

地市级碳污融合清单编制方法及 协同效应

程金平¹ 覃桂妹¹ 刘启贞² 段玉森² 伏晴艳² 李芳²

1上海交通大学，2上海市环境监测中心



一 概述

二 编制方法

三 高精度碳污清单

四 碳污协同效应

五 总结与展望

一、概述

□ 大气源清单:

- (1) 《关于开展源排放清单编制试点工作的通知》环办[2015]14号
- (2) 《上海市2023年大气与噪声污染防治工作要点》(沪环气〔2023〕38号)
- (3) 《大气细颗粒物一次源排放清单编制技术指南(试行)》
- (4) 《大气可吸入颗粒物一次源排放清单编制技术指南(试行)》
- (5) 《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》
- (6) 《非道路移动源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》
- (7) 《生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》
- (8) 《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南(试行)》
- (9) 《大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)》
- (10) 《大气氨源排放清单编制技术指南(试行)》
- (11) 《民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》
- (12) 《城市大气污染物排放清单编制技术手册(2017)》
- (13) 《上海市工业企业挥发性有机物排放量通用计算方法(试行)》

□ 温室气体清单:

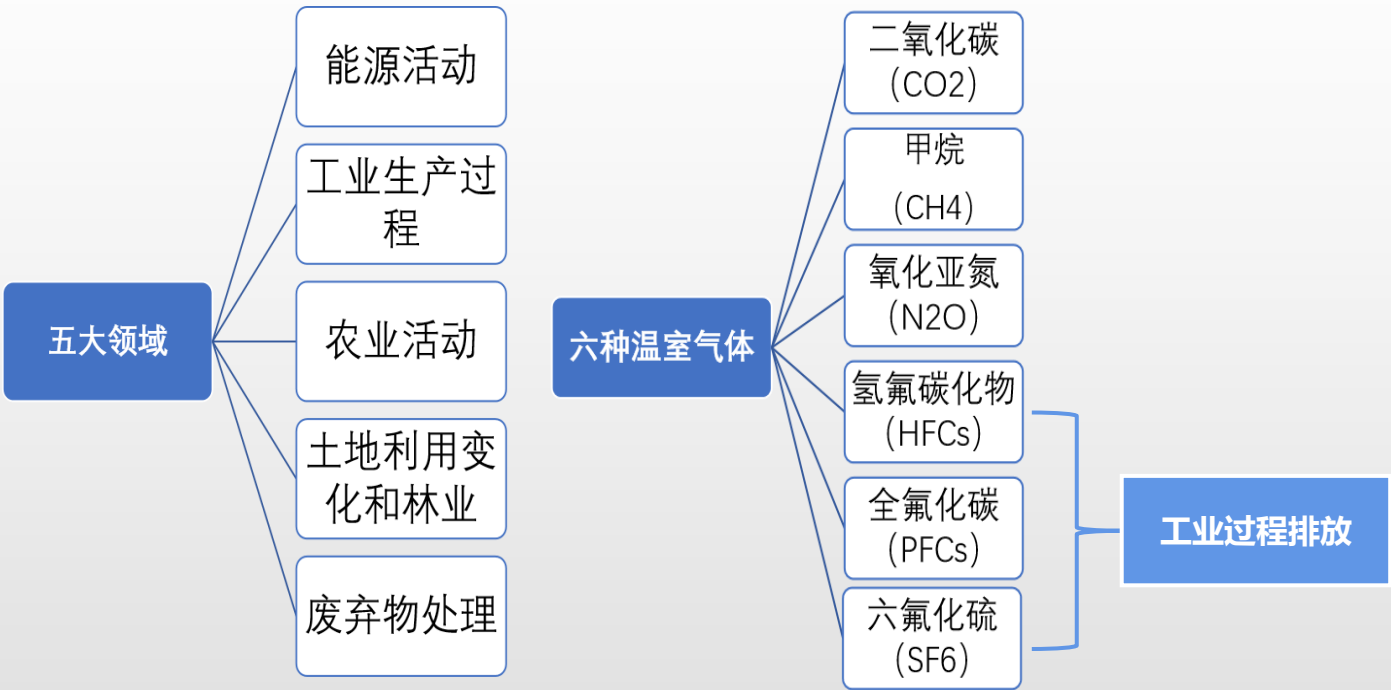
1. 《上海市区级温室气体清单编制技术系列文件(试行)》
2. 《省级温室气体清单编制指南(试行)》
3. 《2006年IPCC国家温室气体清单指南》(2019年修订)
4. 《2005中国温室气体清单研究》等相关文件

□ 大气源清单:

◇ **十大污染源**: 固定燃烧源、工艺过程源、道路移动源、非道路移动源、开放扬尘源、溶剂使用源、废弃物处理源、油气储运源、农业源、餐饮油烟等污染源。

◇ **十种污染物**: SO_2 、 NO_x 、 CO 、 VOCs 、 NH_3 、 TSP 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 BC 、 OC 。

□ 温室气体清单:



➤ 以行政管辖区为物理边界核算所辖区域的温室气体排放量。

一、概述——排放源分类分级（大气）

□ 大气源清单：

城市大气污染物排放量（吨）汇总											
一级源分类	二级源分类	SO2	NOX	CO	VOC	NH3	TSP	PM10	PM2.5	BC	OC
化石燃料固定燃烧源	电力供热						小计				油气储存
	工业锅炉						印刷印染				油气运输
							表面涂层				
	民用锅炉		溶剂使用源				农药使用				小计
	民用燃烧						其他溶剂				工业生物质锅炉
	小计						小计				生物质炉灶
	冶金						畜禽养殖			生物质燃烧源	生物质开放燃烧
							氮肥施用				
	建材						秸秆堆肥				小计
	石化与化工		农业源				固氮植物				废水处理
工艺过程源	化纤						土壤本底				固废处理
	医药制造						人体粪便				烟气脱硝
							小计			废弃物处理源	小计
	其他工业						堆场扬尘				餐饮
	小计						工地扬尘				小计
移动源			扬尘源				道路扬尘				
	道路移动源						土壤扬尘			其它排放源	
							小计				小计
	非道路移动源						加油站				
			储存运输源							合计	

一、概述——排放源分类分级（温室气体）

□ 温室气体清单：

能源活动温室气体清单

部门	CO2 (吨)	CH4 (吨)	N2O (吨)	温室气体 (吨当量)
能源活动总计				
1.化石燃料燃烧小计				
能源工业				
电力生产				
油气开采				
固体燃料				
工业和建筑业				
工业				
钢铁				
有色金属				
化工				
建材				
其他				
建筑业				
交通运输				
服务业				
居民生活				
2.生物质燃烧（以能源利用为目的）				
3.煤炭开采逃逸				
4.油气系统逃逸				
5.非能源利用排放				
间接排放				

废弃物处理温室气体清单

部门		类型		二氧化碳（吨）	甲烷（吨）	氧化亚氮（吨）	合计二氧化碳当量（吨）	所占百分比
固体废弃物	固体废弃物填埋处理							
		管理						
		未管理						
			深的>5米					
			浅的<5米					
	未分类							
	焚烧处理							
城市固体废弃物 化石成因 危险废弃物								
废水	生活污水处理							
		入环境						
		处理系统						
	工业废水处理							
		入环境						
		处理系统						
合计								
合计二氧化碳当量（万吨）								
所占百分比								



一、概述——排放源分类分级（温室气体）

□ 温室气体清单：

工业生产过程温室气体清单报告

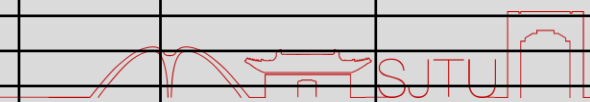
部门	CO2 (万t)	N2O (t)	HFC									PFC		SF6 (t)	GHG (t)
			HFC-23 (t)	HFC-32 (t)	HFC-125 (t)	HFC-134a (t)	HFC-143a (t)	HFC-152a (t)	HFC-227ea (t)	HFC-236fa (t)	HFC-245fa (t)	CF4 (t)	C2F6 (t)		
水泥生产过程															
石灰生产过程															
钢铁生产过程															
电石生产过程															
己二酸生产过程															
硝酸生产过程															
铝生产过程															
镁生产过程															
电力设备生产过程															
半导体生产过程															
HCFC-22生产过程															
HFC生产过程															
合计															

农业温室气体清单

部门	甲烷 (吨)	氧化亚氮 (吨)	二氧化碳当量 (吨)
稻田			
农用地			
动物肠道发酵			
动物粪便管理系统			
总计			

土地利用变化和林业温室气体清单

部门	碳 (吨)	二氧化碳 (吨)	甲烷 (吨)	氧化亚氮 (吨)	温室气体 (吨当量)
森林和其他木质生物质碳储量变化					
乔木					
竹林					
经济林					
灌木林					
疏林、散生木、四旁树					
活立木消耗					
森林转化碳排放					
燃烧排放					
分解排放					
总计					

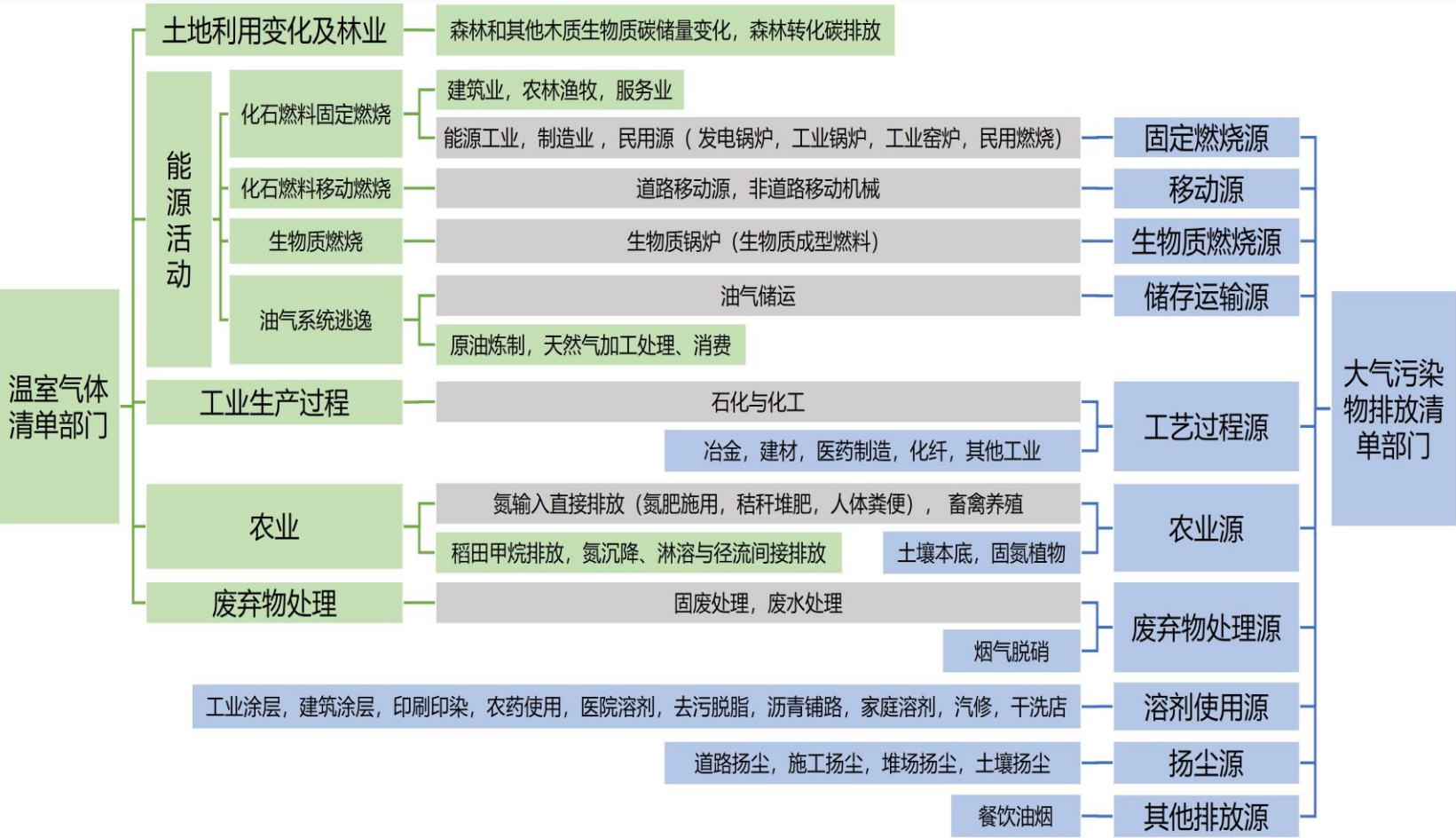




一、概述——碳污同源部门

- 温室气体清单和大气污染源清单在部门划分和估算边界中存在着较大差异

温室气体与大气污染物同源排放部门



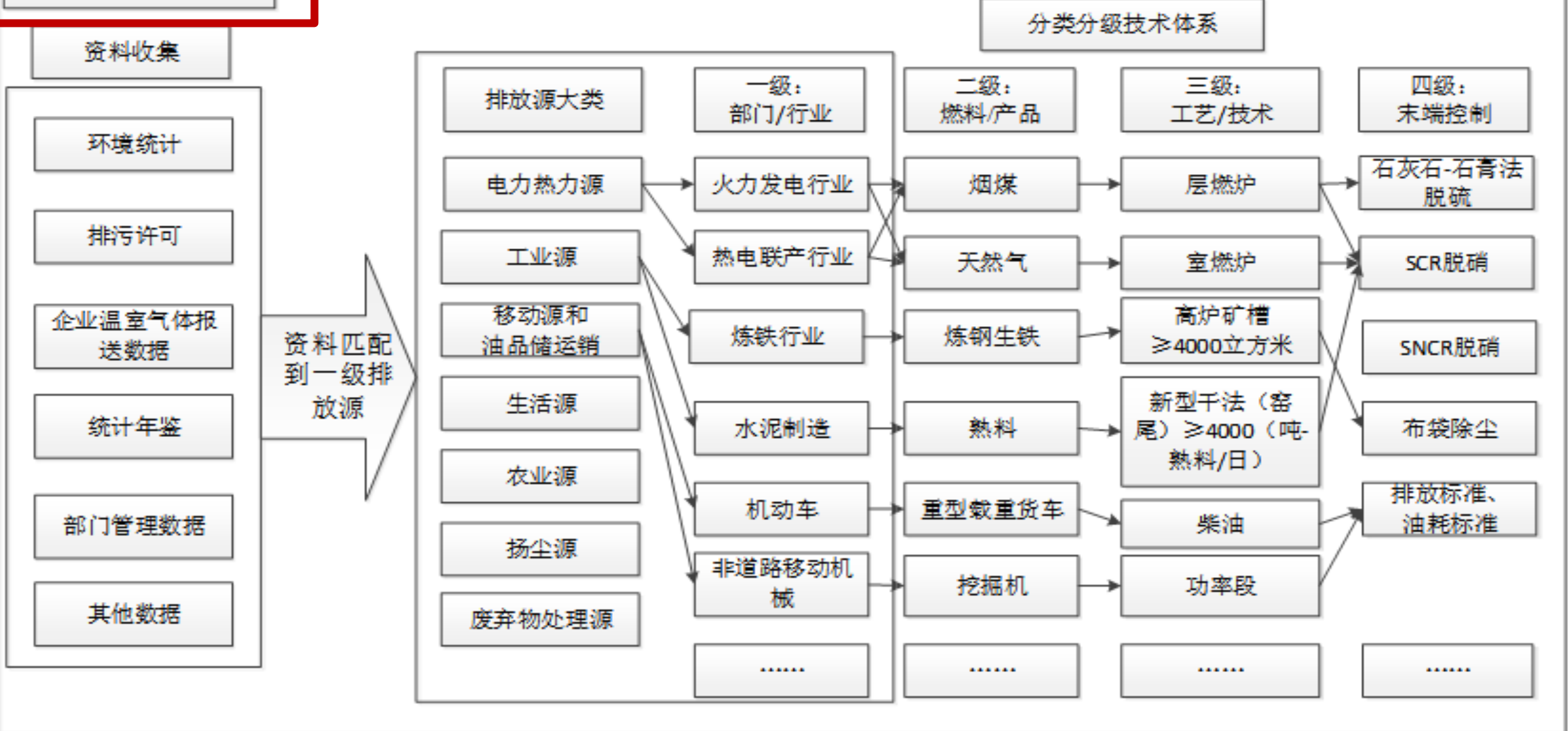
温室气体清单（绿色）与大气污染物清单部门（蓝色）的交叉（灰色）与差异

序号	排放源	大气污染物种类	温室气体种类
1	电力供热、工业锅炉、工业窑炉、民用燃烧	SO ₂ 、NO _x 、CO、VOCs、TSP、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、BC、OC	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
2	生物质燃烧	SO ₂ 、NO _x 、CO、VOCs、NH ₃ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5}	CH ₄ 、N ₂ O
3	道路移动源	SO ₂ 、NO _x 、CO、VOCs、NH ₃ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、BC、OC	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
4	非道路移动机械	NO _x 、CO、VOCs、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、BC、OC	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O
5	工业生产过程	VOCs	CO ₂ 、CH ₄
6	畜禽养殖	NH ₃	CH ₄ 、N ₂ O
7	土壤氮肥	NH ₃	N ₂ O
8	油气储运	VOCs	CH ₄
9	固废燃烧	VOCs、NH ₃ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5}	CO ₂
10	废水处理	VOCs、NH ₃	CH ₄ 、N ₂ O

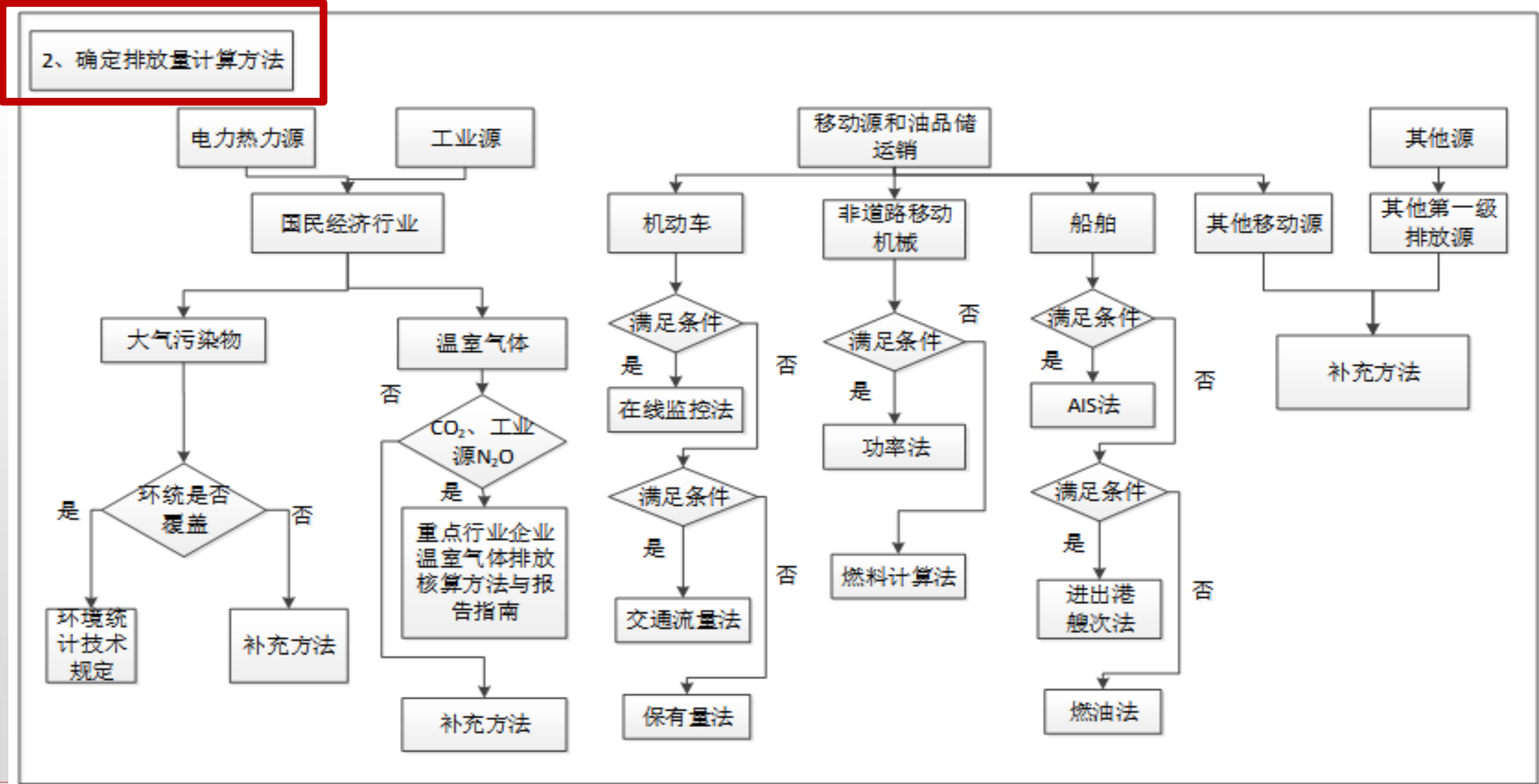
二、编制方法

二、编制方法——编制流程

1、识别本地排放源构成



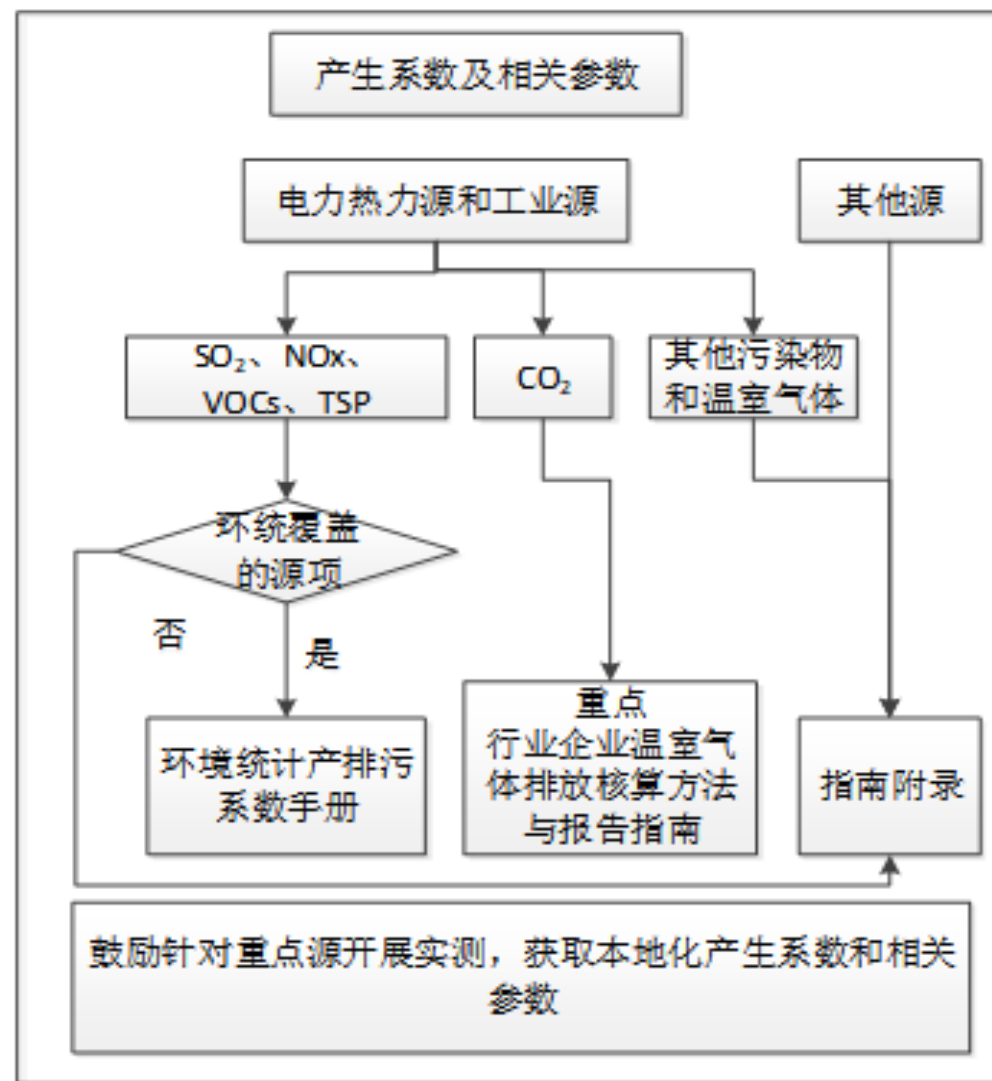
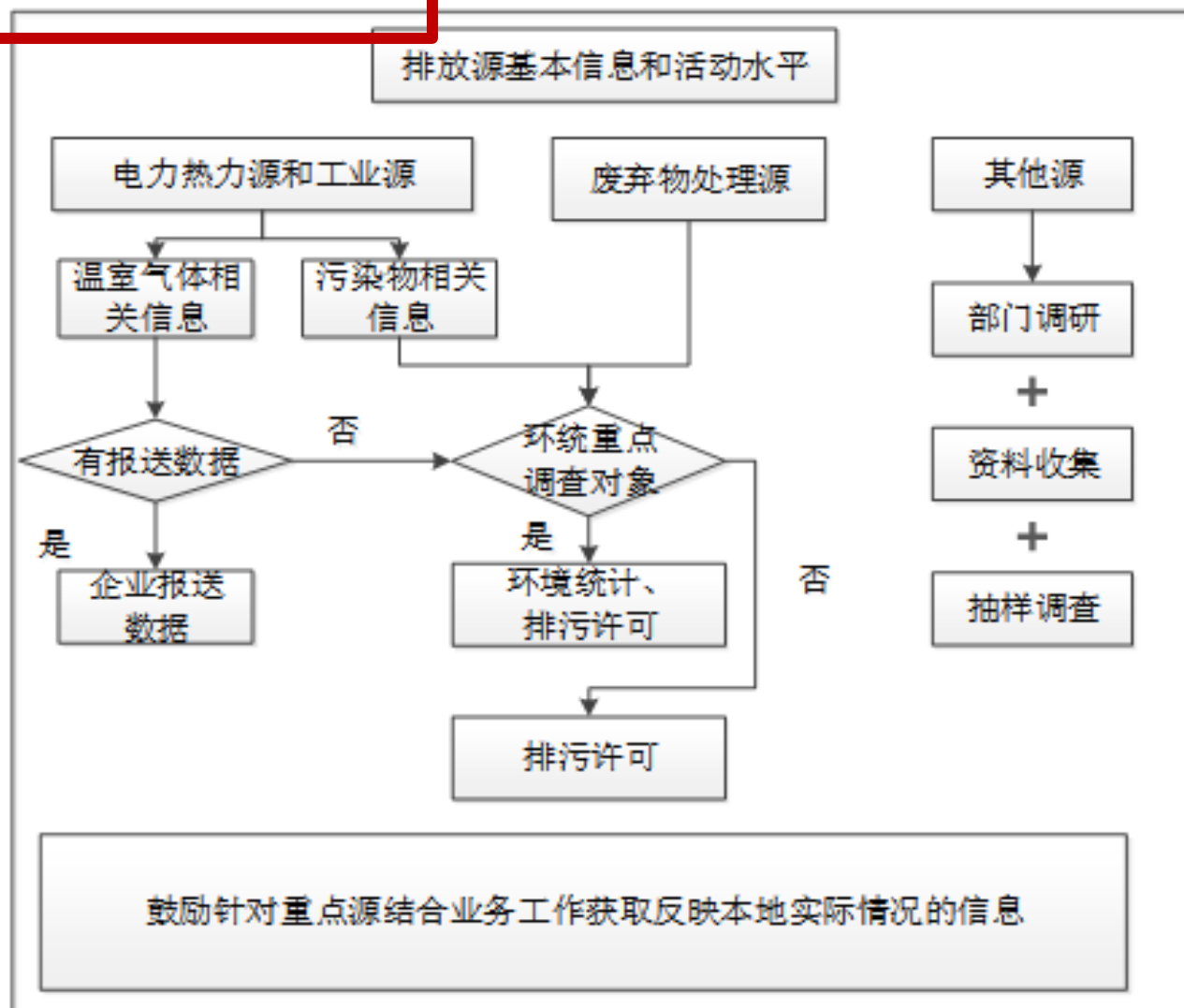
二、编制方法——编制流程



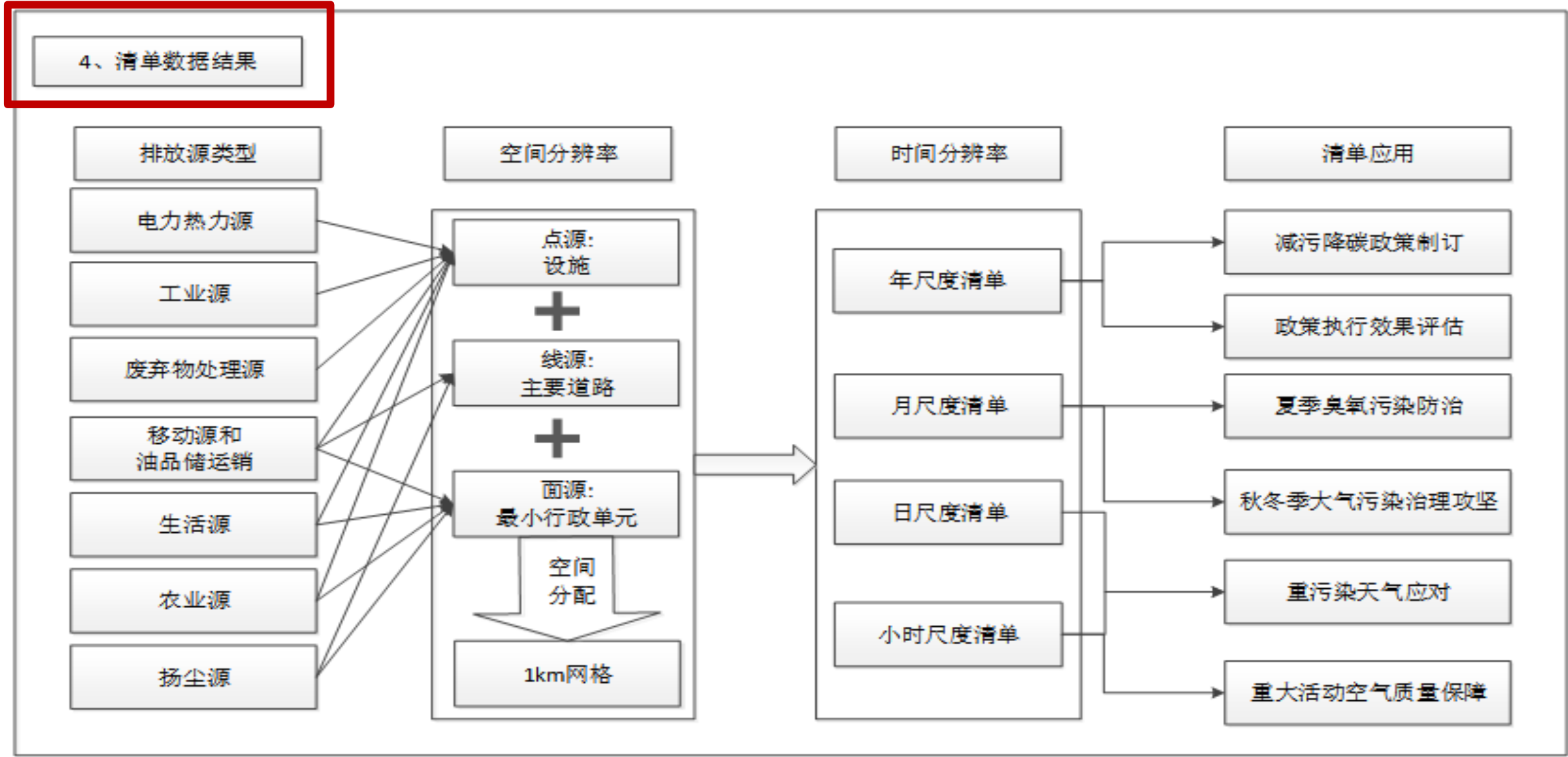
二、编制方法——编制流程



3、获取排放源数据信息



二、编制方法——编制流程



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

[illegible]

二、编制方法——活动水平（企业）



企业务必填报年生产用电数据

- 首页
- 任务管理
- 数据填报
- 诊断审核

其他工业-示例 正常生产 待审核

填报编号: C233AAB8 所属任务: 2022年城市大气污染源排放清单编制 分配人: 上海市管理员

企业信息	产品及燃料 (2)	排放口 (2)	自备发电机组 (1)	锅炉 (1)	窑炉	原辅料及产品 (1)	溶剂使用 (1)	有机液体储罐及装载 (2)	露天堆场 (1)
烟气脱硝									
* 调查表类型	通用表								
* 企业状态	正常生产								
* 企业名称	其他工业-示例			* 企业分组	工业				
* 国民经济行业分类	制造业 / 木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业 / 木材加工 / 其他木材加工(C2019)								
* 企业联系人	张三			* 联系人联系电话	12312312312				
法人代表	张三								
* 填报人	李四					* 填报人联系电话	12345421334		
* 连续/间歇生产	间歇生产	* 生产月份	1,2,3,5,6,7,9,10,11		年生产天数	200	开业时间	请选择	
组织机构代码	请输入		* 统一社会信用代码	132440978689120937		年工业总产值(万元)	5000	年用电量(度)	1250000
* 行政区划	上海市	市辖区	黄浦区		详细地址	xx路			地图定位
* 纬度	31	度	13	分	54	秒	* 经度	121	度 28 分 22 秒

企业务必填报生产用电数据；
用电量超出填报限制的
联系市级联络员，修改限制信息；

二、编制方法——活动水平（企业）

涉及到燃料使用的企业务必备注燃料使用情况

大气污染源排放清单编制与分析系统

测试账户

首页

任务管理

数据填报

诊断审核

* 企业名称	其他工业-示例		* 企业分组	工业		* 所属行业	其他工业	
* 国民经济行业分类	制造业 / 木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业 / 木材加工 / 其他木材加工(C2019)							
* 企业联系人	张三		* 联系人联系电话	12312312312		* 联系人邮箱	239207427@qq.com	
法人代表	张三							
* 填报人	李四			* 填报人联系电话	12345421334			
* 连续/间歇生产	间歇生产	* 生产月份	1,2,3,5,6,7,9,10,11		年生产天数	200	开业时间	请选择
组织机构代码	请输入		* 统一社会信用代码			电量(度)	1250000	
* 行政区划	上海市	市辖区						
* 纬度	31	度	13					
* 是否重点污染源	☒ 是 ☐ 否		煤炭来源					
原料运输方式	请选择		锅炉数					
添加别名	+ 添加别名							
企业照片	上传图片							
备注信息	燃料消耗来源: 1.厂内作业机械燃料消耗: 柴油,2t/a; 2. 锅炉/窑炉燃料消耗: 原煤,0吨/a、天然气,2万立方米/a; 3. 燃料的非能源利用原煤,0吨/a、天然气,0万立方米							

备注

例如备注:

燃料消耗来源: 1.厂内作业机械燃料消耗: 柴油,xxxxt/a; 2. 锅炉/窑炉燃料消耗: 原煤,xxxx吨/a、天然气,xxxx万立方米/a; 3. 燃料的非能源利用原煤,xxxx吨/a、天然气,xxxx万立方米/a。

二、编制方法——活动水平（企业）



燃料使用量、发电量、产品产量等**涉及到逐月数据，务必填报逐月数据**

大气污染源排放清单编制与分析系统

首页

任务管理

数据填报

诊断审核

其他工业-示例 正常生产 待审核

填报编号: C233AAB8 所属任务: 2022年城市大气污染

企业信息

产品及燃料 (2)

排放口 (2)

自备发电

露天堆场 (1)

烟气脱硝

产品信息

* 所属排放源	* 产品类型	* 产品名称	* 产品单位	* 3月	* 4月	* 5月	* 6月	* 7月	* 8月	* 9月	* 10月	* 11月	* 12月			
其他工业	其他工业品	具体产品名称1	吨	75	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10

燃料信息

* 燃料类型	* 燃料单位	* 全年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
天然气	万立方米	75	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10

备注

- 电力行业：“机组”一表必须填报逐月数据；
- 其他工业：“产品及燃料”一表必须填报逐月数据；
- 石化化工：“化工”一表必须填报逐月数据；
- 钢铁：“烧结”“球团”等涉及主要工艺的表必须填报逐月数据；

其他行业参照！				3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
75	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10	10

* 燃料类型	* 燃料单位	* 全年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
天然气	万立方米	75	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10

二、编制方法——活动水平（企业）

产品、原辅料一定填报产品的具体名称

大气污染源排放清单编制与分析系统

测试账户

首页

任务管理

数据填报

诊断审核

其他工业-示例 正常生产 待审核

填报编号: C233AAB8 所属任务: 2022年城市大气污染源排放清单编制 分配人: 上海市管理员

企业信息

产品及燃料 (2)

排放口 (2)

自备发电机组 (1)

锅炉 (1)

窑炉

原辅料及产品 (1)

溶剂使用 (1)

有机液体储罐及装载 (2)

露天堆场 (1)

烟气脱硝

原辅料及产品信息

产品及工段信息

基本信息			产品信息						排放口信息
* 生产线编号	投运时间(年/月/日)	关停时间(年/月/日)	* 所属排放源	* 产品类型	* 产品名称	* 工段/工艺名称	* 产品单位	* 全年产品产量	排放口编号
PC001			其他工业	其他工业品	具体产品名称1	不分技术	吨	500	

原料信息

* 原料名称	* 原料单位	* 原料全年消耗量	* 对应生产线编号
具体原料1	吨		
* 辅料名称	* 辅料单位		
具体辅料1	吨	100	PC001

污染物治理信息

二氧化硫治理措施

* 脱硫工艺	* 脱硫岛效率(%)	脱硫剂名称	脱硫剂使用量(吨)	投运时间(年/月/日)	投运率(%)	* 对应生产线编号
石灰石/石灰-石膏法	70					PC001

Copyright @2010-2020

填报具体名称，如“变压器”“汽车扶手箱”“双氧水”等；

请勿填报“其他工业品”“塑料制品”“化学品”等。

二、编制方法——活动水平（企业）

加油站请分别填报汽、柴油销售量

大气污染源排放清单编制与分析系统

测试账户

首页

任务管理

数据填报

诊断审核

加油站-示例未提交

提交备注

填报编号: 4233AB00 所属任务: 2022年城市大气污染源排放清单编制 分配人: 上海市管理员

企业信息

加油站

* 为必填项

保存

基本信息 (已修改, 未保存)

	* 所属排放源	* 油品销售类型	* 销售量单位	* 全年销售量
✕	加油站	汽油加油站	吨	请输入
✕	加油站	柴油加油站	吨	请输入

油气回收信息

	* 油气回收技术
✕	请选择

备注

汽、柴油分别填报销售量;

如果不销售汽油或柴油, 就填写“0”。

二、编制方法——活动水平（企业）

储油库请分别填报汽、柴、原油全年储存量

大气污染源排放清单编制与分析系统

测试账户

首页

任务管理

数据填报

诊断审核

储油库-示例 正常生产 驳回

提交备注

填报编号: B233AA31 所属任务: 2022年城市大气污染源排放清单编制 分配人: 上海市管理员

企业信息

储油库 (3)

* 为必填项

保存

基本信息

	* 所属排放源	* 油品储存类型	* 储存量单位	* 全年储存量
✕	储油库	原油储存	吨	299
✕	储油库	汽油储存	吨	299
✕	储油库	柴油储存	吨	299

油气回收信息

✕	三次油气回收	95
---	--------	----

备注

分别填报汽、柴、原油全年储存量；

如果不储存某一类，就填写“0”。

Copyright @2010-2020

二、编制方法——活动水平（企业）

半导体企业填报的以下信息

表单	重点关注内容
企业信息	年用电量
企业信息	年用水量及废水排放量（备注）
原辅料及产品	生产线设计产能（年产xxx）
原辅料及产品	年生产的总晶圆面积（SEMI）/总平板面积（FPD）/总电池片面积（PV）
原辅料及产品	所用真空泵台数
原辅料及产品	COF ₂ 用量，F ₂ 用量，CH ₄ 使用量
原辅料及产品	POU尾气处理装置数量（xx台燃气式、xx台等离子体、xx台催化吸附式、xx台其他）

二、编制方法——活动水平（企业）

重点填报和核实的企业工业生产过程原辅料和产品情况

行业	重点关注内容
钢铁生产过程	冶金焦的产量
	粗钢产量
硝酸生产过程 (重点关注行业：2611无机酸制造)	硝酸产量
电力设备生产过程 (重点关注行业：3823配电开关控制设备制造)	SF6消耗量
半导体生产过程 (重点关注行业：3972半导体分立器件制造；3985电子专用材料制造)	NF3、SF6、CF4、C2F6、C3F8、C4F6、c-C4F8、c-C4F8O、C5F8、CHF3、CH2F2、CH3F等物质消耗量
二氧化钛生产过程 (重点关注行业：2619其他基础化学原料制造)	合成金红石产量 金红石二氧化钛（氯化工艺）

行业	重点关注内容
氢生产过程	氢产量
石油化工和碳黑生产过程	甲醇产量及相应原辅料消耗量
	乙烯产量及相应原辅料消耗量
	二氯乙烷产量及相应原辅料消耗量
	氯乙烯产量及相应原辅料消耗量
	环氧乙烷产量及相应原辅料消耗量
	丙烯腈产量及相应原辅料消耗量
涉及到HFCs排放的其他生产过程（重点关注行业：3464制冷、空调设备制造；3851家用制冷电器制造；2924泡沫塑料制造；3595社会公共安全设备及器材制造）	HFC-125、HFC-32、HFC-134a、HFC-143a、HFC-152a、HFC-236fa、HFC-245fa、HFC-227ea、HFC-23等HFCs物质消耗量

二、编制方法——活动水平（部门资料）



序号	任务分工	污染源/温室气体类别		关键字段	对应报表
1	区卫健委	源清单	医院	各级医疗机构数量、年均门急诊量	表1-1
		源清单	备用发电机组	备用内燃机发电机组（柴油）	表1-2
2	公安金山分局 (含车管所)	源清单	道路机动车	载客、载货机动车保有量	表2-1
		源清单	综合	城镇人口、农村人口、外来流动人口	表2-2
3	区土储中心	源清单	土壤扬尘	土壤扬尘面积等	表3-1
4	区统计局	源清单	综合	金山区统计年鉴	表4-1
		温室气体	能源活动	能源平衡表	表4-2
		源清单	综合	金山区生产总值	表4-3
		温室气体	综合	第三产业增加值	表4-4
		温室气体	能源活动	2021年规上工业分行业分能源品种加工转换量、消费量；	表4-5
		温室气体	非能源利用	分能源品种化石燃料非能源利用量	表4-6
		温室气体	工业废水	工业废水年处理量、COD去除量、甲烷回收量	表4-7
5	区规划资源局	源清单	道路扬尘	全区道路路网信息	表5-1
		源清单	道路扬尘	不同类型（主/次干道/支路、国/省/县/乡道），道路长度	表5-2

二、编制方法——活动水平（部门资料）



序号	任务分工	污染源/温室气体类别		关键字段	对应报表
6	区建管委	源清单/温室气体	建筑涂层/建筑业	2021年全区新增建筑施工面积	表6-1
		源清单	施工扬尘	全区建筑工地基本信息	表6-2
		源清单	施工扬尘	各工地的施工面积、施工阶段、控尘措施、施工时间	表6-3
		源清单	工程机械	各类机械保有量、燃油消耗量、额定功率、年使用天数、日使用小时数	表6-4
		源清单	备用发电机组	备用内燃机发电机组排放阶段、燃料消耗量	表6-5
7	区交通委	源清单	沥青铺路	新增沥青铺路面积	表7-1
		源清单	汽修	汽修企业名单	表7-2
		源清单	汽修	各汽修厂涂料（油漆）、稀释剂、胶黏剂使用情况，废气处理方式、处理效率	表7-3
		源清单	工程机械	各类机械保有量、燃油消耗量、额定功率、年使用天数、日使用小时数	表7-4
		源清单	备用发电机组	备用内燃机发电机组排放阶段、燃料消耗量	表7-5
		源清单	道路扬尘	不同类型（主/次干道/支路、国/省/县/乡道），道路长度、车辆流量等信息	表7-6
8	区城管执法局	源清单	市政涂料	不同类型市政涂料用量	表8-1
		源清单	工程机械	各类机械保有量、燃油消耗量、额定功率、年使用天数、日使用小时数	表8-2
		源清单	备用发电机组	备用内燃机发电机组排放阶段、燃料消耗量	表8-3
		源清单	餐饮企业	各餐饮企业餐饮类型、总灶头数、营业时段、油烟净化器名称、净化效率、燃料年使用量等	表8-4

二、编制方法——活动水平（部门资料）

序号	任务分工	污染源/温室气体类别		关键字段	对应报表
9	区经委	源清单	储油库	原油、汽柴油吞吐量	表9-1
		源清单	油罐车	原油、汽柴油运输量	表9-2
		源清单	加油站	汽柴油销售量、油气回收情况	表9-3
10	区市场监管局	源清单	餐饮企业	餐饮企业名单	表10-1
		源清单	餐饮企业	各餐饮企业餐饮类型、总灶头数、营业时段、油烟净化器名称、净化效率、燃料年使用量等	表10-2
		源清单	干洗店	干洗企业名单	表10-3
			干洗店	各干洗店有机溶剂使用量、废弃有机溶剂处理信息	表10-4
11	区农业农村委	源清单	农药使用	杀虫剂、除草剂、杀菌剂年使用量	表11-1
		源清单/温室气体	化肥使用	各街镇氮肥、磷肥、钾肥、复合肥施用量	表11-2
		源清单	秸秆堆肥	秸秆产生量、堆肥比例	表11-3
		源清单	农用机械	各类机械保有量、燃油消耗量、额定功率、年使用天数、日使用小时数	表11-4
		源清单	畜牧养殖	养殖场名称、位置、不同种类养殖量	表11-5
		温室气体	畜牧养殖	不同种类畜禽规模化饲养量、农户饲养量	表11-6
		温室气体	稻田种植	种植面积	表11-7
		温室气体	农作物种植	播种面积、产量、秸秆还田率	表11-8

二、编制方法——活动水平（部门资料）



序号	任务分工	污染源/温室气体类别		关键字段	对应报表
12	区绿化市容局	源清单	道路扬尘	街镇名称、道路类型、扬尘控制措施	表12-1
		源清单	工程机械	各类机械保有量、燃油消耗量、额定功率、年使用天数、日使用小时数	表12-2
		源清单	备用发电机组	备用内燃机发电机组排放阶段、燃料消耗量	表12-3
		源清单	固废处理	各固废处理厂垃圾填埋、堆肥、焚烧处理量	表12-4
		温室气体	固废焚烧	作为发电能源利用的垃圾焚烧量	表12-5
		温室气体	森林资源	各类林木面积、蓄积量、转化面积	表12-6
13	水务局	源清单	城镇污水处理	各污水处理厂污水年处理量	表13-1
		温室气体	生活污水处理	生活污水处理量	表13-2
14	气象局	源清单	综合	气象数据	表14-1
15	生态环境局	温室气体	生物质燃烧	业企业生物质燃料消耗量	表15-1
		温室气体	生活污水处理	生活污水进出口COD浓度；	表15-2
		温室气体	工业废水	工业废水COD去除量与排放量；	表15-3
		温室气体	固体废弃物	危废、污泥焚烧量	表15-4
16	燃气公司	温室气体	燃气系统逃逸	2021年全区天然气运输设施数量、天然气消费量；	表16-1
17	供电公司	温室气体	电力热力间接排放	2021年全区总用电量；	表17-1
		温室气体	电力热力间接排放	各街镇2021年用电量	表17-2
		温室气体	电力热力间接排放	各街镇重点楼宇2021年用电量	表17-3
		温室气体	电力热力间接排放	各街镇重点居民小区2021年用电量	表17-4

二、编制方法——本地化系数-石油炼化行业为例



- ▶目前研究缺乏对石油炼制行业独自の碳排放核算，大多与炼焦行业作为一个整体或对石化行业进行核算。我国炼焦行业及化学原料及化学制品制造业也是高能耗行业，将其与石油炼制行业作为一个整体难以准确获取石油炼制行业的碳排放特征、影响因素等。
- ▶目前关于石油炼制的评价大多为具体炼油产品的环境影响评价。产品层面的环境影响评价一般将石油炼制过程作为一个整体进行“黑箱”处理，无法从根源上识别石油炼制过程产生环境影响的关键装置、具体环节和主要物质，且不能全面反映石油炼制行业的整体影响。从工业过程层面开展石油炼制环境影响评价，可整体把握石油炼制过程的环境影响类别，并能从根源解析关键贡献环节，对行业减排重点的确定及政策的制定有重要的意义。

对石油炼制行业的温室气体排放系数研究，采用“生产系统—工业过程—生产单元—排放节点”四层分类的方法对石油炼制过程碳排放源进行识别。识别原则为：

- ▶ 首先从生产系统层面将企业分为基本生产系统及辅助生产系统；
- ▶ 两大生产系统分解为具体的工业过程，如基本生产系统下分为常减压、催化裂化、催化重整等过程；
- ▶ 各工业过程根据关键物料流动，进一步分解为具体的生产单元，如常减压装置可分解为预处理、常压蒸馏、减压蒸馏单元；
- ▶ 最后分析各生产单元的原辅料投入及反应原理，识别具体的排放节点、排放因子及排放形式

二、编制方法——本地化系数



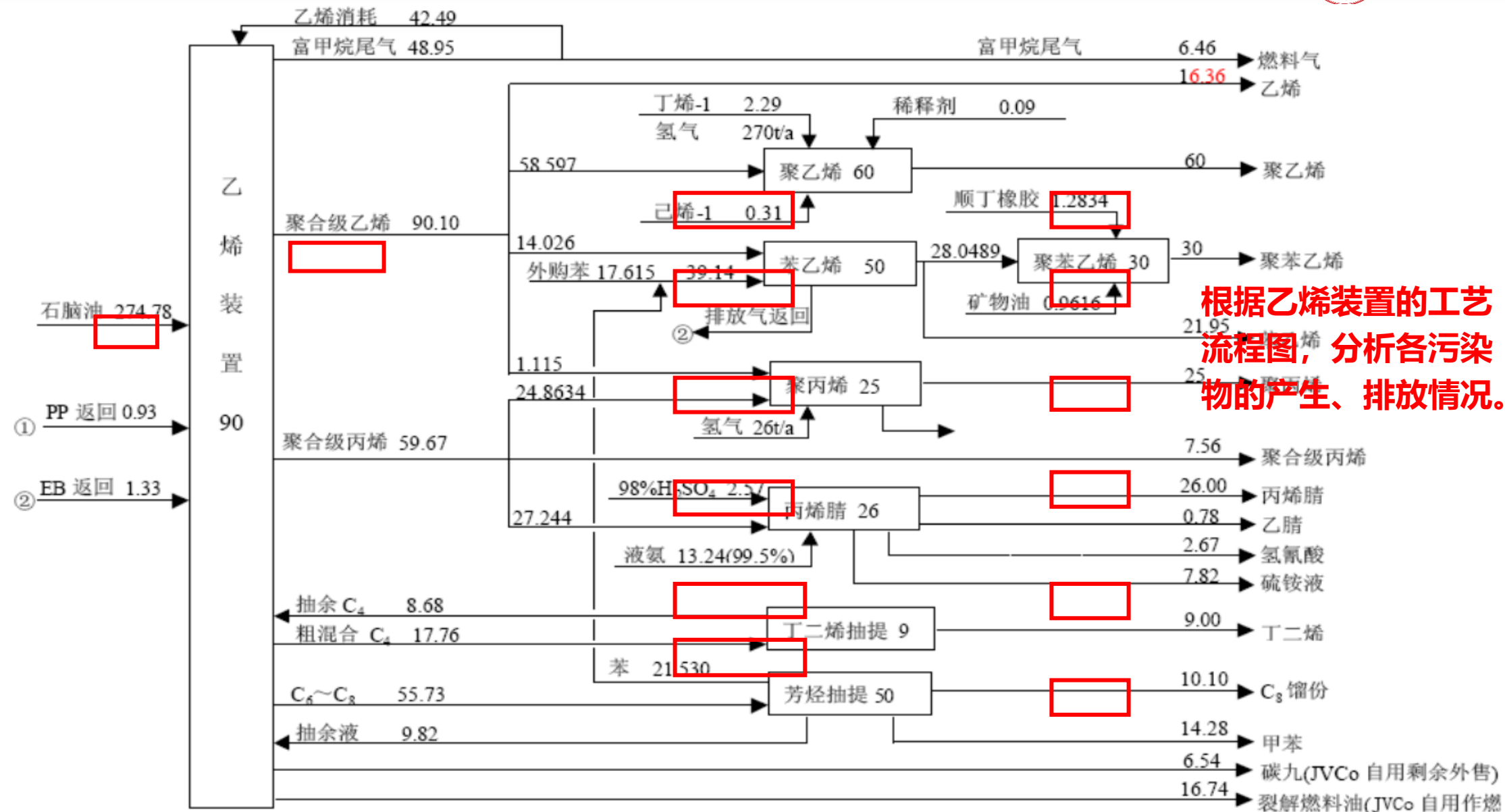
生产系统	工业过程	生产单元	排放环节	直接排放气体	间接排放气体
基本生产系统	常减压	电脱盐脱水	电力消耗间接排放	/	CO ₂ 、CO、CH ₄ 、VOCs、N ₂ O
		常压蒸馏	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		减压蒸馏	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	加氢裂化	反应部分	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		分馏部分	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	催化裂化	反应-再生-能量回收	催化剂烧焦尾气排放、电力热力消耗	CO ₂ 、CO、CH ₄ 、VOCs、N ₂ O	
		分馏部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		吸收稳定	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	延迟焦化	焦化部分	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		分馏部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		冷切焦	放空、无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	减粘裂化	分馏部分	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	溶剂脱沥青	萃取、溶剂回收	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	加氢精制、改质	反应部分	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		分馏部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	吸附脱硫	反应再生	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		稳定部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	催化重整	预处理	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		重整稳定	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		抽提部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		催化剂再生	催化剂烧焦尾气排放、电力热力消耗	CO ₂ 、CO、CH ₄ 、VOCs、N ₂ O	
	气体脱硫	脱硫部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		胺液再生	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	气体分离	气体精馏	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	烷基化	原料精制	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		反应	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		流出物精制	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		分馏部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	异构化	反应部分	加热炉燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		分馏部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	聚丙烯	原料精制	无组织逸散、电力热力消耗	CO ₂ 、丙烯	
		聚合系统	无组织逸散、电力热力消耗	丙烯、丙烷	
		闪蒸系统	无组织逸散、电力热力消耗	丙烯、丙烷	
		丙烯回收	无组织逸散、电力热力消耗	丙烯、丙烷	
		醚化反应	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	MTBE	催化蒸馏	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		甲醇回收	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		MTBE精制	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	

二、编制方法——本地化系数



生产系统	工业过程	生产单元	排放环节	直接排放气体	间接排放气体
辅助生产系统	动力车间	除盐水生产	电力热力消耗	/	CO ₂ 、CO、CH ₄ 、VOCs、N ₂ O
		锅炉单元	燃料燃料、电力热力消耗	CO、CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		发电单元	电力热力消耗	/	
		空分空压	电力热力消耗	/	
	供水系统	预处理	电力热力消耗	/	
	循环冷却水	冷却、换热	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	污水汽提	沉降除油	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		汽提部分	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	硫磺回收	反应部分	电力热力消耗	/	
		冷凝部分	电力热力消耗	/	
		加氢吸收	电力热力消耗	/	
		焚烧部分	尾气排放	CO、CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	制氢装置	加氢脱硫	燃料燃烧、无组织逸散、电力热力消耗	CO、CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		转化部分	燃料燃烧、尾气排放、无组织逸散、电力热力消耗	CO、CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
		中温变换	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		氢气提纯	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
	油品储存	储存调和、油气回收	有机废气燃烧、无组织逸散、电力热消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	产品装卸	装卸、油气回收	有机废气燃烧、无组织逸散、电力热消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	火炬系统	/	有机废气燃烧、电力热力消耗	CO ₂	
	废水处理	隔油浮选	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		生物处理	无组织逸散、电力热力消耗	CH ₄ 、VOCs	
		有机废气处理	有机废气燃烧、电力热力消耗	CO ₂ 、CH ₄ 、VOCs	
	碳捕集、回收	/	/	/	/
	移动源	非道路移动机械、物流车等	车用燃料燃烧排放	CO ₂ 、CO、CH ₄ 、VOCs、N ₂ O	/

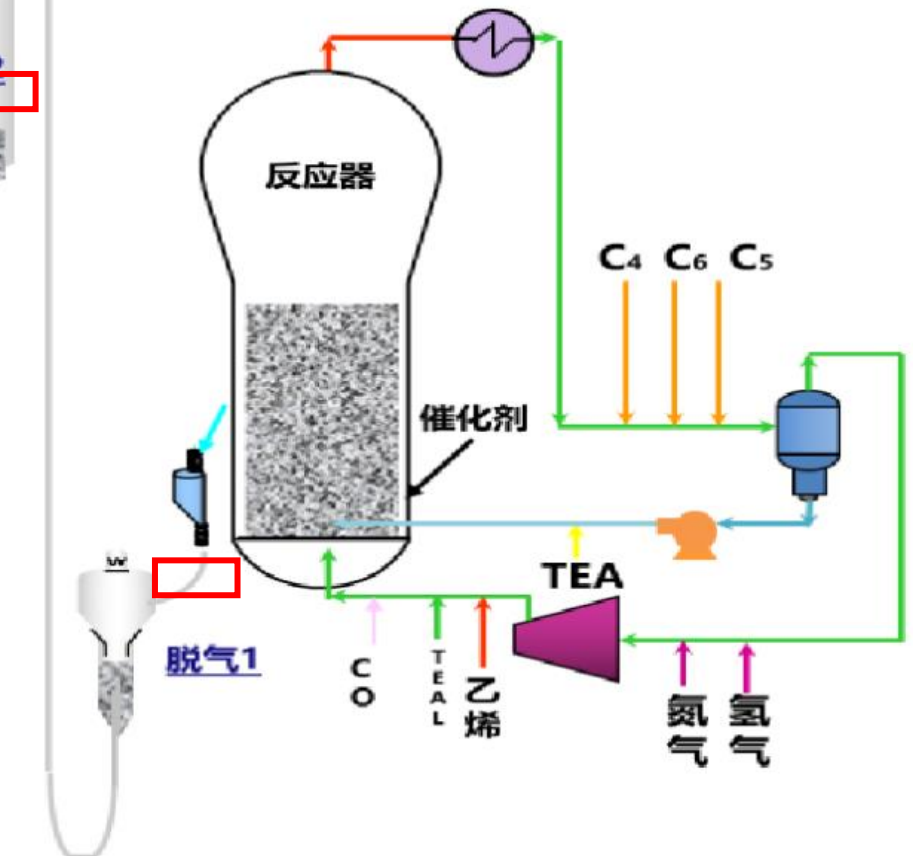
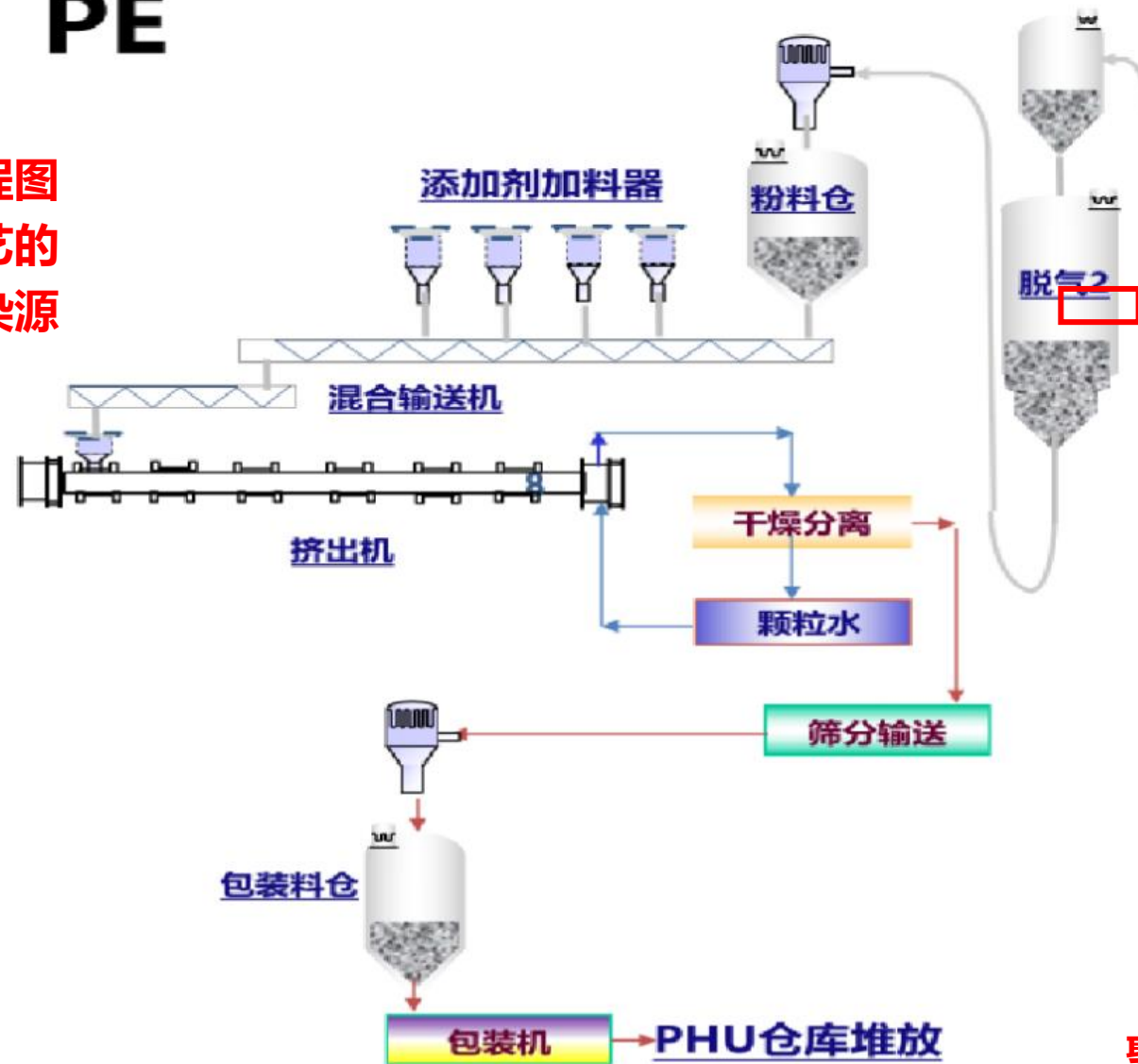
二、编制方法——本地化系数



二、编制方法——本地化系数

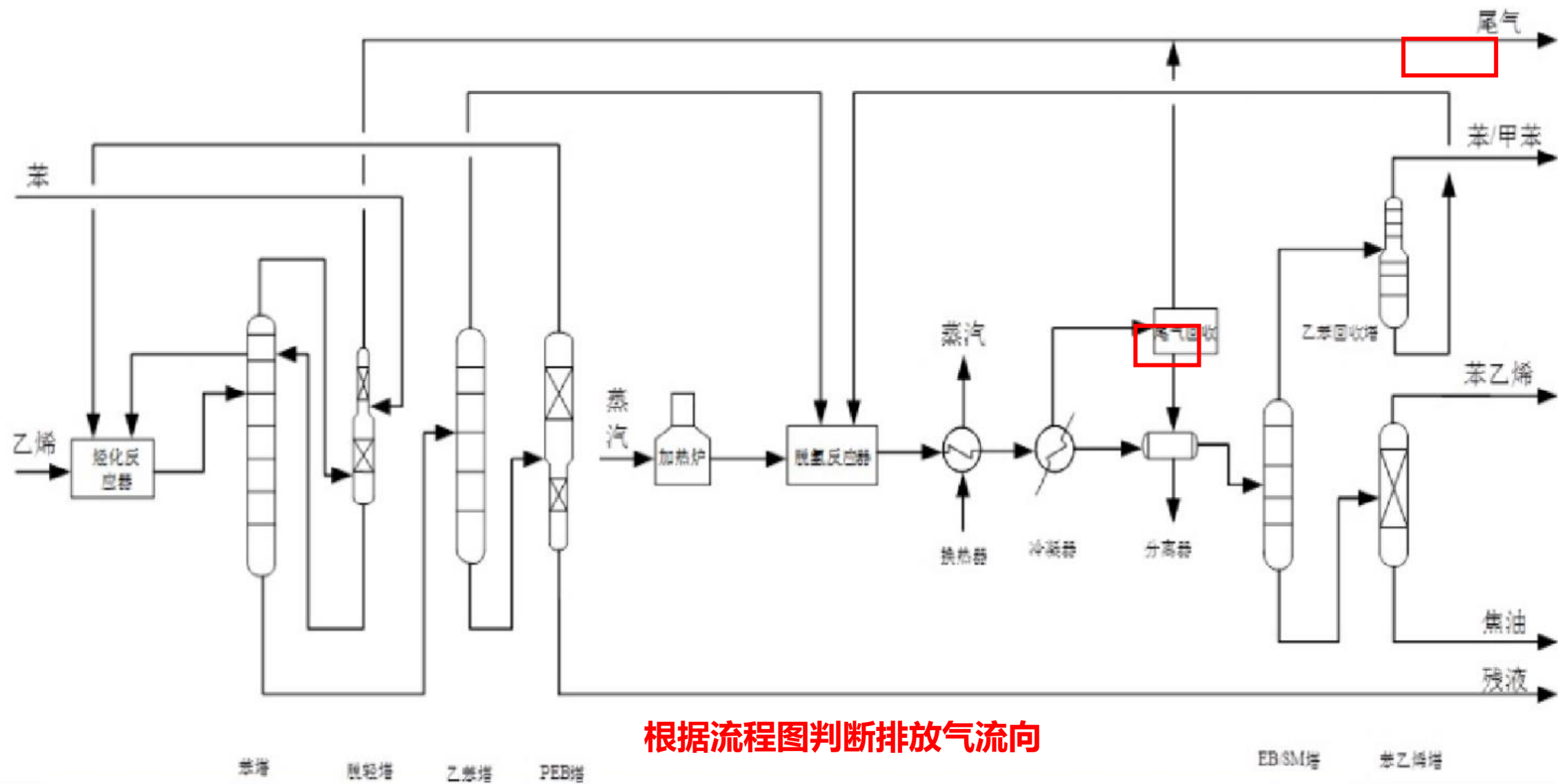
PE

根据流程图
确定工艺的
主要污染源



聚乙烯流程图

二、编制方法——本地化系数



二、编制方法——本地化系数

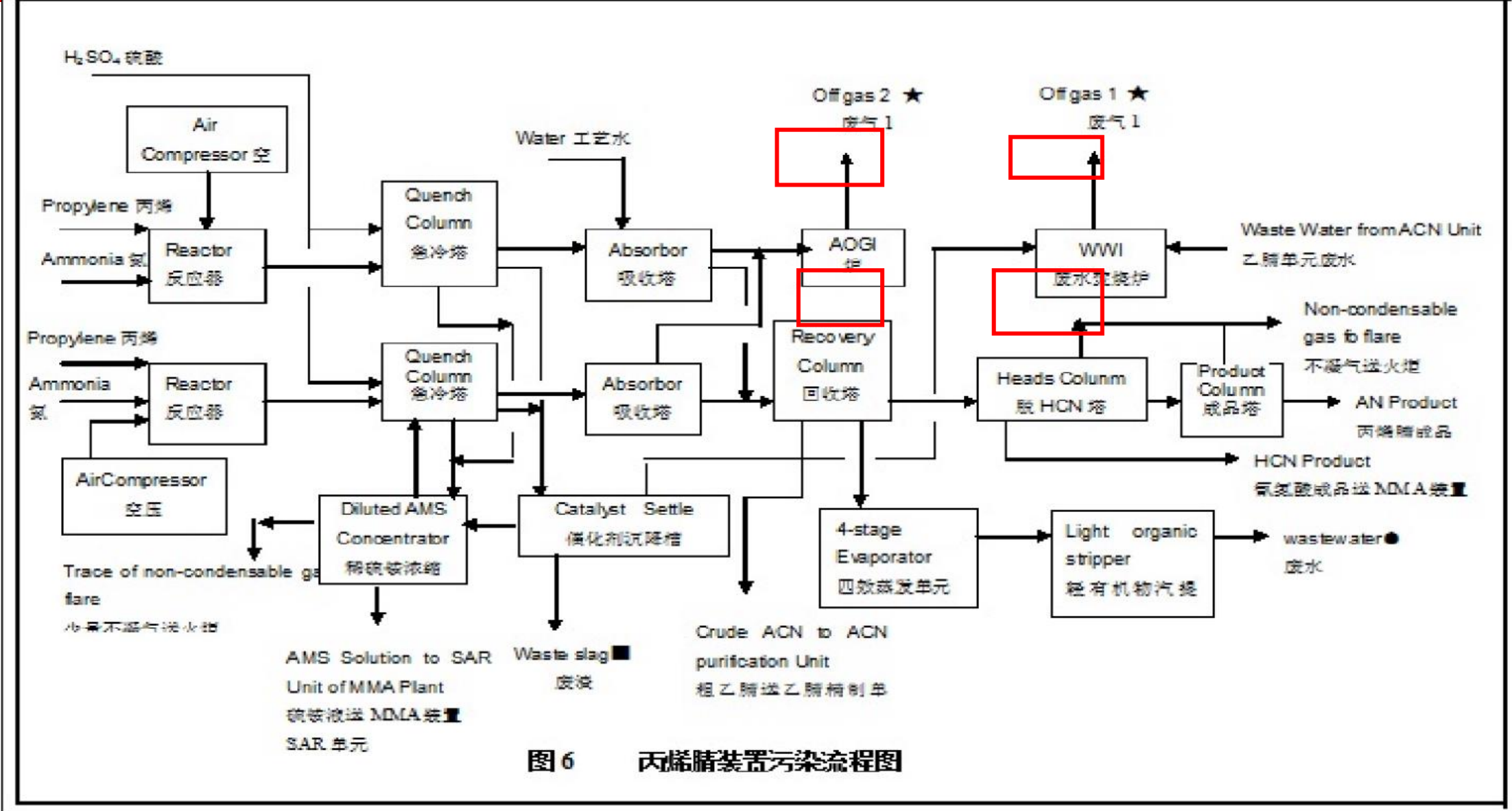


图6 丙烯腈装置污染流程图

根据流程图确定工艺废气排放口



二、编制方法——本地化系数

► 根据石化行业的特征，筛选出16组四同进行更新,核算个体四同20个；

产品名称	原料名称	工艺名称	生产规模等级
催化裂化汽油、柴油	常压渣油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	常压渣油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以下
催化裂化汽油、柴油	减压馏分油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	减压馏分油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以下
催化裂化汽油、柴油	焦化蜡油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	焦化蜡油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以下
催化裂化汽油、柴油	加氢生成油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	加氢生成油	催化剂贫氧再生	年产10万吨以下
催化裂化汽油、柴油	常压渣油	催化剂富氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	常压渣油	催化剂富氧再生	年产10万吨以下
催化裂化汽油、柴油	减压馏分油	催化剂富氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	减压馏分油	催化剂富氧再生	年产10万吨以下
催化裂化汽油、柴油	焦化蜡油	催化剂富氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	焦化蜡油	催化剂富氧再生	年产10万吨以下
催化裂化汽油、柴油	加氢生成油	催化剂富氧再生	年产10万吨以上
催化裂化汽油、柴油	加氢生成油	催化剂富氧再生	年产10万吨以下

二、编制方法——本地化系数



► 工业生产过程源：

制氢过程、硫磺回收：制氢过程、硫磺回收反应尾气中碳主要来自于原料中的碳，该部分核算方法参考《中国石油化工企业温室气体排放核算方法与报告指南》；

火炬燃烧：火炬排放量较小，主要考虑CO₂的核算。可通过分析火炬气成分核算碳排放量，参考《石化指南》正常工况下火炬燃烧CO₂排放；

油气回收系统：油气回收系统用来收集处理汽油、柴油等产品装卸过程挥发的油气，收集的油气通过吸收处理后直接排放或燃烧后排放，直接排放考虑甲烷逃逸。

► 逸散排放源

生产过程逃逸：各生产装置总烃（TVOCs，包括甲烷及VOCs）排放主要来源于各设备动静密封点泄露、延迟焦化泄压、冷焦切焦排放、放空等。



► 逸散排放源

有机液体储存调和损失：有机液体储存调和损失包括静置损失和工作损失，主要排放甲烷及VOCs；

其他逸散源：循环水冷却系统、有机液体装卸源逸散等；

► 废弃物处理源

废水处理：炼油企业大多在厂内设有污水处理设施。采用厌氧处理过程产甲烷菌会产生部分 CH_4 ，隔油及浮选过程废水中含有的石油类会挥发部分VOCs，硝化及反硝化作用会产生部分 N_2O ；

固废处理：炼油厂产生固废可自身处理，也可委托第三方有资质单位进行处理，核算方法可参照《省级温室气体清单编制指南》进行核算；

二氧化碳回收利用：企业若设有二氧化碳回收技术，该部分应从排放总量中进行扣除。



二、编制方法——本地化系数

产品名称	原料名称	工艺名称	生产规模等级	温室气体排放系数	污染物产污系数的计量单位
常减压分馏油	原油	常减压	所有规模	0.027	吨二氧化碳当量/吨原料
催化裂化汽油、柴油	常减压分馏油	催化裂化	所有规模	0.255	吨二氧化碳当量/吨原料
焦化汽油、煤油、柴油、石油焦	渣油	延迟焦化	所有规模	0.029	吨二氧化碳当量/吨原料
烷烃、烯烃	脱硫液化气	气体分离	所有规模	0.040	吨二氧化碳当量/吨原料
甲基叔丁基醚	液化气、甲醇	MTBE	所有规模	0.018	吨二氧化碳当量/吨原料
重整汽油、石脑油、芳烃	石脑油、焦化汽油	连续重整	所有规模	0.286	吨二氧化碳当量/吨原料
精制汽油	催化裂化汽油	汽油脱硫	所有规模	0.024	吨二氧化碳当量/吨原料
加氢柴油	催化裂化柴油	柴油加氢	所有规模	0.045	吨二氧化碳当量/吨原料
沥青	丙烷	丙烷脱沥青	所有规模	0.088	吨二氧化碳当量/吨原料
氢气	炼厂干气	干气制氢	所有规模	6.554	吨二氧化碳当量/吨产品

化石燃料燃烧源

化石燃料燃烧源主要为企业生产过程中的工业锅炉、工业炉窑等排污单元。工业企业中的化石燃料燃烧源按照点源处理，基于第四级排放源计算逐个排污设备排放量，公式如下：

$$E = A \times EF \times (1 - \eta)$$

式中：
A为逐个排污设备燃料消耗量；
EF为污染物产生系数；
η为污染控制措施对污染物的去除效率。

化石燃料燃烧源计算时，根据燃料种类和燃烧技术选择相对应的排放因子

		排放因子 单位：g/kg（气体燃料系数单位是 g/m3）							
燃料	燃烧技术	CO	NOx	SO2	VOCs	PM2.5	PM10	BC	OC
煤炭	煤粉炉	2	装机容量 b	物料衡算	0.04	物料衡算	物料衡算	物料衡算	物料衡算
煤炭	流化床炉	2	装机容量 b	物料衡算	0.04	物料衡算	物料衡算	物料衡算	物料衡算
煤炭	自动炉排层燃炉	8	装机容量 b	物料衡算	0.04	物料衡算	物料衡算	物料衡算	物料衡算
焦炭	不分技术	2	8.85	物料衡算	0.04	物料衡算	物料衡算	物料衡算	物料衡算
煤矸石	不分技术	2	装机容量 b	物料衡算	0.04	物料衡算	物料衡算	物料衡算	物料衡算
其它焦化产品	不分技术	0	10.06	0	0.04	0	0	0	0
焦炉煤气 c	燃气锅炉	1.3	1.35	0	0.02	0.03	0.03	0	0
高炉煤气 c	燃气锅炉	1.3	1.35	0	0.05	0.03	0.03	0	0
其它煤气 c	燃气锅炉	1.3	1.35	0	0.05	0.03	0.03	0	0
天然气 c	燃气锅炉	1.3	4.1	0	0.02	0.03	0.03	0	0
液化天然气	燃气锅炉	0.36	3.74	0	33	0.17	0.17	0.02	0.05
液化石油气	燃气锅炉	0.36	3.74	0	33	0.17	0.17	0.02	0.05
炼厂干气	燃气锅炉	0	0.75	0	0	0	0	0	0
转炉煤气 c	燃气锅炉	1.3	1.35	0	0.05	0.03	0.03	0	0
其它气体燃料 c	燃气锅炉	1.3	1.35	0	0.02	0.03	0.03	0	0



工艺过程源

工艺过程源为企业生产过程中对工业原料进行物理和化学转化为目的的工业活动。工排放量计算公式如下：

$$E = A \times EF \times (1 - \eta)$$

其中，A 为对应生产工序的工业产品产量。EF 为各污染物的产生系数。η为污染控制技术对各污染物的去除效率。

工艺过程源计算时，根据产品种类和工艺技术选择相对应的排放因子

产品	工艺技术	CO	NOx	SO2	NH3	VOCs	PM2.5	PM10	BC	OC
焦炭	机械炼焦	1.6	1.7	1.08	0	2.96	5.22	8.79	1.57	1.83
焦炭	土法炼焦	15.6	1.7	2.79	0	5.36	5.22	8.79	1.57	1.83
烧结矿	烧结_有组织排放	16	0.55	1.34	0	0.25	2.52	5.81	0.003	0.13
烧结矿	烧结_无组织排放	0	0	0	0	0.25	0.1	0.24	0.001	0.005
球团矿	球团_有组织排放	16	0.5	1.34	0	0.25	2.52	5.81	0.003	0.13
球团矿	球团_无组织排放	0	0	0	0	0.25	0.1	0.24	0.001	0.005
生铁	高炉_有组织排放	15.29	0.17	0.14	0	0	5.27	8.43	0.53	0.11
生铁	高炉_无组织排放	0	0	0	0	0	0.73	1.22	0.07	0.01
粗钢	转炉_有组织排放	8.75	0	0	0	0.06	10.45	14.63	0	2.09
粗钢	电炉_有组织排放	9	0	0	0	0.06	6.02	8.12	0	0.12
粗钢	转炉_无组织排放	0	0	0	0	0	1.05	1.46	0	0
粗钢	电炉_无组织排放	0	0	0	0	0	0.6	0.81	0	0
铸铁	铸造_有组织排放	0	0.21	0.18	0	0	7.1	9.01	0	0.21
铸铁	铸造_无组织排放	0	0	0	0	0	1.38	2.82	0	0.04

溶剂使用源

溶剂使用源为企业生产过程中的印刷、喷涂等涉及有机溶剂使用的排污单元。对于溶剂使用源，根据含有机溶剂物料使用量来计算，计算公式如下：

$$E = Q \times EF \times (1 - \eta)$$

其中， Q 为对应有机溶剂物料的使用量。 EF 为污染物的产生系数。 η 为污染控制技术对污染物的去除效率。

溶剂使用源计算时，根据溶剂使用过程和溶剂类型选择相对应的排放因子

溶剂使用过程	溶剂类型	VOCs	单位
油墨印刷	传统油墨	750	g/kg 油墨
油墨印刷	新型油墨	100	g/kg 油墨
染料印染	不分技术	81.40	g/kg 染料
建筑内墙涂料	水性涂料	120	g/kg 涂料
建筑内墙涂料	溶剂型涂料	360	g/kg 涂料
建筑外墙涂料	水性涂料	120	g/kg 涂料
建筑外墙涂料	溶剂型涂料	450	g/kg 涂料
其它建筑涂料	水性涂料	120	g/kg 涂料
其它建筑涂料	溶剂型涂料	450	g/kg 涂料
汽车喷涂	不分技术	21.20	kg/辆
自行车喷涂	不分技术	0.30	kg/辆
摩托车喷涂	不分技术	1.80	kg/辆
轿车喷涂	不分技术	2.43	kg/辆
饮料罐涂层	不分技术	97	t/生产线/年
漆包线涂层	不分技术	84.37	t/生产线/年
金属家具涂层	不分技术	0.20	kg/件
家电涂层	不分技术	0.20	kg/件
装修木器涂层	不分技术	640	g/kg 涂料
木制家具涂层	不分技术	640	g/kg 涂料

基于在线监测数据的计算方法

对于安装烟气排放连续监测系统的企业，按照《固定污染源烟气排放连续监测系统技术要求及检测方法》（HJ 76-2017）计算SO₂、NO_x和颗粒物排放量，计算公式：

$$D_i = \overline{C_i} \times \overline{Q_i} \times 10^{-6}$$

式中： D_i 为第*i*小时污染物排放量，kg/h；

$\overline{C_i}$ 为第*i*小时污染物质量浓度均值，mg/m³；

$\overline{Q_i}$ 为第*i*小时烟气排放量均值，m³/h。

- 以小时、日、月为时间单位分析污染物排放时间变化特征。SO₂、NO_x、颗粒物的小时排放量，计算公式如下：

$$E_i = C_i' \times Q_{sn} \times 10^{-6}$$

$$Q_{sn} = Q_s \times \frac{273}{273 + t_s} \times \frac{B_a + P_s}{101325} \times (1 - X_{sw})$$

$$Q_s = 3600 \times F \times \overline{V}_s$$

$$\overline{V}_s = K_v \times \overline{V}_p$$

式中： E 是污染物小时排放量，kg/h；

C_i' 是标准状态下干烟气状态下污染物质量浓度，mg/m³；

Q_{sn} 是标准状态下干排烟气量，m³/h； i 代表污染物SO₂，NO_x和颗粒物。

Q_s 是实际工况下湿烟气流量，m³/h；

t_s 是烟温，℃； B_a 是大气压力，Pa；

P_s 是烟气静压，Pa； X_{sw} 是烟气中含湿量；

F 是测定断面的面积，m²；

$\overline{V}_s$ 是测定断面的湿排气平均流速，m/s；

$\overline{V}_p$ 是测定断面流速连续监测系统测得的湿排气平均流速，m/s；

K_v 是速度场系数。

LTO循环污染物排放核算方法

✈ 在LTO循环过程中，飞机污染物的排放量主要由飞机发动机类型、发动机工作模式（进近、滑行、起飞和爬升）、不同工作模式下飞机发动机燃油消耗速率和排放因子以及飞机不同工作模式的工作时间（Time-in-mode, TIM）所确定。

$$E_{i,m} = \sum_a \sum_j L_{a,j} \times EI_{i,m,j} \times fuel\ flow_{a,m,j} \times TIM_{a,m}$$

$E_{i,m}$ 为飞机发动机污染物*i*在*m*工作模式下的一年的排放量，g/yr；

$L_{a,j}$ 为*j*型飞机一年LTO循环次数；

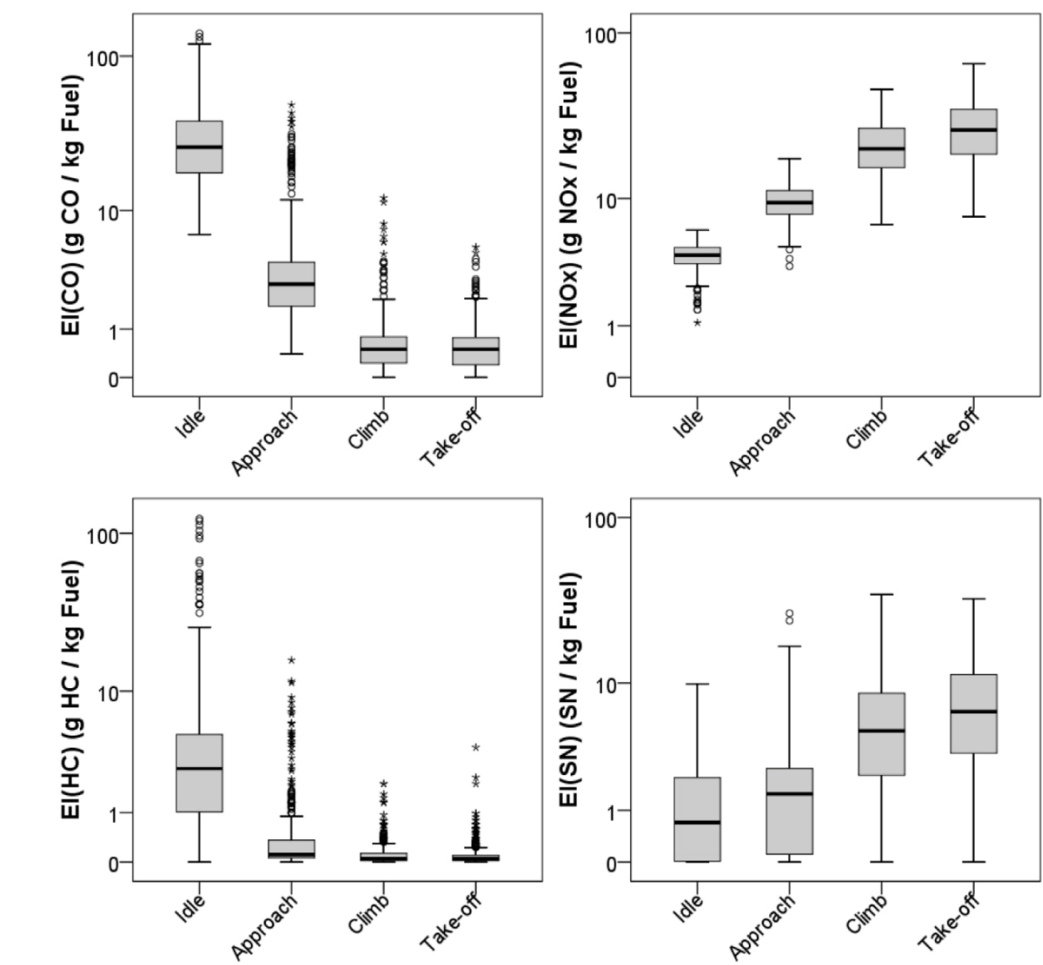
$EI_{i,m,j}$ 为*j*型飞机*i*污染物在*m*工作模式下的排放因子，kg/s；

$fuel\ flow_{a,m,j}$ 为*j*型飞机在*m*工作模式下的燃油消耗速率，g/kg；

$TIM_{a,m}$ 为机场飞机在*m*工作模式下的工作时间，s；

*i*污染物为ICAO排放因子数据库中的所包含的污染物，包括NO_x、HC及CO。

排放因子数据库构建



固定源化石燃料燃烧

计算公式

$$E_{CO_2} = \sum_j \sum_i \sum_k (AD_{j,i,k} \times EF_{j,i,k} \times (1 - \delta)) \quad EF_i = CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12}$$

$$AD_i = FC_i \times NCV_i \times 10^{-6}$$

$$E_{N_2O} = \sum \sum AD_{i,k} \times EF_{i,k}$$

注：E_{CO₂}：二氧化碳排放量；E_{N₂O}：电站氧化亚氮排放量；EF：相应排放因子；AD：燃料消费量；j：工业点源；i：化石燃料品种；k：技术类型/设备；FC：化石燃料的消耗量；NCV：化石燃料的平均低位发热值；CC：化石燃料的单位热值含碳量；OF：化石燃料的碳氧化率

活动水平数据来源

- 企业：环境统计数据 > 清单系统调研数据
- 宏观：能源平衡表；分行业、分燃料品种的化石燃料消耗量及非能源利用量（用于计算点源汇总未覆盖和面源部分）

排放因子选择

- 企业实测 > 《上海市2017年温室气体排放清单》、《上海化工指南》本地特征值 > 《省级指南》、《2005年中国温室气体清单研究》

温室气体物种：二氧化碳、氧化亚氮

移动源化石燃料燃烧

道路交通

计算公式

$$E_{CO_2} = \sum \sum AD_{i,k} \times EF_{CO_2,i,k} \quad E_{N_2O} = \sum \sum AD_{i,k} \times EF_{i,k}$$

$$E_{CH_4} = \sum \sum AD_{i,k} \times EF_{CH_4,i,k}$$

机动车耗油量估算：公路（道路）交通用油_{i,k} = 机动车保有量_{i,k} × 机动车年运行公里数_{i,k} × 机动车百公里油耗_{i,k}

注：E：温室气体排放量；EF：温室气体排放因子；AD：化石燃料燃烧量；i：化石燃料品种；k：车型

活动水平数据来源

- 机动车保有量：交通部门
- 机动车年均行驶里程：《城市大气污染物排放清单》
- 百公里油耗：文献调研

排放因子选择

- 《省级指南》、《IPCC 2006》

温室气体物种：二氧化碳、甲烷、氧化亚氮

按照《省级指南》交通部门中的

水运和航空部门进行核算 

□ 核算范围：为市航空和水运部门的国内国际航空和水运的油耗排放

□ 在碳监测中的适用性：

□ 基于宏观计算的排放与上海市域内实际的航空和水运排放不匹配，极大高估了上海本地的排放水平，且不能提供地理空间信息，不适用于同化反演

□ 基于AIS数据的船舶排放计算，反映船舶在航线的实际排放；以机场为点源的LTO和APU过程计算，反映飞机在机场起降产生的实际排放，可为同化反演提供高分辨率数据

船舶-基于AIS数据

计算公式

船舶发动机功率计算公式（船舶主机、辅机和锅炉）

$$W = MCR \times LF \times Act$$

注：W为船舶所做的功，MCR为发动机额定功率，LF为负载因子（平均负荷与最大负荷的比值），Act为工作时间。

船舶发动机二氧化碳排放计算公式

$$E = W \times EF \times FCF \times CF \times 10^{-6}$$

注：E为排放量，EF为排放因子，FCF为燃料修正因子，CF为排放控制因子（使用了减排措施后的变化）。

排放因子修正公式

$$EF = \text{基础}EF \times LLA$$

注：LLA为低负载调整系数。

活动水平数据来源

- 专网获取东海航海保障中心实时船舶AIS数据

排放因子选择

- 根据船舶大小和种类所设置的排放系数库

温室气体物种：二氧化碳

飞机-以机场为点源

计算公式

各类机型 LTO 各模式下的核算方法

$$E_m = \sum_j L_j \times EI_{m,j} \times fuelflow_{m,j} \times TIM_m$$

注：E为飞机发动机二氧化碳在m工作模式下的一年的排放量；L为j型飞机一年LTO循环次数；EI为j型飞机二氧化碳在m工作模式下的排放因子；fuelflow为j型飞机在m工作模式下的燃油消耗速率；TIM为机场飞机在m工作模式下的工作时间。

飞机辅助动力装置（APU）核算方法：与LTO循环一样，都涉及燃油消耗速率、排放因子、飞行时间等多个方面

活动水平数据来源

- 机场集团、民航管理局提供航班分机型起降架次

排放因子选择

- ICAO排放因子数据库 + 本地化修正 + 《IPCC 2006》

温室气体物种：二氧化碳

生物质燃烧

计算公式

$$E = \sum_j \sum_i \sum_k (AD_{j,i,k} \times EF_{j,i,k} \times (1 - \sigma))$$

注：E=温室气体排放量；EF：排放因子；AD：活动水平，生物质燃料消耗量；j：工业点源；i：生物质燃料品种；k：设备类型； σ ：甲烷/氧化亚氮去除率

活动水平数据来源

- 民用：上海市无民用生物质燃烧
- 生物质成型燃料：环统 > 清单系统调研（生物质锅炉）

排放因子选择

- 环统 > 《IPCC 2006》> 文献调研

温室气体物种：甲烷、氧化亚氮

石油和天然气系统温室气体逃逸排放

计算公式

各个设施及活动环节的活动水平数据和相应的排放因子相乘得到各实际排放量，汇总得到总排放量

活动水平数据来源

- 上海涉及天然气输送和消费，原油炼制；调研燃气公司和相关企业获取

排放因子选择

- 《省级指南》

温室气体物种：甲烷



稻田甲烷排放

计算公式

$$E_{CH_4} = \sum EF_i \times AD_i$$

注：E-稻田甲烷排放总量；EF-排放因子,分类型稻田甲烷排放因子；AD-水稻播种面积；i-稻田类型

活动水平数据来源

- 协调农业农村委

排放因子选择

- CH4MOD > 文献调研 > 《省级指南》

温室气体物种：甲烷

活动水平数据来源：协调农业农村委（农作物播种面积、产量、粪肥施用量、秸秆还田率等）

排放因子选择：《省级指南》

农用地氧化亚氮排放

计算公式

根据《省级指南》，农用地氧化亚氮的直接和间接排放计算公式如下。

N输入=N化肥+N粪肥+N秸秆；

N粪肥=[（畜禽总排泄氮量-放牧-做燃料）+乡村人口总排泄氮量]×（1-淋溶径流损失率15%-挥发损失率20%）-畜禽封闭管理系统N2O排放量；

N化肥=化肥氮施用量；

N秸秆=（作物籽粒产量/经济系数-作物籽粒产量）×秸秆还田率×秸秆含氮率+作物籽粒产量/经济系数×根冠比×根或秸秆含氮率；

直接排放：

N₂O直接=N输入×直接排放因子；

间接排放：

N₂O沉降=(N畜禽×20%+N输入×10%) ×0.01；

N₂O leaching=N输入×20%×0.0075

温室气体物种：氧化亚氮

动物肠道发酵甲烷排放：

$$E_{CH_4} = \sum EF_i \times AP_i \times 10^{-3}$$

E-动物甲烷排放量；

EF-动物甲烷排放因子，千克/头/年

AP-动物数量，头/只。

动物粪便管理甲烷和氧化亚氮排放：

$$E_{CH_4/N_2O} = \sum EF_{CH_4/N_2O,i} \times AP_i \times 10^{-3}$$

E-粪便动物管理甲烷/氧化亚氮排放量，吨；

EF-粪便管理甲烷/氧化亚氮排放因子，千克/头/年；

AP-动物数量，头/只。

活动水平数据来源

- 环统数据（宏观）；清单系统调研（点源）

排放因子

- 《2017年上海市温室气体排放清单》本地特征值 > 《省级指南》

温室气体物种：甲烷、氧化亚氮

➤ 森林和其他木质生物质生物量碳贮存量变化

$$\Delta C_{\text{生物量}} = \Delta C_{\text{乔}} + \Delta C_{\text{散四疏}} + \Delta C_{\text{竹/经/灌}} - \Delta C_{\text{消耗}}$$

$$\Delta C_{\text{乔}} = V_{\text{乔}} \times GR \times \overline{SVD} \times \overline{BEF} \times 0.5$$

$$\Delta C_{\text{散四疏}} = V_{\text{散四疏}} \times GR \times \overline{SVD} \times \overline{BEF} \times 0.5$$

$$\Delta C_{\text{竹/经/灌}} = \Delta A_{\text{竹/经/灌}} \times B_{\text{散/四/疏}} \times 0.5$$

$$\Delta C_{\text{消耗}} = V_{\text{活立木}} \times CR \times \overline{SVD} \times \overline{BEF} \times 0.5$$

活动水平数据来源：

- 主要为乔木林、竹林、经济林、灌木林和散生木+四旁树+疏林等的面积和蓄积量，协调市绿化市容局，按区收集各地类的相关数据，若无法收集数据则通过最近3次调查结果通过外推法获得。

排放因子选择：

- 根据最近一次（第九次）全国森林资源清查（2014~2018年）获得的上海市各项数据分类归纳出上海市本地化系数，单位质量干物质中的碳含量取《省级指南》推荐值0.5。

温室气体物种：碳、二氧化碳

➤ 森林转化温室气体排放

根据《上海市2017年温室气体排放清单》上海市现不存在森林燃烧转化，木材收获后剩余生物量全部氧化分解

《省级指南》计算公式如下

分解碳排放 = 年转化面积（10年平均）×（转化前单位面积地上生物量 - 转化后单位面积地上生物量）×被分解部分的比例×地上生物量碳含量

活动水平数据来源与排放因子选择：

- 10年平均的年转化面积，协调绿化市容局
- 转化前单位面积地上生物量，采用当年度各优势树种（竹林）蓄积量、基本木材密度和生物量转换系数和乔木林（竹林）总面积计算获得
- 林地转化为非林地，主要用于建设用地，转化后地上部分生物量取0
- 被分解的地上生物量比例，上海市为100%

温室气体物种：碳、二氧化碳

二、编制方法——计算（温室气体清单、废弃物处理）



生活污水/工业废水处理甲烷排放：

计算公式

$$E_{CH_4} = TOW \times EF - R$$

注：E-排放量；TOW-生活污水有机物总量；EF-甲烷排放因子；
R-甲烷回收量

活动水平数据来源

- 年处理量、污染物进排口浓度及工艺等：环统数据>清单系统调研

排放因子选择

- 《省级指南》、文献调研

温室气体物种：甲烷

生活污水处理/工业废水处理氧化亚氮排放：

计算公式

区别于《省级指南》，对点源的氧化亚氮排放进行估算

$$E_{N_2O} = N_E \times EF_E \times 44 / 28$$

注：E-排放量；N-氮；EF-氧化亚氮排放因子

活动水平数据来源

- 年处理量、污染物进排口浓度及工艺等：环统数据>清单系统调研

排放因子选择

- 文献调研

温室气体物种：氧化亚氮

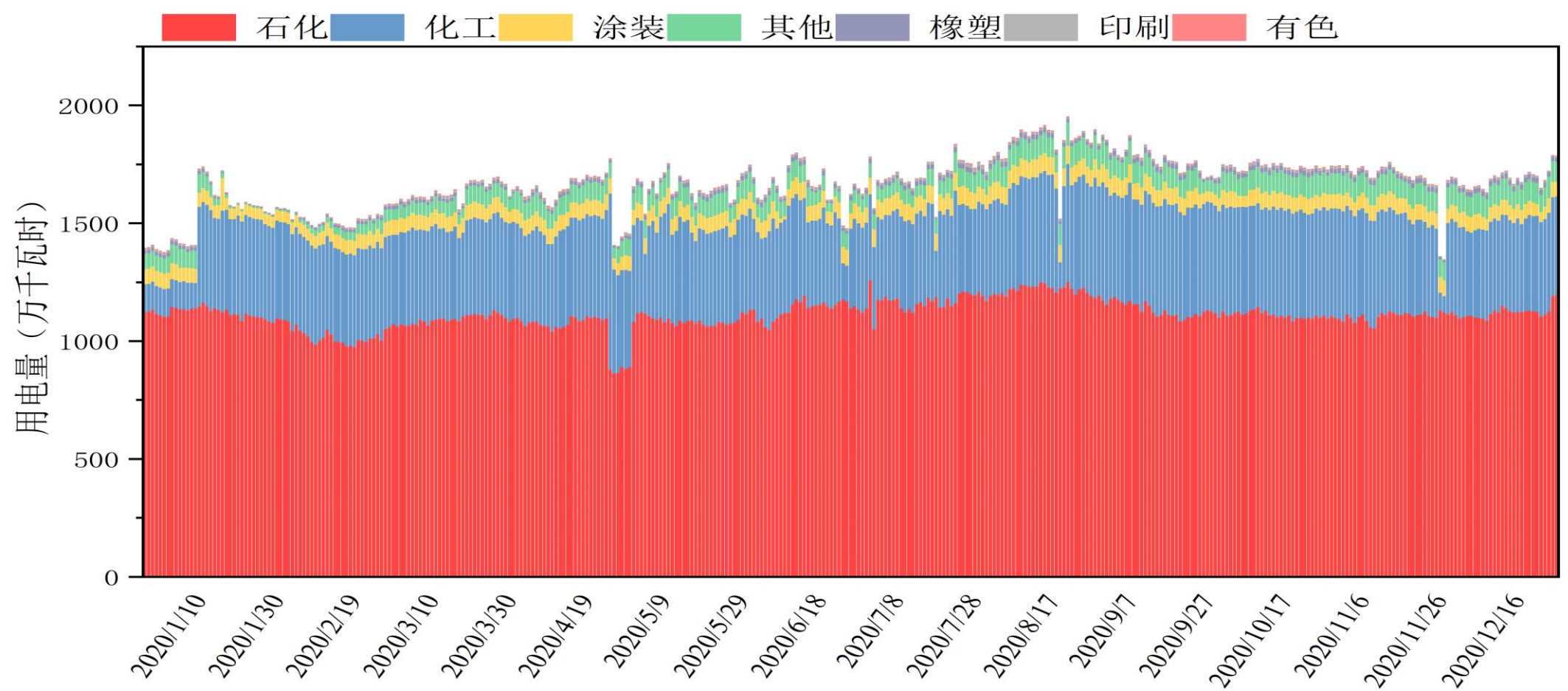
通过污水处理厂的运行数据，计算点源排放



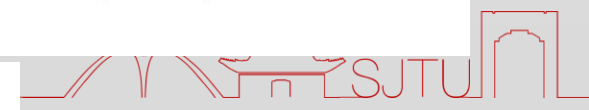
三、高精度碳污清单

三、高精度碳污清单——排放时间分配方法

➤ 通过获取重点工业企业(石化、化工、涂装、其他、橡塑、印刷、有色行业)的每日**用电量数据**，来建立温室气体排放时间分配因子 将工业源的年排放量（包含能源使用部门和IPPI部门排放）分配至**日排放**



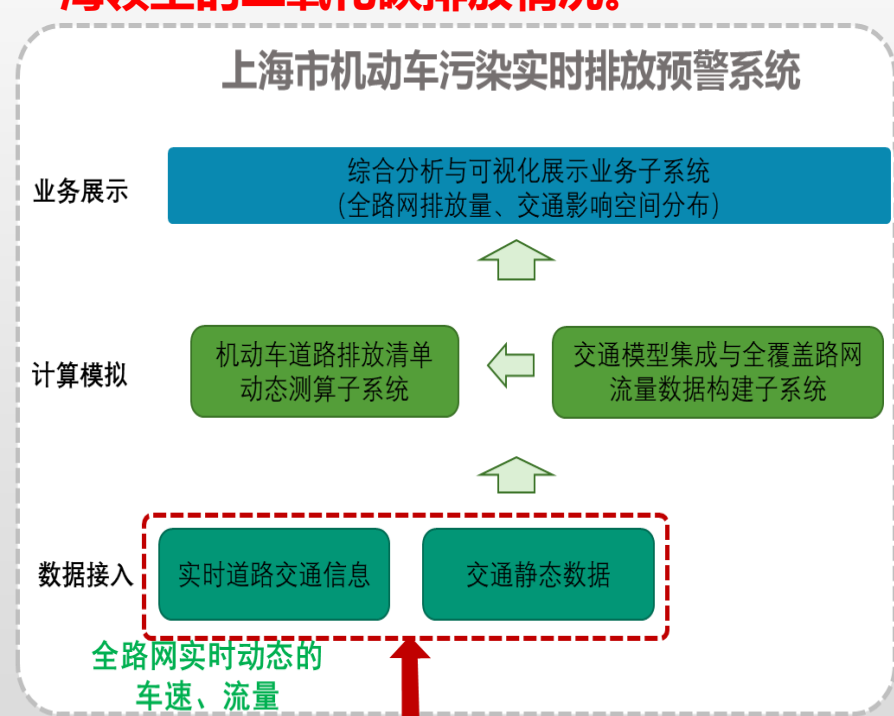
工业企业分行业用电量日变化



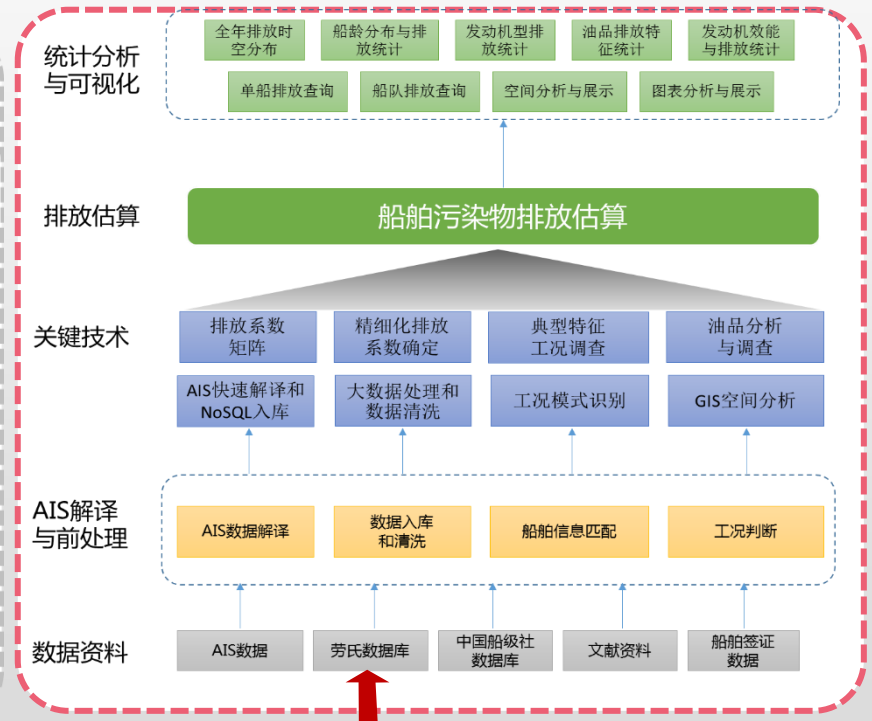


三、高精度碳污清单——重点源高分辨率碳排放清单技术方法

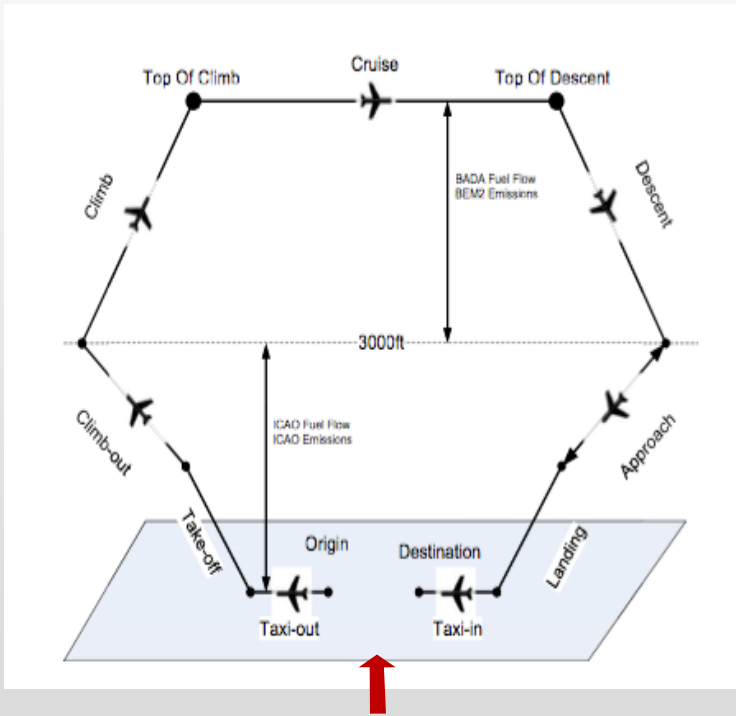
- 基于道路卡口实测数据、重型车GPS实时在线数据、道路交通流量、实时加油量等监测数据，完成动态交通数据与静态交通模型路网匹配，应用IVE模型建立分车型机动车二氧化碳排放因子库，实现上海市9种车型10万个路段的网格化实时二氧化碳排放核算；
- 进一步优化已有的船舶AIS数据的处理效率，突破高精度船舶识别关键技术，综合国内外船舶温室气体排放测试及研究现状，形成船舶温室气体排放因子库，实现高精度11类船舶二氧化碳网格化排放清单核算；
- 基于飞机在地面阶段的实际运行数据，结合ICAO参数，构建本地化的飞机发动机与APU排放因子库，实时核算飞机在上海领空的二氧化碳排放情况。



面向动态排放清单需求的实时道路交通流温室气体测算技术研究



突破高精度船舶识别关键技术，形成船舶温室气体排放因子库

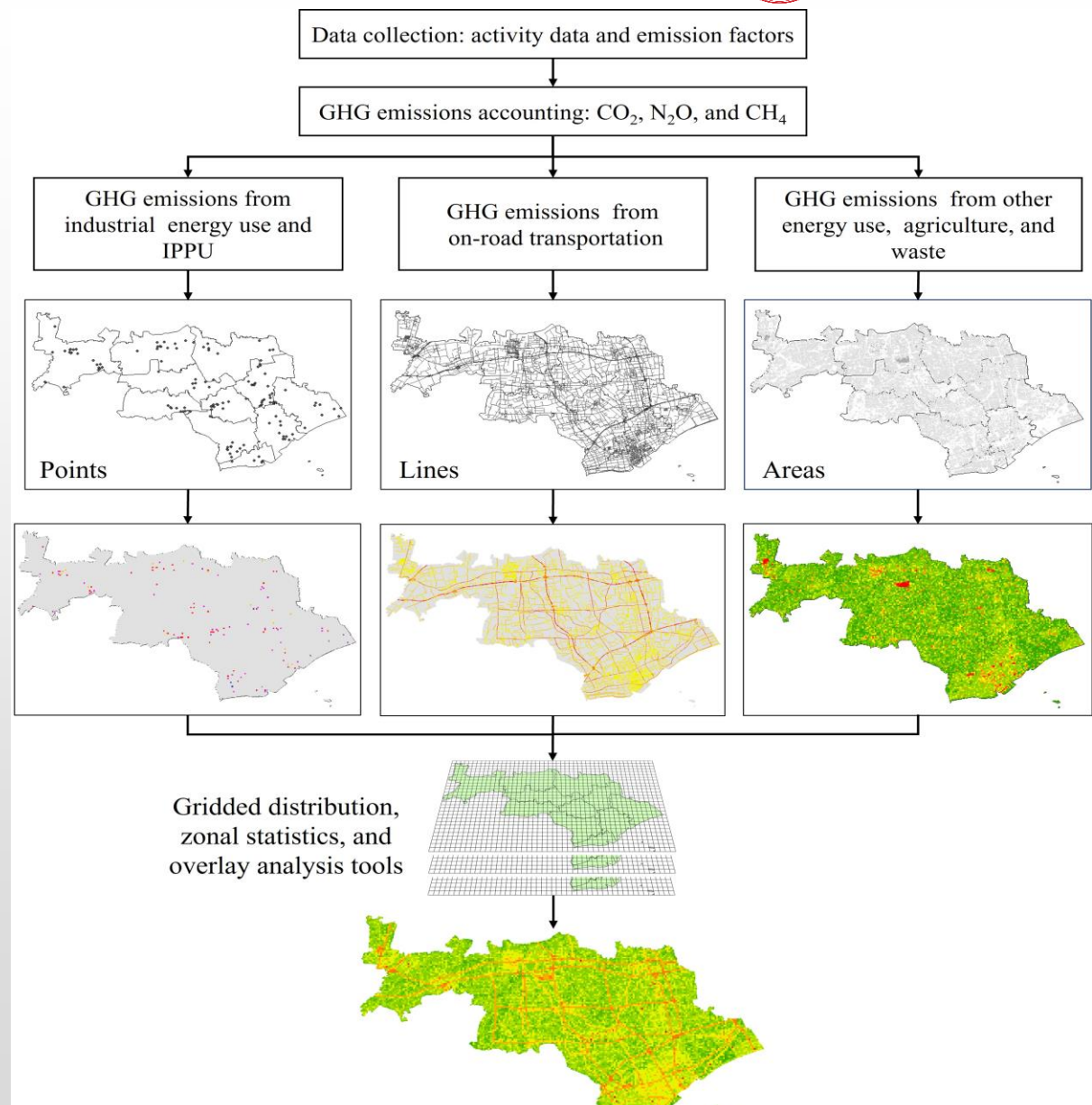


建立基于进近、滑行、起飞和爬升，LTO循环的二氧化碳排放系数

三、高精度碳污清单——温室气体清单空间网格化分配方法

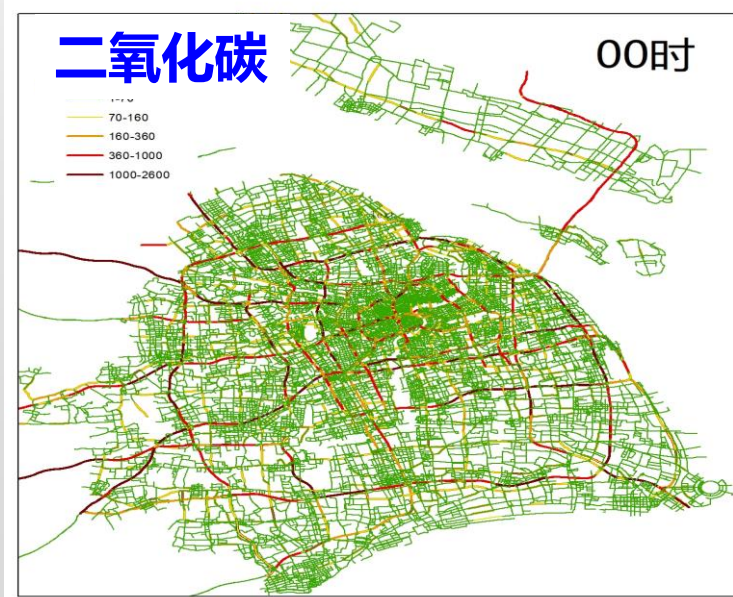
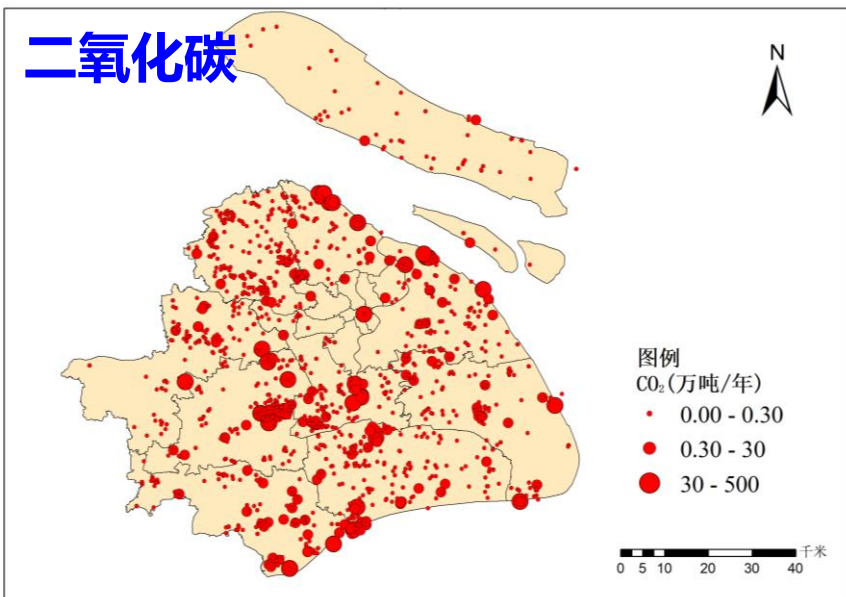
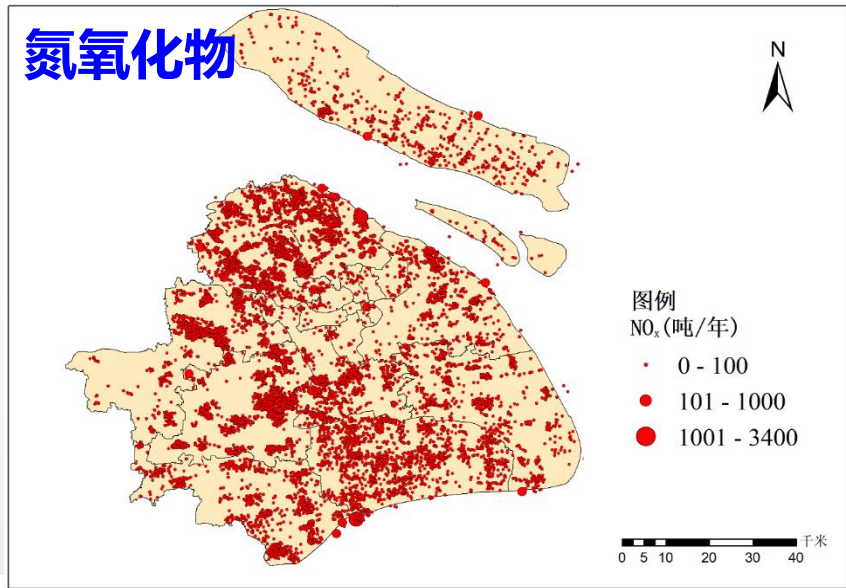
- 在网格分辨率选择上，研究表明县域尺度内的**最佳空间分辨率为200×200 m**。
- 点源：由唯一经纬度确定
- 线源：根据路网信息和车流量数据分配
- 面源：根据不同土地利用类型分配

排放源	面源分配方法
商业能源使用	商业服务业设施用地面积
居民生活能源使用、生活污水处理	城镇村住宅用地面积
农林渔牧的能源使用、生物质燃料燃烧	耕地面积
稻田CH ₄ 排放	耕地种类中水田的面积
畜禽养殖	农业设施用地面积
工业废水	工业用地面积
建筑业能源使用、非道路移动机械、油气系统逸散	由于缺乏建筑工地和油气管道设施的相关数据，按城镇村用地进行分配。



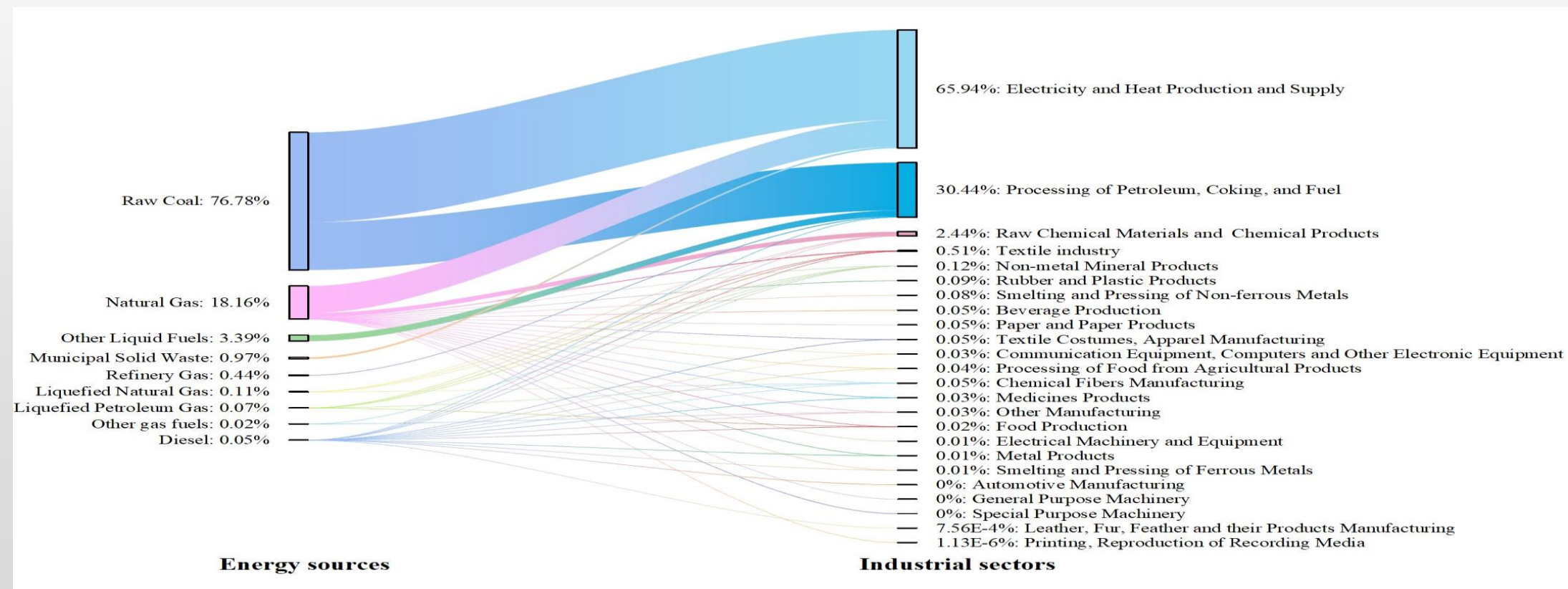
200 × 200 m的高分辨率网格化温室气体排放图的流程

三、高精度碳污清单——温室气体清单空间网格化分配方法



1、工业能源使用排放

- 研究区域包含24个工业行业，其中，**工业能源使用（IEU）** 占有所有能源消耗GHG排放的88.5%。
- 从能源结构看，**排放最多**的能源品种是**原煤**，原煤燃烧的温室气体排放占IEU温室气体排放的76.78%，主要来自发电行业和石化工业。**第二大来源是天然气**燃烧，占IEU排放的18.16%，主要来自发电行业。
- 从工业部门来看，IEU温室气体排放主要来自**发电行业和石化工业**，分别贡献了IEU排放的65.94%和30.44%，第三大排放源是化学原料和化学制品制造业（2.44%），是石化工业的下游产业。

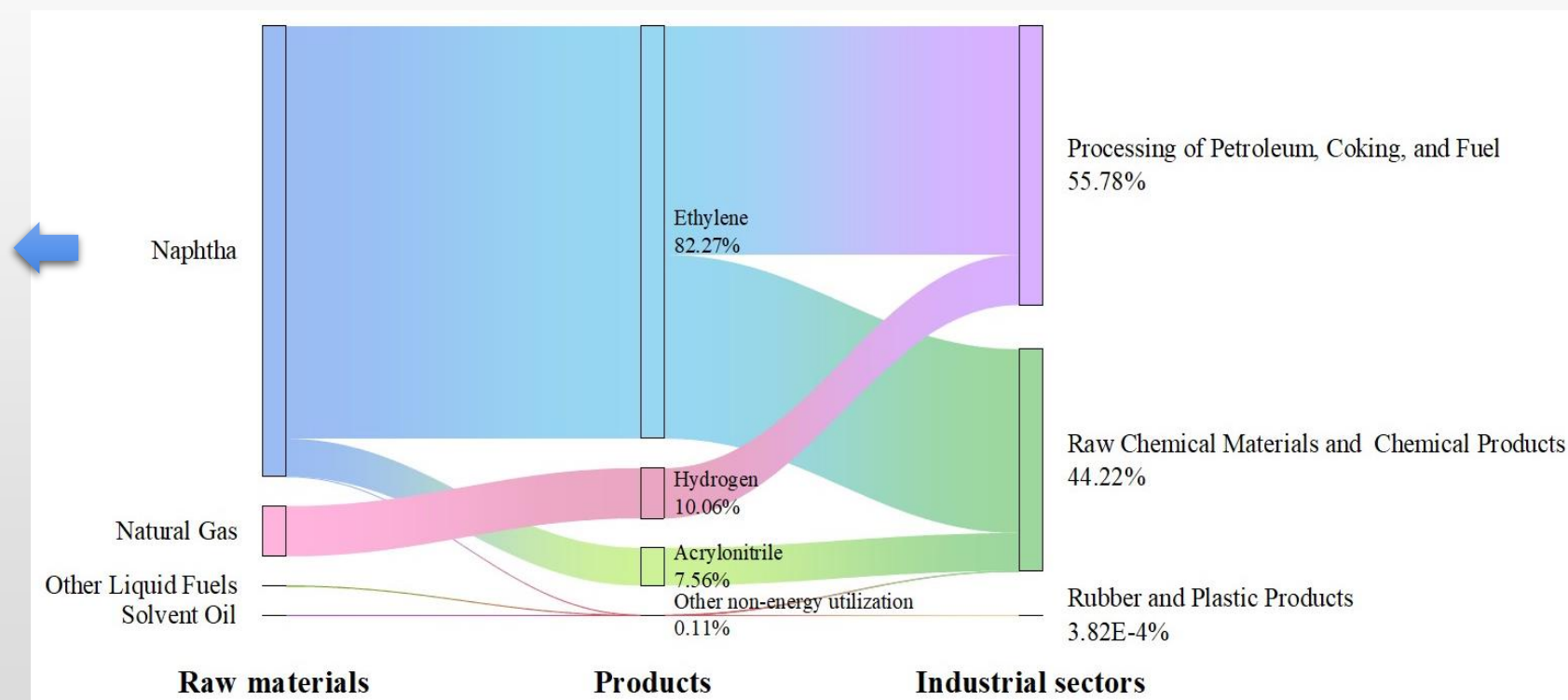


2、工业过程及产品使用排放

- 就行业而言，**石化工业**对IPPU部门温室气体排放的贡献最大，占该部门排放的55.78%，其次是**化学原料和化学制品业**，占该部门排放量的44.22%。
- 就产品而言，**乙烯生产**过程中的温室气体排放占IPPU的82.3%，氢气生产和丙烯腈生产过程也是温室气体排放的重要来源，分别占IPPU排放总量的10.1%和7.6%。

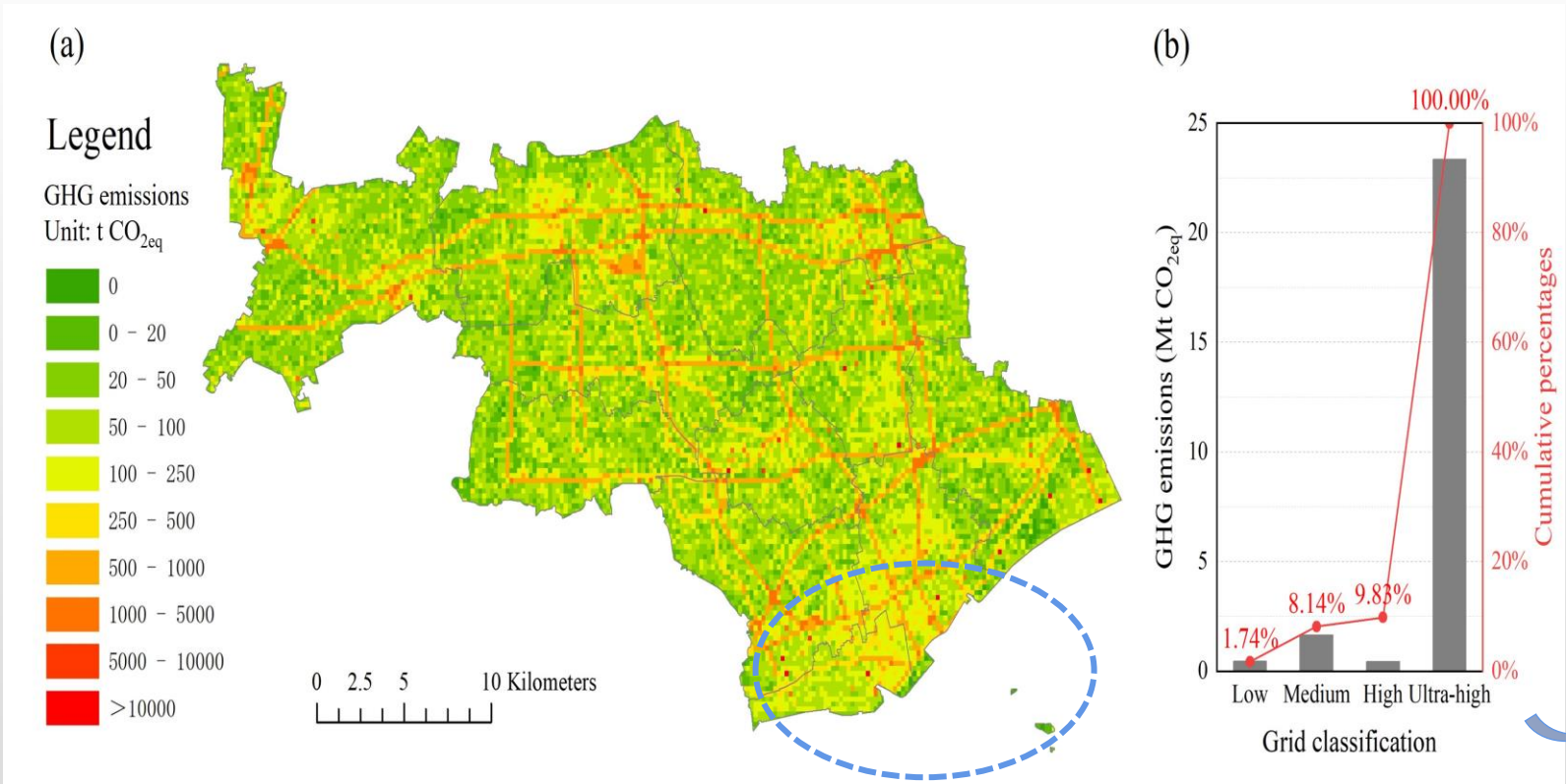
石化行业极其依赖化石碳，石脑油是生产烯烃的主要化石原料。

石化工业在能源利用和IPPU两大部门中的温室气体排放贡献了PID温室气体排放总量的36.1%，因此石化行业对该地区的温室气体排放贡献十分显著。



IPPU部门不同产品和不同行业的温室气体排放分担率

14945个网格中**13个超高排放网格**（均包含排放超过1万tCO_{2eq}的工业点源）的温室气体排放占据**温室气体排放的90.17%**，应作为温室气体排放管理的目标。**中排放网格**主要分布在**居民和商业地块**，而**低排放网格**主要分布在**农业地块**。中排放网格和低排放网格的面积占全区总面积的98.34%，但只排放了8.14%的温室气体。

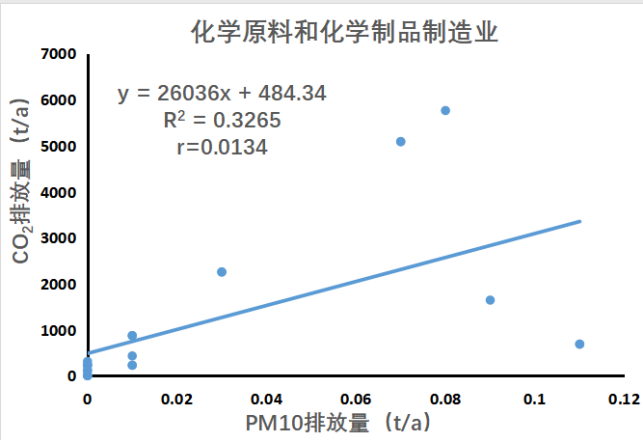
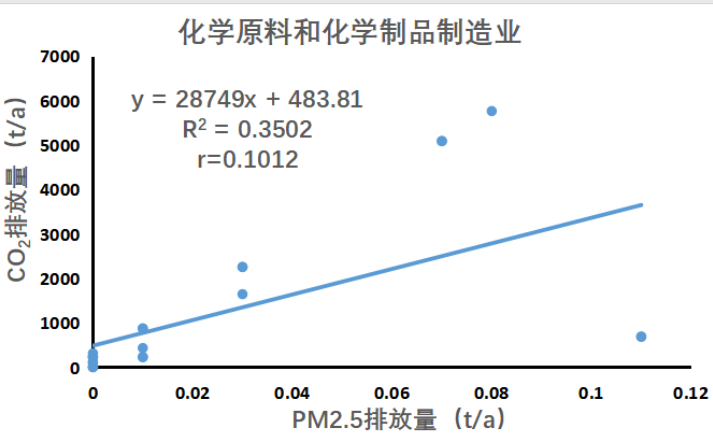
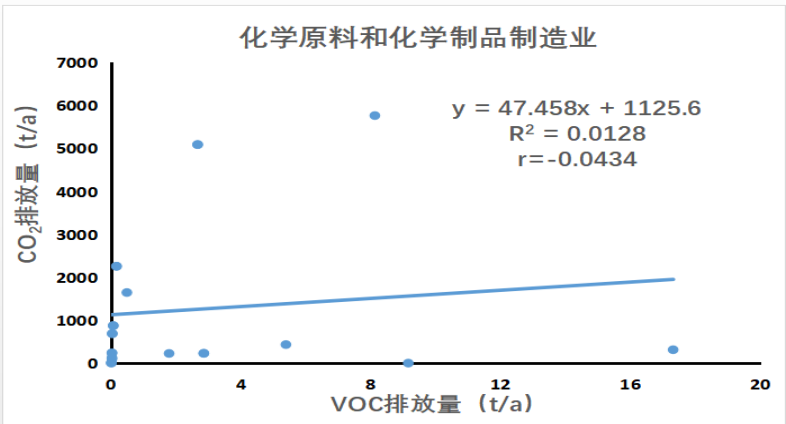
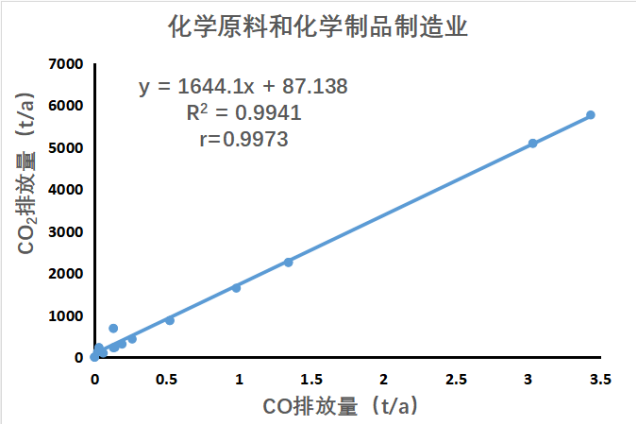
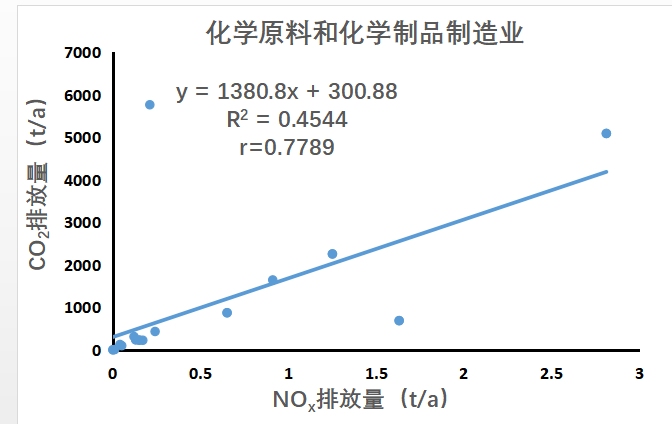


分类	含义
超高排放网格	排放≥10000吨CO2eq
高排放网格	排放1000~10000吨CO2eq
中排放网格	排放100~1000吨CO2eq
低排放网格	排放 < 100吨CO2eq

高分辨率网格化温室气体排放空间分布图（a）和四类网格的温室气体排放贡献（b）
The high-resolution gridded spatial distribution map of GHGs emission in PID (a) and GHGs emission contributions of four grid classifications (b).

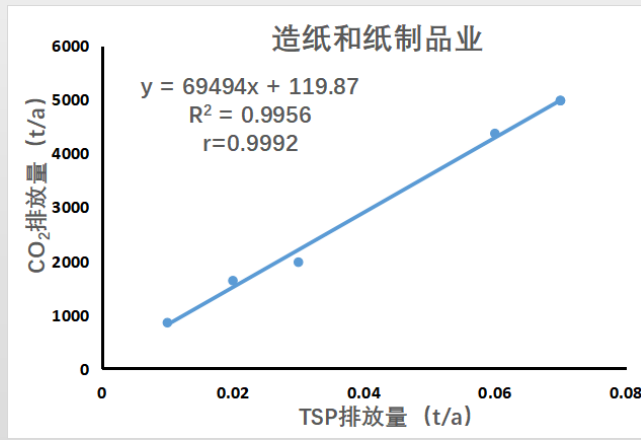
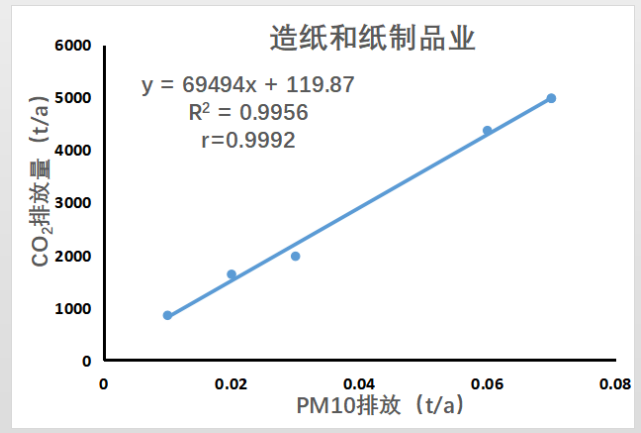
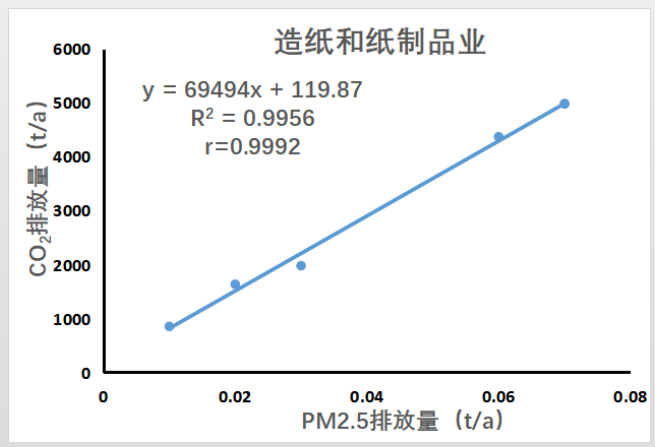
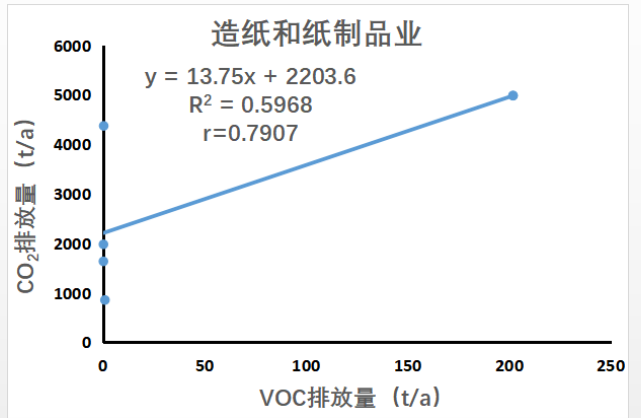
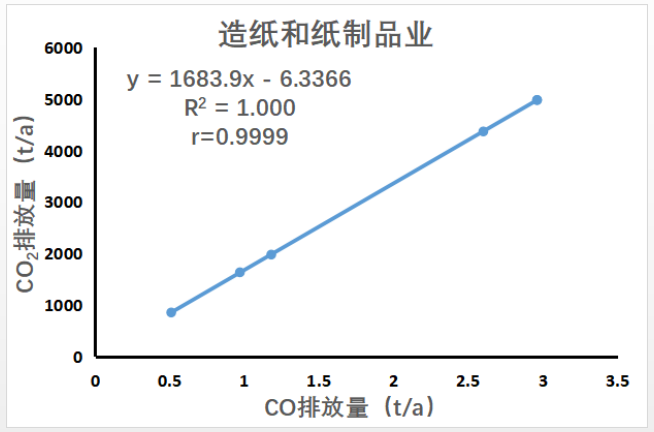
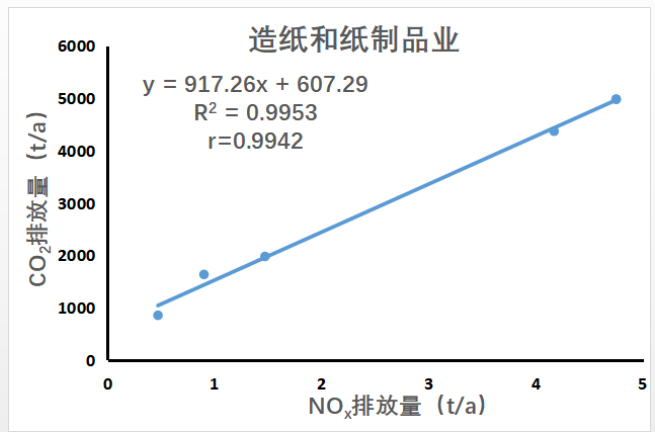
四、碳污协同效应评估

◆化学原料和化学制品制造业

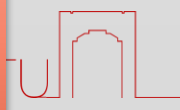


- CO排放与CO₂排放表现出最强的正相关性，相关性系数r达到0.99
- 其次NO_x排放与CO₂排放表现出较强的正相关性
- VOCs、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}排放与CO₂排放相关性较差

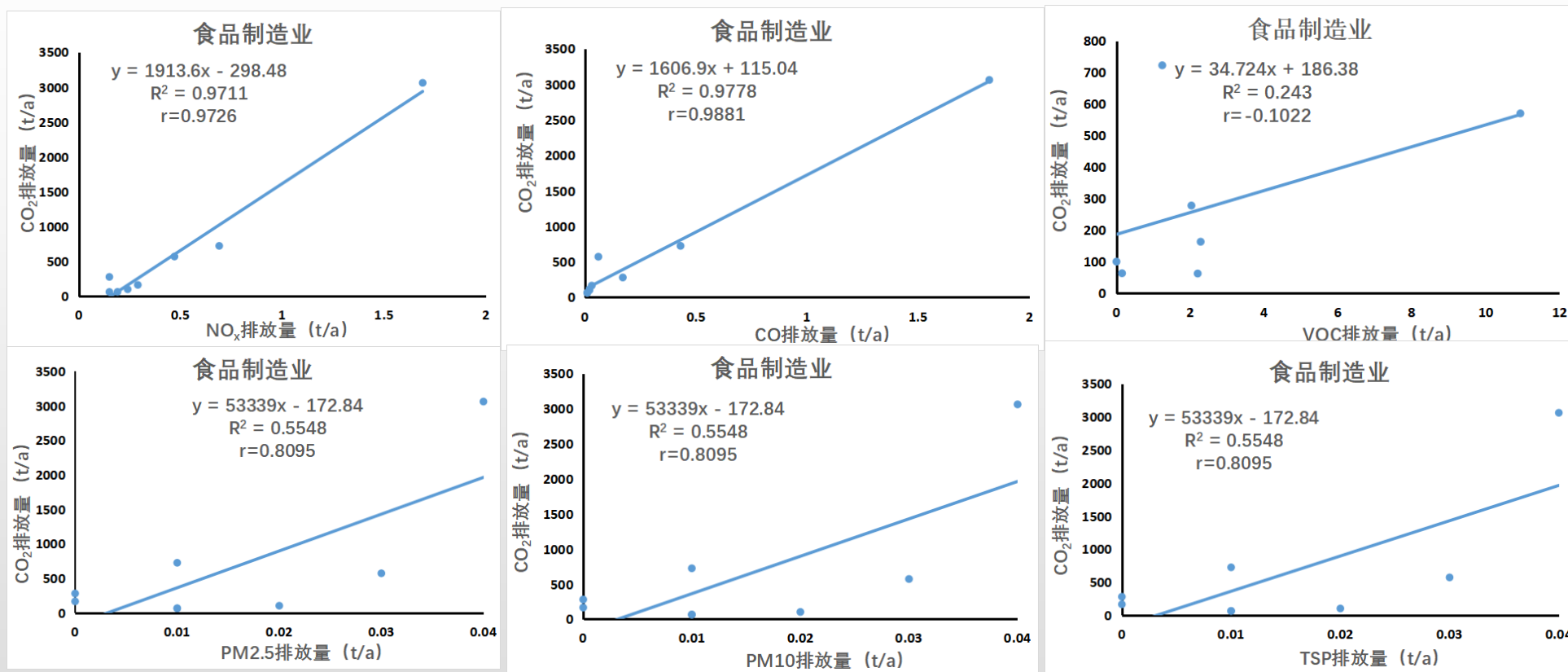
◆造纸和纸制品业



- NOx、CO、TSP、PM10、PM2.5排放与CO₂排放表现出极强的相关性，相关性系数r均达到0.9
- VOCs排放与CO₂排放相关性较强，相关性系数为0.7907

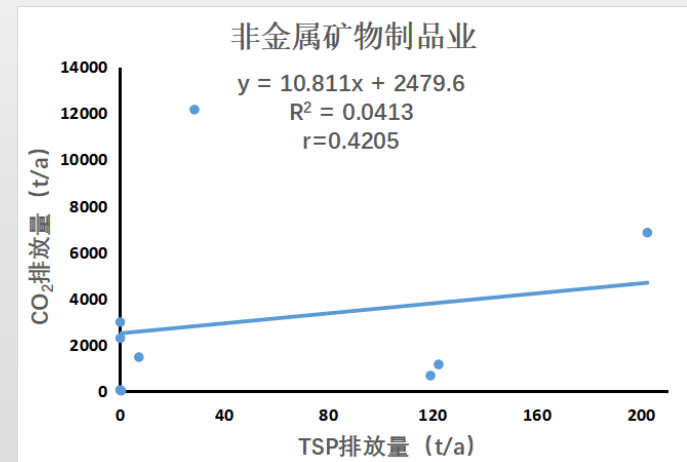
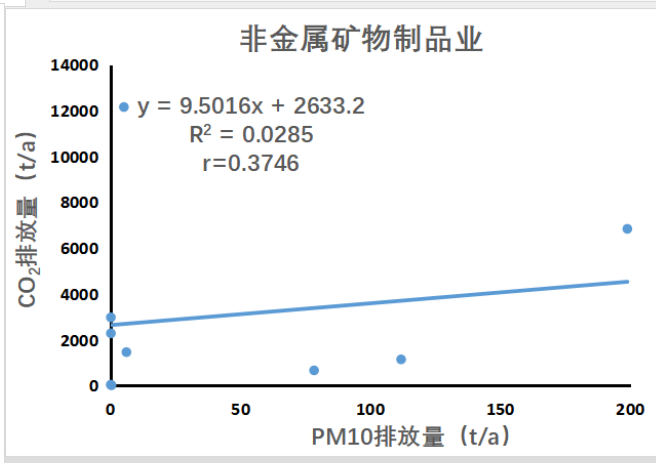
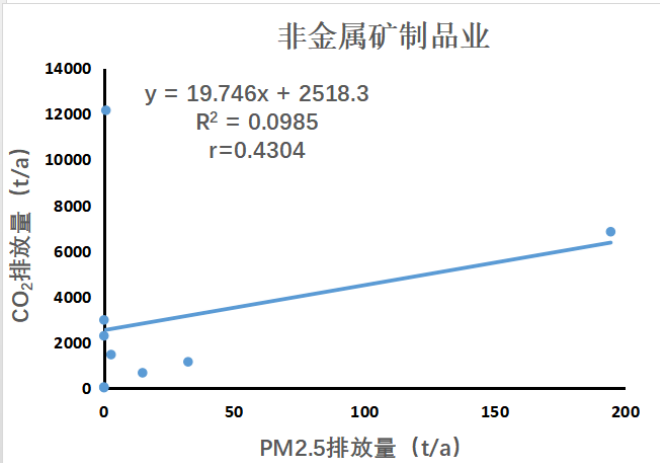
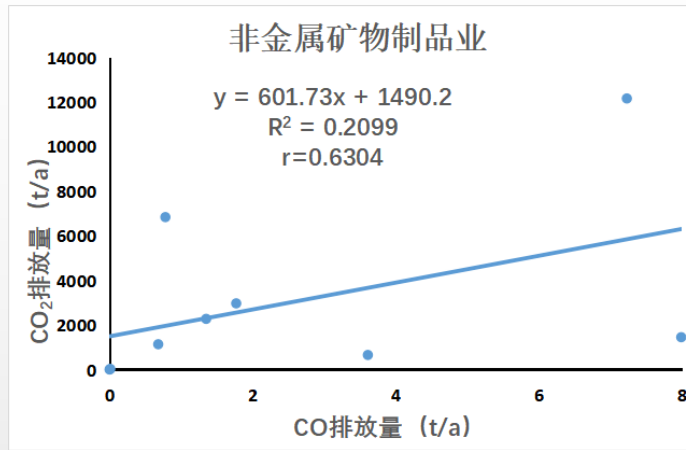
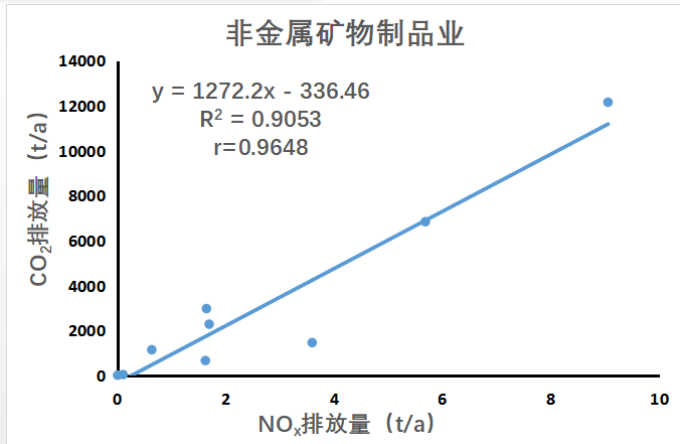


◆食品制造业



- NO_x、CO排放与CO₂排放表现出最强的相关性，相关性系数r均达到0.9
- TSP、PM₁₀、PM_{2.5}排放与CO₂排放相关性均较强
- VOCs排放与CO₂排放相关性较差

◆非金属矿业制品业



- NO_x排放与CO₂排放具有最强的相关性
- CO排放与CO₂排放表现出中等程度相关
- VOCs、PM2.5、PM10、TSP排放与CO₂排放相关性较差

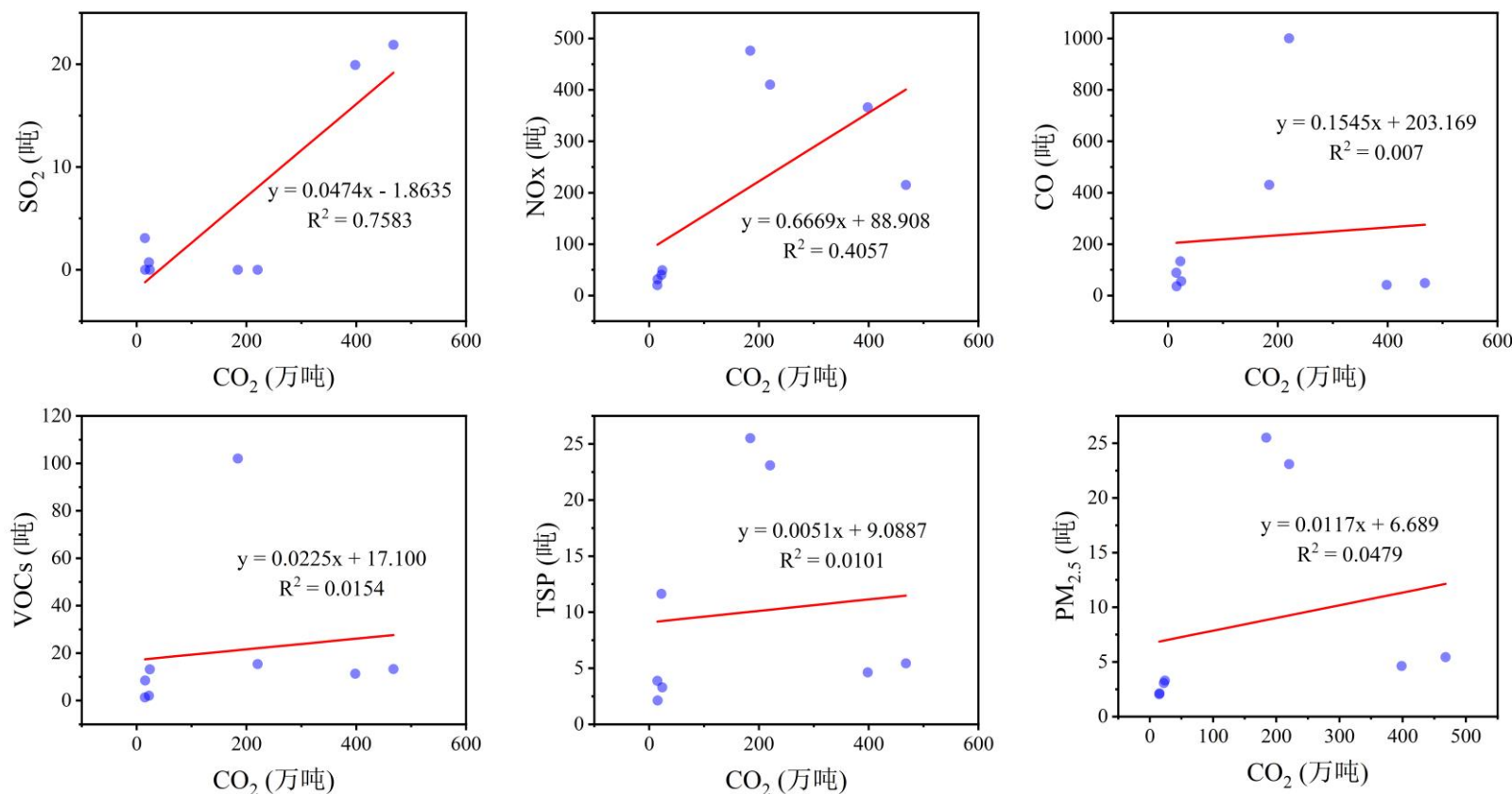


四、碳污协同效应评估——工业固定燃烧CO₂与大气污染物排放相关性

按不同锅炉类型

- 发电锅炉指用于公用电力、热力供应的电厂锅炉。CO₂排放与SO₂排放呈现较大的线性相关 ($R^2=0.7583$)，其他大气污染物与CO₂排放的线性关系不明显，因为CO₂未实行末端控制措施。

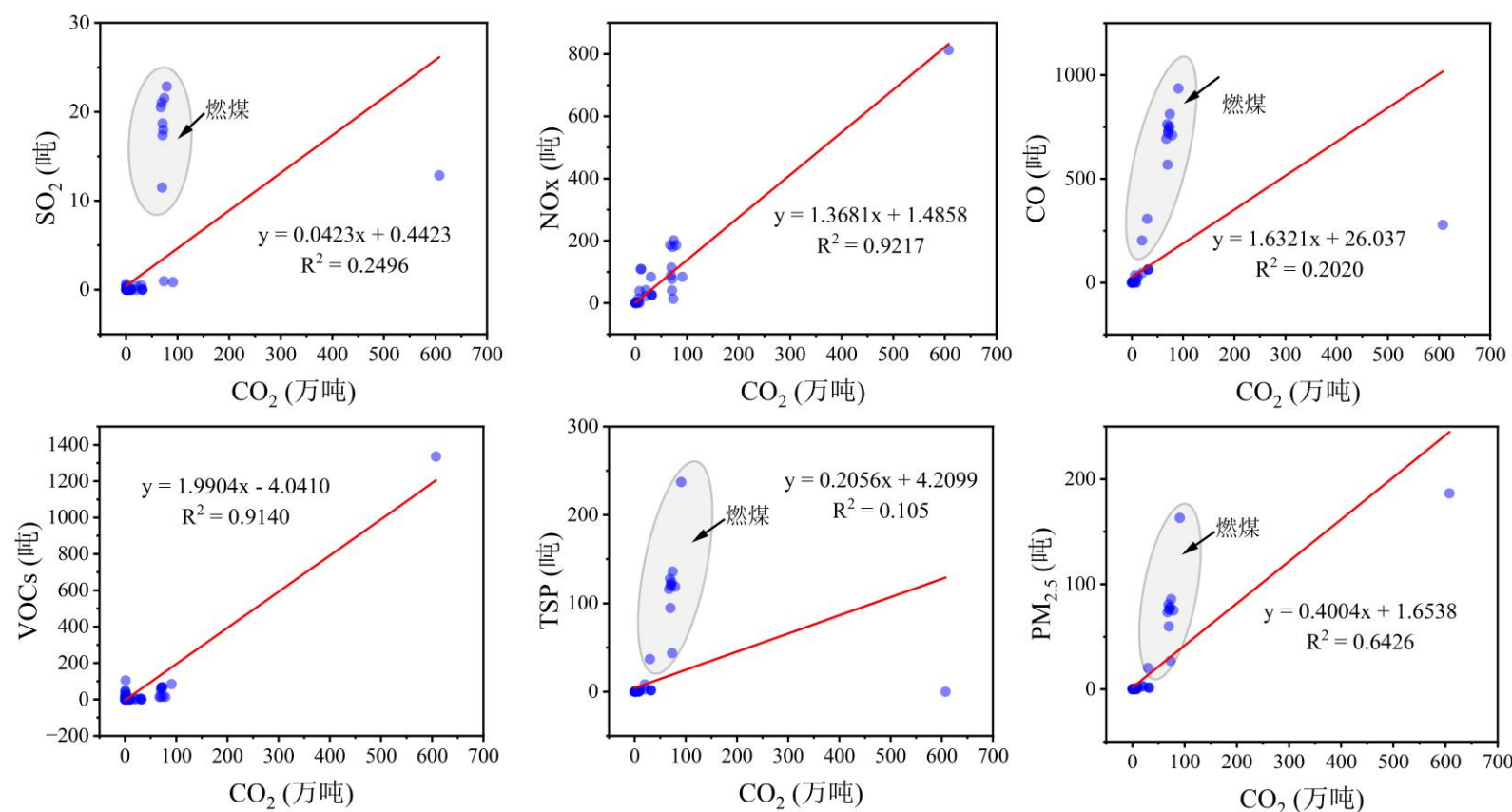
1、发电锅炉



按不同锅炉类型

- 工业锅炉大气污染物排放与CO₂排放相关性相对更强，NO_x、VOCs与CO₂的呈现较强的线性相关 ($R^2=0.9217$, $R^2=0.9240$)
- 使用的燃料不同呈现出的趋势不同，以原煤为燃料的工业锅炉排放SO₂、CO、TSP、PM_{2.5}与CO₂比值显著高于使用其他燃料的工业锅炉。

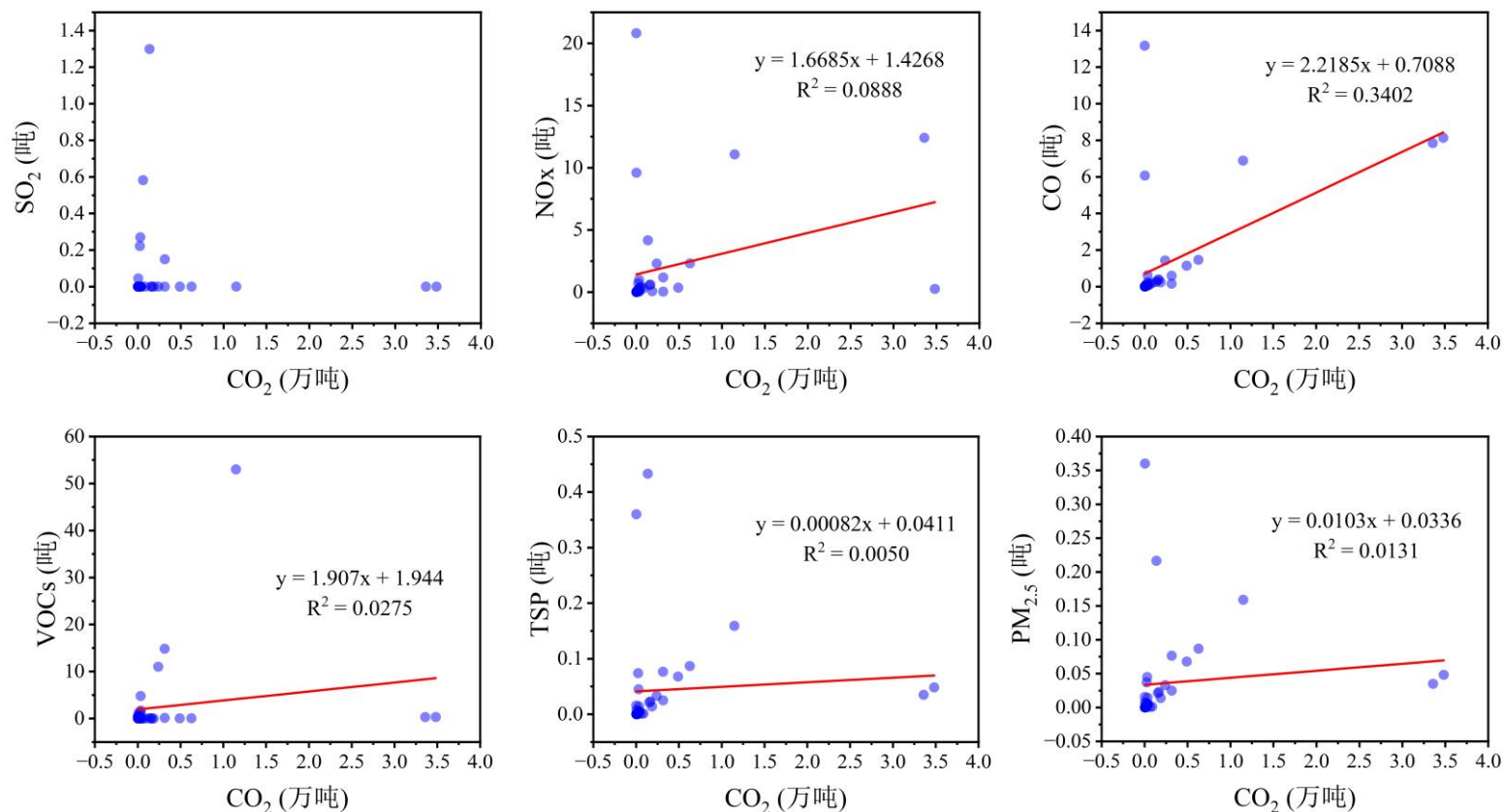
2、工业锅炉



按不同锅炉类型

- 工业窑炉的大气污染物排放与CO₂排放相关性较小，由于炉窑种类的多样性和燃料使用类型的不同。

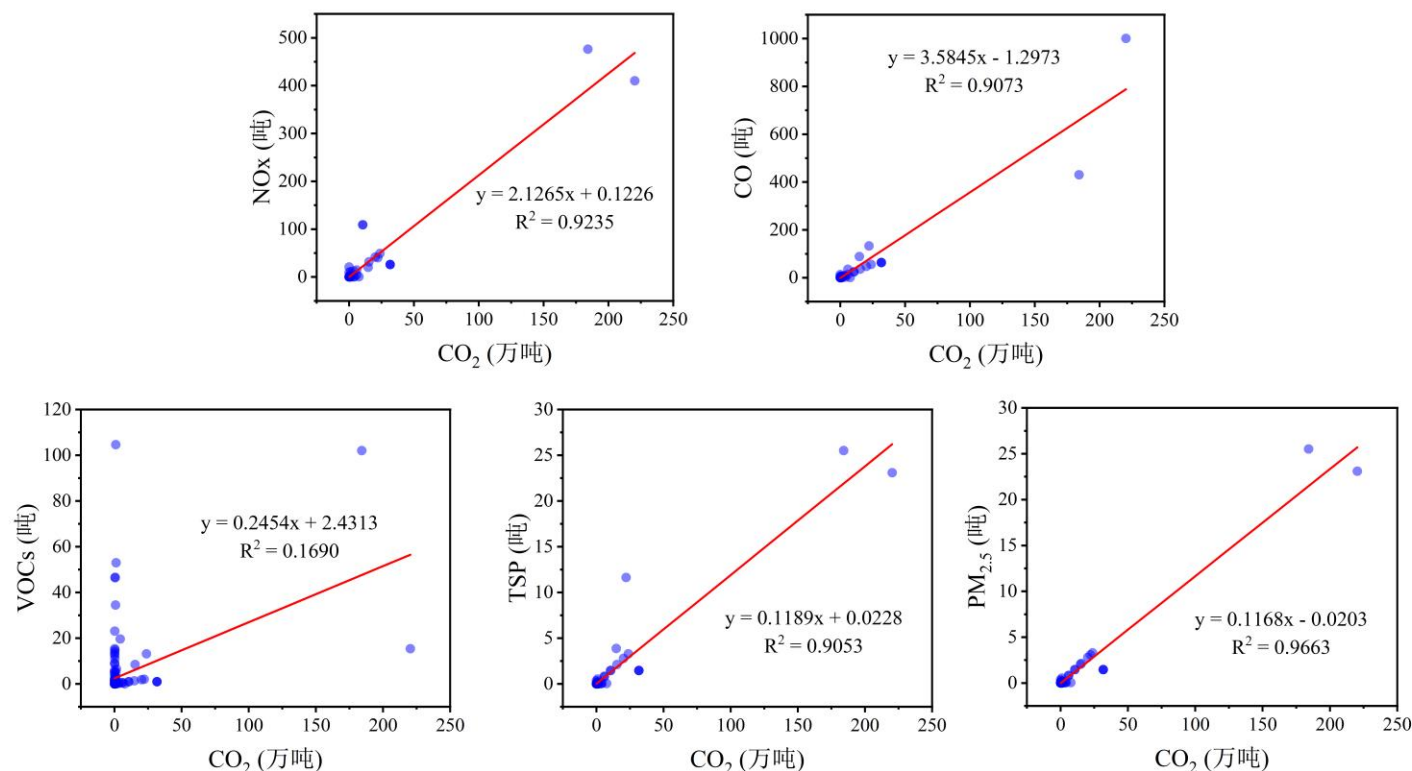
3、工业窑炉



按燃料使用类型

- 燃气锅炉NO_x、CO、TSP、PM_{2.5}排放量与CO₂排放量有很强的线性相关性 ($R^2 > 0.90$)，燃气锅炉VOCs排放量与CO₂的排放量线性相关性稍弱 ($R^2 = 0.1690$)。

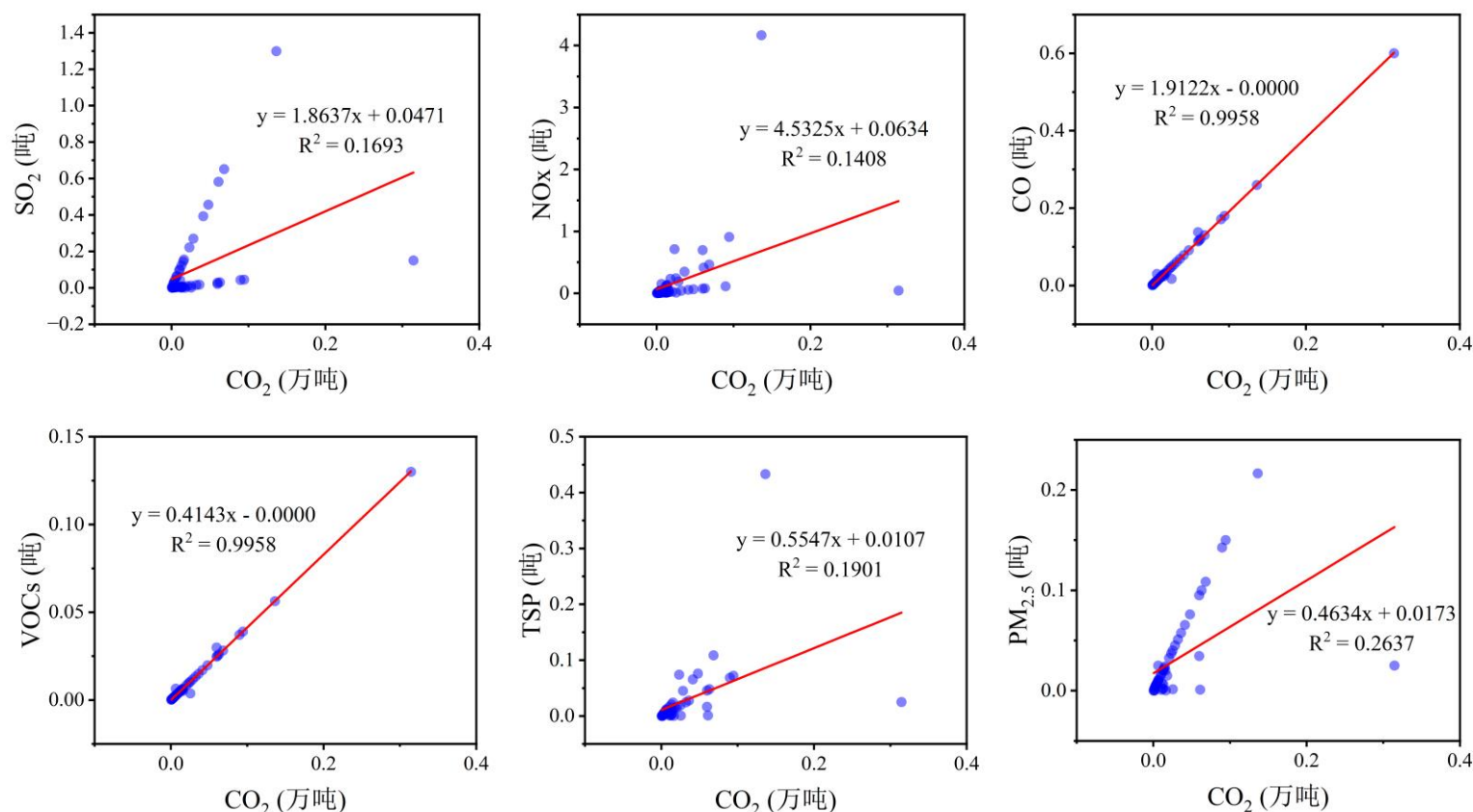
1、燃气锅炉



按燃料使用类型

- CO、VOCs排放量与CO₂排放量呈现出强烈的线性相关 ($R^2=0.9958$)，SO₂、NO_x、TSP和PM_{2.5}排放量与CO₂排放量之间的明显呈现出不同的趋势走向，这与工业企业是否安装并使用脱硫、脱硝、除尘处理设施有较大关系。

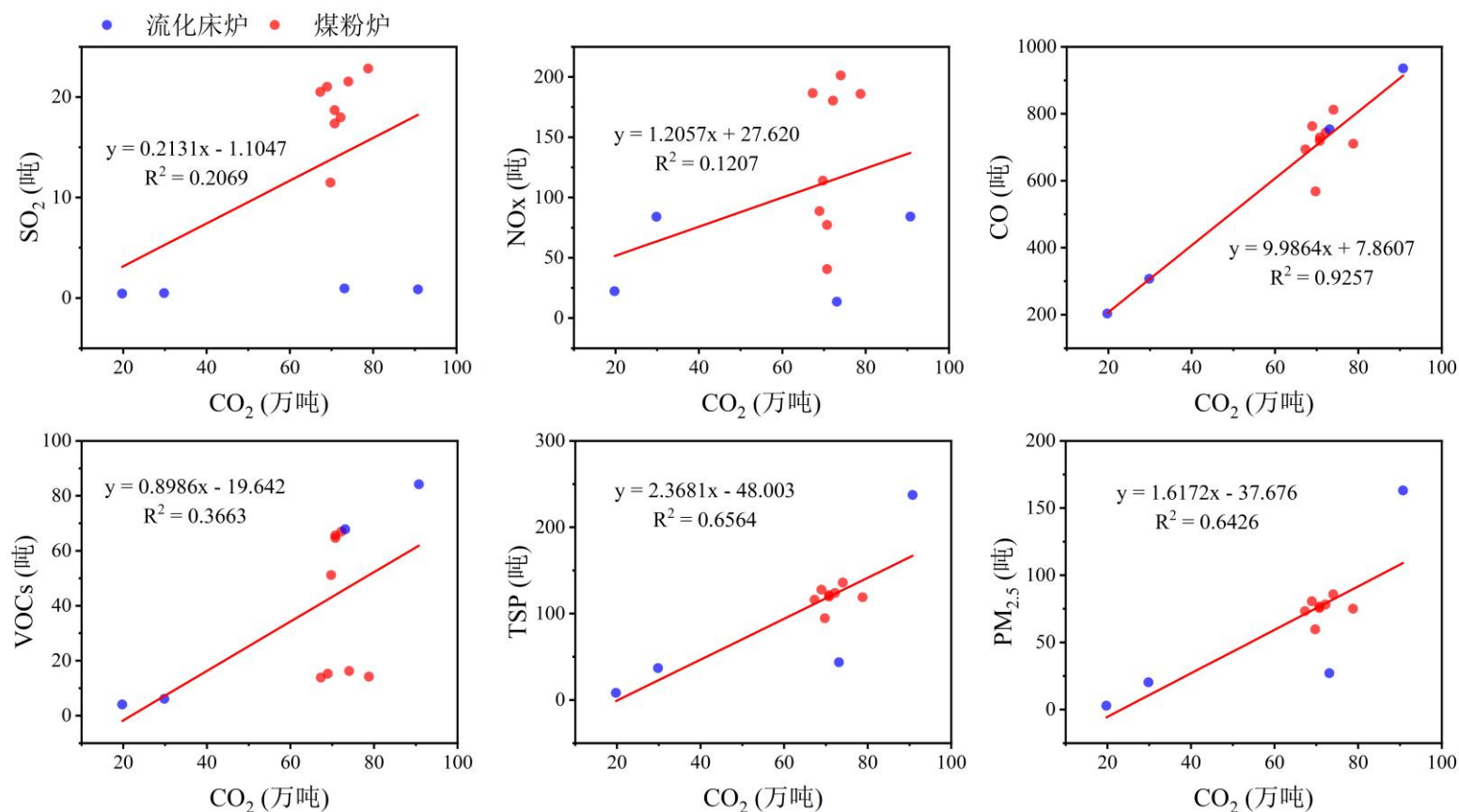
2、燃油锅炉



按燃料使用类型

- 燃煤锅炉根据技术类型可细分为煤粉炉和流化床炉。煤粉炉SO₂ /CO₂排放量比值明显高于流化床炉。
- CO、TSP、PM_{2.5}排放与CO₂排放呈现出较强的线性相关性 (R²均大于0.60)，而NO_x、VOCs排放与CO₂排放相关性较弱。

3、燃煤锅炉



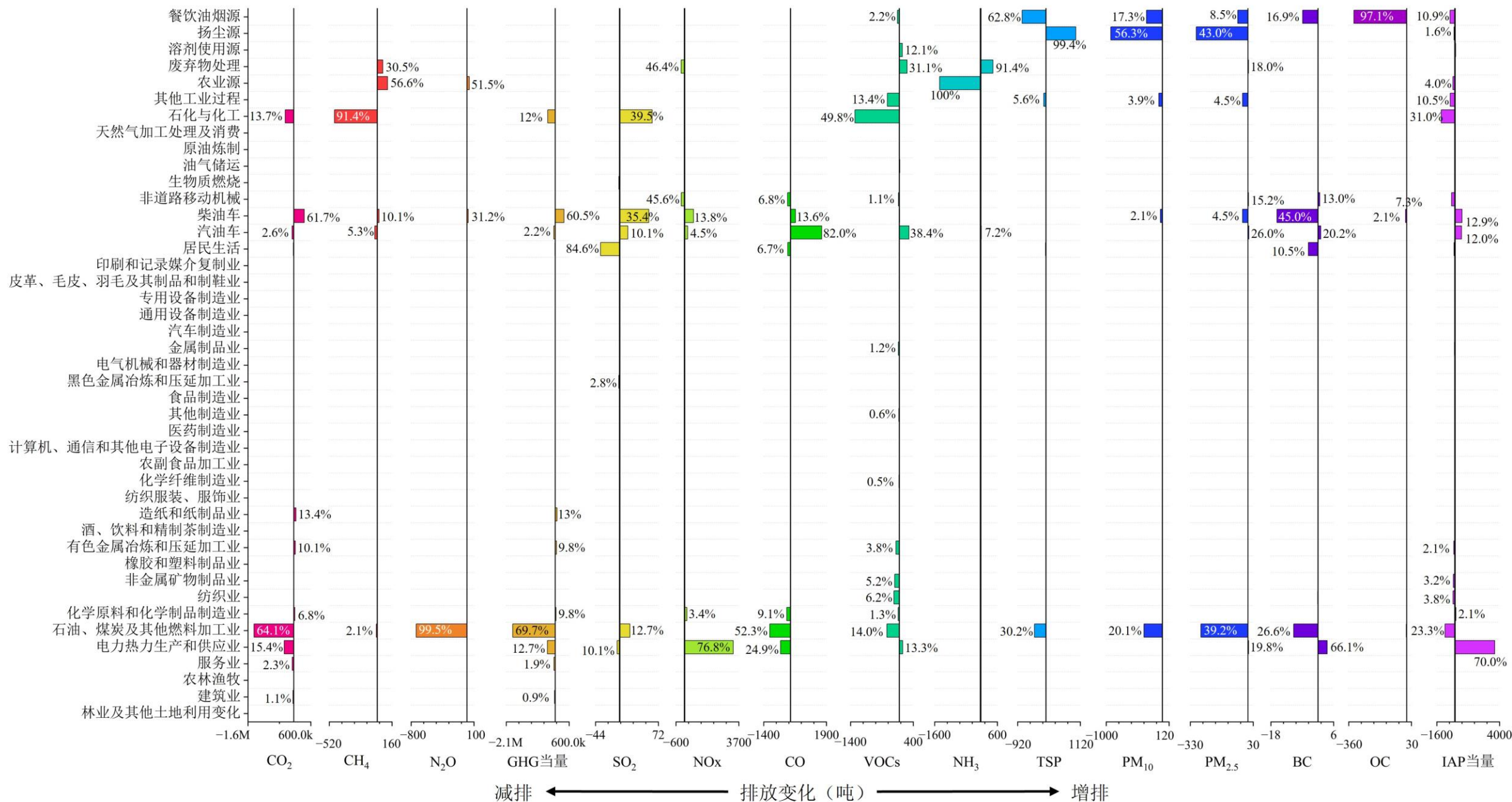
四、碳污协同效应评估——温室气体和大气污染物排放当量

- 不同温室气体通过乘以全球增温潜势（GWP）转化为二氧化碳排放当量，从而得到温室气体排放总量。
- 各种大气污染物和造成的环境影响存在差异，为了合理比较不同大气污染物综合减排效果，不同大气污染物通过环境税和原排污收费的相关规定折合为综合大气污染物（IAP）排放当量。

不同大气污染物排放当量折算系数

污染物	折算系数	来源
SO ₂	0.95	《中华人民共和国环境保护税法》 由燃烧产生的颗粒物按照烟尘处理， 其他颗粒物按照一般性粉尘处理。
NO _x	0.95	
CO	16.7	
一般性粉尘	4	
烟尘	2.18	
BC	0.59	
NH ₃	9.09	
VOCs	1	VOCs未纳入征税范围，按本市《关于开展挥发性有机物（VOCs）排污收费试点工作的通知》，每公斤排放量为一个污染当量

上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



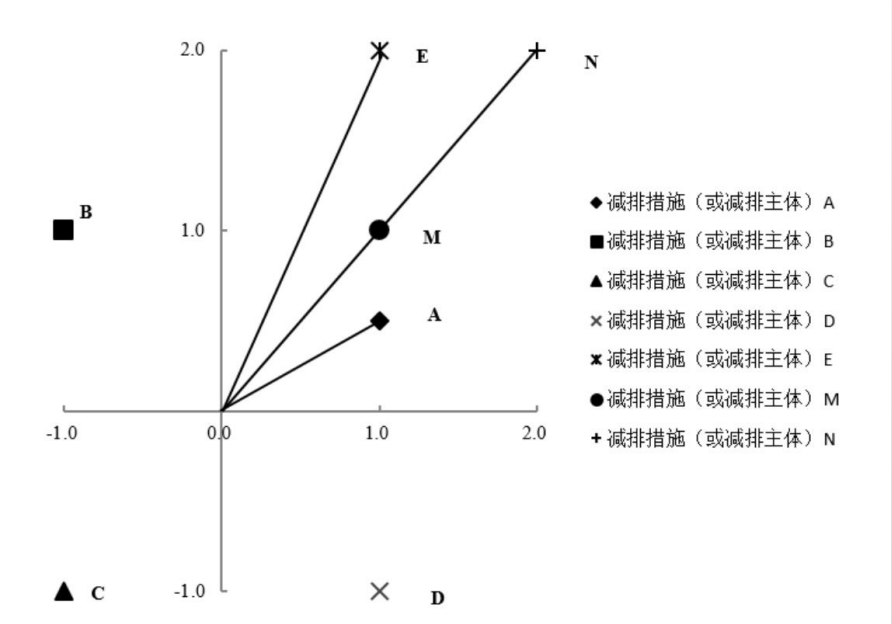
- 温室气体和大气污染物排放变动的主要驱动源集中在**工业化石燃料燃烧**和**生产过程**排放。其中工业化石燃料燃烧既贡献了GHG和IAP的削减，也贡献了72.1%的IAP排放增长。
- **道路交通源**是GHG和IAP增长的**另一主要驱动源**（12.9%和12.0%），农业源、餐饮油烟源对IAP的削减有一定驱动贡献。
- 工业源主导了多数温室气体和大气污染物的削减或增长，尤其是**电力热力生产和供应业**和**石油、煤炭及其他燃料加工业**。
- 电力热力生产和供应业的燃料燃烧对CO₂、SO₂、CO的排放削减的驱动贡献得益于电厂不断深化的节能减排和超低排放改造，但对NO_x、VOCs、BC的增排表现了末端脱硝措施去除效率降低造成的巨大影响，应继续加紧对大型锅炉的管控，持续保障末端处理设施的高效运行。
- **石油、煤炭及其他燃料加工业**化石燃料燃烧对CO₂、CH₄、N₂O、NO_x、CO、VOCs、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、BC的减排均有的驱动贡献。石油与化工工业过程排放对VOCs削减的驱动贡献达到49.8%，源于挥发性有机物总量控制计划，实施源头替代、存储过程挥发性有机物治理等措施。
- 道路交通源是除了工业源以外对IAP增排贡献最大的来源，主要原因是机动车保有量的不断增加。

四、碳污协同效应评估——温室气体与大气污染物协同效应评估

评估方法

协同控制坐标系

➤ 协同控制坐标系是在二维或多维欧氏空间坐标系中，以不同的坐标表达某减排主体（或某减排措施）对于不同大气污染物或温室气体的减排效果。



位于第三象限则同时减排温室气体与大气污染物

协同减排弹性系数

➤ 弹性系数是指一个变量变动的百分比相应于另一变量变动的百分比来反映变量之间变动的敏感程度。

$$ET = \frac{\Delta T_{ki}/T_{ki}}{\Delta Y_{ti}/Y_{ti}} \tag{5-8}$$

表 弹性系数分析法的等级划分

E_{GHG}	E_{IAP}	协同状态	弹性系数	描述
<0	<0	协同减排	[0, 0.8)	温室气体减排速度慢于大气污染物减排速度
			[0.8, 1.2]	温室气体减排速度与大气污染物减排速度相当
			(1.2, +∞)	温室气体减排速度快于大气污染物减排速度
>0	>0	协同增排	[0, 0.8)	温室气体增排速度慢于大气污染物增排速度
			[0.8, 1.2]	温室气体增排速度与大气污染物增排速度相当
			(1.2, +∞)	温室气体增排速度快于大气污染物增排速度
<0	>0	不协同	$(-\infty, 0)$	温室气体减排，大气污染物增排
>0	<0	不协同	$(-\infty, 0)$	温室气体增排，大气污染物减排



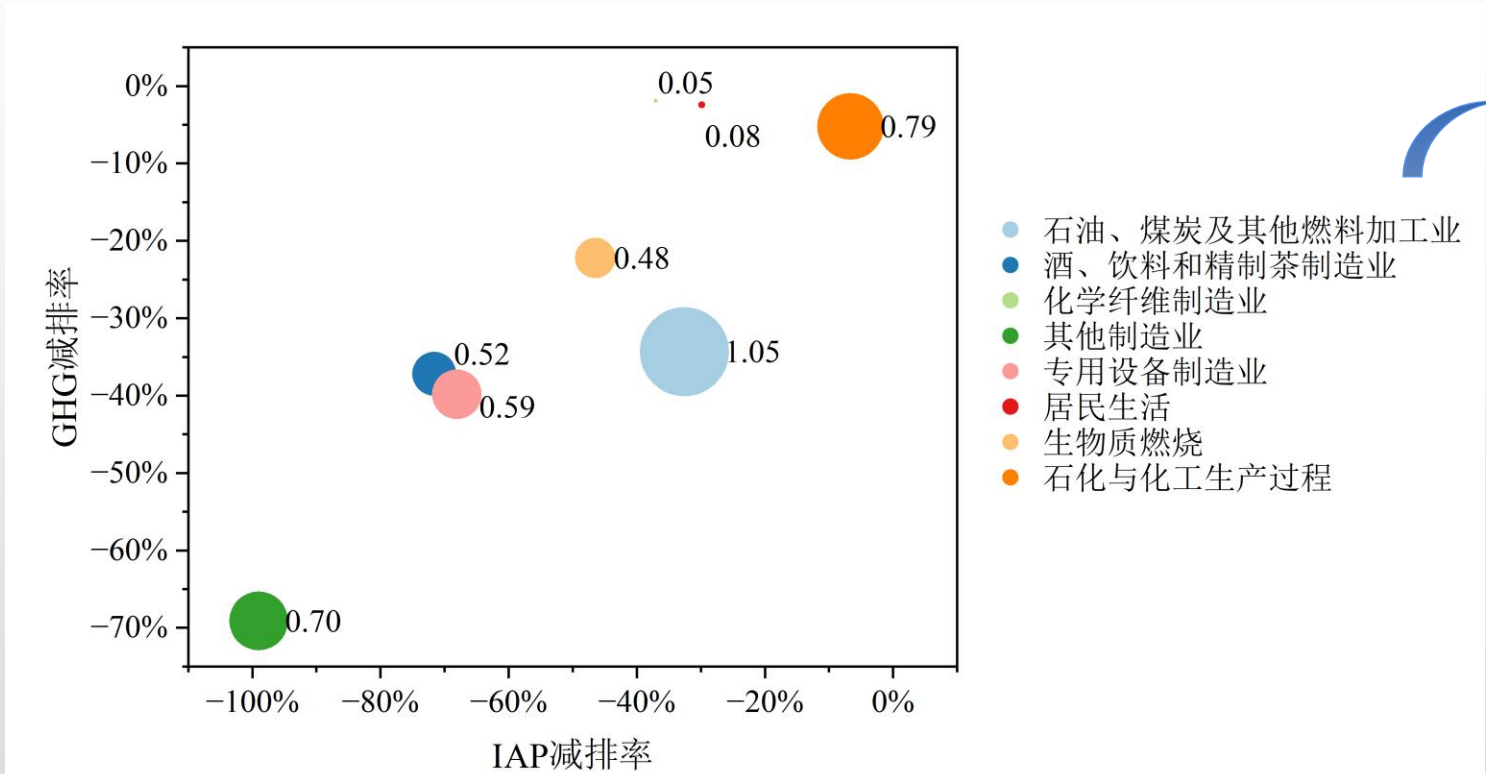
- 整体来看，GHG与IAP排放总量的弹性系数为-2.56，即大气污染物每减少1%的排放，温室气体就增加2.56%的排放，呈现**减污降碳不协同**的结果，这符合我国大部分区域暂时还未能做到减污降碳协同发展的情况。
- 仅大气污染物SO₂、NO_x与温室气体CO₂、CH₄、N₂O呈现不协同状态，这可能与大气污染物末端治理技术会产额外的碳排放有关。

表 温室气体与大气污染物排放的弹性系数

大气污染物	温室气体			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
SO ₂	-0.17	-0.06	-1.10	-0.19
NO _x	-0.11	-0.04	-0.68	-0.12
CO	12.04	4.09	76.64	13.25
VOCs	0.89	0.30	5.65	0.98
NH ₃	0.19	0.07	1.23	0.21
TSP	0.54	0.18	3.41	0.59
PM ₁₀	0.23	0.08	1.47	0.25
PM _{2.5}	0.25	0.09	1.61	0.28
BC	0.22	0.07	1.39	0.24
OC	0.14	0.05	0.90	0.16
IAP	-2.33	-0.79	-14.80	-2.56



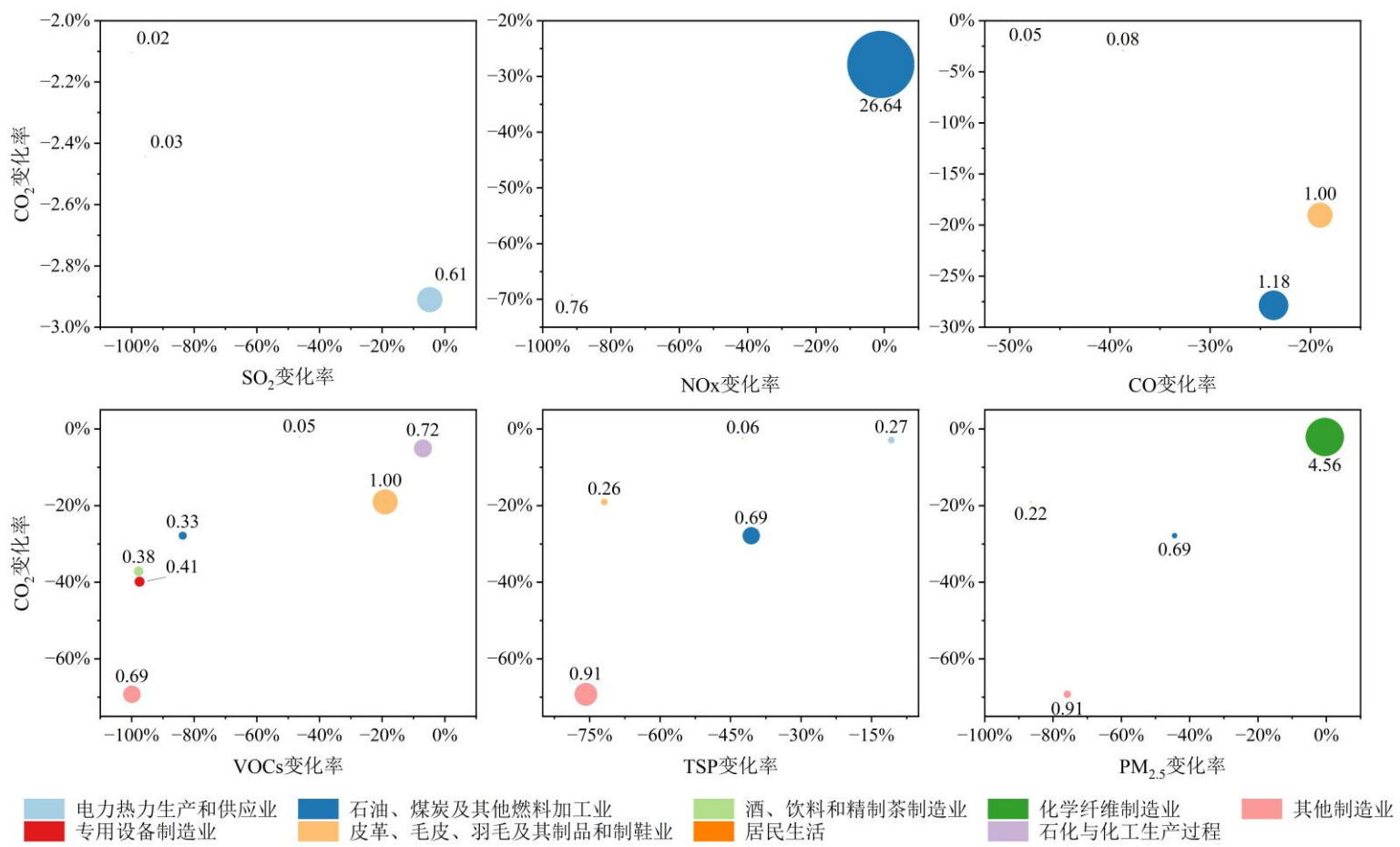
➤ 结合排放变化分解结果，仅针对碳污同源排放部门中具有减排协同性的驱动源进行协同效应评估，相应的点均落于第三象限，圆点大小显示了碳污协同减排弹性系数的大小。



- 仅8个驱动源做到了GHG和IAP总量协同减排。
- 仅石油、煤炭及其他燃料加工业的化石燃料燃烧的GHG的减排速度与IAP相当，而其他7个驱动源均慢于IAP减排速度。

图5-2 驱动源GHG与IAP协同减排效应评价
Fig. 5-2 The evaluation of synergistic emission reduction effect of GHG and IAP from driving sources

1、驱动源CO₂与大气污染物协同减排效应评价

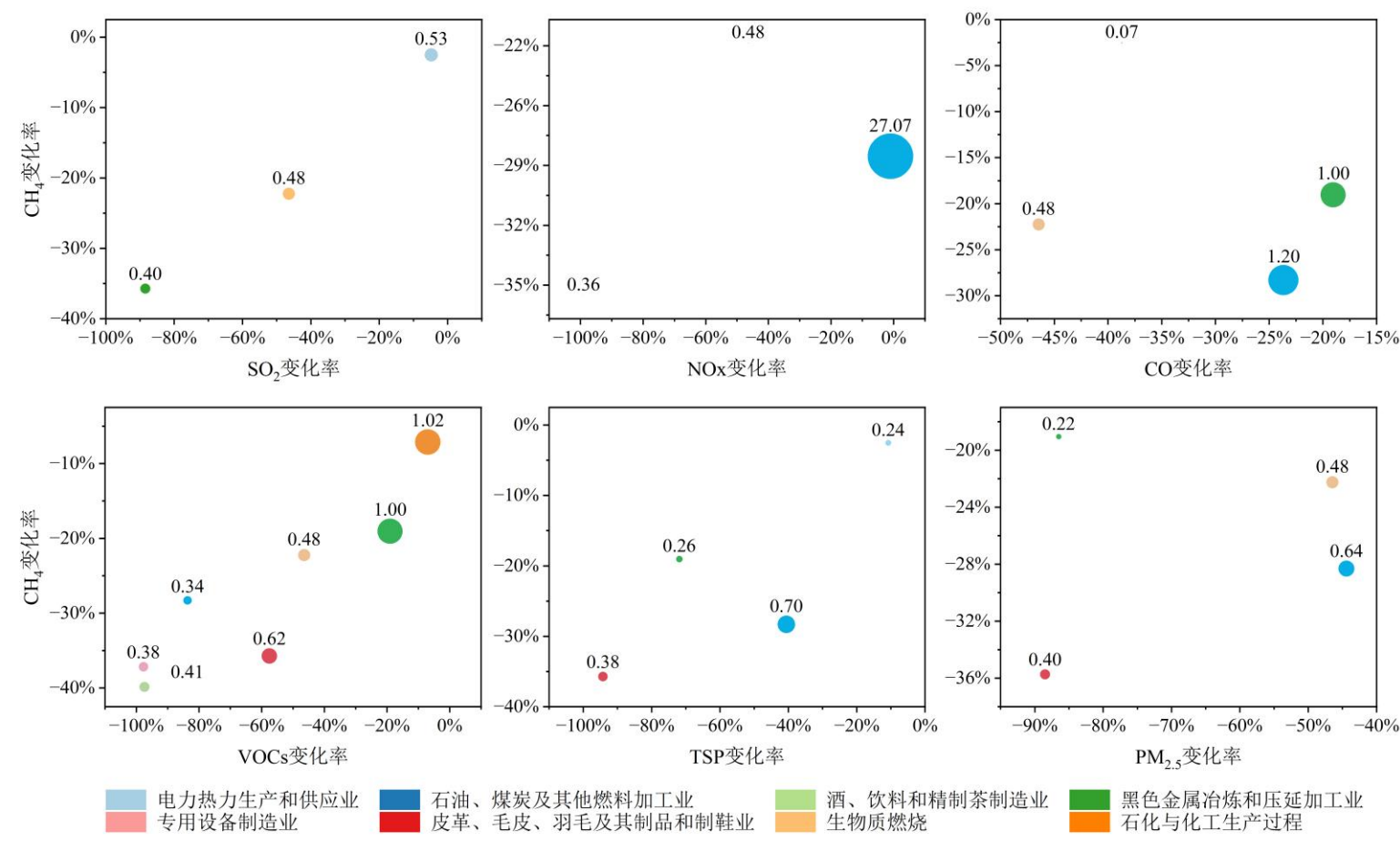


9个驱动源实现协同减排

- 电力行业实现CO₂与SO₂、CO和TSP的协同减排，未实现NO_x、VOCs和PM_{2.5}的协同减排。
- 石化行业实现了NO_x、CO、VOCs、TSP、PM_{2.5}与CO₂的协同减排，其协同减排弹性系数普遍高于电力行业。由于电力行业燃料消耗相对稳定，通过末端治理技术减排，而石化行业则从源头减少了煤炭使用量。



2、驱动源CH₄与大气污染物协同减排效应评价



8个驱动源实现协同减排

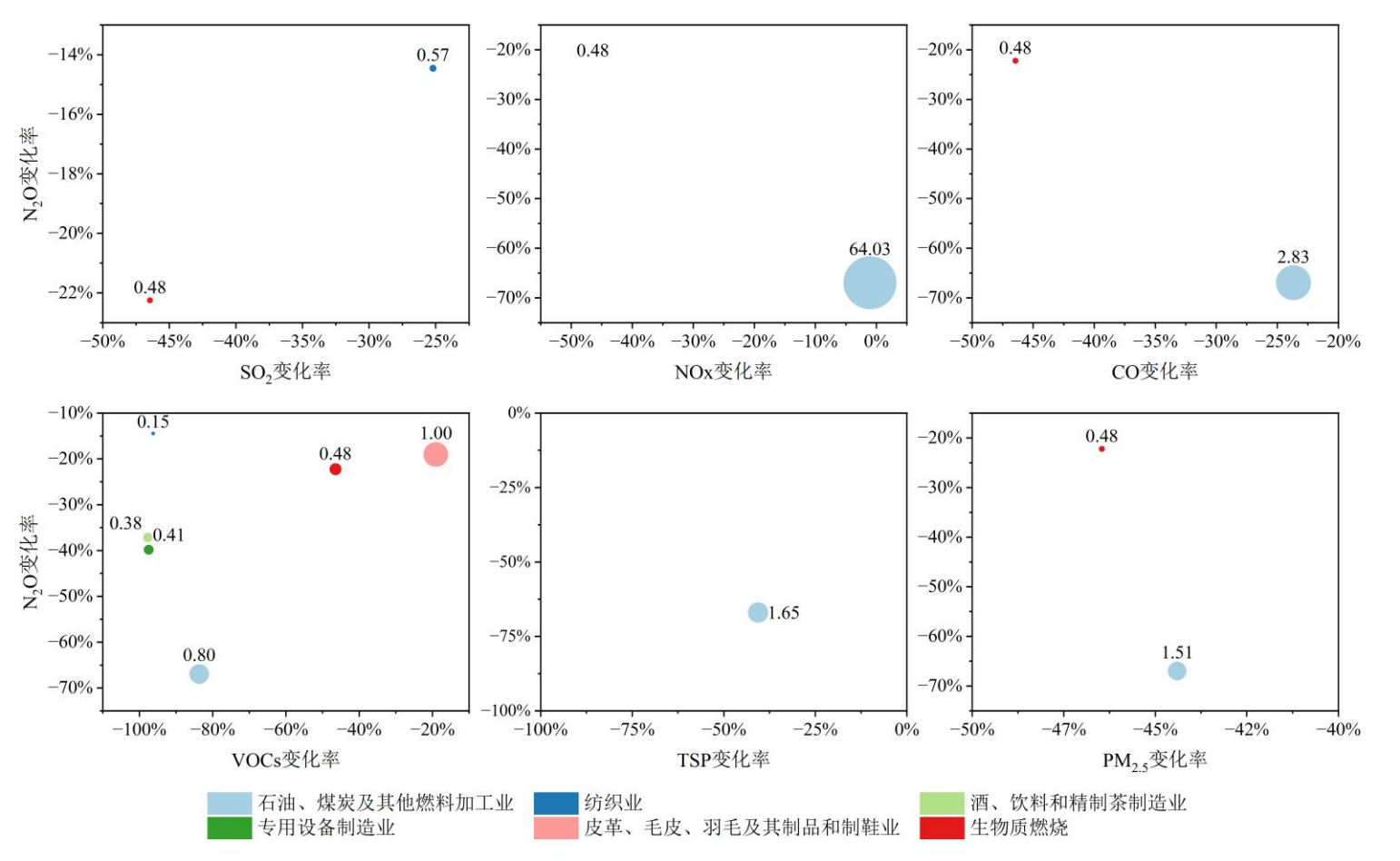
- 电力行业实现甲烷与SO₂、CO和TSP的协同减排，未实现NO_x、VOCs和细颗粒物的协同减排，石化行业实现了NO_x、CO、VOCs、TSP、PM_{2.5}与CH₄的协同减排。
- 生物质燃烧唯一实现了CH₄与NH₃协同减排，源于工业企业生物质成型燃料使用量的降低。





四、碳污协同效应评估——温室气体与大气污染物协同效应评估

3、驱动源N₂O与大气污染物协同减排效应评价



- 石化行业实现了NO_x、CO、VOCs、TSP、PM_{2.5}与N₂O的协同减排。
- 生物质燃烧实现了N₂O与SO₂、NO_x、CO、VOCs、PM_{2.5}协同减排，主要源于生物质成型燃料使用量降低。

整体而言，电力行业和石化行业作为当地最大的能源消耗部门，实现了大部分温室气体和大气污染物的协同减排，仍存在许多的工业部门以及交通部门未实现碳污协同减排。由于工业和交通的巨大能源消耗，应重点关注该部门的碳污协同控制。

6个驱动源实现协同减排



四、碳污协同效应评估——区域减污降碳的耦合协调度

评估方法

- 耦合协调度模型用于综合评价多个系统的协调发展水平，包含3个指标值：C值（耦合度），T值（协调指数），D值（耦合协调度）：

$$C = \frac{2\sqrt{U_1 \cdot U_2}}{U_1 + U_2} \tag{5-9}$$

$$T = \omega_1 \cdot U_1 + \omega_2 \cdot U_2 \tag{5-10}$$

$$D = \sqrt{C \cdot T} \tag{5-11}$$

- 采用公式（5-12）进行标准化处理

$$X'_{it} = \frac{\max\{X_i\} - X_{it}}{\max\{X_i\} - \min\{X_i\}} \times a + (1 - a) \tag{5-12}$$

表5-6 系统间耦合协调度（D）的等级划分

D值	描述	D值	描述
[0, 0.1)	极度失调	(0.5, 0.6]	勉强协调
(0.1, 0.2]	严重失调	(0.6, 0.7]	初级协调
(0.2, 0.3]	中度失调	(0.7, 0.8]	中级协调
(0.3, 0.4]	轻度失调	(0.8, 0.9]	良好协调
(0.4, 0.5]	濒临失调	(0.9, 0.10]	优质协调

评估结果

表5-7 研究区域减污降碳的耦合协调度及对比

年份	耦合度C	协调指数T	耦合协调度D
2020年	0.0200	0.5001	0.1000
2021年	0.6110	0.5482	0.5787

- 2020年减污降碳耦合协调度呈现严重失调状态，到2021年耦合协调度改善为勉强协调状态。
- 2020-2021年研究区域温室气体与大气污染物排放的耦合度和耦合协调度均上升，但仍未达到良好协调水平，当地在继续深化大气污染治理的同时，应更加注重与应对气候变化的协同管理。



五、总结与展望

- 作为区级温室气体清单编制试点工作，助力《上海市区级温室气体清单编制技术指引》系列文件（试行）的出台。
- 研究成果被生态环境部公众号作为减污降碳协同增效典型案例进行推广。

前 言

SH/GHG

上海市区级温室气体清单编制技术文件

SH/GHG-001-2022

上海市区级温室气体清单编制技术指引

（试 行）

上海市生态环境局 发布

2022 年 9 月

气候变化是全球共同面临的重大挑战，关系到人类的生存和发展。从我国现阶段发展来看，能源结构仍旧以煤为主，经济结构性矛盾仍然突出，随着能源消耗的不断增长，控制温室气体排放面临巨大压力。因此，控制温室气体排放，积极应对气候变化，切实推动绿色低碳发展，已成为我国贯彻新发展理念、实现经济社会高质量发展的重要抓手。

2010 年 9 月，国家正式下发了《关于启动省级温室气体清单编制工作有关事项的通知》并印发了《省级温室气体清单编制指南（试行）》，要求各地制定工作计划和编制方案，组织好温室气体清单编制工作。为贯彻《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》《2030 年前碳达峰行动方案》文件精神，推动落实《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》中关于“完善温室气体清单编制机制”的有关要求，指导和规范我市区级温室气体清单编制方法，加强温室气体排放统计工作，促进上海市区级温室气体清单编制工作走向常态化和标准化，特制定本技术指引。在技术指引制定过程中，充分参考了国内外相关技术标准、指南和文献资料，广泛听取了生态环境部，国家气候战略中心，江浙皖三省生态环境厅，市统计局、市绿化市容局、市交警总队、市大数据中心，市环境科学研究院、市园林科学规划研究院，电力公司、燃气公司、供水公司等部门和单位的建议，总结了长宁区生态环境局、金山区生态环境局清单编制的试点经验。同时，

本文件为首次发布。

本文件由上海市生态环境局提出并负责解释和修订。

本文件起草单位：上海市经济信息中心。

本文件主要起草人：刘佳、鞠学泉、张东海、王雪媛、沈行。

综合规划与政策典型案例 | 减污降碳协同增效⑥：上海金山区推动大气污染物和温室气体清单融合

生态环境部 2023-04-19 11:30 发表于北京

2022年6月，生态环境部等7部门联合印发了《减污降碳协同增效实施方案》（以下简称《实施方案》），地方积极推动《实施方案》落地落实，开展城市、产业园区、典型企业、政策机制等多层面、多类型减污降碳协同创新。为推动减污降碳协同创新工作持续开展，强化交流互鉴，生态环境部综合司近期组织地方推荐了一批具有示范价值的典型案例。现以“减污降碳协同增效”为主题陆续发布。

上海金山区地处长江三角洲南翼，是全国七个化工集中区之一，一、二、三产齐备，产业以化工为主，门类齐全，污染排放



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

THANKS!

感谢各位老师指导!

饮水思源 爱国荣校