

# 基于第二次全国污染源普查数据的工业排放源及空间分布特征研究——以广东省新会区为例

宋桐慧<sup>1\*</sup>, 周泉彬<sup>2#</sup>

<sup>1</sup>广东白云学院大数据与计算机学院, 广东 广州

<sup>2</sup>生态环境部华南环境科学研究所, 广东 广州

收稿日期: 2023年5月1日; 录用日期: 2023年5月31日; 发布日期: 2023年6月7日

## 摘要

大气污染物排放清单是了解区域污染物排放特征的重要资料, 而工业源是大气污染的重点排放源, 本研究基于二污普收集汇总的污染源基础信息, 运用污普的排污系数, 计算新会区主要大气污染物的排放量, 建立了2017年工业大气污染源排放清单。结果表明, 新会区2017年排放二氧化硫2341.540 t, 氮氧化物4436.160 t, 颗粒物9224.670 t, 挥发性有机物14563.098 t, 重金属275.469 kg。燃煤锅炉和炉窑是SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和重金属的最大排放贡献源, 其他污染物主要来源于工业生产过程, 其中颗粒物排放的主要贡献行业为非金属矿物制品业和金属制品业, 挥发性有机物排放的主要贡献行业为金属制品业、计算机、通信和其他电子设备制造业、印刷和记录媒介复制业和黑色金属冶炼和压延加工业。双水镇、罗坑镇、大鳌镇、会城街道与崖门镇为大气污染物的主要贡献乡镇。

## 关键词

第二次全国污染源普查, 新会区, 工业污染源, 排放清单, 空间分布

## Study on Industrial Emission Sources and Spatial Characteristics in the Xinhui—Based on the Second National Pollution Source Survey

Tonghui Song<sup>1\*</sup>, Quanbin Zhou<sup>2#</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Mega Data and Computer Science, Guangdong Baiyun University, Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>South China Institute of Environmental Science, Guangzhou Guangdong

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 宋桐慧, 周泉彬. 基于第二次全国污染源普查数据的工业排放源及空间分布特征研究——以广东省新会区为例[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(3): 479-489. DOI: 10.12677/aep.2023.133060

## Abstract

Developing of atmospheric pollutant emission inventories is important for understanding regional emission characteristic. The spot emission sources of industries are the major sources of atmospheric pollution. Based on the Collection of aggregated source information of The Second National Pollution Source Survey, the inventory of industrial atmospheric pollutant emission for 2017 was developed by using an appropriate estimation method and emission factors. The result showed that the total industrial emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Particles, VOC<sub>s</sub>, Heavy metals in Xinhui in 2017 were 2341.540 t, 4436.160 t, 9224.670 t, 14563.098 t, 275.469 kg. Coal-fired boilers and furnaces are the largest sources of emissions of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and heavy metals, and other pollutants are mainly derived from industrial production processes. The main contribution industries of particulate matter emissions are non-metallic mineral products and metal products, while the main contribution industries of VOC<sub>s</sub> emissions are metal products, computer and communications and other electronic equipment manufacturing, printing and recording media reproduction and ferrous metal smelting and calender processing. Shuangshui Town, Luokeng Town, Dao Town, Huicheng Street and Yamen Town are the main contribution towns of air pollutants.

## Keywords

The Second National Pollution Source Survey, Xinhui, Industrial Pollution Sources, Emission Inventory, Spatial Distribution

Copyright © 2023 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

大气污染源排放清单是对某一地区的大气污染物排放源进行统计和排放量估算, 是环境空气质量管理的基礎, 特别是高分辨率、高时空精度、动态更新的排放清单能够帮助环境空气质量决策者更好地识别污染源特征, 提高空气质量预测准确性, 并促进大气污染防治政策的有效制定[1] [2]。目前我国已有不少关于大气排放清单方面的研究和应用, 但覆盖面较窄, 尤其是区县层面的大气污染源排放清单的建立, 未能满足环境管理部门的相关需求[3]-[15]。

要建立地方级别的污染源排放清单, 必须根据各地区的实际情况开展采样监测、现场调查等基础情况核查工作, 如能源消耗量、工业产品产量、原料使用量等, 目前多数研究是通过统计信息调查、实地考察、在线监测、文献调研等方式获得, 人力、物力的耗用量巨大。2017年开展并以本年的数据资料为基准的第二次全国污染源普查(简称二污普), 产生了大量详细的各类污染源的活动水平信息, 数据真实可靠, 且已有相关研究基于第一次全国污染源普查数据为宏观管理决策提供支持[16] [17]。二污普在一污普的基础上经过多次科学调研和不断完善修订后, 形成了一套完整的污染源排放清单估算手册《第二次全国污染源普查产排污核算系数手册》, 将企业全生产流程依据实际生产情况划分或拆分为若干工段, 分别确定各工段的不同污染物的产污系数, 确保各企业在核算污染物产排量时, 可灵活选择本企业对应的工序进行核算。本文基于二污普数据建立2017年工业大气污染源排放清单并对其的环境应用进行研究, 创新

大气污染源清单编制手段, 解决大气污染源排放清单的编制和应用在区县层面的覆盖太窄这一难题, 有助于提高区域污染治理的针对性和目的性, 提升节能减排的效果, 以期为珠江三角洲地区以改善空气质量为目标的大气污染联防联控研究提供科学基础。

## 2. 研究方法

### 2.1. 研究区域及对象

新会区位于广东省中南部, 珠江三角洲西南部, 西江、潭江下游。2017年, 全区土地面积 1354.71 平方千米。已形成临港装备制造、精细化工、纸及纸制品三大主导产业集群和食品、金属制品、纺织服装、建筑材料四大传统产业, 拥有中国食品工业生产基地、中国古典家具之都、中国香业产业基地、中国陈皮之乡等 8 个国家级产业基地。

工业源作为新会区的主要污染源, 是本文的重点研究对象。本研究以二污普为基础, 以 2017 年为基准年, 研究对象为新会区行政区域内工业污染源, 计算全区范围内  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、颗粒物、VOCs、重金属的年排放量并建立区域排放清单, 分析各污染物的来源贡献, 并应用于环境领域。

### 2.2. 数据来源

#### 2.2.1. 排放源分类

参考国民经济行业分类体系及相关研究[18], 工业排放源的下级分类如表 1 所示。

Table 1. Classification of emission sources

表 1. 排放源分类

一级排放源	二级排放源	三级排放源
		电站锅炉
	燃烧源	工业锅炉
		工业炉窑
	储罐装载	
	含挥发性有机物原辅材料使用	
	固体物料堆存	
工业源		家具制造业
		金属制品业
		橡胶和塑料制品业
		化学原料和化学制品制造业
		非金属矿物制品业
		纺织业
	工业生产过程	造纸和纸制品制造业
		黑色金属冶炼和压延加工业
		计算机、通信和其他电子设备制造业
		电力、热力生产和供应业
		印刷和记录媒介复制业
		酒、饮料和精制茶制造业
		电气机械和器材制造业

Continued

农副食品加工业  
 木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业  
 通用设备制造业  
 纺织服装、服饰业  
 食品制造业  
 专用设备制造业  
 铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业  
 其他

### 2.2.2. 活动水平数据来源

活动水平是影响污染物排放产生的各种人为活动信息, 如能源消耗量、工业产品产量、原料使用量等。本研究基于新会区二污普实地调查及资料调研。

### 2.2.3. 排放因子来源及计算方法

本研究的排放因子和计算方法均来源于二污普, 工业源生产过程中大气污染源排放量计算公式如下:

$$G_{j^z;i} = P_{j^z} \times M_i$$

其中,  $G_{j^z;i}$  为工段  $i$  某污染物的平均产生量;  $P_{j^z}$  为某污染物对应的产污系数;  $M_i$  为工段  $i$  的产品总量(原料总量)

$$R_{减i} = G_{j^z;i} \times \eta_T \times k_T$$

其中:  $R_{减i}$  为工段  $i$  某污染物的去除量;  $\eta_T$  为工段  $i$  某污染物采用的末端治理技术的平均去除效率;  $k_T$  为工段  $i$  某污染物采用的末端治理设施的实际运行率

$$E_{排} = G_{j^z} - R_{减} = \sum(G_{j^z;i} - R_{减i}) = \sum[P_{j^z} \times M_i (1 - \eta_T \times k_T)]$$

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 新会区工业大气污染源排放清单

表 2 展示了 2017 年新会区工业污染源的大气排放情况。主要污染物排放总量为: 二氧化硫 2341.540 t, 氮氧化物 4436.160 t, 颗粒物 9224.670 t, 挥发性有机物 14563.098 t, 重金属 275.469 kg (包括砷 6.715 kg、铅 69.444 kg、镉 1.875 kg、铬 81.384 kg、汞 116.051 kg)。工业源作为新会区的主要污染源, 须作为重点监管对象, 也是本文的重点研究对象。

**Table 2.** Industrial air pollution emission inventory of Xinhui District in 2017

**表 2.** 新会区 2017 年工业大气污染源排放清单

	SO <sub>2</sub> (t)	NO <sub>x</sub> (t)	颗粒物(t)	VOC <sub>s</sub> (t)	重金属(kg)
电站锅炉	1547.502	2774.627	502.612	34.573	109.356
工业锅炉	448.476	761.223	202.613	9.018	138.366
工业炉窑	284.286	383.274	242.526	15.664	18.282
储罐装载	0	0	0	15.748	0
固体物料堆存	0	0	1581.331	0.828	0
工业生产过程	61.269	517.037	6695.589	14487.267	9.465
工业源合计	2341.540	4436.160	9224.670	14563.098	275.469

### 3.2. 工业排放源贡献率分析

图 1 展示了工业源的污染物排放分担率。由图 1 可知, 锅炉和工业炉窑使用燃料是  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和重金属的最大排放贡献源, 分担率分别为 97.38%、88.34% 和 96.56%。工业生产活动是颗粒物、 $\text{VOC}_s$  的主要来源, 分担率为 70%~100%。

经统计软件 SPSS 26.0 对各污染物进行相关性分析后, 表 3 可以进一步确定,  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和重金属的排放主要来源于工业燃料燃烧, 三者具有显著相关性, 相关系数高达 0.990。颗粒物和  $\text{VOC}_s$  主要来源均有工业生产活动, 两者之间没有相关性, 须独立进行分析。由于储罐装载和固体物料堆存对污染物排放的贡献率极低, 接下来就燃烧源和工业生产活动源两大类进行污染排放特征分析。

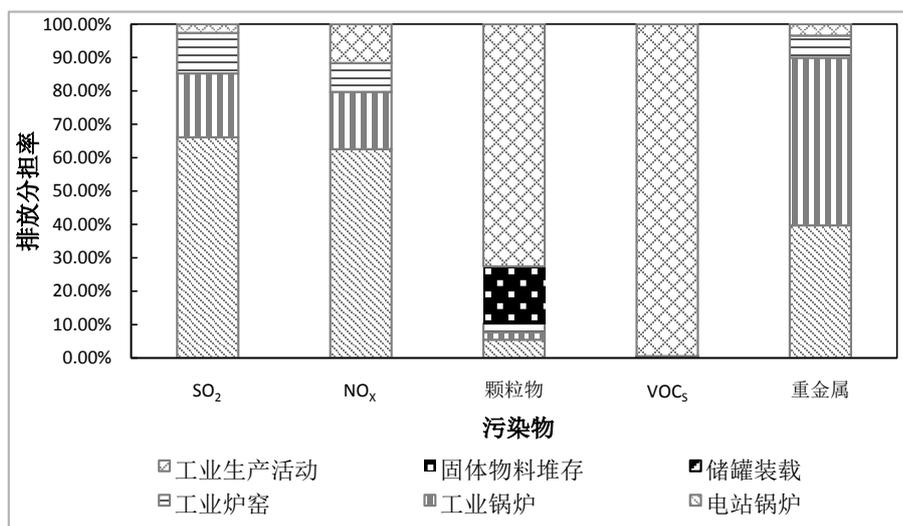


Figure 1. Industrial source emission sharing rate of Xinhui tin 2017

图 1. 2017 年新会区工业源排放分担率

Table 3. Correlation of pollutant emissions in Xinhui

表 3. 新会区各污染物排放的相关性

	二氧化硫	氮氧化物	颗粒物	挥发性有机物	重金属
二氧化硫	1	0.990**	0.355	-0.122	0.718*
氮氧化物		1	0.433	-0.135	0.739**
颗粒物			1	-0.19	0.277
挥发性有机物				1	-0.279
重金属					1

#### 3.2.1. 新会区燃烧源污染物排放贡献率

##### 1) 能源结构

表 4 为 2017 年新会区工业企业的能源结构, 由表可知新会区工业源燃煤占比最大, 高达 90%。

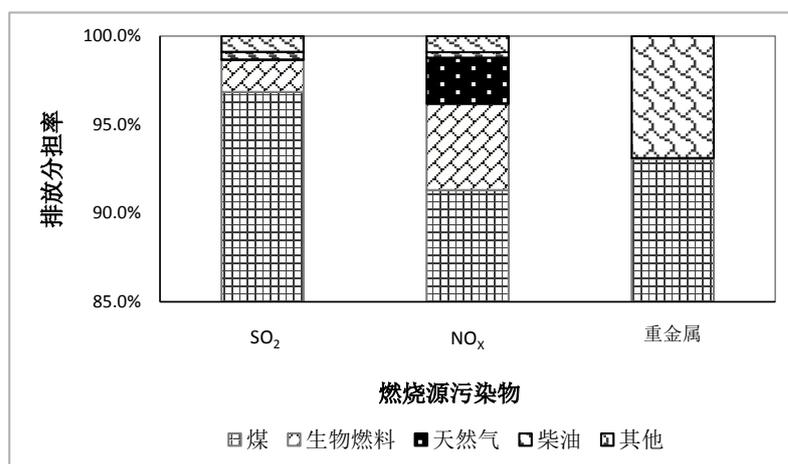
##### 2) 燃烧源污染物排放贡献率

图 2 展示了新会区燃烧源污染物排放分担率。由图可知, 燃煤是工业所用锅炉和炉窑的主要排放源, 对污染物的贡献率为 70% 以上, 尤其是对  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和重金属的贡献率, 高达 90% 以上, 是新会区工业污染源排放  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和重金属这三种污染物的最主要来源。

**Table 4.** Energy structure of industrial enterprises in Xinhui in 2017

**表 4.** 2017 年新会区工业企业的能源结构

	煤(吨)	生物燃料(吨标准煤)	柴油(吨标准煤)	天然气(吨标准煤)	其他(吨标准煤)
消费量	2249899.83	107643.79	33892.76	66570.403	20373.12
占比	90.78%	4.34%	1.37%	2.69%	0.82%

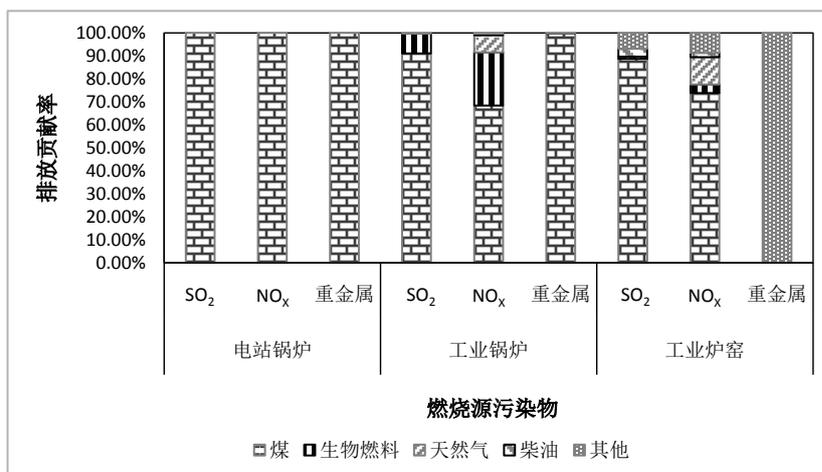


**Figure 2.** Emission sharing rate of combustion source pollutants

**图 2.** 燃烧源污染物排放分担率

### 3) 各燃烧源污染物的排放分担率

图 3 展示了各燃烧源污染物排放贡献率，其中电站锅炉由于仅燃煤，因此污染物的排放完全来源于煤，对 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和重金属的贡献率均高达 100%。工业锅炉排放 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、和重金属主要来源于燃煤，其中对这 3 种污染物的贡献率达 68% 以上，对重金属和 SO<sub>2</sub> 的贡献率高达 90% 以上。工业炉窑与锅炉相比在污染物排放贡献上存在一些差异，主要是体现在重金属上，工业炉窑的对重金属排放的贡献率完全来自燃其他燃料，而燃其他燃料对颗粒物的贡献率也较大，达到了 43%，与燃煤对颗粒物的贡献率基本相同，重金属的排放 100% 来自燃其他燃料，燃煤对 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 排放的分担率高达 70% 以上。



**Figure 3.** Emission sharing rate of each combustion source pollutant

**图 3.** 各燃烧源污染物的排放分担率

### 3.2.2. 新会区的生产源的贡献率

#### 1) 行业划分

经普查, 新会区按工业生产活动参考国民经济行业分类体系[18]进行行业划分, 新会工业源主要涉及 8 大行业, 如图 4 所示, 家具制造业占比最大, 高达 27.85%; 金属制品业位居第二, 占比为 19.72%; 其次是橡胶和塑料制品业、化学原料和化学制品制造业、非金属矿物制品业、酒、饮料和精制茶制造业、造纸和纸制品业和印刷和记录媒介复制业, 占比分别为 7.10%、4.68%、3.93%、3.79%、3.47% 和 3.35%; 以上 8 个行业大类合计占比达到 73.89%, 为新会区的主导行业。

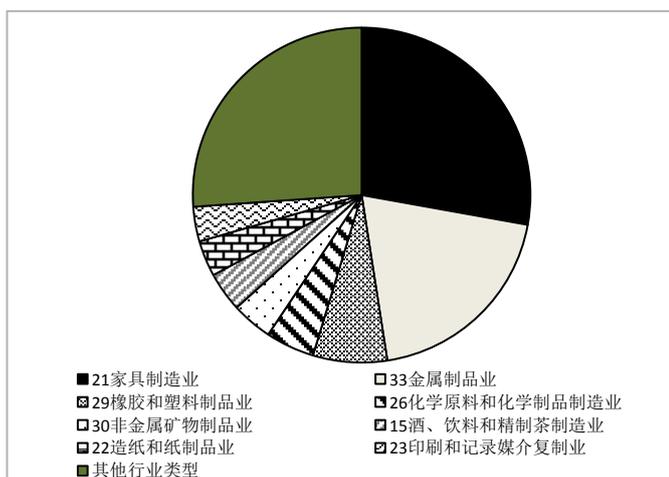


Figure 4. The proportion of industrial production sources in Xinhui  
图 4. 新会区各工业生产源的行业占比

#### 2) 生产源的贡献率

图 5 为工业生产源的排放分担率。经分析, 挥发性有机物排放量居前几位的行业为金属制品业、计算机、通信和其他电子设备制造业、印刷和记录媒介复制业、黑色金属冶炼和压延加工业和橡胶和塑料制品业, 排放占比分别为 54.88%、9.32%、7.68%、7.64% 和 6.77%, 为挥发性有机物排放的主要行业。

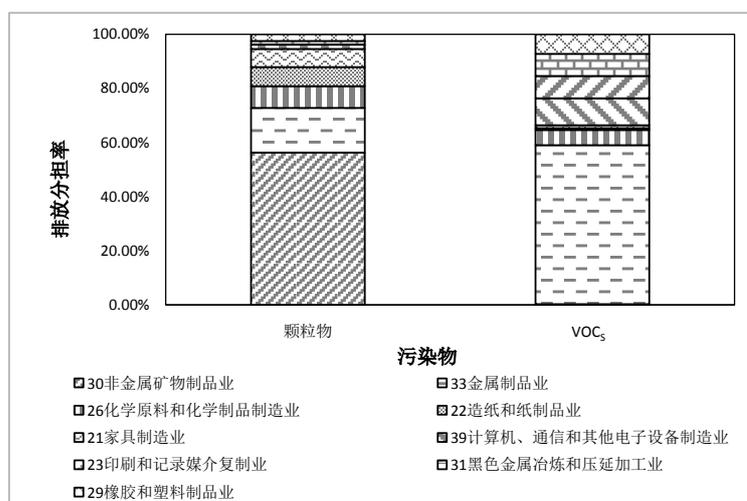


Figure 5. Emission sharing rate of industrial production sources  
图 5. 工业生产源的排放分担率

颗粒物排放量居前几位的行业为非金属矿物制品业、金属制品业、化学原料和化学制品制造业、造纸和纸制品业和家具制造业, 排放占比分别为 46.27%、13.55%、6.63%、5.79%和 5.49%, 为颗粒物排放的主要行业。

### 3.3. 工业源分布特征

#### 1) 工业源空间分布

图 6 是新会区工业源数量在各乡镇的分布及其点位分布情况。从图中可知, 在所有乡镇中, 大泽镇、会城街道办两个乡镇的工业源数量最多, 数量占比达分别为 24.19%和 24.07%, 是新会区工业污染源普查的重点乡镇; 其次是司前镇和双水镇, 其工业源数量占比分别为 13.19%和 10.00%; 以上 4 个乡镇纳入普查的工业源数量合计 2975 个, 总占比达到了 71.45%, 为新会区工业源分布的主要乡镇, 但仍有不少企业分布不集中, 不利于环境管理。

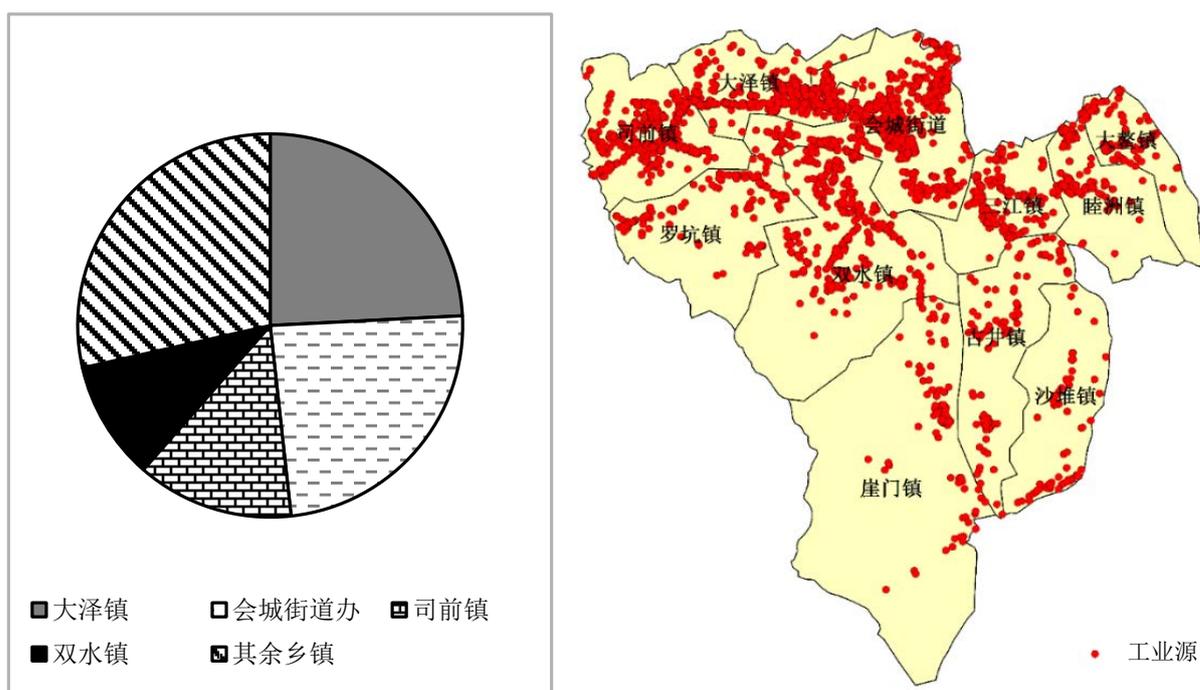


Figure 6. The distribution of the number of industrial sources in each township and its point distribution in Xinhui

图 6. 新会区工业源数量在各乡镇的分布及其点位分布情况

#### 2) 污染物排放空间分布特征

图 7 为大气主要污染物排放的空间分布情况。结合  $\text{SO}_2$  的排放主要集中在双水镇,  $\text{NO}_x$  排放量大的区域也主要分布在双水镇, 重金属的排放主要集中在双水镇和罗坑镇, 这 3 种污染物主要来自于煤的燃烧, VOCs 的排放主要集中在大鳌镇, 来自涂料、溶剂等有机原辅材料的使用, 尤其是溶剂型涂料的使用[12]。颗粒物的排放主要集中在会城街道与崖门镇, 其余各镇也均有排放, 主要来自非金属矿物制品业。

综上大气污染物的排放主要集中在双水镇、罗坑镇、大鳌镇、会城街道与崖门镇, 与污染源空间分布相互吻合, 污染源清单空间分布特征合理。

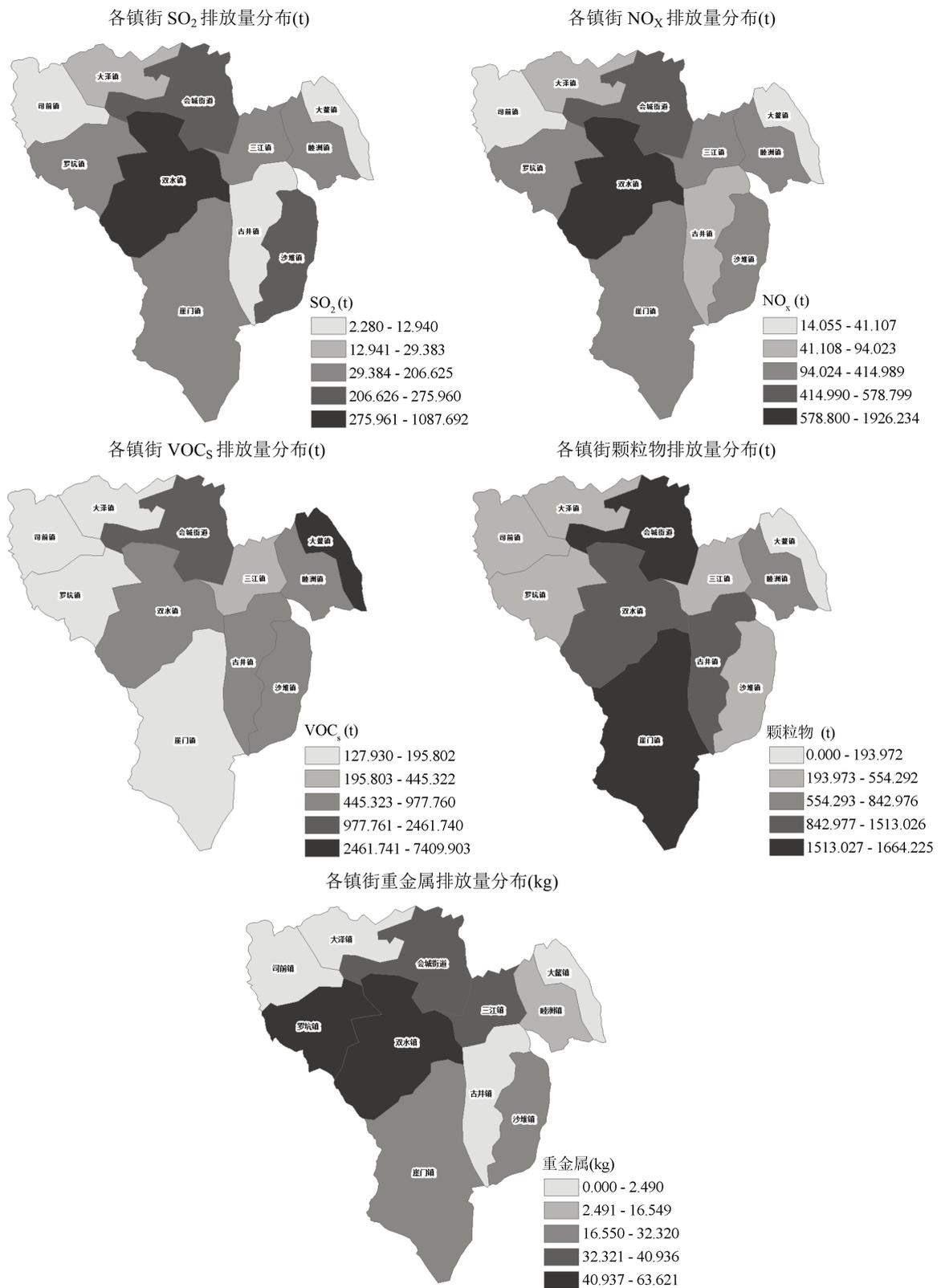


Figure 7. Distribution of major pollutant emissions in Xinhui in 2017  
 图 7. 2017 年新会区各镇街主要污染物排放分布情况

## 4. 结论

1) 本研究基于第二次全国污染普查, 通过收集汇总新会区的污染源基础信息建立了 2017 年工业大气污染源排放清单。结果表明, 新会区 2017 年排放二氧化硫 2341.540 t, 氮氧化物 4436.160 t, 颗粒物 9224.670 t, 挥发性有机物 14563.098 t, 重金属 275.469 kg;

2) 锅炉和工业炉窑使用燃料是  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和重金属的最大排放贡献源, 分担率分别为 97.38%、88.34% 和 96.56%。工业生产过程是颗粒物、 $\text{VOC}_s$  的主要来源, 分担率为 70%~100%。 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和重金属的排放主要来源于工业燃料燃烧, 颗粒物和  $\text{VOC}_s$  主要来源均有工业生产过程, 从区域环境管理角度, 重点应关注燃烧源和工业生产过程源的污染排放;

3) 各燃烧源污染物排放贡献率, 其中电站锅炉由于仅燃煤, 因此污染物的排放完全来源于煤, 对  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  和重金属的贡献率均高达 100%。工业锅炉排放  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、和重金属主要来源于燃煤, 其中对这 3 种污染物的贡献率达 68% 以上, 对重金属和  $\text{SO}_2$  的贡献率高达 90% 以上。工业炉窑与锅炉相比在污染物排放贡献上存在一些差异, 主要是体现在重金属上, 工业炉窑的对重金属排放的贡献率完全来自其他燃料, 而燃其他燃料对颗粒物的贡献率也较大, 达到了 43%, 与燃煤对颗粒物的贡献率基本相同, 重金属的排放 100% 来自其他燃料, 燃煤对  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  排放的分担率高达 70% 以上;

4) 在工业生产活动过程, 挥发性有机物排放量居前几位的行业为金属制品业、计算机、通信和其他电子设备制造业、印刷和记录媒介复制业、黑色金属冶炼和压延加工业和橡胶和塑料制品业, 排放占比分别为 54.88%、9.32%、7.68%、7.64% 和 6.77%, 金属制品业为挥发性有机物排放的主要行业; 颗粒物排放量居前几位的行业为非金属矿物制品业、金属制品业、化学原料和化学制品制造业、造纸和纸制品业和家具制造业, 排放占比分别为 46.27%、13.55%、6.63%、5.79% 和 5.49%, 非金属矿物制品业为颗粒物排放的主要行业;

5) 在空间分布上, 大气污染物的排放主要集中在双水镇、罗坑镇、大鳌镇、会城街道与崖门镇, 与污染源空间分布和行业分布相互吻合, 因此本污染源清单空间分布特征合理。

## 参考文献

- [1] Streets, D.G. (2003) An Inventory of Gaseous and Primary Aerosol Emissions in Asia in the Year 2000. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **108**, Article No. 8809. <https://doi.org/10.1029/2002JD003093>
- [2] Zheng, J., Zhang, L., Che, W., et al. (2009) A Highly Resolved Temporal and Spatial Air Pollutant Emission Inventory for the Pearl River Delta Region, China and Its Uncertainty Assessment. *Atmospheric Environment*, **43**, 5112-5122. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.060>
- [3] Cao, G., Zhang, X. and Zheng, F. (2006) Inventory of Black Carbon and Organic Carbon Emissions from China. *Atmospheric Environment*, **40**, 6516-6527. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.070>
- [4] Cao, G.L., Zhang, X.Y., Gong, S., et al. (2011) Emission Inventories of Primary Particles and Pollutant Gases for China. *Science Bulletin*, **56**, 781-788. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4373-7>
- [5] Chen, Y., Sheng, G., Bi, X., et al. (2005) Emission Factors for Carbonaceous Particles and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Residential Coal Combustion in China. *Environmental Science & Technology*, **39**, 1861-1867. <https://doi.org/10.1021/es0493650>
- [6] Ohara, T., Akimoto, H., Kurokawa, J., et al. (2007) An Asian Emission Inventory of Anthropogenic Emission Sources for the Period 1980-2020. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **7**, 4419-4444. <https://doi.org/10.5194/acp-7-4419-2007>
- [7] 王超. 抚顺市大气污染源排放特征分析[J]. 黑龙江环境通报, 2018, 42(1): 46-49.
- [8] 王占山. 工业锅炉大气污染物排放清单的分配方法研究[J]. 环境工程, 2014, 32(S1): 444-447.
- [9] 赵晴, 杜祯宇, 胡骏, 等. 廊坊市大气污染特征与污染物排放源研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(2): 436-445.
- [10] 陈军, 李楠, 谭菊, 等. 长沙市人为源大气污染物排放清单及特征研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(3): 833-843.
- [11] 李淼泉, 田恬, 陈奔, 等. 流域非点源水污染排放清单估算系统构建[J]. 中国环境管理, 2019, 11(2): 94-100.

- 
- [12] 何敏, 王幸锐, 韩丽. 四川省大气固定污染源排放清单及特征[J]. 环境科学学报, 2013, 33(11): 3127-3137.
- [13] 韩丽, 王幸锐, 何敏, 等. 四川省典型人为污染源 VOCs 排放清单及其对大气环境的影响[J]. 环境科学, 2013, 34(12): 4535-4542.
- [14] 赵斌, 马建中. 天津市大气污染源排放清单的建立[J]. 环境科学学报, 2008(2): 368-375.
- [15] 杨柳林, 曾武涛, 张永波, 等. 珠江三角洲大气排放源清单与时空分配模型建立[J]. 中国环境科学, 2015, 35(12): 3521-3534.
- [16] 牛坤玉, 於方, 曹东. 中国工业水污染治理状况分析: 基于污染源普查数据[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(S2): 511-516.
- [17] 王延松. 基于污染源普查数据的上海市工业能源碳排放清单[D]: [硕士学位论文]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [18] 国家统计局, 中国标准化研究院. 国民经济行业分类[S]. 北京: 中国国家标准化管理委员会, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2017.