

双碳目标下：杭州湾地区大气污染物排放现状与治理的挑战

For carbon peaking and carbon neutrality goals:
Emission Status and governance challenge of air pollutants
around Hangzhou Bay area

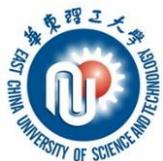
修光利 华东理工大学

Guangli Xiu

xiugl@ecust.edu.cn

East China University of Science & Technology

August 12, 2022



Contents

1、 Variation of Air Quality

2、 Emission of Air Pollutants

3、 Challenge for Governance

杭州湾地理位置 Geographic Location

四大石化基地

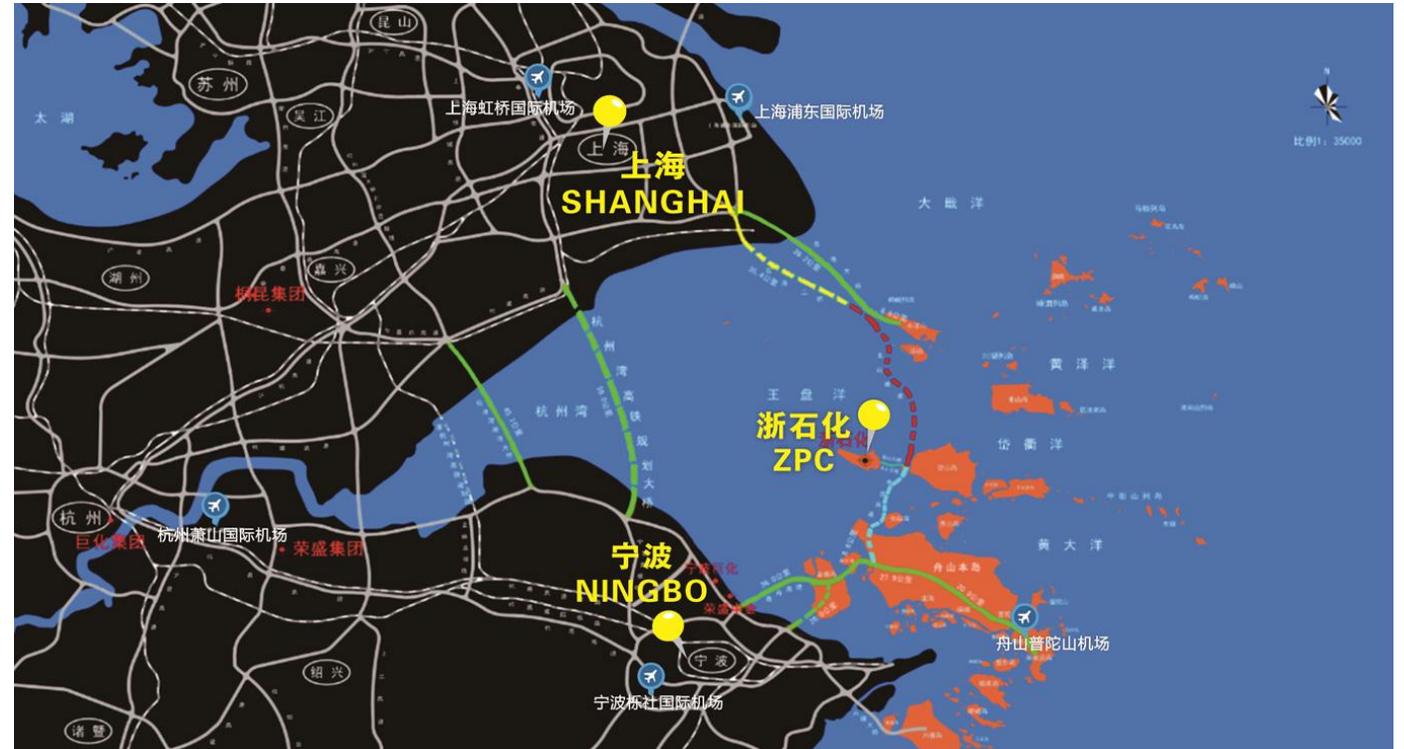
Four Petrochemical industrial parks
上海金山、宁波镇海、大榭石化、鱼山岛
浙江石化基地

五大机场

Five airports
上海虹桥、浦东、杭州萧山、宁波机场、
舟山普陀山机场

2大国际港口

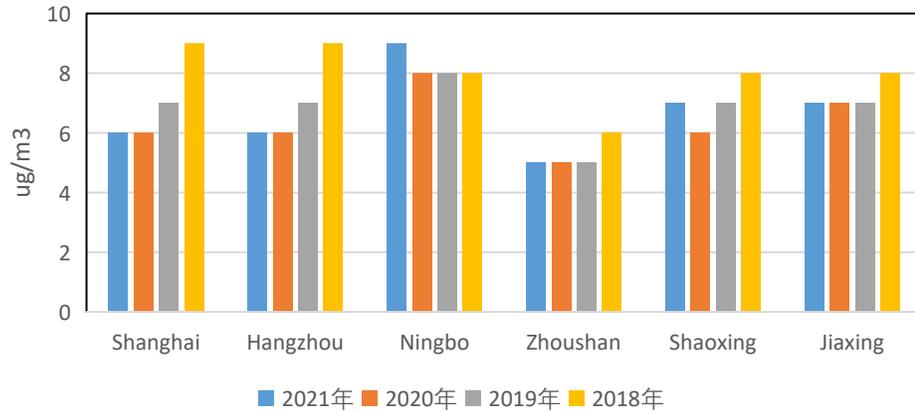
Two international Port
洋山港、宁波舟山港



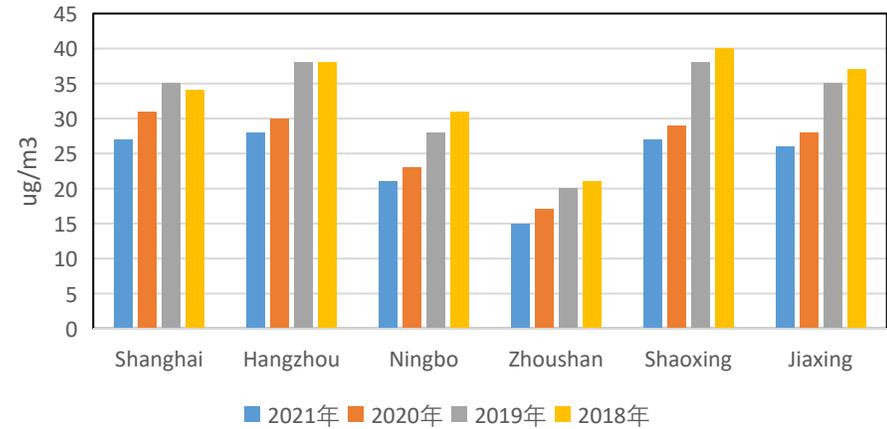
工业的集中区、航运枢纽区

杭州湾的空气质量现状: Air Quality in Hangzhou Bay

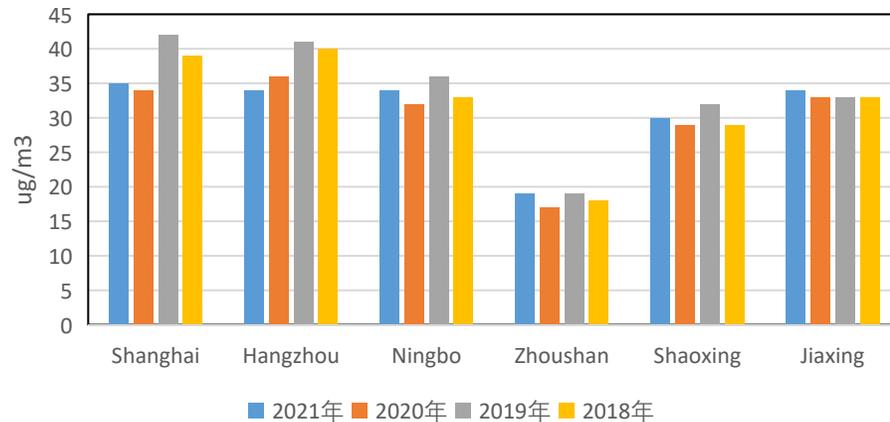
SO₂: 稳定在低浓度水平



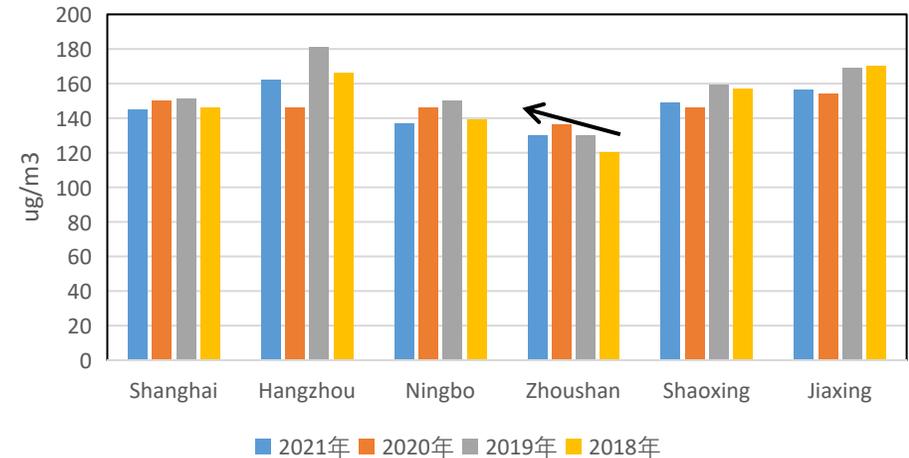
PM_{2.5}: 下降明显, 达到国家二级标准



NO₂: 降幅不明显,



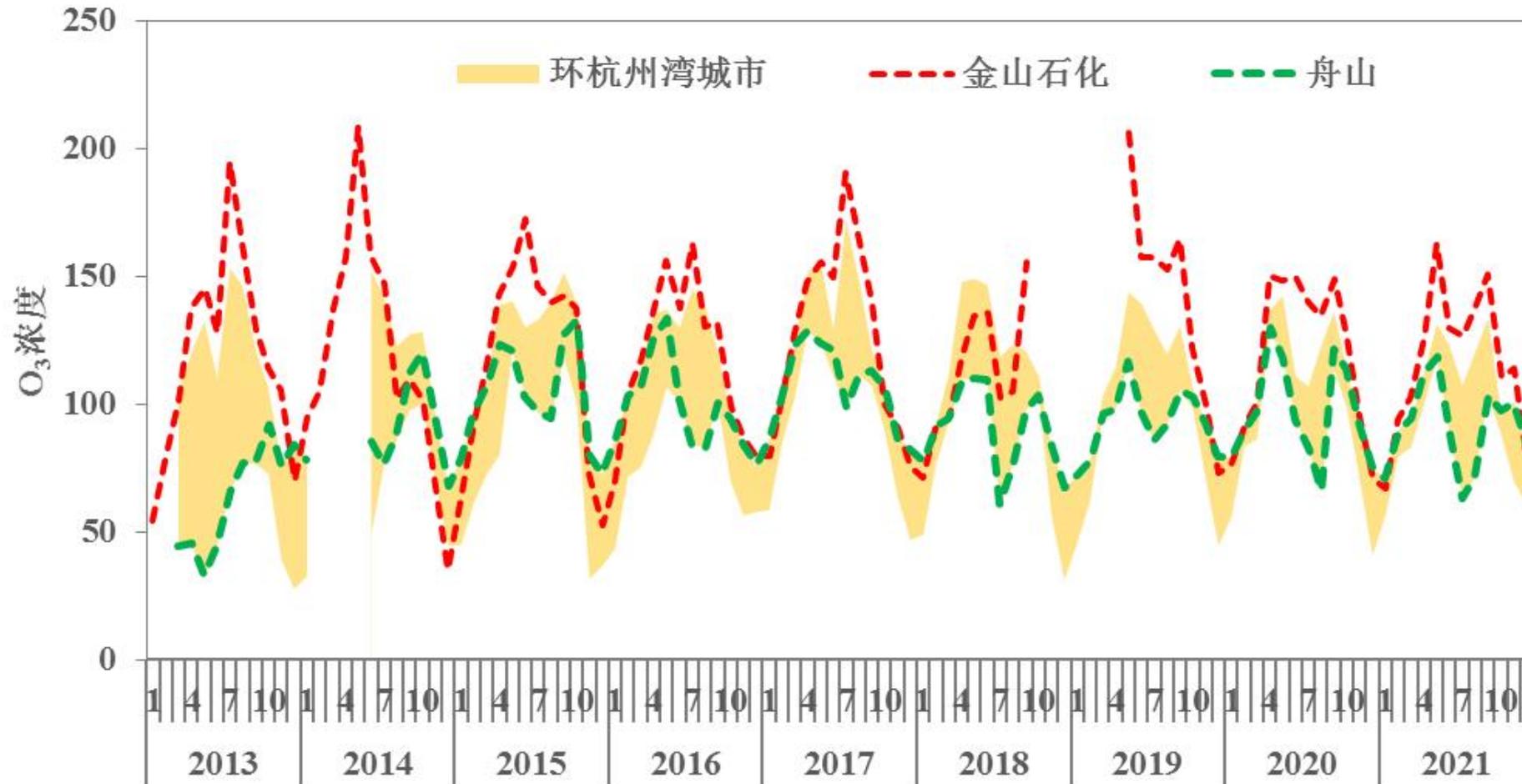
O₃-8h, 90th: 波动中平稳有升



来自生态环境状况公报

O₃+NO₂ : the focus of air pollution control

杭州湾的空气质量现状：Air Quality in Hangzhou Bay

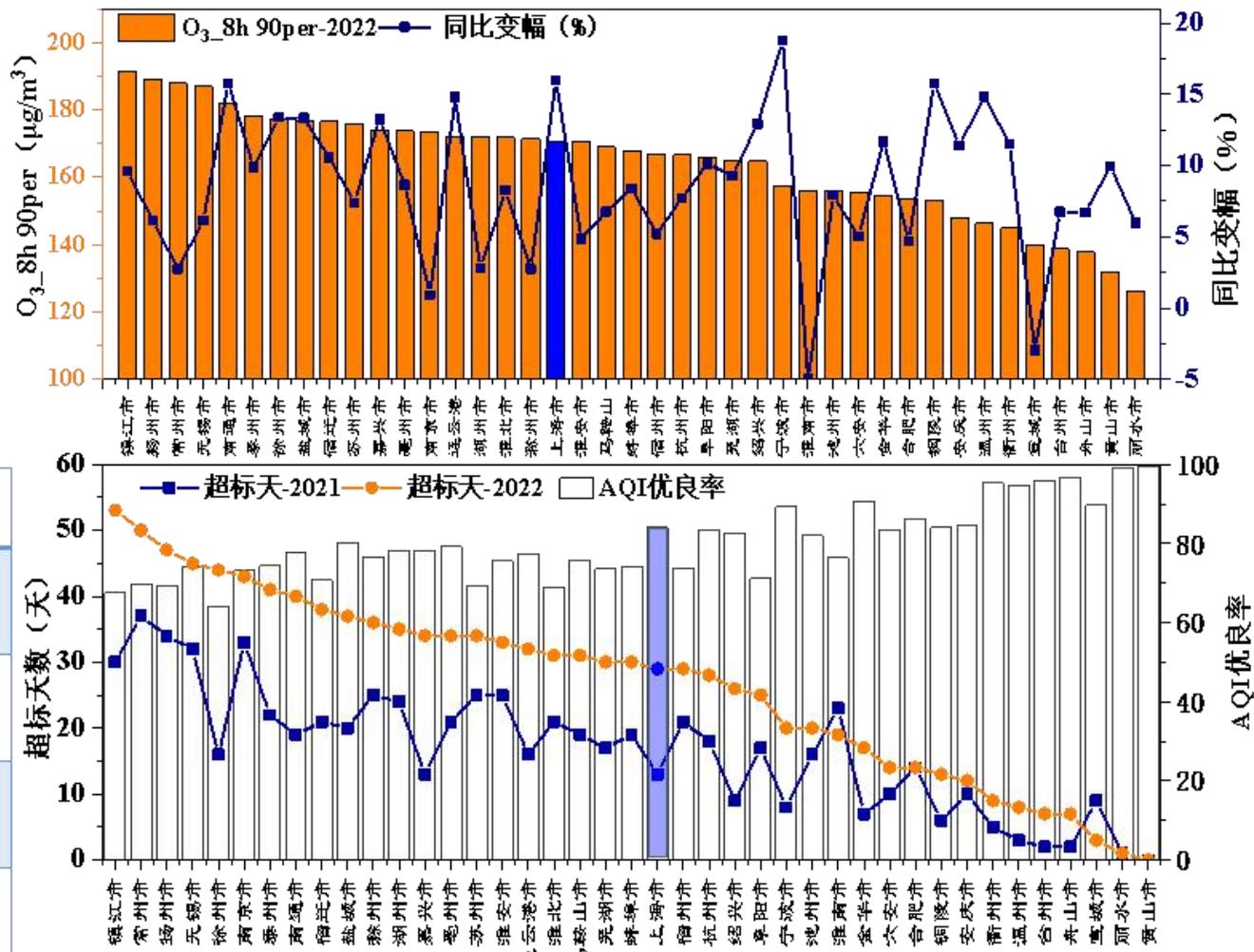


O₃+NO₂ : the focus of air pollution control

杭州湾的空气质量现状: Air Quality in Hangzhou Bay

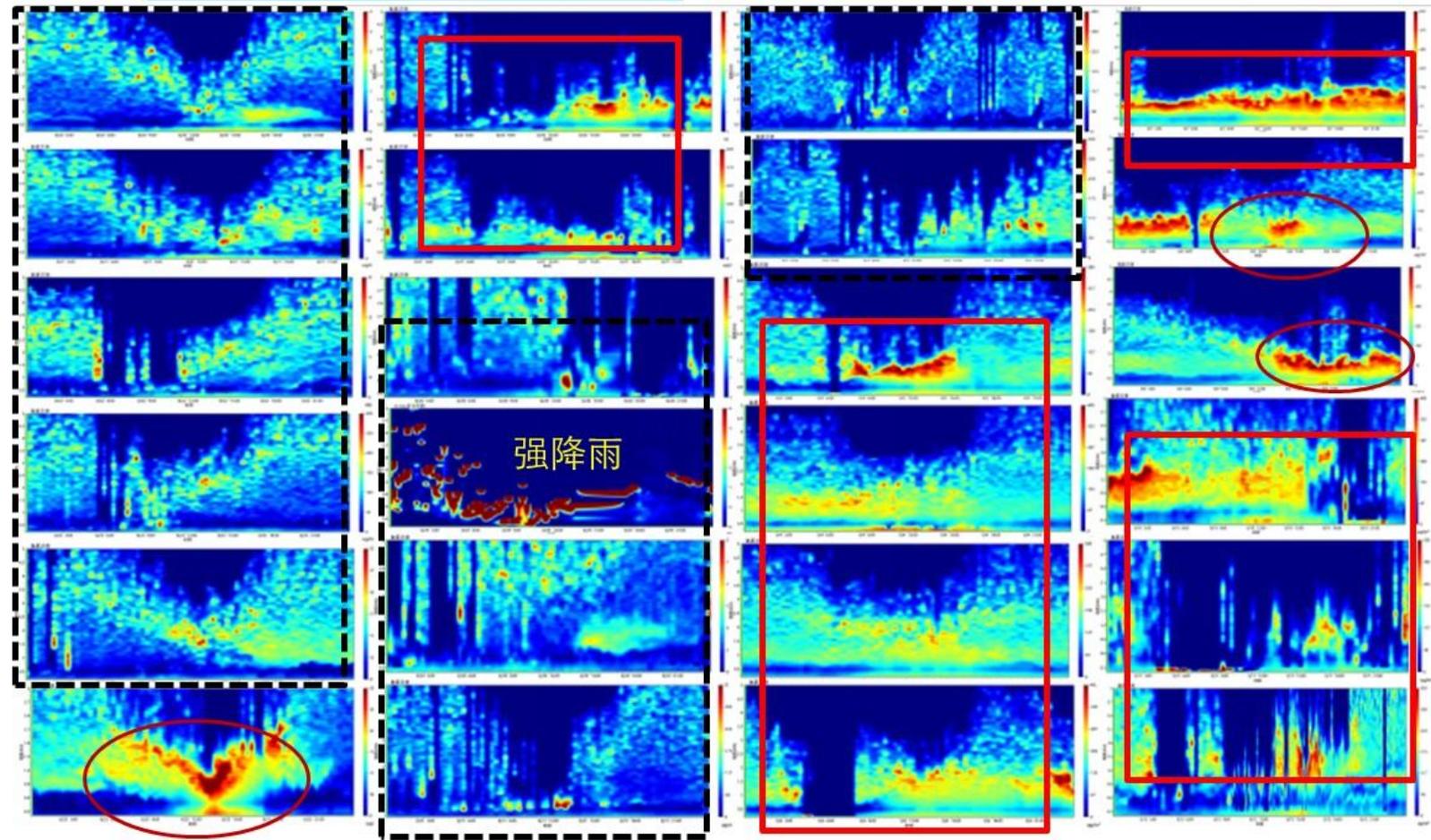
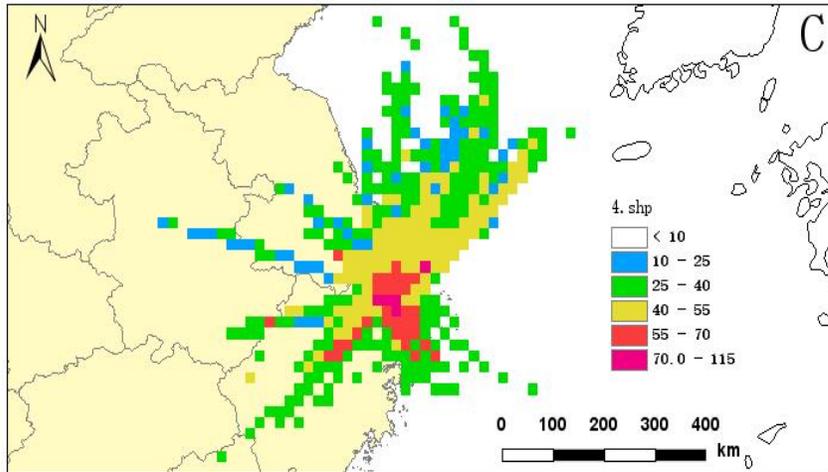
- **O₃污染水平居中:** 170ug/m³, 浓度居19位, 超标天数居22位
- **O₃升幅突出:** 15.6% (长三角平均升幅8.3%), 仅次于宁波。
- **AQI优良率中上:** 84%, 由高到低12名, 中上

项目	排名 (高→低)	同比变化
O ₃ -8h	第18 (170)	升11名 (去年147)
O ₃ 超标天	第22 (29天)	升6名 (去年13天)
O ₃ 增幅	第6 (15.6%)	仅次于宁波 18.8%
AQI优良率	第14 (84%)	降1名 (去年13名92%)



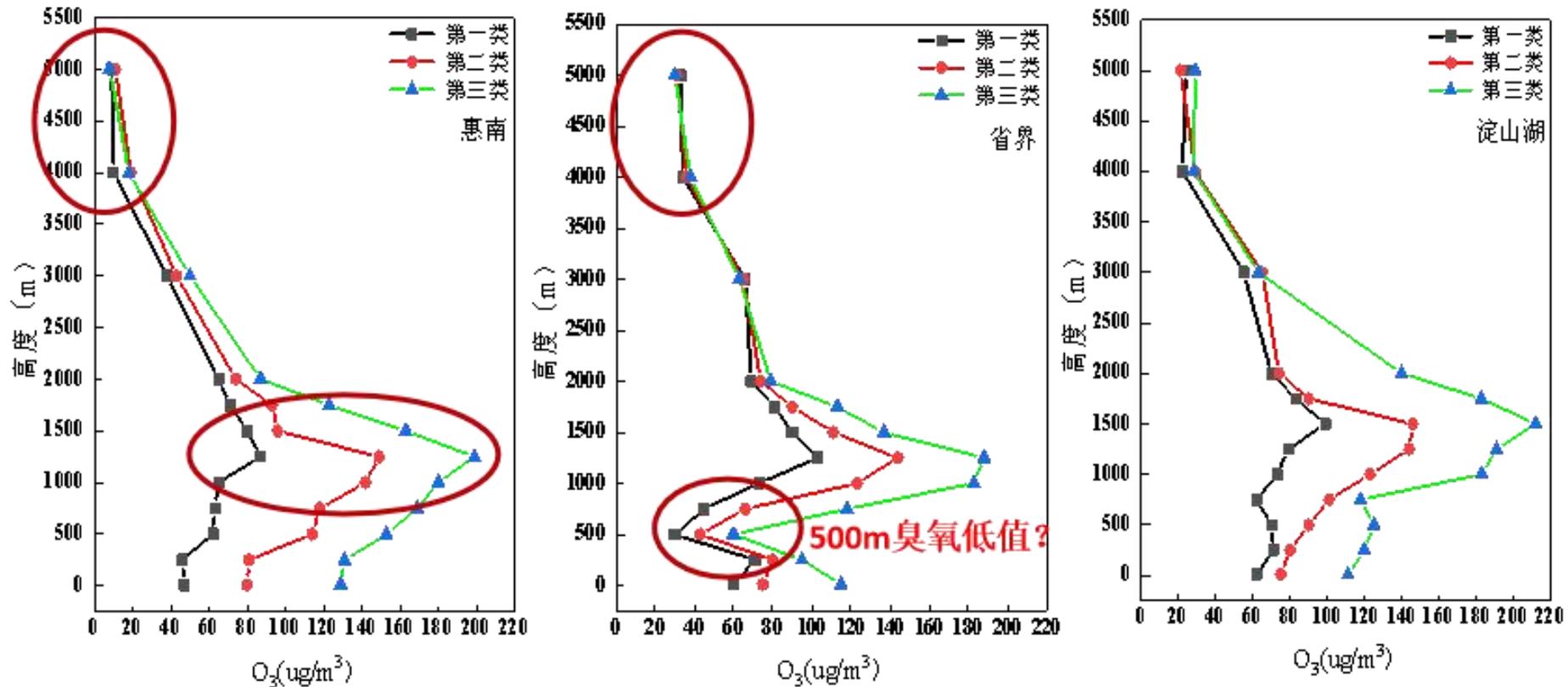
杭州湾的空气质量现状：Air Quality in Hangzhou Bay

地面观测站出现臭氧污染时，
高空臭氧浓度明显上升。



Coupling effect of Vertical and horizontal transport lead to higher O₃ pollution events

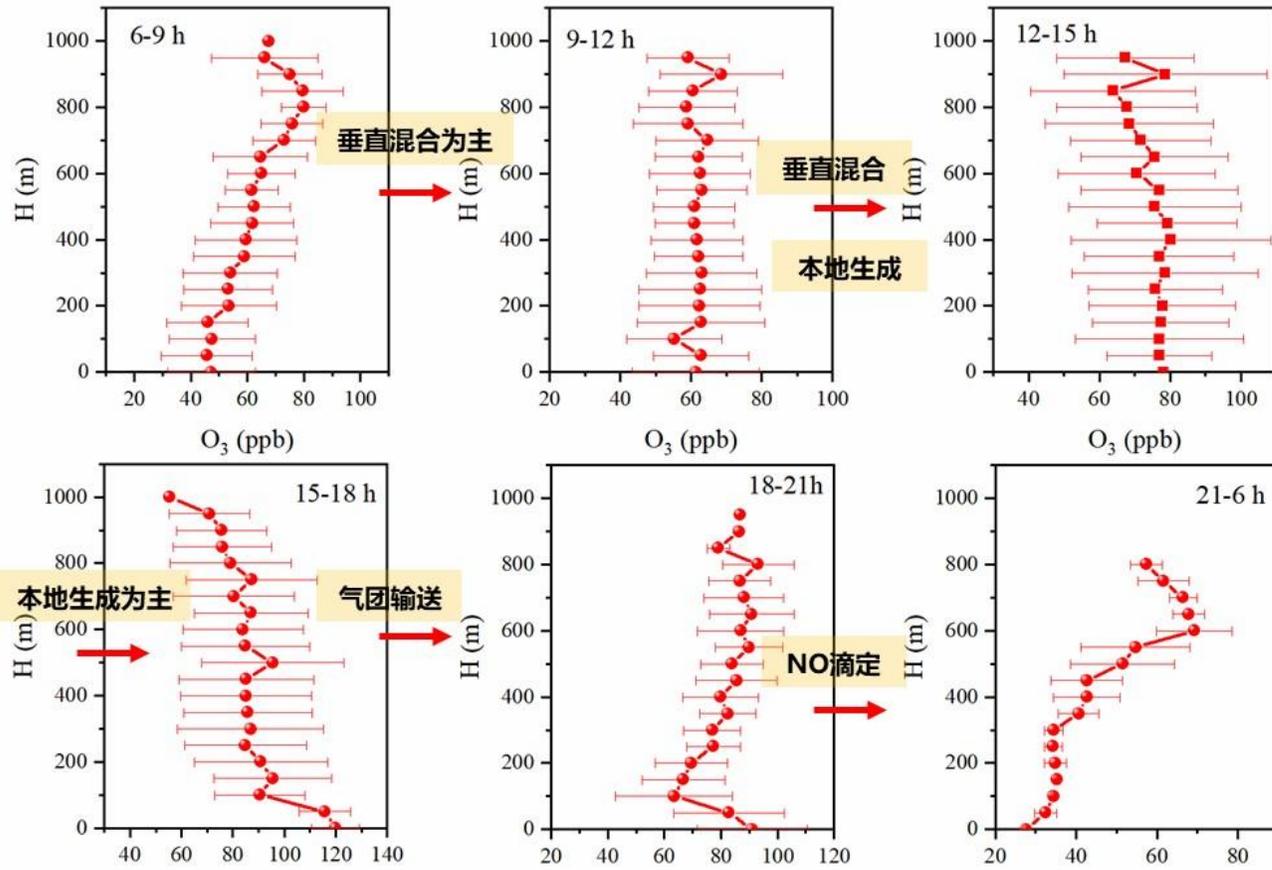
杭州湾的空气质量现状: Air Quality in Hangzhou Bay



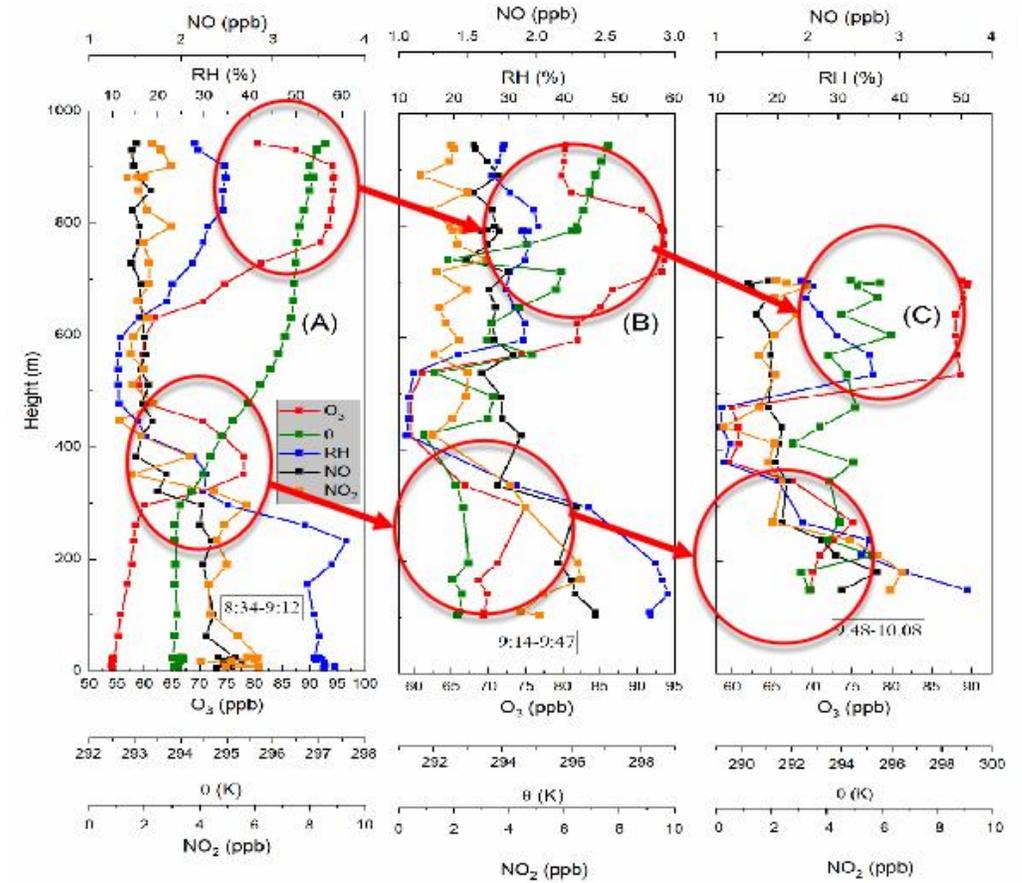
地面的环境空气质量分为优（地面 O_3 浓度 $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第一类）、良（ $100 \mu\text{g}/\text{m}^3 < O_3$ 浓度 $< 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第二类）和污染（ O_3 浓度 $\geq 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，第三类）3个等级

A higher ozone pollution peak occurs around 1000m-1500m

杭州湾的空气质量现状: Air Quality in Hangzhou Bay



Spring of 2016



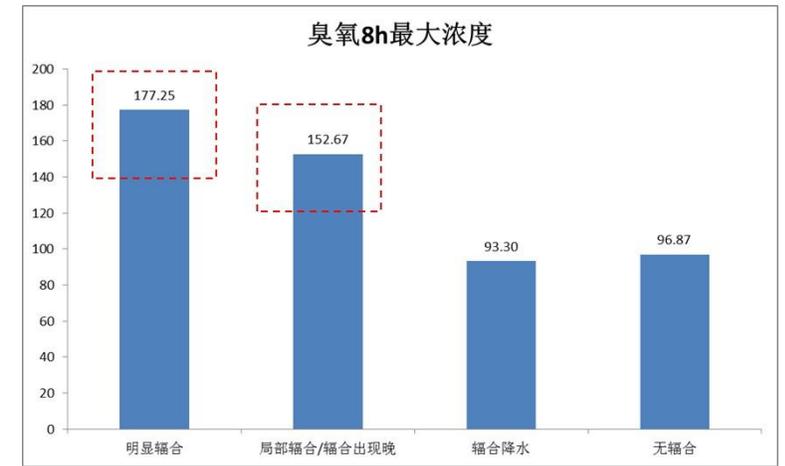
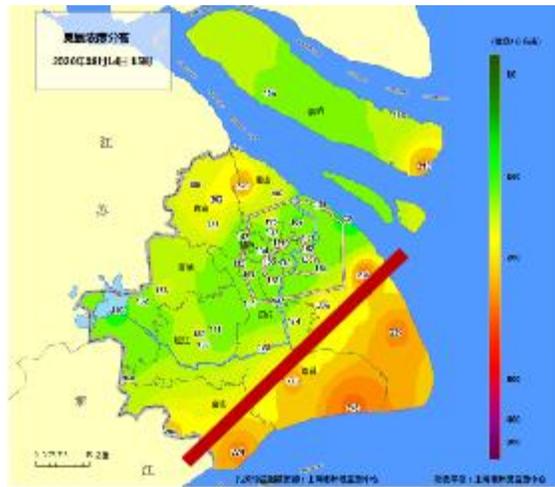
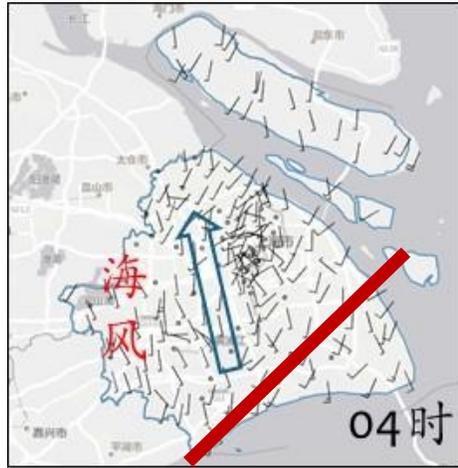
8:34-9:12

9:12-9:47

9:48-10:08

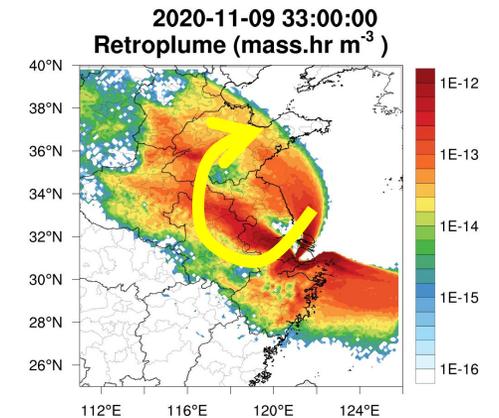
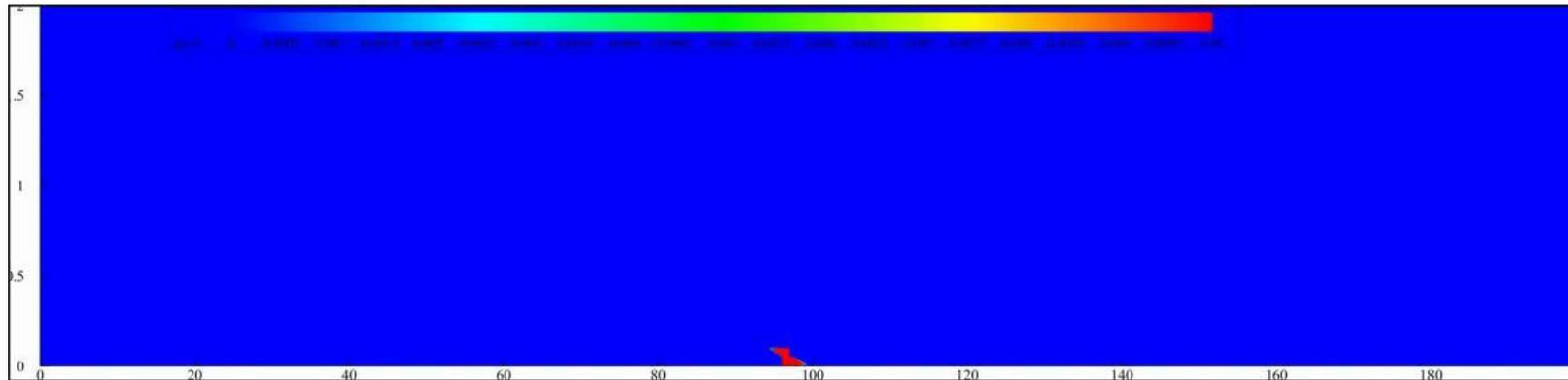
Vertical Transport should not be neglected

杭州湾的空气质量现状: Air Quality in Hangzhou Bay



来自长三角环境气象预警中心许建明所长团队

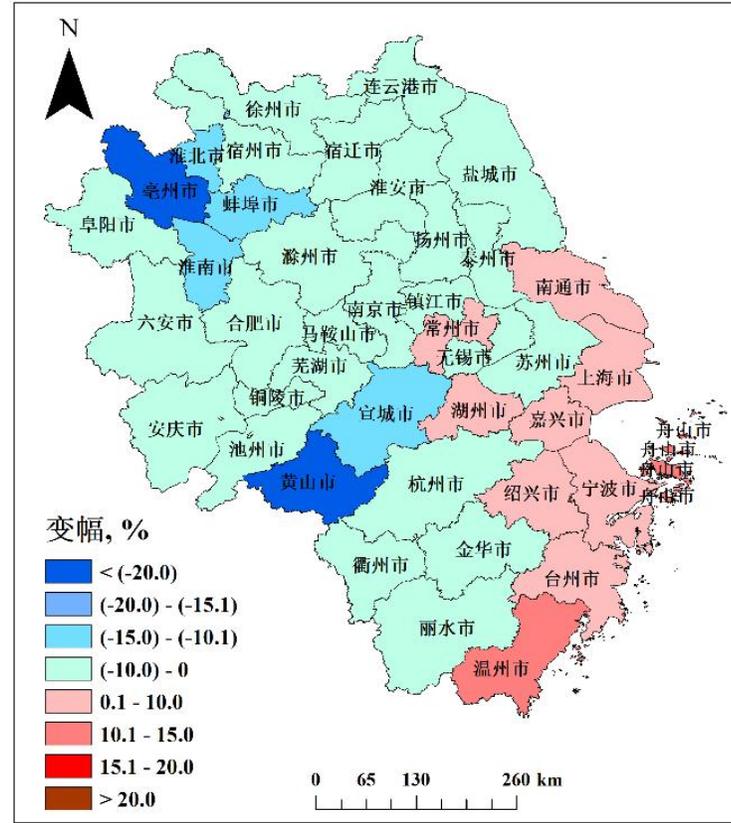
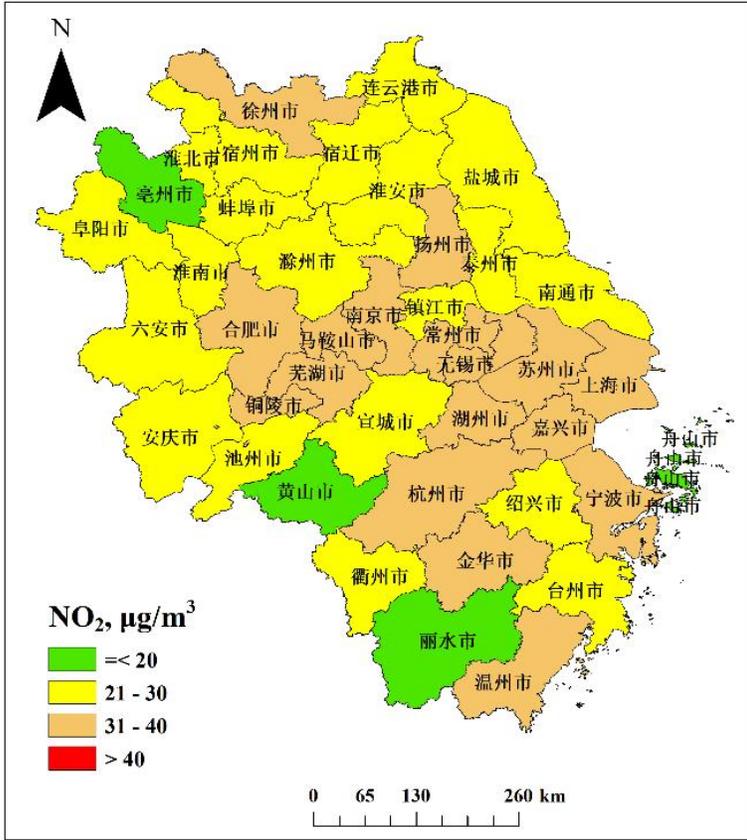
来自长三角环境气象预警中心



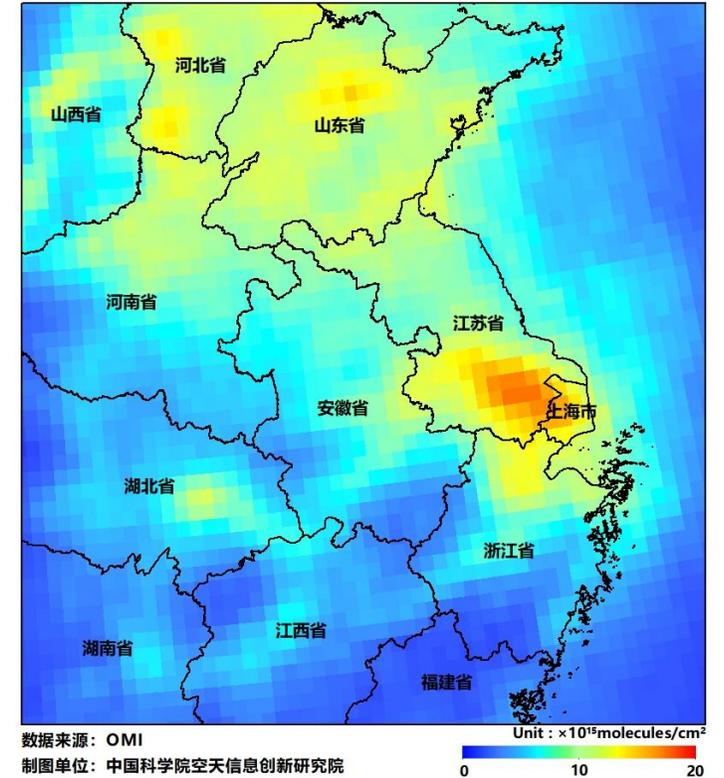
来自东华大学钟珂教授团队

land/sea breeze make ozone pollution worse: regional pollution

杭州湾的空气质量现状: Air Quality in Hangzhou Bay



华东及其沿海地区对流层NO₂柱浓度 (2021年)

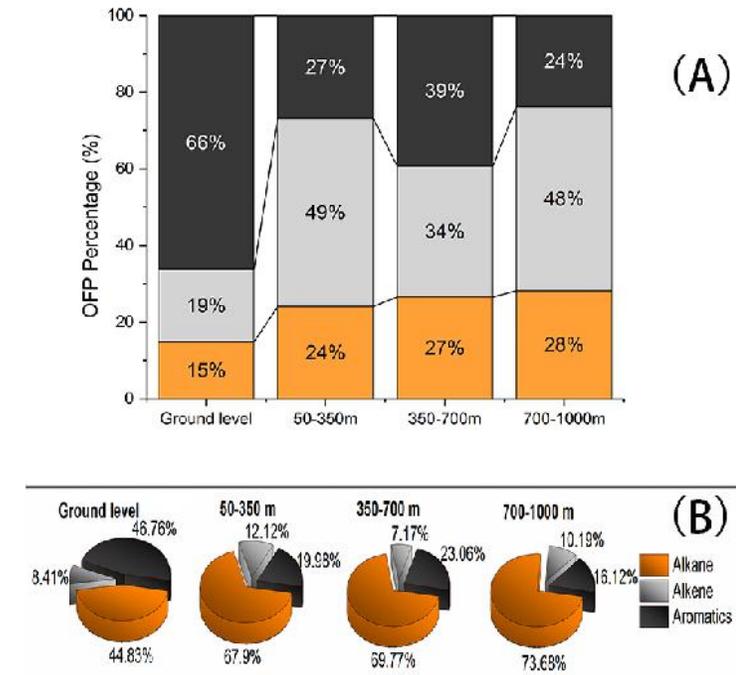
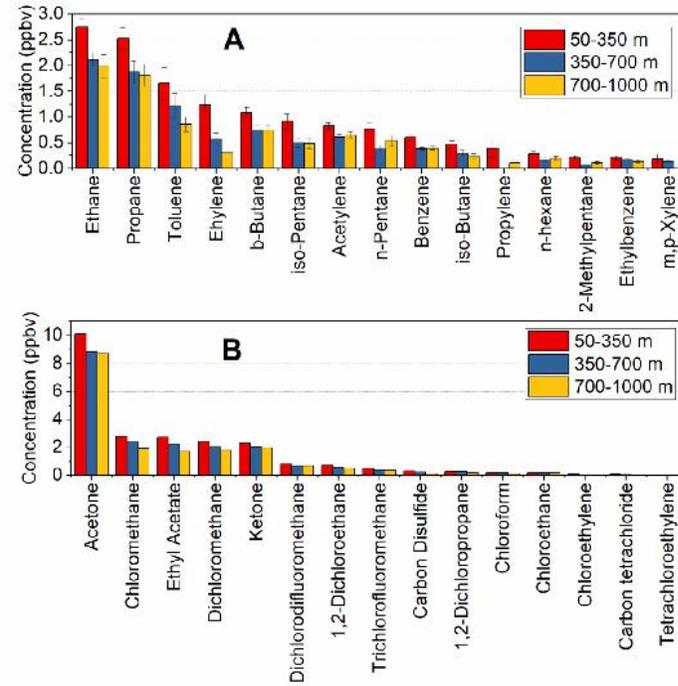
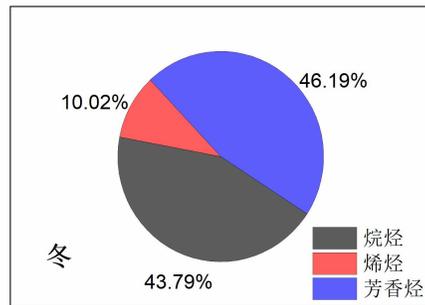
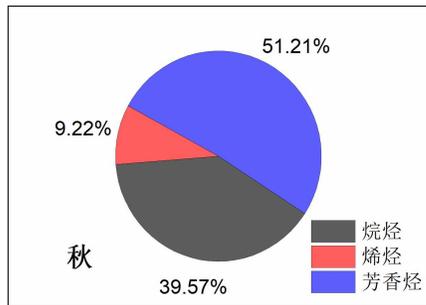
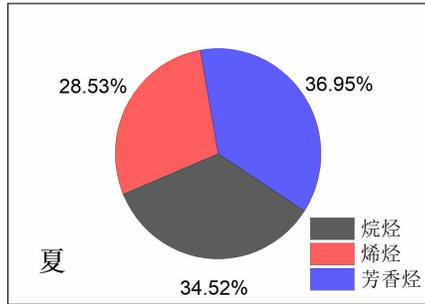
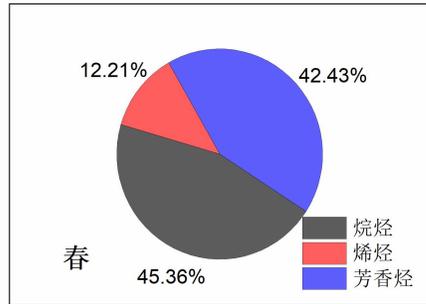


来自上海市环境监测中心

NO₂ concentration is still higher in Hangzhou Bay Area

杭州湾的空气质量现状: Air Quality in Hangzhou Bay

2016年春季和夏季: 烷烃和烯烃的浓度占比达到了60%左右



VOCs speciation is different vertically

Contents

1、 Variation of Air Quality

2、 Emission of Air Pollutants

3、 Challenge for Governance

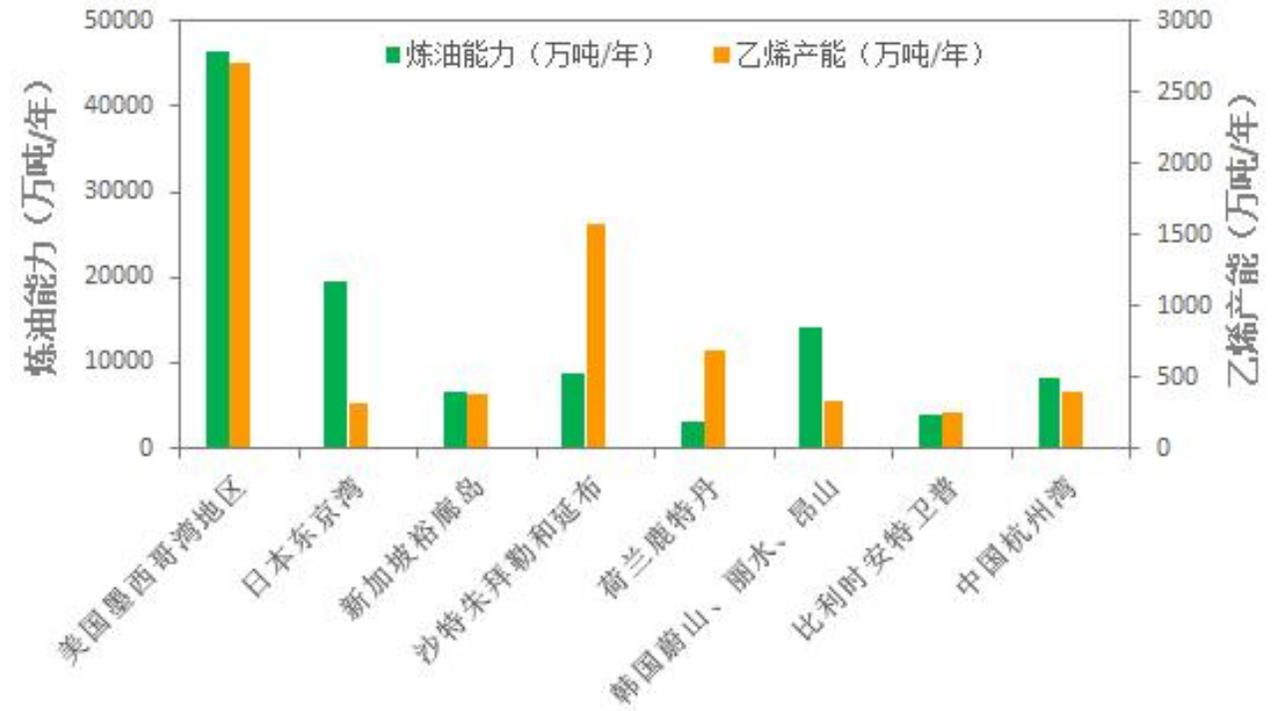
Petrochemical industrial park

□ 湾区石油化工产业集聚，其中原油加工量

6535万吨，占长三角区域的**53%**；杭州湾区的炼油能力和乙烯产能已超过新加坡裕廊岛，跻身世界级石化基地行列。

□ **2021年化工园区30强**：杭州湾地区占5家，第1、第3、第4、第9、第12；

□ **2021年化工园区潜力10强**：杭州湾地区占2家：舟山绿色石化基地（第1）、独山港经济开发区（第4）



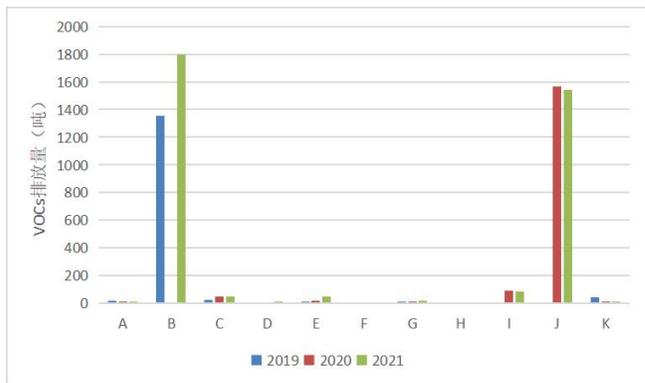
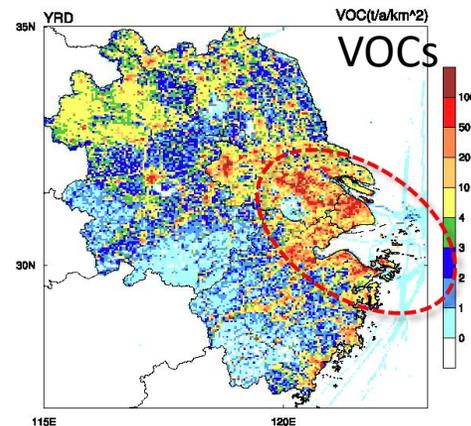
petrochemical industry is the main pollution source

Higher emission intensity

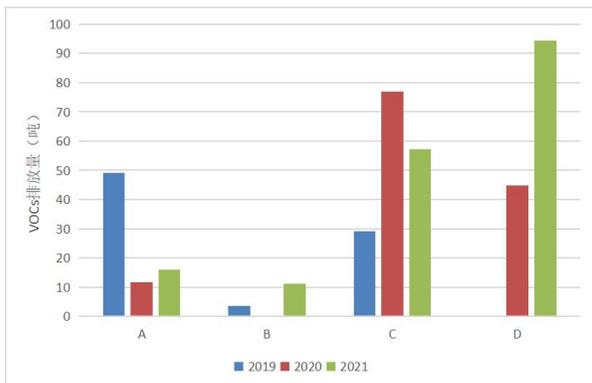
□ 湾区石化化工VOCs排放估算在30万吨，占长三角区域石化化工行业的43%，跨省界VOCs传输影响明显

□ 湾区产业集聚次生的船舶和公路货运氮氧化物排放量增高

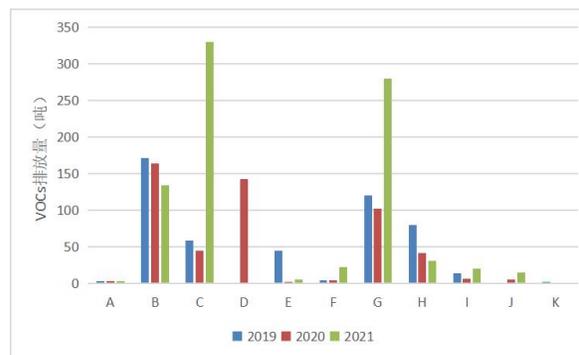
□ 经过排污许可公开信息数据：区域VOCs排放主要是来自一些大型的石化产业



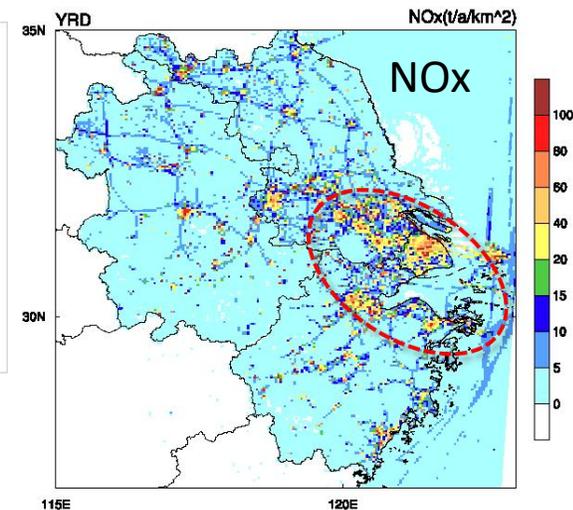
上海（石化产业）



嘉兴



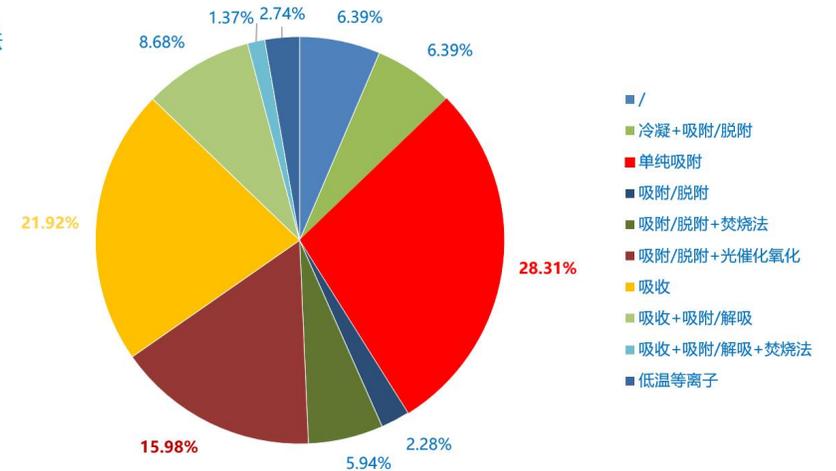
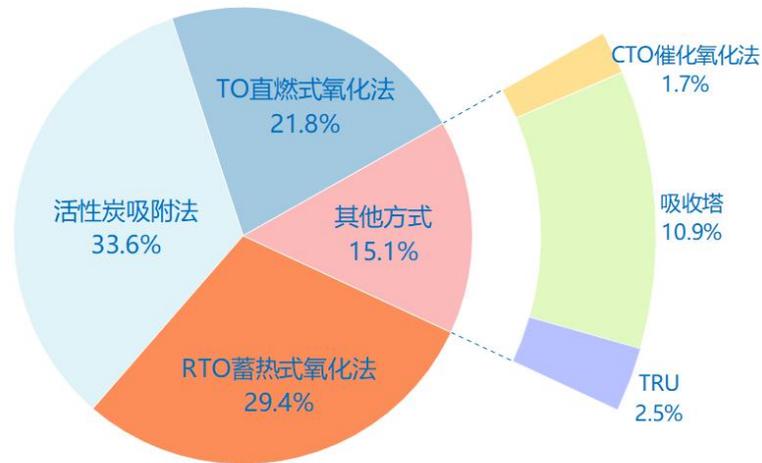
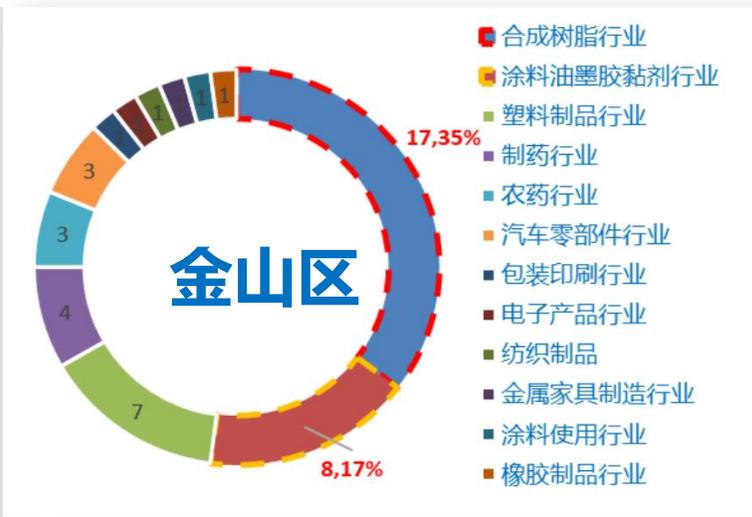
宁波镇海



基于排污许可的公开信息整理

petrochemical pollution : VOCs+NOx+CO₂

Other industries



□精细化工类企业数量占很大的比例；

□精细化工行业VOCs的管控仍需要进一步加强

来自上海市环境科学研究院张钢锋高工

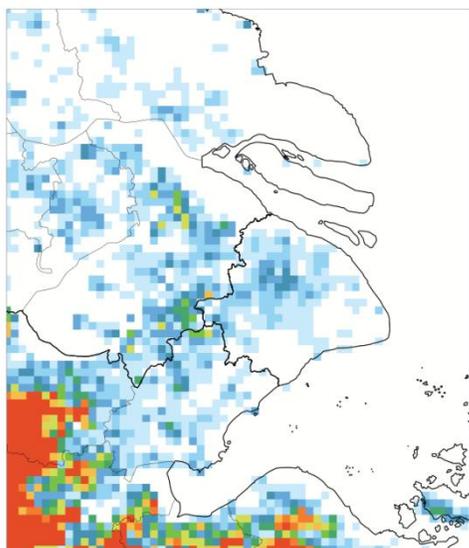
Organic fine chemistry industries are main sources of air pollutants

Emission Estimation of BVOCs and IVOCs

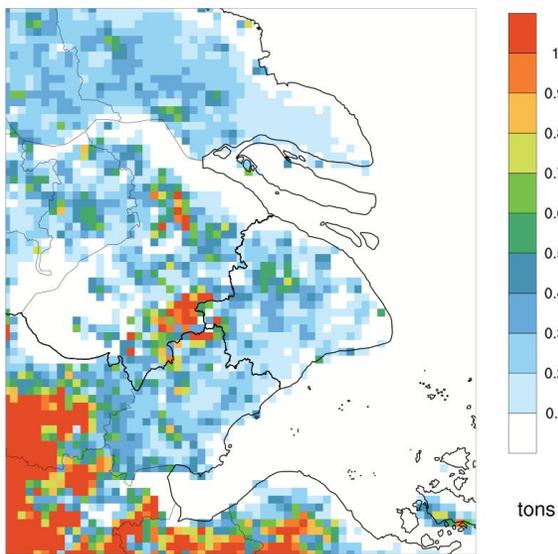
滨海地区天然源VOCs排放量总量估算为20.0万吨，
占人为源VOCs的11%；

工业源对中等挥发性有机物（IVOCs）的排
放也有重要的贡献

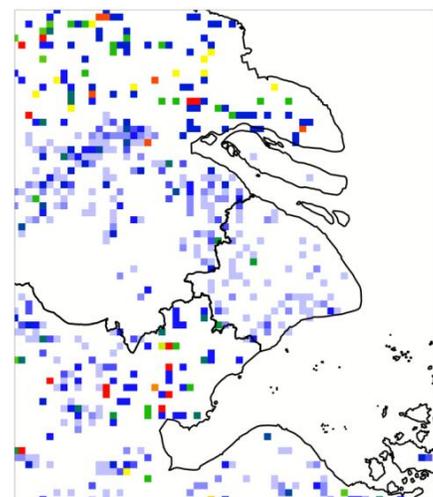
异戊二烯



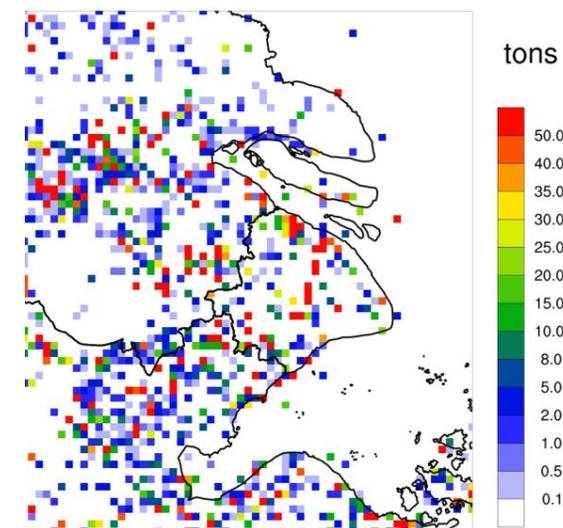
单萜烯



生物质燃烧



工业源排放



注：滨海地区包括上海、南通、苏州、嘉兴、杭州、绍兴、宁波

来自：上海大学李莉教授的研究团队

Organic fine chemistry industries are main sources of air pollutants

Contents

1、 Variation of Air Quality

2、 Emission of Air Pollutants

3、 Challenge for Governance

生产装置和治理设施的稳定、安全运行

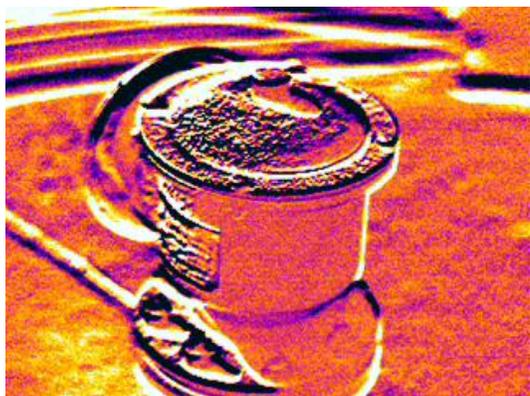
老装置的停车检修、新装置的开车试车需要环杭州湾统一的规范



stable and Safe operation

some important fugitive sources

储罐的排放



装卸的环节



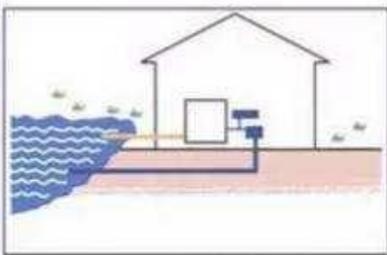
敞开液面



LDAR



冷却系统

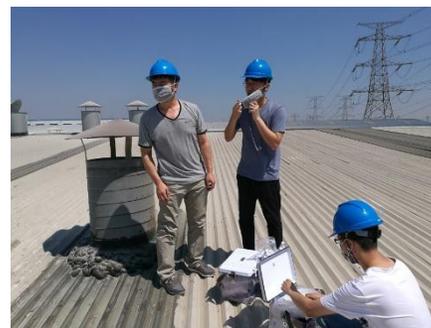


(a) 开式循环

非正常排放



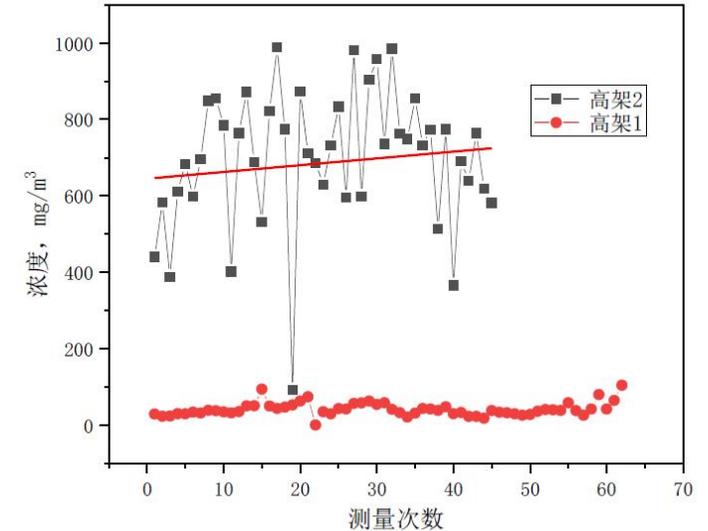
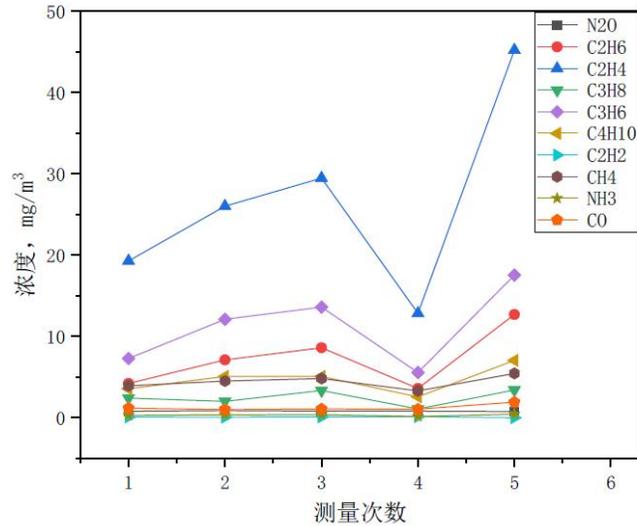
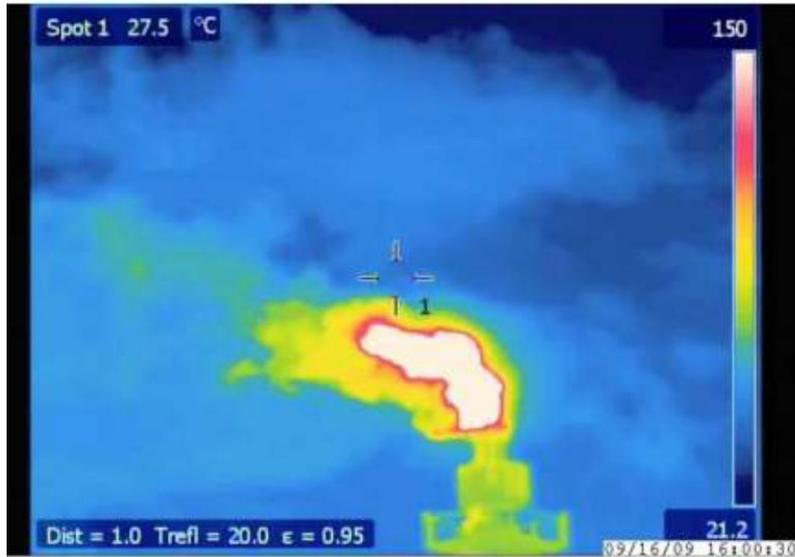
旁路问题



治理设施



Flare emission should be concerned



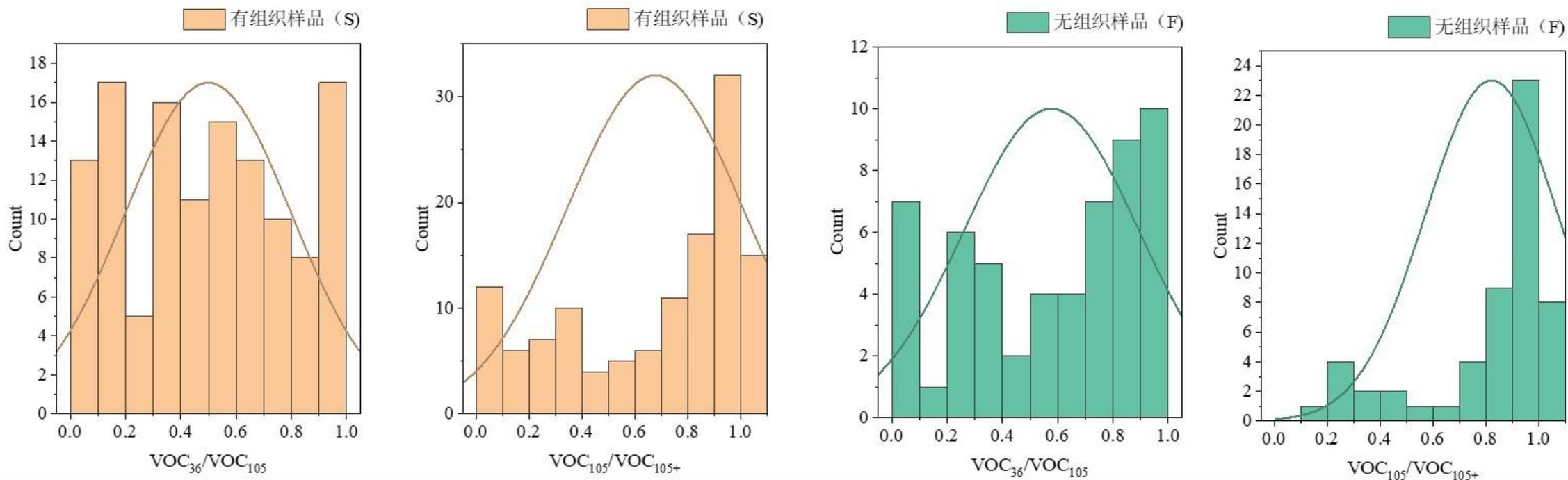
GB31571-2015: 采取措施回收排入火炬系统的气体和液体;

- 在任何时候, 挥发性有机物和恶臭物质进入火炬都能点燃并充分燃烧;
- 应该连续监测、记录引燃设施和火炬的工作状态 (火炬气流量、火炬头温度、火种气流量、火种温度等), 并保存记录1年以上。

Flare emits some High-reactivity VOCs + BC

VOCs组分的缺失: Lost of VOCs species

无论是无组织还是有组织排放, 我们错过了不少VOCs组分

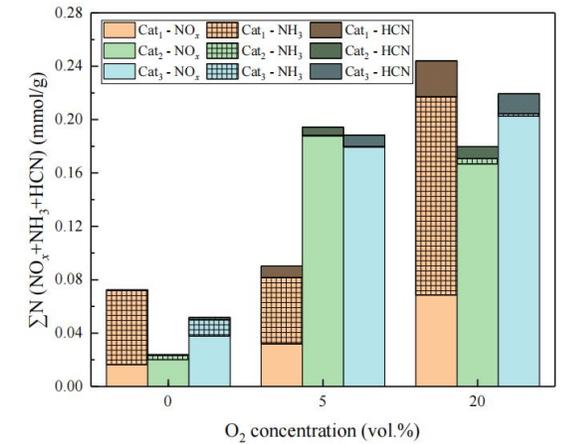
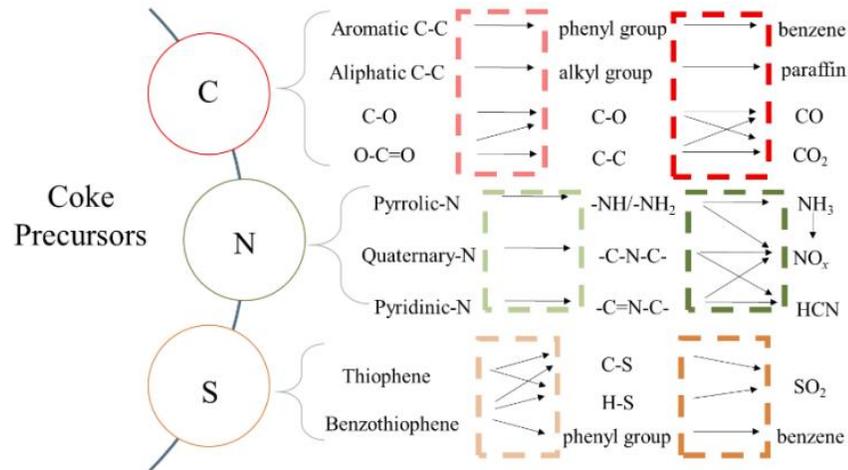
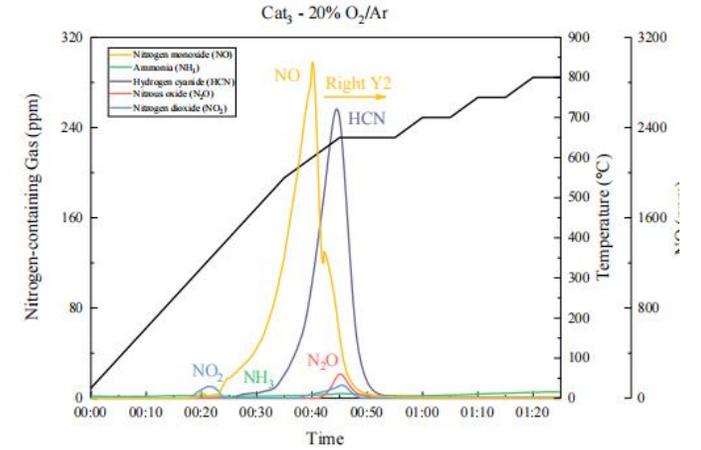
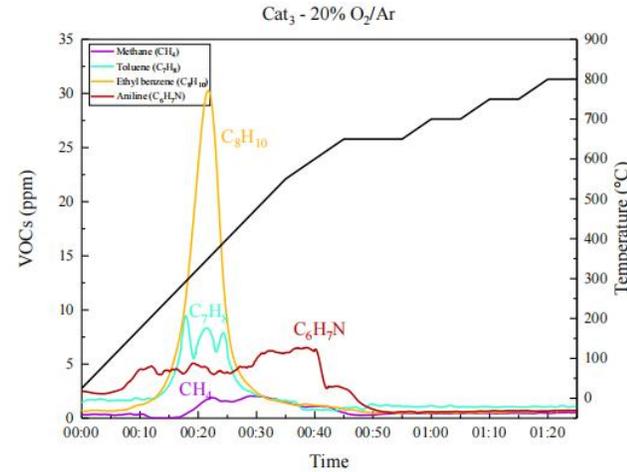
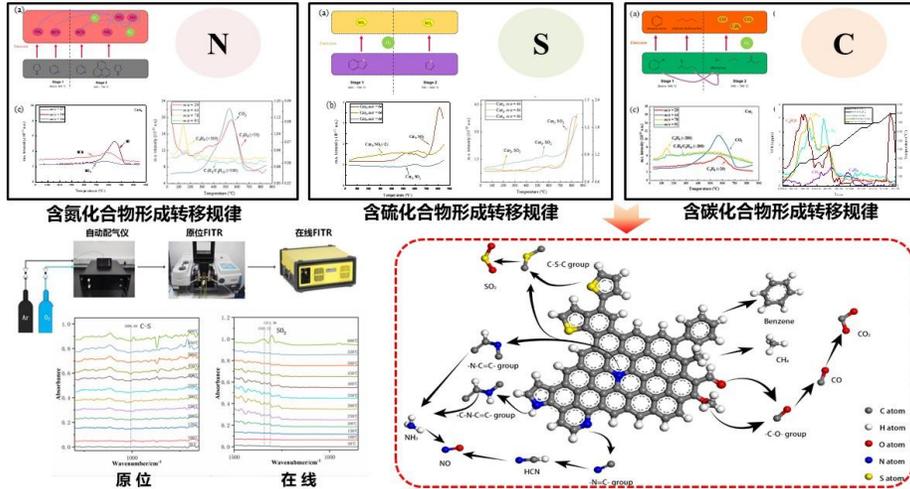


•半定性定量的VOCs物种在部分排放口占比较高

Flare emission should be measured and controlled.

NEW VOCs species after treatment

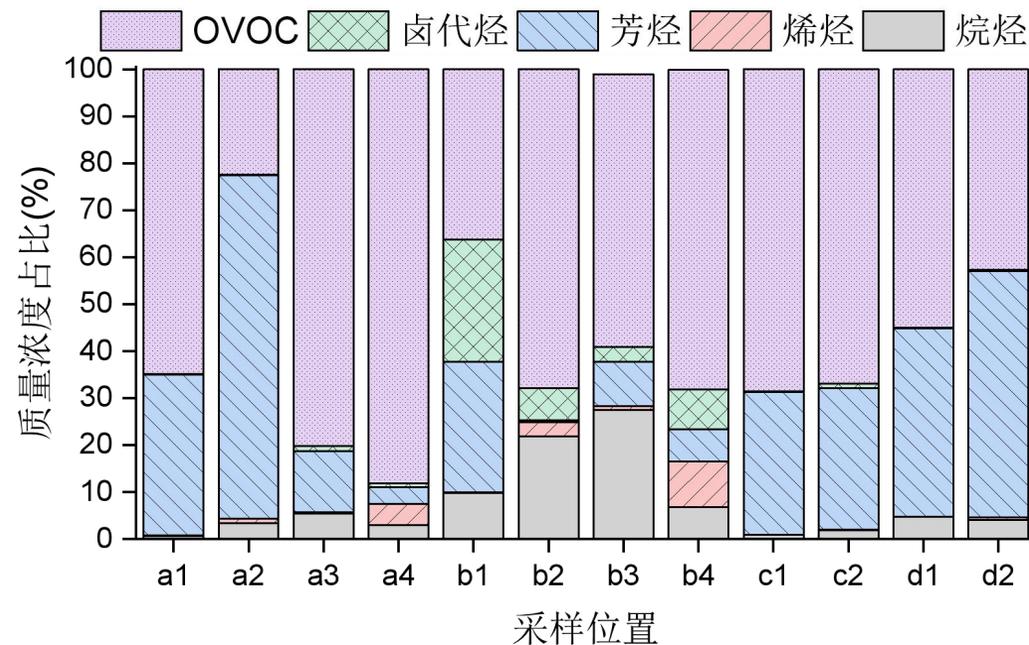
FCC催化裂化装置



Emission for some catalyst regeneration

NEW VOCs species after treatment

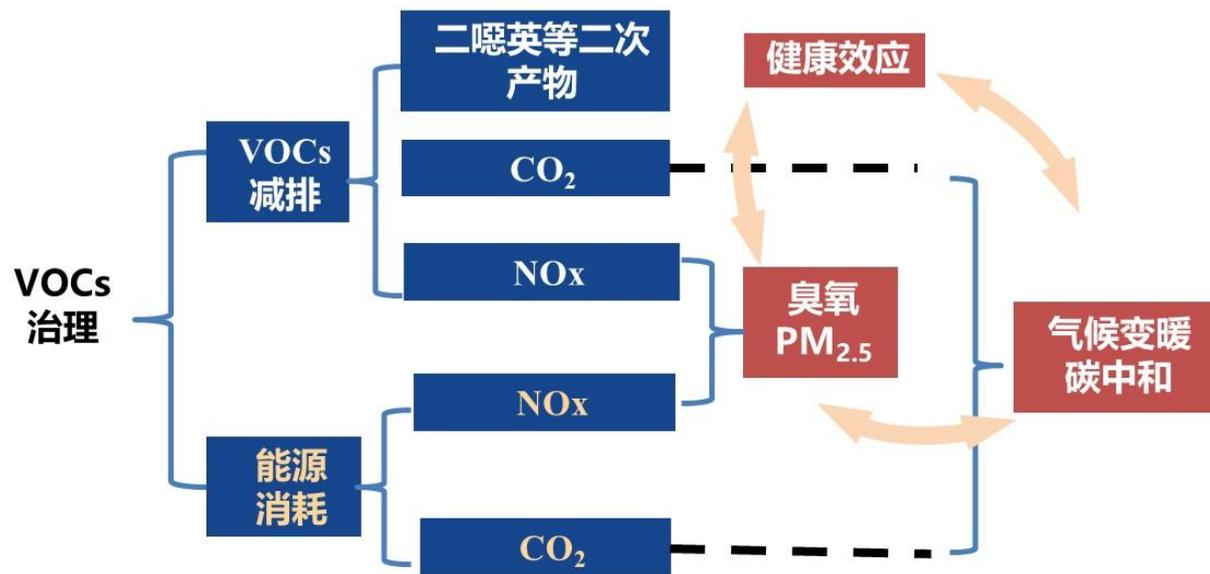
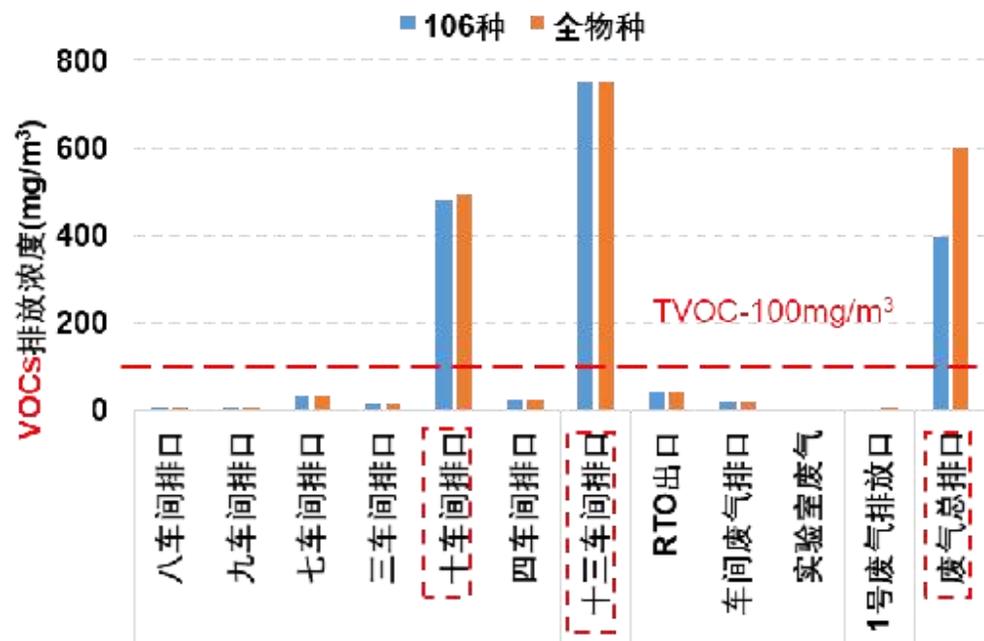
企业代号	测点名称	测点代码
A	油性漆车间	a1
	水性漆车间	a2
	RTO进口	a3
	RTO出口	a4
B	水性漆 (OEM) 生产车间	b1
	水性漆 (OEM) 净化装置出口	b2
	油性漆 (REF) 净化装置进口	b3
	油性漆 (REF) 净化装置出口	b4
C	RTO进口	c1
	RTO出口	c2
D	净化装置进口	d1
	净化装置出口	d2



RTO等净化装置后**甲醛、乙醛、丙酮、丙烯和1-丁烯**占比增加

关注治理设施后含氧有机物、小分子有机物的产生

NEW VOCs species after treatment



从NMHC到TVOC, 达标可能出现不一致现象

综合环境效益分析

关注治理设施的综合环境效益分析

Update emission VOCs Species database

乙烯裂解					
本研究1		本研究2		Mo, et al.,2015	
物种	wt %	物种	wt %	物种	wt %
乙炔	43.55	正戊烷	11.7	丙烯	16.24
乙烯	35.02	异戊烷	11.3	丙烷	15.80
苯	9.99	正己烷	8.6	乙烯	15.06
		2-甲基戊烷	7.1	二氯甲烷	5.00
		正庚烷	6.8		
		3-甲基戊烷	5.3		

PE			
本研究		EPA Speciate	
物种	wt %	物种	wt %
正戊烷	17.16	乙烯	50
丙酮	16.33	甲苯	7.7
乙烯	15.68	正丁烷	5.5
乙烷	7.57		

PP			
本研究		Mo, et al.,2015	
物种	wt %	物种	wt %
丙酮	20.33	丙烯	50.44
1-己烯	8.00	丙烷	6.24
3-甲基戊烷	6.56	乙烷	6.23
乙烷	5.66		

浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	排放强度(g/h)	特征污染物
66264.4	3107.80	异丙苯81.2%，丙酮11.9%
747.9	27.22	乙烷71.7%，丙烷21.7%
		未体现特征污染物
17027.0	514.54	异丙苯58.0%，苯乙烯10.5%，苯8.6%，丙酮6.8%，乙烯6.1%

我们需要更新源谱库，反映企业排放的特征

Carbon peaking and carbon neutrality goals challenge and opportunity

- 《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》（中发[2021]36号文）
- 《2030年前碳达峰行动方案》（国发〔2021〕23号）
- 《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和的实施意见》（上海市，2022.7）
- 《上海市碳达峰实施方案》（上海市，2022.7）

国家发展改革委等部门关于发布《高耗能行业重点领域能效标杆水平和基准水平（2021年版）》的通知

序号	国民经济行业分类及代码			重点领域	指标名称	指标单位	标杆水平	基准水平	参考标准	
	大类	中类	小类							
1	石油、煤炭及其他燃料加工业(25)	精炼石油产品制造(251)	原油加工及石油制品制造(2511)	炼油		单位能量因数综合能耗	千克标准油/吨·能量因数	7.5	8.5	GB 30251
				煤制焦炭	顶装焦炉	单位产品能耗	千克标准煤/吨	110	135	GB 21342
		捣固焦炉				110	140			
		煤炭加工(252)	煤制液体燃料生产(2523)	煤制甲醇	褐煤	单位产品综合能耗	千克标准煤/吨	1550	2000	GB 29436
					烟煤			1400	1800	
					无烟煤			1250	1600	
				煤制烯烃	乙烯和丙烯	单位产品能耗	千克标准煤/吨	2800	3300	GB 30180
		煤制乙二醇	合成气法	单位产品综合能耗	千克标准煤/吨	1000	1350	GB 32048		

challenge and opportunity

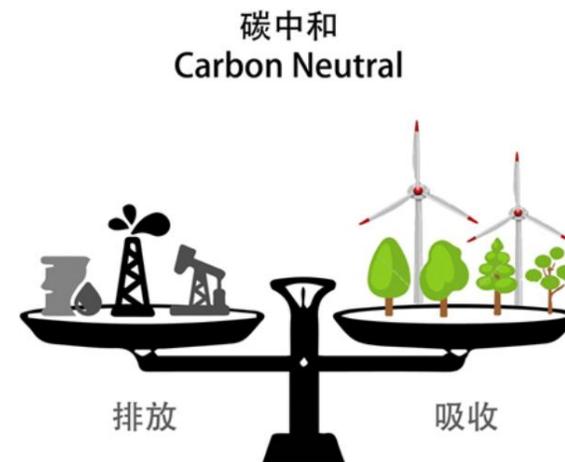
Carbon peaking and carbon neutrality goals

表 7.1 常见 VOCs 类温室气体 GWP 值

Table.7.1 GWP values for common VOCs-based greenhouse gases

序号	物质	中文名称	GWP
1	CO ₂	二氧化碳	1
2	CH ₂ ClCH ₂ Cl	1,1-二氯乙烷	1
3	CH ₂ ClCH ₂ Cl	1,2-二氯乙烷	1
4	CH ₃ Br	溴甲烷	2
5	CH ₂ Cl ₂	二氯甲烷	9
6	CH ₃ Cl	氯甲烷	12
7	CHCl ₃	氯仿	16
8	CH ₃ CCl ₃	1,1,1-三氯乙烷	160
9	CH ₃ CCl ₃	1,1,2-三氯乙烷	160
10	CCl ₄	四氯化碳	1730
11	CCl ₃ F	三氯氟甲烷	4660
12	CCl ₂ FCClF ₂	三氯三氟乙烷	5820
13	ClF ₂ CCF ₂ Cl	二氯四氟乙烷	8590
14	CCl ₂ F ₂	二氯二氟甲烷	10200

碳中和: 所有温室气体的中和



人类活动排放的CO₂，通过植树造林、节能减排等形式来抵消掉，最终实现CO₂“零排放”

生态环境法规标准

石化、化工是温室气体排放的重要行业

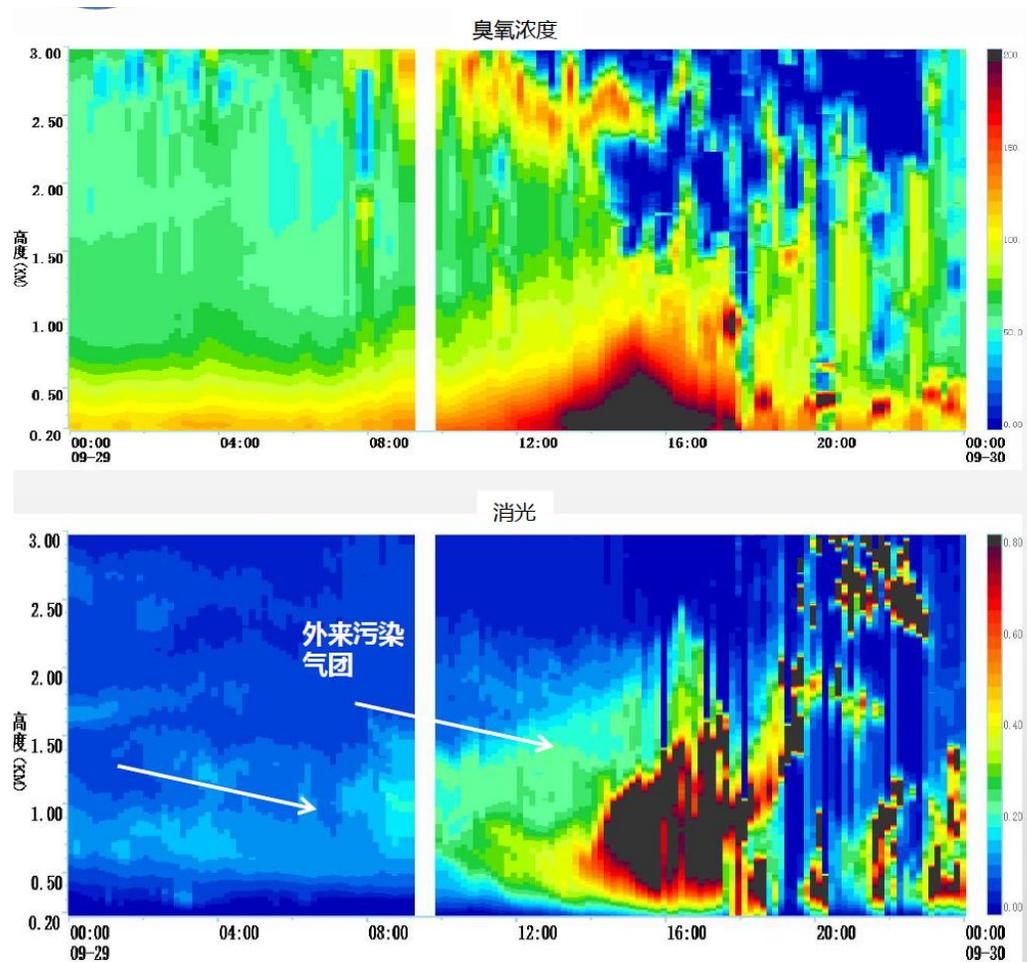
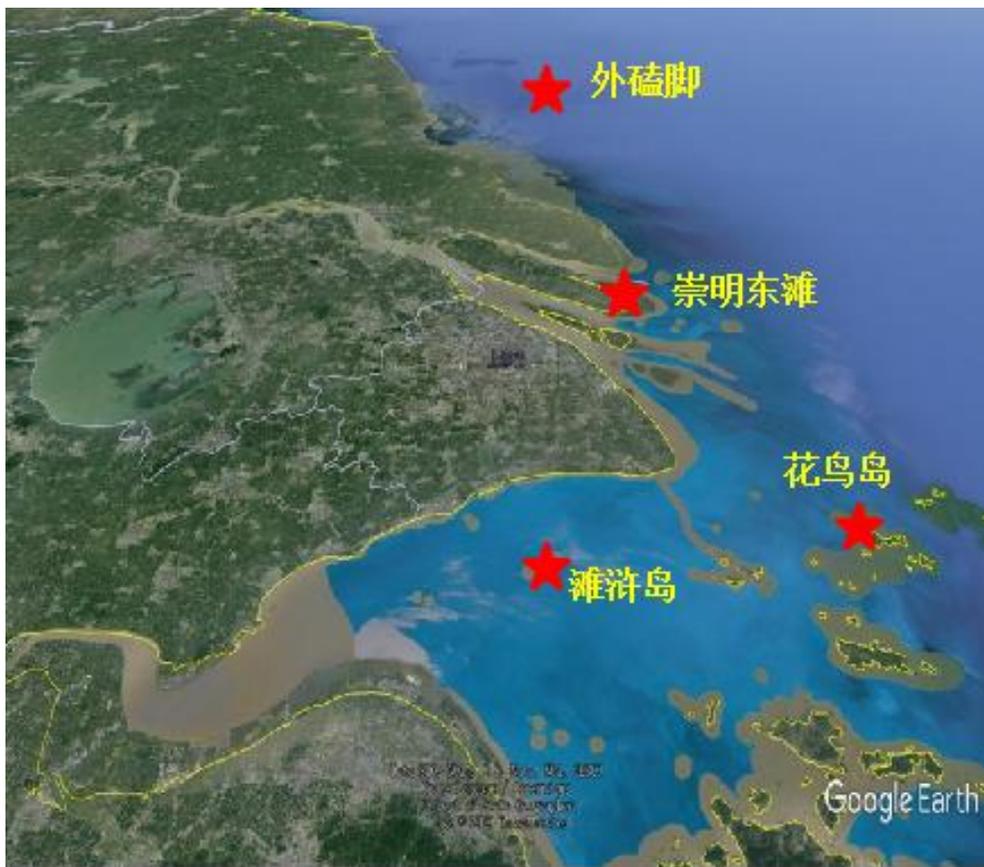
Carbon peaking and carbon neutrality goals



装置名称	二氯二氟甲烷	二氯四氟乙烷	三氯三氟乙烷	三氯氟甲烷	四氯化碳	1,1,1-三氯乙烷	1,1,2-三氯乙烷	氟仿	氟甲烷	二氯甲烷	溴甲烷	1,1-二氯乙烷	1,2-二氯乙烷
常减压装置	0.97%	0.00%	0.00%	0.97%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.87%	0.00%	0.00%	0.00%	6.35%
柴油加氢装置	0.50%	0.00%	0.00%	0.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.21%	0.00%	0.00%	0.00%	1.51%
加氢装置	0.15%	0.00%	0.00%	0.22%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.26%	0.00%	1.28%	0.00%	2.47%
中压加氢裂化装置	0.69%	0.00%	0.00%	0.76%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.83%	0.00%	0.15%	0.00%	10.68%
延迟焦化	0.32%	0.00%	0.00%	0.35%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.86%
酸性水汽提装置	0.64%	0.00%	0.00%	0.73%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.82%	0.00%	0.00%	0.00%	3.72%
催化裂化装置	0.34%	0.00%	0.00%	0.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.49%	0.00%	0.00%	0.00%	1.83%
吸附脱硫装置	1.14%	0.00%	0.00%	2.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.27%	0.00%	0.00%	0.00%	3.43%
干气脱硫装置	0.73%	0.00%	0.00%	0.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.62%	0.00%	0.00%	0.15%	9.55%
渣油加氢装置	0.00%	0.00%	0.00%	0.55%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.28%	0.00%	0.00%	0.05%	3.91%
气体分馏装置	0.48%	0.00%	0.00%	0.59%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.69%	0.00%	0.00%	0.00%	1.65%
C2回收装置	0.19%	0.00%	0.00%	0.26%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.36%	0.00%	0.00%	0.00%	1.69%
乙二醇装置	1.34%	0.00%	6.68%	2.87%	1.72%	0.00%	0.00%	0.00%	2.49%	0.00%	0.00%	0.00%	2.68%
MTBE装置	0.25%	0.00%	0.64%	0.57%	0.57%	0.00%	0.00%	0.00%	0.88%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
芳烃二甲苯精馏装置	0.06%	0.00%	0.15%	0.14%	0.16%	0.00%	0.00%	0.05%	0.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%
异构化装置	0.07%	0.00%	0.09%	0.07%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%
芳烃装置	0.24%	0.00%	0.42%	0.26%	0.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.22%
聚乙烯装置	0.03%	0.00%	0.31%	0.06%	0.06%	0.00%	0.00%	0.11%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%
硫磺回收装置	0.63%	0.00%	0.00%	0.95%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.03%	0.00%	0.00%	0.00%	6.41%
罐区1	0.16%	0.00%	0.61%	0.25%	0.43%	0.00%	0.00%	0.13%	0.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.31%
罐区2	1.31%	0.00%	3.52%	1.31%	2.13%	0.00%	0.00%	0.65%	0.82%	0.00%	0.00%	0.00%	0.98%
罐区3	0.17%	0.00%	1.03%	0.43%	0.14%	0.00%	0.00%	0.07%	0.21%	0.00%	0.00%	0.00%	0.36%
罐区4	0.79%	0.00%	8.96%	2.24%	1.71%	0.00%	0.00%	0.79%	1.58%	0.00%	0.00%	0.00%	4.08%
罐区5	0.24%	0.00%	2.67%	0.64%	0.58%	0.00%	0.00%	0.24%	0.30%	0.00%	0.00%	0.00%	1.09%
废碱液处理装置	3.04%	0.00%	0.00%	2.91%	1.90%	0.00%	0.00%	0.89%	1.77%	1.52%	0.00%	0.00%	4.56%
含油污水处理装置	0.22%	0.00%	0.00%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%

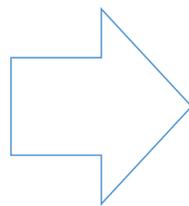
估算：设备泄漏带来的非 CO2 温室气体排放量占石化行业温室气体排放总量的 9.9%

Monitoring network around Hangzhou Bay Area



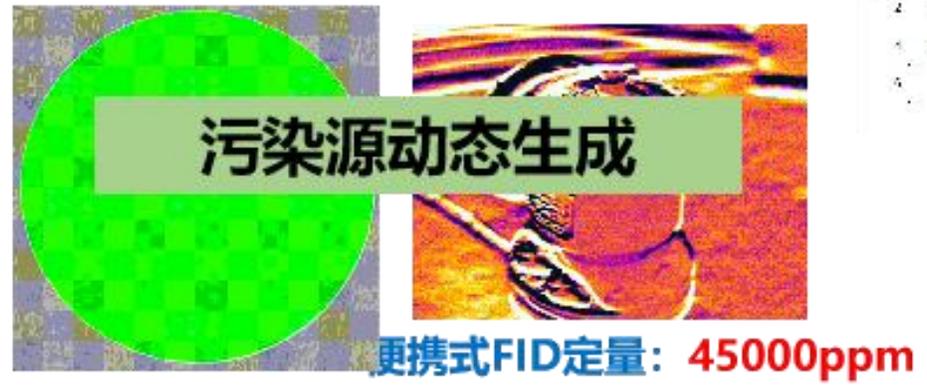
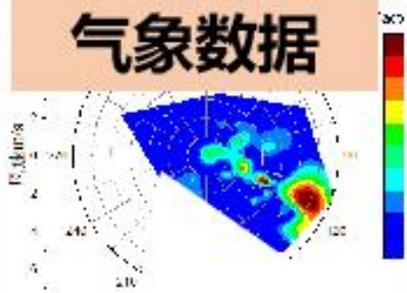
构建立体观测网络，实现精准溯源追踪

Monitoring network around Hangzhou Bay Area



低碳技术环保化

Develop New Method for Source tracing



PMF源解析

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{x_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj}}{u_{ij}} \right)^2$$

数值模拟 + 统计溯源 + 智能辨识

HYPLIST轨迹反演

源定位的快速筛查

Y.Huang, G.Xiu, submitted

构建立体观测网络，实现精准溯源追踪

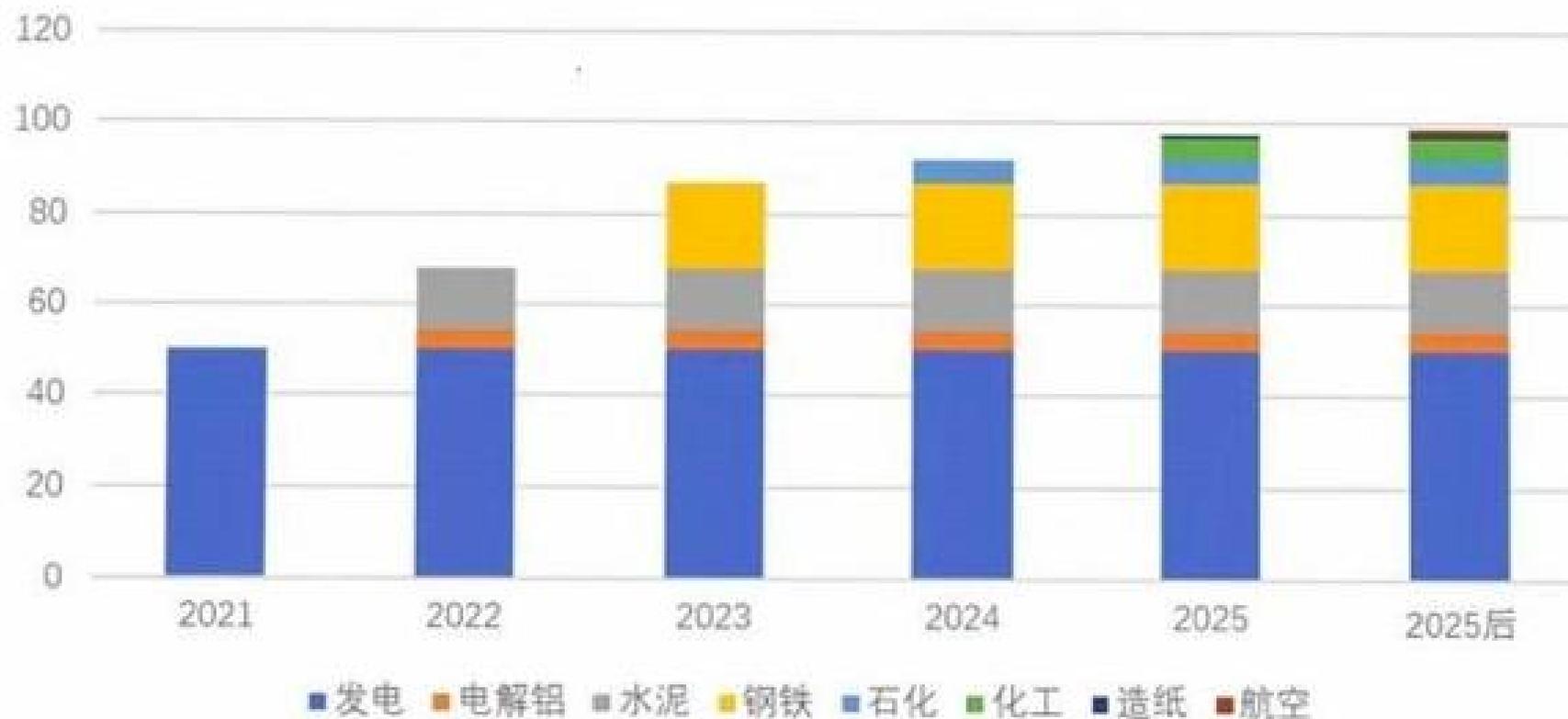
Integrating emission standard and technical specifications

序号	标准名称	标准号	标准性质
1	制药工业大气污染物排放标准	DB31/310005-2021,DB32/4042-2021 DB33/310005-2021,DB34/310005-2021	强制性
2	挥发性有机物泄漏检测与修复实施技术规范	DB31/T 310007-2021,DB32/T 310007-2021 DB33/T 310007-2021,DB34/T 310007-2021	推荐性
3	大气超级站质控质保体系技术规范	DB31/T 310006-2021,DB32/T 310006-2021 DB33/T 310006-2021,DB34/T 310006-2021	推荐性

序号	标准名称	标准号	标准性质
1	环境空气质量预报技术规范	DB31/T 310004-2021,DB32/T 310004-2021 DB33/T 310004-2021	推荐性
2	固定污染源废气现场监测技术规范	DB31/T 310003-2021,DB32/T 310003-2021 DB33/T 310003-2021	推荐性
3	挥发性有机物走航监测技术规范	DB31/T 310003-2021,DB32/T 310003-2021 DB33/T 310003-2021	推荐性

长三角一体化协同超低排放，提升区域环境质量

Prepare for the carbon trading system



建立典型化工装置的减污降碳协同增效的“基准线”和绩效评价体系是基础

敬请各位专家、同仁批评指正



tianyuezhubao

