



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



重庆大学  
CHONGQING UNIVERSITY

# 2022 中国城镇污水处理碳排放研究报告

2022 Research Report of China Urban Wastewater Treatment Carbon Emissions



中国 重庆  
2022 · 12

# 2022中国城镇污水处理 碳排放研究报告

RESEARCH REPORT OF CHINA  
URBAN WASTEWATER 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 中国城镇污水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，肖玥，李春艳，沈俊怡，魏裕晨，仲宇轩，田盼，耿越，王霞，霍腾飞，高景鑫，施庆伟，马敏达

## 专委会专家组成员：

柴宏祥，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、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](http://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



**URCD**

城乡建设与发展研究院  
Institute of Urban - Rural  
Construction and Development

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。研究院将紧密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。



**IRCSBE**

International Research Center for  
Sustainable Built Environment

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

## CONTENT CONTENU

1 研究背景	
2 城镇污水处理碳排放测算方法	
2.1 城镇污水处理碳排放核算边界	3
2.2 城镇污水处理碳排放测算框架	5
2.3 城镇污水处理碳排放测算公式	7
3 全国城镇污水处理碳排放数据分析	
3.1 全国城镇污水处理全过程碳排放现状	9
3.2 全国城镇污水处理及全过程碳排放变化趋势	12
3.2.1 全国城镇污水处理及碳排放变化趋势	12
3.2.2 全国城镇污泥处理处置及碳排放变化趋势	14
3.3 全国城镇污水处理全过程碳排放影响因素分析	16
4 分省城镇污水处理碳排放数据分析	
4.1 分省城镇污水处理及全过程碳排放现状	18
4.1.1 分省城镇污水全过程处理现状	18
4.1.2 分省城镇污水处理全过程碳排放现状	21
4.1.3 分省城镇污水处理全过程碳排放强度比较	22
4.2 分省城镇污水处理全过程碳排放变化趋势	23
4.3 分省城镇污水处理碳排放与社会经济因素的相关性	24
5 新冠疫情对 2020 年城镇污水处理全过程碳排放影响分析	
5.1 新冠疫情对 2020 年全国城镇污水处理全过程碳排放影响	25
5.2 新冠疫情对 2020 年分省城镇污水处理全过程碳排放影响	27
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。城镇污水处理产生大量的CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O以及CO<sub>2</sub>排放，是城市非二氧化碳温室气体排放的主要来源。核算城镇污水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，当前城镇污水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

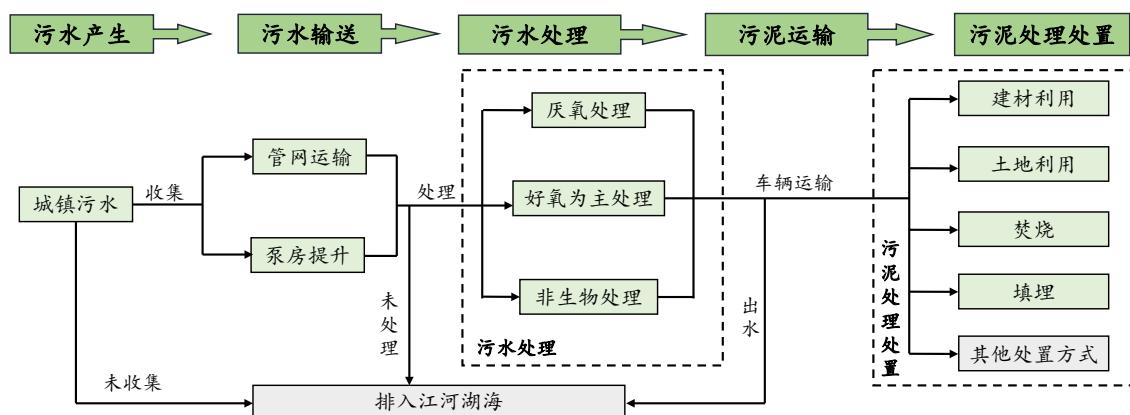
在此背景下，研究团队在往年建筑碳排放研究基础上，将研究范围进一步拓展到市政设施碳排放，本报告聚焦城镇污水处理碳排放，构建省级城镇污水处理碳排放核算方法，分析城镇污水处理碳排放现状与变化趋势，夯实城镇污水处理碳排放数据基础。



# 2 城镇污水处理 碳排放测算方法

## 2.1 城镇污水处理碳排放核算边界

本报告所涉及城镇污水处理碳排放核算边界包括城镇污水收集与处理全过程，主要分为污水输送、污水处理、污泥运输和污泥处理处置四个环节。从城镇污水产生经过污水管网进入污水处理厂，经过不同处理工艺处理后，产生的污泥经车辆运输到不同污泥处理处置场所进行最终处置。其中，未收集、未处理和出水涉及的污水排放以及采用其他处置方式的污泥排放，由于不可控性较强或占比较小，故未涵盖在核算范围内。



注：本报告核算边界为绿色标记部分，包括城镇污水收集与处理全过程的大部分环节；灰色标记部分代表未收集、未处理和出水涉及的污水排放以及采用其他处置方式的污泥排放，由于不可控性较强或占比较小，故未涵盖在核算范围内。

图 2.1 城镇污水处理碳排放核算边界

按照城镇污水处理碳排放核算边界，针对四个主要环节进行碳排放源识别，具体可以分为城镇污水和污泥处理产生的  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  直接排放以及城镇污水和污泥在运输及处理过程中消耗燃油燃气和电力导致的间接排放。在温室气体净排放核算过程中，主要考虑了污泥焚烧发电、土地利用、建材利用带来的碳抵消量。另外，由于生物源  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  进行核算，未包含生物源造成的  $\text{CO}_2$  排放。

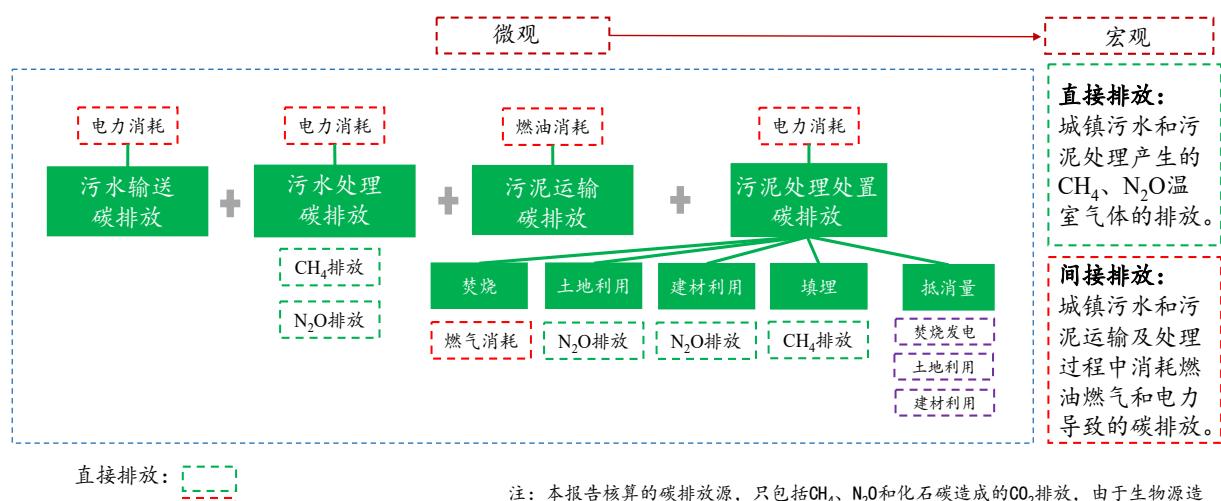


图 2.2 城镇污水处理全过程碳排放源识别

- ▶ 土地利用量指将处理后的污泥作为肥料或土壤改良材料，用于园林绿化或农业等场合的处置方式处置的污泥质量。
- ▶ 填埋处置量指采取工程措施将处理后的污泥集中堆、填埋于场地内的安全处置方式处置的污泥质量。
- ▶ 建筑材料利用量指将处理后的污泥作为制作建筑材料的部分原料的处置方式处置的污泥质量。
- ▶ 焚烧处置量指利用焚烧炉使污泥完全矿化为少量灰烬的处置方式处置的污泥质量。



## 2.2 城镇污水处理碳排放测算框架

基于本报告城镇污水处理碳排放核算边界，城镇污水处理全过程碳排放总量包括污水输送碳排放、污水处理碳排放、污泥运输碳排放和污泥处理处置碳排放四部分，其净排放需要扣除碳抵消量。具体测算框架如图 2.3 所示。

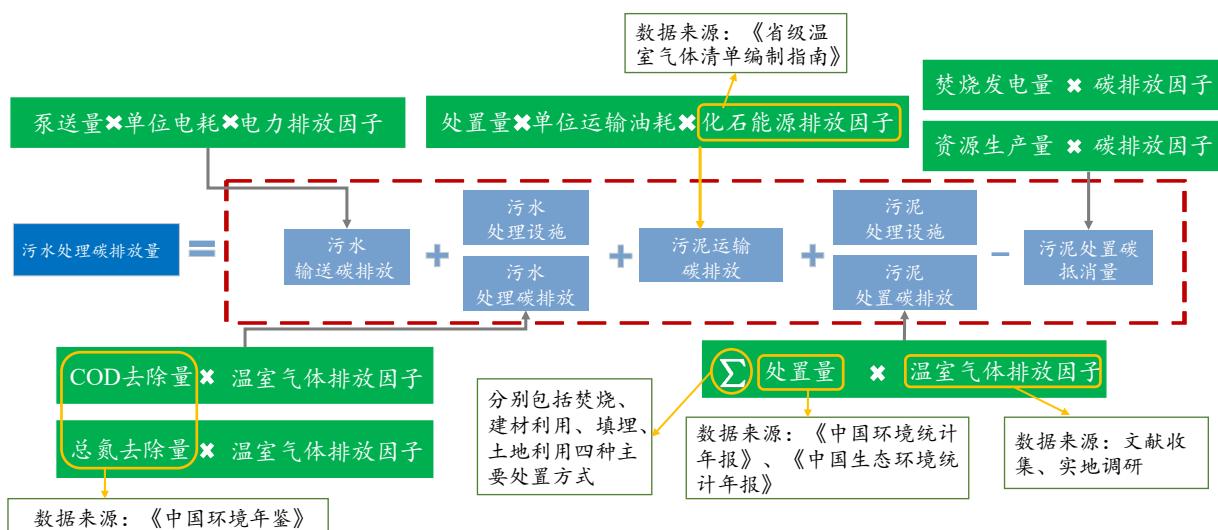


图 2.3 城镇污水处理碳排放测算框架

- ▶ **污水输送碳排放**根据污水实际处理量、泵送比例、单位泵送电耗以及电力排放因子进行计算。其中污水实际处理量数据来源于《中国环境年鉴》，泵送比例及单位泵送电耗依据文献收集取全国均值，电力排放因子取区域电网排放因子。
- ▶ **污水处理碳排放**根据化学需氧量和总氮去除量及相应温室气体排放因子进行计算，污水处理设施碳排放根据化学需氧量去除量及单位去除量电耗计算。其中化学需氧量和总氮去除量数据来源于《中国环境年鉴》，温室气体排放因子主要依据文献收集获得，单位去除量电耗依据文献收集取全国均值。
- ▶ **污泥运输碳排放**根据污泥处置量、单位污泥运输油耗及化石能源排放因子进行计算。其中污泥处置量数据来源于《中国环境统计年报》和《中国生态环境统计年报》，单位污泥运输油耗依据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》。

- ▶ 污泥处理碳排放根据采用焚烧、建材利用、填埋以及土地利用四种主要处置方式的污泥处置量及相应温室气体排放因子计算得到，污泥处理设施碳排放根据不同处置方式污泥处置量及单位污泥处理电耗进行计算。其中不同处置方式的处置量来源于《中国环境统计年报》和《中国生态环境统计年报》，温室气体排放因子结合《IPCC 指南》和文献收集得到，单位污泥处理电耗依据文献收集取全国均值。
- ▶ 污泥处置焚烧发电碳抵消量根据污泥焚烧量、焚烧热值和发电效率进行计算，**建材利用**和**土地利用**碳抵消量分别根据相应处置量、原料替代比例及原料生产的排放因子获得。其中焚烧热值、发电效率、原料替代比例主要根据文献收集得到。



## 2.3 城镇污水处理碳排放测算公式

城镇污水处理全过程碳排放包括污水处理和污泥处理处置两大部分。结合《IPCC 指南》和《省级温室气体清单编制指南》，根据以去除量为活动数据的污水处理碳排放计算方法，主要测算公式如下：

$$E_{swg-CH_4} = (COD_{removed} \times EF_1) - R$$

$$E_{swg-N_2O} = TN_{removed} \times EF_2$$

其中， $E_{swg-CH_4}$ 是污水处理过程产生的甲烷排放量， $COD_{removed}$ 是化学需氧量去除量， $EF_1$ 是污水处理甲烷排放因子， $R$ 是甲烷回收量，由于中国城镇污水处理厂目前没有大规模的甲烷回收，默认取 0。 $E_{swg-N_2O}$ 是污水处理过程产生的 $N_2O$ 排放量， $TN_{removed}$ 是总氮去除量， $EF_2$ 是污水处理氧化亚氮排放因子；

污泥处理处置主要分为土地利用、填埋、建材利用、焚烧四种方式，其中污泥焚烧主要是生物源  $CO_2$  排放，故只核算污泥焚烧加入助燃剂所产生的化石  $CO_2$  排放，主要测算公式如下：

### (1) 土地利用

$$E_{LD-N_2O} = MSS_{LD} \times EF_3$$

其中， $E_{LD-N_2O}$ 是污泥土地利用产生的氧化亚氮排放量， $MSS_{LD}$ 是污泥土地利用处置量， $EF_3$ 是污泥土地利用排放因子。

### (2) 填埋

$$E_{LF-CH_4} = MSS_{LF} \times MCF_1 \times DOC \times DOC_F \times \frac{16}{12} \times (1 - R_1) \times (1 - OX)$$

其中， $E_{LF-CH_4}$ 是污泥填埋产生的甲烷排放量， $MSS_{LF}$ 是污泥填埋处置量， $MCF_1$ 是 $CH_4$ 产生量修正因子， $DOC$ 为污泥中可分解有机碳含量， $DOC_F$ 是可分解为甲烷的 $DOC$ 比例， $\frac{16}{12}$ 为 $CH_4$ 与 C 的相对分子质量之比， $R_1$ 是甲烷回收量，由于中国城镇污水处理厂目前没有大规模的甲烷回收，默认取 0， $OX$ 为甲烷氧化因子。

### (3) 建材利用

$$E_{BM-N_2O} = MSS_{BM} \times EF_4$$

其中， $E_{BM-N_2O}$ 是污泥建筑利用产生的氧化亚氮排放量， $MSS_{BM}$ 是污泥建筑利用处置量， $EF_4$ 是污泥建材利用排放因子。

#### (4) 焚烧

$$E_{Inc-CO_2} = MSS_{Inc} \times \delta \times EF_5$$

其中,  $E_{Inc-CO_2}$ 是污泥焚烧产生的化石二氧化碳量,  $MSS_{Inc}$ 是污泥焚烧处置量,  $\delta$ 是单位污泥焚烧消耗辅助燃料量,  $EF_5$ 是辅助燃料的碳排放因子。

**污泥处理处置的减排方式**主要包括焚烧发电、建材利用和土地利用三种方式, 碳抵消量的主要测算公式如下:

#### (1) 焚烧发电

$$E_{Ele-Inc} = MSS_{Inc} \times \frac{(Q_{Average} - Q_{loss})}{3600 \text{ kJ/kWh}} \times w_{CHP} \times EF_{Ele}$$

其中,  $E_{Ele-Inc}$ 是污泥焚烧发电产生的碳抵消量,  $MSS_{Inc}$ 是污泥焚烧处置量,  $Q_{Average}$ 是污泥平均热值,  $Q_{loss}$ 是能量损失,  $w_{CHP}$ 是热电联产发电效率,  $EF_{Ele}$ 是电力排放因子。

#### (2) 建材利用 (主要是制砖或水泥)

$$E_{BMC} = MSS_{BM} \times \alpha \times EF_{BM}$$

其中,  $E_{BMC}$ 是污泥建材利用产生的碳抵消量,  $MSS_{BM}$ 是污泥建材利用处置量,  $\alpha$ 是单位处置建材生产量,  $EF_{BM}$ 是建材生产排放因子。

#### (3) 土地利用 (主要是生产氮肥或磷肥)

$$E_{CFC} = MSS_{LD} \times \beta \times EF_{CF}$$

其中,  $E_{CFC}$ 是污泥土地利用产生的碳抵消量,  $MSS_{LD}$ 是污泥土地利用处置量,  $\beta$ 是单位处置化肥生产量,  $EF_{CF}$ 是化肥生产排放因子。

# 3 全国城镇污水处理 碳排放数据分析

## 3. 1 全国城镇污水处理全过程碳排放现状

### (1) 2020 年全国城镇污水处理全过程碳排放现状

2020 年全国城镇污水处理全过程碳排放量 **3416.0** 万 tCO<sub>2</sub>-eq， 碳抵消量 **769.1** 万 tCO<sub>2</sub>-eq， 净排放量 **2646.9** 万 tCO<sub>2</sub>-eq， 其中：

- 直接排放为 **1522.1** 万 tCO<sub>2</sub>-eq (CH<sub>4</sub> 排放 **665.3** 万 tCO<sub>2</sub>-eq， N<sub>2</sub>O 排放为 **856.8** 万 tCO<sub>2</sub>-eq)， 占比 45%；间接排放为 **1893.9** 万 t，占比 55%。
- 污水处理排放为 **2462.4** 万 tCO<sub>2</sub>-eq， 污泥处理处置排放为 **953.6** 万 tCO<sub>2</sub>-eq， 大约比例为 7:3。
- 按照处理过程、设备能耗和运输划分，污水处理三部分各占比为 33.5%、63.3% 和 3.2%；污泥处理处置三部分各占比为 73.1%、26.0% 和 0.9%。

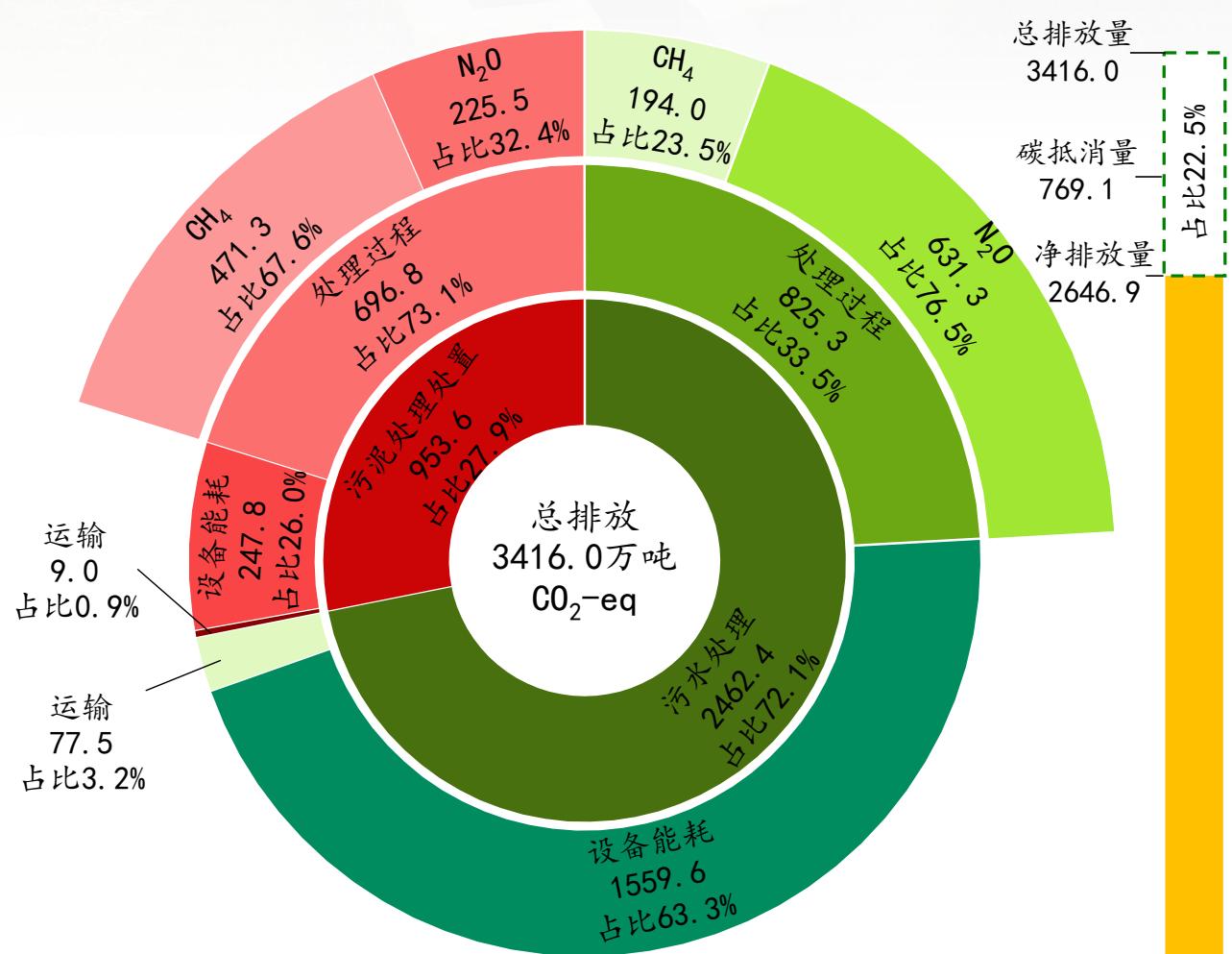


图 3.1 2020 年全国城镇污水处理全过程碳排放 (单位: 万  $\text{tCO}_2\text{-eq}$ )

## (2) 2020 年全国城镇污水处理全过程碳排放强度

2020 年全国城镇污水处理全过程总排放强度为 **4.32tCO<sub>2</sub>-eq/万 t**；净排放强度为 **3.35tCO<sub>2</sub>-eq/万 t**；

以污水实际处理量为单位计算，污水处理总（净）排放强度为 **3.11tCO<sub>2</sub>-eq/万 t**；

以污水实际处理量为单位计算，污泥处理处置总排放强度为 **1.21tCO<sub>2</sub>-eq/万 t**；净排放强度为 **0.23tCO<sub>2</sub>-eq/万 t**；以污泥处理处置量为单位计算，污泥处理处置总排放强度为 **0.28tCO<sub>2</sub>-eq/t**；净排放强度为 **0.05tCO<sub>2</sub>-eq/t**。

表 3.1 2020 年全国城镇污水处理分气体排放强度

类别	去除量 (万 t)	排放强度
COD	1739.5	0.004 kgCH <sub>4</sub> /kg
总氮	200.2	0.011 kgN <sub>2</sub> O/kg
全国		<b>3.11 t CO<sub>2</sub>-eq/万 t</b>

表 3.2 2020 年全国城镇污泥处理分处理方式排放强度

类别	处理量占比 (%)	净排放强度 (t CO <sub>2</sub> -eq/t)	总排放强度 (t CO <sub>2</sub> -eq/t)
土地利用	29.3	-0.25	0.14
填埋处置	21.9	0.62	0.62
建材利用	16.7	0.33	0.35
焚烧处置	32.1	-0.21	0.07
全国		<b>0.05</b>	<b>0.28</b>

注：污水处理分气体排放强度计算参考 Wang D, Ye W, Wu G, 等. Greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment facilities in China from 2006 to 2019[J]. Scientific Data, 2022, 9(1): 317.

## 3.2 全国城镇污水处理及全过程碳排放变化趋势

### 3.2.1 全国城镇污水处理及碳排放变化趋势

#### (1) 全国城镇污水处理变化趋势

全国城镇污水实际处理量呈现逐年增加的上升趋势，从 2011 年的 **402.9** 亿 t 增长至 2020 年的 **791.0** 亿 t，年均增速 **7.78%**。COD 去除量和总氮去除量与城镇污水实际处理量具有较强的正相关关系，但在 2020 年有所下降，主要是因为受到新冠疫情的影响。

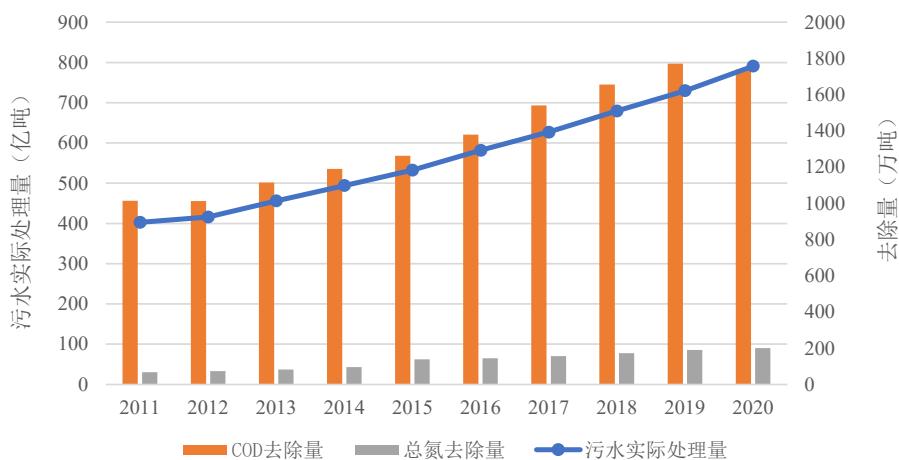


图 3.2 全国城镇污水处理及去除量变化趋势

#### (2) 全国城镇污水处理碳排放变化趋势

全国城镇污水直接排放和间接排放总体均呈现增长趋势，间接排放大于直接排放。总排放从 2011 年的 **1374.6** 万 t 增长至 2020 年的 **2462.4** 万 t，年均增速 **6.69%**，其中直接和间接排放分别增加 1.81 和 1.78 倍。

由于处理工艺的改进及出水标准的提高，全国城镇污水碳排放强度呈波动变化，有轻微下降趋势。

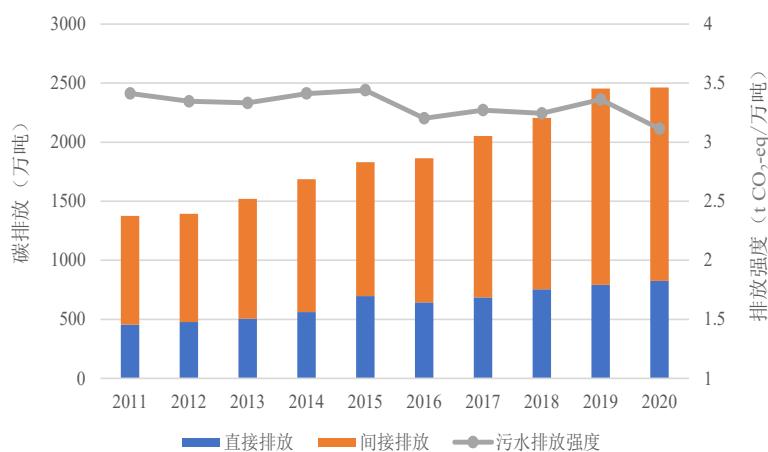


图 3.3 全国城镇污水碳排放及排放强度变化趋势

### (3) 全国城镇污水处理排放强度变化趋势

全国城镇污水单位 GDP 碳排放呈现逐年下降，与单位 GDP 污水处理量变化趋势基本一致；人均碳排放呈现逐年上升，与人均污水处理量变化趋势基本一致。

2020 年单位 GDP 污水处理量上升主要是由于疫情影响，污水处理量增速大于 GDP 增速；但是 2020 年 COD 去处理量较 2019 年出现下降，导致单位 GDP 污水碳排放和人均污水碳排放均出现明显降低。

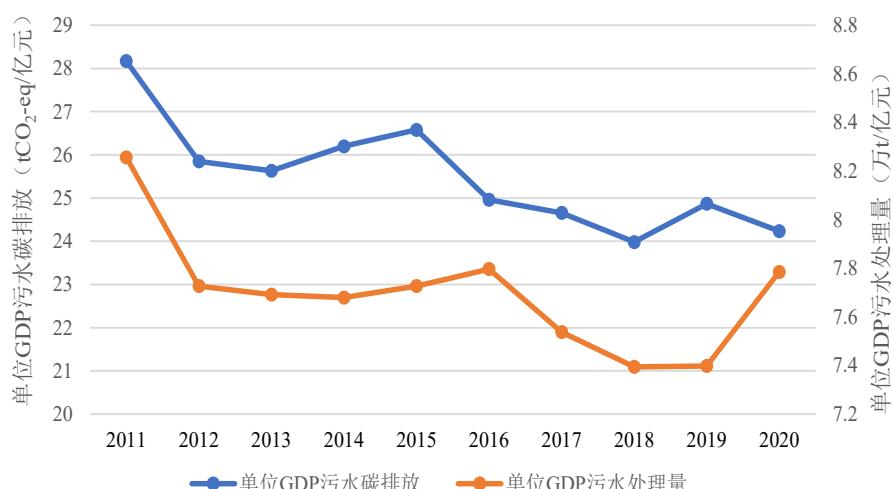


图 3.4 全国城镇污水单位 GDP 处理量及排放强度变化趋势

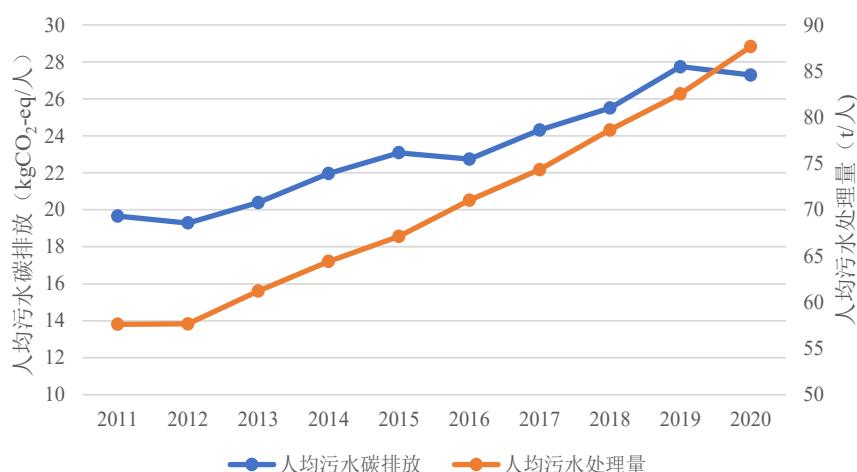


图 3.5 全国城镇污水人均处理量及排放强度变化趋势

### 3.2.2 全国城镇污泥处理处置及碳排放变化趋势

#### (1) 全国城镇污泥处理处置变化趋势

全国城镇污泥处置量总体呈现上升趋势，从2011年的2241.5万t增长到2020年的3466.7万t，年均增速4.96%。按照不同处置方式划分，2011—2020年污泥填埋占比从56.03%下降到21.91%；相应地，污泥综合利用比例从43.9%提高到78.09%。其中焚烧处置占比在2018年超过填埋处置成为占比最大的污泥处置方式。

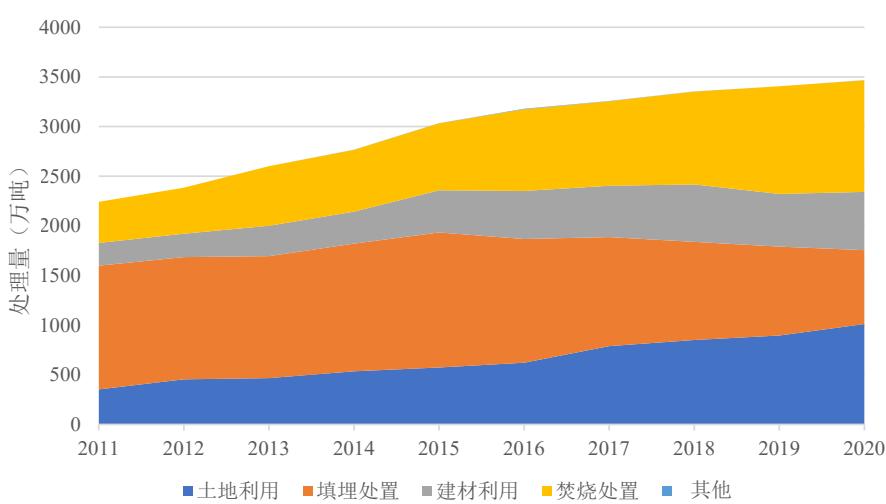


图3.6 全国城镇污泥处理处置变化趋势

#### (2) 全国城镇污泥处理处置碳排放变化趋势

全国城镇污泥处理处置总排放在2015年达到峰值，达到1237.7万tCO<sub>2</sub>，后呈现逐年下降趋势。由于焚烧和土地利用等处置方式增加，抵消量也呈现逐年增加趋势，从2011年的303.9万tCO<sub>2</sub>增长到2020年的769.1万tCO<sub>2</sub>。

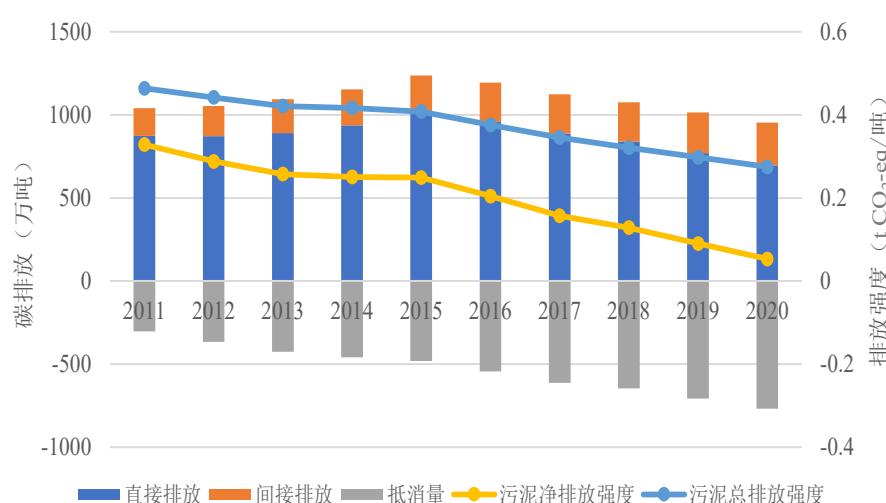


图3.7 全国城镇污泥碳排放及排放强度变化趋势

由于污泥处理结构优化，全国城镇污泥处理处置净排放强度和总排放强度均呈现逐年下降趋势。其中总排放强度从 2011 年的 **0.46tCO<sub>2</sub>-eq/ 吨** 下降到 2020 年的 **0.28tCO<sub>2</sub>-eq/ 吨**，净排放强度从 2011 年的 **0.33tCO<sub>2</sub>-eq/ 吨** 下降到 2020 年的 **0.05tCO<sub>2</sub>-eq/ 吨**。

### (3) 全国城镇污泥处理处置碳排放强度变化趋势

全国城镇污泥单位 GDP 碳排放呈现逐年下降，与单位 GDP 污泥产生量变化趋势基本一致；人均碳排放和人均污泥产生量在 2015 年前均呈现上升趋势，2015 年后人均碳排放逐年下降，人均污泥产生量变化趋于平稳。

由于污泥减量化技术的应用，人均污泥产生量变化由上升逐渐变为平稳；在此基础上污泥处理结构持续优化，焚烧和土地利用等方式应用，人均污泥碳排放在 2015 年后逐年下降。

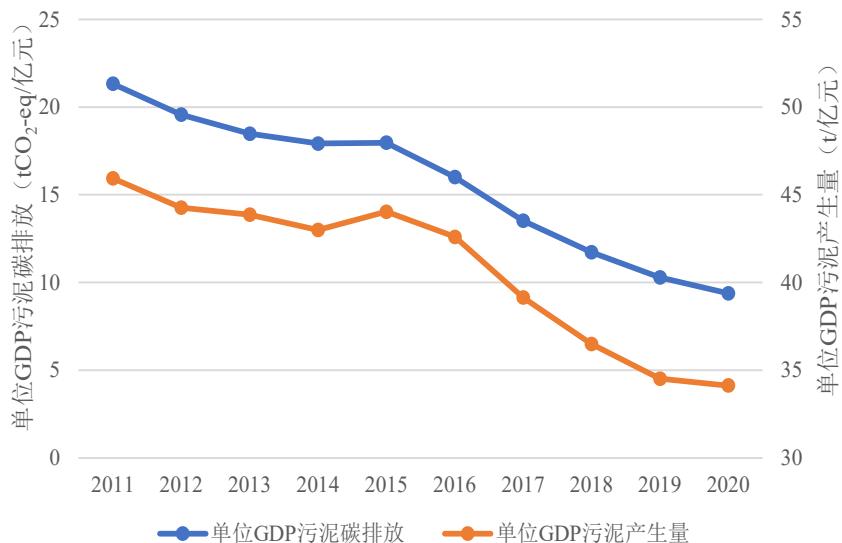


图 3.8 全国城镇污泥单位 GDP 产生量及排放强度变化趋势

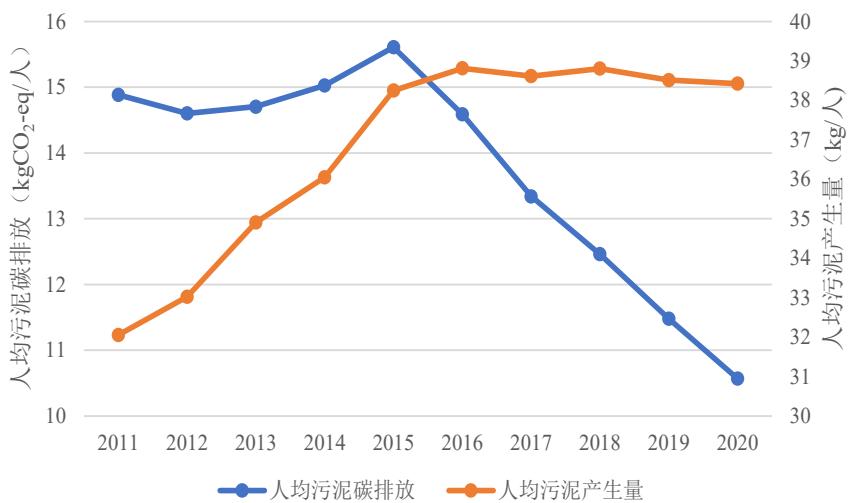


图 3.9 全国城镇污泥人均产生量及排放强度变化趋势

### 3.3 全国城镇污水处理全过程碳排放影响因素分析

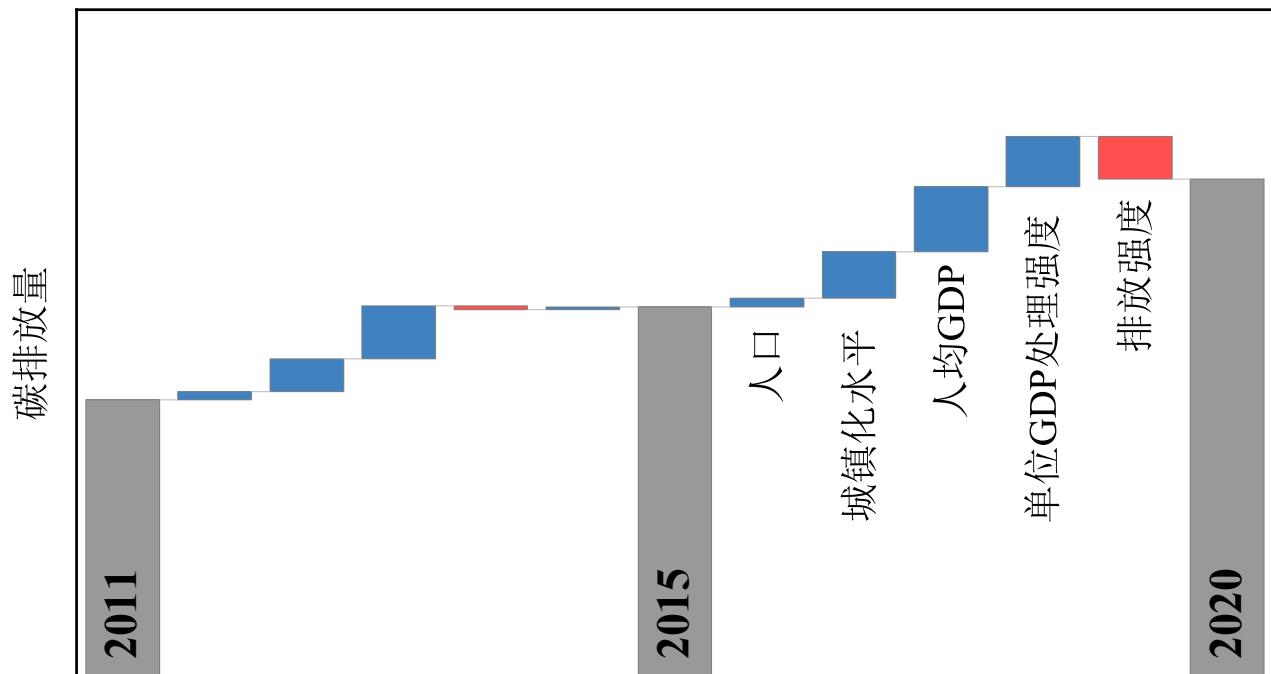
LMDI 分解结果表明，2011–2020 年，人均 GDP 增长和城镇化水平提升是全国城镇污水处理全过程碳排放增长的主要促增因素，分别造成 931.1 万 tCO<sub>2</sub>-eq 和 624.1 万 tCO<sub>2</sub>-eq 增加。同时人口规模增长驱动全国城镇污水年排放逐年增加，驱动污水处理需求快速增长，导致 134.6 万 tCO<sub>2</sub>-eq 增加。2011–2015 年期间，单位 GDP 污水处理强度对全国污水处理碳排放影响微弱，仅导致 18.6 万 tCO<sub>2</sub>-eq 减少。但 2015 年后，我国污水处理厂建设不断加快，污水处理能力日渐增强，污水年处理量、污水处理率也随之持续增长，污水处理强度提高也是排放增长的重要驱动因素，导致 249.9 万 tCO<sub>2</sub>-eq 增加。

由于新环境法的颁布和实施，对污水处理要求的深度和广度都大幅增加，污水处理厂通常采取污泥减量化技术来减少污水处理过程中的剩余污泥量，进而导致单位 GDP 污泥处理强度的下降，2011–2020 共造成 144.3 万 tCO<sub>2</sub>-eq 减少。

污水处理行业通过采用厂网一体化调控、智能控制（泵站智能编组、精准曝气等）、设备能效提升（更新高能效设备）、优化污泥处置结构（采用焚烧、土地利用等）等方法改变技术路线和运行模式，来降低污水、污泥处理的碳排放强度，使生活污水碳排放强度成为减少城镇污水处理全过程碳排放的推动力，虽然其远不足以消除中国城镇化水平、经济水平增长对排放总量增长的压力，但仍然带来了可观的 776.3 万 tCO<sub>2</sub>-eq 减少。



## (1) 城镇污水处理碳排放驱动因素分解



## (2) 城镇污泥处理处置碳排放驱动因素分解

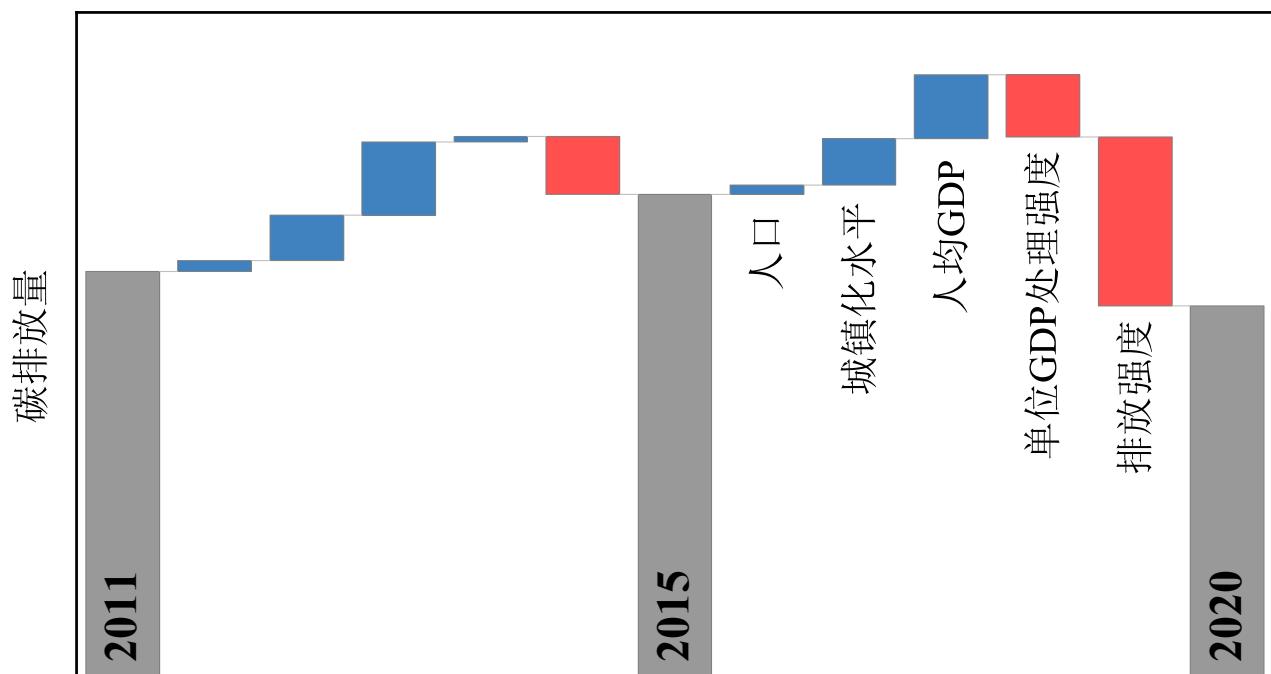


图 3. 10 中国城镇污泥处理处置碳排放驱动因素分解

# 4 分省城镇污水处理碳排放数据分析

## 4.1 分省城镇污水处理及全过程碳排放现状

### 4.1.1 分省城镇污水全过程处理现状

#### (1) 2020 年分省城镇污水处理现状

分省污水实际处理量呈现由沿海向内陆地区递减趋势，COD 和总氮去除量与污水实际处理量具有较强正相关性：

- **华北、华东和华南**大部分发达地区城镇污水实际处理量大，COD 去除量和总氮去除量偏高。西北、西南、华北、东北等地区城镇污水实际处理量小，COD 去除量和总氮去除量偏低。
- 城镇污水实际处理量排名前五的省份依次为**广东、江苏、山东、浙江、河南**，约占全国城镇污水处理总量的 **40.6%**，这与这些地区的人口或经济规模较大有关。

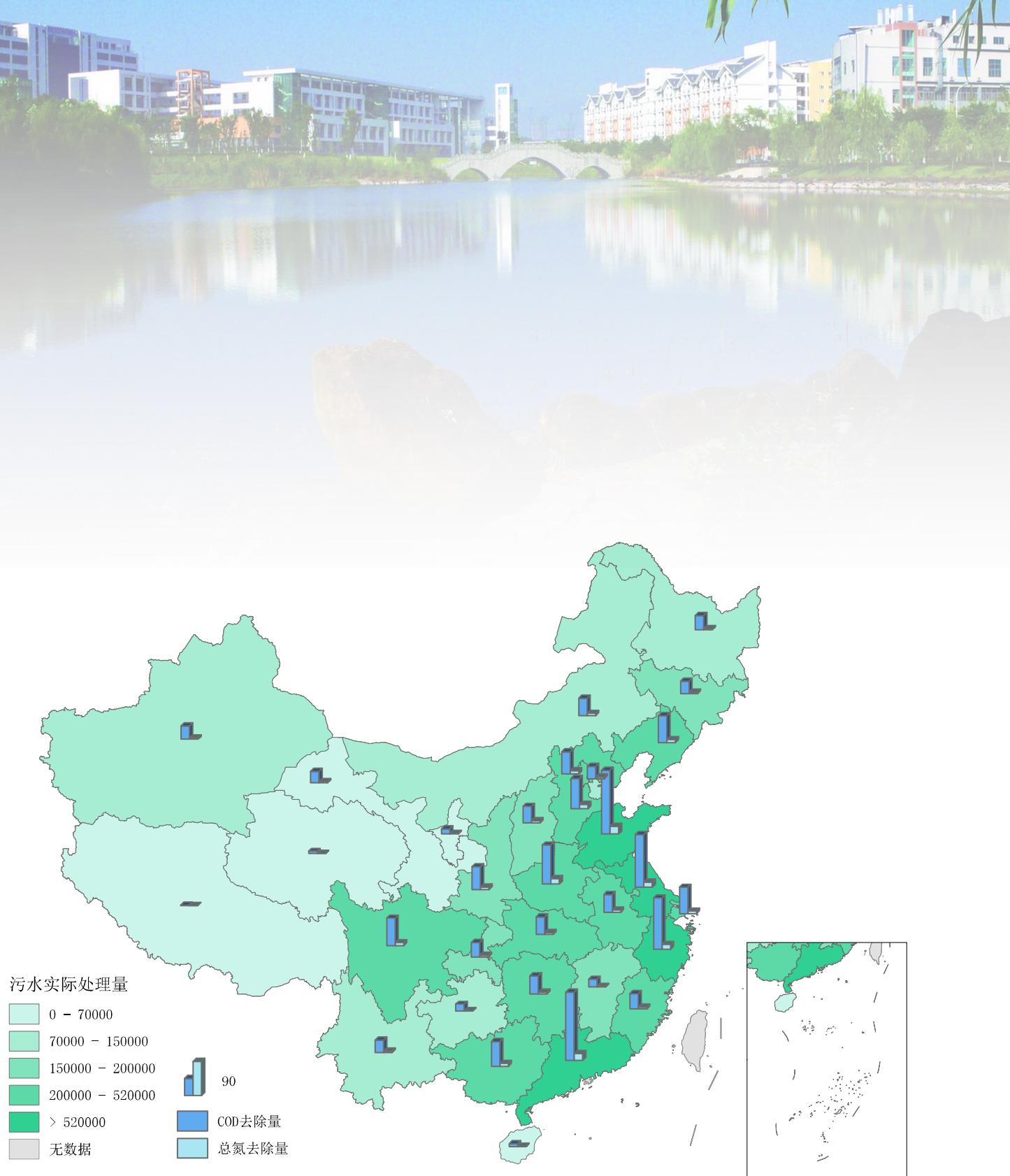


图 4.1 2020 年分省城镇污水处理及去除量 (单位: 万 t)

## (2) 2020 年分省城镇污泥处理处置现状

分省污泥实际处理量也呈现由沿海向内陆地区递减趋势，与分省污水实际处理量变化基本一致：

- 不同地区污泥处理处置方式存在差异，华东和华南等大部分发达地区以焚烧为主，华中、华北等地区以土地利用为主，东北、西南、西北等地区以填埋处置为主。
- 城镇污泥实际处置量排名前五的省份依次为江苏、浙江、山东、广东、河南，均超过 200 万吨，约占全国污泥产生量的 43.3%，这与这些地区的污水实际处理量较大有关。

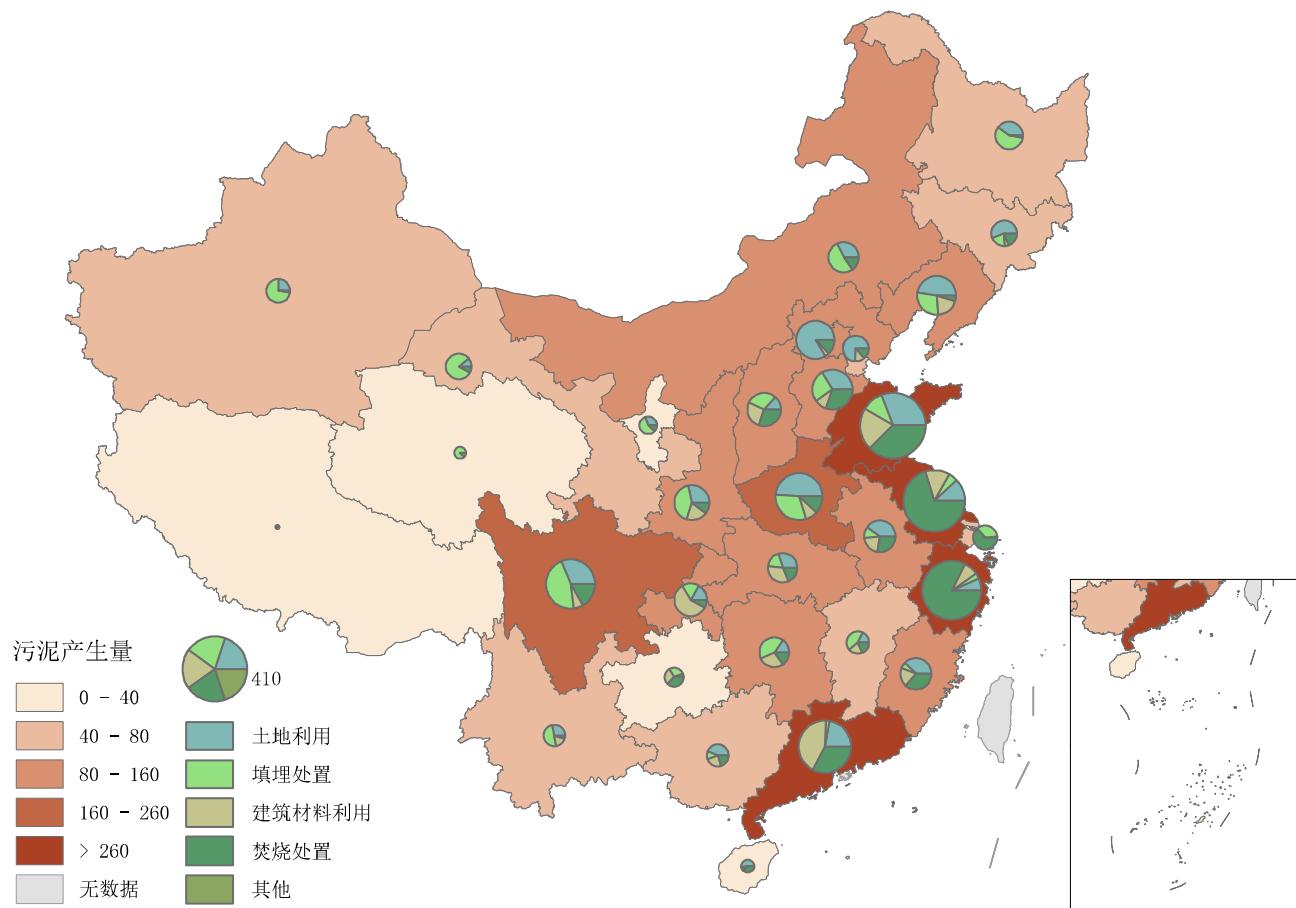


图 4.2 2020 年分省城镇污泥产生及处理处置量 (单位: 万 t)

#### 4.1.2 分省城镇污水处理全过程碳排放现状

2020年分省城镇污水处理全过程碳排放差异明显，主要是由于城镇污水和污泥处理量及处理方式造成：

- ▶ 净排放排名前五的省份依次为 广东、山东、江苏、辽宁和河北，约占全国城镇污水处理全过程净排放总量的 **33.5%**；排名后三的省份依次为西藏、海南和青海，其净排放量均不足 **20** 万 tCO<sub>2</sub>-eq。
- ▶ 碳抵消量贡献前三的省份依次为江苏、浙江、山东，均超过 **80** 万 tCO<sub>2</sub>-eq，这主要与污泥处理处置方式有关，上述地区多采取焚烧或土地利用的方式。

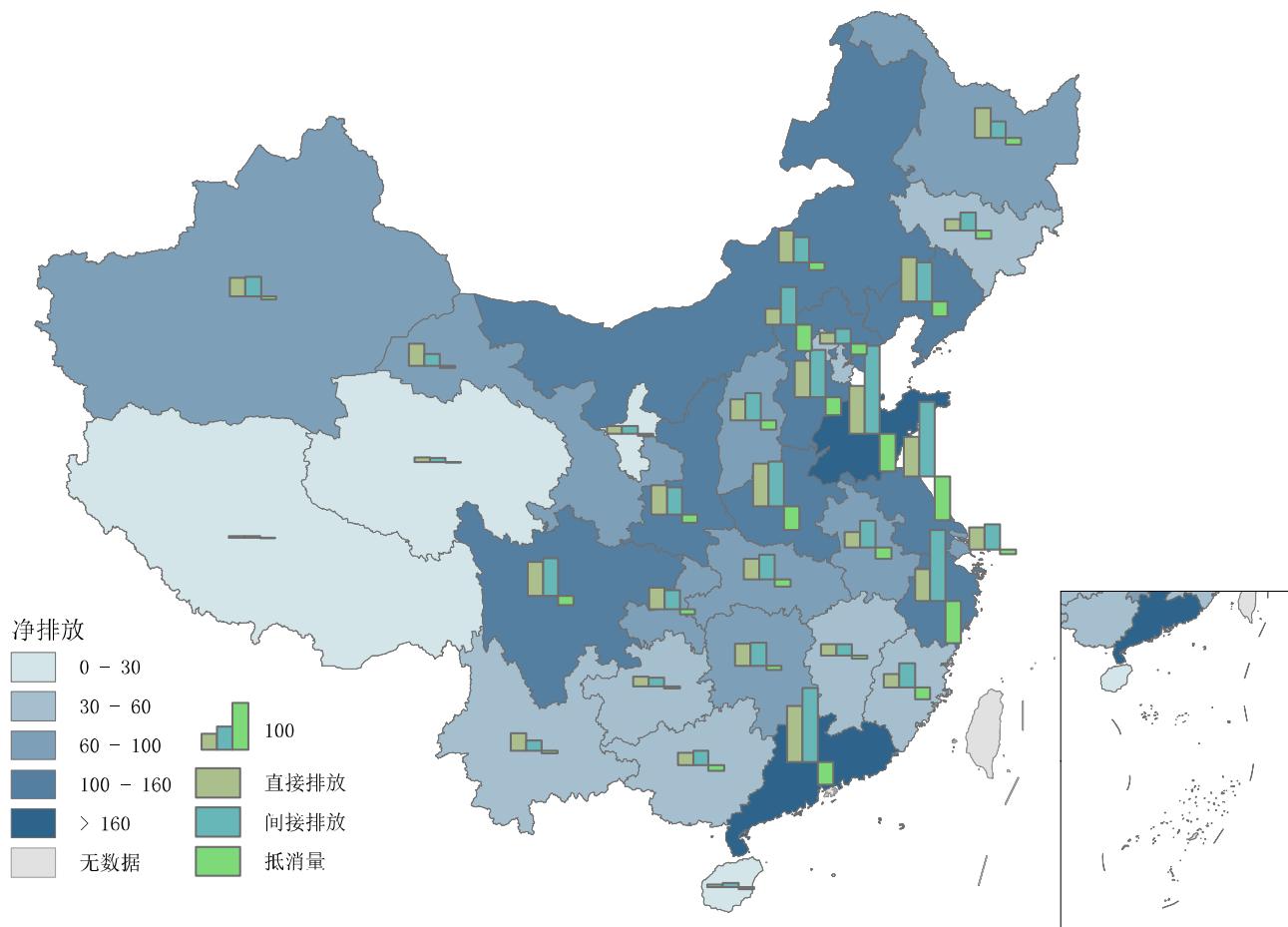


图 4.3 2020 年分省城镇污水处理全过程碳排放 (单位: 万 tCO<sub>2</sub>-eq)

### 4.1.3 分省城镇污水处理全过程碳排放强度比较

对于全国城镇污水处理全过程碳排放，单位 GDP 排放强度排名前三的地区依次为宁夏、甘肃和黑龙江，后三位的依次为福建、江西和贵州；人均排放强度排名前三的地区依次为内蒙古、宁夏和北京，后三位的依次为江西、贵州和广西，这主要受到城镇人口、经济规模以及污泥处理方式的影响。

无论是单位 GDP 排放强度还是人均排放强度，污水处理都要高于污泥处理处置。污水处理排放强度主要取决于采用的不同处理工艺，污泥处理处置排放强度取决于采用的不同处理处置方式。

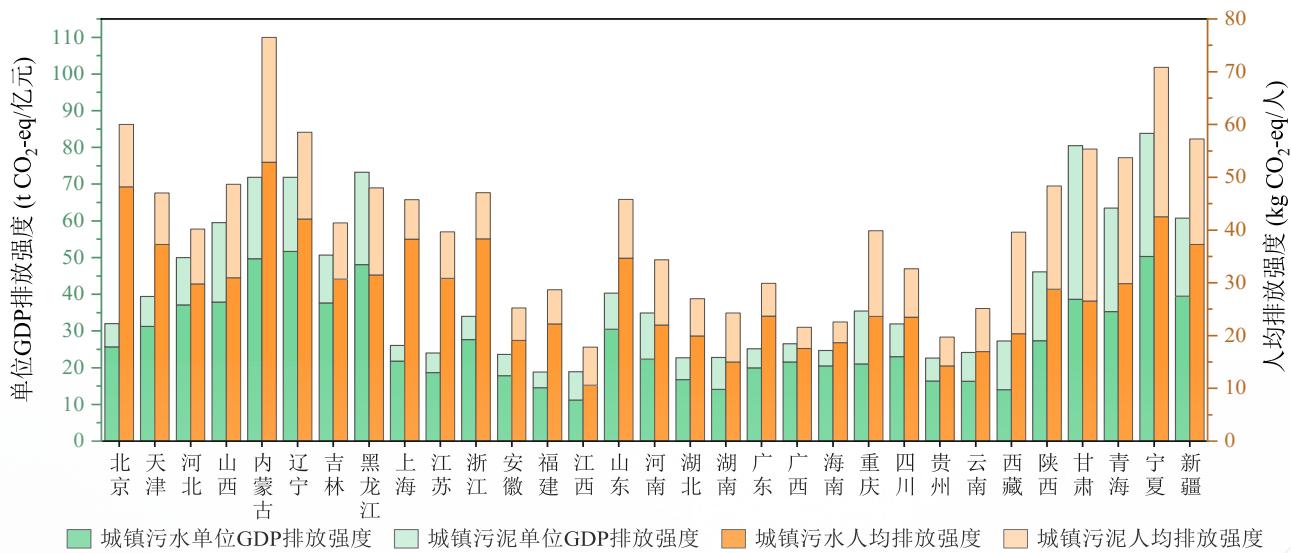


图 4.4 2020 年分省城镇污水处理全过程碳排放强度比较



## 4.2 分省城镇污水处理全过程碳排放变化趋势

各省市城镇污水处理全过程碳排放变化趋势如图 4.6 所示。由于生活习惯、经济水平等因素影响，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。另外，受到新冠疫情影晌，大部分省市在 2020 年都有不同程度的下降。

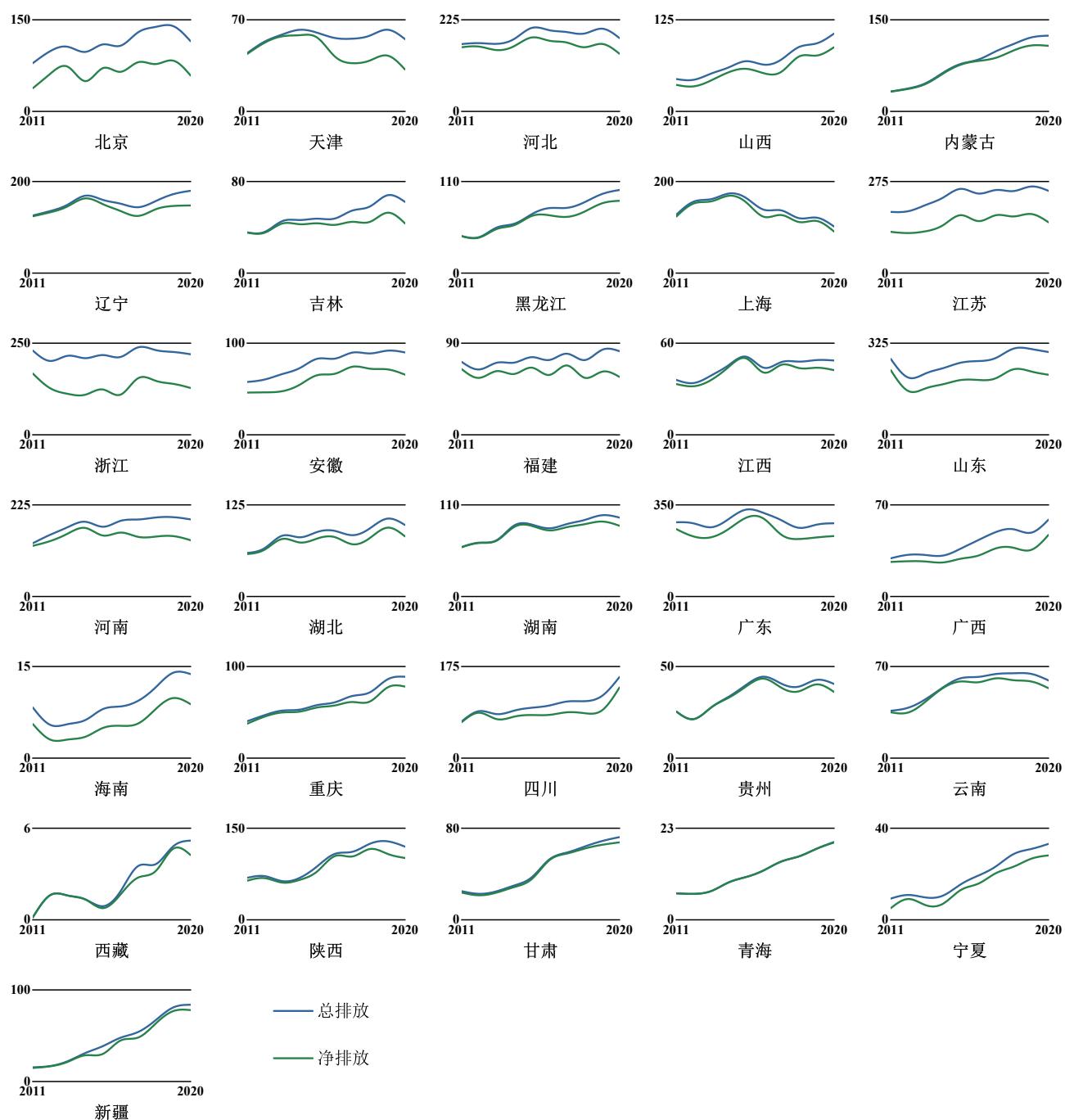


图 4.5 全国分省城镇污水处理全过程碳排放变化趋势（单位：万 tCO<sub>2</sub>-eq）

## 4.3 分省城镇污水处理碳排放与社会经济因素的相关性

分省城镇污水处理全过程碳排放与地区 GDP、城镇人口、居民生活用水总量和污水处理厂涉及处理能力四个因素都具有较强的正相关关系。

分省城镇污水处理全过程碳排放与城镇人口的相关性最强，相关性系数为 0.79；与居民生活用水总量的相关性稍弱，相关性系数为 0.52。

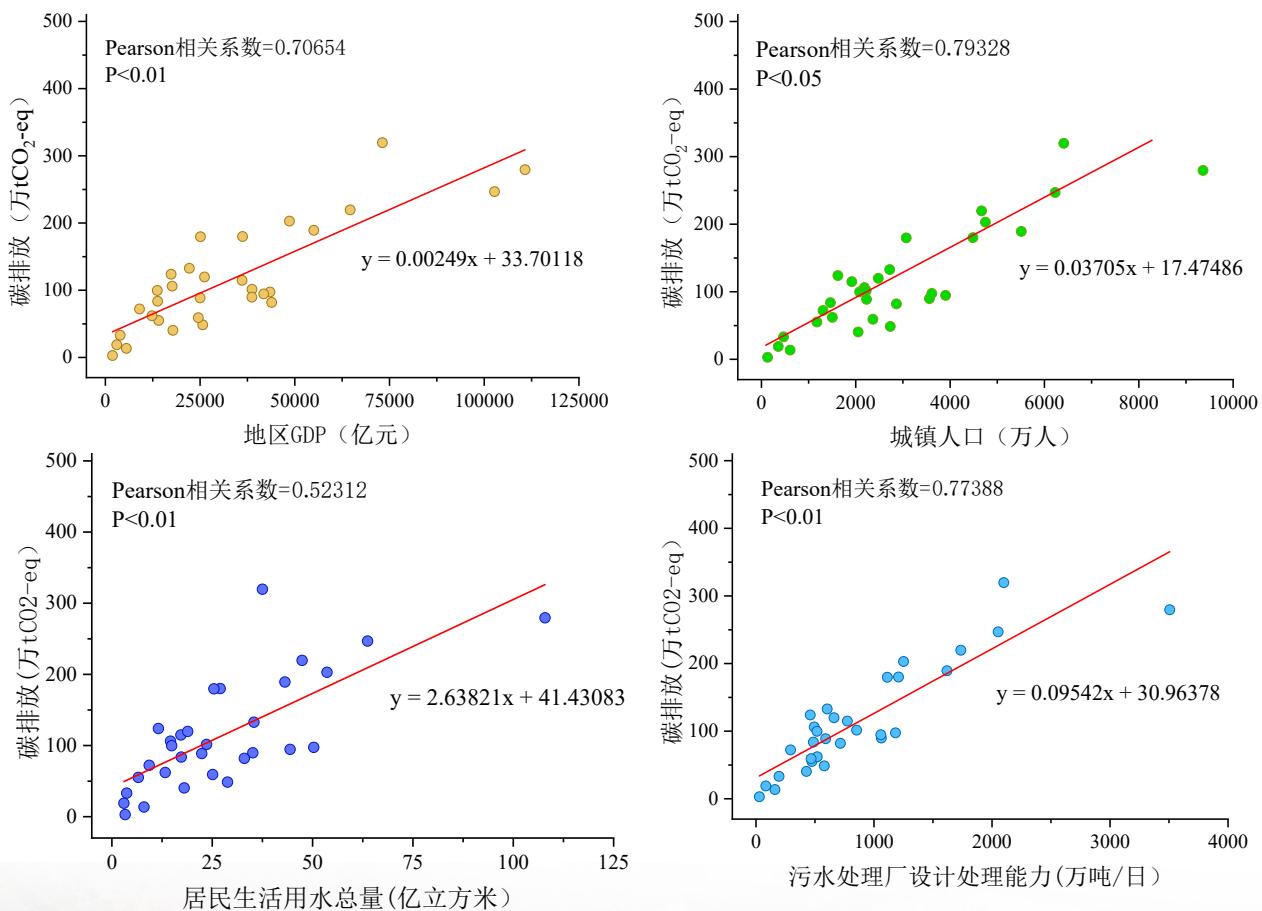


图 4.6 分省城镇污水处理碳排放与社会经济因素的相关性



# 5

## 新冠疫情对 2020 年城镇污水处理全过程碳排放影响分析

### 5.1 新新冠疫情对 2020 年全国城镇污水处理全过程碳排放影响

- ▶ 全国城镇污水处理全过程碳排放总体上呈增长趋势，增长率基本维持在 3%-8% 左右，2016 年出现负向波动，主要是由于污泥焚烧处理方式出现较大幅度增长造成。在 2020 年，由于新冠疫情影，出现较大程度下降，下降比例为 **1.52%**。
- ▶ 按照历史增长趋势推算，未发生新冠疫情情况下，全国城镇污水处理全过程碳排放在 2020 年预计达到 **3601.8** 万 tCO<sub>2</sub>-eq，较往年增长率为 **3.87%**。
- ▶ 与 2020 年实际碳排放数据相比，差值为 **133.2** 万 tCO<sub>2</sub>-eq，占 2020 年实际碳排放的比例为 **3.90%**。

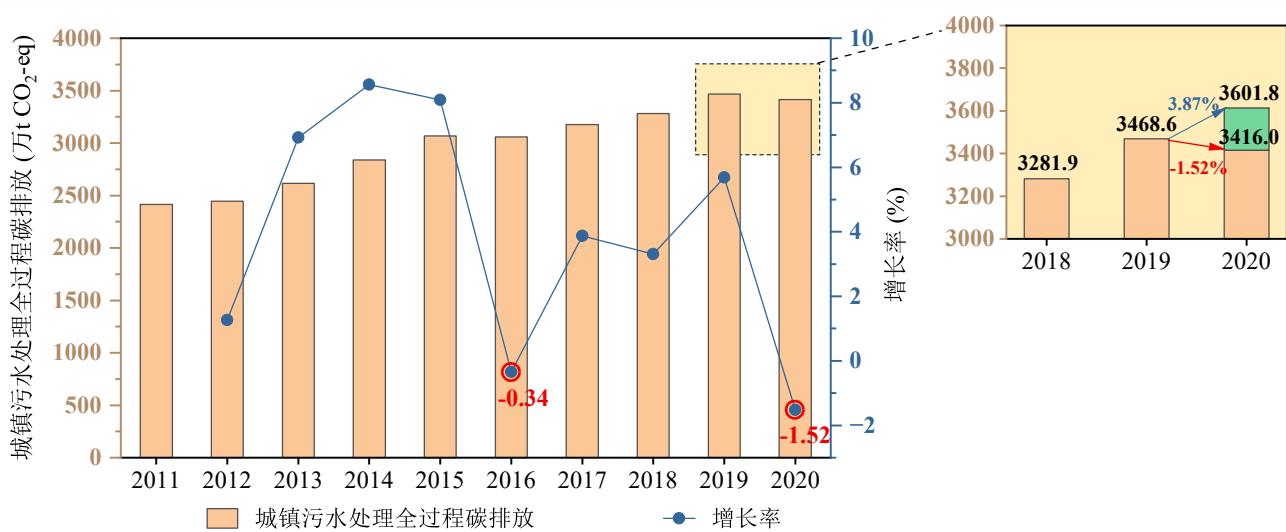


图 5.1 新冠疫情对全国城镇污水处理全过程碳排放影响

## 5.2 新冠疫情对 2020 年分省城镇污水处理全过程 碳排放影响

- ▶ 按照历史增长趋势推算，全国大部分地区城镇污水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，仅山西、广西、四川出现增长，除山西增长幅度不大外，广西主要是由于当年 COD 消减量出现较大程度增长，四川是由于当年污泥填埋处置出现大幅增长。
- ▶ 按照实际值与预测值的差值比较，北京、湖北、海南、上海是 2020 年新冠疫情影响最大的地区；按照差值占实际值的比例进行比较，这四个地区同样位于影响程度最大的前五名内。

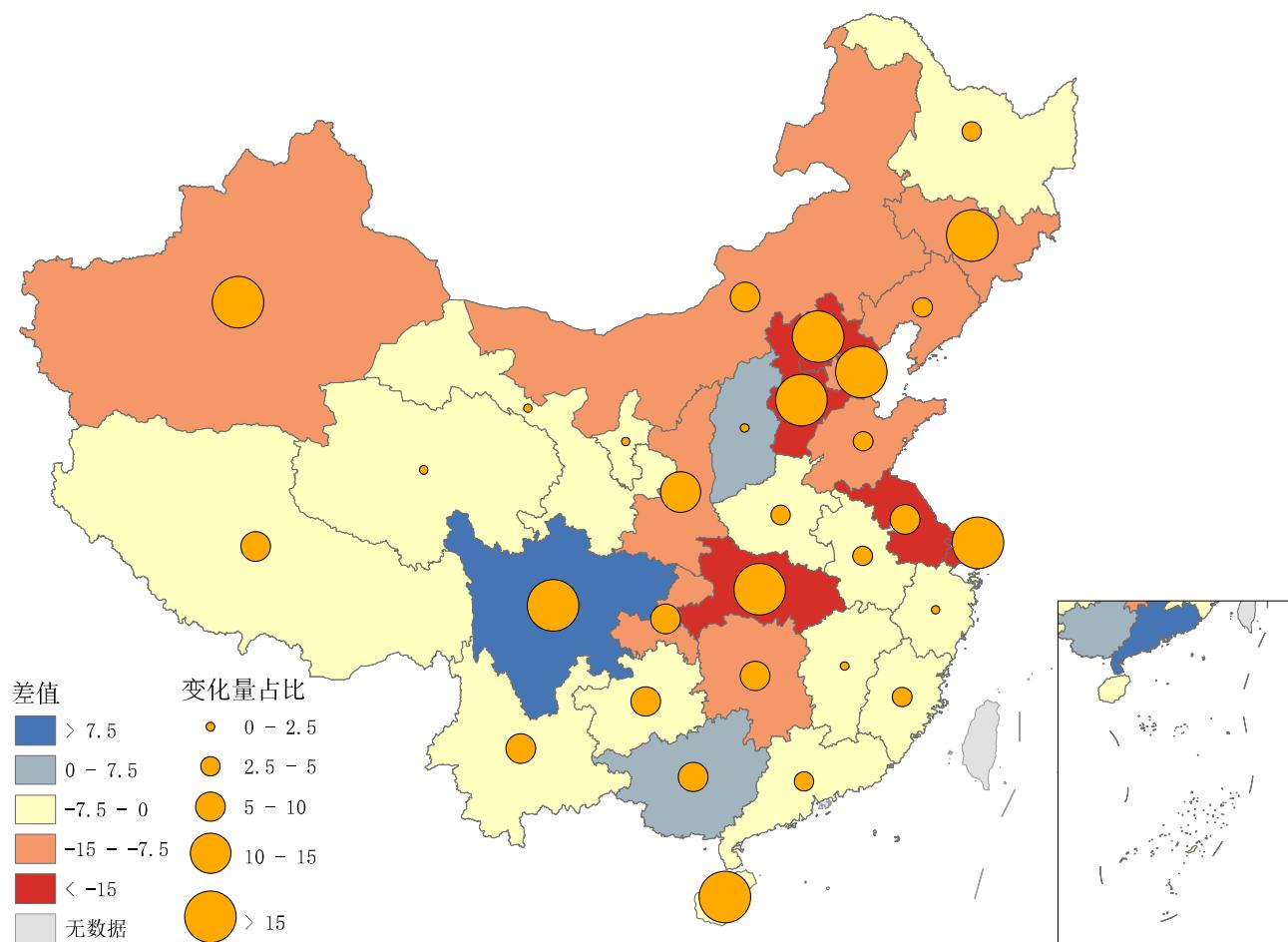


图 5.2 新冠疫情对分省城镇污水处理全过程碳排放影响（单位：万 tCO<sub>2</sub>-eq）

# 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镇污水处理行业，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，对中国城镇污水处理全过程碳排放进行全国及省级层面的多尺度核算，涵盖污水输送、污水处理、污泥运输和污泥处理处置等主要排放环节，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，还考虑了污泥焚烧发电、土地利用和建材利用所带来的碳抵消量。

2020 年全国城镇污水处理全过程碳排放总量为 **3416.0** 万 tCO<sub>2</sub>-eq，净排放量为 **2646.9** 万 tCO<sub>2</sub>-eq。由于城镇污水处理工艺的改进及出水标准的提高，全国城镇污水碳排放强度呈波动变化，有轻微下降趋势；由于城镇污泥处理结构优化，全国城镇污泥处理处置净排放强度和总排放强度均呈现逐年下降趋势。驱动因素分析的结果表明，排放强度是城镇污水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。由于生活习惯、经济水平等因素影响，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。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。

城镇污水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，要合理规划污水处理设施布局；选择合适的污水、污泥处理技术；推进城镇污水、污泥资源化利用。

## 参考文献

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

Wang D, Ye W, Wu G, et al. Greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment facilities in China from 2006 to 2019[J]. Scientific Data, 2022, 9(1): 317.

Du M, Zhu Q, Wang X, et al. Estimates and Predictions of Methane Emissions from Wastewater in China from 2000 to 2020[J]. Earth's Future, 2018, 6(2): 252–263.

Peng S, Piao S, Bousquet P, et al. Inventory of anthropogenic methane emissions in mainland China from 1980 to 2010[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, Copernicus GmbH, 2016, 16(22): 14545–14562.

Yan X, Qiu D, Zheng S, et al. Spatial and Temporal Distribution of Greenhouse Gas Emissions From Municipal Wastewater Treatment Plants in China From 2005 to 2014[J]. Earth's Future, 2019, 7(4): 340–350.

Zhao X, Jin X K, Guo W, et al. China's Urban Methane Emissions From Municipal Wastewater Treatment Plant[J]. Earth's Future, 2019, 7(4): 480–490.

Liu B, Wei Q, Zhang B, et al. Life cycle GHG emissions of sewage sludge treatment and disposal options in Tai Lake Watershed, China[J]. Science of The Total Environment, 2013, 447: 361–369.

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, 高庆先, 李中华, 等 . 中国污水处理厂甲烷排放研究 [J]. 中国环境科学, 2015, 35 (12) :3810 – 3816.

郭盛杰, 黄海伟, 董欣, 等 . 中国城镇污水处理行业温室气体排放核算及其时空特征分析 [J]. 给水排水, 2019, 55 (4) :56 – 62.

任佳雪, 高庆先, 陈海涛, 等 . 碳中和愿景下的污水处理厂温室气体排放情景模拟研究 [J]. 气候变化研究进展, 2021, 17 (4) :410 – 419.

李哲坤, 张立秋, 杜子文, 等 . 城市污泥不同处理处置工艺路线碳排放比较 [J]. 环境科学, 2022:1 – 14.



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