times (1 - R_1) \times (1 - OX_1)$ 代表 i 类城市生活垃圾的甲烷排放因子。其中 MCF 是甲烷修正因子， DOC_i 是 i 类垃圾中可降解有机碳的比例， DOC_j 是被分解的可降解有机碳的比例， F 是甲烷在产生的垃圾填埋气体中的比例， R_1 代表甲烷回收率， OX_1 代表氧化因子。

(2) 焚烧

$$E_{Inc-CO_2} = \sum_i MSW_{Inc} \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF \times \frac{44}{12}$$

$$E_{Inc-Fuel} = MSW_{Inc} \times \delta \times EF_{fuel}$$

其中， E_{Inc-CO_2} 和 $E_{Inc-Fuel}$ 分别是焚烧产生的 CO_2 排放量和辅助燃料燃烧产生的 CO_2 当量。 MSW_{Inc} 是 i 类城市生活垃圾的焚烧处理量， $dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF \times \frac{44}{12}$ 代表焚烧处理的 CO_2 排放因子。其中 dm_i 是 i 类垃圾中的干物质含量， CF_i 是 i 类垃圾中的碳含量比例， FCF_i 是化石碳比例， OF 是氧化因子。 δ 是单位垃圾焚烧量所需辅助燃料（一般为柴油）， EF_{fuel} 是辅助燃料的排放因子。

(3) 堆肥

$$E_{CP} = \sum_i MSW_{CP} \times EF_i$$

其中， E_{CP} 是堆肥处理产生的温室气体排放量， MSW_{CP} 是堆肥中 i 类垃圾的量， EF_i 是温室气体 i 的排放因子。

(4) 露天堆砌

$$E_{Sta-CH_4} = \sum_i MSW_{Sta} \times MCF \times DOC_i \times DOC_j \times F \times \frac{16}{12} \times (1 - OX_2)$$

其中， E_{Sta-CH_4} 是露天堆砌处理的甲烷排放量， MSW_{Sta} 是露天堆砌处理的 i 类垃圾的量， $MCF \times DOC_i \times DOC_j \times F \times \frac{16}{12} \times (1 - OX_2)$ 代表 i 类城市生活垃圾的甲烷排放因子。其中 MCF 是甲烷修正因子， DOC_i 是 i 类垃圾中可降解有机碳的比例， DOC_j 是被分解的可降解有机碳的比例，F 是甲烷在产生的垃圾填埋气体中的比例， OX_2 代表氧化因子。

城市生活垃圾处理中的减排方式主要包括焚烧发电和堆肥产肥两种方式，碳抵消量的主要测算公式如下：

(1) 焚烧发电

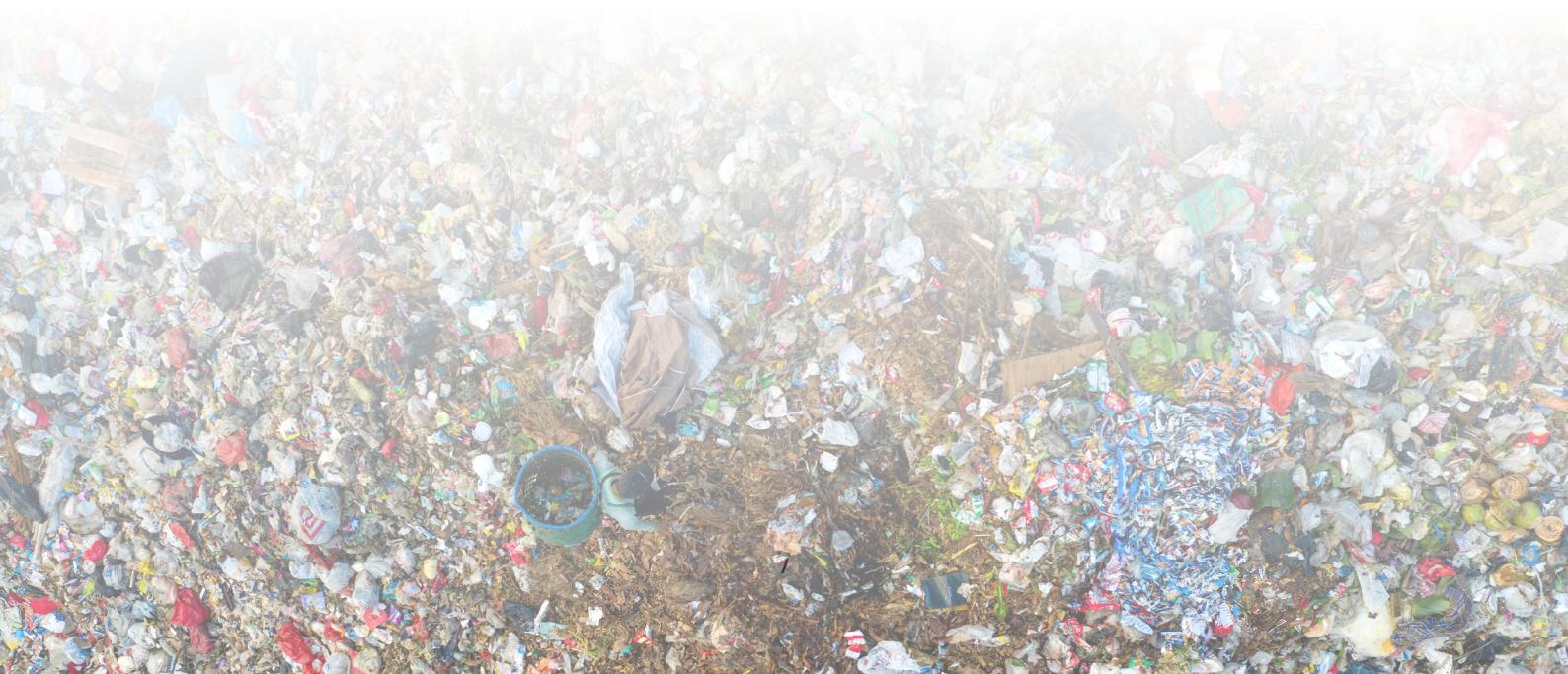
$$E_{Ele-Inc} = MSW_{Inc} \times \frac{LHV}{3600 kJ/kWh} \times R_2 \times EF_1$$

其中， $E_{Ele-Inc}$ 是焚烧发电产生的碳抵消量，LHV 是低热值； R_2 是发电回收率； EF_1 分别电力排放因子。

(2) 堆肥产肥

$$E_{Fer} = MSW_{cp} \times \beta \times EF_2$$

其中， E_{Fer} 是堆肥产肥原料替代的碳抵消量， β 是单位处理化肥生产量， EF_2 是化肥生产排放因子。



3 全国城市生活垃圾处理 碳排放数据分析



3.1 全国城市生活垃圾处理全过程碳排放现状

(1) 2020 年全国城市生活垃圾处理全过程碳排放现状

2020 年全国城市生活垃圾处理全过程碳排放总量为 9404.5 万 tCO₂-eq，碳抵消量为 4703.5 万 tCO₂-eq，净排放量为 4701.0 万 tCO₂-eq，其中：

- 直接排放为 7953.0 万 tCO₂-eq (CO₂ 排放 4651.3 万 t, CH₄ 排放 3205.8 万 tCO₂-eq, N₂O 排放为 95.9 万 tCO₂-eq)，间接排放为 1451.4 万 t。
- 按照处理过程、设备能耗和运输划分，三部分各占比为 84.6%、13.7% 和 1.7%；处理过程中卫生填埋、焚烧、堆肥、露天堆砌四部分各占比为 38.7%、58.5%、2.6% 和 0.2%。

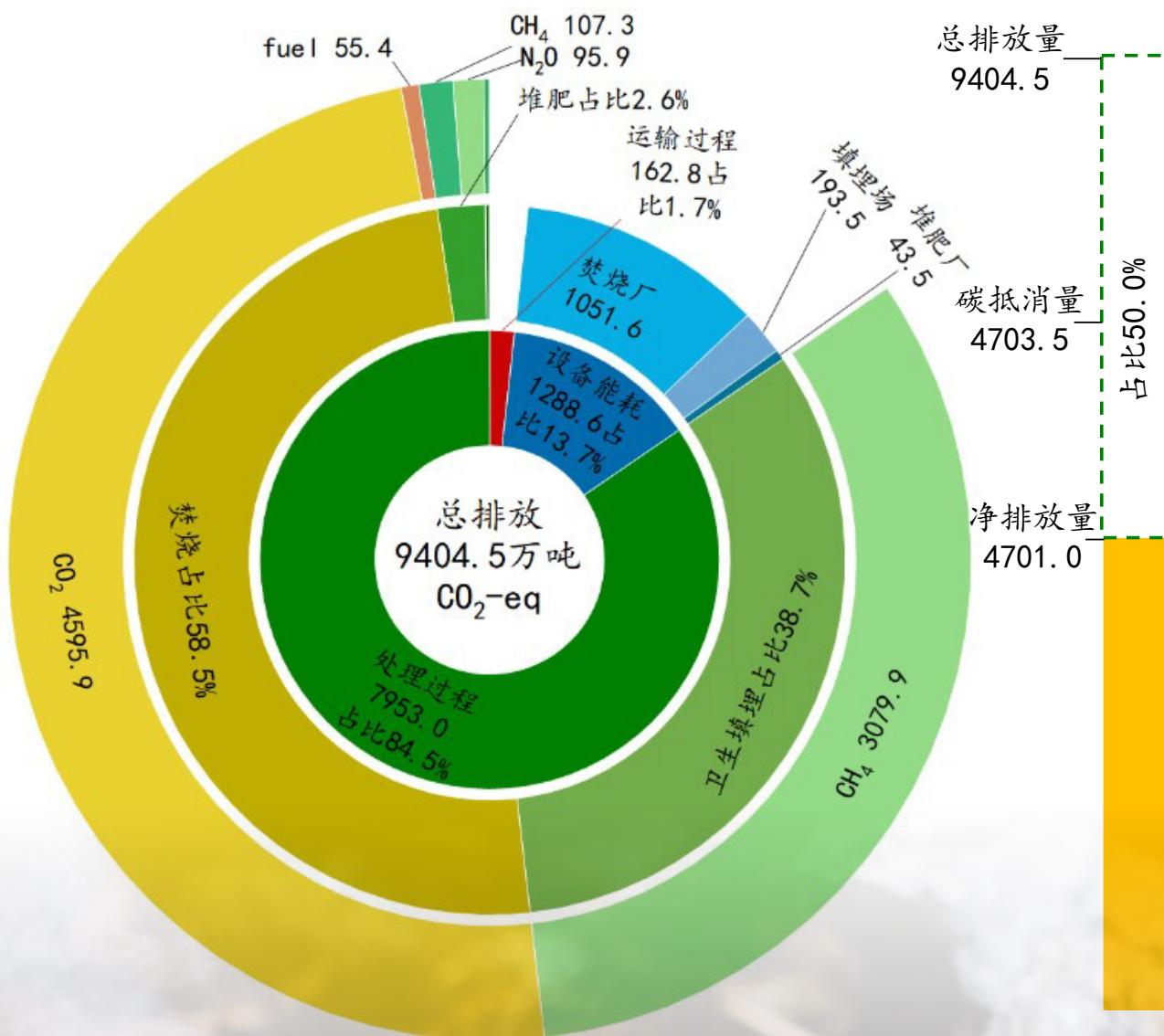


图 3.1 2020 年全国城市生活垃圾处理全过程碳排放 (单位: 万 tCO₂-eq)

(2) 2020 年全国城市生活垃圾处理排放强度

2020 年全国城市生活垃圾处理总排放强度为 **0.40tCO₂-eq/t**，净排放强度为 **0.20tCO₂-eq/t**。

各处理方式占比及排放强度如表 3.1 所示。其中，各处理方式处理量：焚烧 > 卫生填埋 > 堆肥 > 露天堆砌；总排放强度：卫生填埋 > 焚烧 > 露天堆砌 > 堆肥；净排放强度：卫生填埋 > 露天堆砌 > 焚烧 > 堆肥。焚烧和堆肥处理的净排放强度都较低，其原因在于焚烧发电和堆肥产肥产生的碳抵消量较大程度上冲抵了其产生的碳排放量。

表 3.1 电力排放因子计算结果差异表

处理方式	处理量占比 (%)	净排放强度 (t CO ₂ -eq/t)	总排放强度 (t CO ₂ -eq/t)
卫生填埋	33.1	0.43	0.43
焚烧	62.1	0.09	0.40
堆肥	4.6	0.04	0.24
露天堆砌	0.3	0.31	0.31

3.2 省级建筑碳排放驱动因素差异分析

(1) 全国城市生活垃圾处理变化趋势

全国城市生活垃圾清运量逐年增多，而在 2020 年有所下降，主要是由于新冠疫情导致消费减弱的影响。

全国城市生活垃圾无害化处理率在 2002-2006 年呈波动变化状态，在 2006 年以后逐年上升，但上升速度逐渐变缓，在 2020 年接近 100%。

各种处理方式中，无害化处理方式占比逐年增加，其中焚烧处理增加最为明显，填埋处理占比呈先上升后下降趋势。

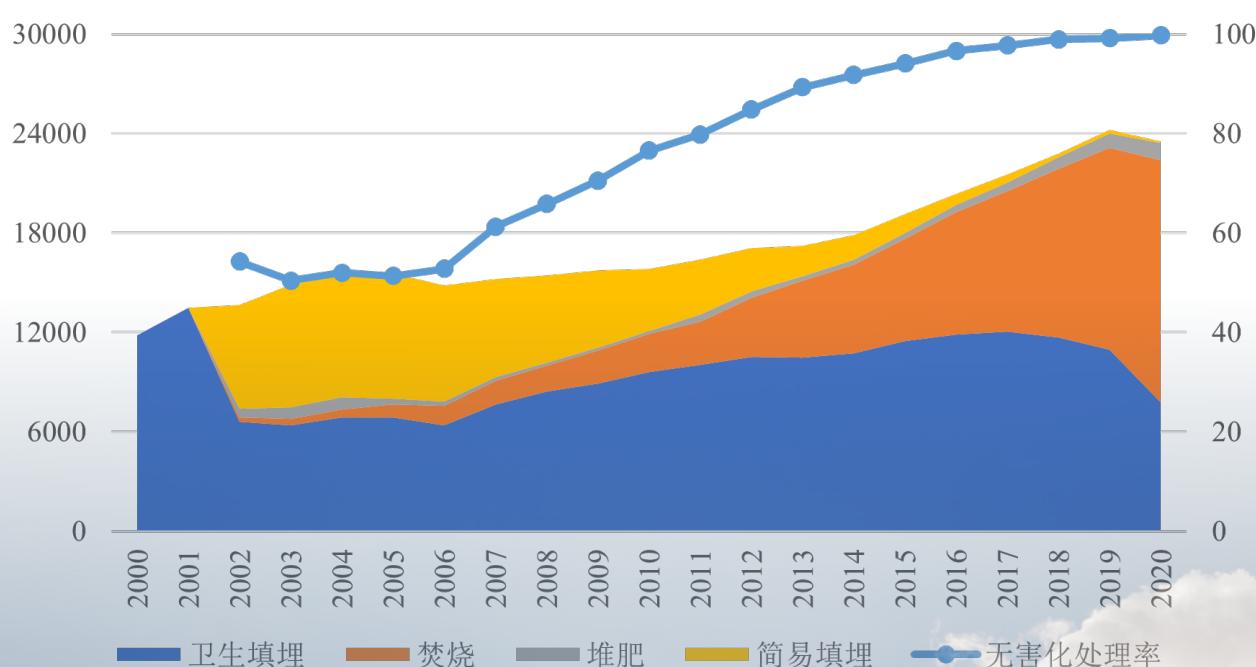


图 3.2 中国城市生活垃圾清运和处理量变化 (单位: 万 t)



(2) 全国城市生活垃圾处理碳排放变化趋势

全国城市生活垃圾处理碳排放总体上呈现逐年增加趋势，2002 出现下降主要是由于处理结构优化，焚烧处理的推广引起的下降，2020 年出现下降主要是由于受到新冠疫情的影响。

2002 年后，总排放强度呈现先上升后下降趋势，在 2013 年达最高为 $0.413 \text{ t CO}_2\text{-eq/t}$ ，主要是由于受到填埋和焚烧处理相对比例的影响，净排放强度呈平稳后下降趋势，主要是由于焚烧发电碳抵消量的贡献。

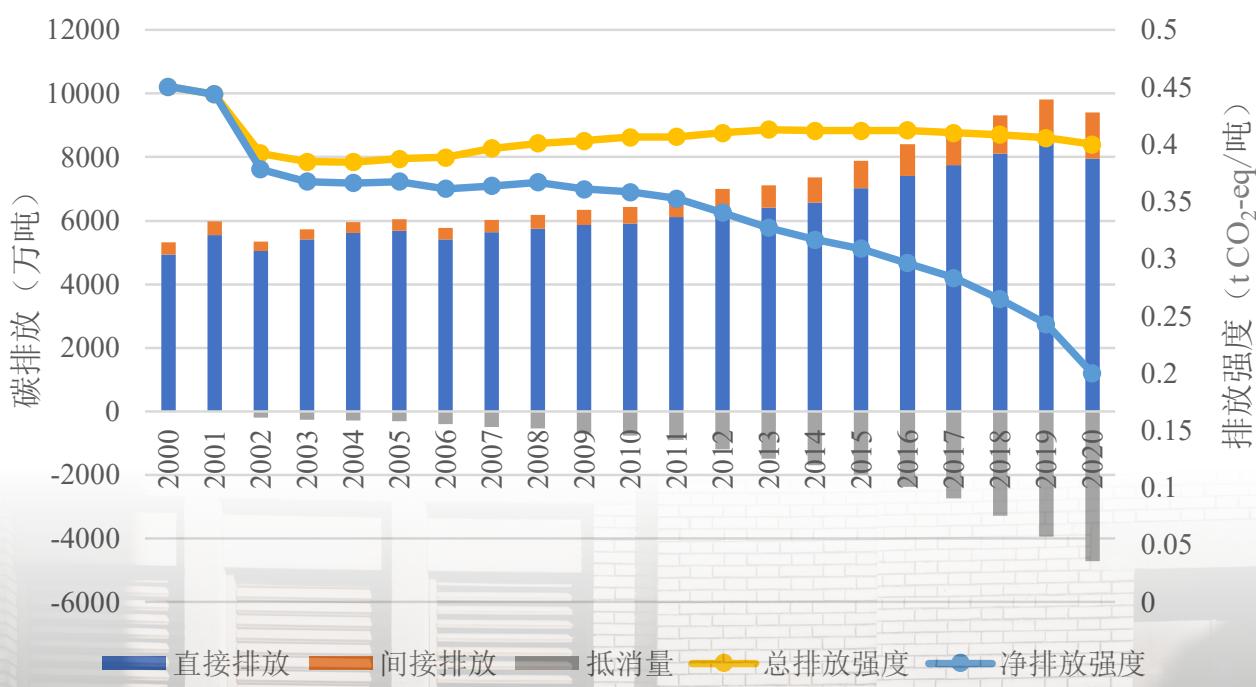


图 3.3 全国城市生活垃圾处理碳排放及强度变化趋势



(3) 全国城市生活垃圾处理碳排放强度变化趋势

全国城市生活垃圾单位 GDP 碳排放呈现逐年下降，与单位 GDP 垃圾清运量变化趋势基本一致；人均碳排放总体上呈先下降后上升，与人均垃圾清运量变化趋势基本一致。

人均碳排放在 2011 年前呈现下降趋势，主要是由于人口增速大于垃圾清运量增速；由于疫情影响，2020 年也出现下降。

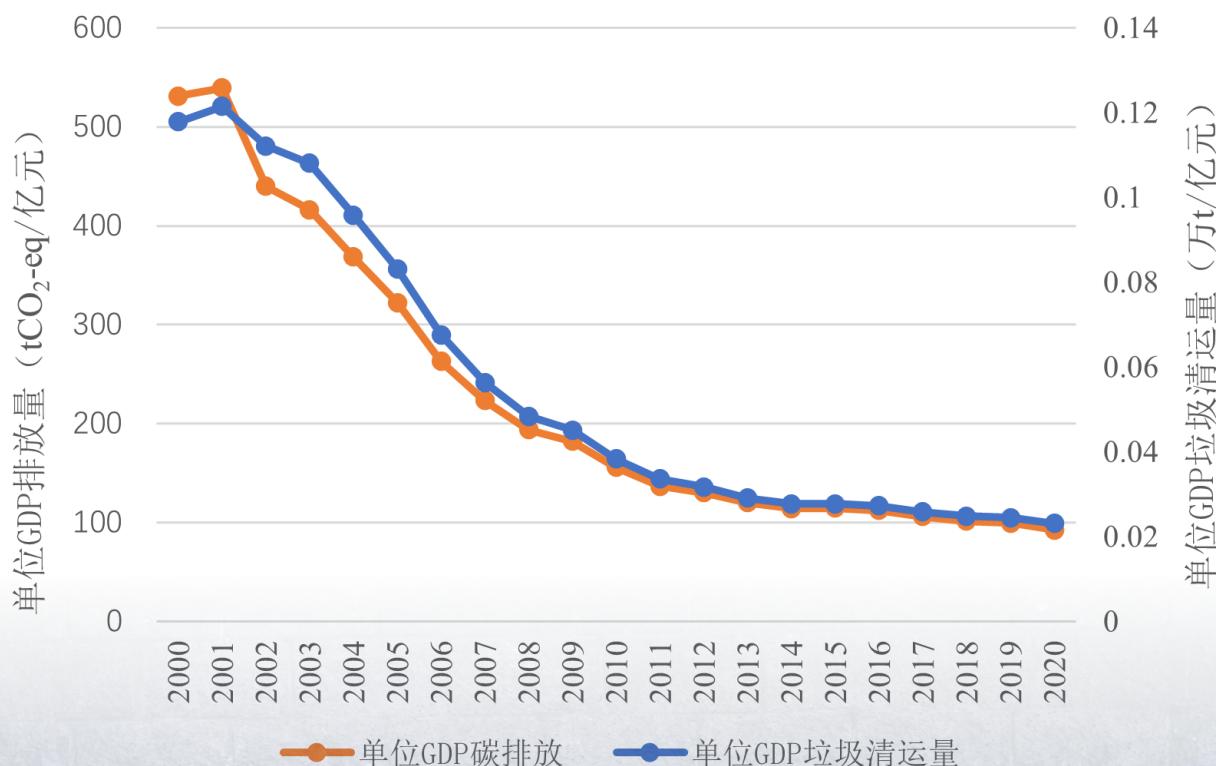


图 3.4 全国城市生活垃圾处理单位 GDP 清运量及排放强度变化趋势



2022 中国城市生活垃圾处理碳排放研究报告

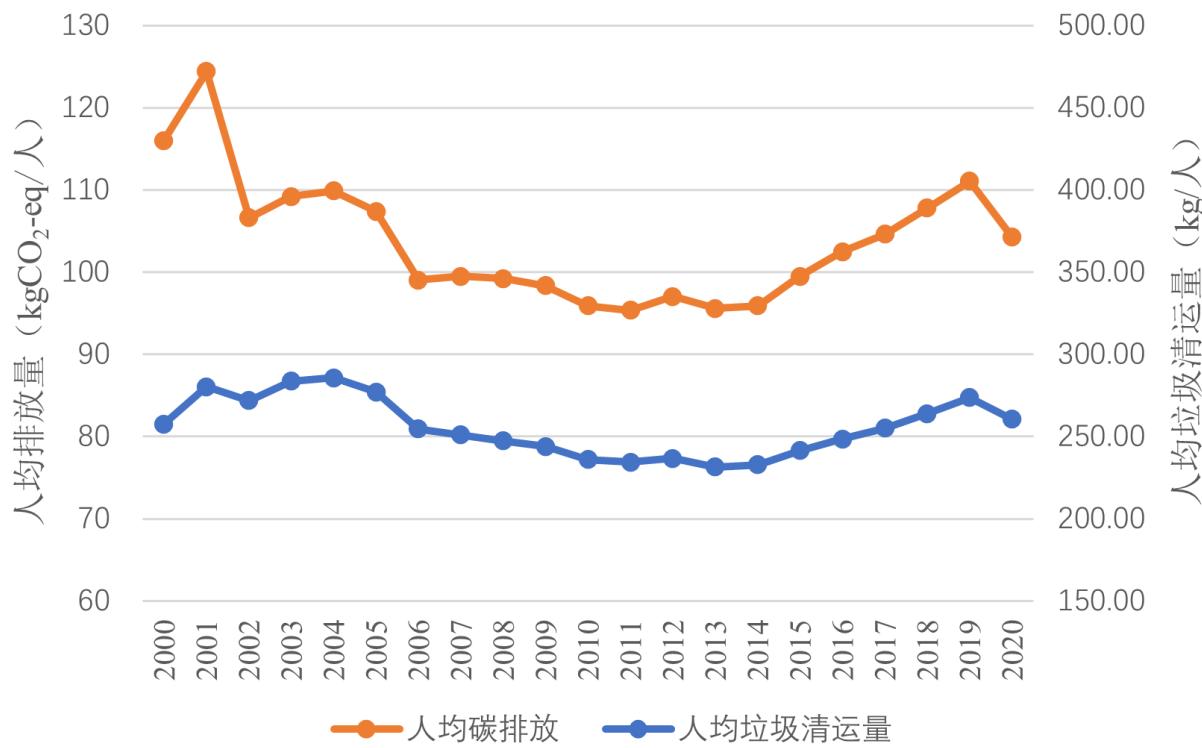


图 3.5 全国城市生活垃圾人均清运量及排放强度变化趋势



3.3 省级建筑碳排放驱动因素差异分析

LMDI 分解结果表明，2000–2020 年，在四个阶段中，人均 GDP 增长和城镇化水平的提升是全国城市生活垃圾处理碳排放增长的主要促增因素，分别造成了 6816.7 万 tCO₂-eq 和 3602.5 万 tCO₂-eq 增加。同时人口规模增长驱动全国城镇生活垃圾总量逐年增加，驱动生活垃圾处理需求快速增长，导致 694.1 万 tCO₂-eq 增加。

由于全国推动“无废城市”发展，积极推动生活垃圾分类，逐步形成垃圾循环利用体系，提高了垃圾资源化利用率，使生活垃圾处理强度有了明显的下降，在 2000–2020 年的四个阶段中，单位 GDP 生活垃圾处理强度都导致了总排放量的减少，综合来看带来了 6317.0 万 tCO₂-eq 下降，其中 2005–2010 年影响最为显著，下降了 3246.5 万 tCO₂-eq。生活垃圾处理强度仅在 2000–2005 年和 2015–2020 年起到减排，生活垃圾处理方式由填埋为主逐渐转变为焚烧为主，综合来看 20 年间生活垃圾处理强度导致总排放量降低了 716.9 万 tCO₂-eq。

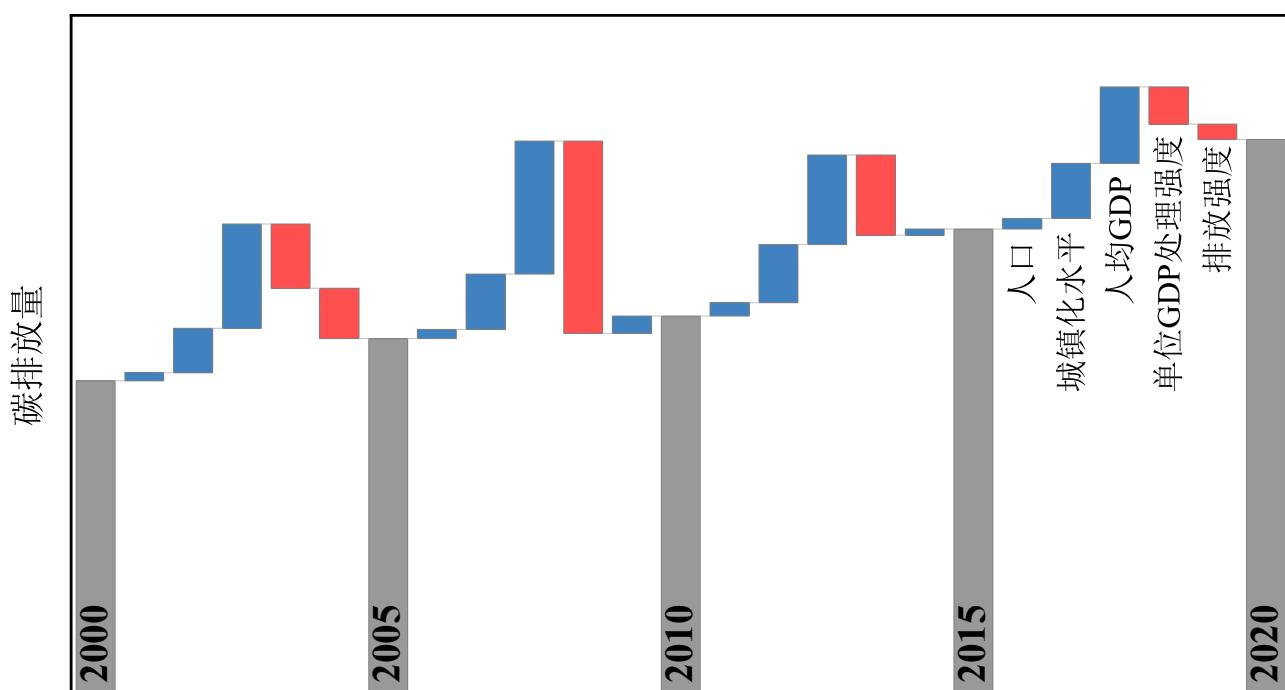


图 3.6 全国城市生活垃圾处理碳排放驱动因素分解

4 分省城市生活垃圾处理 碳排放数据分析



4.1 分省城市生活垃圾处理及全过程碳排放现状

(1) 2020 年分省城市生活垃圾清运及处理现状

分省城市生活垃圾清运量呈现由沿海向内陆递减趋势，垃圾处理结构具有较大的地区差异：

清运量排名前五的省份依次为广东、江苏、山东、浙江、四川，均超过 1000 万吨，约占全国清运总量的 **39.3%**，这与这些地区的人口或经济规模较大有关。

华北、华东和华南大部分发达地区垃圾处理以焚烧为主，而西南、西北、东北和华中大部分地区仍以卫生填埋为主。





图 4.1 2020 年分省城市生活垃圾清运及处理量 (单位: 万 t)



(2) 2020 年分省城市生活垃圾处理全过程碳排放现状

分省城市生活垃圾处理全过程碳排放差异明显，主要是由于城市生活垃圾产生量及处理方式造成：

净排放排名前五的省份依次为广东、河南、湖北、辽宁、湖南，约占全国生活垃圾温室气体净排放总量的 **42.1%**，排名后三的省份依次为西藏、山东和宁夏，其净排放量不足 30 万 tCO₂-eq。

碳抵消量贡献前三的省份依次广东、山东、江苏，均超过 500 万 tCO₂-eq，这主要与这些地区垃圾产生量大，并较多采用焚烧和堆肥的处理方式有关。

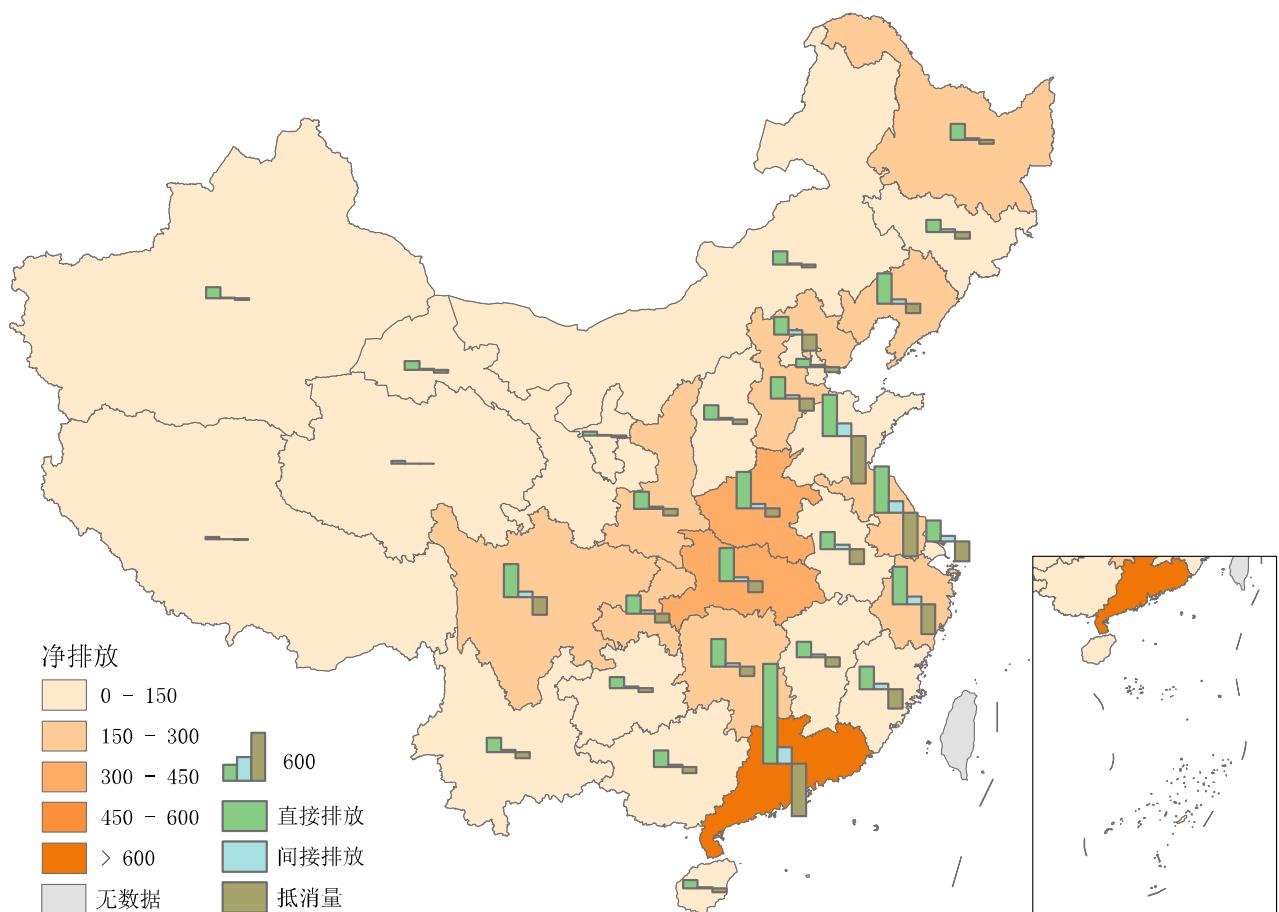


图 4.2 2020 年分省城市生活垃圾处理全过程碳排放（单位：万 tCO₂-eq）

(3) 2020 年分省城市生活垃圾处理全过程碳排放强度

单位 GDP 排放强度最高的三个省份依次是海南、辽宁和黑龙江，这主要是由于这些省份的单位 GDP 的垃圾产生量显著高于其他省份；最低的三个省份依次是安徽、江苏和福建，这主要得益于这些省份处理结构中较高的焚烧占比。

人均排放强度排名前三的的省份依次是西藏、海南、广东，这主要是由于这些省份的人均垃圾产生量较高；最低的三个省份依次是安徽、河北、贵州，这主要是由于这些省份的人均垃圾产生量显著低于其他省份。

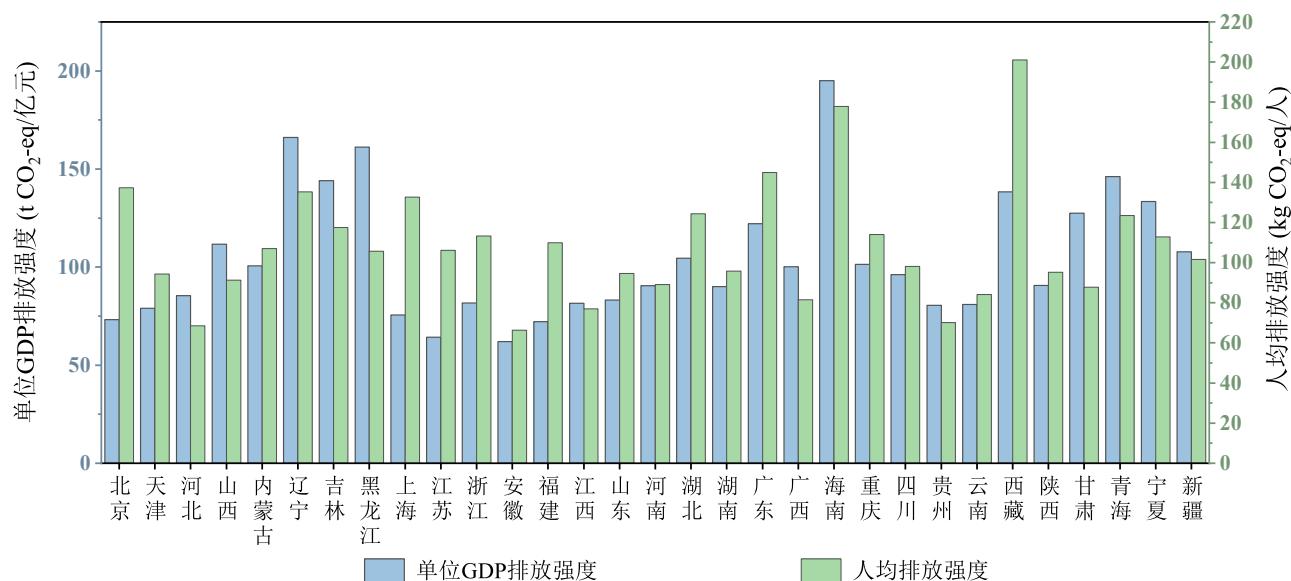


图 4.3 2020 年分省城市生活垃圾处理全过程碳排放强度比较



4.2 分省城市生活垃圾处理全过程碳排放变化趋势

各省市城市生活垃圾处理全过程碳排放变化趋势如图 4.4 所示。由于消费水平、生活习惯等因素影响，不同省市总排放和净排放变化趋势都存在较大差异，其中大部分省市总排放仍呈现上升趋势，吉林、黑龙江等部分省市出现下降。另外，受到新冠疫情影，大部分省市在 2020 年都有不同程度的下降。

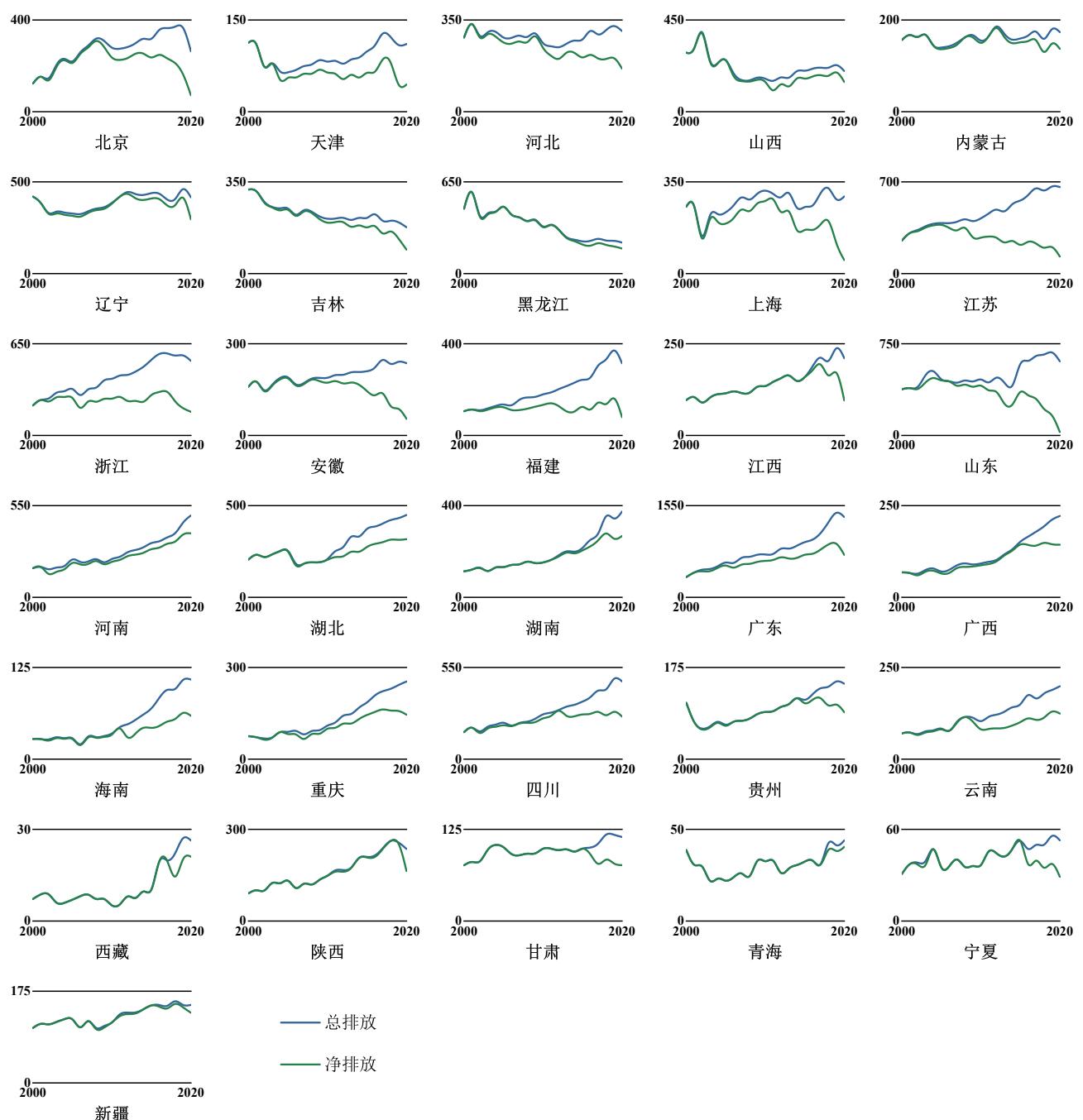


图 4.4 分省城市生活垃圾处理全过程碳排放变化趋势

4.3 分省城市生活垃圾处理碳排放与社会经济因素的相关性

城市生活垃圾处理全过程碳排放与地区GDP、城镇人口、无害化处理能力三个因素都具有较强的正相关关系，城镇生活垃圾处理人均碳排放与城镇居民人均消费支出也具有一定的正相关性。

相比之下，与无害化处理能力的相关性最强，相关性系数高达0.93。

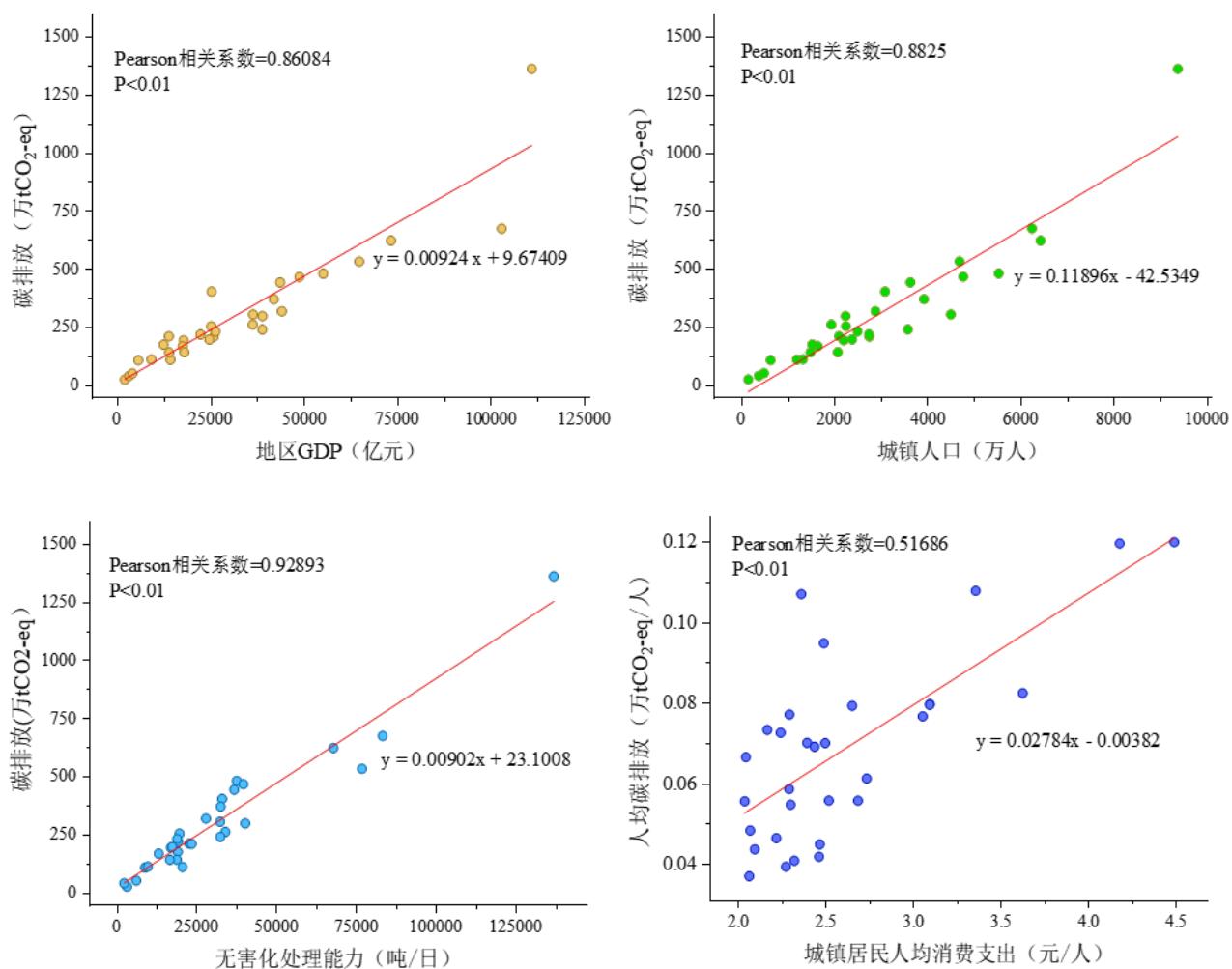


图 4.5 分省城市生活垃圾处理碳排放与社会经济因素的相关性

5 新冠疫情对 2020 年城市生活垃圾处理全过程碳排放影响分析

5.1 新冠疫情对 2020 年全国城市生活垃圾处理全过程碳排放影响

全国城市生活垃圾处理全过程碳排放总体上呈增长趋势，增长率基本维持在 2%-6% 左右。在 2020 年，由于 **新冠疫情** 影响，出现大幅度下降，下降比例高达 **4.22%**。

按照历史增长趋势推算，**未发生新冠疫情情况下**，全国城市生活垃圾处理全过程碳排放在 2020 年预计达到 **10382.5 万 tCO₂-eq**，较往年增长率为 **5.74%**。

与 2020 年实际碳排放数据相比，差值为 **978.0 万 tCO₂-eq**，占 2020 年实际碳排放的比例为 **10.4%**。



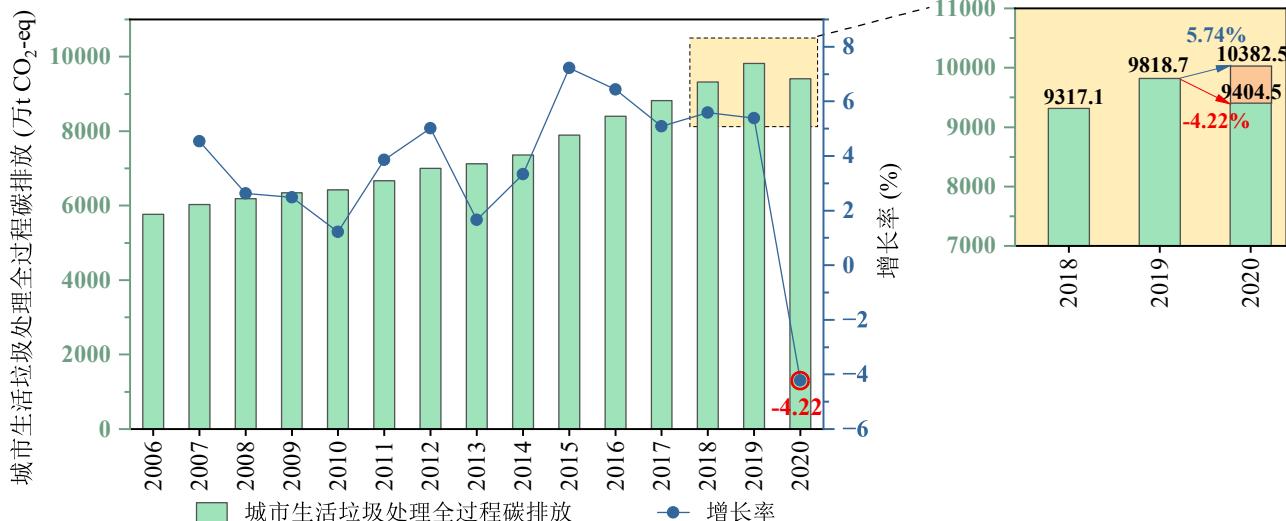


图 5.1 新冠疫情对全国城市生活垃圾处理全过程碳排放影响

5.2 新冠疫情对 2020 年分省城市生活垃圾处理全过程碳排放影响

按照历史增长趋势推算，全国大部分地区城市生活垃圾处理全过程碳排放在 2020 年较未发生新冠疫情下预测值都有不同程度下降，仅云南、重庆和湖北出现增长，但增长幅度都很小。

按照实际值与预测值的差值比较，广东、北京、福建、山东、辽宁是 2020 年新冠疫情影
响最大的五个地区；按照差值占实际值的比例进行比较，北京、福建、江西、辽宁、广东是影响程度最大的五个地区。



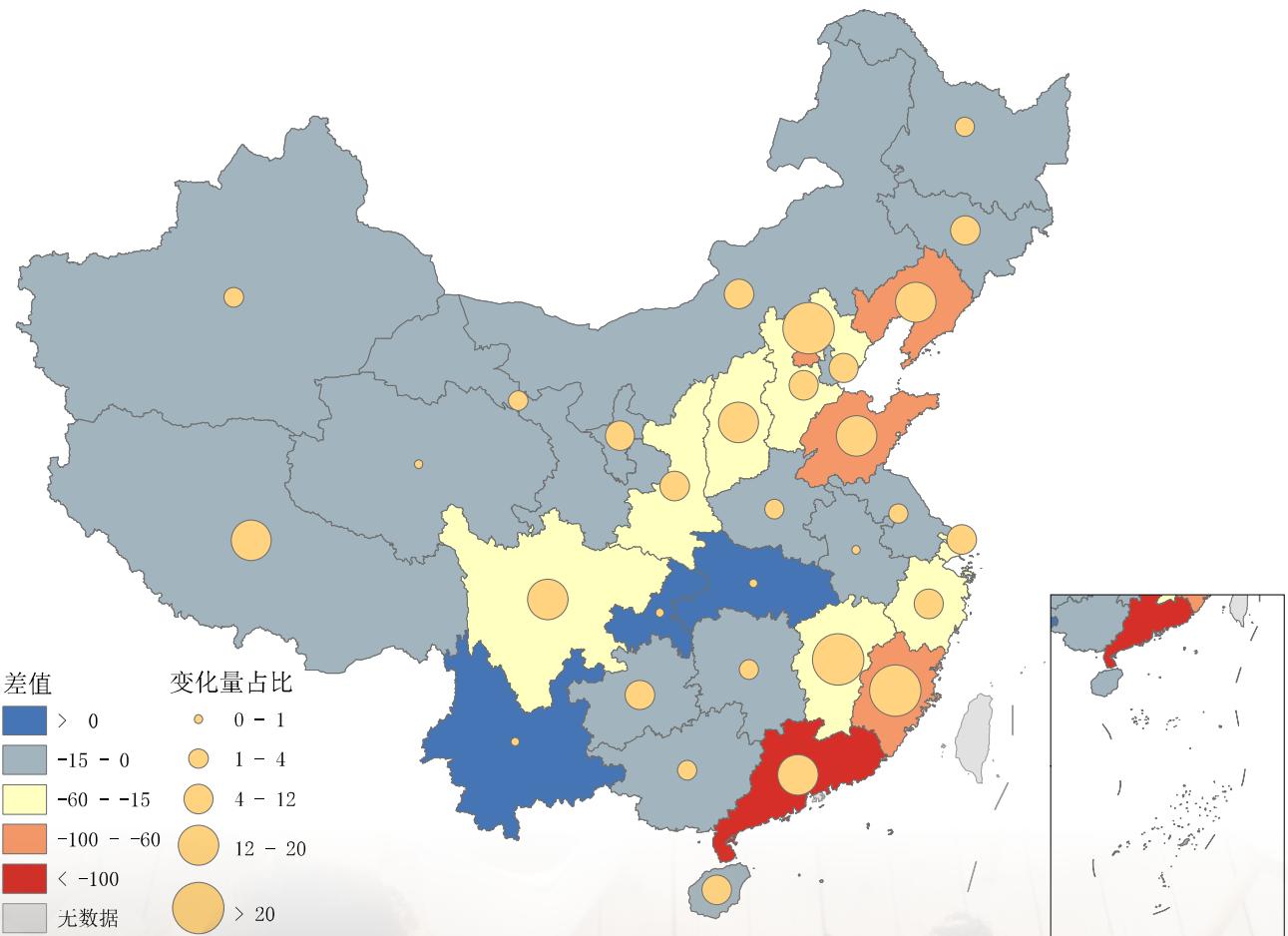


图 5.2 新冠疫情对分省城市生活垃圾处理全过程碳排放影响 (单位: 万 tCO₂-eq)



6 结语



为推动城乡建设领域碳达峰碳中和行动，面对城市市政基础设施碳排放数据缺失问题，本报告立足于中国城市生活垃圾处理行业，依据《IPCC 指南》和《省级温室气体清单编制指南》的温室气体排放核算方法学，对中国城市生活垃圾处理全过程碳排放进行全国及省级层面的多尺度核算，涵盖垃圾运输、垃圾处理等主要排放环节，排放范围包括处理过程产生的甲烷、氧化亚氮和二氧化碳（化石碳产生）的直接排放以及运输和设备能耗带来的间接排放，还考虑了垃圾焚烧发电、堆肥产肥所带来的碳抵消量。

2020 年全国城市生活垃圾处理全过程碳排放总量为 9404.5 万 tCO₂-eq，净排放量为 4701.0 万 tCO₂-eq。由于处理结构持续优化，2002 年后，全国城市生活垃圾处理总排放强度呈先上升后下降趋势，净排放强度呈平稳后下降趋势。驱动因素分析的结果表明，单位 GDP 处理强度和排放强度是城市生活垃圾处理全过程碳排放主要的促降因素，人均 GDP 和城镇化水平是主要的促增因素。由于消费水平、生活习惯等因素影响，不同省市总排放和净排放变化趋势都存在较大差异，其中大部分省市总排放仍呈现上升趋势，吉林、黑龙江等部分省市出现下降。另外，受到新冠疫情影响，大部分省市在 2020 年都有不同程度的下降。

城市生活垃圾处理行业要实现低碳化发展，在核算能力上，仍需加快建立健全碳排放计量体系，提高统计核算水平。在具体措施上，要加强源头管理，促进生活垃圾减量；继续推进垃圾分类，补齐各环节设施短板；优化生活垃圾处理结构，提高末端处理能力；因地制宜制定减排政策，优先治理高碳排放地区。

参考文献

IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. 2006.

Cai B, Lou Z, Wang J, et al. CH₄ mitigation potentials from China landfills and related environmental co-benefits[J]. Science Advances, 2018, 4(7).

Zhang C, Dong H, Geng Y, et al. Carbon neutrality prediction of municipal solid waste treatment sector under the shared socioeconomic pathways[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2022, 186: 106528.

Chen S, Huang J, Xiao T, et al. Carbon emissions under different domestic waste treatment modes induced by garbage classification: Case study in pilot communities in Shanghai, China[J]. Science of The Total Environment, 2020, 717: 137193.

Du M, Peng C, Wang X, et al. Quantification of methane emissions from municipal solid waste landfills in China during the past decade[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 78: 272–279.

Zhou H, Meng A, Long Y, et al. An overview of characteristics of municipal solid waste fuel in China: Physical, chemical composition and heating value[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, 36: 107–122.

Liu M, Ogunmoroti A, Liu W, et al. Assessment and projection of environmental impacts of food waste treatment in China from life cycle perspectives[J]. Science of The Total Environment, 2022, 807: 150751.

Yu Y, Zhang W. Greenhouse gas emissions from solid waste in Beijing: The rising trend and the mitigation effects by management improvements. Waste Management & Research. 2016;34(4):368-377.

Fei F, Wen Z, De Clercq D. Spatio-temporal estimation of landfill gas energy potential: A case study in China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, 103: 217–226.

国家发展和改革委员会应对气候变化司 . 省级温室气体清单编制指南（试行）[R], 2011

蔡博峰，刘建国，曾宪委，等 . 基于排放源的中国城市垃圾填埋场甲烷排放研究 [J]. 气候变化研究进展 , 2013, 9 (06) :406 – 413.

魏潇潇，王小铭，李蕾，等 . 1979 ~ 2016 年中国城市生活垃圾产生和处理时空特征 [J]. 中国环境科学 , 2018, 38 (10) :3833 – 3843.



中国建筑节能协会能耗统计专委会

CHINA ASSOCIATION OF BUILDING ENERGY EFFICIENCY
COMMITTEE OF BUILDING ENERGY DATA