



# 上海市港口污染特征及治理措施

报告人：沈寅

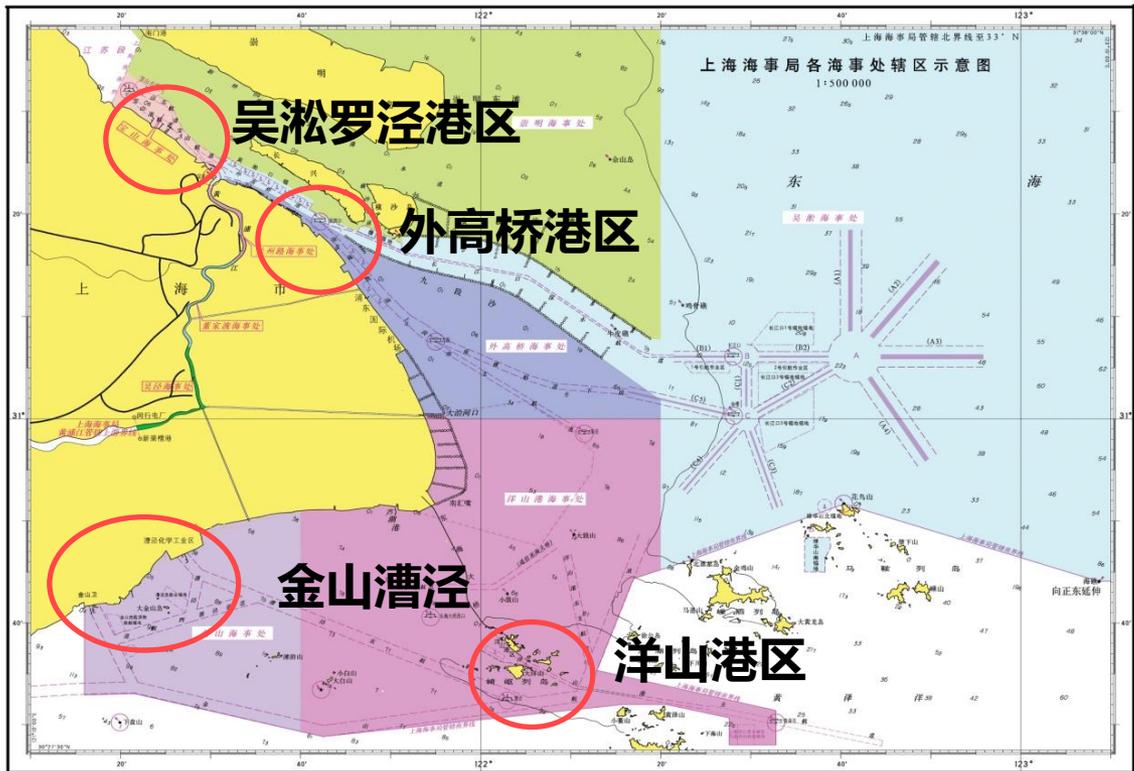
上海市环境监测中心

# 主要内容——污染特征

1. 上海港船舶活动水平
2. 上海港船舶大气污染物排放清单
3. 船舶排放对上海市环境空气质量的影响

# 上海港船舶活动水平

## 港区产业结构

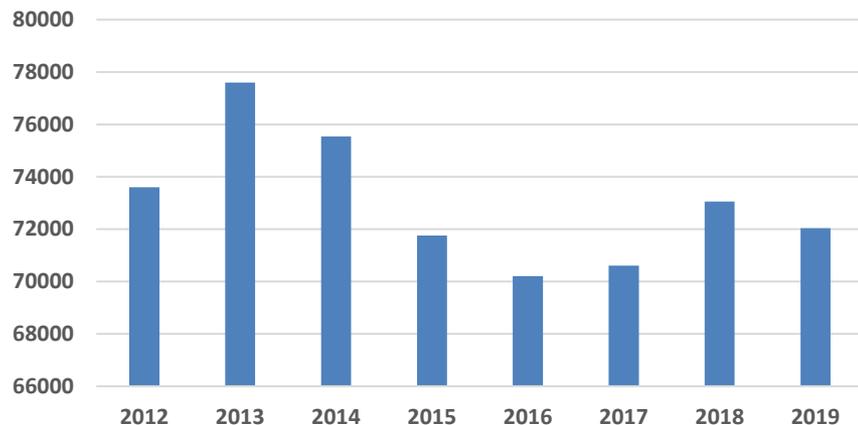


# 港口吞吐量

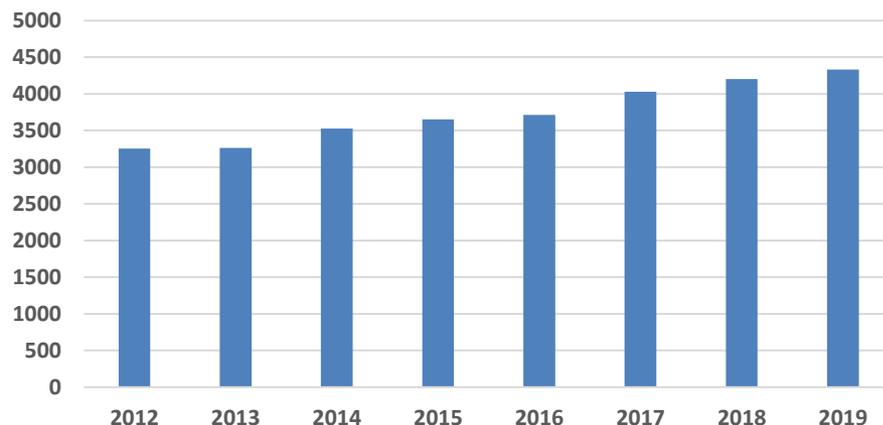
## □ 上海港目前已蝉联全球第一大集装箱港

- 2019年上海港货物吞吐量达**7.2亿吨**，位居世界第二，集装箱吞吐量达**4330万TEU**，连续三年超过4000万TEU，蝉联**世界第一**。

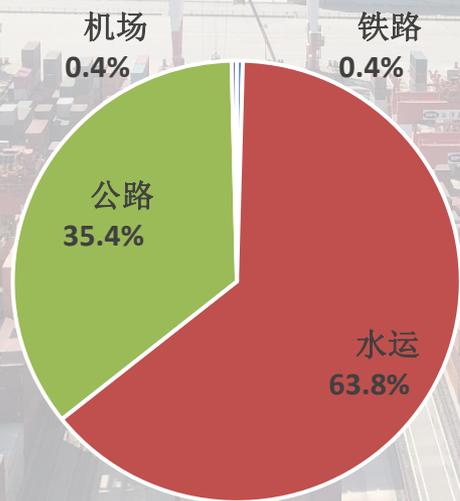
货物吞吐量（万吨）



集装箱吞吐量（万TEU）

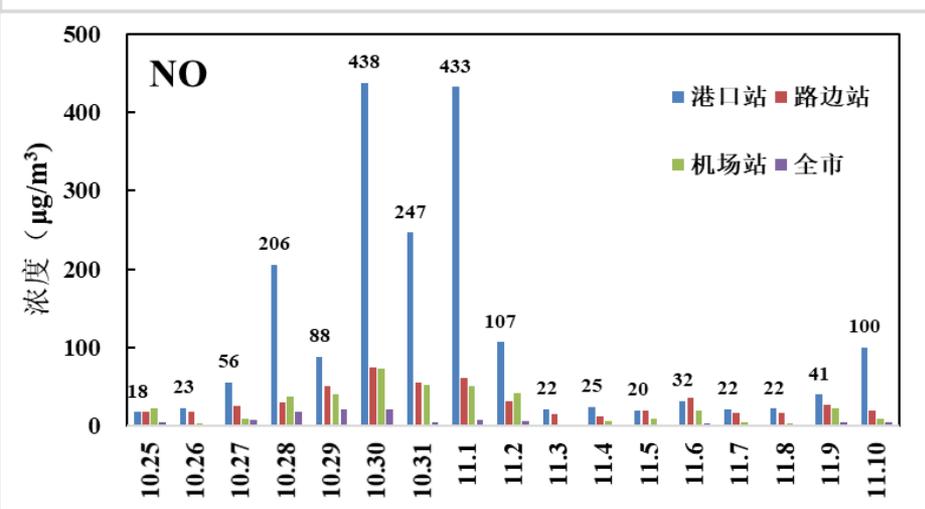
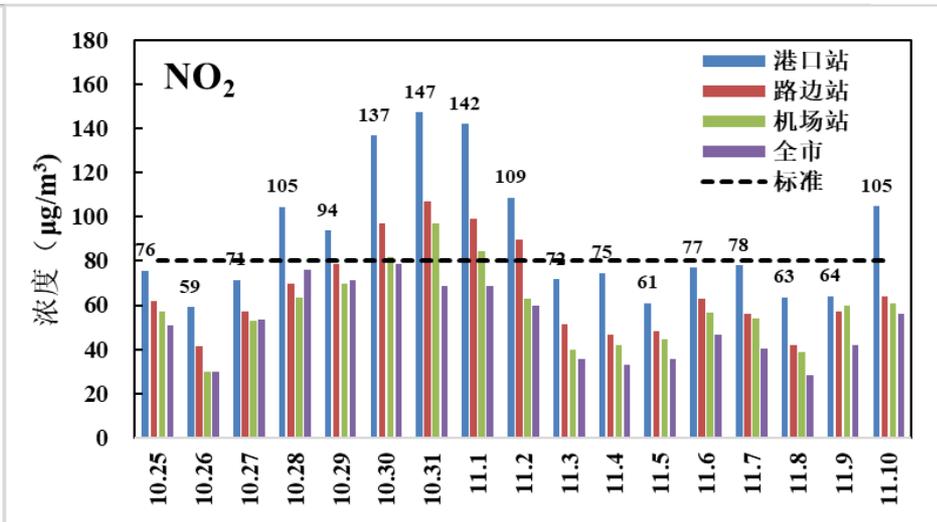
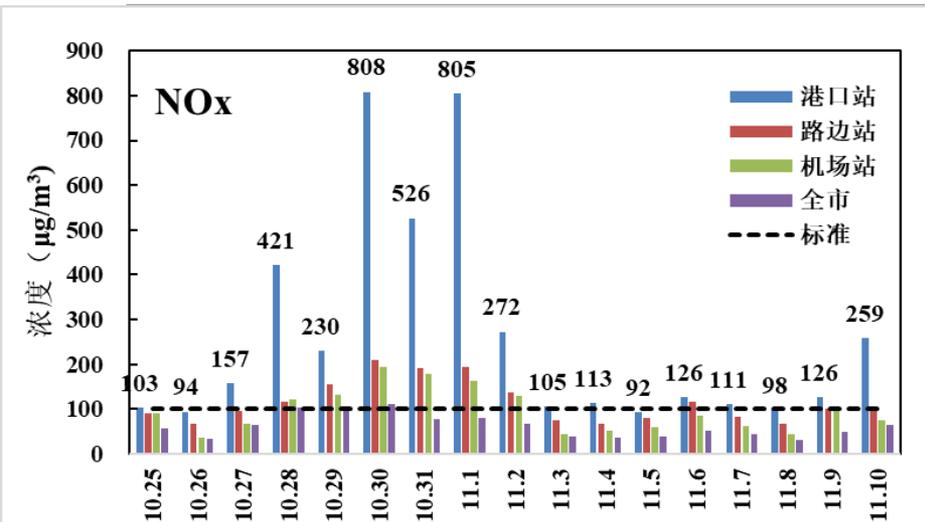


# 上海港船舶活动水平



指标名称	2019年	比2018年增长(%)
货物运输总量(万吨)	109608.51	2.1
铁路	471.79	0.7
水运	69980.95	4.6
公路	38750.00	-2.1
机场	405.78	-2.8
旅客发送量(万人次)	22237.84	3.4
铁路	12833.85	4.6
港口	115.04	-27.2
公路	3168.10	0.5
机场	6120.85	3.4
港口货物吞吐量(万吨)	72031.32	-1.4
进港量	41500.25	-1.1
出港量	30531.07	-1.8
国际标准集装箱吞吐量(万TEU)	4330.26	3.1
进港量	2149.13	4.1
出港量	2181.13	2.1
机场旅客吞吐量(万人次)	12179.14	3.5

# 外高桥NO<sub>2</sub>问题突出



- 黑色虚线为日均值标准限值；
- 10.25-11.10期间，交通站NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>在污染期间显著升高，港口站NO浓度超出其他站显著；
- 进博会期间，在管控措施下，NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>下降十分显著，11.10浓度又显著回升。

# 主要内容

1. 上海港船舶活动水平
2. 上海港船舶大气污染物排放清单
3. 船舶排放对上海市环境空气质量的影响

# 上海港船舶大气污染物排放研究历程

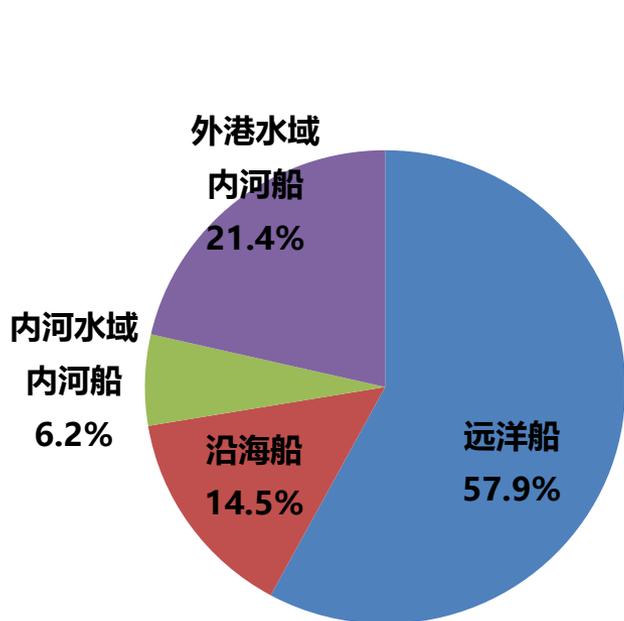
2003：建立基于燃油法的船舶大气污染物排放清单

2011：研究建立基于船舶签证数的动力法船舶大气污染物排放清单

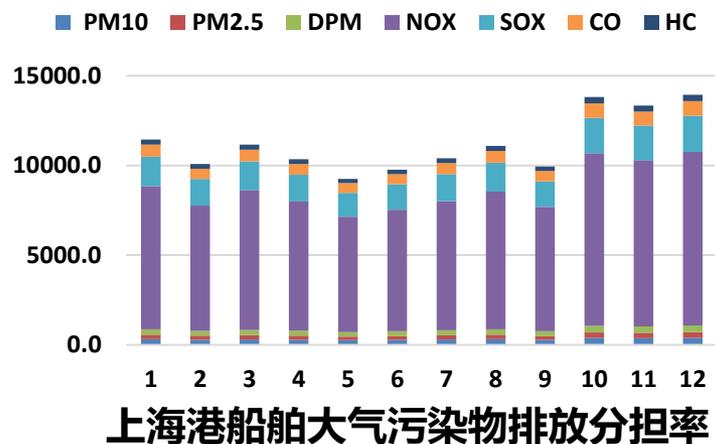
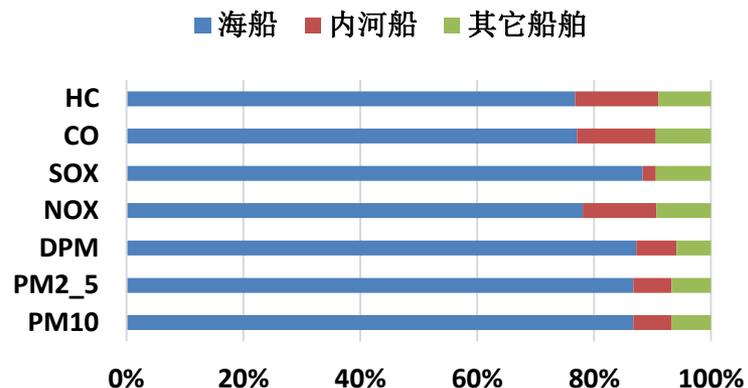
2013：开展典型船舶大气污染物排放实测

2016、2017：研究建立基于AIS信息的动力法船舶大气污染物排放清单，开展海船排放测试

# 基于船舶进出港数量的排放清单



进出港船舶总吨分布（2015）

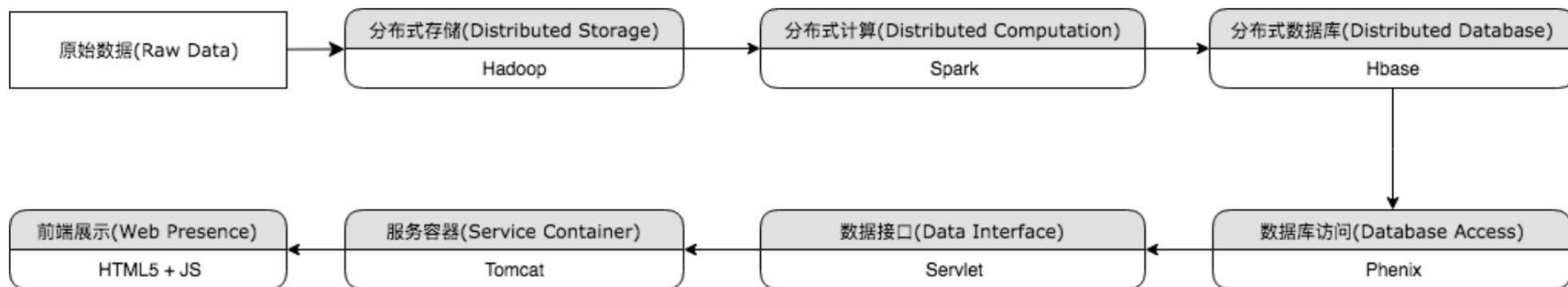


上海港船舶大气污染物排放分担率

# 基于AIS的船舶排放清单计算模型

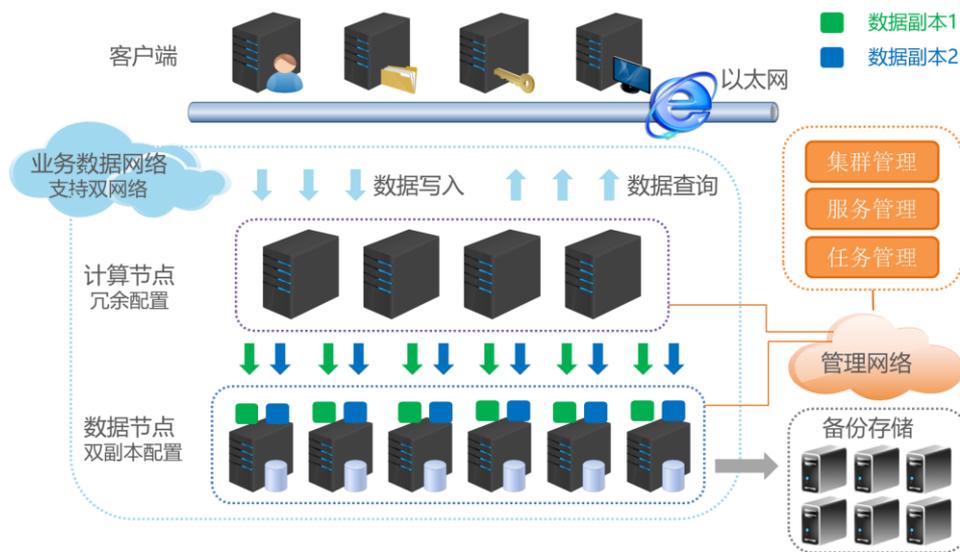
## □ 技术路线

**Hadoop + Hbase + Spark + Phenix + Servlet  
+ Tomcat + HTML + JS**



# 基于AIS的船舶排放清单计算模型

## 基于大数据的AIS船舶清单技术路线



- 大数据并行数据库
- 3个计算节点
- 3个存储结点

## 性能提高

### ❖ 数据分析



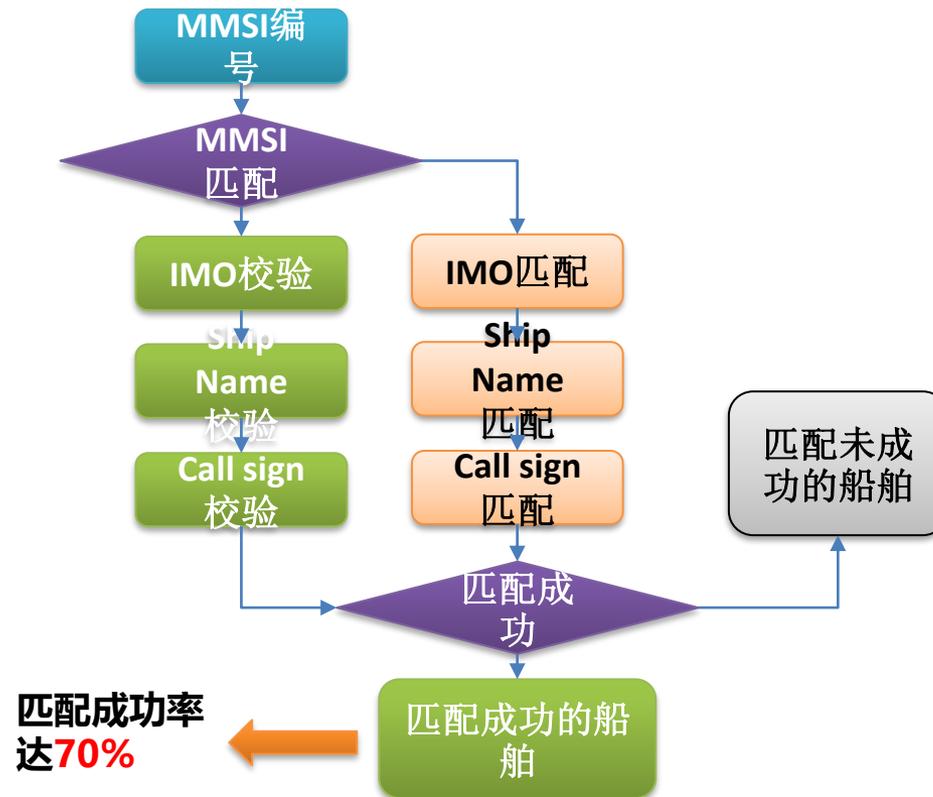
### ❖ 数据查询





# 基于AIS的船舶排放清单计算模型

## ➤ 船舶匹配流程



# 基于AIS的船舶排放清单计算模型

## ➤ 数据库结构(Database Structure)

AIS信息(AIS_INFO)
中文船名(SHIP_CNAME)
英文船名(SHIP_NAME)
呼号(SHIP_CALLID)
IMOID
国籍(NATIONALITY)
海船/内河船(SHIP_TYPE1)
船舶种类(SHIP_TYPE2)
船舶总长(SHIP_LENGTH)
船舶型宽(SHIP_WIDTH)
船舶深度(SHIP_DEEP)
总吨位(GROSS_TONNAGE)
净吨位(NET_TONNAGE)
参考载重吨位(LOAD_TON)
建造年份(MADE_YEAR)
主机种类(PRINCIPAL_TYPE)
主机总功率(HOST_POWER)
夏季满载吃重(DEEP_DRAFT_SUMMER)
船速(SHIP_SPEED)
MMSI

船舶信息(SHIP_INFO)
MMSI
MSGID
IMOID
呼号(SHIP_CALLID)
名称(SHIP_NAME)
船舶类型(SHIP_TYPE)
长度(SHIP_LENGTH)
型宽(SHIP_WIDTH)
定位类型(SHIP_DIMENSION)
估计达到时间(ARRIVE_TIME)
最大吃水(DRAFT_VAL)
目的地(DEST_NAME)

船舶排放信息(EMISSION_INFO)
MMSI
数据时间(OBSERVER_TIME)
MSGID
航行状态(NAV_STATUS)
航速(SOG)
经度(LON)
纬度(LAT)
航向(HEADING)
PM10排放量(PM10)
PM25排放量(PM25)
DPM排放量(DPM)
NOX排放量(NOX)
SOX排放量(SOX)
CO排放量(CO)
HC排放量(HC)
CO2排放量(CO2)
N2O排放量(N2O)
CH4排放量(CH4)
工作状态(WORK_STATUS)
时间间隔(INTERVAL)
船舶类型(SHIP_TYPE)

# 系统构建

**AIS船舶污染物排放大数据平台**

**单条船舶**

- MSC TORONTO
- CAP SAN VINCENT
- NORDOCELOT
- ANANGEL PROSPERITY
- TURBOCEM

航行开始时间: 2015-12-01 00:00:00  
航行结束时间: 2015-12-10 24:00:00

**多条船舶**

航行时间: 2015-12-01 20:20:40

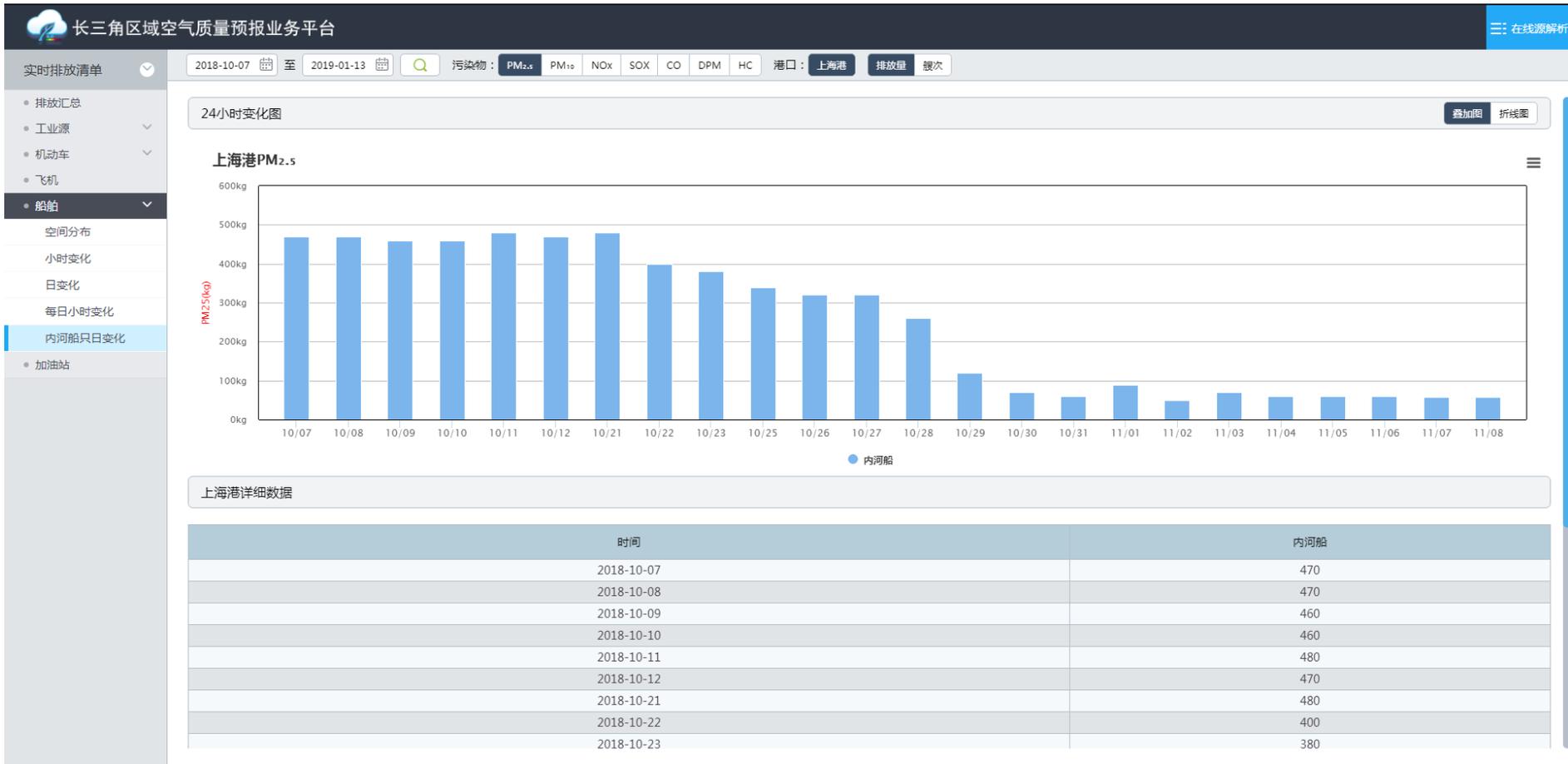
**航行轨迹**

- MSC TORONTO
- CAP SAN VINCENT
- PINE 3
- ENDURANCE SW
- HO XIN

**船舶信息:**

- 船名: MSC TORONTO
- 船舶呼号: DFDF2
- IMO编号: 9299525
- 船舶种类: 72
- 船舶长度: 0
- 船舶宽度: 0
- 总吨: 89954
- 吃水能力: 131
- 主机功率: 68647
- 目的地: NINGBO
- 最大速度: 30

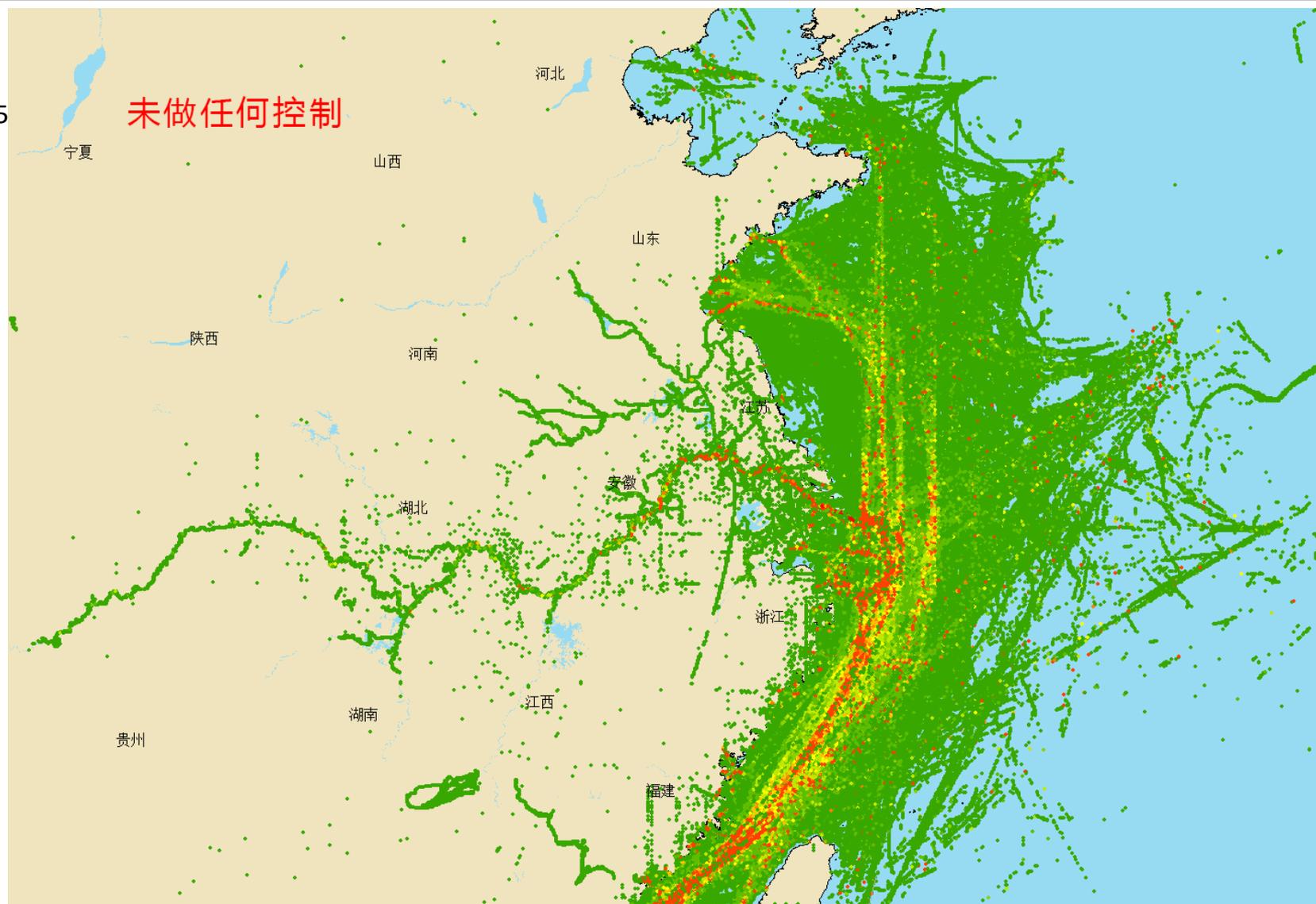
# 业务化应用



# 船舶排放控制区措施效果评估

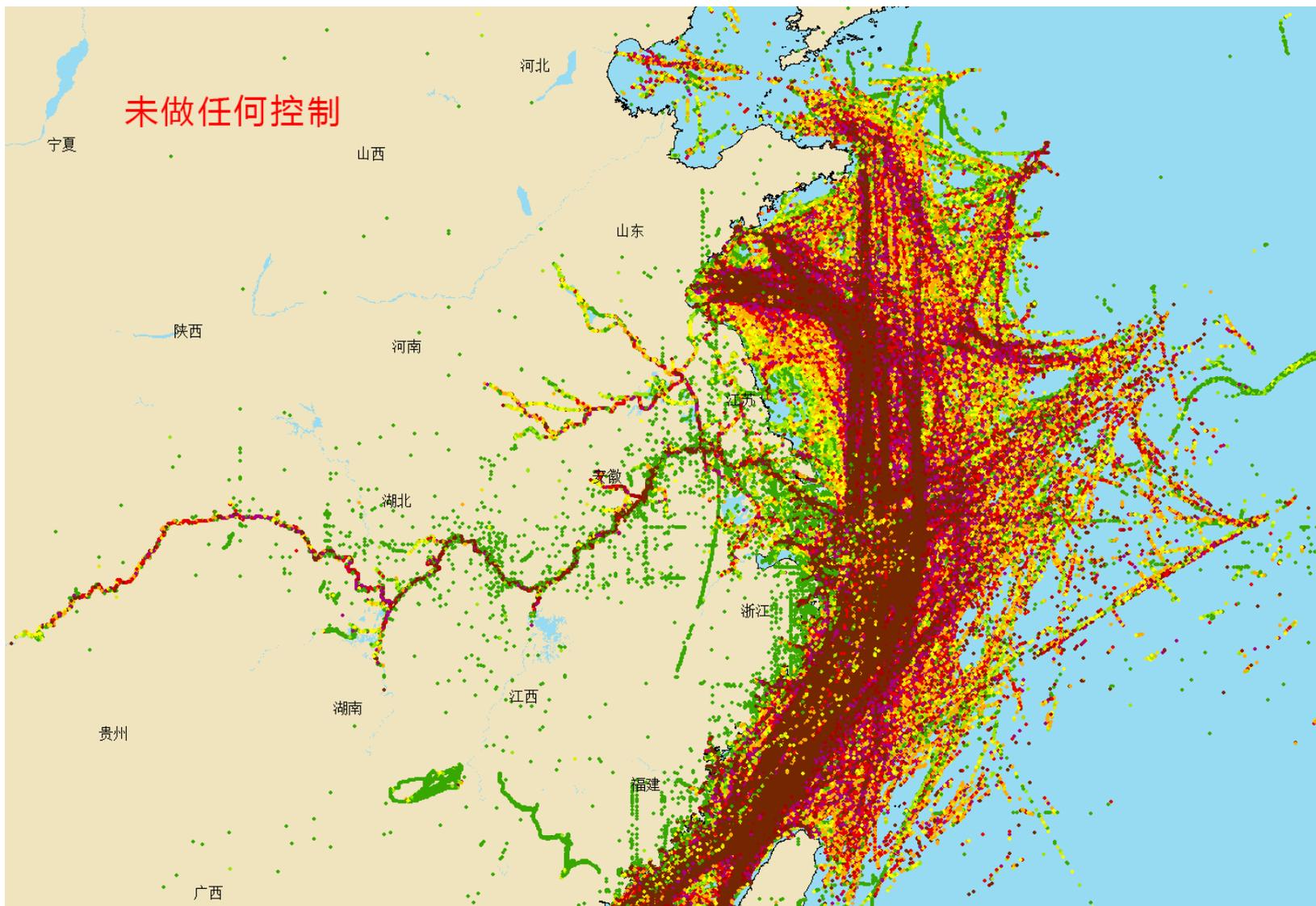
PM<sub>2.5</sub>

未做任何控制



# 船舶排放控制区措施效果评估

SO<sub>x</sub>



# 船舶排放控制区措施效果评估

控制措施	PM <sub>2.5</sub>	SOx	NOx
靠港船舶使用硫含量≤0.5% m/m的燃油	7.4%	11.8%	1.2%
靠港船舶使用硫含量≤0.1% m/m的燃油	11.7%	26.4%	1.2%
进入排放控制区船舶使用硫含量≤0.5% m/m燃油	45.6%	44.0%	3.2%
进入排放控制区船舶使用硫含量≤0.5% m/m的燃油, 靠港船舶使用硫含量≤0.1% m/m的燃油	48.7%	56.7%	3.2%
进入排放控制区船舶使用硫含量≤0.1% m/m的燃油	65.7%	93.0%	3.2%

# 主要内容

1. 上海港船舶活动水平
2. 上海港船舶大气污染物排放清单
3. 船舶排放对上海市环境空气质量的影响

# 船舶排放对上海空气质量的影响

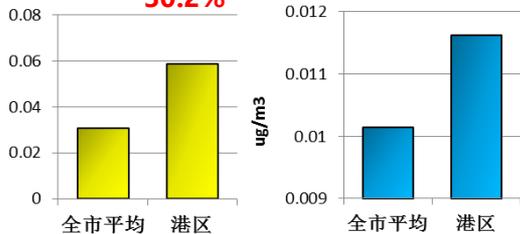
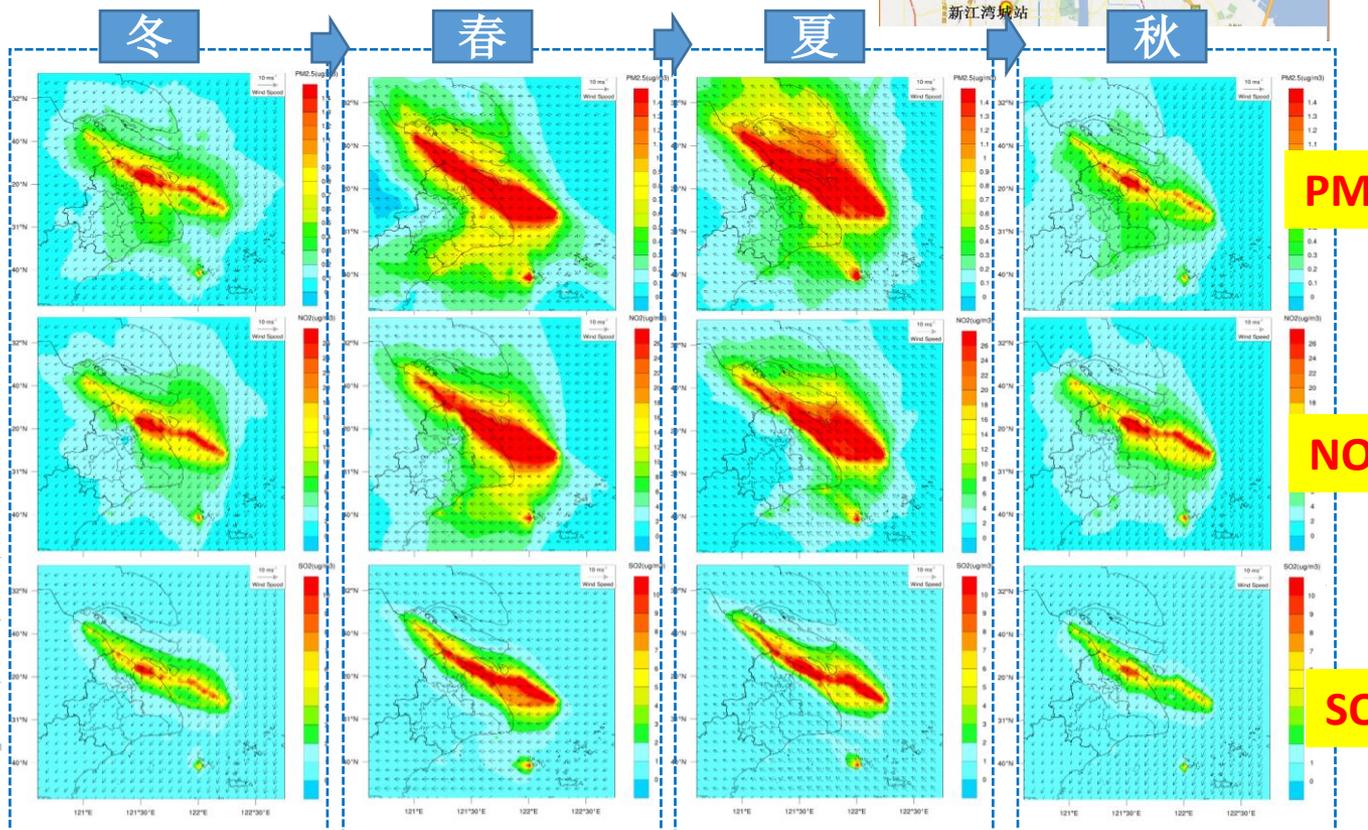


## 实际观测:

- ✓  $\text{NO}_x$  较上海平均高~56%;  $\text{SO}_2$  较上海平均高~40%——受港区自身排放影响较强;
- ✓  $\text{PM}_{2.5}$  较上海平均低~30%——受外源输入影响较强。

## 模拟结果:

- ✓ 春季船舶长三角船舶排放对上海市空气质量影响最大, 对于国控点影响可达;
- ✓  $\text{PM}_{2.5}$ : 4.4%~10.3%, 平均 **6.5%**
- ✓  $\text{SO}_2$ : 19.5%~47%, 平均 **29.2%**
- ✓  $\text{NO}_2$ : 14.5%~62.4%, 平均 **30.2%**

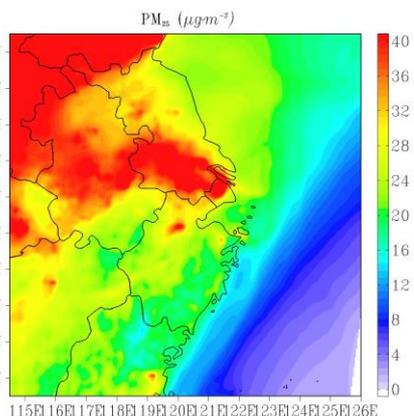


# 排放控制区实施效果模拟

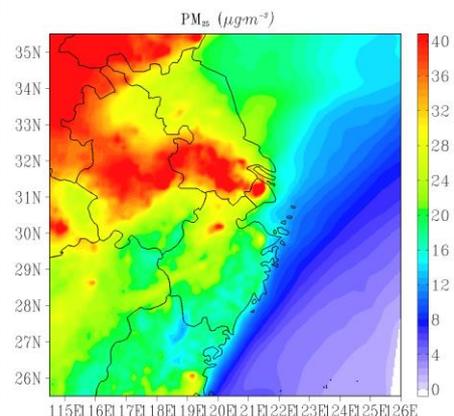
分析夏季不同船舶排放控制区措施对长三角空气质量的影响

## PM<sub>2.5</sub> 影响

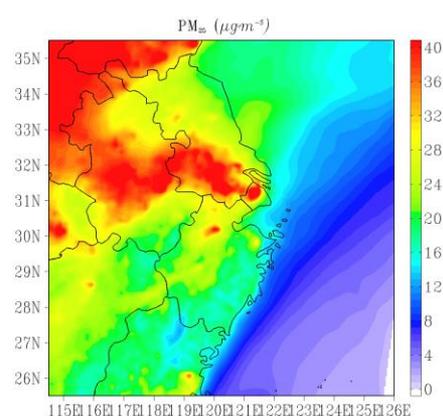
基准情况 (2015)



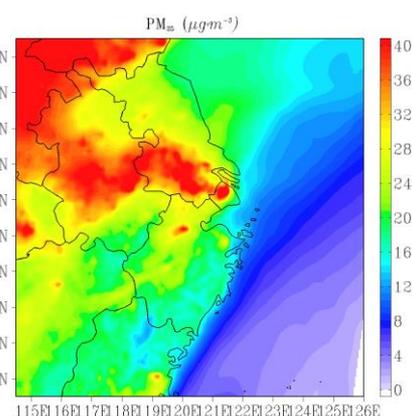
进入长三角排放控制区  
使用 S% $\leq$ 0.5% $\cdot$ m/m 燃油



进入长三角排放控制区使用 S% $\leq$ 0.5% $\cdot$ m/m 燃油,  
且靠港时使用 S% $\leq$ 0.1% $\cdot$ m/m 燃油



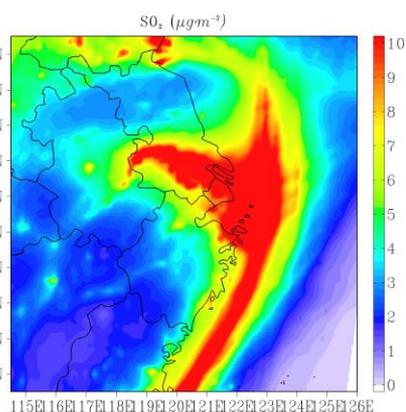
进入长三角排放控制区使用  
S% $\leq$ 0.1% $\cdot$ m/m 燃油



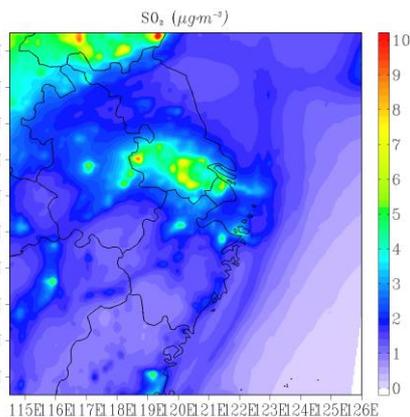
# 排放控制区实施效果模拟

## SO<sub>2</sub> 影响

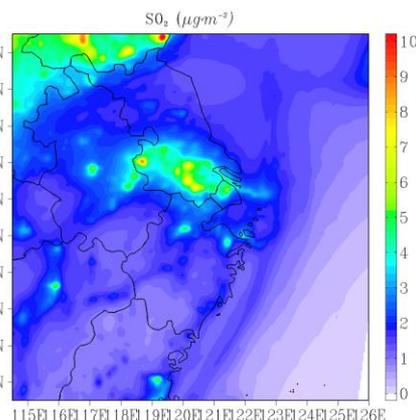
基准情况 (2015)



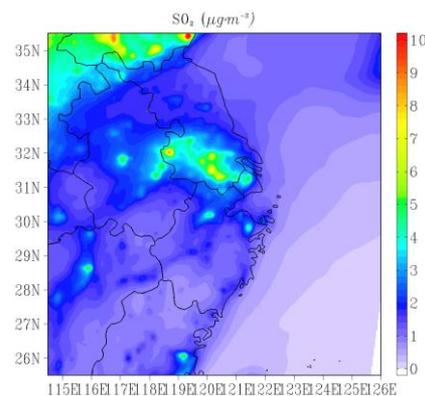
进入长三角排放控制区使用 S% $\leq$ 0.5% $\cdot$ m/m 燃油



进入长三角排放控制区使用 S% $\leq$ 0.5% $\cdot$ m/m 燃油, 且靠港时使用 S% $\leq$ 0.1% $\cdot$ m/m 燃油



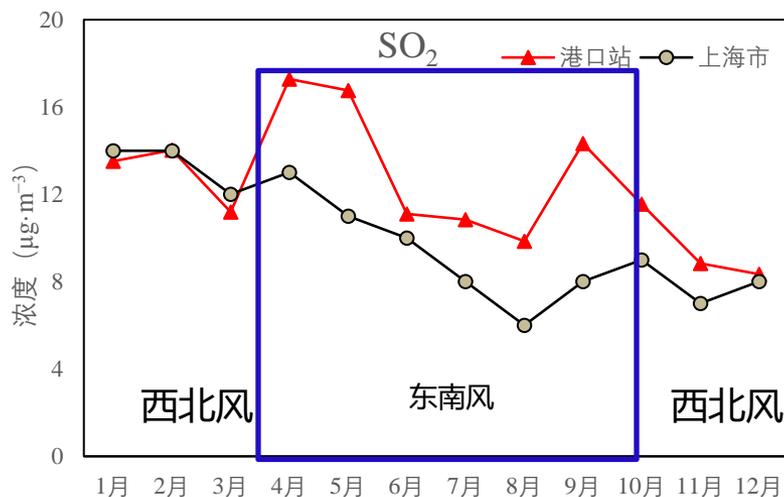
进入长三角排放控制区使用 S% $\leq$ 0.1% $\cdot$ m/m 燃油



# 排放控制区实施效果

□ 除NO<sub>x</sub>问题外，港口站2018年SO<sub>2</sub>为12 μg/m<sup>3</sup>，高出上海市平均浓度20%

□ 二阶段措施实施后：2018年10月份以来港口站SO<sub>2</sub>浓度持续下降，12月与上海市平均浓度已经基本持平，仅为8 μg/m<sup>3</sup>



## 一阶段低排放控制区红利

- 措施前2015年7月~2016年6月上海市SO<sub>2</sub>平均浓度为16μg/m<sup>3</sup>，措施后2016年7月~2018年6月SO<sub>2</sub>平均浓度为12μg/m<sup>3</sup>，下降25%
- 以靠近吴淞港的宝山环保局站为例，措施前2015年7月~2016年6月SO<sub>2</sub>平均浓度为20μg/m<sup>3</sup>，措施后2016年7月~2018年6月SO<sub>2</sub>平均浓度为13μg/m<sup>3</sup>，下降35%
- 宝山环保局较全市二氧化硫的增量也由措施前的4μg/m<sup>3</sup>下降到1μg/m<sup>3</sup>

# 主要内容——治理措施

1. 来源分析
2. 快速监测技术开发
3. 对于未来问题的思考

# 全市环境监测网络

- 2013-2015年期间，建成了5个路边站和1个虹桥机场站
- 2017年底，外高桥港区的2个空气监测站资产由市交通委划拨至市环保局，初步构成涵盖本市道路、港口、机场的交通监测网



序号	点位名称	站点位置	站点类型
1	漕溪路 路边监测站	漕溪路 (近田林东路)	路边空气监测站
2	延安西路 路边监测站	延安西路(近华山路)	
3	共和新路 路边监测站	共和新路广中西路	
4	东方路 路边监测站	东方路 (近蓝村路)	
5	虹桥机场 监测站	虹桥机场气象站内	机场空气监测站
6	外高桥港区 外二站	外高桥港区 二号码头	港口空气监测站
7	外高桥港区 外四站	外高桥港区 四号码头	

# 全市交通站



共和新路路边站



延安西路路边站



漕溪路路边站



东方路路边站



虹桥机场站



外高桥港区站

# 外高桥港区监测站

外二站

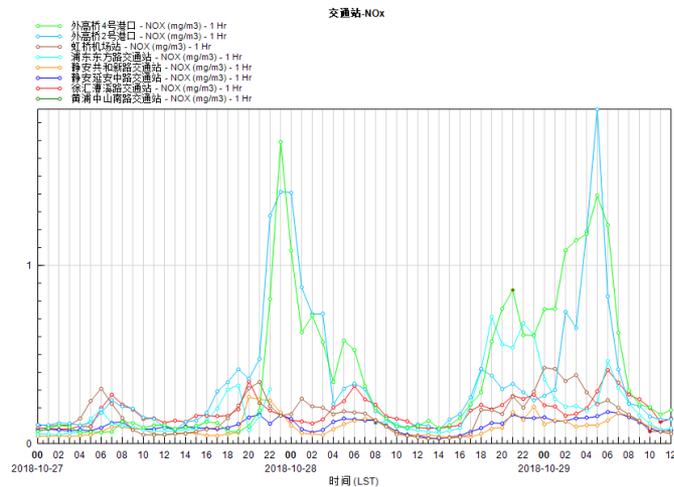
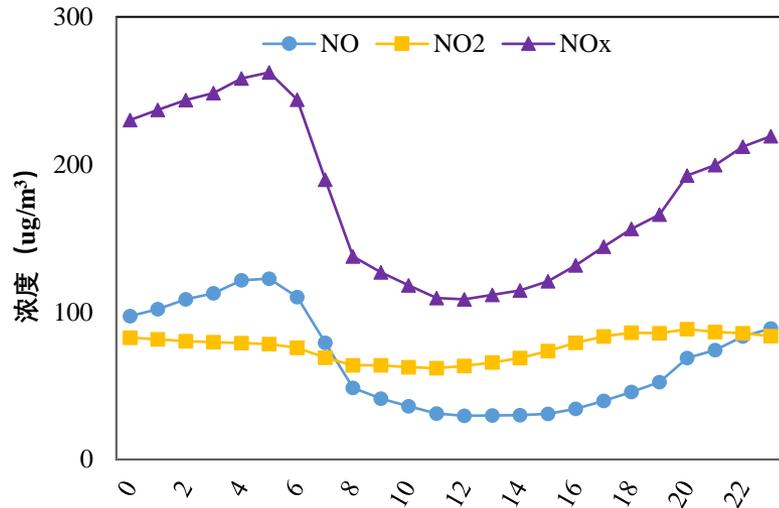


外四站



# 港区NO浓度的特征

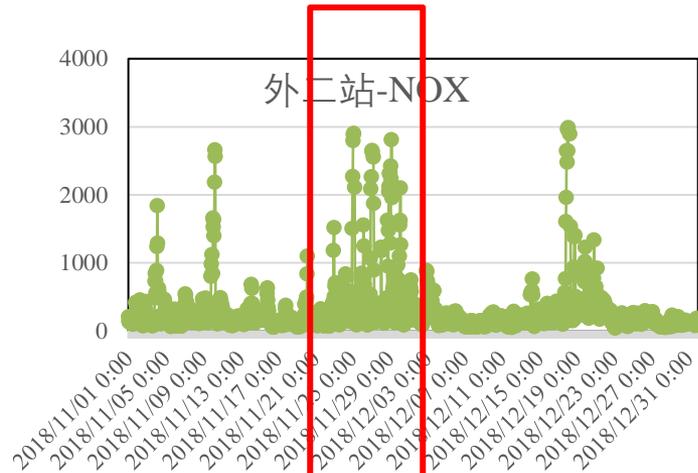
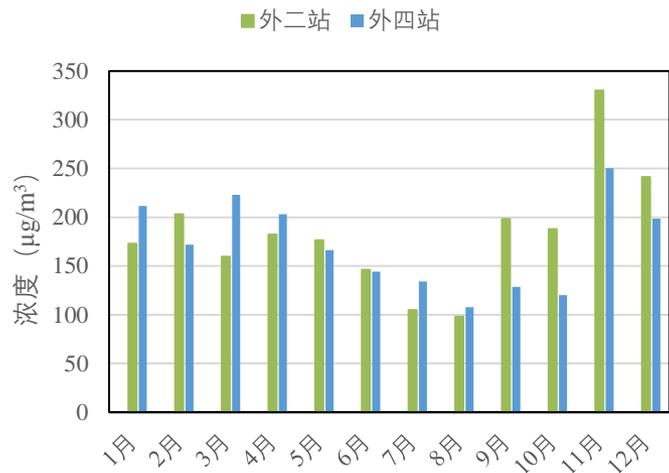
- NO和NO<sub>x</sub>夜间高浓度情况突出，夜间高于昼间，18:00后出现浓度上升过程，分别在5:00和6:00出现峰值，峰值浓度为123和262  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 7点和8点迅速回落，与典型上下班交通高峰排放影响趋势无关



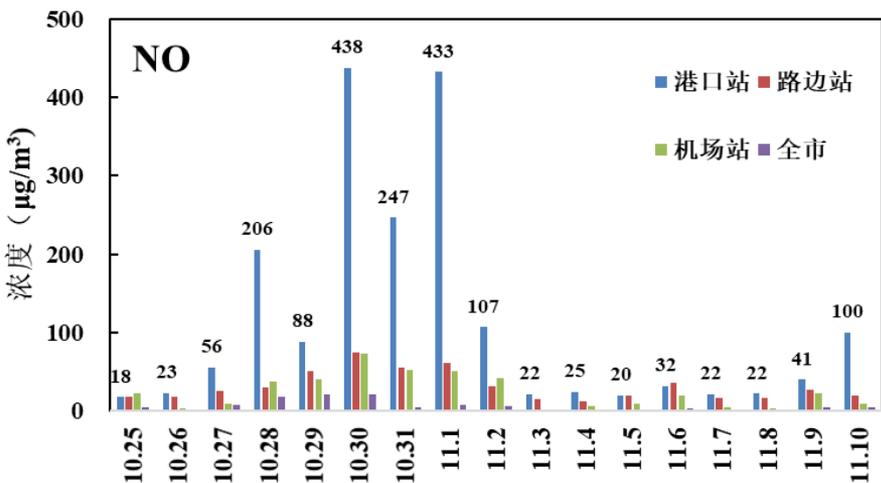
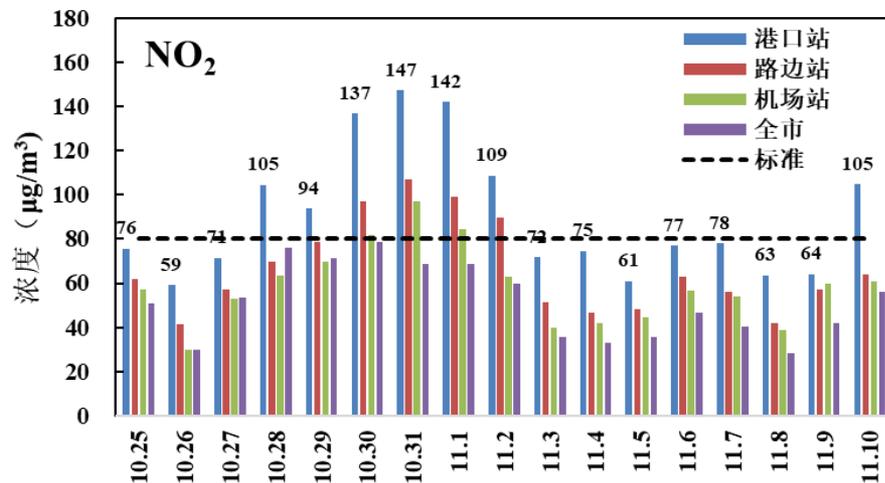
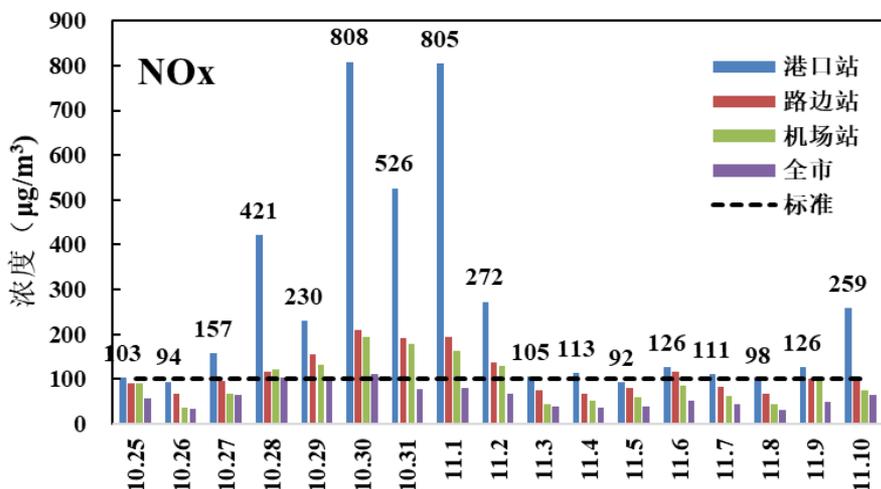
# 11-12月外二站高浓度NO<sub>x</sub>

□外二站NO<sub>x</sub>在11-12月呈现较高浓度，在11月达到全年最大月均值

□11月外二站NO<sub>x</sub>小时浓度超高浓度情况突出，最大值约为3000 μg/m<sup>3</sup>



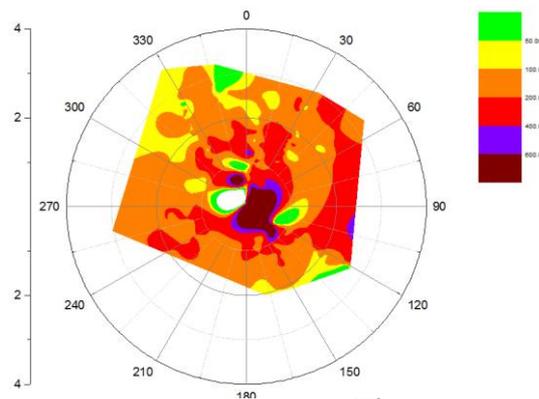
# 11-12月外二站高浓度NOx



- 黑色虚线为日均值标准限值；
- 10.25-11.10期间，交通站NO-NO<sub>2</sub>-NOx在污染期间显著升高，港口站NO浓度超出其他站显著；
- 进博会期间，在管控措施下，NO-NO<sub>2</sub>-NOx下降十分显著，11.10浓度又显著回升。

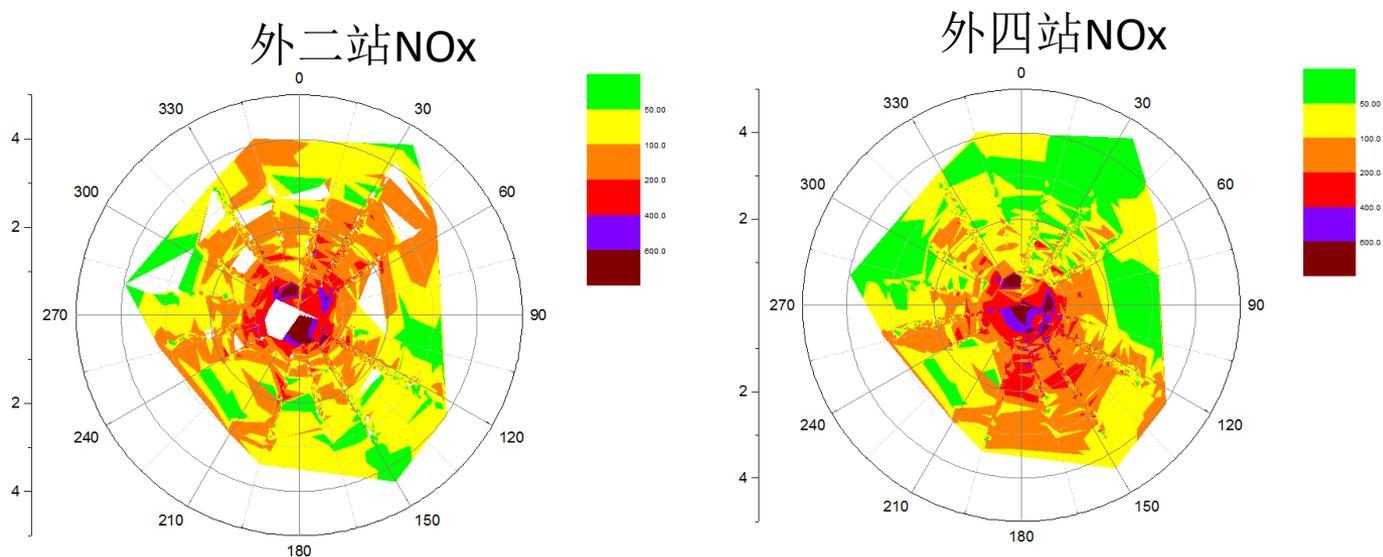
# 11-12月外二站高NO<sub>x</sub>主要受货车影响

□ NO<sub>x</sub>高浓度主要出现在静稳或小风偏南，凸显周边局地源的排放影响，初步判断要受南侧近距离道路上货车（夜间进港送货，拥堵严重）排放影响



# 全年NO<sub>x</sub>高浓度出现在静稳条件下

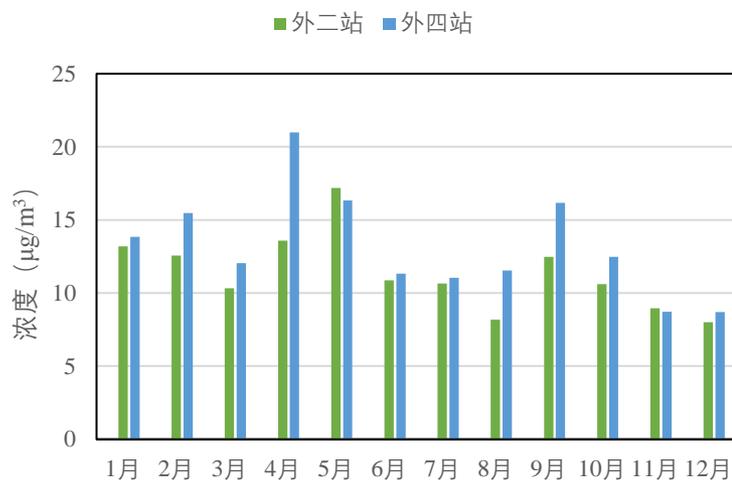
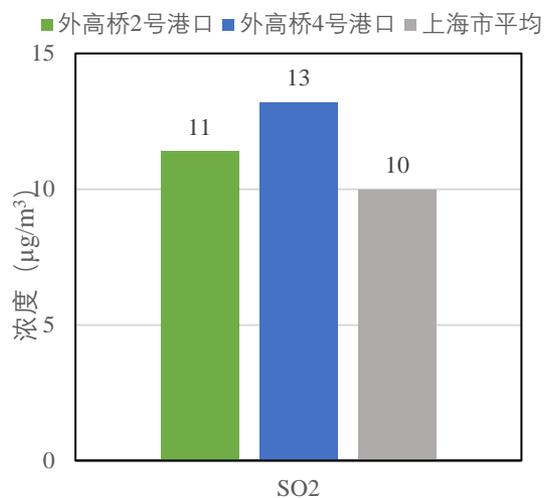
口外二站与外四站全年NO<sub>x</sub>高浓度均出现在静稳条件下，反映2个站均**主要受集卡货车排放影响**；



# 外四站SO<sub>2</sub>高于外二站

□外四站SO<sub>2</sub>高于外二站，与外四站靠近码头有关，受船舶排放SO<sub>2</sub>影响更大

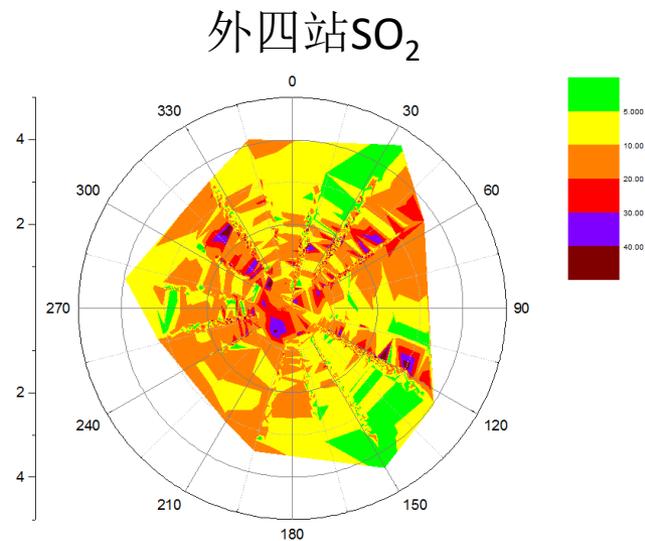
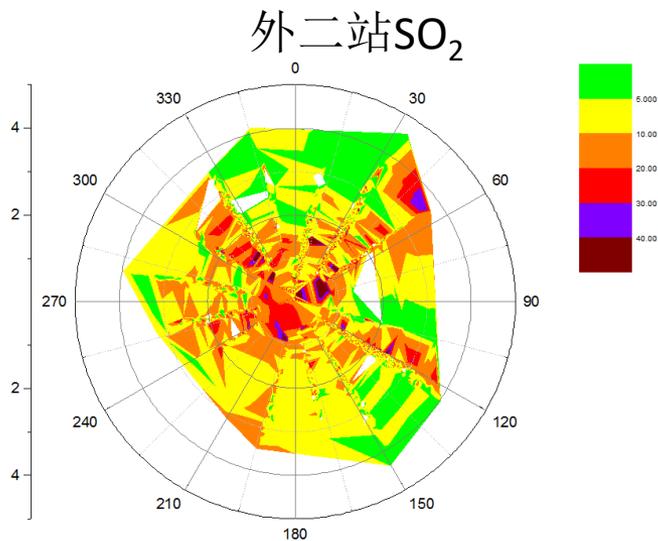
□SO<sub>2</sub>高浓度时间与NO<sub>x</sub>不一致，反映SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>来自不同源



# 港口站SO<sub>2</sub>受船舶排放影响

口外二站SO<sub>2</sub>高浓度主要出现在偏东风或静稳条件下，反映受码头船舶排放影响

口外四站靠近码头，SO<sub>2</sub>高浓度在偏东、偏北和静稳条件下均有出现，反映受码头船舶排放影响



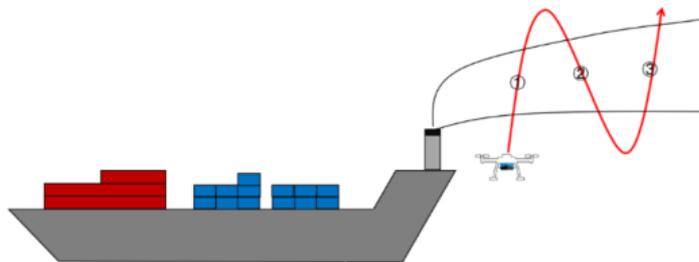
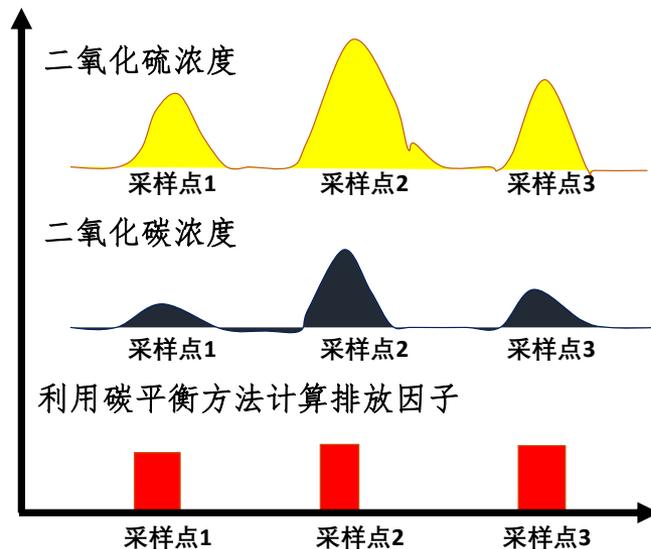
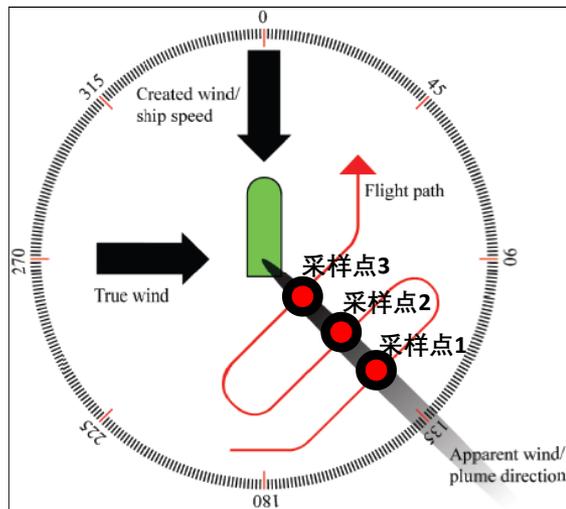
# 主要内容——污染治理

1. 来源分析

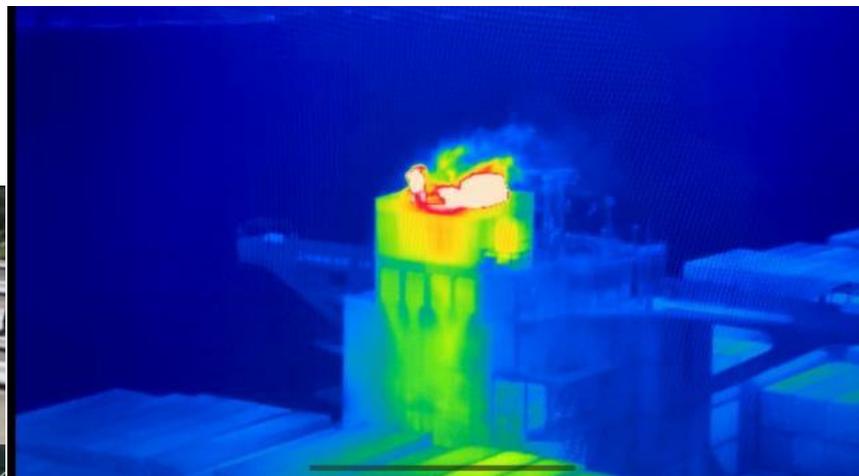
2. 快速监测技术开发

3. 对于未来问题的思考

# 船舶尾气无人机监测

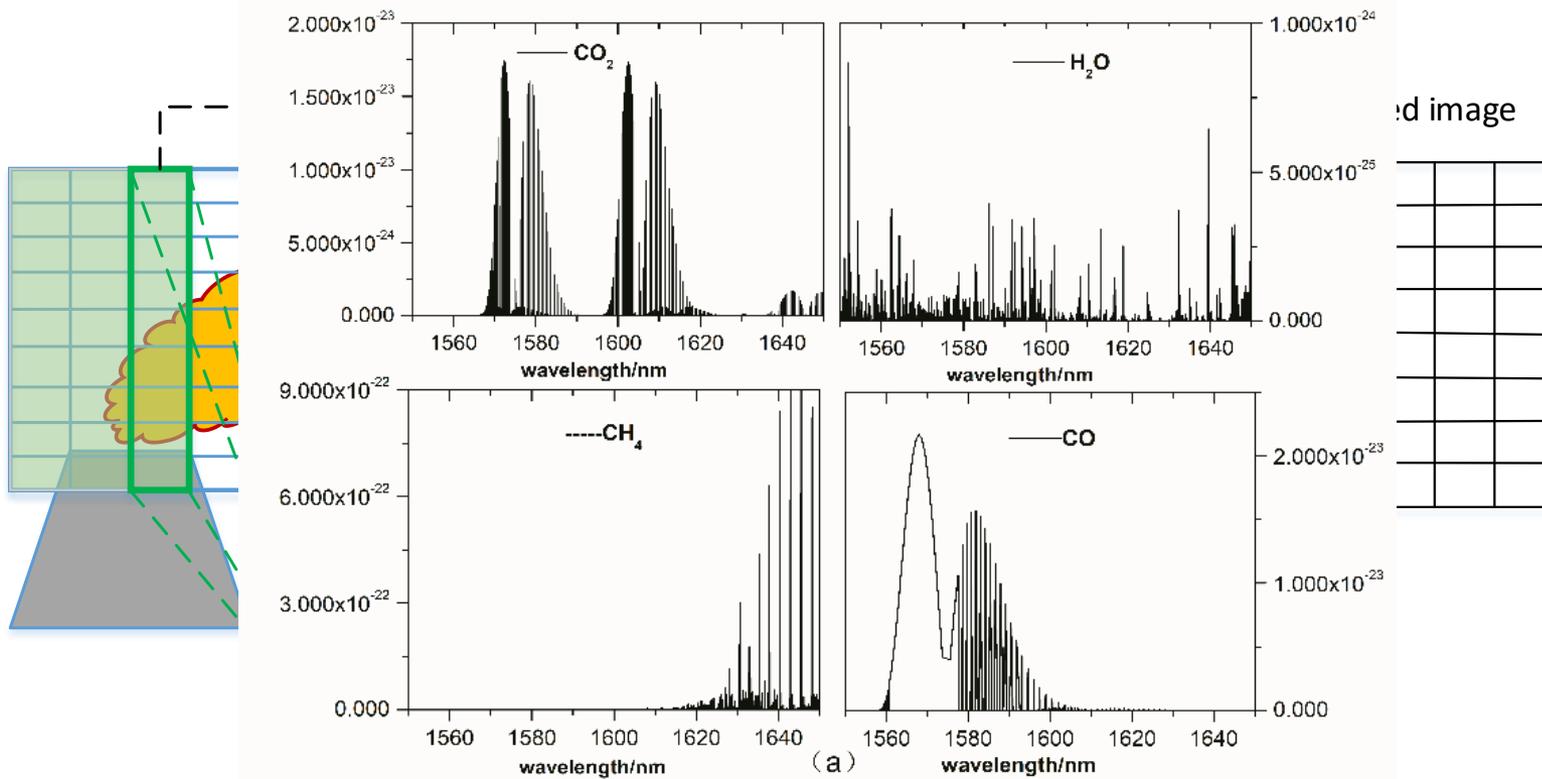


# 船舶尾气无人机监测



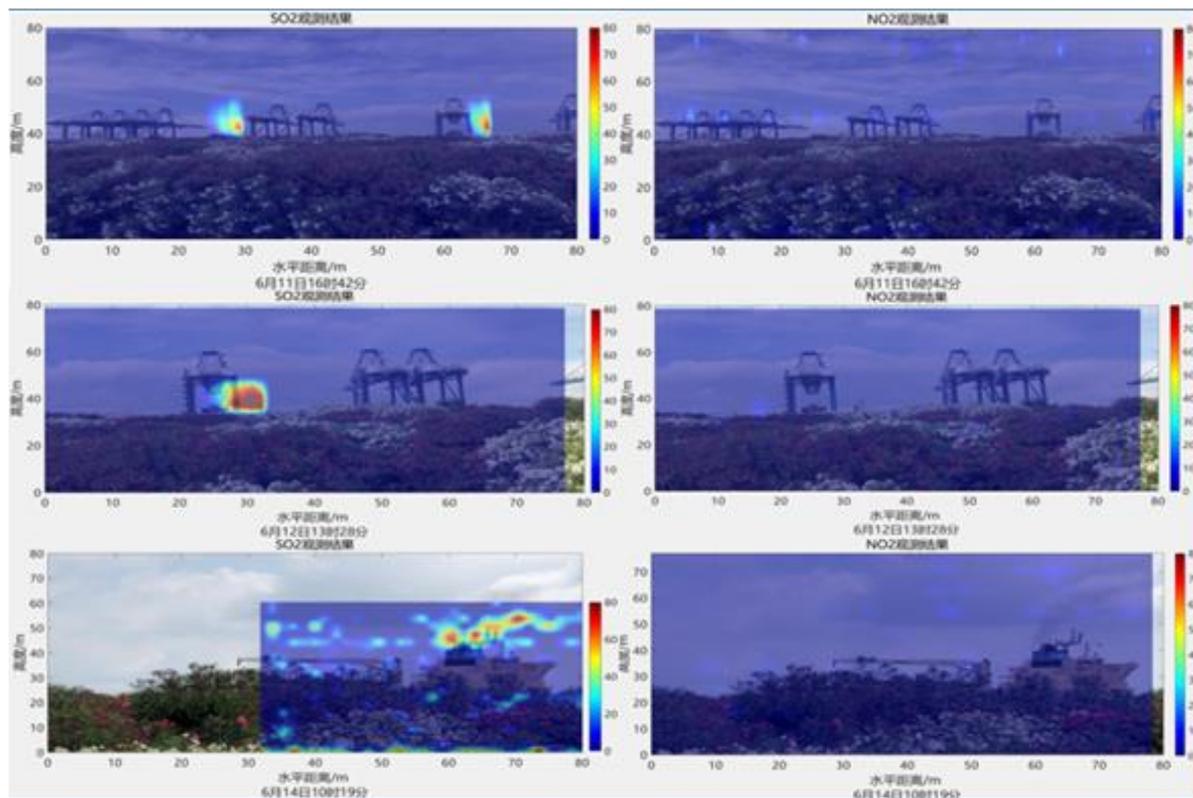
上海市科委科技攻关项目：17DZ1203100

# 船舶尾气遥感监测



# 船舶尾气遥感监测

2019年6月在上港集团进行了船舶排放实验，实验观察到船舶排放有明显的烟雨扩散。结果表明，船舶停靠港口和离港时有明显的SO<sub>2</sub>排放，NO<sub>2</sub>排放不明显



# 港区微型监测站

## 外高桥码头监测微站分布



外高桥2号码头：10台



外高桥4号码头：7台

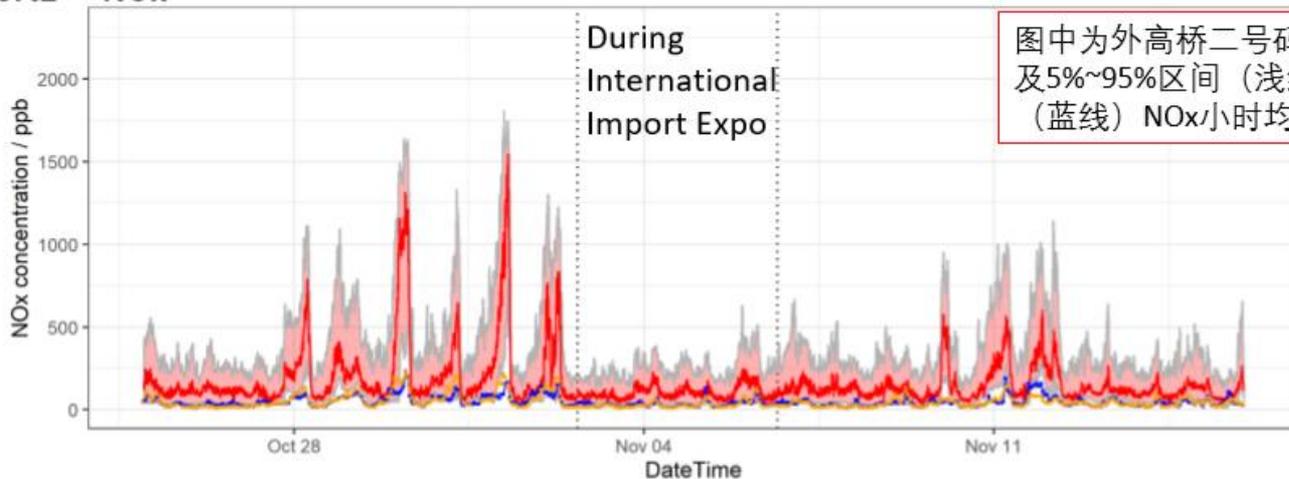


上海市环境监测中心  
香港科技大学  
深圳智人环保科技

上海市科委科技攻关项目：17DZ1203100

# 港区微型监测站

Port2 - NOx

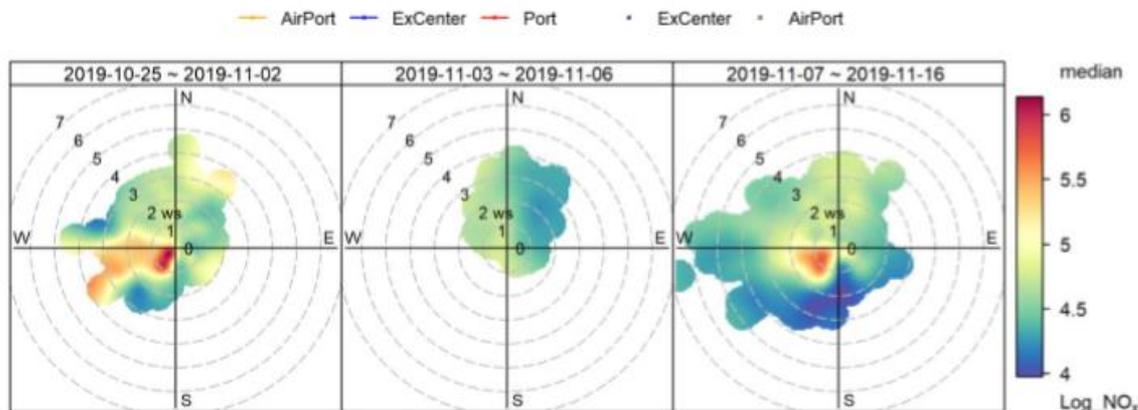


图中为外高桥二号码头10台微站NO<sub>x</sub>监测浓度均值（红线）及5%~95%区间（浅红色）和虹桥机场（黄线），会展中心（蓝线）NO<sub>x</sub>小时均值

进博会管控前后，NO<sub>x</sub>峰值主要出现在低风速（<2m/s）且为西南风的情形下；高风速及东北风情况下，NO<sub>x</sub>浓度相对较低。

这可以说明港区或附近存在明显氮氧化物污染源，且处在偏西南方向。

管控期间即使在低风速状况下也未出现明显浓度上升，说明管控措施有效控制了码头氮氧化物污染源。



During International Import Expo

# 主要内容——污染治理

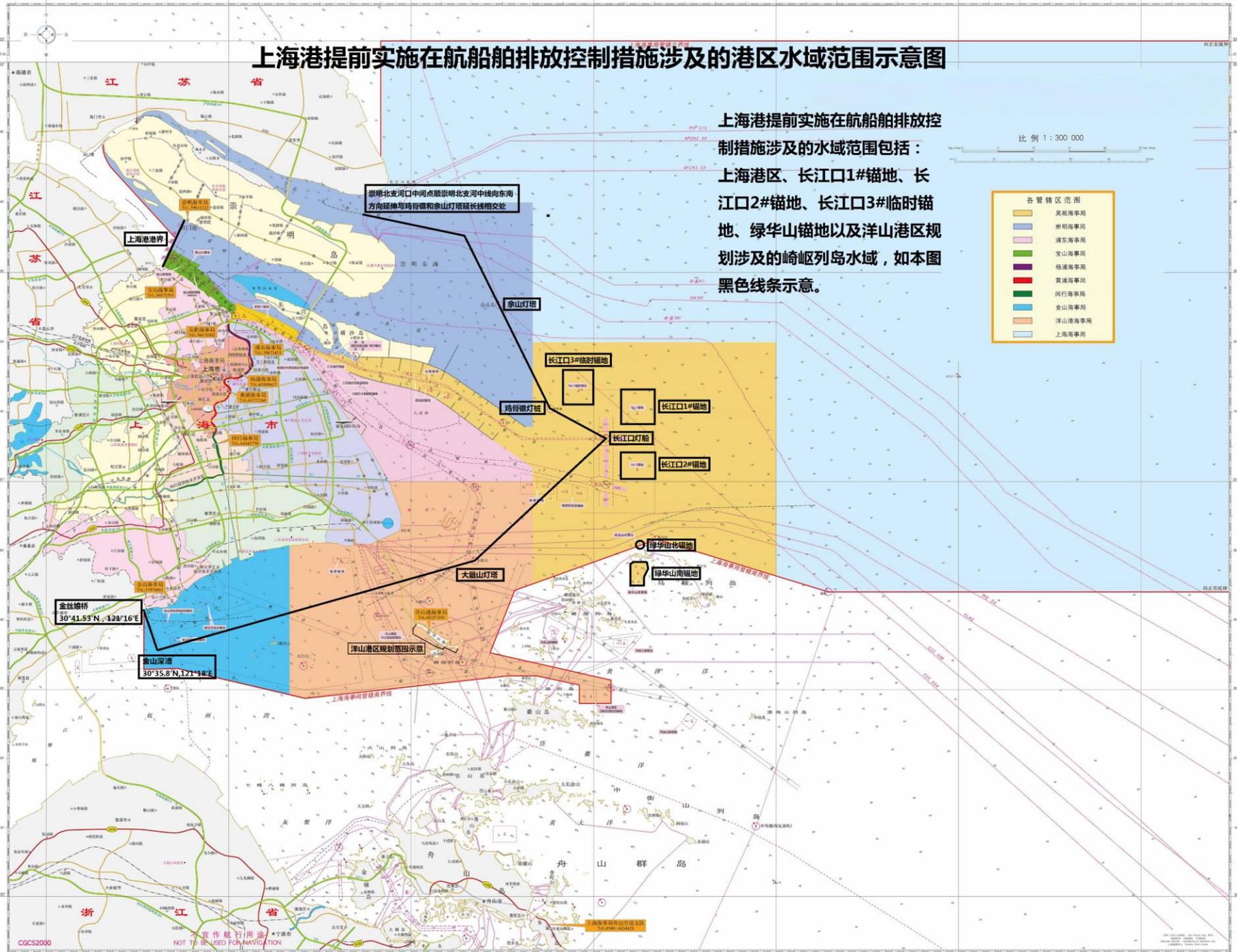
1. 来源分析
2. 快速监测技术开发
3. 对于未来问题的思考

# 上海港提前实施在航船舶排放控制措施涉及的港区水域范围示意图

上海港提前实施在航船舶排放控制措施涉及的水域范围包括：  
 上海港区、长江口1#锚地、长江口2#锚地、长江口3#临时锚地、绿华山锚地以及洋山港区规划涉及的崎岖列岛水域，如本图黑色线条示意。

比例 1:300 000

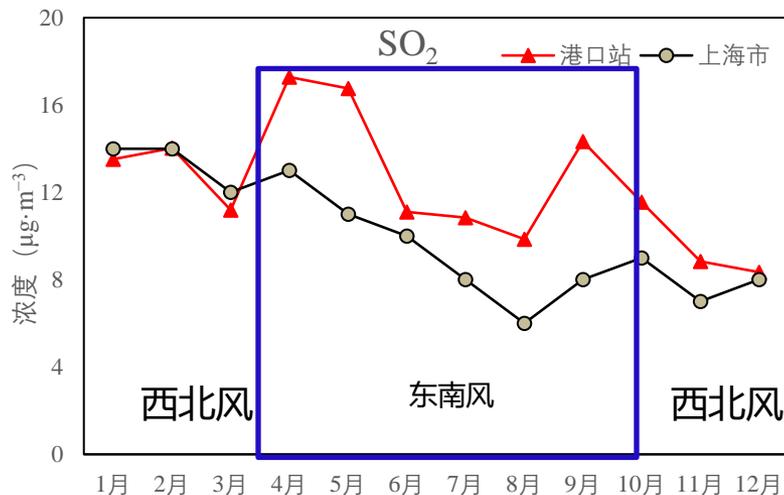
- | 各管辖区范围  |        |
|---|--------|
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:yellow;"></span>     | 吴淞海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightblue;"></span>  | 崇明海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightpink;"></span>  | 浦东海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightgreen;"></span> | 宝山海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:purple;"></span>     | 杨浦海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:red;"></span>        | 黄浦海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:darkgreen;"></span>  | 闵行海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightblue;"></span>  | 金山海事局  |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:orange;"></span>     | 洋山港海事局 |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:lightblue;"></span>  | 上海海事局  |



# 排放控制区实施效果

□ 除NO<sub>x</sub>问题外，港口站2018年SO<sub>2</sub>为12 μg/m<sup>3</sup>，高出上海市平均浓度20%

□ 二阶段措施实施后：2018年10月份以来港口站SO<sub>2</sub>浓度持续下降，12月与上海市平均浓度已经基本持平，仅为8 μg/m<sup>3</sup>



## 一阶段低排放控制区红利

- 措施前2015年7月~2016年6月上海市SO<sub>2</sub>平均浓度为16μg/m<sup>3</sup>，措施后2016年7月~2018年6月SO<sub>2</sub>平均浓度为12μg/m<sup>3</sup>，下降25%
- 以靠近吴淞港的宝山环保局站为例，措施前2015年7月~2016年6月SO<sub>2</sub>平均浓度为20μg/m<sup>3</sup>，措施后2016年7月~2018年6月SO<sub>2</sub>平均浓度为13μg/m<sup>3</sup>，下降35%
- 宝山环保局较全市二氧化硫的增量也由措施前的4μg/m<sup>3</sup>下降到1μg/m<sup>3</sup>

# 岸电

岸电使用比例	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	HC
5%	0.8%	0.8%	0.5%	1.5%	0.4%	0.4%
10%	1.7%	1.6%	0.9%	3.0%	0.9%	0.7%
15%	2.5%	2.4%	1.4%	4.5%	1.3%	1.1%
20%	3.3%	3.2%	1.8%	6.0%	1.7%	1.5%
30%	5.0%	4.9%	2.7%	9.0%	2.6%	2.2%
40%	6.6%	6.5%	3.6%	12.0%	3.4%	3.0%
50%	8.3%	8.1%	4.5%	15.1%	4.3%	3.7%

# 岸电

---

- **《港口和船舶岸电管理办法》**（2020年2月1日起实施，交通运输部）；**《上海市港口和船舶岸电管理办法实施细则》**（2020年3月24日，上海市交通委员会，上海海事局）
- **待解决的问题**
  - 安装受电设施船舶底数不清
  - 法律条款罚则缺失
  - 船东和码头使用意愿的问题

# 讨论与建议

---

- **船舶对于臭氧污染的贡献及防治对策**
  - **NO<sub>x</sub>控制**
    - **岸电**
    - **Tier3海船**
  - **VOCs控制**
    - **码头油气回收**
    - **液货船**
    - **加油船**

# 警惕蓝天下的污染

## □ O<sub>3</sub>的污染状况

20  
长的  
的超  
粒特

□ O<sub>3</sub>  
O<sub>3</sub>  
康  
病  
；身

□ O<sub>3</sub>  
NO<sub>x</sub> + VOCs → O<sub>3</sub>



和  
物  
颗

“健  
症  
刺  
激

# 航运业对于O<sub>3</sub>的贡献?



液货船的运输和装卸过程  
VOCs



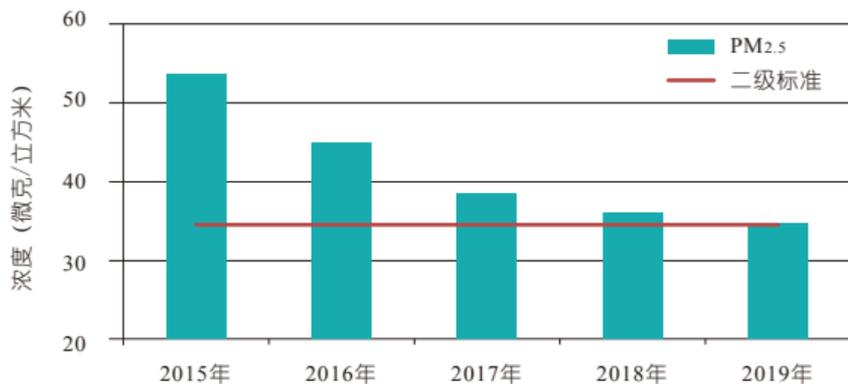
发动机的NO<sub>x</sub>排放



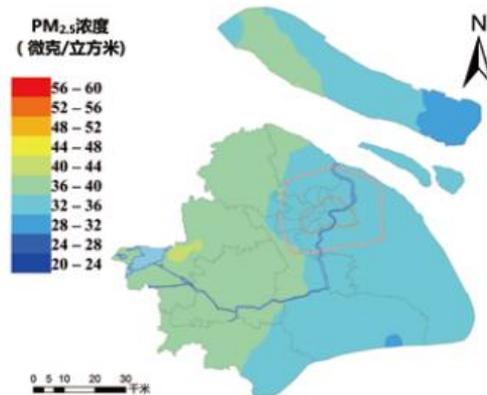
储罐的运输和储存过程  
VOCs

# 环境空气质量

细颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>)



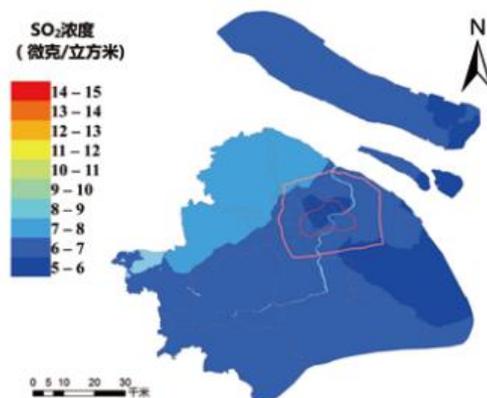
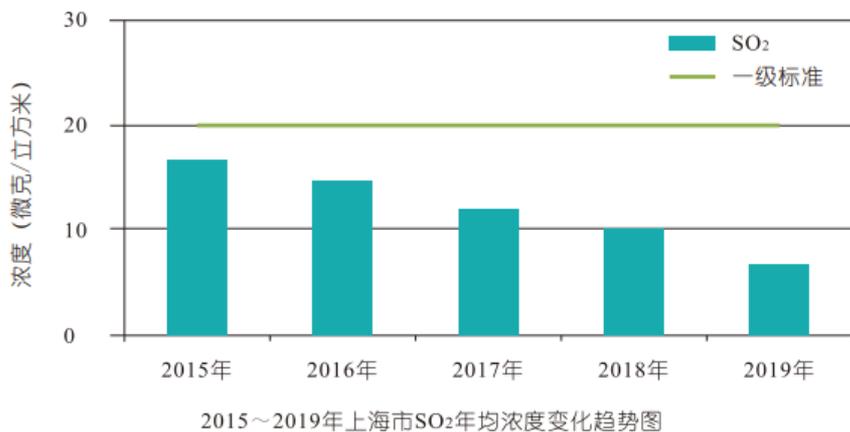
2015~2019年上海市PM<sub>2.5</sub>年均浓度变化趋势图



2019年上海市各区PM<sub>2.5</sub>浓度空间分布示意图

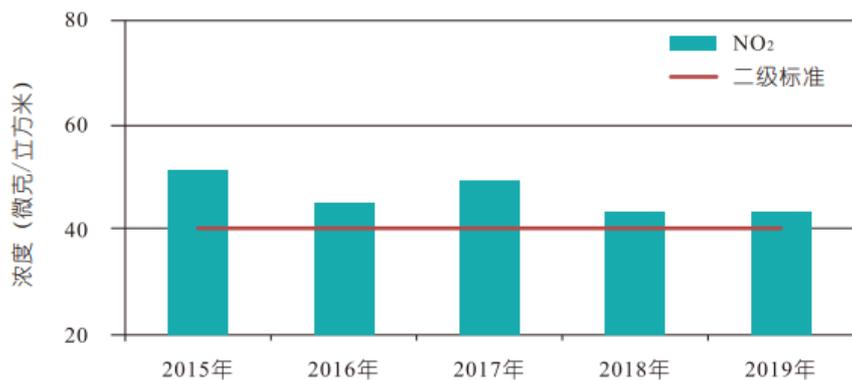
来源：2019上海市生态环境状况公报

# 环境空气质量

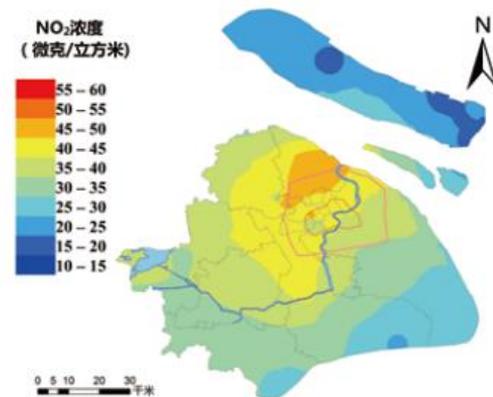


来源：2019上海市生态环境状况公报

# 环境空气质量



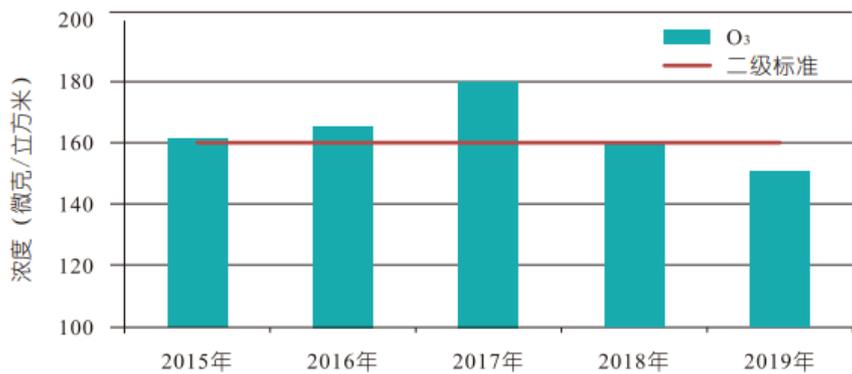
2015~2019年上海市NO<sub>2</sub>年均浓度变化趋势图



2019年上海市各区NO<sub>2</sub>浓度空间分布示意图

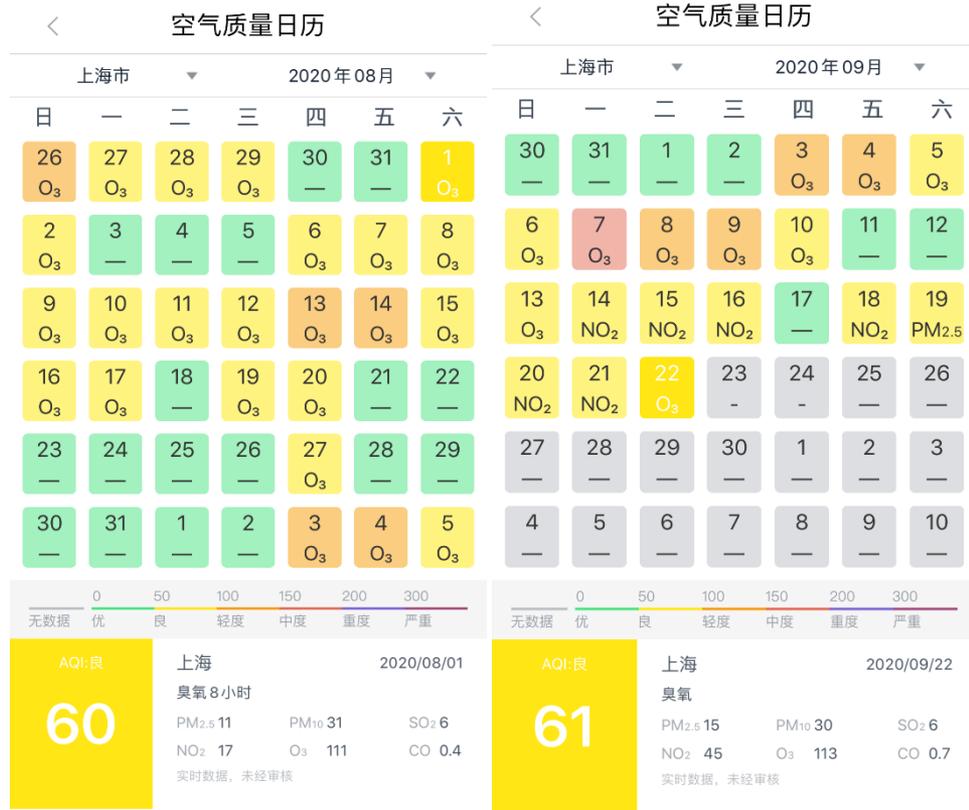
来源：2019上海市生态环境状况公报

# 环境空气质量



2015~2019年上海市O<sub>3</sub>浓度变化趋势图

来源：2019上海市生态环境状况公报

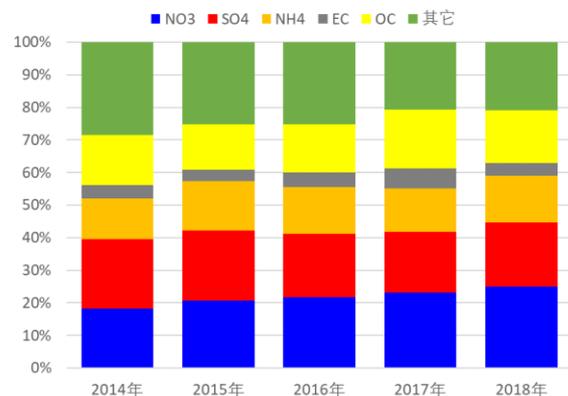
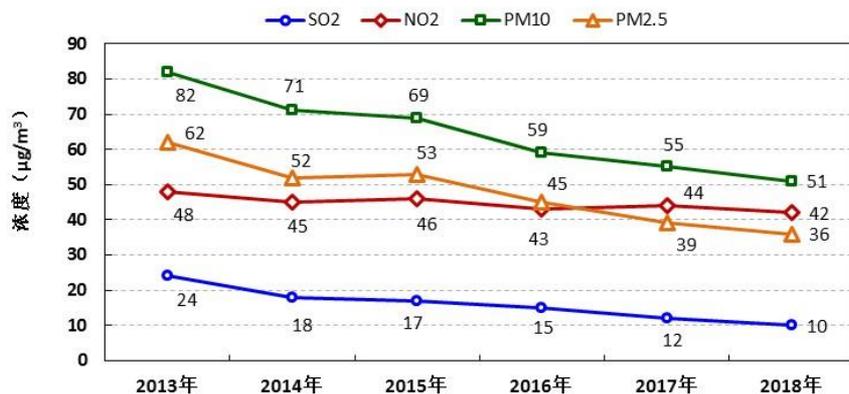


来源：空气质量发布APP

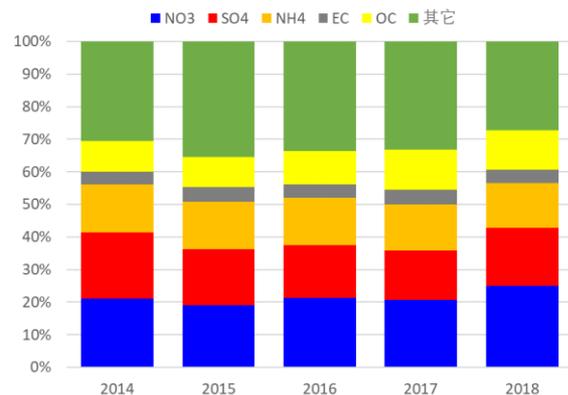
# 警惕蓝天下的污染

□主要污染物浓度整体下降，均为历年最低，但PM<sub>2.5</sub>与NO<sub>2</sub>分别超出标准2.9%和5.0%；

□PM<sub>2.5</sub>组分：硝酸盐占比逐年增加，成为PM<sub>2.5</sub>中的第一组分；硝酸盐的主要来源是前体物NO<sub>2</sub>的贡献。

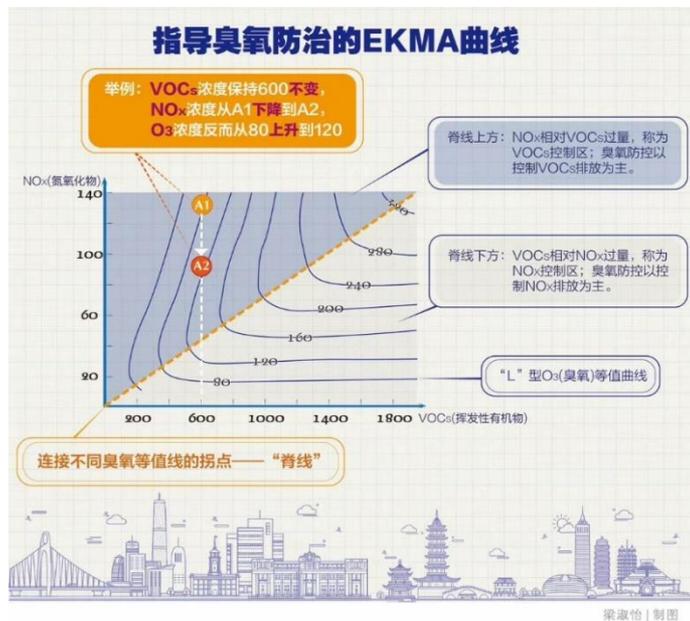


市区



郊区

# 警惕蓝天下的污染



大气化学中经典的EKMA曲线显示了NO<sub>x</sub>和VOCs对于臭氧生成的复杂关系。NO<sub>x</sub>和VOCs分别为纵轴和横轴的坐标图上，臭氧等值曲线是一条条近似等高线的“L”型曲线，连接不同臭氧等值线的拐点可以形成一条“脊线”。

在脊线上方，NO<sub>x</sub>相对VOCs过量，称为**VOCs控制区**——臭氧防控以控制VOCs排放为主；在脊线下方，VOCs相对NO<sub>x</sub>过量，称为**NO<sub>x</sub>控制区**——臭氧防控以控制NO<sub>x</sub>为主。

“例如在VOCs控制区，VOCs浓度保持不变，NO<sub>x</sub>浓度下降时，臭氧浓度反而上升。疫情让这项经典理论在现实中呈现。

## 机动车排放的NO<sub>x</sub>能将臭氧“吃掉”？生成臭氧污染的背后究竟有多复杂？

原创 王珊 中国环境 3天前

臭氧在这个夏天，成为继PM<sub>2.5</sub>之后社会讨论热度最高的名词，收获了“在天成佛，在地成魔”这一形象的双面比喻。平流层臭氧为地球罩上了一层保护伞，人们为南极臭氧层空洞的奔走呼吁言犹在耳，而对流层臭氧却成为人类健康的“隐形杀手”，让人避之唯恐不及。

那么，我们真的清楚臭氧污染和其背后的生成转化机制吗？我国的臭氧污染应对目前处于什么水平？这些问题在北京地球村环境教育中心近日主办的大气治理研讨会上引起了专家学者的热烈讨论，请看报道。

机理研究

“越研究就越发现我们知道的只是冰山一角”

“7月上半月，全国大部分地区扩散条件总体一般，空气质量以良至轻度污染为主，首要污染物以臭氧为主。”大暑将至，在中国环境监测总站的

---

# 谢谢

shenyin@sheemc.cn