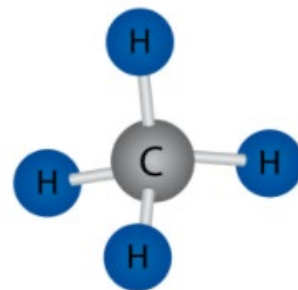


监测温室气体甲烷排放

从全球到点源

张羽中

zhangyuzhong@westlake.edu.cn



课题组学生/博后



梁若思 王馨陆 赵淑韬 赵爽 王锐 陈维 张佩璇

国内外合作者



方双喜 林溢 陈圆圆



江飞 陈辉林 张永光



Robert Parker,
Hartmut Boesch



Daniel J. Jacob



卢骁



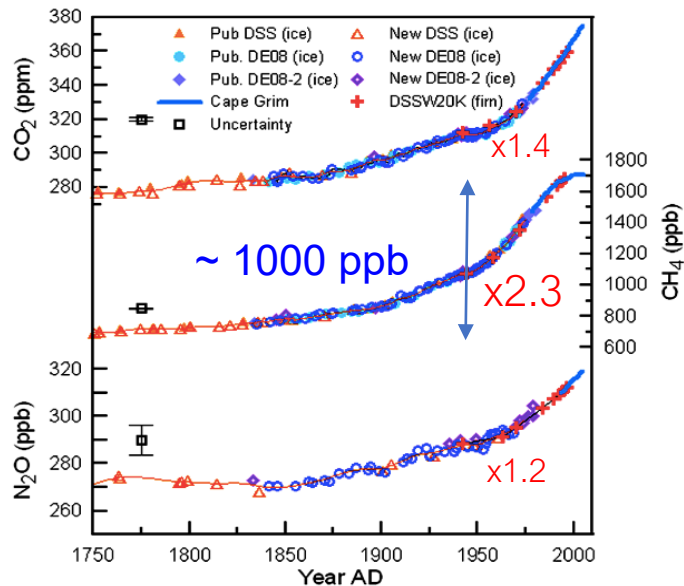
毛慧琴 陈翠红



Joannes D. Maasackers
Alba Lorente, Ilse Aben

温室气体甲烷

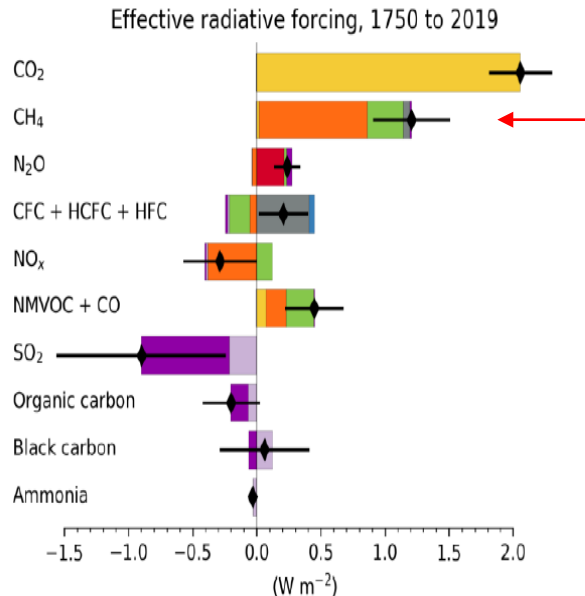
Greenhouse gases in last 300 years



Ice core record

MacFarling Meure et al., GRL, 2006

Radiative forcing since industrialization



全球升温潜势
Global Warming
Potential

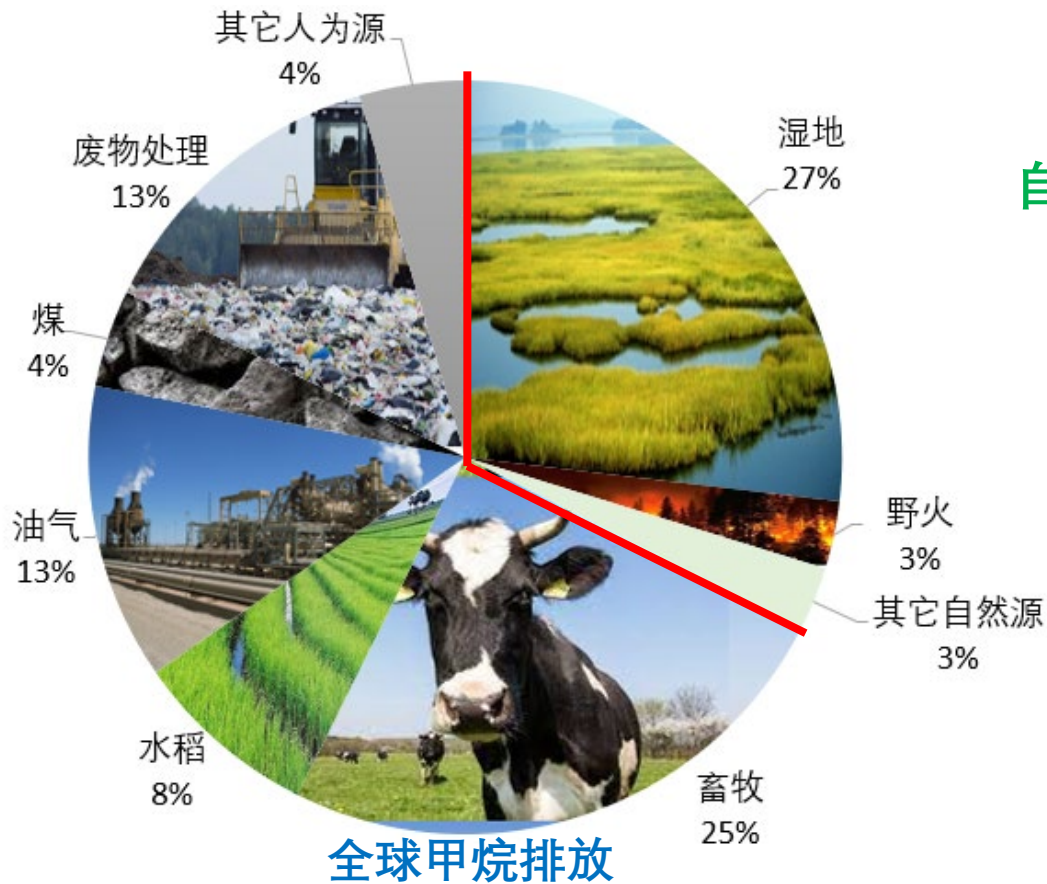
单位质量甲烷吸
收红外能量的能
力是二氧化碳的
30倍 (100年尺度)

IPCC AR6 2021

大气甲烷的源

人为源

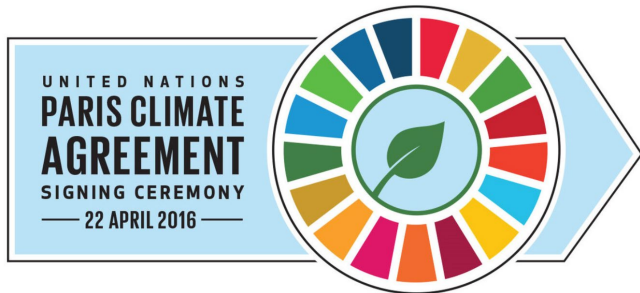
能源
农业
废物处理



自然源

温室气体减排

应对气候变化



中国的承诺

二氧化碳排放力争于**2030年前达到峰值**

努力争取**2060年前实现碳中和**

“十四五”时期 环境领域主要目标

● 推动绿色发展，促进人与自然和谐共生

坚持绿水青山就是金山银山理念

持续改善环境质量，基本消除重污染天气和城市黑臭水体

落实2030年应对气候变化国家自主贡献目标

加快发展方式绿色转型

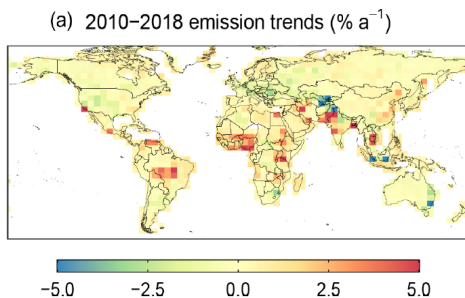
首次提出
控制甲烷
等非二氧化碳
温室气体

《2021两会政府工作报告》

甲烷排放——全球到点源

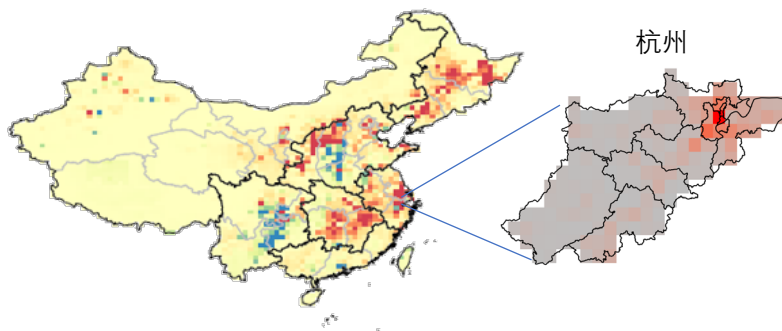
全球

考察全球浓度变化的驱动因素
考察自然源和汇的反馈



国家/区域

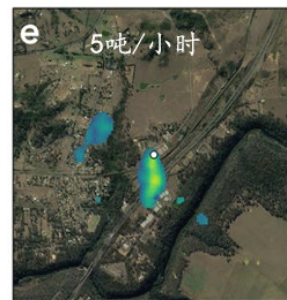
支持区域政策制定
理解控制区域排放源的因素



城市

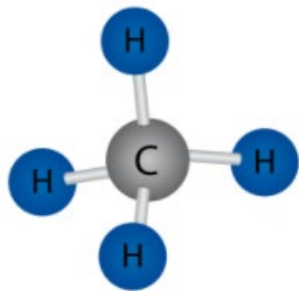
点源/设施

发现异常排放点源
采取维修、监管措施



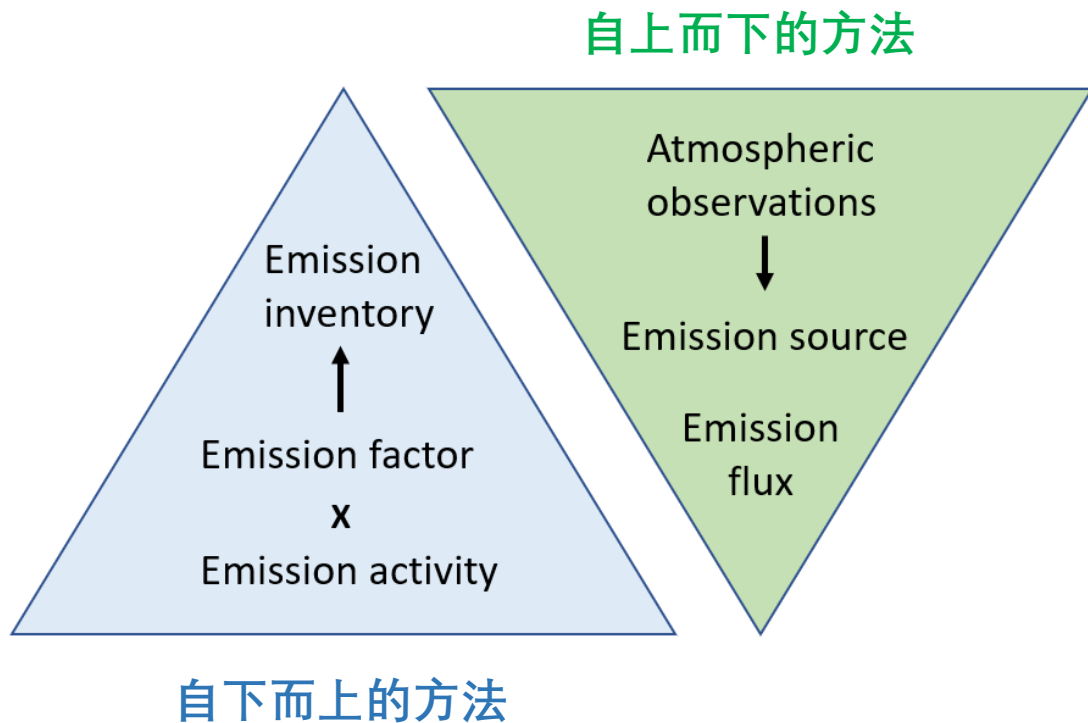
不同时空尺度之间信息的整合

提纲



1. 全球及中国甲烷排放反演
2. 点源甲烷排放的卫星监测

温室气体排放核算



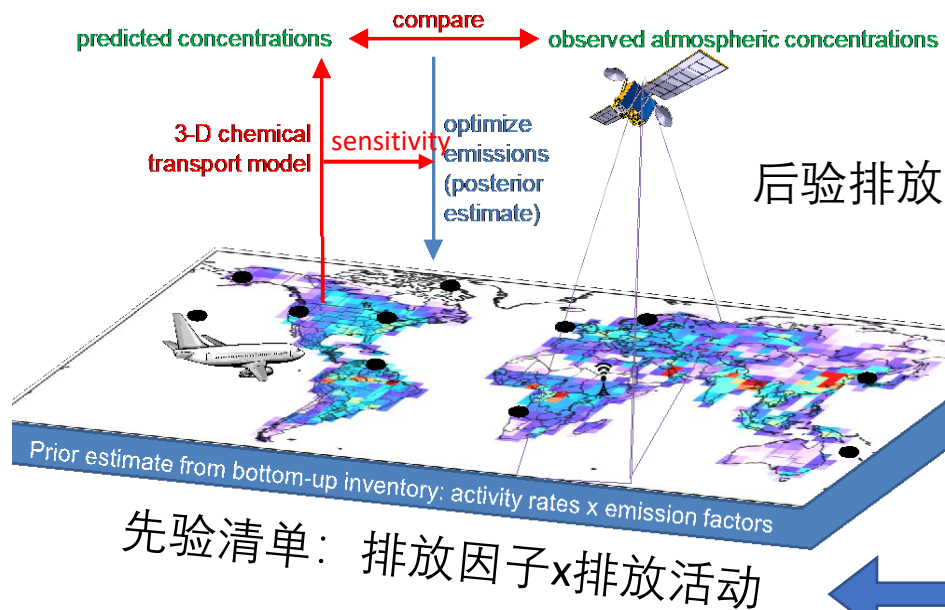
大气甲烷来源复杂

无组织排放
受环境影响因素影响
时空变异大、关系复杂

自下而上方法不确定性大

自上而下方法重要性更凸显

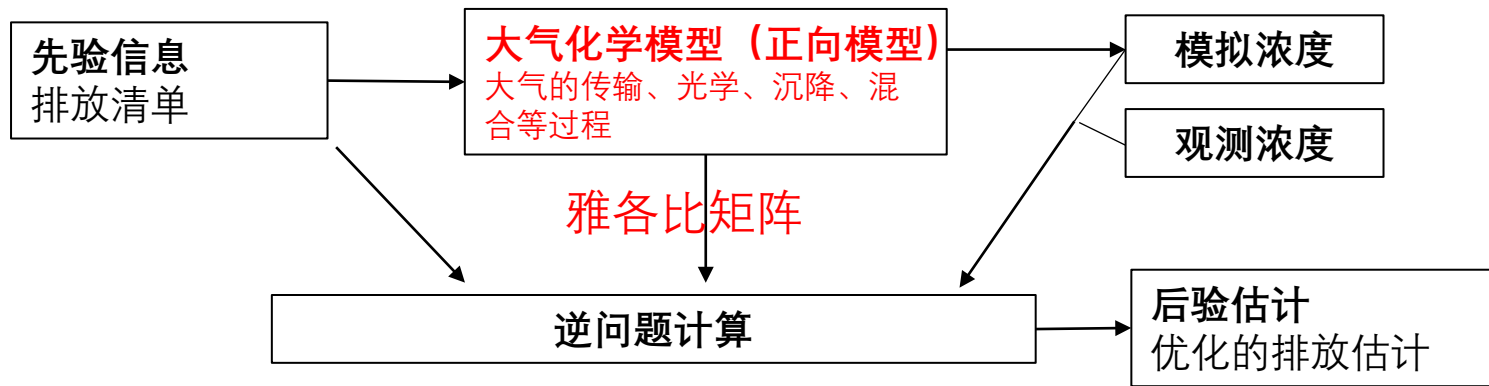
通过大气观测估算排放



清单校核

1. 分析后验排放的不确定性
2. 分析不一致的原因
3. 评估排放现状和减排效果

排放反演：从浓度到排放



$$J(x) = (x - \underline{x}_a)^T \mathbf{S}_a^{-1} (x - \underline{x}_a) + \gamma (\underline{y} - \mathbf{K}x)^T \mathbf{S}_0^{-1} (\underline{y} - \mathbf{K}x)$$

先验信息

先验信息的不确定度

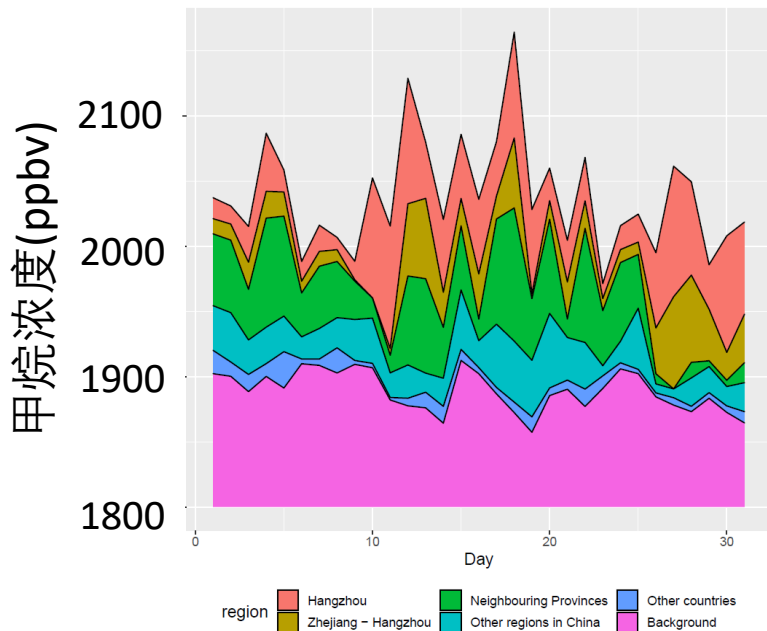
卫星观测

观测和模型的不确定度

正向模型：观测对排放的敏感度

浓度观测与排放之间复杂的关系

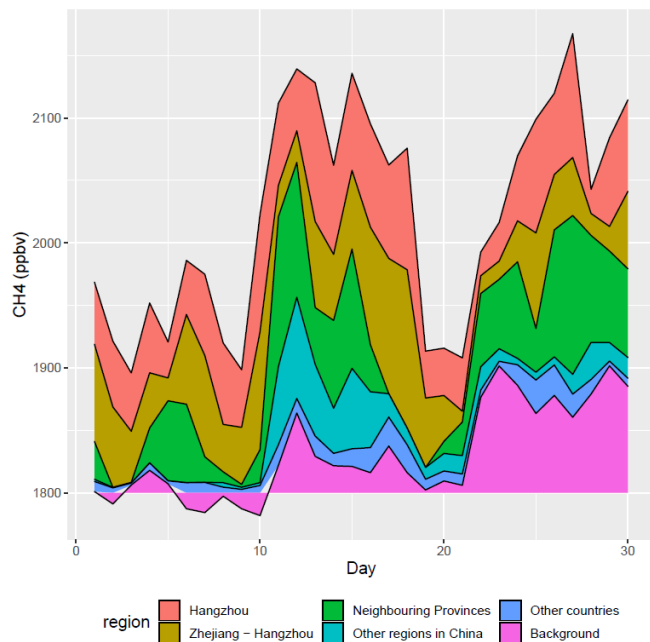
2010年3月



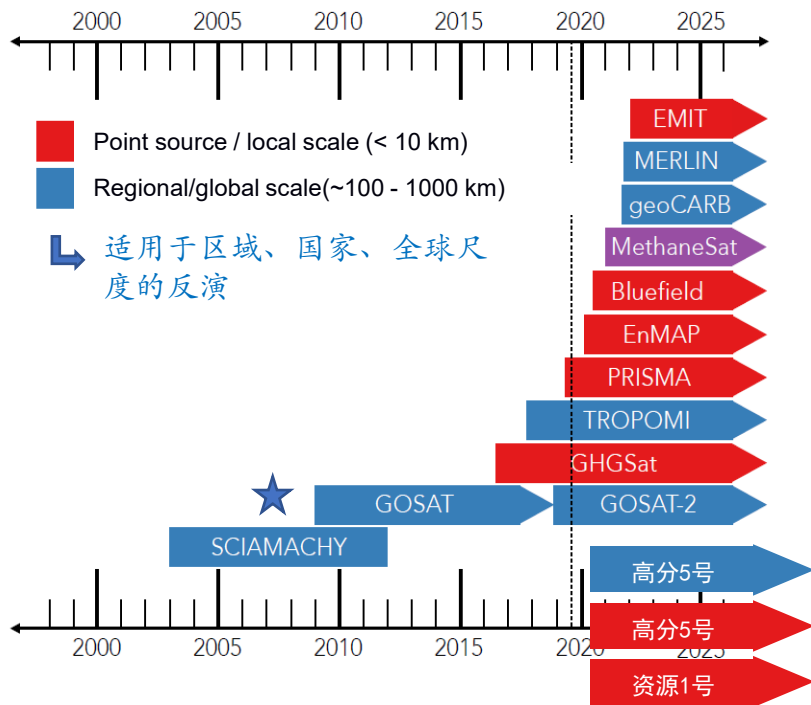
杭州
本地
排放

全球
背景

2010年9月



发展迅速的卫星观测能力



利用甲烷在太阳红外波段吸收

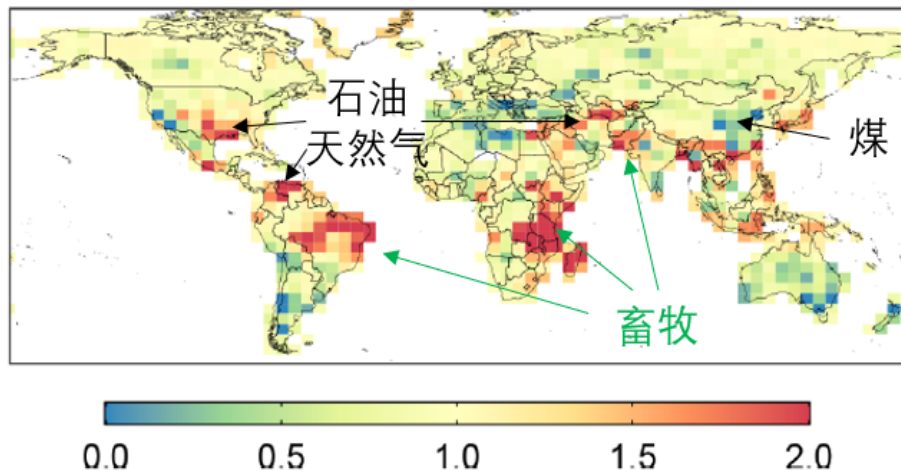
1.65微米, 2.3微米

卫星观测覆盖全球、连续运行

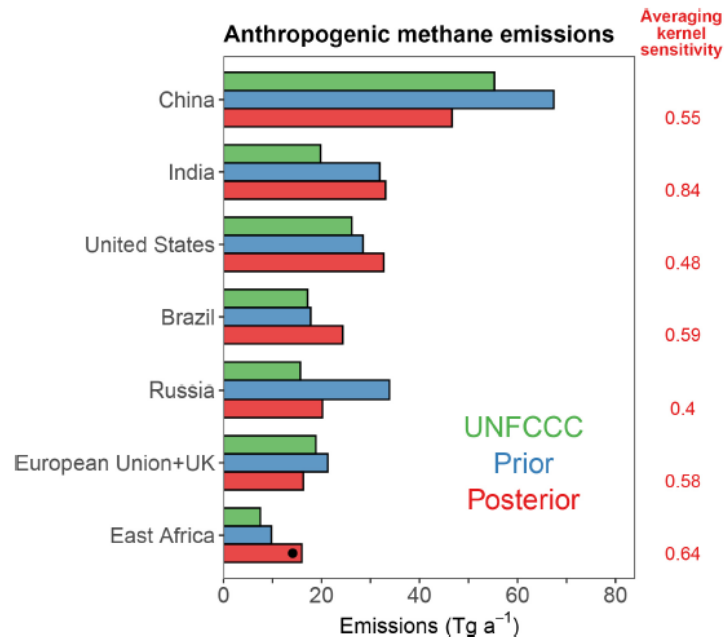
地面观测稀疏且分布不均匀
与地面观测互补约束排放

研究1：全球2010-2018甲烷排放分布和趋势

人为源后验排放/先验排放比例



验证国家清单

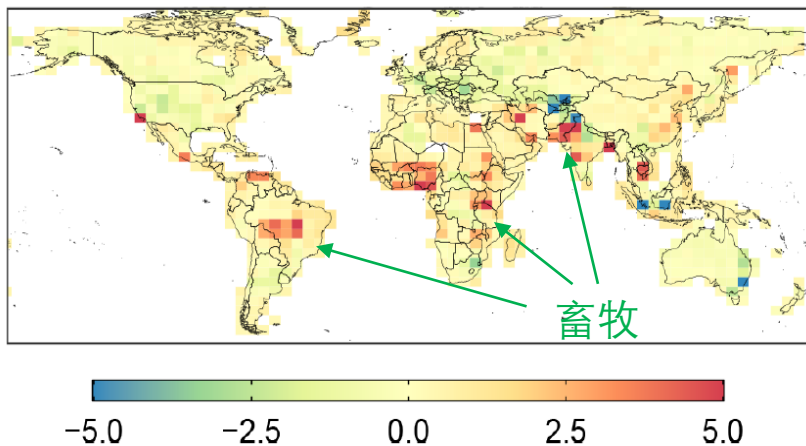


Zhang et al., Atmospheric Chemistry & Physics, 2021

研究1：全球2010–2018甲烷排放分布和趋势

2010–2018 GOSAT全球甲烷排放增长趋势

人为源排放增长率 (%)



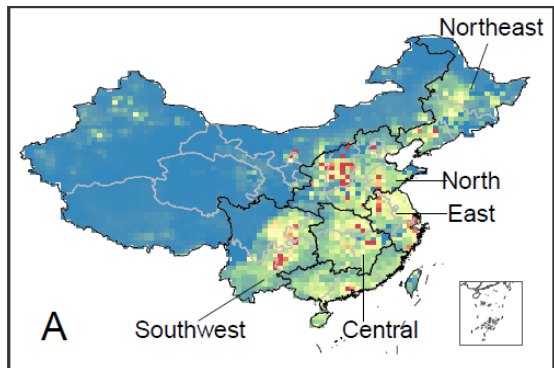
畜牧业增长最快的国家 (UNFAO)

| Country | Trend (million head per year) |
|-----------|----------------------------------|
| Pakistan | 1.4 |
| Ethiopia | 1.2 |
| Tanzania | 1.1 |
| Brazil | 0.9 |
| Argentina | 0.7 |

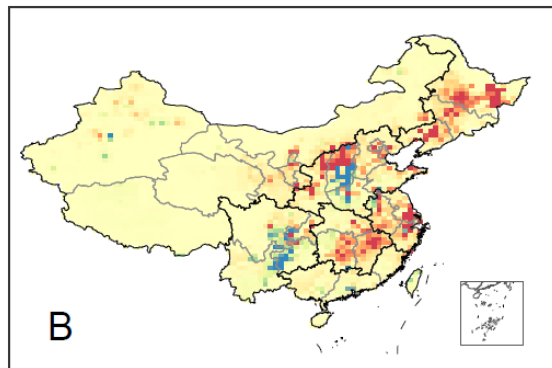
Zhang et al., 2021

研究2：中国甲烷排放高分辨率反演

2010–2017 mean methane emissions

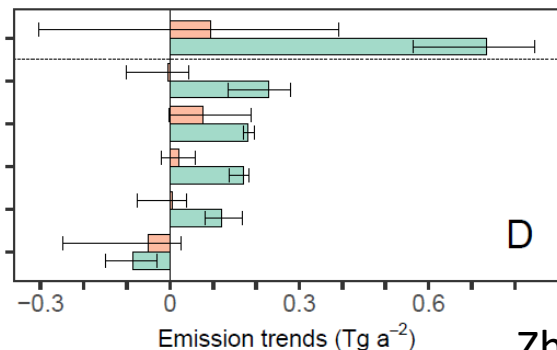
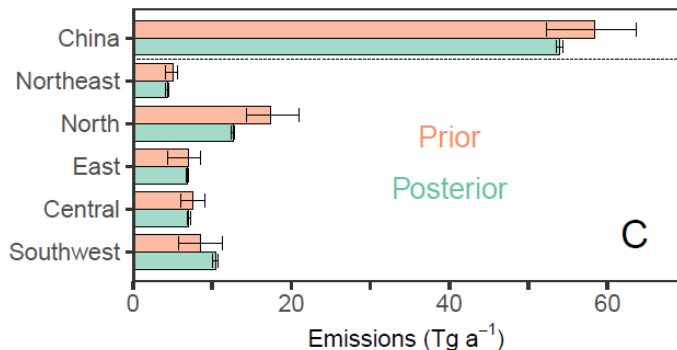


2010–2017 methane emission trends

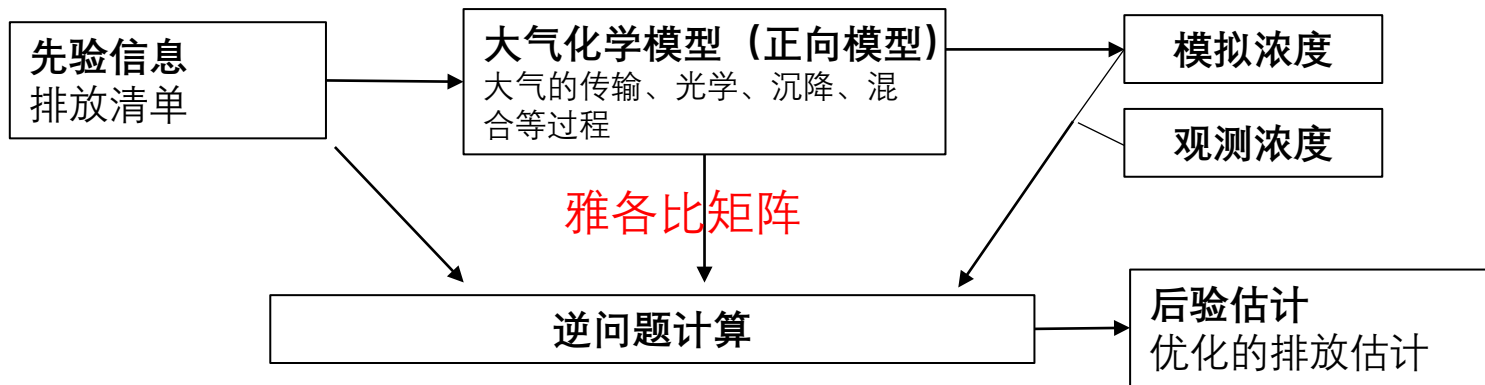


$\text{Mg km}^{-2} \text{a}^{-1}$ 0 10 20 30 40 50

$\text{Mg km}^{-2} \text{a}^{-2}$ -0.8 -0.4 0.0 0.4 0.8

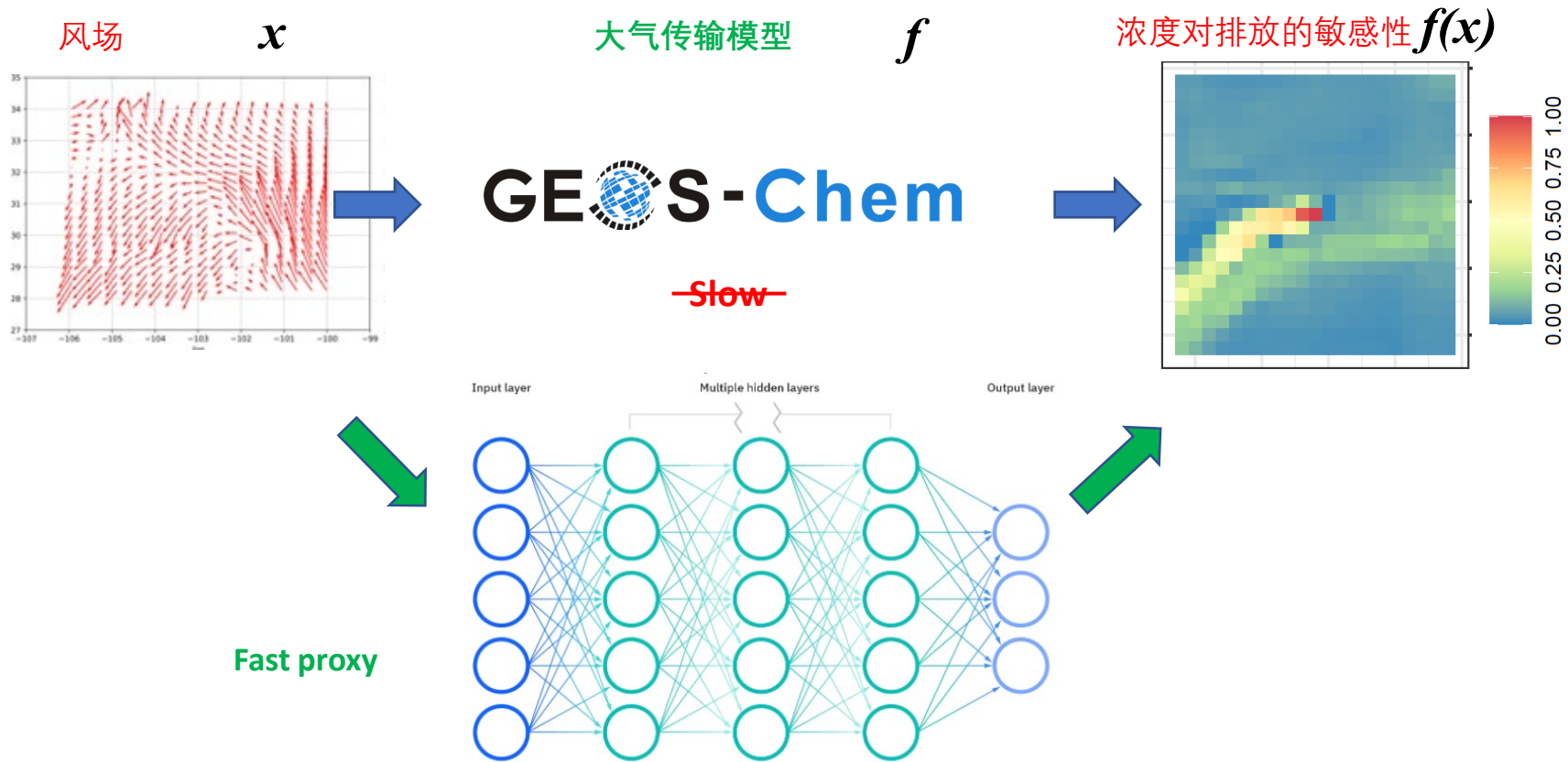


业务反演系统的挑战

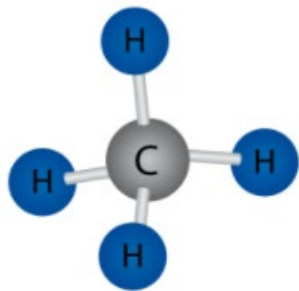


- 传输模拟计算量较大
- 计算量随模拟、求解分辨率提高而迅速提高

加速反演计算

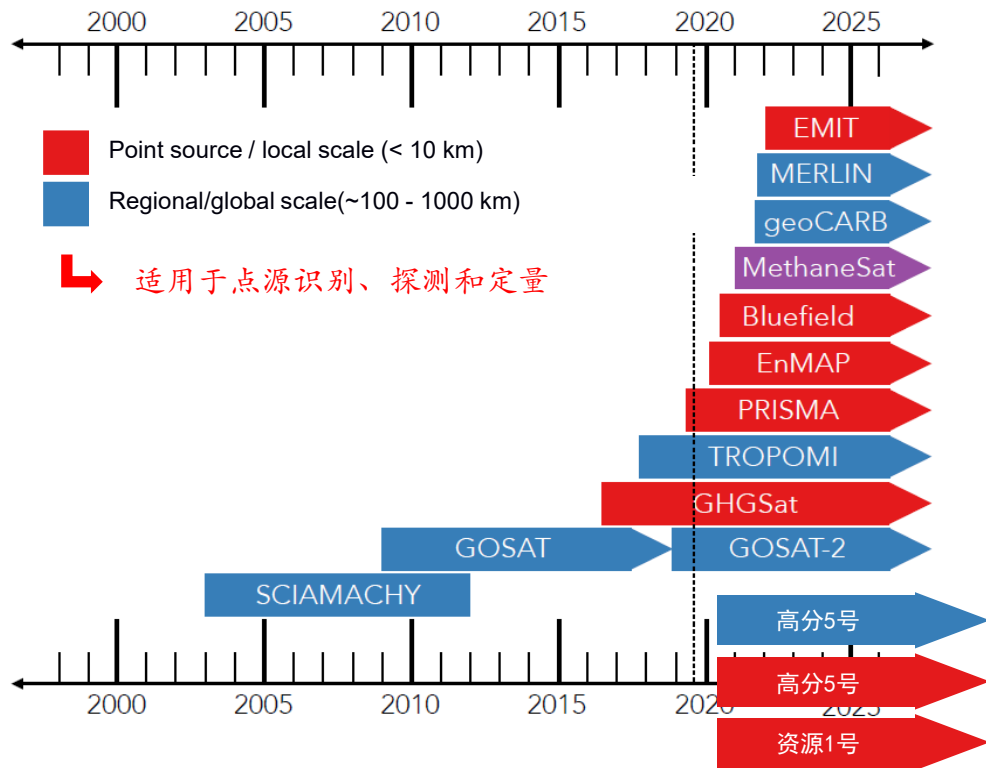


提纲



1. 全球及中国甲烷排放反演
2. 点源甲烷排放的卫星监测

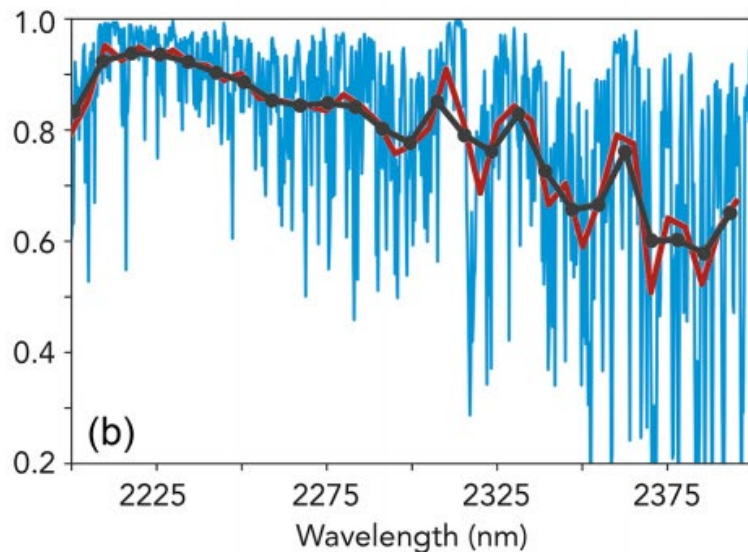
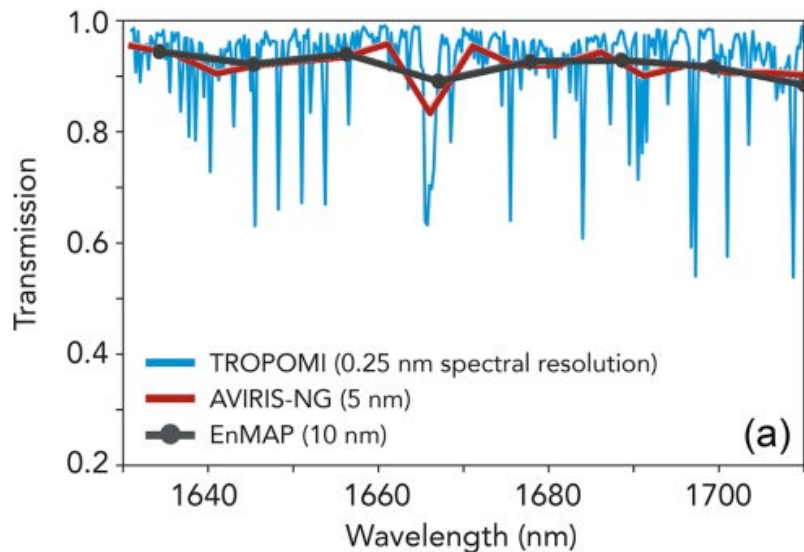
研究2：基于卫星遥感的点源探测



点源探测的原理：光谱分辨率和空间分辨率的权衡

目标不是获得准确浓度，而是探测浓度的大幅波动

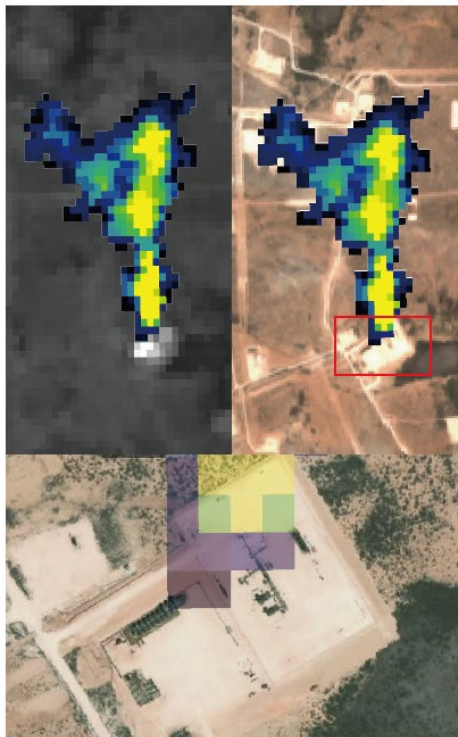
SWIR transmission spectra for different resolutions and bands



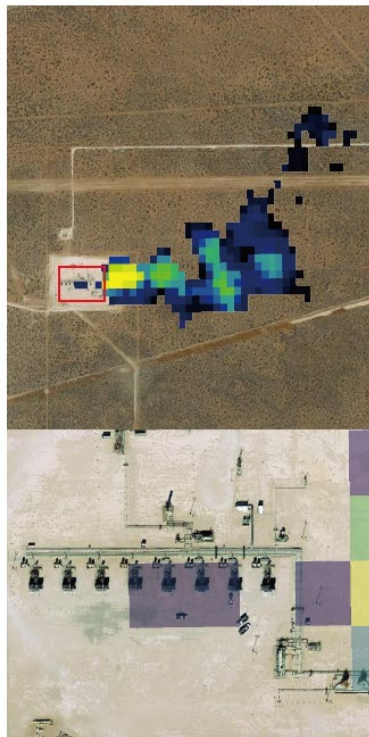
研究3：油气点源探测 - Permian Basin

*Irakulis-Loitxate et al.,
Science Advances, 2021*

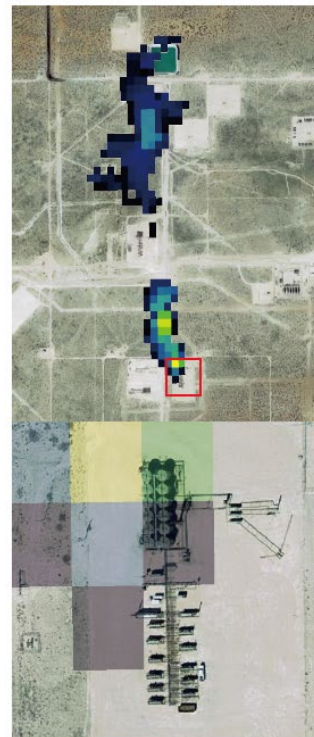
Flaring emission



Compressor emission



Tank battery emission



>500 kg/hr

探测到 19个大
型点源

占区域排放总量
30-50%

研究4：城市垃圾填埋场点源探测

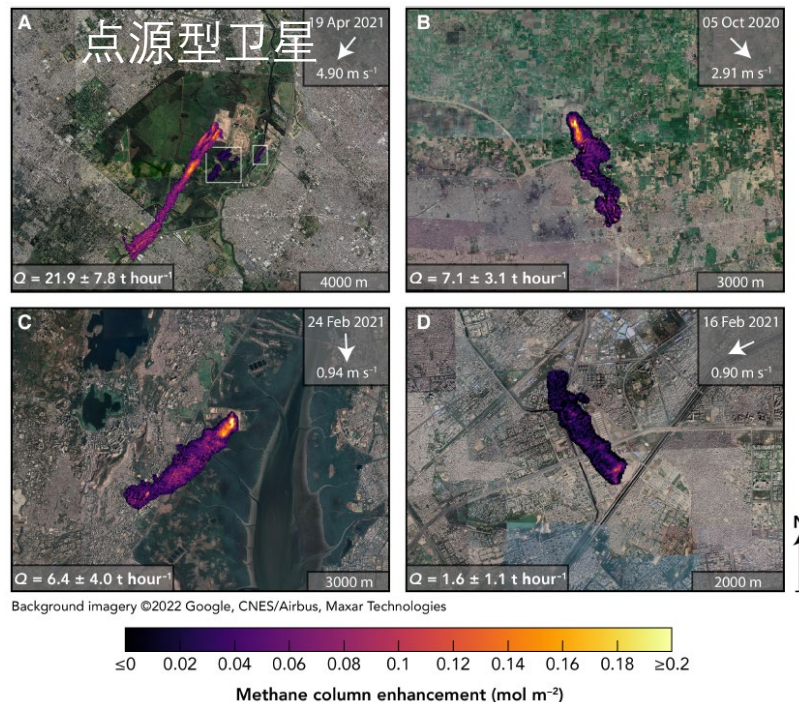
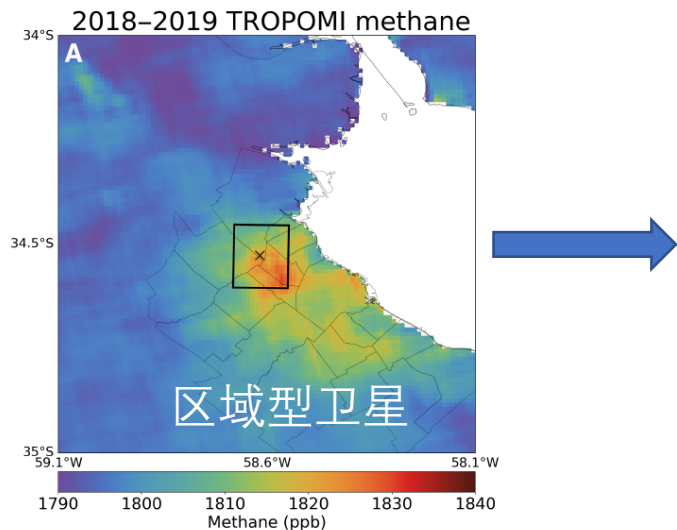
Maasackers et al.,
Science Advances, 2022

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

ATMOSPHERIC SCIENCE

Using satellites to uncover large methane emissions from landfills

Joannes D. Maasackers^{1*}, Daniel J. Varon^{2,3}, Aldis Elfarsdóttir^{1,4}, Jason McKeever³, Dylan Jervis³, Gourav Mahapatra¹, Sudhanshu Pandey^{1,5}, Alba Lorente¹, Tobias Borsdorff¹, Lodewijk R. Foorthuis¹, Berend J. Schuit^{1,3}, Paul Tol¹, Tim A. van Kempen¹, Richard van Hees¹, Ilse Aben¹



(A) Norte III (Buenos Aires, Argentina), (B) Lakhodair (Lahore, Pakistan), (C) Kanjurmarg (Mumbai, India), and (D) Ghazipur (Delhi, India) landfills in 2020 and 2021.

利用红外高光谱探测点源的技术路线

1. 计算甲烷浓度的变化量 (ΔX_{CH_4})

从高/多光谱信号中提取甲烷浓度信息

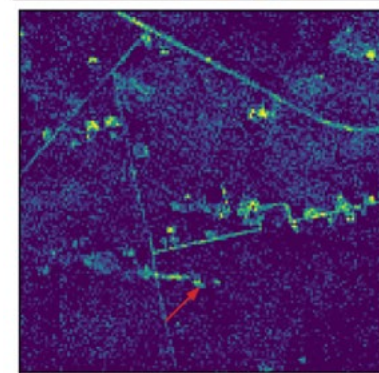
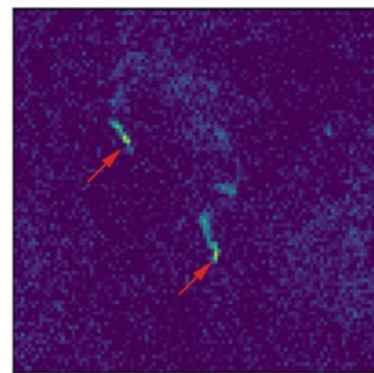
2. 识别甲烷烟羽

从甲烷浓度场中分辨出有效信号、定位排放源位置

3. 排放源判定

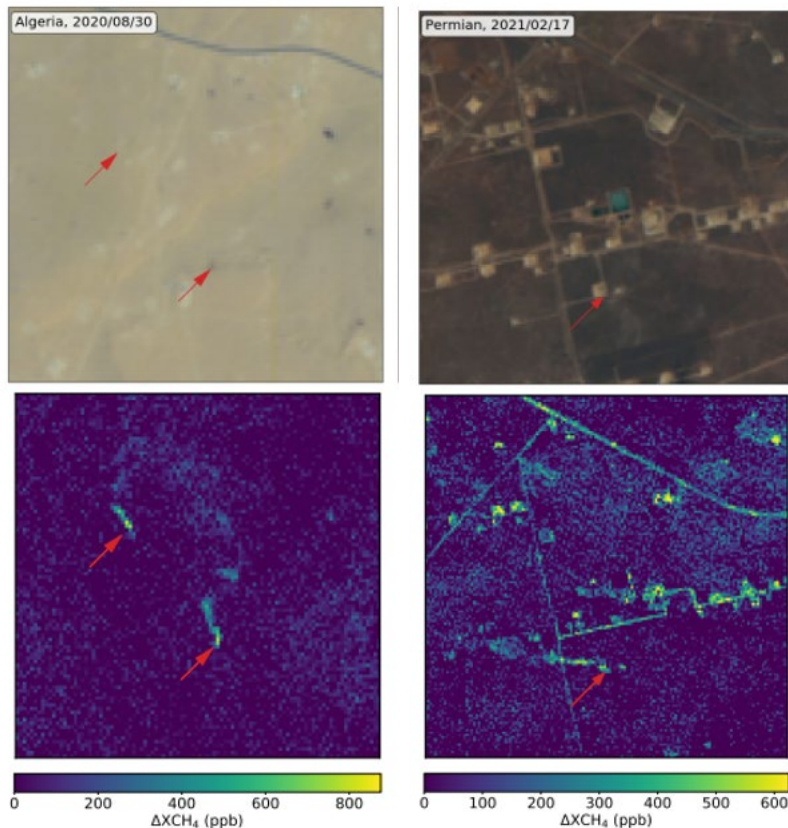
利用辅助信息判断排放源

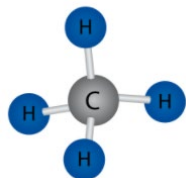
4. 排放通量估算



识别甲烷烟羽的挑战

- 烟羽形态多变
- 其它信号干扰，如地物
- 样本不平衡：烟羽出现概率极小，手工识别出来的例子很少
- 如何结合遥感图像信息？





总结

- 甲烷是强势的温室气体，控制甲烷排放是减缓全球变暖的必要措施。
- 结合多平台观测数据，获得从全球到区域到城市到点源各个尺度上的甲烷排放信息，是辅助甲烷减排的有力工具。
- 甲烷监测技术业务化运行的难点有望利用AI技术解决。



西湖大學

2018年10月成立 位于杭州
理学院、工学院、生命科学学院

西湖大學大氣環境研究組

<https://atmosphere-westlake.com>

