



基于大语言模型智能体的 大气污染成因及溯源分析

程真、尉笑、赵丹玥（上海交通大学环境学院）

肖宇、王茜、黄成（上海市环境监测中心）

2025 年 8 月 29 日



目录 CONTENTS

- 1/ 研究背景与目标
- 2/ 研究内容与路线
- 3/ 功能设计与进展
- 4/ 下一步研究计划

第一部分

Research Background and Objectives

研究背景与目标



大气污染预报预警对公众健康至关重要

PM_{2.5}短期暴露水平升高会增加住院风险

疾病类型	2天PM _{2.5} 增加10ug/m ³
心血管疾病	1.89%
心肌梗死	2.25%
充血性心力衰竭	1.85%
糖尿病	2.74%
呼吸系统疾病	2.07%

(Zanobetti et al. EH. 2009)



(中国环境监测总站)

准确的空气质量预测及科学应急决策对降低空气污染短期危害意义重大



应急管理距离精准高效仍有差距

应急响应



Ⅲ级



Ⅱ级



I 级

➤ 在重点地区或重大会议、活动期间可适当提高响应级别

➤ 空气污染防治和控制应适应当地条件“一城一策”

上海:

- 组织应急天然气资源
- 纳入重污染天气应急减排清单的工业企业（限产或停产、车辆运输管控措施）
- 禁止露天易扬尘加工作业
- 易扬尘污染的物料码头堆场和搅拌站停止作业
- 加强道路保洁频次
- 黄浦江水上交通管控
- 禁燃放烟花爆竹和露天烧烤

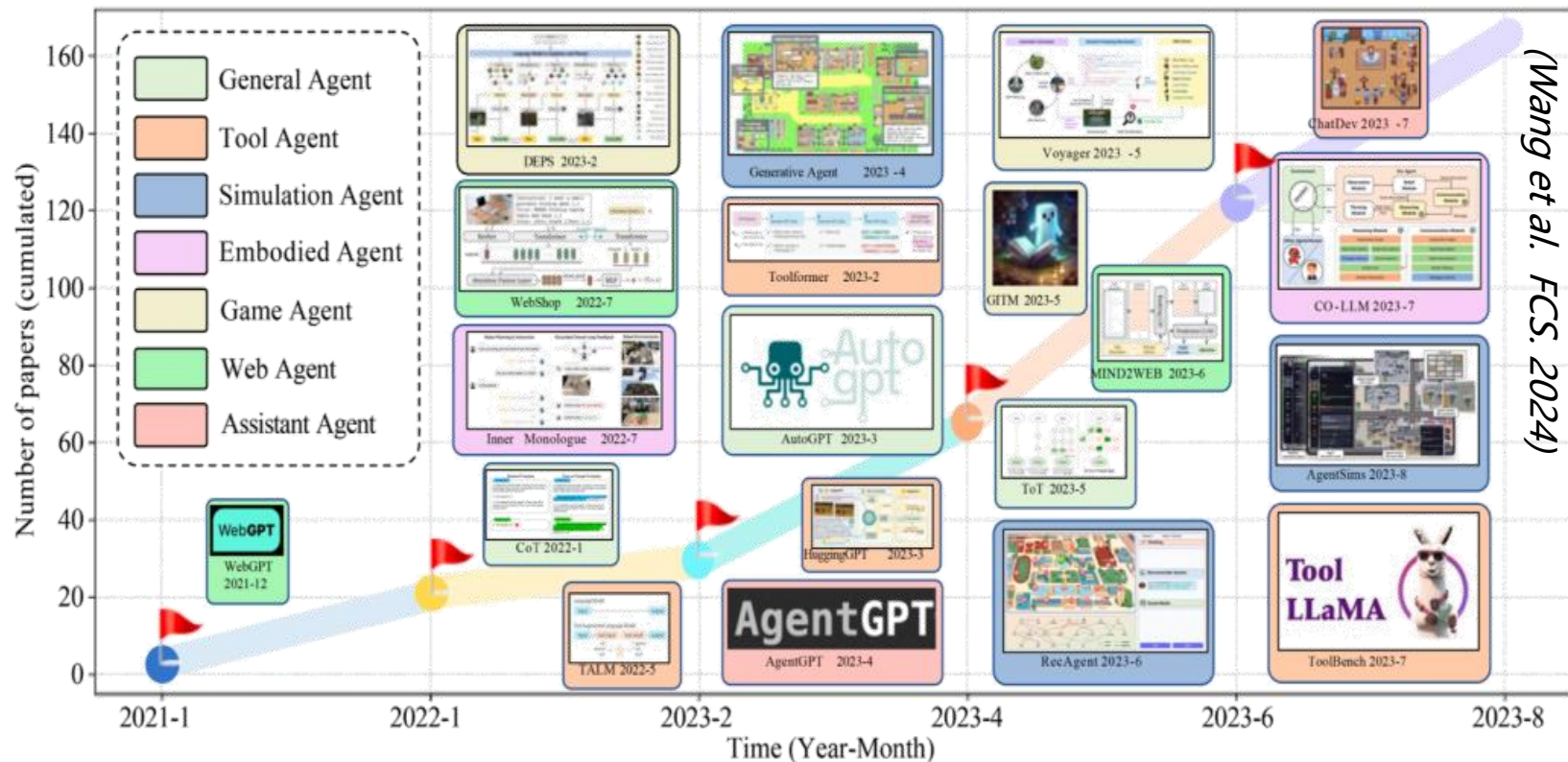
➤ 存在问题:

固定的应急方案等级缺乏灵活性，可能引发资源浪费或成效不足的问题



智能体发展为重污染应急管理提供新可能

智能体：能够感知其环境并执行行动的系统。



大语言模型发展后，其处理复杂数据及提取关键信息，推理及实验设计能力等已被证实，为智能体应用于大气环境研究提供了新的可能。

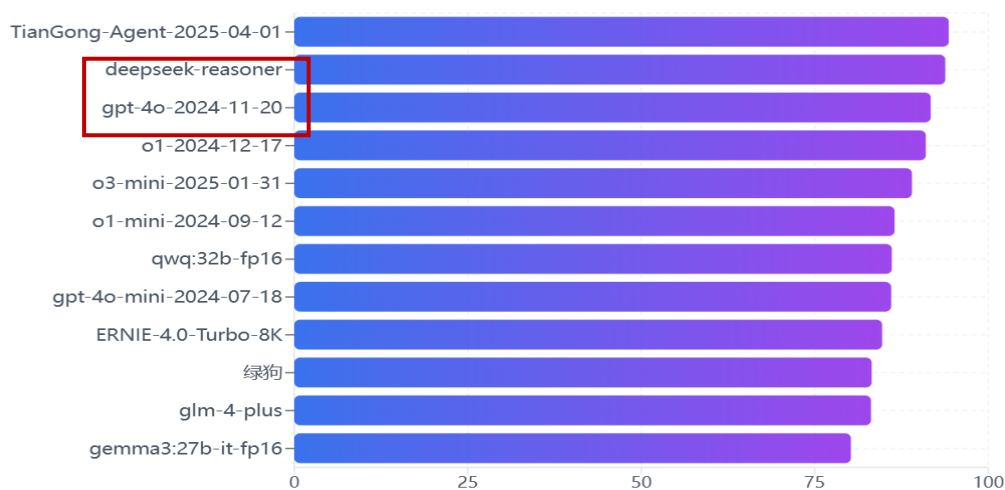
(Lee et al. JMIR. 2024; Dowling et al. FRL. 2023; Mich et al. ITT. 2023)



自动智能化大气污染应急管理措施

- 人工智能语言模型驱动的机器人专家
- 提示词简单、可自主设计、规划和执行复杂科学实验和管理任务

综合得分



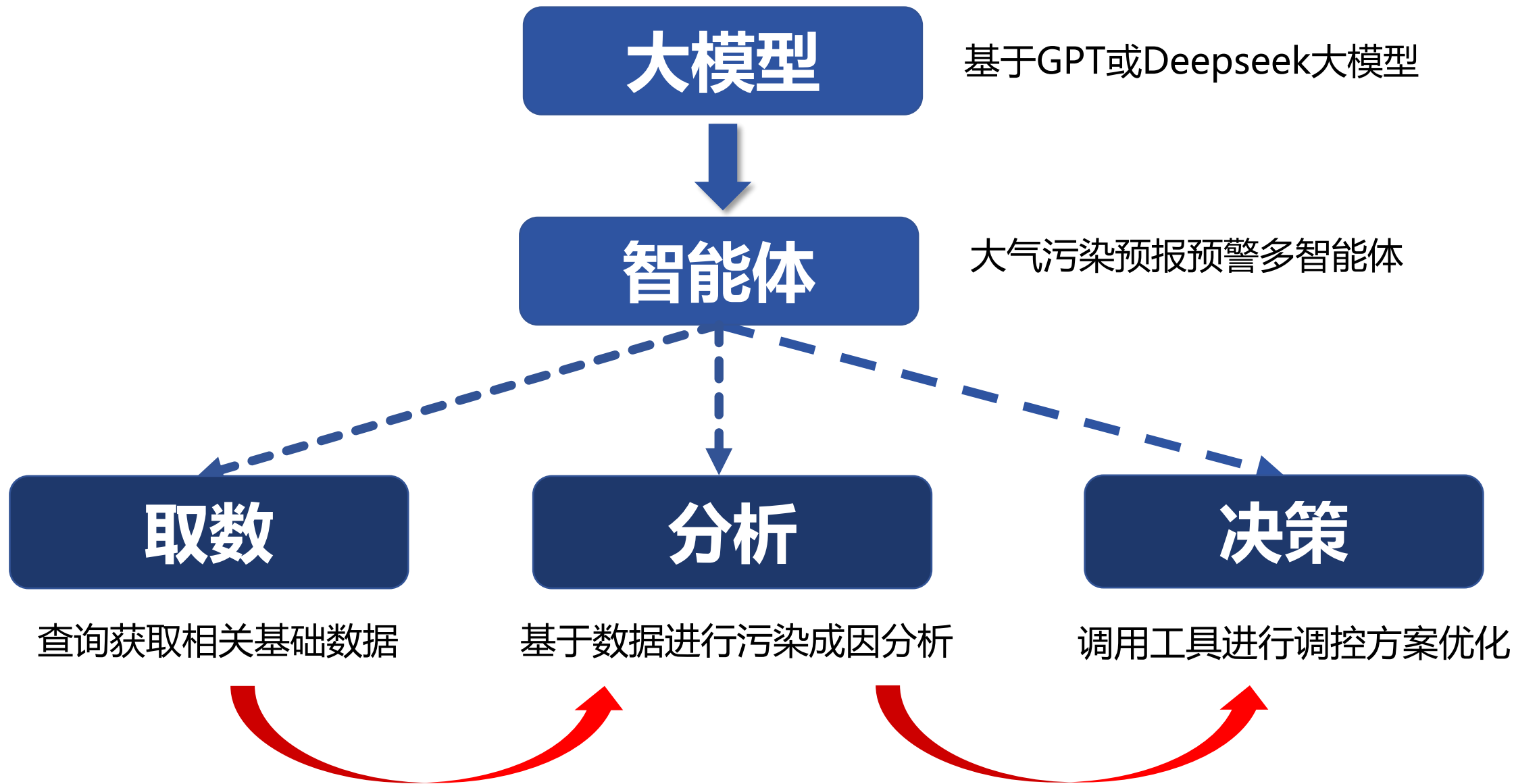
Deepseek、GPT等模型的综合得分排名靠前，展现较强环境问题理解与解答能力，有望在大气环境领域发挥更大作用。



(Zheng et al. Nature. 2023)



研究总体目标





具体目标

1.开发工具: 应对当前污染成因和防治快速解析需求及空气质量领域公众服务智能化需求，围绕大气污染成因解析和决策服务，**开发大气环境领域人工智能体工具。**

2.系统功能: 智能调取观测、模拟、相关产品等多源数据，实现基于智能体的**污染过程自主特征分析、成因研判及调控优化。**

3.应用部署: 具备人机交互功能，辅助支撑专业技术人员业务工作开展，以及污染应急预警决策支持等。

第二部分

Research Content and Route

研究内容与路线



研究内容1： 实现智能体自主检索观测及模拟数据

服务将构建多源数据解析框架，**实现智能体对异构数据的自主读取与融合。**

(1) 关系型数据库：观测站规整数据，包含气象观测网、常规国控监测站、省控监测站、大气超级站、移动监测、垂直观测等

(2) 文本文档及图片：卫星遥感反演结果、天气形势图、源追踪结果文件、过程分析文件、OBM诊断模型结果等

(3) NETCDF文件：排放清单、WRF模式预报输出、CMAQ预报结果输出、CMAQ源解析输出、数据驱动模型输出等



研究内容2：针对污染过程的自动智能成因分析

基于空气污染的多智能体协同成因分析架构，设计污染成因动态推理引擎，**实现从数据驱动到机理融合的跨尺度解析。**

(1) 气象成因分析：气象归因智能体负责整合区域天气形势、三维风场、边界层演变及大气扩散参数，综合分析扩散条件的历史对比、持续时长及严重程度等

(2) 来源成因分析：来源归因智能体负责提取污染源贡献空间和行业分布特征，量化局地累积与区域传输的动态权重以及不同行业的贡献变化



研究内容3： 针对污染过程的自动智能调控优化

针对污染过程，设计自主推理引擎，自主调用数据驱动模型，**实现污染源调控的智能优化与评估。**

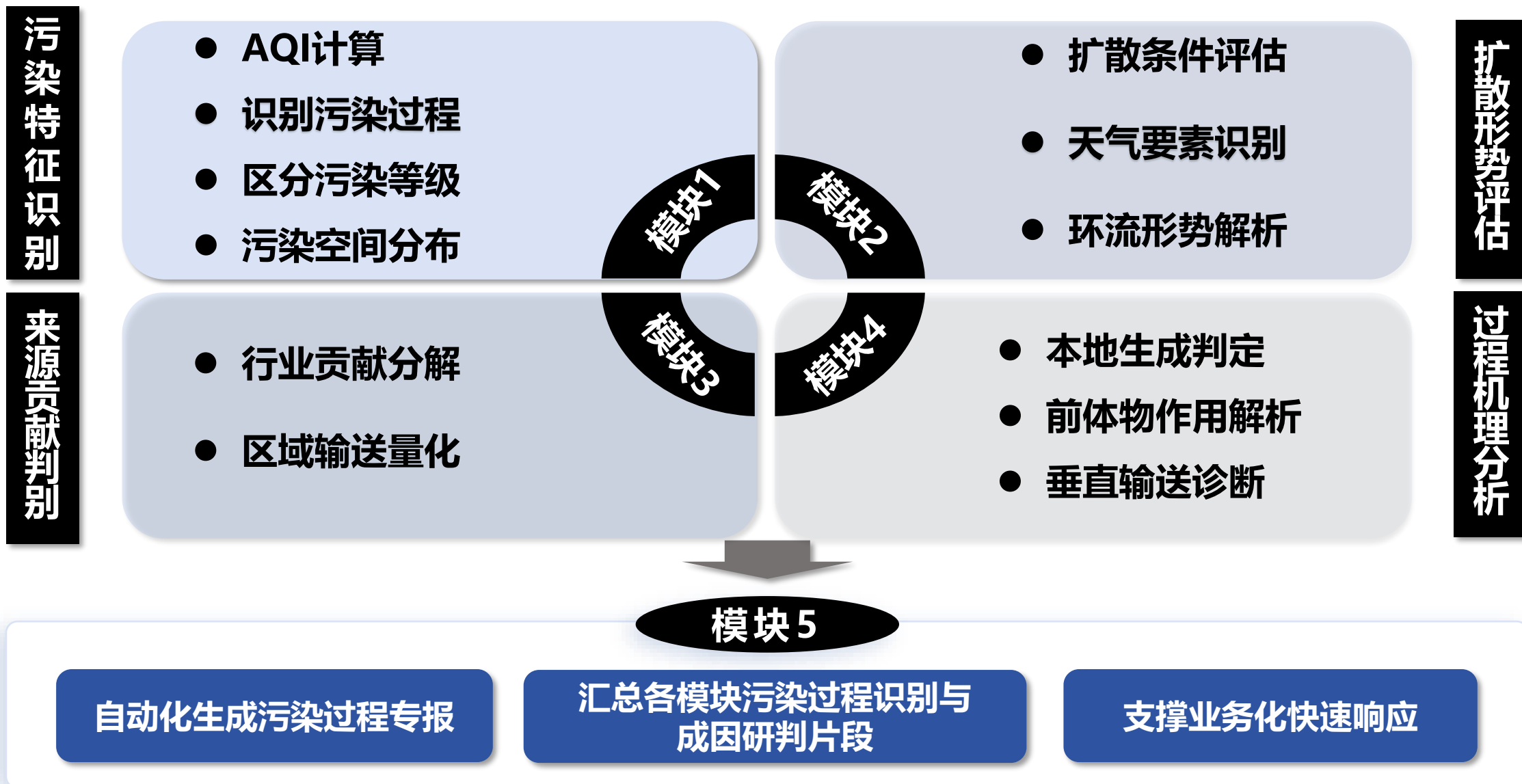
(1) 污染源敏感性分析：基于自动可微的数据驱动伴随模型，估算网格化的排放源对目标浓度的敏感性估算，对优先调控对象进行排序与筛选

(2) 排放调控优化：基于数据驱动伴随模型的敏感性估算结果，通过四维变分最优化方法，给出优先调控的污染源空间分布及行业分布

(3) 调控效果评估：开发控制情景模拟沙盘，科学评估调控优化前后的浓度改善效果等



整体技术路线





Diffy + 大语言模型API接口的一体化 workflow

Diffy 框架：平台与集成

Diffy框架是融合后端即服务 (Backend as Service) 及 LLMOps 理念构建的 AI 应用开发平台，为 AI 应用全生命周期，自原型设计、开发至生产运维等供应环境。

大语言模型：大脑决策

通过实时调用多种大语言模型 OpenAI GPT5、Gemini、Llama、DEEPSEEK-R1、QWEN3的API接口，进行多接口的效果比较。

在 Diffy + GPT5的集成支撑下，构建高效、可扩展、智能化的污染成因解析框架，进而形成集污染特征辨识-天气形势分析-污染来源解析-污染过程分析-自主生成专报的一体化 workflow

第三部分

Functional Design and Progress

功能设计与进展



模块1-识别及解析污染过程

污染特征识别及分析

功能

AQI计算



识别污染过程



区分污染等级



污染空间分布

具体说明

1 滑动窗口计算 O_3 8h峰值、IAQI及AQI

2 定量回顾区域臭氧污染过程，提取污染日期、持续时间、污染等级

3 确定超标城市，分析AQI分布与污染时空演变特征

依托数据源

污染国控点数据库

国控点污染浓度数据表

国控点站点信息表



模块1-Dify设计与结果输出

设置提示词并提问

用户输入问题

- 筛查并分析2023年8月上海市空气污染过程。

条件判断

- 筛查污染过程→执行模块1支线

智能体提示词

###背景###

你是一位空气污染领域的专家，参考专报的版式和措辞，替换成本次真实数据和输入，形成汇总性解读和分析。

###模块###

具体说明

1-污染特征分析

识别污染过程特征、强度与空间分布。对区域污染过程进行定量回顾，提取污染发生日期、持续时间、污染级别、O₃ 8h峰值、超标城市分布及区域范围变化；分析AQI分布与污染时空演变特征，为后续成因和防控提供基础判断。

Dify处理及模块输出

查询数据库→提取监测数据

原始数据清洗及预处理

SO₂
日均值

NO₂
日均值

PM_{2.5}
日均值

PM₁₀
日均值

CO
日均值

O₃ 8h
滑动最大值

使用《HJ 633-2012 环境空气质量指数 (AQI) 技术规定》的分段表。
然后保留两位小数 → 四舍五入为整数 →
AQI 取最大值 → 判定首要污染物。

计算AQI/IAQI 监测污染指标

主要参考的 IAQI 计算方法：
$$IAQI = (IAQI_high - IAQI_low) / (BP_high - BP_low) \times (C - BP_low) + IAQI_low$$

输出模块1报告

污染 基本情况

日期
2023-08-10
2023-08-11
2023-08-12
2023-08-21
2023-08-24

空气质量指数

2023年8月10日: AQI = 110.0
2023年8月11日: AQI = 146.0
2023年8月12日: AQI = 133.0

超标城市 地理分布

长三角区域层面，
8月10日浙江中南部有
7个城市 O₃ 超标，
8月11日扩展至 22个城市，
覆盖长三角大部分中北部地区，
12日超标范围进一步扩大至 31

首要污染物

首要污染物均为 O₃，
2023年8月10日: O₃，
2023年8月11日: O₃，
2023年8月12日: O₃，

会话变量存储

AQISH String
NO2 String
SO2 String
PM10 String
CO String
O38H String
PM25 String

动态传递
和更新

模块5
调用



模块1-与专家结果对比

大模型智能体报告

为进一步强化本市臭氧污染应对，确保完成年度空气质量考核目标，8月市生态环境局部署开展了臭氧污染防治攻坚行动，建立了监测-预报-管理-执法多部门联动机制，定期发布工作提示。基于臭氧污染过程的提前预报，8月9日启动了首次臭氧污染过程联合会商。8月，本市共出现了5天O₃污染过程，分别为2023年8月10日、8月11日、8月12日、8月21日和8月24日。

1. 污染过程基本情况

日期	总站点数	超标站数	超标比例	是否为区域污染日
2023-08-10	54	40	0.74	是
2023-08-11	54	54	1.00	是
2023-08-12	54	52	0.96	是
2023-08-21	54	28	0.52	是
2023-08-24	54	35	0.65	是

2. 空气质量指数 (AQI)

2023年8月10日: AQI = 110.0

2023年8月11日: AQI = 146.0

2023年8月12日: AQI = 133.0

3. 首要污染物

连续3天的首要污染物均为O₃，累计出现1,313次。

2023年8月10日: O₃, 8h日均最大值为175 ug/m³

2023年8月11日: O₃, 8h日均最大值为225 ug/m³

2023年8月12日: O₃, 8h日均最大值为195 ug/m³

4. 地理分布与可能原因

长三角区域层面，8月10日有7个城市O₃超标，主要集中在浙江中南部(丽水、台州、温州、衢州、金华等);8月11日扩展至22个城市，覆盖长三角大部分中北部地区，多个城市达到中度污染;8月12日超标范围进一步扩大至31个城市，涵盖江苏、浙江、安徽及上海的大部分地级市，呈现明显的区域性连续高O₃过程。可能原因包括工业布局密集、气象条件不利(如高温、静风)以及区域传输等因素。

5. 综合评价本市连续三天出现以臭氧(O₃)为首要污染物的区域性污染过程，空气质量指数和日O₃ 8h值均出现明显超标，长三角区域范围逐日扩大，呈现区域性连续O₃过程。

专家人工评估专报

一、污染过程回顾

为进一步强化本市臭氧污染过程应对，确保完成年度空气质量考核目标，8月市生态环境局部署开展了臭氧污染防治攻坚行动，建立了监测-预报-管理-执法多部门联动机制，定期发布工作提示。基于臭氧污染过程的提前预报，8月9日启动了首次臭氧污染过程联合会商。

8月，本市共出现了5天O₃污染过程，分别为8月10—12日、8月21日和8月24日，现针对5天3次O₃污染过程进行回顾分析。

1. 8月10—12日O₃污染过程

(1) 污染过程回顾分析

污染过程呈现区域性连续污染特征。8月10—12日，本市空气质量指数(AQI)分别为113、163和133，首要污染物均为臭氧(O₃)，日O₃ 8h最高值分别为174μg/m³、228μg/m³和196μg/m³。长三角省一市区域层面，共有32个城市出现O₃超标，主要集中在长三角中北部地区。11日，扬州、台州、南通、南京、常州、马鞍山、苏州、上海、湖州和嘉兴等10市均为中度污染，AQI范围为153~175，日O₃ 8h最高浓度范围为218~240μg/m³。

差异对比

● AQI数值差异

Dify报告：8月10-12日上海市AQI为110, 146, 133。

专家报告：8月10-12日上海市AQI为113, 163, 133。

数值高度接近，仅存在轻微差别，可能是监测背景点考虑不完全一致。

● 污染区域描述差异

Dify报告：分日描述了污染城市。

专家报告：强调“四省一市共32市”，并特别点名10个中度污染城市，附污染等级与浓度范围。

Dify报告按日动态追踪了污染扩展，专家报告则直接给出了整体范围，便于快速理解区域影响。

● 报告表达侧重点差异

Dify报告：重点描写“本市连续三天出现污染”“范围逐步扩大”。

专家报告：突出“长三角区域整体性”和“中度污染典型城市”。

关注角度不同，Dify报告集中刻画了上海市的情况，专家报告则涵盖了长三角宏观区域尺度的可能影响。



模块2-天气形势分析

天气形势与扩散条件评估

功能

扩散条件评估



天气要素识别



环流形势解析

具体说明

1 识别并分析不利气象条件

2 分析气压场、风场变化、
温湿度分布及边界层高度变化

3 判断区域传输与本地累积的气象驱动因素

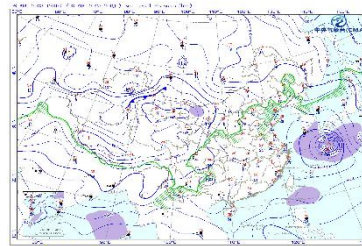
依托数据源

天气要素检测数据库

气象网站点观测数据

气象网站点列表

天气形势图





模块2-Dify设计与结果输出

设置提示词并提问

用户输入问题

- 2023年8月10-12日上海市O₃污染天气条件如何?

条件判断

- 天气条件→执行模块2支线

智能体提示词

###背景###

你是一位空气污染领域的专家，参考专报的版式和措辞，替换成本次真实数据和输入，形成汇总性解读和分析。

###模块###

具体说明

2-天气形势与扩散条件评估

评估污染发生期间的大气环流和气象条件，分析污染过程对应的气压场、风场变化、温湿度分布及边界层高度变化；识别不利气象条件（弱气压场、小风辐合、高温等）；结合台风过境等天气事件，以判断区域传输与本地累积的气象驱动因素。

Dify处理及模块输出

查询数据库→提取天气数据

天气形势图

原始数据清洗及预处理

最高温度

每日风向

平均风速

天气形式

长三角地区高温城市

筛查不利气象条件

推理思路:

- 整合上海市及长三角地区的气象数据和天气形势
- 识别高污染风险时段和地点
- 提供污染条件的气象参考

大模型推理
解析天气形势、扩散条件

推理依据:

- 气象条件影响污染物生成
- 风场影响污染物扩散路径与速度
- 气象稳定性影响污染物的聚集

输出模块2报告

气压场特征

2023年8月10日: 上海市日平均气压为 1003.8hPa,
2023年8月11日: 上海市日平均气压为 1003.3hPa,
2023年8月12日: 上海市日平均气压为 1002.1hPa.

风场特征

8月10日平均风速约 1.81 m/s, 风向多变, 存在 偏北及偏西气流切变;
8月11日平均风速降至 1.27 m/s, 为过程最弱风日, 静风时段长, 利于前体物累积;
8月12日平均风速回升至 1.79 m/s, 风向以 偏南及偏东为主, 风向多次切换, 出现海陆风交替、西北风/西风与东南风之间的辐合带, 促进前体物及 O₃ 在局地及跨区域范围内的输送与汇聚.

温湿度条件

上海市日最高气温持续攀升, 分别为 35.3°C、35.9°C、37.7°C, 叠加长三角范围大面积 36°C以上高温, 高温强辐射加强了光化学反应速率, 主导风向随日期显著变化.

高温城市分布

安徽每日高温城市数: 2023-08-11 为 5, 每日高温城市列表 (按日期顺序): 2023-2023-08-12 为...共 11 市. 2023-08-11 江苏高温城市数为 1 个, 高温共 1 市; 2023-08-12 江苏高温城市数为: 高温城市列表...共 11 市. 浙江每日高温城市数: 2023-08-10 为 6, 2023-08-12 为 8 个; 每日高温城市列表: 2023-08-10 为丽水市、台州市、杭州市共 6 市; 2023-08-11 为丽水市、台州市.

会话变量存储

HIGH String
温度

WEATHER String
气象要素

动态传递
和更新

模块5调用



模块2-与专家结果对比

大模型智能体报告

污染发生期间，气象条件对臭氧累积极为不利，具体表现为：

- **气压场特征**：8月10-12日处于 **台风外围及过境后的弱气压控制期**，海陆气压梯度小，整体为 **静稳天气过程**。
- **风场特征**：
 - 8月10日平均风速约 1.81 m/s，风向多变，存在 **偏北及偏西气流切变**；
 - 8月11日平均风速降至 1.27 m/s，为过程最弱风日，静风时段长，利于前体物累积；
 - 8月12日平均风速回升至 1.79 m/s，风向以 **偏南及偏东为主**，风向多次切换，出现 **海陆风交替、西北风/西风与东南风之间的辐合带**，促进前体物及 O₃在局地和跨区域范围内的输送与汇聚。
- **温湿度条件**：上海市日最高气温持续攀升，分别为 35.3℃、**35.9℃**、37.7℃，叠加长三角范围大面积 **36℃以上高温**；高温强辐射加强了光化学反应速率。
- **主导风向随日期显著变化**：
 - 8月10日以 **西北风**为主导；
 - 8月11日转向 **东南风**占优；
 - 8月12日 **东南风继续强化**。
- **区域性差异**：安徽、江苏整体扩散条件较差，浙江沿海地区扩散条件不佳，但内陆因地形作用相对较好。
- **潜在污染风险**：高温、静稳天气条件下，三省均存在臭氧污染和颗粒物累积的风险，尤其是江苏和浙江沿海地区需重点关注。

专家人工评估专报

污染期间呈现为**弱气压场控制、小风辐合、气温超过 36℃等不利气象条件**。11—12 日本市日最高气温呈现逐渐上升的趋势，分别为 34.9℃、**35.9℃**和 36.4℃，同时长三角区域普遍出现 **36℃以上高温天气**。从**气象场变化**上看，8月10—12日为**台风天气过后的转变过程**，**气压场整体较弱**，导致风向由**东风**渐转为**偏南风**过程中伴随**西风、西北风和东南风**等不同风向切变辐合，10—12 日本市平均风速分别为 2.6 m/s、1.4 m/s 和 2.0 m/s。

差异对比

● 风速数据差异

Dify报告：8月10-12日上海市平均风速为 1.81 、 1.27 、 1.79 m/s。

专家报告：8月10-12日上海市平均风速为 2.6、 1.4 、 2.0 m/s。

差异在数值层面，Dify报告整体偏低。可能因平均口径不同（时段，高度或站点）导致了数值的偏差。

● 区域范围描述差异

Dify报告：细化至安徽、江苏、浙江扩散条件及温州、宁波、湖州等地高温风险。

专家报告：仅描述“长三角区域普遍高温”，未展开至具体省市。

Dify报告基于站点诊断，偏向精细预警，专家报告则综合了天气形势，注重宏观概述。

● 气象背景表述差异

Dify报告：强调海陆风交替、局地与跨区域输送特征。

专家报告：突出“台风过后转变过程”，更偏宏观气象背景。

Dify报告侧重业务预警与落地决策，倾向细化到省市或站点，专家报告强调大尺度形势，以保持篇幅的简练与高可读性。



模块3-污染源贡献判别

污染源贡献判别

功能

行业贡献分解



区域输送量化

具体说明

1

结合源解析结果，区分行业排放贡献比例

2

定量评估区域臭氧污染中的传输贡献

3

结合敏感性分析确定关键前体物的控制方向及协同效应

依托数据源

NO₂浓度空间分布图

O₃浓度空间分布图

各类排放源占比图

污染过程多参数时间序列图

区域O₃源解析小时变化图



模块3-Dify设计与结果输出

设置提示词并提问

用户输入问题

- 判别和分析2023年8月10-12日上海市O₃污染来源贡献。

条件判断

- 来源贡献→执行模块3支线

智能体提示词

###背景###

你是一位空气污染领域的专家，参考专报的版式和措辞，替换成本次真实数据和输入，形成汇总性解读和分析。

###模块###

具体说明

模块3-污染源贡献判别

步骤1 图像读取与编号

步骤2 图例识别与颜色映射

步骤3 读取各图排放比例

步骤4 差异比较与归纳

步骤5 总结与建议

- 进行图层识别与分类，浓度变化与趋势提取，污染成因分析步骤，源解析判断并形成结构化段落输出。

Dify处理及模块输出

依次上传待分析图片

海平面气压形势图

NO₂浓度空间分布图

O₃浓度空间分布图

区域O₃源解析小时变化图

各类排放源占比图

污染过程多参数时间序列图

- 生成图像读取情况说明
本次共读取X张图片，按编号顺序依次为...

大模型融合分析

- 解析图像内容
- 提取关键信息
- 生成相关分析

输出模块3报告

气象条件

• 海平面气压场显示 (图1-图5)，
• 华东地区位于高压系统和台风外围下沉气流影响区。
• 低层风速偏小 (弱风条件)，
• 有利于污染物积累。
• 气温普遍 30-35℃，有利于光化学反应。

浓度变化特征

• NO₂：在污染积累前期 (夜间、早晨) 保持较高浓度，
• 存在前体物累积现象。
• VOCs：在 O₃ 峰值前显著上升至 60 ppbv。
• 甲醛 (HCHO) 和 PANs 浓度同步抬升，
• 表明本地光化学生成活跃。
• O₃：白天冲高，峰值显著，
• 表现为强烈光化学烟雾特征。

污染空间分布特征

• NO₂高值区 (>40 µg/m³) 集中在中心城区及西南部工业和交通密集区。
• O₃高值区 (240-300 µg/m³) 出现在市区及城乡结合带。
• 与 NO₂ 高值区空间错位。
• (NO₂ 偏西南，O₃ 偏东北及中心区)，
• 符合典型下风向 O₃ 生成特征。
• 表明 NOx、VOCs 在上风向排放并输送后，
• 推动下风向 O₃ 高值形成。

排放源贡献

• 工艺源：首当其冲，占比 32-34%。
• 交通源：约 23-24%。
• 工业源：约 22-24%。
• 电厂排放：阶段二有所增加 (+2个百分点)，
• 背景浓度：阶段二显著下降 (-2.9个百分点)，
• 表明区域外输送减弱，本地源作用增强。

会话变量存储

P3 String

模块3
图片处理
解析结果

动态传递
和更新

模块5
调用



模块3-与专家结果对比

相同点

● 前体物累积特征一致

Dify报告: NO_2 保持高浓度, VOCs在 O_3 峰值前升至约60 ppbv, 伴随甲醛和PANS抬升。

专家报告: NO_2 峰值20-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 较本底升近1倍; VOCs峰值达30、60、40 ppbv, 甲醛和PANS与 O_3 同步升高。

● 排放源贡献结论一致

Dify报告: 工艺源占首要贡献 (32-34%), 交通与工业各占20%以上。

专家报告: 工艺贡献超30%, 工业和交通均超过20%。

● O_3 高值形成机理一致

Dify报告: 前体物在高温、弱风条件下输送并转化, 下风向城区出现 O_3 高值 (240-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 。

专家报告: 沿海 NO_2 排放在东风传输下推高城区 O_3 , 最高近300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

差异对比

● 浓度数值差异

Dify报告: NO_2 高值 $>40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; O_3 高值 240-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

专家报告: NO_2 峰值 20-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; O_3 高值接近 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

NO_2 数值差异明显, 可能因大模型对色彩的识别误差导致了数值偏差。

● 空间分布细节差异

Dify报告: NO_2 高值区在西南部工业/交通密集区, O_3 高值偏东北与城区, 二者空间错位。

专家报告: 强调东部港口/干道 NO_x 排放在东风作用下输送至城区与宝山, 形成下风向 O_3 高值。

Dify偏区域整体格局, 专家结合图片与监测点突出了具体输送路径。

● 污染阶段演变差异

Dify报告: 指出阶段二电厂贡献上升、背景输送下降, 本地生成增强。

专家报告: 突出11日污染持续时间长, 受日间持续排放和风向转变影响。

Dify报告依赖源解析图突出局地输送, 专家报告强调大尺度形势并结合时序图强调了过程持续性。



模块4-污染过程分析

污染过程机理分析

功能

扩散条件评估



天气要素识别



环流形势解析

具体说明

1 结合OBM诊断、垂直廓线输送分析，判定本地生成与区域传输的相对贡献。

2 分析海陆风、风向切变、高空输送等特殊过程对臭氧浓度的推升作用以及对污染过程的影响。

依托数据源

O₃敏感性和收支分析图

监测站高空过程分析图

监测站地面过程分析图

污染过程0时垂直剖面图



模块4-Dify设计与结果输出

设置提示词并提问

用户输入问题

- 分析2023年8月10-12日上海市O₃污染过程机理。

条件判断

- 污染机理→执行模块4支线

智能体提示词

###背景###

你是一位空气污染领域的专家，参考专报的版式和措辞，替换成本次真实数据和输入，形成汇总性解读和分析。

###模块###

模块4-污染过程解析

- 步骤 1 图像读取与编号
- 步骤 2 图例识别与颜色映射
- 步骤 3 读取各图比例
- 步骤 4 差异比较与归纳
- 步骤 5 总结与建议

- 分析污染前体物的空间分布与累积特征、风场切变及传输作用，结合垂直结构探讨高空与近地面 O₃ 的输送关系，同时评估区域贡献差异，进行总结并形成结构化段落输出。

Dify处理及模块输出

依次上传待分析图片

O₃敏感性和收支分析图

监测站高空过程分析图

监测站地面过程分析图

污染过程0时垂直剖面图

- 生成图像读取情况说明
本次共读取X张图片，按编号顺序依次为...

大模型融合分析

- 解析图像内容
- 提取关键信息
- 生成相关分析

输出模块4报告

空间分布与风场特征

从 NO₂ 浓度分布 (根据提供的空间场) 来看，高值集中在城区而不是沿海 (城区为排放集中区)，符合交通/工业源特点。
风场图形态 (从剖面风矢量及时间演变) 可见总体风向由西北转为东南，后期偏南——典型风场切变和转向。
O₃ 剖面显示早期西北侧/海上高值区向内陆输送，并在城区一带积聚，造成 O₃ 中度污染。
从 O₃ 浓度时间序列看，在夜间仍维持较高值，说明有残留积累。

垂直输送机制

模拟剖面图中，下午 (例如 8/11 12:00) 2000-m 高空 O₃ 浓度普遍高于地面，存在显著梯度。
风矢量有较强下沉分量，垂直通量方向指向地面，说明高空 O₃ 向下输送。
城区近地面层有低 O₃ 区，与高 NO₂ 削减作用吻合 (NO 的 titration 效应)。

区域贡献差异

8/11-8/12 期间，来自江苏与海洋输入占比较大，尤其 8/12 海洋占比在 50% 以上，为外来输送主导型。
其他日期如 8/08-8/09，长三角区域内本地省份 (上海、浙江) 贡献较多，区域贡献最大的一天是 8/12，外来输入 (尤其海洋+江苏) 超半数，明确为输入主导。

会话变量存储

P4 String

模块4图片处理解析结果

动态传递更新

模块5调用



模块4-与专家结果对比

相同点

- **强调了区域输送作用**

Dify报告：识别O₃自西北侧/海上向城区的长距离输送，且高空O₃下沉显著。

专家报告：8月10日O₃受苏州等地输入影响，11-12日存在跨区域及垂直输送。

- **突出了本地排放贡献**

Dify报告：城区NO₂高值区集中在交通/工业排放带，本地生成叠加输入导致城区O₃中度污染。

专家报告：城区NO₂、甲醛和PANs升高，说明本地生成作用存在。

- **输送与风场切变相互印证**

Dify报告：风场演变过程一致，表现为西北转东南再偏南的典型切变。

专家报告：风向由西北-东南-偏南转变，带动不同方向输入。

差异对比

- **NO₂空间分布差异**

Dify报告：NO₂高值集中在城区，未突出沿海高值分布。

专家报告：指出沿海港口与城区均出现NO₂高值，并强调沿海O₃传输向城区。

Dify图像解读偏向城区热点，专家能更高效的综合监测结果和固有模式，突出沿海高值。

- **垂直输送表述差异**

Dify报告：NO₂高值区在西南部工业/交通密集区，O₃高值偏东北与城区，二者空间错位。

专家报告：基于数值模式描述高层生成+下输作用，重点在市区高空O₃传至地面。

Dify直接依赖剖面图，量化了更多细节，专家用模式结果进行了宏观表述。

- **区域贡献差异**

Dify报告：量化不同日期区域贡献，明确8月12日为外来输入峰值日。

专家报告：强调10-12日主要为西北输入、南北输送及局地生成耦合，未具体量化输入比例。

专家更注重过程机理的总结，未量化比例；Dify基于识别图片给出了具体数值。



模块5-生成专报

污染专报生成

功能

自动化生成污
染过程专报



汇总各模块污
染过程识别与
成因研判片段



支撑业务化快
速响应

具体说明

1 基于模板与生成式大模型，将智能体分析结果转为结构化报告

2 内容包含模块1-4，并归纳总结

3 支持与专家报告进行一致性对比，发现差异并优化

依托数据源

模块1分析内容



模块2分析内容



模块3分析内容



模块4分析内容



模块5-结果输出

模块1-污染特征分析

上海市及长三角区域2023年8月10—12日臭氧污染过程综合专报

一、污染过程回顾（模块1——污染特征分析）

2023年8月10日至12日，上海市出现连续三天以臭氧（O₃）为首要污染物的区域性污染过程。

期间，空气质量指数（AQI）分别为约110（8月10日）、146（8月11日）和133（8月12日），O₃ 8h日均最大值分别约为175 μg/m³、225 μg/m³和195 μg/m³。

长三角区域层面，8月10日有7个城市O₃超标，主要集中在浙江中南部（丽水、台州、温州、衢州、金华等）；8月11日扩展至22个城市，覆盖长三角大部分中北部地区，多个城市达到中度污染；8月12日超标范围进一步扩大至31个城市，涵盖江苏、浙江、安徽及上海的大部分地级市，呈现明显的区域性连续高O₃过程。

模块2-天气形势与扩散条件

二、天气形势与扩散条件评估（模块2——天气形势与扩散条件）

污染发生期间，气象条件对臭氧累积极为不利，具体表现为：

气压场特征：8月10—12日处于台风外围及过境后的弱压场控制期，海陆气压梯度小，整体为静稳天气过程。日均气压在1001.5~1002.2 hPa波动，压力场较弱。

风场特征：

- 8月10日平均风速约1.81 m/s，风向多变，存在偏北及偏西气流切变；
- 8月11日平均风速降至1.27 m/s，为过程最弱风日，静风时段长，利于前体物累积；
- 8月12日平均风速回升至1.79 m/s，风向以偏南及偏东为主；
- 风向多次切换，出现海陆风交替、西北风/西风与东南风之间的辐合带，促进前体物及O₃在局地 and 跨区域范围内的输送与汇聚。

温湿度条件：上海市日最高气温持续攀升，分别为35.3℃、35.9℃、37.7℃，叠加长三角范围大面积36℃以上高温；高温强辐射加强了光化学反应速率。



模块5-结果输出

模块3-污染来源贡献

三、污染来源贡献解析（模块3——污染来源贡献）

结合区域特征与历史污染源解析模型结果分析，本次过程的来源特征如下：

行业贡献：

- 工艺过程排放（石化、化工生产）为主要贡献源，占比超过 30%；
- 工业燃烧及生产过程排放占比 20%~25%；
- 交通排放（尤其是沿江港口及市区主干道车辆排放）贡献比例接近 20%。

区域来源贡献：

- 8月10日：以西北向输入和海洋输送为主，海洋贡献率约 55%~57%，江苏贡献率约 22%~23%；
- 8月11日：污染峰值受海洋（约34%）、浙江（约26%）及江苏（约22%）多向输送叠加影响，同时本地光化学生成显著增强；
- 8月12日：以东南—西北向海风携带的区域输送为主，海洋贡献率约 57%，浙江贡献约 25%。

关键前体物：

- VOCs与NO_x均处于高浓度累积水平，过程期间VOCs峰值较常态高出2~4倍，NO₂峰值较背景值抬升约1倍；
- 淀山湖、临港等站点OBM诊断显示为 VOCs与NO_x协同控制型，控制策略需兼顾两类前体物减排。

结论与建议

结论与建议

本次8月10—12日污染过程是典型的区域性连续高温臭氧污染，空间扩展迅速，峰值高且持续时间长；

污染成因体现了本地累积+多方向区域输送的复合作用，高温、强辐合和静稳小风是关键气象背景；

防控建议在高温季节加强区域协同减排（VOCs+NO_x双控），尤其关注港口区、产业区与道路交通排放削减，同时加强台风过境后的气象条件研判与预测预警，提前启动应急减排措施。

模块4-污染机理解析

四、污染过程机理分析（模块4——污染机理）

综合监测数据和模拟分析，8月10—12日O₃污染形成机理如下：

本地生成与区域传输并重

- 8月10日，本地生成有限，以上游江苏及西北方向O₃和前体物输入为主；
- 8月11日清晨静稳环境下，前体物在市区累积明显，午后东南风将沿海高O₃带输送入城区，叠加本地VOCs高值光化学反应，导致峰值快速攀升并延续至夜间；
- 8月12日偏南气流主导，杭嘉湖平原及杭州湾污染带经东南风向北输送，对上海城区产生显著影响。

气象驱动机制

- 弱风及多次风向切变形成辐合带，有利于臭氧及其前体物在局地富集；
- 台风过境后残余环流和海陆风交替，使垂直方向出现高空向地面臭氧下输现象，加剧地面浓度；
- 高温强辐射条件下，O₃生成速率显著提高，尤其8月11—12日形成了典型的高温-弱风-辐合的强本地生成条件。

传输特征

- 8月10日：西北向 → 东南向传输为主，贡献主要来自江苏内陆与近海；
- 8月11日：南北相互输送明显，城区O₃浓度峰值受杭州湾及沿沪海岸线污染带的连续输入推升；
- 8月12日：东南向 → 西北向传输明显，受浙江北部污染带及海洋高O₃气团影响显著。

第四部分

Next Plan

下一步研究计划



下一步研究计划

开发数据驱动模型



基于气象和浓度的同化数据集，开发数据驱动的空气质量管理模型，**实现又快又准的源-受体响应关系。**

自主调用工具



针对排放方案调控，实现大语言模型智能体**自主调用相关数值模型和数据驱动模型**进行业务分析。

智能筛选管控方案



基于各类工具和模型，自主调用数学优化算法，**快速筛选并比对不同管控措施。**



下一步研究计划



科研产出

发表高水平期刊论文
1-2 篇

促进大模型与环境
科学的交叉融合



业务检验

针对实际污染过程，
不断完善智能体功能与
提高稳定性

为公众健康防护提供
智能支撑



业务部署

在环境监测部门正式
部署智能体平台

为区域环境管控提供
决策支持



致谢

感谢国家自然科学基金的支持！

感谢上海市环境监测中心的支持！

感谢上海交通大学思源一号超算平台的计算支持！

恳请各位专家提出宝贵意见！