



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

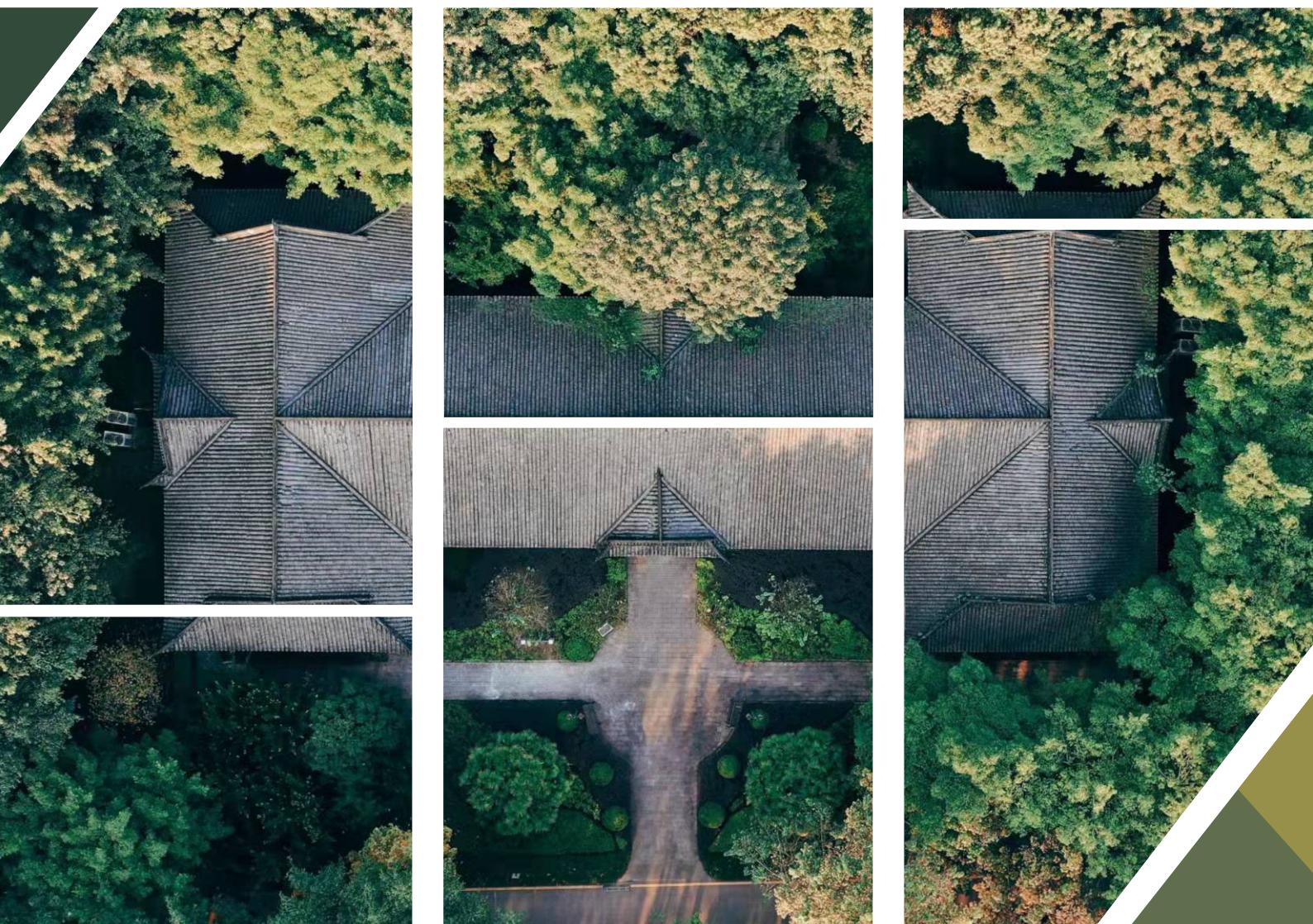


重庆大学
CHONGQING UNIVERSITY

2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告

2022 Research Report of China Building Energy Consumption and Carbon Emissions

国家 · 省级 · 城市



2022 · 12



朗绿科技
LANDLEAF TECH



SRIIS



水发
SHUIFA



天津市建筑
节能推广培
训中心



2022中国建筑能耗 与碳排放研究报告

CHINA BUILDING ENERGY CONSUMPTION AND CARBON EMISSIONS RESEARCH REPORT

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 中国建筑能耗与碳排放研究报告 [R]. 重庆, 2022.

报告作者：

蔡伟光，武涌，倪江波，于艳辉，吴景山，付宇，王博，邵琪，付彦博，胡诗文，刘诗颖，李妍，黎烜，朱双玉，刘赛，王霞，霍腾飞，高景鑫，施庆伟，马敏达

专委会专家组成员：

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及建筑节能与绿色建筑的社团标准、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、朗绿科技、中国水发兴业能源集团、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） 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。研究院将紧密围绕我国城镇化发展过程中的重大战略、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 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。



朗绿科技 成立于 2013 年，是建筑及相关领域全国领先的绿色技术服务公司，致力于绿色科技赋能建筑，实现节能、低碳、健康、智慧等可持续发展目标，推动社会实现碳中和。朗绿科技为各类建筑（园区）提供绿色技术整体解决方案及专项技术解决方案，包括建筑节能、建筑能源与环境科技系统、智慧控制及管理系统、能源与设备运维管理、碳管理、室内污染物防控、综合能源服务及绿建认证咨询等。朗绿科技是朗诗控股唯一从事绿色技术服务的成员企业，提供从技术方案、设计、项目实施交付到长期运维的全过程服务，现有 100 多位技术专家、300 多项专利技术、200 多个项目的实践经验，在技术实力与市场规模上均处于国内领先地位。

报告参研单位：



目
录
CONTEN
CO
T

0 引言	1
1 全国建筑全过程能耗与碳排放数据分析	2
2020 年中国建筑全过程碳排放总量	2
全国全过程碳排放变化趋势	5
建材生产碳排放	6
建筑施工碳排放	8
建筑运行碳排放	9
2 省级建筑运行碳排放核算与分析	13
省级建筑运行碳排放总量	13
分气候区建筑运行碳排放变化趋势	16
各省建筑运行碳排放总量变化趋势	17
新冠疫情对建筑运行碳排放的影响	18
3 中国城市建筑运行碳排放核算与分析	20
城市建筑运行碳排放总量	21
城市人均建筑运行碳排放	23
城市建筑运行碳排放与经济发展关联性分析	24
4 结语	27
附录 1 国家与省级建筑碳排放核算方法	28
附录 2 城市建筑碳排放核算方法	30
参考文献	31

引言



党的二十大报告指出“推动绿色发展是全面建设社会主义现代化国家的内在要求”，再次强调“积极稳妥推进碳达峰碳中和”，要求推进建筑领域清洁低碳转型和完善碳排放统计核算制度。住房和城乡建设部和国家发展改革委联合印发的《城乡建设领域碳达峰实施方案》也对城乡建设领域碳达峰工作做出了一系列部署。

回顾过去一年，国家部委陆续出台政策文件遵循增进民生福祉的本质要求，始终坚持改善人居环境的目标导向，推动城乡建设领域碳达峰碳中和工作走深、走细、追求实效。国家层面双碳战略“1+N”政策体系逐步健全完善，各个省份也基本完成了城乡建设领域碳达峰实施方案编制工作，并将陆续发布。下一阶段，城乡建设领域碳达峰工作将落实到城市层面，各个城市也将编制城乡建设领域碳达峰实施方案。然而，城市层面建筑碳排放数据严重缺乏，制约了相关工作的开展。

因此，为了深入贯彻落实党的二十大精神，融入社会主义现代化生态文明建设战略，按照党的二十大报告精神和国家对住建领域绿色发展转型的总体安排，《2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告》将建筑碳排放测算与分析继续深入至城市层面，促进住建领域碳排放统计核算体系的完善。

本报告的内容主要包括 3 个方面：首先是全国层面建筑全过程碳排放的数据核算分析，其次是省级建筑运行碳排放数据分析，最后是城市级建筑碳排放核算与分析。

1

全国建筑全过程 能耗与碳排放数据分析

| 2020 年中国建筑全过程碳排放总量

2020 年全国建筑全过程能耗总量为 **22.7 亿 tce**，占全国能源消费总量比重为 **45.5%**。其中：

- 建材生产阶段能耗 11.1 亿 tce，占全国能源消费总量的比重为 22.3%；
- 建筑施工阶段能耗 0.9 亿 tce，占全国能源消费总量的比重为 1.9%；
- 建筑运行阶段能耗 10.6 亿 tce，占全国能源消费总量的比重为 21.3%。

2020 年全国建筑全过程碳排放总量为 **50.8 亿 tCO₂**，占全国碳排放的比重为 **50.9%**。其中：

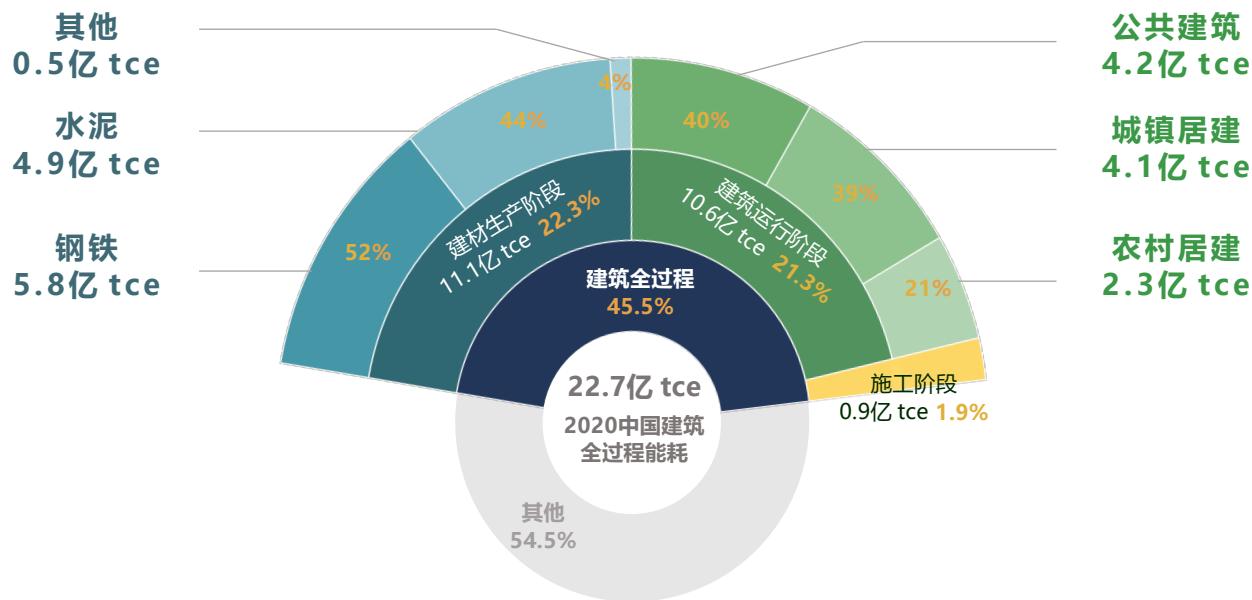
- 建材生产阶段碳排放 28.2 亿 tCO₂，占全国碳排放总量的比重为 28.2%；
- 建筑施工阶段碳排放 1.0 亿 tCO₂，占全国碳排放总量的比重为 1.0%；
- 建筑运行阶段碳排放 21.6 亿 tCO₂，占全国碳排放总量的比重为 21.7%。

注：全国建筑全过程能耗和碳排放包括全国建材生产、建筑施工和建筑运行能耗和碳排放三个阶段，具体范围如下：

1. 建材生产能耗和碳排放，指当年建筑业消耗的建材在其生产全过程（含上游的原材料）能源消耗和碳排放，包括房屋建筑和基础设施工程。
2. 建筑施工能耗和碳排放，指建筑业企业施工生产活动带来的能源消费及其碳排放，与建筑业统计年鉴口径一致，包括房屋建筑工程施工（含新建、改扩建、翻新装修、建筑拆除等施工）和基础设施工程施工。
3. 建筑运行能耗和碳排放，指当年既有建筑在运行过程中的能源消费，包括采暖、空调、照明等维持建筑使用功能的能耗，以及炊事、热水、家用电器、办公设备等室内活动的能耗，在宏观统计上表现为第三产业和居民生活能源消费中扣除交通运输后的能耗与碳排放。

2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告

a. 能耗



b. 碳排放

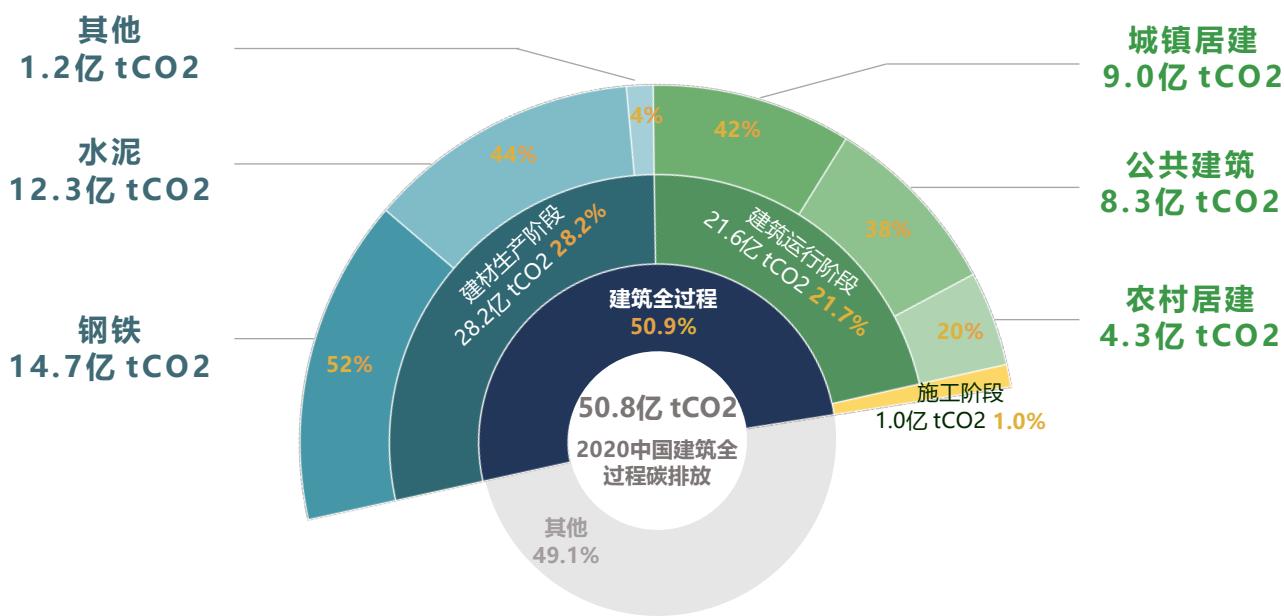


图 1 | 2020 年中国建筑全过程能耗与碳排放总量及占比情况

注：1. 能源消费数据按照发电煤耗测算；

2. 2020 年全国碳排放总量为 99 亿吨，数据引自英国石油公司 (BP) 发布的 2021 年《世界能源统计年鉴》。

3. 建材生产能耗与碳排放口径为当年建筑业消耗的建材在其生产全过程（含上游的原材料）能耗和碳排放，包括房屋建筑和基础设施工程。

4. 建筑施工阶段能耗和碳排放口径为建筑业企业施工生产活动带来的能源消费及其碳排放，与建筑业统计年鉴口径一致，包括房屋建筑工程施工（含新建、改扩建、翻新装修、建筑拆除等施工）和基础设施工程施工。

■ 建筑碳排放核算边界说明

依据国际标准，碳排放分为直接碳排放、间接碳排放和隐含碳排放三个范围。同样，本报告将建筑碳排放核算边界界定为以下3大范围：

①建筑直接碳排放。指建筑运行阶段直接消费的化石能源带来的碳排放，主要产生于建筑炊事、热水和分散采暖等活动。生态环境部发布的《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南》就是按照此口径划分行业碳排放边界。

②建筑间接碳排放。指建筑运行阶段消费的电力和热力两大二次能源带来的碳排放，这是建筑运行碳排放的主要来源。①和②相加即为建筑运行碳排放。

③建筑隐含碳排放。指建筑施工和建材生产带来的碳排放，也被称为建筑建造碳排放或建筑物化碳排放。其中建筑施工碳排放，包括建造阶段施工、使用阶段维护施工和建筑到寿命拆除施工的碳排放。

由于建筑业中包括住宅、公共建筑、厂房仓库等房屋建筑和铁路、道桥、隧道、水利水运等基础设施土木工程建筑，建筑建造碳排放也可据此划分为两个口径：一是建筑业建造碳排放，二是房屋建筑建造碳排放。前者涵盖当年所有工程建设项目所消耗建材而产生的的隐含碳排放，可用投入产出法或实物消耗测算法进行核算；后者是当年竣工的房屋建筑所消耗建材而产生的隐含碳排放，不仅包含当年的建材消耗量，还包括往年的建材消费。

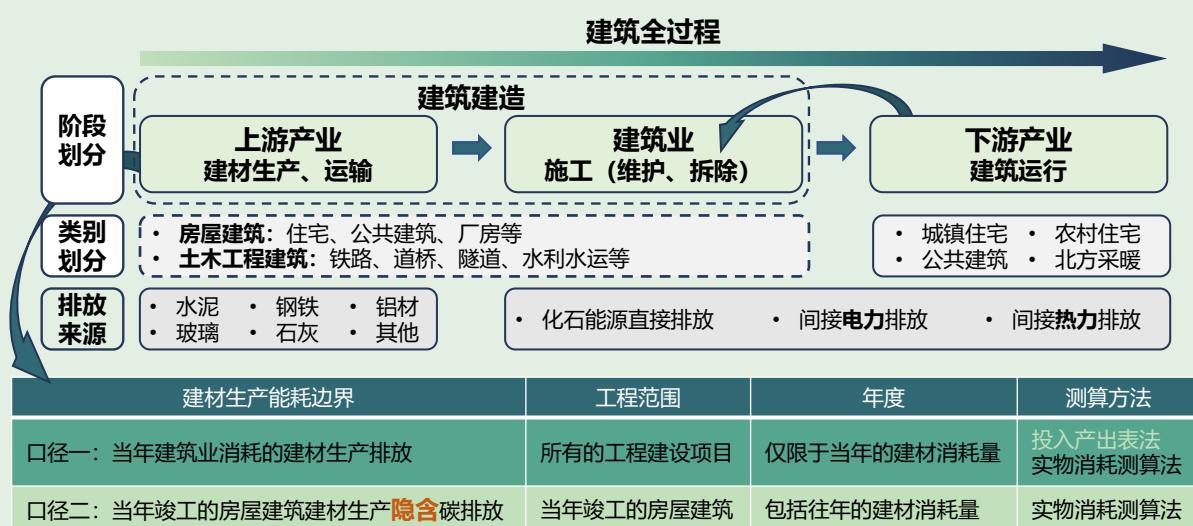
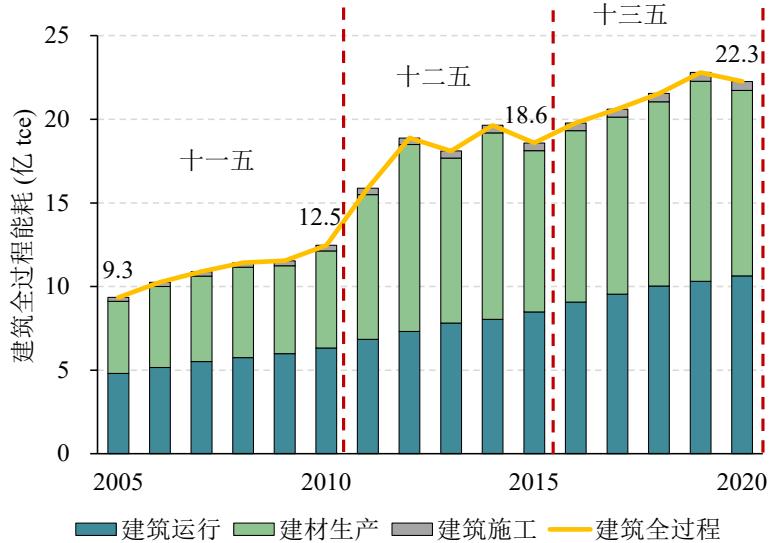


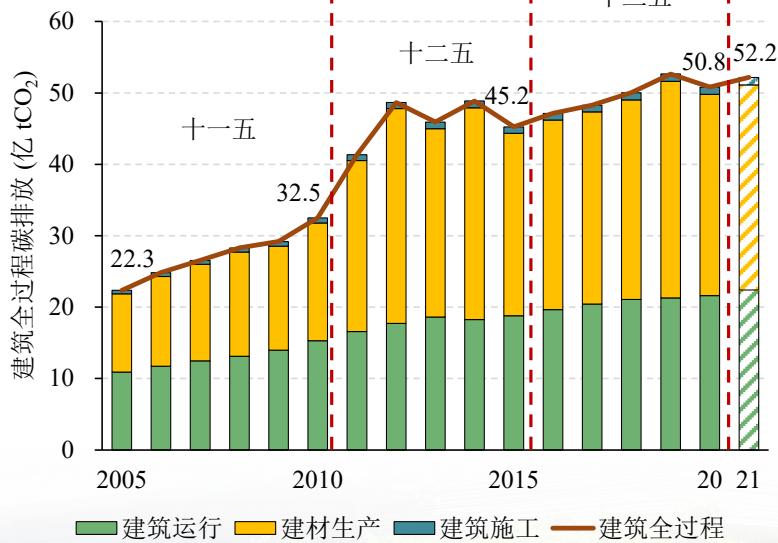
图 2 | 建筑与建造阶段划分及核算口径辨析

全国建筑全过程碳排放变化趋势

a. 能耗



b. 碳排放



2005-2020 年间，全国建筑全过程能耗由 9.3 亿 tce，上升至 22.33 亿 tce，扩大 2.4 倍，年均增速为 6.0%。“十一五”、“十二五”和“十三五”期间的年均增速分别为 5.9%、8.3% 和 3.7%。

2005-2020 年间，全国建筑全过程碳排放由 22.3 亿 tCO₂，上升至 50.8 亿 tCO₂，扩大 2.3 倍，年均增速为 5.6%。分阶段碳排放增速明显放缓，“十一五”、“十二五”和“十三五”期间年均增速分别为 **7.8%**、**6.8%** 和 **2.3%**。2010-2015 年间的碳排放波动是由建材生产碳排放的巨幅变动引起的。

此外，本报告预测了 2021 年的建筑全过程碳排放。预测 2021 年建筑全过程碳排放将达 52.2 亿 tCO₂，同比增长 2.7%，其中建筑运行、建材生产和建筑施工阶段碳排放将分别为 22.4 亿 tCO₂、28.7 亿 tCO₂ 和 1.0 亿 tCO₂。

图 3 | 全国建筑全过程能耗与碳排放变动趋势



建材生产碳排放

建筑材料生产碳排放正步入平台期。

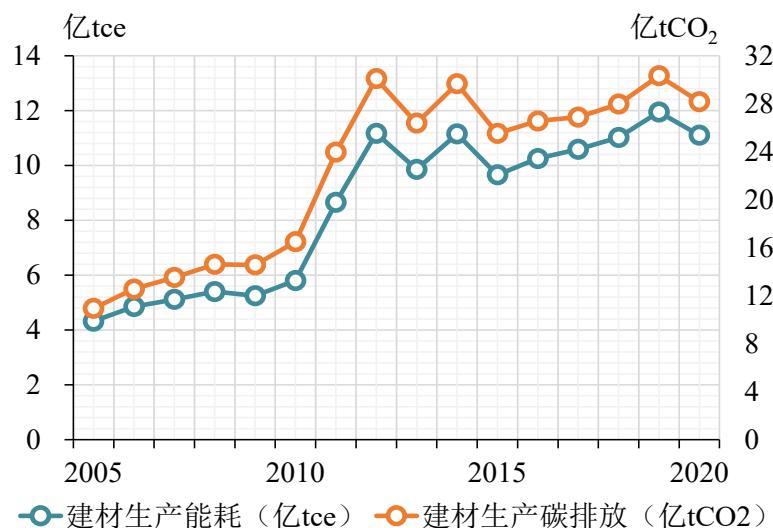
2020 年全国建筑建材生产能耗为 11.10 亿 tce；碳排放为 28.17 亿 tCO₂，同比下降 7.1%。下降的主要原因是当年建材的用量显著下降，钢材与水泥消费量均减少约 1 亿吨。

建材生产碳排放总体上处于上升趋势，从 2005 年 10.9 亿 tCO₂ 上升至 2020 年 28.2 亿 tCO₂，年平均增长幅度为 6.5%，与能耗上涨增幅持平。“十三五”期间建材生产碳排放年均增速为 2.0%，增速明显放缓，正步入平台期。

建材生产能耗与碳排放在“十二五”期间出现较大的波动（基于过程法和投入产出法的测算结果均出现较大波动），这是由于当年建材消耗量统计数据出现较大变动。例如，2010 年全国建筑业钢材消耗量为 4.5 亿吨，2011 年与 2012 年全国建筑业钢材消耗量分别为 6.6、9.2 亿吨，相比 2010 年分别增长了 46%、102%；2010 年全国建筑业铝材消耗量为 1.7 亿吨，2011 年与 2012 年全国建筑业铝材消耗量分别为 3.8、6.4 亿吨，相比 2010 年分别增长了 119% 和 265%；同样，2010 年全国建筑业水泥消耗量为 15.2 亿吨，2011 年与 2012 年全国建筑业水泥消耗量分别为 28.4、37.3 亿吨，相比 2010 年分别增长了 87%、146%。这导致 2011 和 2012 年建材生产能耗和碳排放的年平均增长率超过了 20%。

从建材种类来看，**钢材**和**水泥**的生产碳排放占建筑业建材生产碳排放的 95% 以上，是最主要的影响因素。

a. 建材生产能耗与碳排放变化趋势



b. 建材生产能耗与碳排放变化趋势——分材料类别

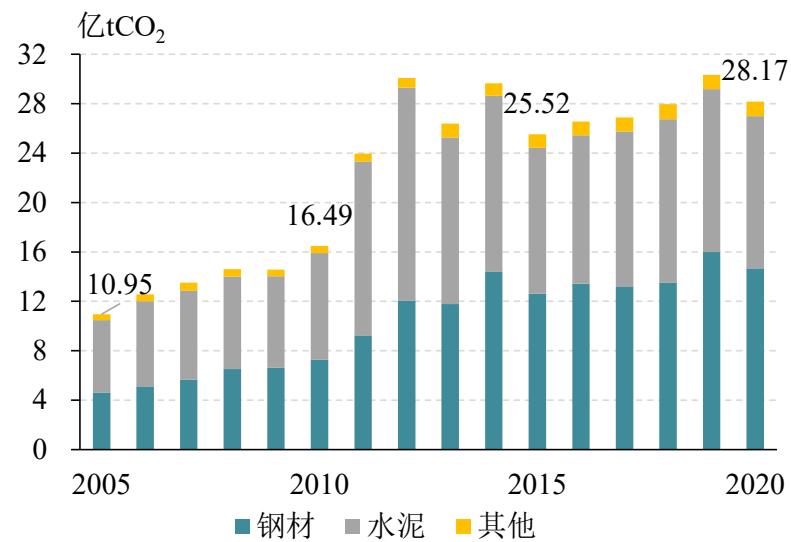


图 4 | 建筑业建材生产能耗与碳排放变化趋势

■ 当年竣工房屋建筑建材隐含碳排放已实现碳达峰

2020 年全国当年竣工房屋建筑建材隐含碳¹排放 15.59tCO₂，同比下降 5.4%。“十一五”、“十二五”和“十三五”期间，其年均增速分别为 10.6%、7.7% 和 -2.8%，2014 年后已呈现出下降趋势。

住宅建筑建材生产碳排放的占比逐年上升，2005 年为 51.0%，2020 年为 62.7%，提高了近 12 个百分点。钢铁、水泥、石灰和砖块是主要的排放来源，其生产排放占总排放的 90% 以上。

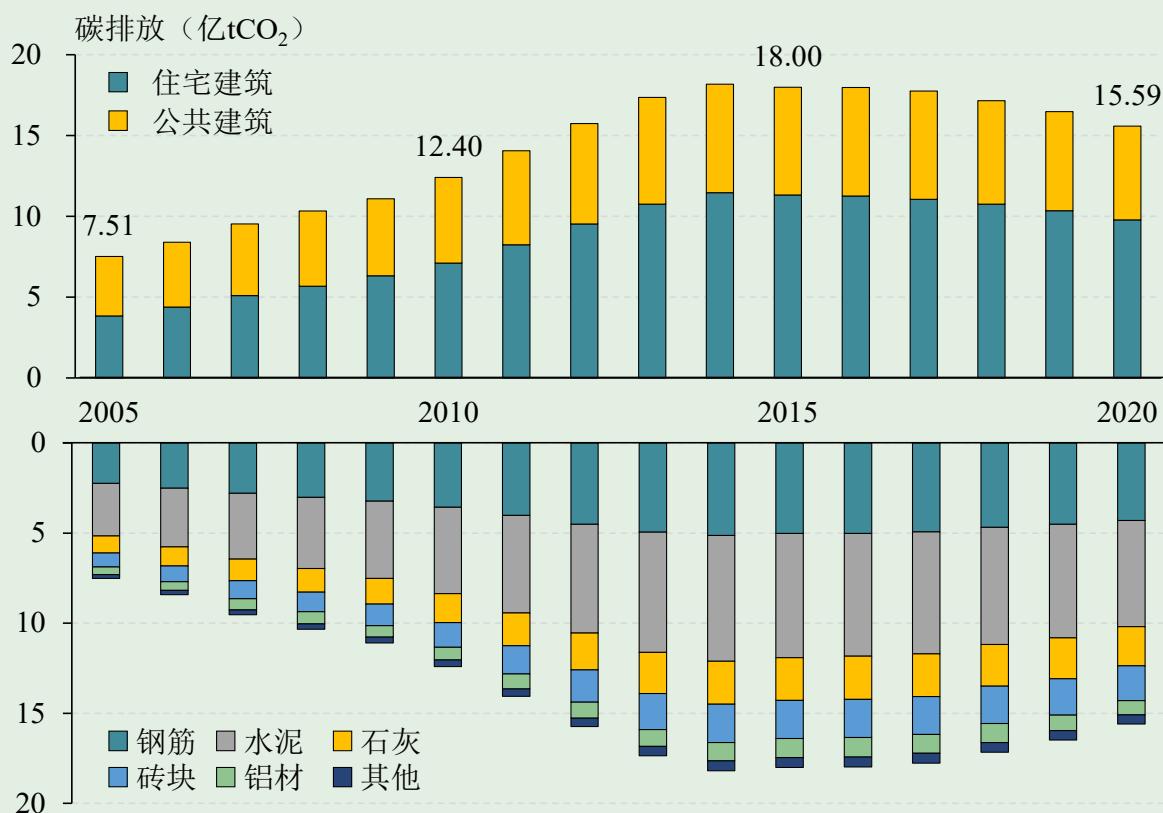


图 5 | 房屋建筑竣工建材隐含碳排放变化趋势

¹ 当年竣工房屋建筑建材隐含碳排放不包含基础设施土木工程建设所产生的排放，其不仅有部分当年的房屋建筑建材，还涉及在当年竣工的往年房屋建筑的建材。

建筑施工碳排放

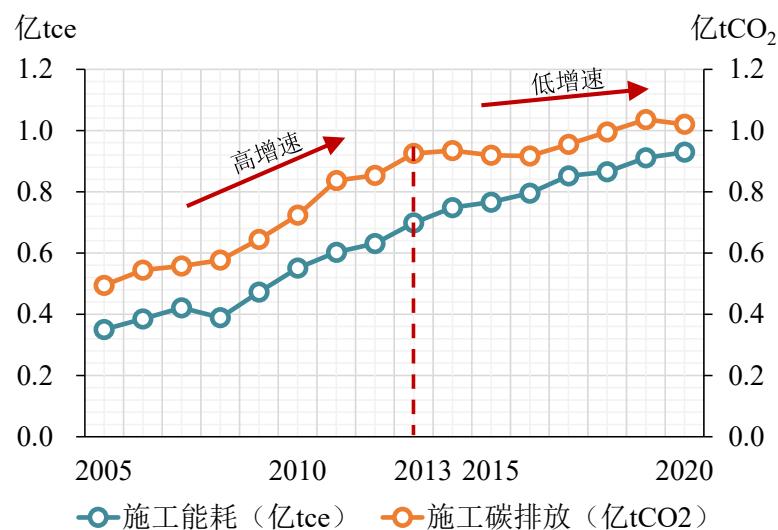
建筑业施工碳排放增速持续放缓，已进入达峰预备期，总量增长空间有限。

2020 年全国建筑业施工碳排放为 1.02 亿 tCO₂，同比下降 1.5%，其范围包括建筑工程施工（含新建建筑施工、既有建筑翻修施工和建筑拆除施工）和基础设施工程施工。“十一五”、“十二五”和“十三五”期间其年均增速分别为 7.9%、4.9% 和 2.1%，呈现下降趋势。2013 年是增速变化的分界点，前年后年均增速变化较大，从 8.1% 下降至 1.4%。

施工面积的大幅增长是建筑业施工碳排放增长的主要驱动因素。

2005-2020 年，我国建筑业施工面积从 35 亿 m² 增长至 149 亿 m²，扩大超过 3 倍，带来超 1 亿 tCO₂ 的排放。但随着建造施工的绿色环保要求不断加强，清洁施工建造技术深入推广、施工过程能源结构不断优化，单位施工面积碳排放和单位建筑业增加值施工碳排放显著下降。15 年来，全国单位施工面积碳排放由 14.0 kgCO₂/m² 降至 6.8 kgCO₂/m²，下降 51%；单位建筑业增加值施工碳排放由 0.48tCO₂/万元 降至 0.14tCO₂/万元，下降 70%。排放强度的下降是施工碳减排的主要驱动因素。

a. 建筑施工能耗与碳排放变化趋势



b. 建筑施工面积及排放强度变化趋势

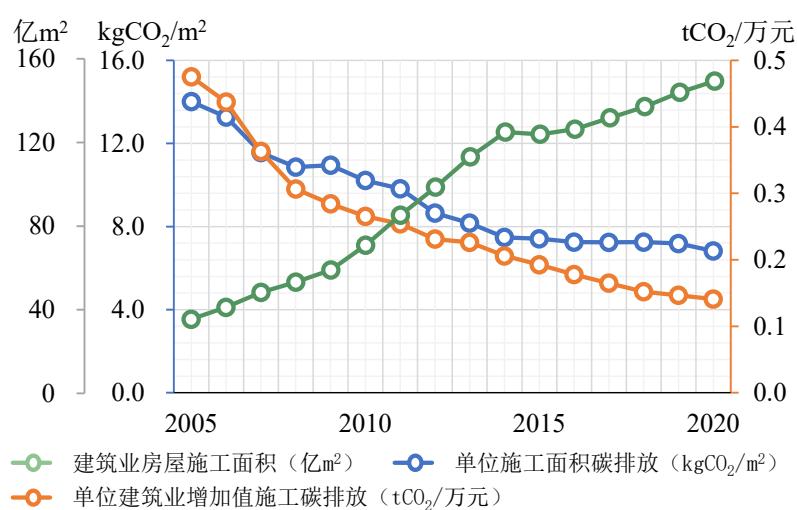


图 6 | 建筑施工碳排放及相关指标变化趋势

建筑运行碳排放

碳排放增速持续放缓，“十三五”期间已降至 2.8%。

根据第七次全国人口普查数据推算得知，2020 年全国建筑存量为 696 亿 m^2 ，其中 80% 为住宅建筑，20% 为公共建筑；住宅建筑中，城镇居住建筑 320 亿 m^2 ，占比 58%，农村居住建筑 233 亿 m^2 ，占比 42%¹。

受新冠疫情影响，2020 年的建筑运行能耗与碳排放增速明显放缓，全国建筑运行能耗为 10.6 亿 tce，同比增长 3.0%；碳排放 21.62tCO₂，同比增长 1.5%。此外，参考 2021 年我国能源消费总量数据，并根据各建筑类型能耗占比与历年增长趋势对 2021 年的建筑碳排放情况进行预估，预计 2021 年我国建筑碳排放将回归正常增长速度，达到 22.4 亿 t CO₂。

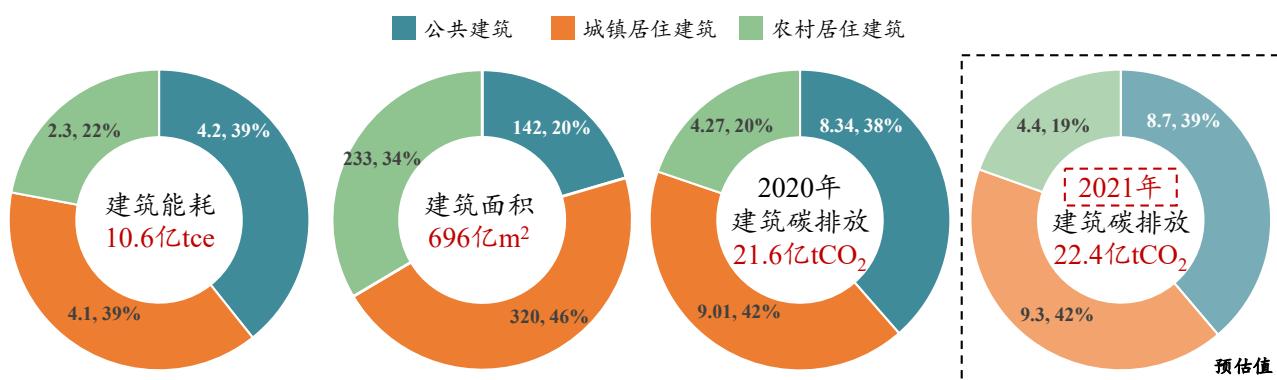


图 7 | 2020 年建筑运行阶段能耗与碳排放

从变化趋势来看，2005 – 2020 年，建筑运行阶段能耗增长 5.8 亿 tce，年平均增长率为 5.4%；建筑运行阶段碳排放增长 10.7 亿 tCO₂，年平均增长率为 4.7%。碳排放年均增速小于能耗年均增速，表明建筑运行阶段能源相关的碳排放因子降低（建筑运行综合碳排放因子从 2005 年的 2.3 tCO₂/tce 下降至 2020 年的 2.0 tCO₂/tce），全国建筑能源结构逐渐优化。

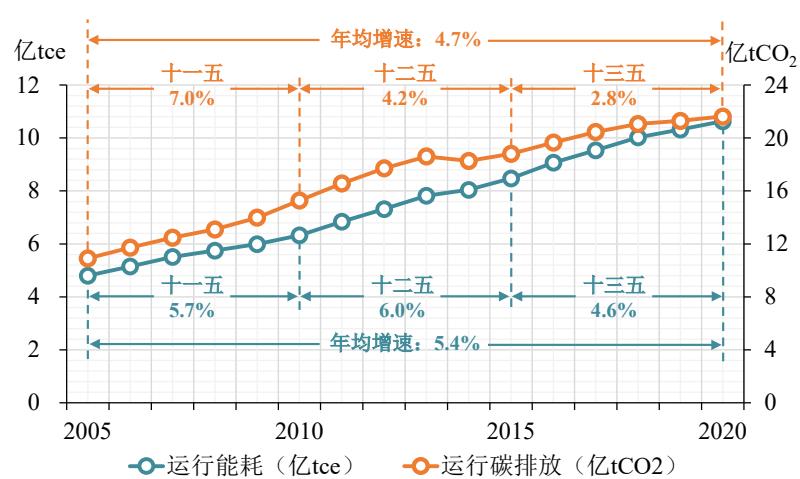


图 8 | 建筑运行阶段能耗与碳排放变化趋势

¹ 第七次全国人口普查数据中城镇和农村人均住房建筑面积分别为 38.6 m^2 和 46.8 m^2 ，但该数据仅考虑了家庭户，未统计集体户数据。经研究测算，本报告所采用的实际城镇和农村人均住房建筑面积分别为 35.6 m^2 和 46.0 m^2 ，略低于“七普”数据。

公共建筑与城镇居住建筑碳排放增速高于农村居住建筑。

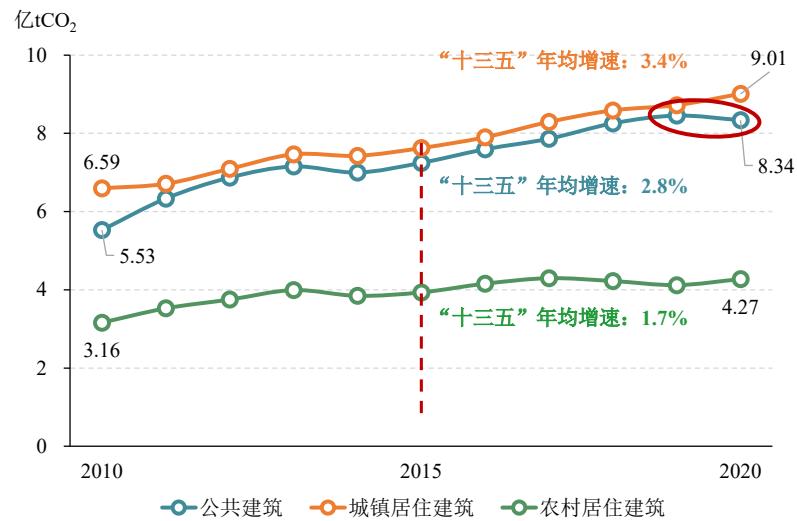
2020 年，公共建筑、城镇居住建筑和农村居住建筑的碳排放分别为 8.34 亿 tCO₂、9.01 亿 tCO₂ 和 4.27 亿 CO₂，占建筑碳排放总量的比例分别为 38.6%、41.7% 和 19.8%。受新冠疫情影响，公共建筑碳排放相比 2019 年有所降低，居住建筑则相反，上升趋势更加明显，这符合疫情下商场、写字楼等公共场所因封锁而能耗减少，人们更多居家办公而导致居住建筑能耗增长的现实。

公共建筑和城镇居住建筑是碳排放增长的主要来源。2010-2020 十年间，公共建筑碳排放增长 51% (6.34 亿 tCO₂)，城镇居住建筑增长 37% (2.42 tCO₂)。农村居住建筑虽然也增长了 35% (1.11 tCO₂)，但因其原本就相对较少，且近年来随着城镇化率的不断增长，排放增长速率已放缓，其排放增量对总量的增加影响较小。“十三五”期间，公共建筑碳排放年均增速 2.8%；城镇居住建筑碳排放年均增速 3.4%；农村建筑碳排放年均增速 1.7%，基本步入平台期。

不同类型的建筑的碳排放总量的增速不尽相同，但其占比情况相对固定。总的来看，公共建筑、城镇居住建筑和农村居住建筑的碳排放比重为“4 : 4 : 2”，城镇居住建筑略大于公共建筑。

2020 年，我国城镇和农村的人均居住建筑面积分别为 35.6m² 和 46.0m²；人均公共建筑面积为 10.1m²。

a. 分建筑类型排放变化趋势



b. 分建筑类型排放占比变化趋势

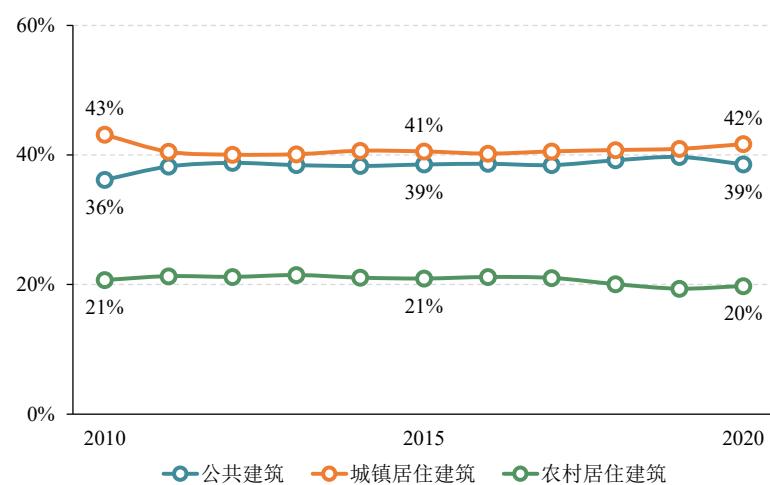


图 9 | 建筑运行阶段碳排放变化趋势——分建筑类型

2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告

建筑面积方面，2010-2020年，全国总建筑面积从489亿 m^2 增加到696亿 m^2 ，总计增长42%，年均增长率为3.6%。公共建筑面积急剧增加，从78亿 m^2 增加到142亿 m^2 ，增长82%，年均增长率为6.2%。城市居住建筑面积从186亿 m^2 增加到320亿 m^2 ，增长73%，年均增长率为5.6%。农村居住建筑受农村人口流出等因素的影响，仅增长3%。

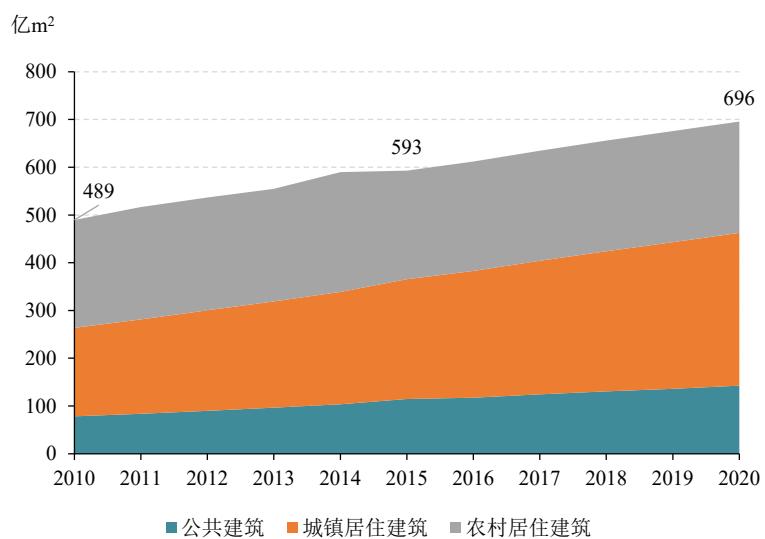
城镇居住建筑体量较大且增长较快，是建筑面积增长的主要来源。

10年间全国206亿 m^2 的建筑面积增量中，公共建筑、城镇居住建筑和农村居住建筑的面积增量值分别为64亿 m^2 、135亿 m^2 和8亿 m^2 ，增量占比分别为31%、65%和3%。

2020年全国建筑碳排放强度为31.1kgCO₂/m²，城镇居住建筑和农村居住建筑的碳排放强度分别为28.1kgCO₂/m²和18.3kgCO₂/m²；公共建筑碳排放强度为58.6kgCO₂/m²，显著高于另外两类建筑。

2010-2020年，全国建筑碳排放强度维持在31kgCO₂/m²附近的水平，多年来变动幅度较小。公共建筑和城镇居住建筑的碳排放强度分别下降17%和21%；农村居住建筑碳排放强度升高31%。

a. 分建筑类型面积变化趋势



b. 分建筑类型排放强度变化趋势

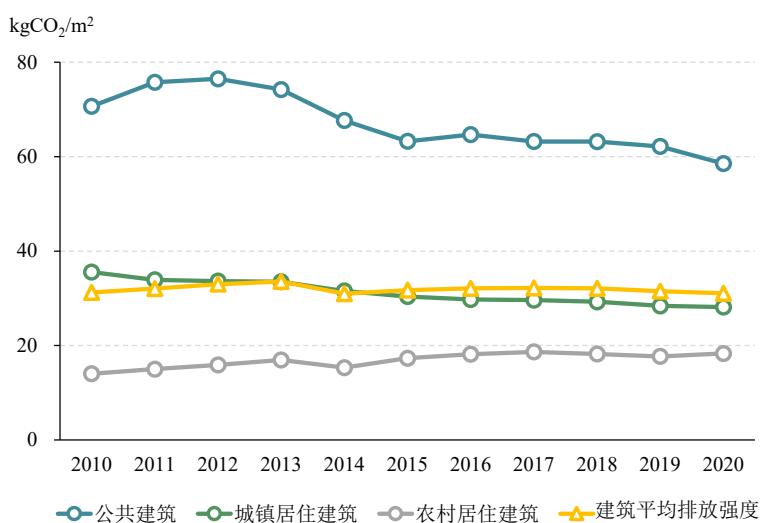


图 10 | 建筑面积与碳排放强度变化趋势

注：2020年建筑面积依据第七次全国人口普查数据进行测算。历史年份数据进行了相应的调整与修正，故与以往报告中的数据不完全吻合。

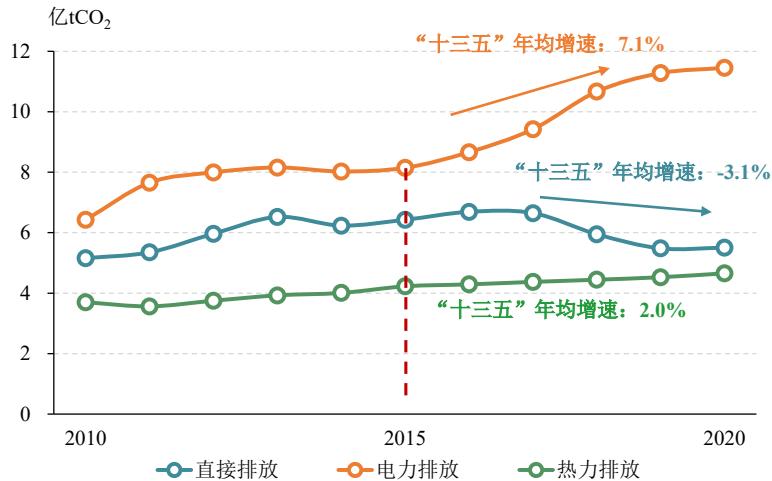
建筑能源结构优化，电力碳排放增长迅速，直接碳排放连年下降。

2020 年建筑运行碳排放中，建筑直接碳排放 5.5 亿 tCO₂，占排放总量的 25%；电力碳排放 11.5 亿 tCO₂，占排放总量的 53%；热力碳排放 4.7 亿 tCO₂，占排放总量的 22%。

建筑直接碳排放在 2016 年达峰，峰值为 6.7 亿 tCO₂，之后呈现连年下降趋势，年均下降 4.8%。建筑电力碳排放在“十三五”期间的年均增速为 7.1%，不仅总量已经较高，而且表现出较为强势的增长趋势。热力碳排放也在每年增长，但增速较缓，“十三五期间的年均增速为 2.0%。

从建筑运行阶段碳排放构成看，建筑直接碳排放占比在 2010-2017 年维持在 34% 左右，在 2020 年下降到 25%；电力碳排放则从 42% 上升到 53%；热力碳排放比例维持在 21% - 24% 之间。

a. 不同来源碳排放变化趋势



b. 不同来源碳排放占比变化趋势

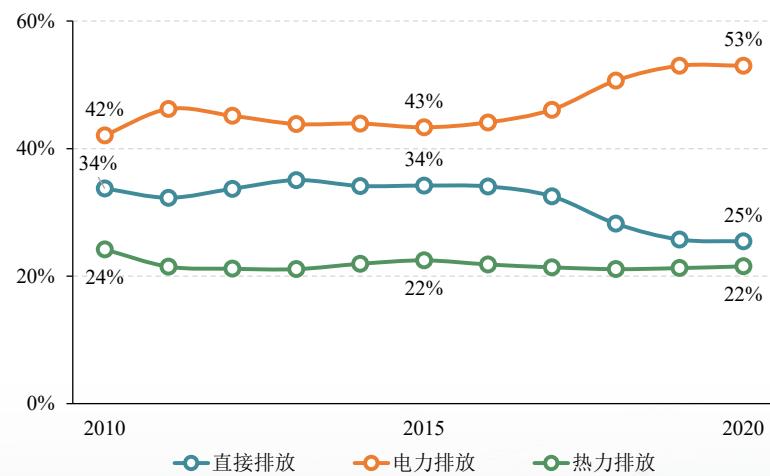


图 11 | 建筑运行阶段碳排放变化趋势——分排放类别



2 省级建筑 运行碳排放核算与分析

| 省级建筑运行碳排放总量

省级建筑运行碳排放总量差异表现明显。

2020 年全国建筑运行阶段碳排放总量为 21.6 亿 tCO₂，省级建筑运行碳排放总量差异表现明显。

建筑运行碳排放总量排名前五的省份依次为山东、河北、广东、江苏、河南，其排放总量均超过了 1 亿 tCO₂，占全国建筑运行碳排放总量的 35%。排名后三位的省市分别为海南、青海、和宁夏，其排放总量均不足 2 千万 tCO₂，其中山东省的建筑碳排放总量约是海南省的总量约是海南省的 22 倍。造成各省市建筑碳排放总量差异巨大的主要原因是省际间人口数、地区生产总值、所处气候区、用能结构和区域电网平均碳排放因子差异较大。一般来看，人口数量越多、地区生产总值越大、采暖需求越强，清洁发电占比越低的地区，其建筑碳排放总量就越高。

2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告

15个北方省市中，集中供热碳排放占总建筑碳排放的比例受省市气候条件影响显著，位于高纬度的黑龙江省的占比最高，为54%，超过总量的一半。宁夏回族自治区虽然排放总量较小，但集中供热碳排放的占比也接近50%。其余省市的占比多在30%-45%之间。北京市集中供热碳排放占比最小，仅为17%，这是由于一方面北京市第三产业发达，公共建筑消耗大量电力，碳排放较多；二是北京已经基本实现全面天然气清洁供暖，供暖排放强度较低。

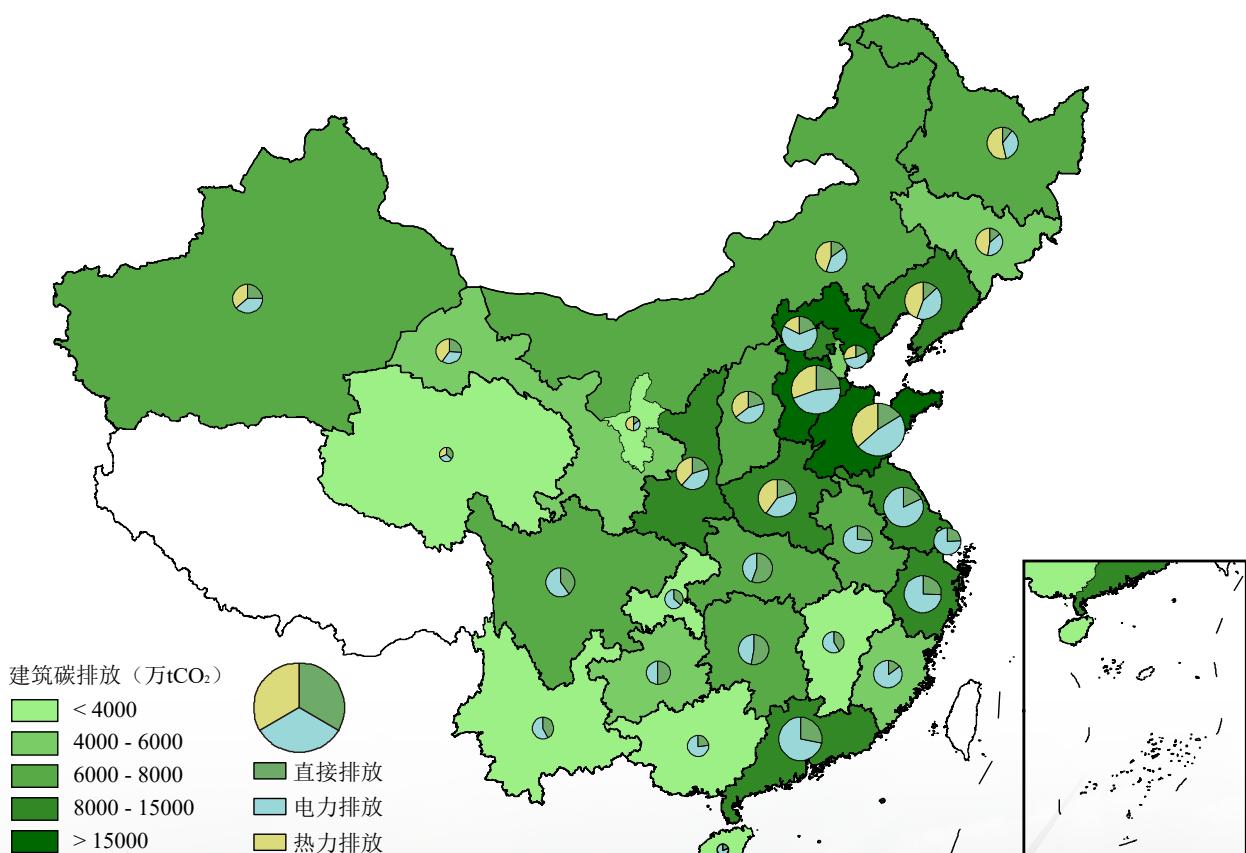


图 12 | 2020 年分省建筑运行阶段碳排放

省级城镇化差异带来的建筑类型碳排放占比。

居住建筑碳排放与区域内人口数量、城镇化率、采暖需求和化石能源消费比例有关，湖南、云南是唯二农村居住建筑碳排放高于城镇居住建筑碳排放的省份，这与其较低的城镇化率（湖南省58.8%，云南省50.0%）有关，较多的农村人口使得农村居住建筑用能高于城镇居住建筑。公共建筑碳排放量差异与人口、经济发展水平关联程度较大：在经济较为发达的地区，公共建筑的碳排放量高于城镇居住建筑（如北京、上海、江苏、浙江和广东）。

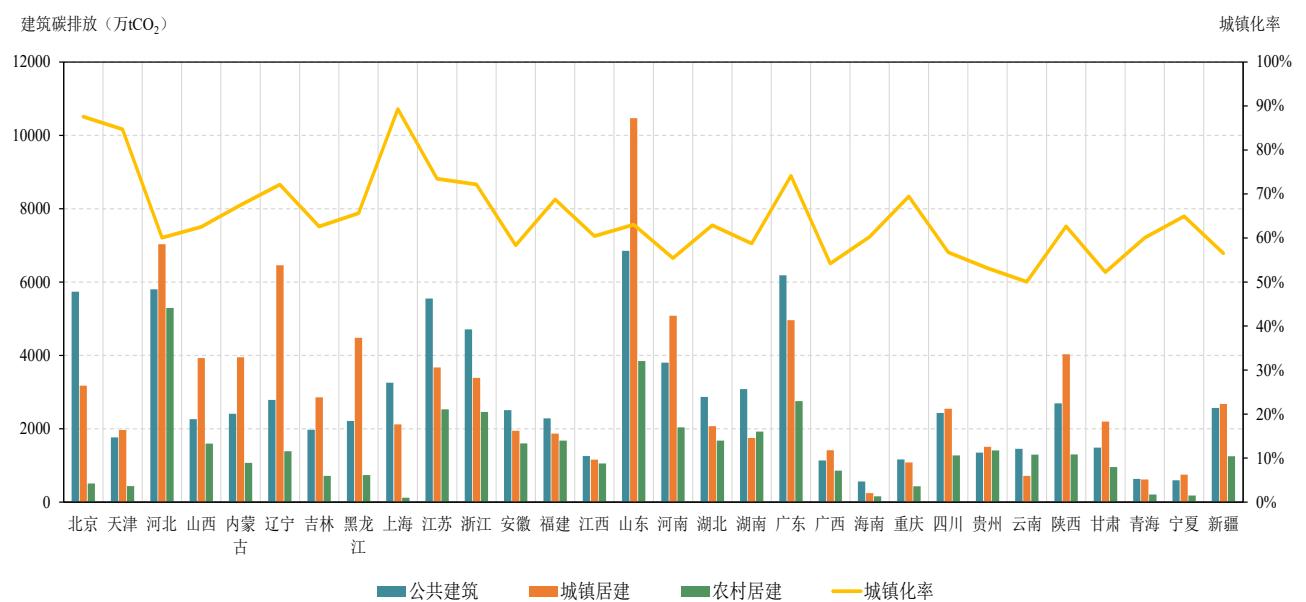


图 13 | 分省分建筑类型建筑运行碳排放

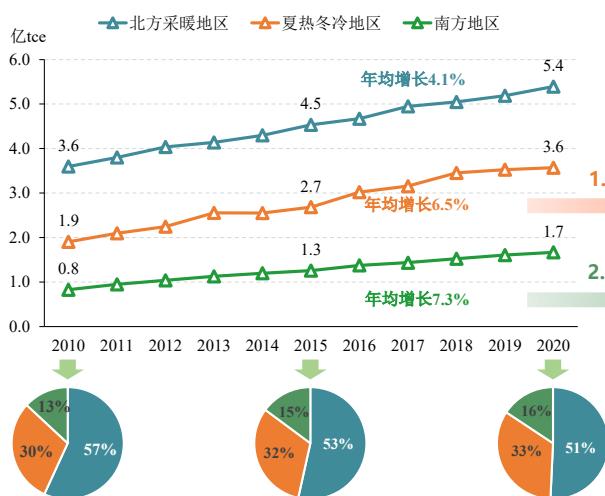
| 分气候区建筑运行碳排放变化趋势

南方非采暖区建筑用能持续增长，用能结构优化效果显著。

2010 – 2020 年，北方采暖地区建筑能耗总量从 3.6 亿 tce 增长至 5.4 亿 tce，年均增速为 4.1%；夏热冬冷地区建筑能耗总量从 1.9 亿 tce 增长至 3.6 亿 tce，年均增速为 6.5%；南方地区建筑能耗总量从 0.8 亿 tce 增长至 1.7 亿 tce，年均增速为 7.3%。北方地区省份较多，能耗总量较多，但归功于集中供暖能耗量控制较好，建筑能耗需求增长较缓，该地区建筑能耗增速在三大地区中最低。夏热冬冷地区和南方地区，虽然其所含省份较少且无集中供热能耗，但其建筑用能需求增长较快，建筑能耗年均增速显著大于北方采暖地区。

从各地区的建筑能耗占比来看，北方采暖地区的能耗占比逐年下降，2010 年为 57%，2015 年为 53%，至 2020 年为 51%，十年间下降 6 个百分点。其减少的占比被夏热冬冷地区和南方地区均分。

a. 建筑能耗



b. 建筑碳排放

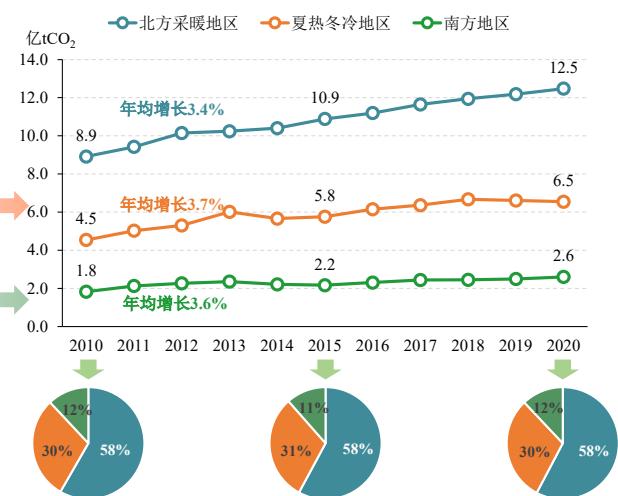


图 14 | 不同气候区建筑能耗与碳排放变化趋势

北方采暖地区、夏热冬冷地区和南方地区的建筑碳排放随能耗增长而逐年增长，年均增速分别为 3.4%，3.7% 和 3.6%，较为接近。夏热冬冷地区和南方地区的建筑碳排放增速显著低于建筑能耗增速，这说明此二地区的建筑用能结构更加优化，煤炭应用比例下降、清洁能源（清洁能源发电、天然气等）占比提高，这使得此二地区在建筑能耗快速增长的同时还能保持较低的碳排放增速。

三大地区的建筑碳排放占比相对稳定，北方地区排放占比常年维持在 58% 左右。

各省建筑运行碳排放总量变化趋势

各省市的变化趋势存在明显的差异，如北京、黑龙江、上海、湖北、重庆、四川、云南等省市进入平台期，河北等省份表现为上升趋势。

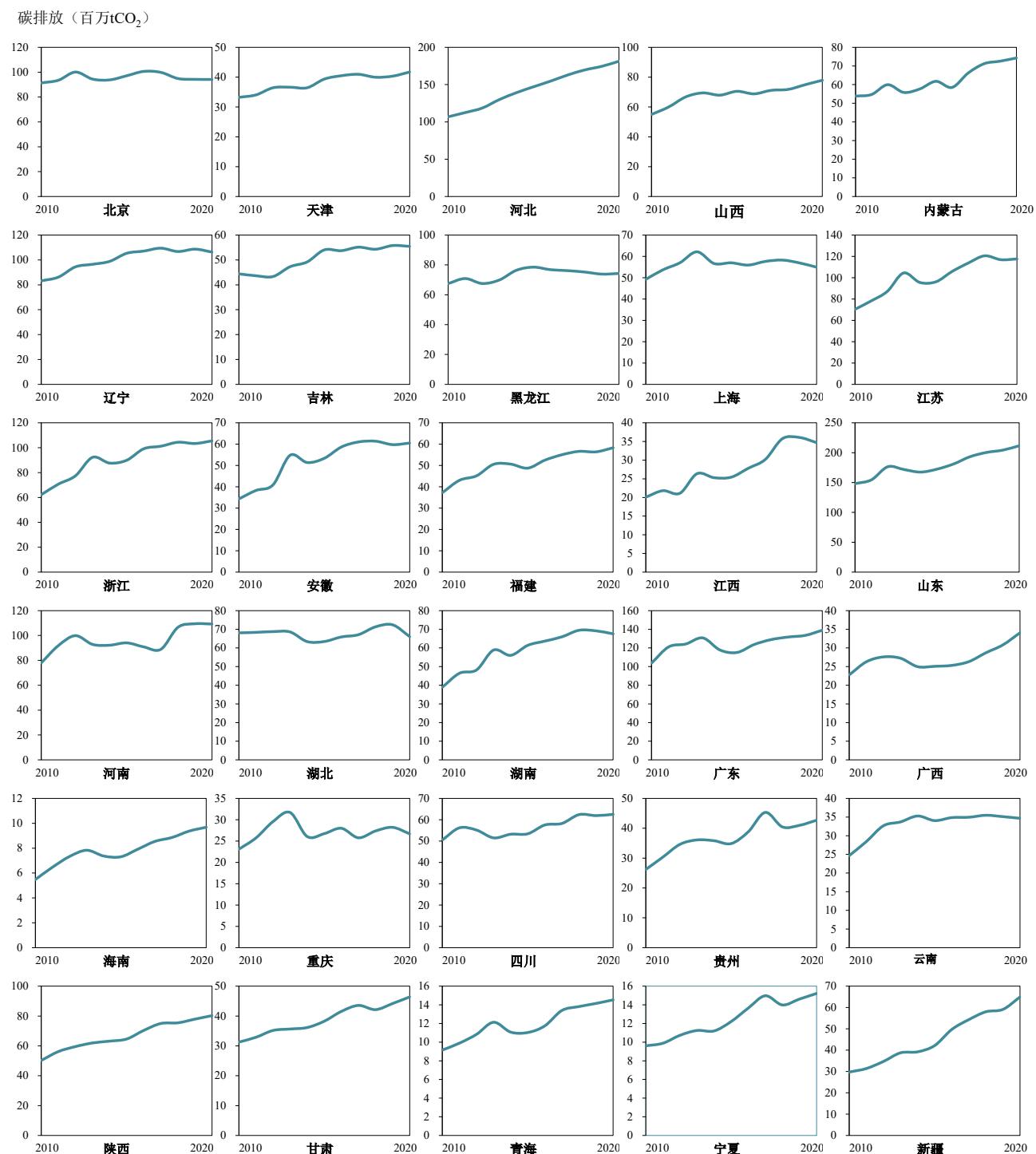


图 15 | 2010-2020 年 30 省市建筑运行碳排放总量历史变化趋势

| 新冠疫情对建筑运行碳排放的影响

新冠疫情导致 2020 年公共建筑碳排放同比降低 1.4%。

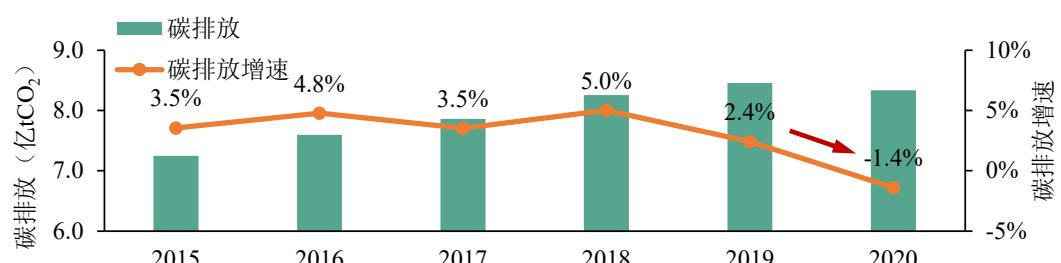
2019年末新型冠状病毒疫情的爆发扰乱了人们正常的生产生活节奏，对社会经济的许多方面产生了显著的影响。同时，由于建筑物是人们各类生产生活在活动的主要载体，疫情的发生也对建筑碳排放产生了潜在影响。

整体来看，疫情对2020年建筑碳排放总量的影响并不明显，但对不同建筑类型的影响较为显著：**疫情的发生致使公共建筑碳排放减少，而居住建筑的碳排放小幅增加。**

河北、吉林等省市的公共建筑碳排放增速在2020年发生了突变，由正值变为了负值，碳排放减少，而其中很多省市在2019年还保持着较高的增速（如河北省，2019年增速为8.6%，2020年增速为-9.1%）。上海、湖北等省市近年来维持较低甚至是负值的增长率，公共建筑碳排放缓慢下降，但2020年的降幅也突然增大，湖北省的降幅甚至超过10%。全国范围内公共建筑碳排放降低使得我国公共建筑碳排放总量相比2019年降低1175万t CO₂，同比下降1.4%，打破了原有的连续上升趋势。

公共建筑碳排放的减少是由于居家办公、“非必要不出行”、公共场所封闭等相关疫情应对措施极大程度上改变了人们的生产生活方式，人们更多的时间待在家中而不是写字楼、商场等公共场所。

a. 公共建筑



b. 城镇居住建筑

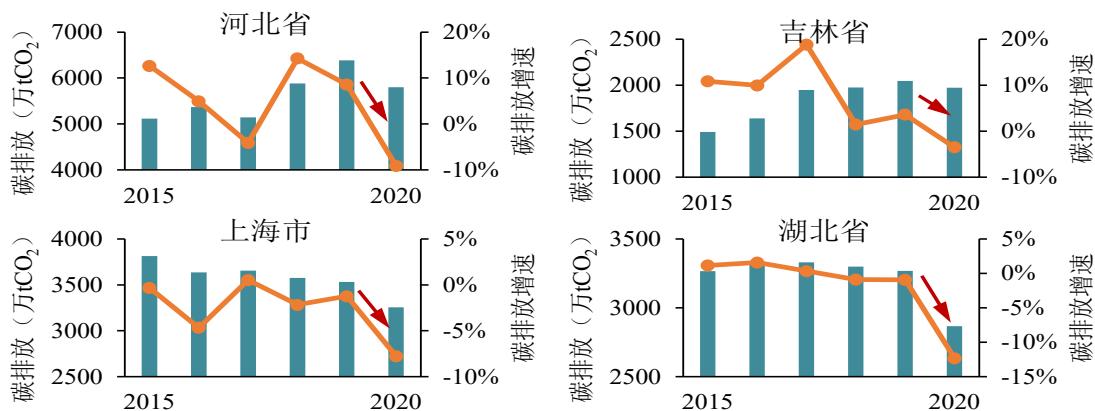


图 16 | 2015-2020 年全国建筑碳排放及增速变化

2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告

2020 年我国城镇居住建筑碳排放总量相比 2019 年增加 2892 万 t CO₂，同比上升 3.3%。北京市城镇居住建筑碳排放连续 3 年的下降趋势在 2020 年被打破，增速重回正值。河北、福建、广东等省份 2020 年的排放增速也迎来新的跃增，明显高于 2019 年。然而，由于 2019 年的居住建筑碳排放增速本就较低，故 2020 年的增速回涨也是一种恢复正常的表现，疫情对居住建筑的影响要小于公共建筑。

a. 公共建筑



b. 城镇居住建筑

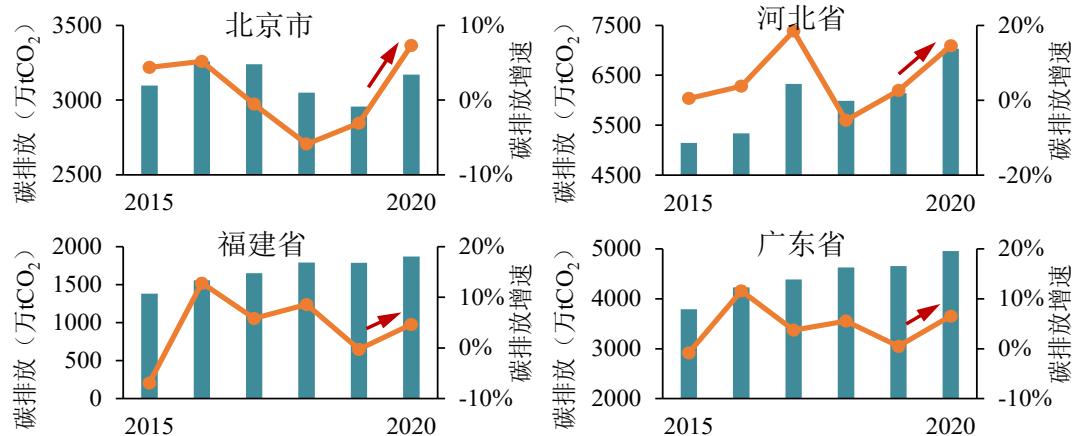


图 17 | 2015-2020 年部分省市建筑碳排放及增速变化



3 中国城市 建筑碳排放核算与分析

本报告核算了 2015-2020 年中国 286 个地级市、23 个自治州、5 个地区、3 个盟，总计 317 个地级行政单位的建筑能耗和碳排放¹。此外，还有依省级建筑碳排放核算方法计算的 4 个直辖市数据。这些城市在 2020 年覆盖了全国 98.6% (13.92 亿) 的人口 (14.12 亿) 和 99.2% (99.71 万亿元) 的 GDP (100.55 万亿元)。

¹ 除特别说明，本报告中的城市建筑碳排放为城市建筑运行阶段的碳排放

| 城市建筑运行碳排放总量

城市建筑运行碳排放量在南北方和东西部之间差异较大。

2020 年全国城市建筑碳排放汇总值为 20.6 亿 tCO₂¹。我国城市建筑碳排放呈现出明显的自北向南、自东向西递减的分布状态。

在核算的 321 个城市中，有北方城市 149 个，人口占比 41%，建筑碳排放 11.8 亿 tCO₂，占比 57%；夏热冬冷地区城市 110 个，人口占比 40%，建筑碳排放 6.1 亿 tCO₂，占比 30%；南方城市 62 个，人口占比 19%，建筑碳排放 2.7 亿 tCO₂，占比 13%。从人均排放来看，北方城市人均建筑碳排放为 2.09tCO₂/人，是夏热冬冷地区城市 (1.10tCO₂/人) 和南方城市 (1.01tCO₂/人) 的近 2 倍。

¹ 以能源平衡表拆分法核算的全国建筑碳排放为 21.6 亿 tCO₂，相差约 1 亿 tCO₂，差异源来自缺失城市（县），建筑汽油、柴油消费，以及集中供热排放。

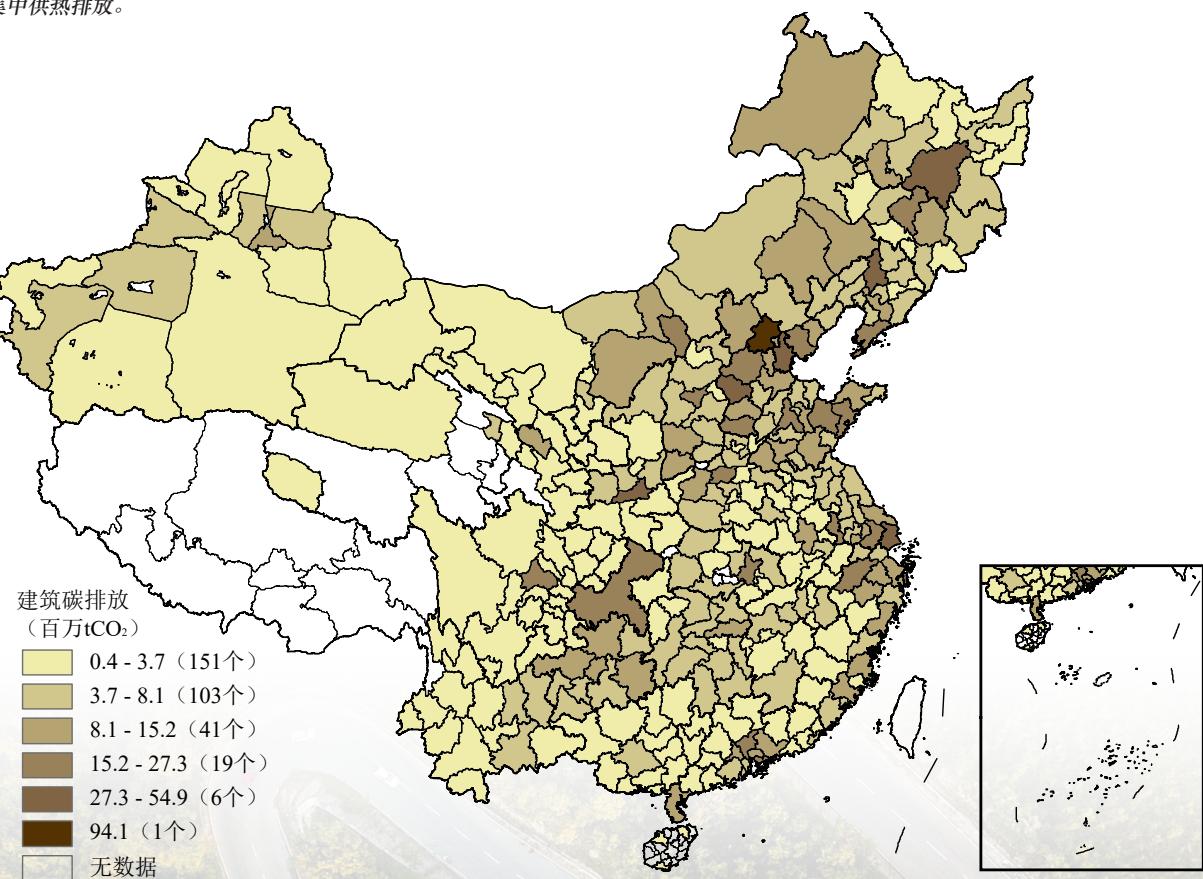
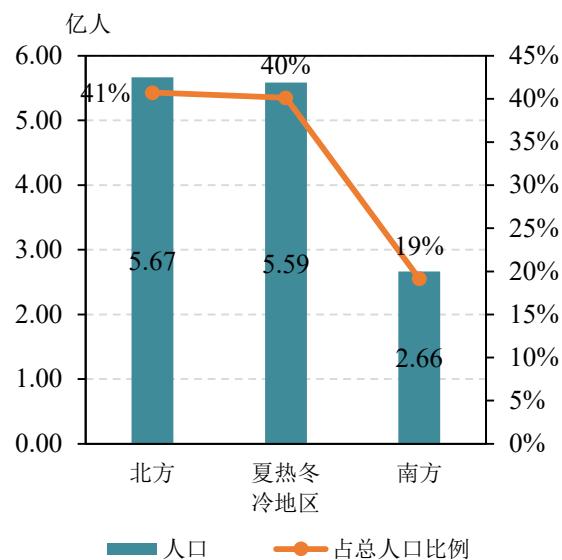


图 18 | 2020 年城市建筑碳排放

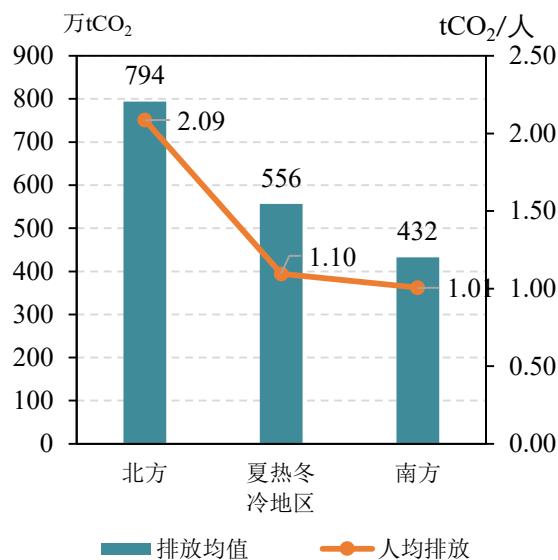
2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告

分东西部¹来看，东部地区城市有101个，人口占比43%，建筑碳排放11.8亿tCO₂，占比51%；中部地区城市有103个，人口占比30%，建筑碳排放5.3亿tCO₂，占比26%；西部地区城市有117个，人口占比27%，建筑碳排放4.8亿tCO₂，占比23%。

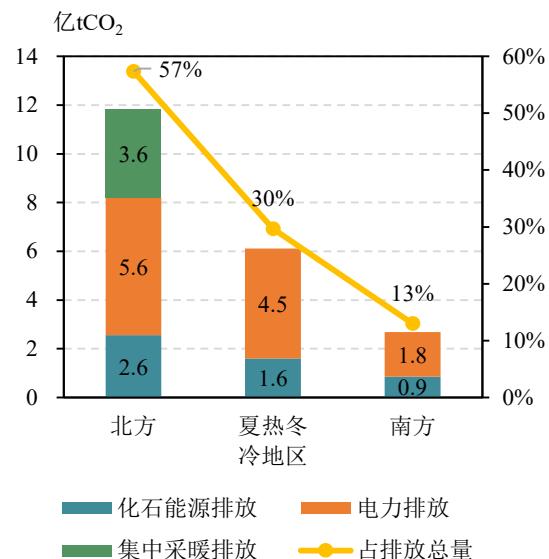
a. 不同气候区城市人口及占比



b. 城市建筑排放均值及人均排放——南北方



c. 不同气候区城市建筑排放及占比



d. 城市建筑排放均值及人均排放——东西部

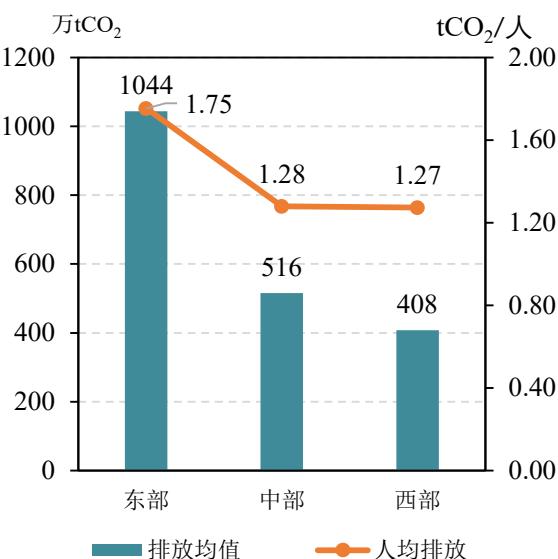


图19 | 2020年不同地区城市建筑碳排放及指标

¹ 东部地区：北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南；

中部地区：山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南；

西部地区：内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。

| 城市人均建筑运行碳排放

全国城市人均建筑碳排放为 1.53 tCO₂/ 人。人均建筑碳排放最高 5 个城市分别为乌海、克拉玛依、呼和浩特、锡林郭勒、大庆，其值超过了 4tCO₂/ 人。人均建筑碳排放较高的城市多位于黑龙江、内蒙古、新疆等纬度较高的省份，其冬季采暖的刚性需求不可避免的带来更多的能源消耗和相应的碳排放。人均建筑碳排放最低的城市（如达州、周口、资阳、河池、广安、茂名）小于 0.4 tCO₂/ 人，不到最高值的十分之一。周口市虽位于“秦岭 - 淮河”以北，但却是唯一全城不供暖的北方城市，故排放总量也显著低于其他北方城市。其他人均建筑碳排放较低的城市多位于电力碳排放因子较低的四川、广西等省份。

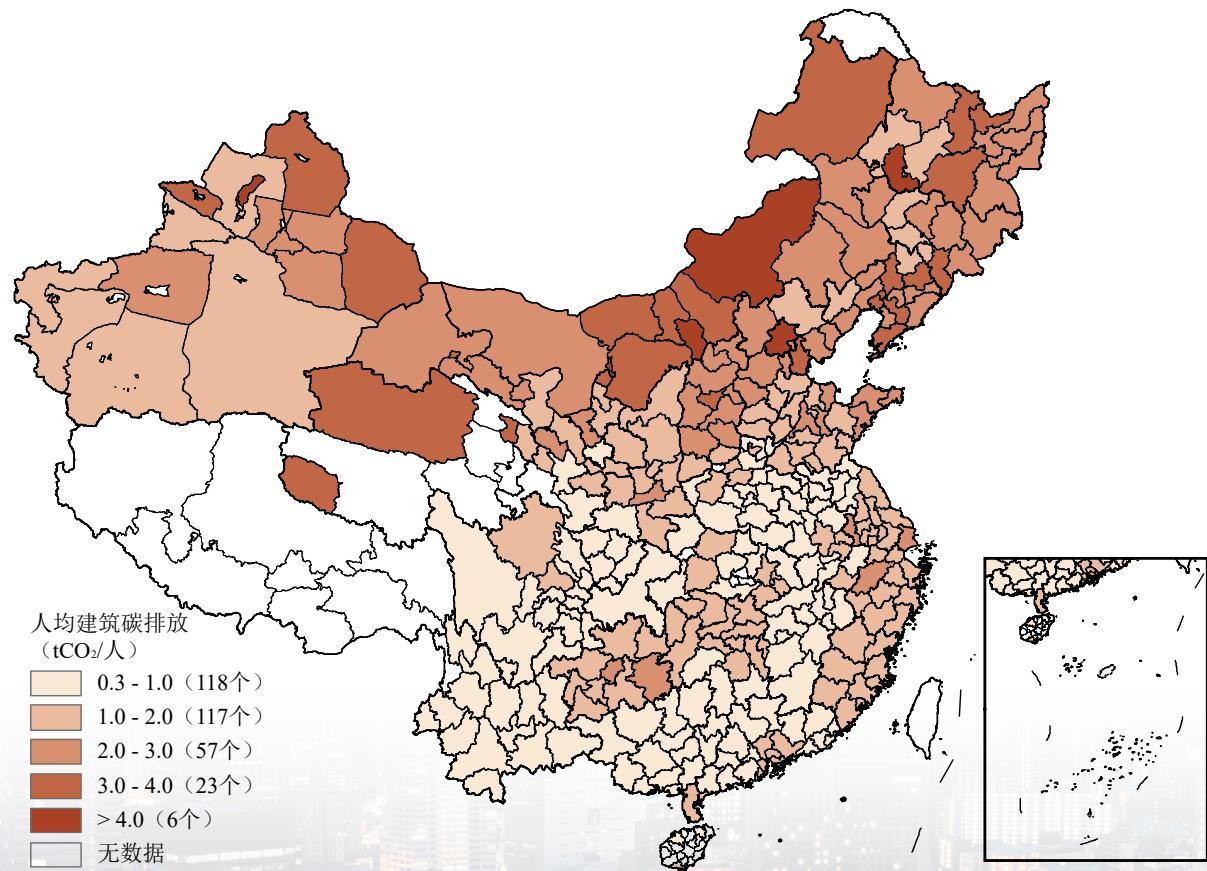


图 20 | 2020 年城市人均建筑碳排放

| 城市建筑运行碳排放与经济发展关联性分析

城市建筑运行碳排放量与城市的经济发展水平关系密切。

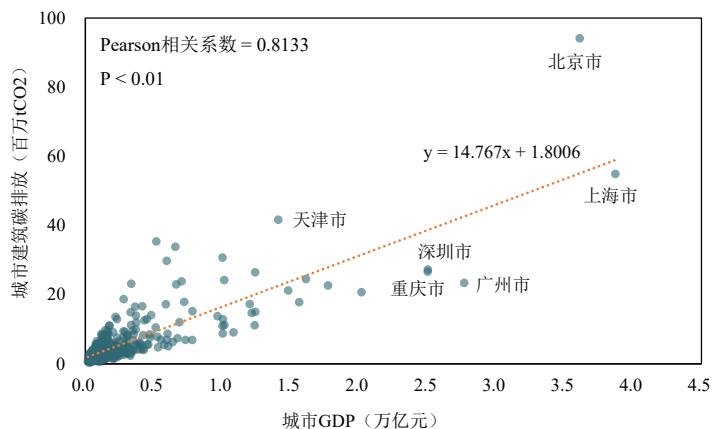
城市建筑碳排放总量与城市 GDP 的相关系数为 0.81，城市公共建筑碳排放与第三产业生产总值的相关性更强，相关系数可达 0.88。这说明城市建筑碳排放更多是由消费而并非生产驱动。未来，随着城市发展，尤其是第三产业的进一步发展，城市建筑面积、建筑用能需求还将继续增长，城市建筑碳排放还存在较大的增长潜力。

2020 年全国人均 GDP 为 7.24 万元 / 人，全国城镇化率为 63.9%。通过比较 70 个大中城市的人均 GDP、城镇化率和人均建筑碳排放间的关系，可发现总体上来看，城镇化率和人均 GDP 越高的城市，其人均建筑碳排放越高（图 21(c) 中 I 区域中的城市的人均建筑碳排放显著大于Ⅲ区域）。人均建筑碳排放最高的城市均为北方城市，其中除北京外，多数城市（如大连、呼和浩特、乌鲁木齐、太原、沈阳等）的人均 GDP 不足 10 万元 / 人，哈尔滨、西宁、秦皇岛、石家庄的人均 GDP 不足 6 万元 / 人，低于全国平均水平。

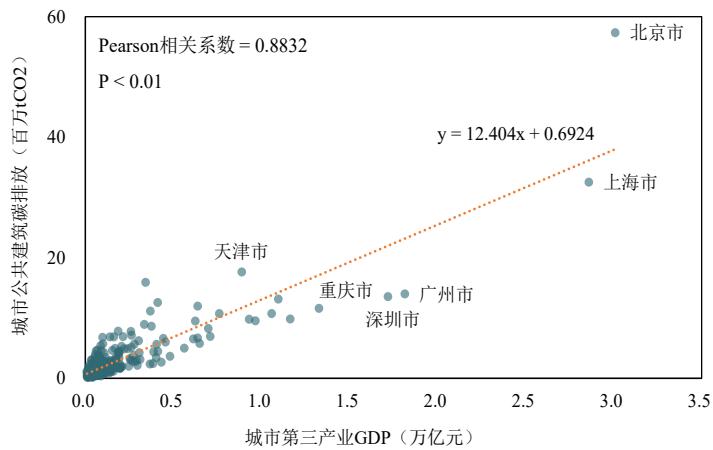


2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告

a. 城市建筑碳排放总量与生产总值相关性



b. 城市公共建筑碳排放与第三产业生产总值相关性



c. 70 个大中城市人均 GDP、城镇化率和人均建筑碳排放关系

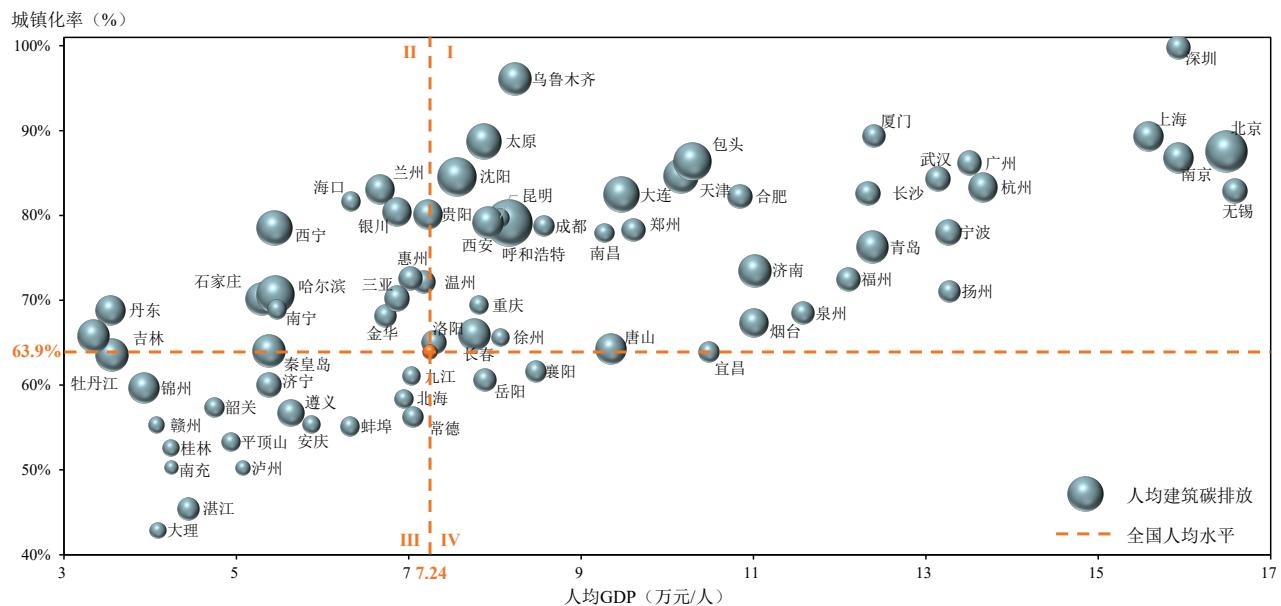


图 21 | 城市建筑碳排放与社会经济指标

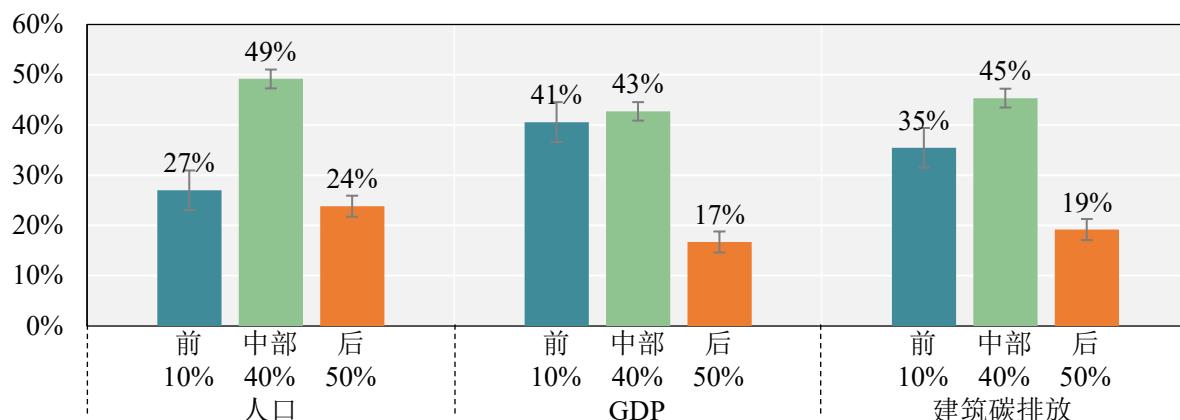
城市间建筑碳排放分布不平等弱于经济分布不平等。

进一步统计分析发现，不考虑直辖市时，2020年建筑碳排放最高的前10%的城市（32个）排放6.5亿CO₂，占317个城市建筑碳排放总量的35%；前20%的城市占52%，而后50%的城市仅排放了3.5亿CO₂，占建筑碳排放仅占城市建筑碳排放总量的19%。排放不均衡、不平等现象明显。

横向对比人口和经济的分布来看，发现城市不平等情况呈现如下结果：**经济分布不平等 > 建筑碳排放分布不平等 > 人口分布不平等。**

此外，对比可知，直辖市的加入将加大城市间的各类不平等现象。考虑直辖市后，各项指标排名前10%的城市的占比进一步扩大，人口占比由27%提升至29%；GDP占比由41%提升至45%；建筑碳排放占比由35%提升至40%。

a. 2020年分组城市人口、GDP与建筑碳排放占比（不含直辖市）



b. 2020年分组城市人口、GDP与建筑碳排放占比（含直辖市）

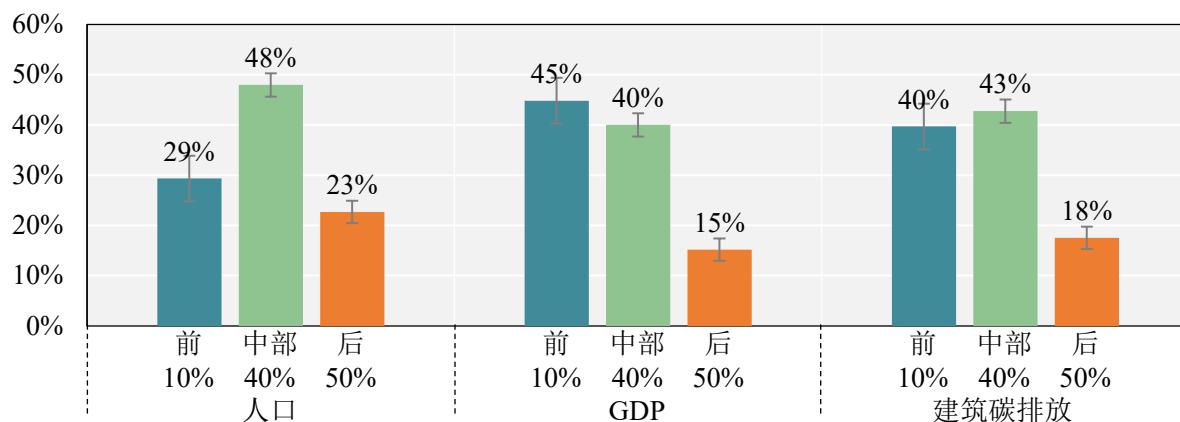


图 22 | 2020 年分组城市人口、GDP 与建筑碳排放占比

结语



准确核算建筑领域碳排放，摸清自身家底，是有效开展建筑节能工作、促进建筑碳达峰碳中和目标实现的基础。以此为目标，本年度的《中国建筑能耗与碳排放研究报告》在继承了以往工作经验的基础之上，继续跟踪我国建筑领域的碳排放现状。

2020 年，全国建筑全过程能耗总量为 22.7 亿 tce，全国建筑全过程碳排放总量为 50.8 亿 tCO₂。受新冠疫情影响，建筑运行能耗与碳排放增速明显放缓，全国建筑运行碳排放为 21.6 亿 tCO₂，同比增长仅 1.5%。不同建筑类型、不同气候区表现出不同的增长趋势。总的来看，我国建筑能源结构不断优化，建筑运行碳排放年均增速自“十一五”期间的 7.8% 下降至“十三五”期间的 2.8%，表现出我国开展的建筑节能工作成果显著。

本次报告的一项重点工作是将建筑碳核算下沉至城市层面，进一步核算并分析了 321 个城市的建筑碳排放，这为完善建筑领域的碳排放计量体系贡献出一份力量。321 个城市的建筑碳排放总量为 20.6 亿 tCO₂，且呈现出明显的自北向南、自东向西递减的分布状态。

附录 1 | 国家与省级建筑碳排放核算方法

建筑碳排放是建筑运行过程中直接（煤、油、天然气）或间接（电力、热力）消费的各类化石能源排放的 CO₂ 之和，其计算方法如公式 1.1 所示：

$$BCE = \sum BE_i EF_i \quad (1.1)$$

其中，

BCE：建筑碳排放量；

BE_i ：建筑运行过程中第 i 类能源的消费量；

EF_i ：第 i 类能源的碳排放因子。

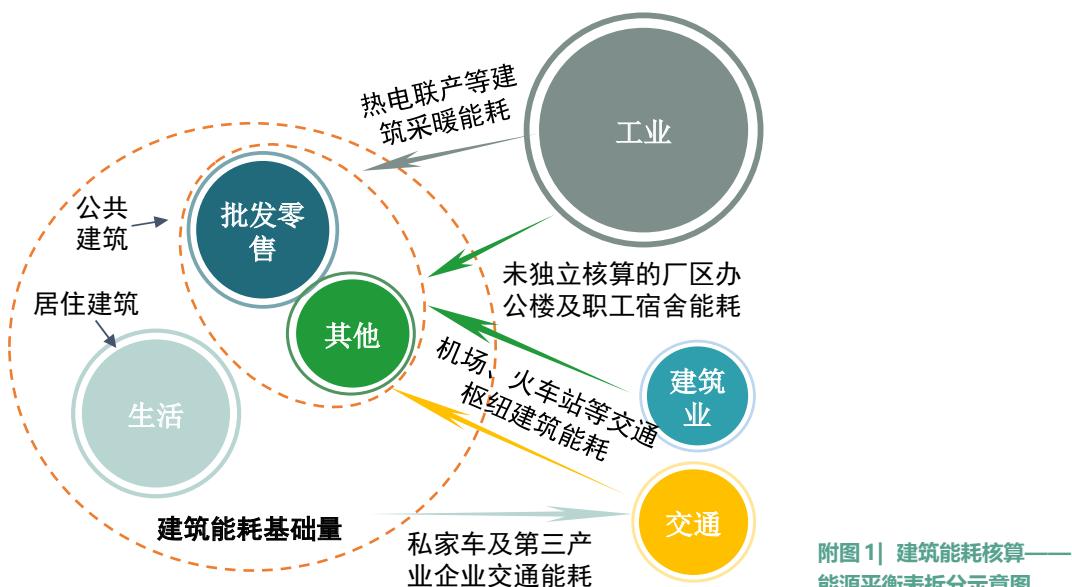
因此，建筑碳排放量的计算重点在于分类能源消费量和分类能源碳排放因子核算。

建筑能耗核算

本报告采用能源平衡表拆分的方式计算全国及分省的建筑能源消费总量。我国能源平衡表中建筑能耗相关数据项主要为终端消费部门的“5. 批发、零售业和住宿、餐饮业”、“6. 其他”和“7. 居民生活”三项。但由于我国能源消费按照行业统计，相关行业企业或私人交通工具用能被统计到其中，使得建筑相关能耗数据项中包含交通能耗，同时工业和交通部门中也会包含部分建筑用能。此外，我国能源平衡表中对建筑集中供暖能耗的统计明显偏低，建筑供热能耗需单独核算。

据此提出如下建筑能耗计算公式¹：

$$\text{建筑能耗} = \text{建筑能耗基础量} - \text{交通能耗扣除量} + \text{供暖能耗修正量} + \text{其他部门建筑能耗} \quad (1.2)$$



¹ 详细方法参见文章: Huo T, Ren H, Zhang X, et al. China's energy consumption in the building sector: A Statistical Yearbook-Energy Balance Sheet based splitting method[J]. Journal of cleaner production, 2018, 185: 665-679.

能源碳排放因子核算

本报告采用化石能源消耗和二次能源消费的碳排放因子进行建筑碳排放因子的核算，主要考虑二氧化碳排放系数。

化石能源的碳排放因子基本固定，可通过公开数据查询获取。国家生态环境部在 2021 年发布的《省级二氧化碳排放达峰行动方案编制指南》中也给出了计算能源活动的直接二氧化碳排放计算方法，其建议在计算时采用最新国家温室气体清单排放因子数据：煤炭为 2.66tCO₂/tce，油品为 1.73 tCO₂/tce，天然气为 1.56 tCO₂/tce。

全国电力碳排放因子可基于全国能源平衡表进行计算，计算公式如下：

$$EF_e = \frac{C_f}{E_f + E_c} \quad (1.3)$$

其中 EF_e 为电力碳排放系数， C_f 为火力发电碳排放量， E_f 为火力发电量， E_c 为可再生能源发电量¹。

省级电力碳排放因子采用区域电网平均碳排放因子²。

热力碳排放基于排放强度核算法进行核算。

¹ 火力发电碳排放量和可再生能源发电量分别以“火力发电”和“一次能源生产量”的“电力”实物量作为计算基础量。

² 由于我国官方公布的中国区域电网平均二氧化碳排放因子最新数据仅至 2012 年，与当前实际情况存在较大出入，故本报告采用与核算全国电力碳排放因子相似的方式，利用省级能源平衡表对区域电网平均碳排放因子进行了核算。



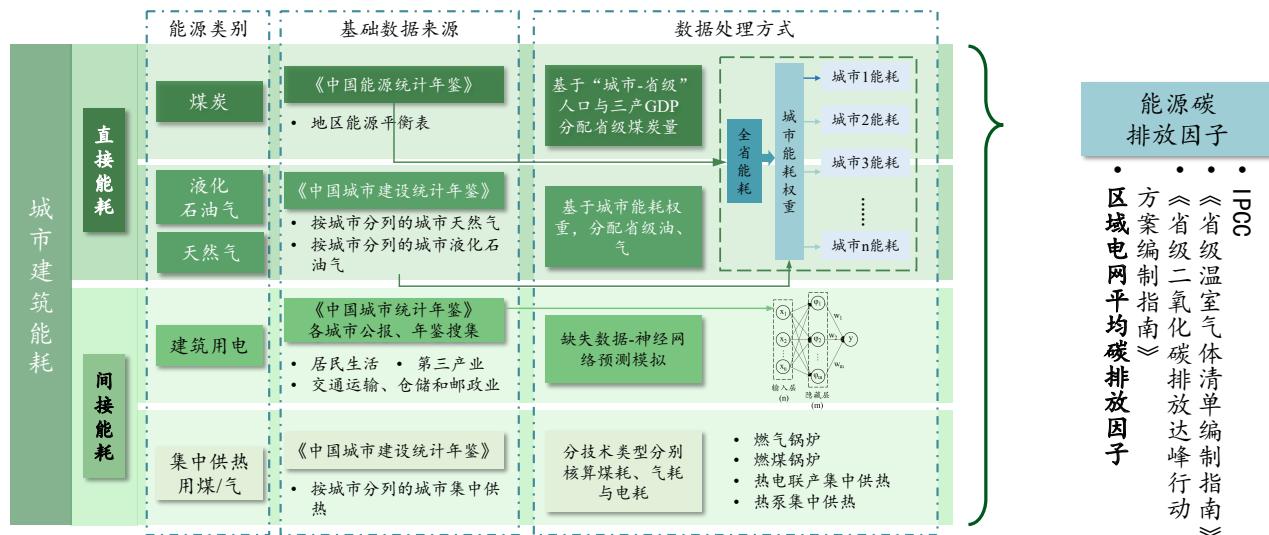
附录 2 | 城市建筑碳排放核算方法

本报告的“城市”是指我国的地级行政区，包括地级市、地区、自治州、盟在内的所有二级行政区。

为保证数据的统一性和可比性，地级行政区划统一采用 2020 年的划分。如地级莱芜市于 2018 年被撤销，其所辖区域被划归济南市管辖，本报告将划归之前的地级莱芜市的人口、经济、能耗和排放等数据也统一划入济南，不再单独列出。

本报告采用自上而下的方法核算城市建筑碳排放。与国家和省级建筑碳排放的核算方式相似，核算城市建筑碳排放是确定建筑运行过程中直接（煤、油、天然气）和间接（电力、热力）消费的各类化石能源排放的 CO₂ 之和。各类化石能源和电力的碳排放因子已经确定，所以关键问题便是确定城市各类别的能源消费量。

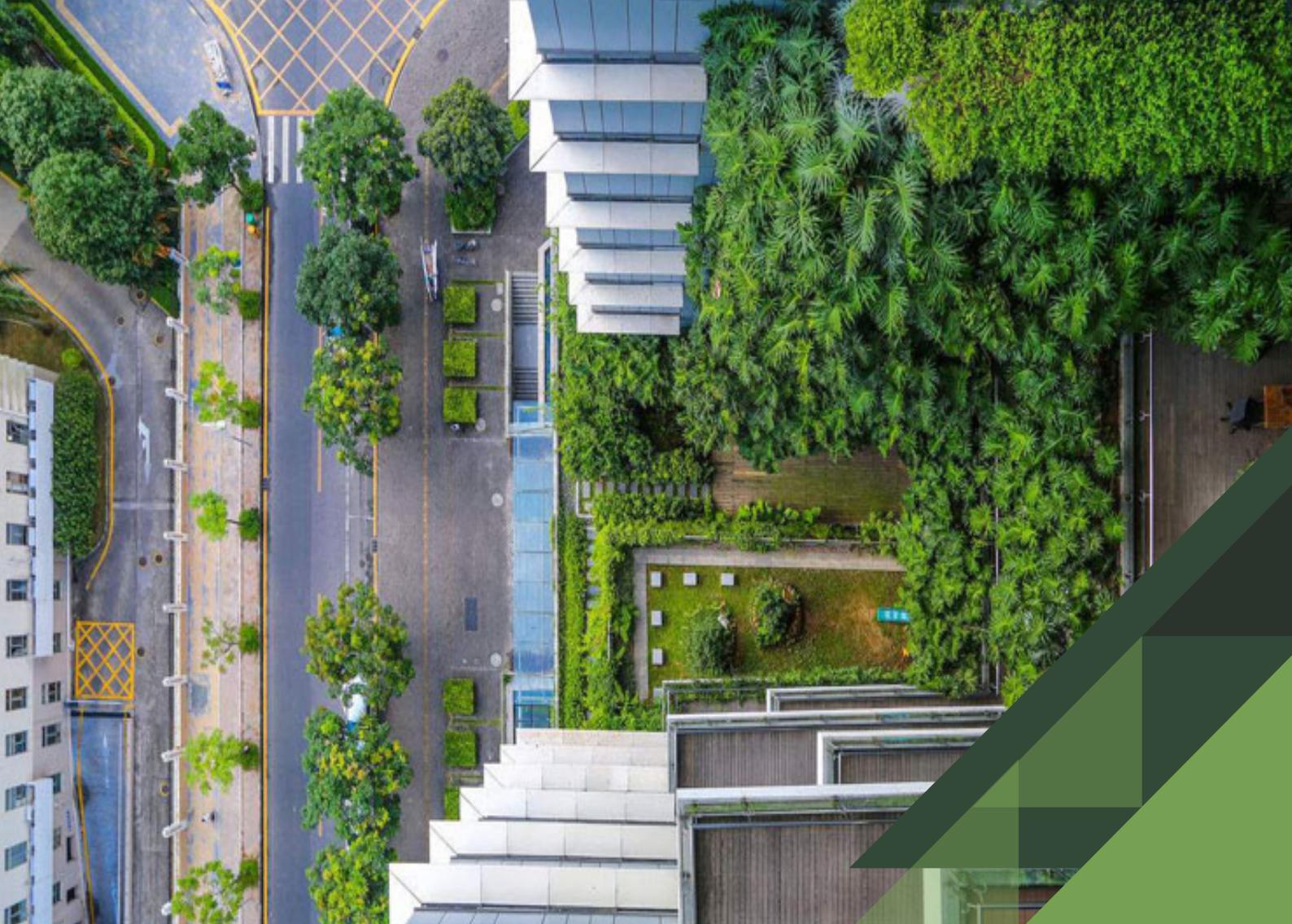
我国城市级能源平衡表的编制情况较差，仅有极少部分的城市会公布能源平衡表，且所公布数据的年份大多较为久远，不便于核算 2015 年以后的城市级碳排放数据。因此，本报告分不同能源消费类别对建筑运行能耗数据进行搜集整理，进而核算建筑碳排放。



附图 2 | 城市建筑碳排放核算技术路线

参考文献

- Huo, T., Cai, W., Ren, H., Feng, W., Zhu, M., Lang, N., & Gao, J. (2019). China's building stock estimation and energy intensity analysis. *Journal of Cleaner Production*, 207, 801-813.
- Huo, T., Ren, H., & Cai, W. (2019). Estimating urban residential building-related energy consumption and energy intensity in China based on improved building stock turnover model. *Science of the Total Environment*, 650, 427-437.
- Huo, T., Ren, H., Zhang, X., Cai, W., Feng, W., Zhou, N., & Wang, X. (2018). China's energy consumption in the building sector: A Statistical Yearbook-Energy Balance Sheet based splitting method. *Journal of cleaner production*, 185, 665-679.
- Ma, M., Yan, R., Du, Y., Ma, X., Cai, W., & Xu, P. (2017). A methodology to assess China's building energy savings at the national level: An IPAT - LMDI model approach. *Journal of cleaner production*, 143, 784-793.
- Shan, Y., Guan, D., Liu, J., Mi, Z., Liu, Z., Liu, J., ... & Zhang, Q. (2017). Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1215-1225.
- Shan, Y., Liu, J., Liu, Z., Shao, S., & Guan, D. (2019). An emissions-socioeconomic inventory of Chinese cities. *Scientific data*, 6(1), 1-10.
- 国家统计局能源统计司编 . 中国能源统计年鉴 2021[M] 中国统计出版社 ,2022
- 国务院第七次全国人口普查领导小组办公室编 . 中国人口普查年鉴 -2020 [M] 中国统计出版社 ,2022



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