

2024年长三角空气质量管理技术研讨会

城市道路移动源高排放快速识别方法研究及对路边空气质量影响

宁治 教授

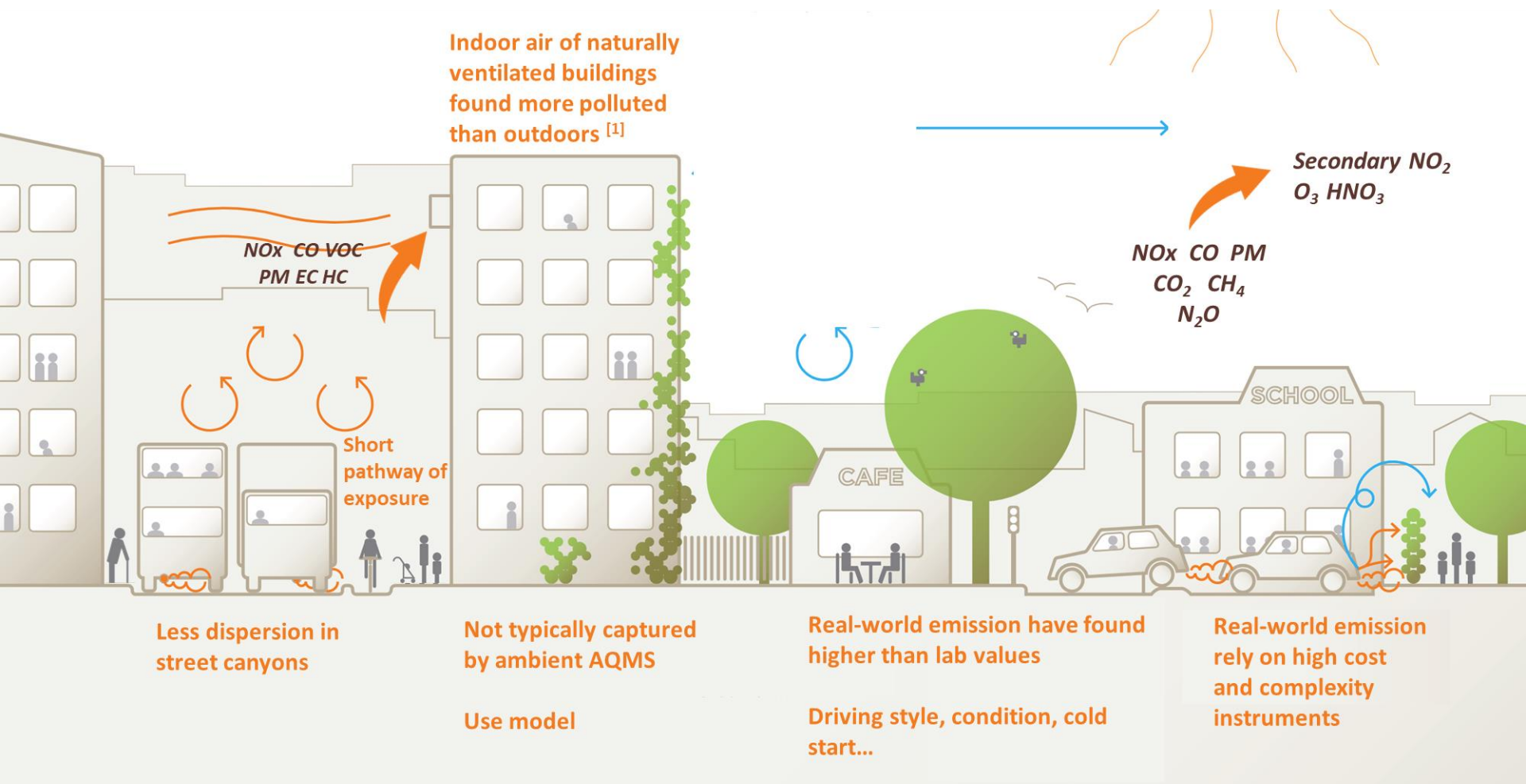
香港科技大学环境与可持续发展学部

Professor, Division of Environment and Sustainability,

Hong Kong University of Science and Technology

Email: zhining@ust.hk

移动源排放与城市空气质量管理



[1] Tong, Zheming, et al. "Quantifying the impact of traffic-related air pollution on the indoor air quality of a naturally ventilated building." *Environment international* 89 (2016): 138-146.

道路车辆排放监测方法

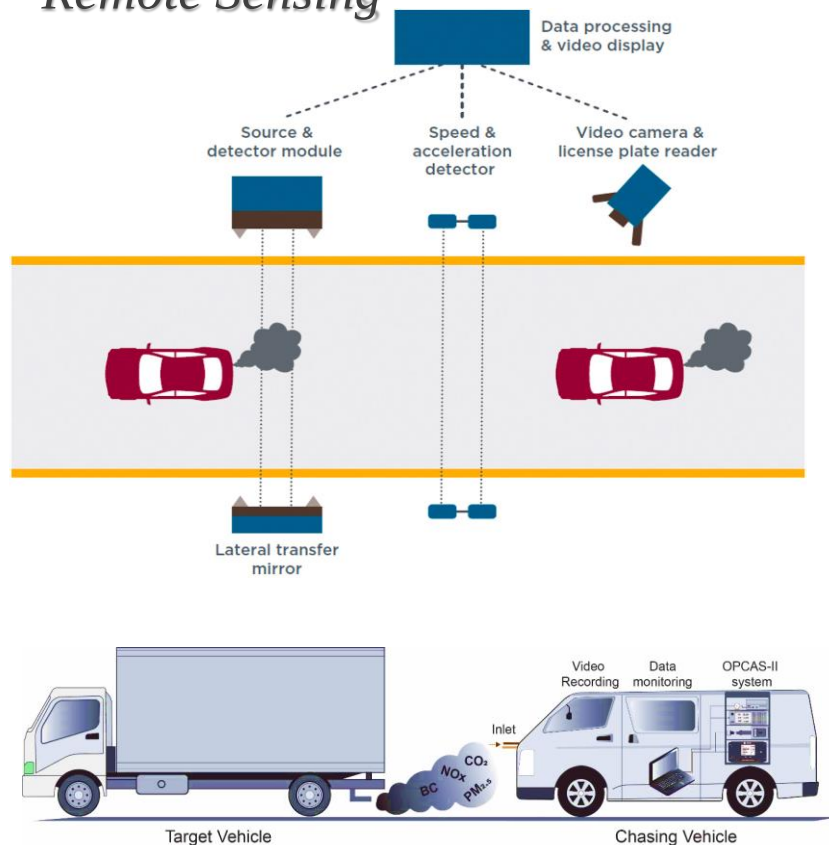
1. **PEMS（便携式排放测量系统）**：该系统安装在车辆上，在行驶过程中实时测量排放。
2. **遥感**：使用固定传感器在非直接接触的情况下检测过往车辆的排放。
3. **烟羽车辆追踪法**：测量车辆跟随另一辆车收集排放数据。
4. **底盘测控**：使用标准化测试在受控环境中测量排放。
5. **移动排放实验室**：配备先进排放测量技术的专用车辆。
6. **机动车烟羽嗅探传感器网络 (Vehicle Plume Sniffing Sensor Network)**：在特定位置安装固定传感器，以监测随时间变化的排放。

道路车辆排放监测方法

PEMS



Remote Sensing



- 每一种道路排放测量方法都有其优缺点
- 开发一种高效，自动的监测方式，作为现有方法的补充，自动地，高通量识别现实世界的高排放者

道路车辆排放监测方法

■ 加州ARB利用排放测试棚来实现快速高排放识别



[ABOUT](#) [OUR WORK](#) [RESOURCES](#) [SERVICES](#) [RULEMAKING](#) [NEWS](#) [EQUITY](#)

Measuring Real-World Heavy-Duty Truck Emissions

Heavy Duty emissions at the Port of Los Angeles & Cottonwood

CATEGORIES

Topics Research, Freight & Goods Movement

Programs Mobile Source Emissions Research Program, Carl Moyer Memorial Air Quality Standards Attainment Program

Type Research

CONTACT

Research Division

Email research@arb.ca.gov

Phone (916) 445-0753

Motivation

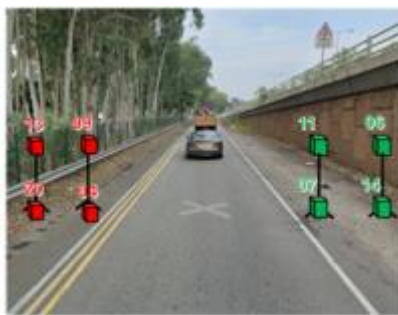
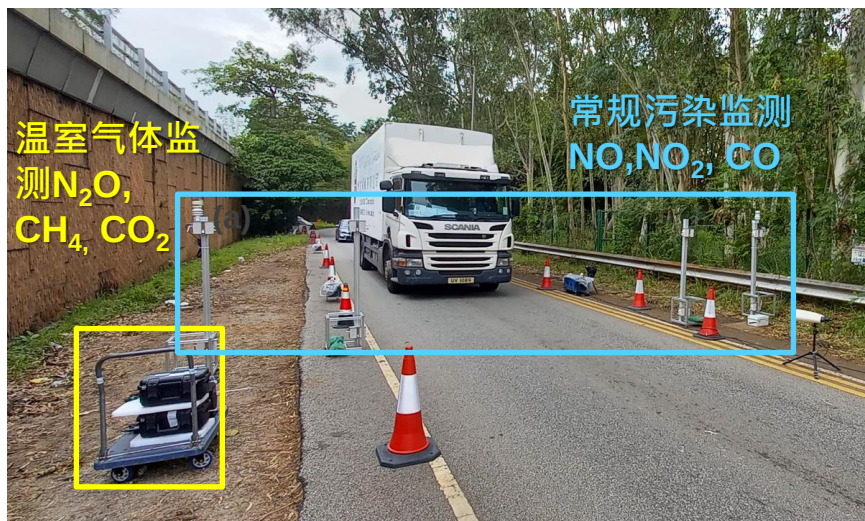
California's Diesel Risk Reduction Plan, adopted in 2000, calls for an 85% reduction in diesel particulate matter (PM) emissions by 2020. To achieve this goal, certification emissions standards for new heavy-duty (HD) engines have been tightened, and in-use regulations such as the Truck and Bus Rule have required existing HD trucks to be retrofit to meet these standards. To monitor the effectiveness of these efforts, CARB has supported field campaigns that measure real-world emissions from heavy-duty vehicles.



Heavy-duty diesel truck entering the plume capture facility.

机动车烟羽嗅探传感器网络 VPSSN (Vehicle Plume Sniffing Sensor Network)

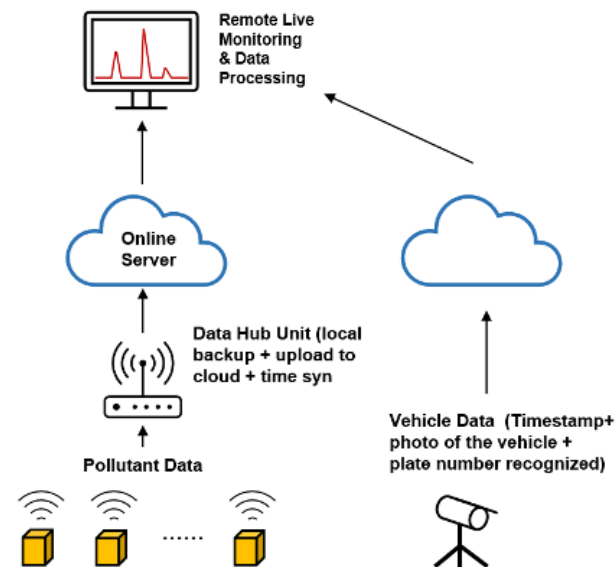
- 路边监测网络由单个传感器节点组成，但这些节点彼此并非独立
- 网络数据组算法旨在描述传感器节点之间的固有关系



在香港和印度案例



- 路边传感器网络用于道路排放贡献/来源分配，以改善路边空气质量
- 获取城市级别车队排放因子，尤其适用于高排放车辆



机动车烟羽嗅探传感器网络 VPSSN (Vehicle Plume Sniffing Sensor Network)

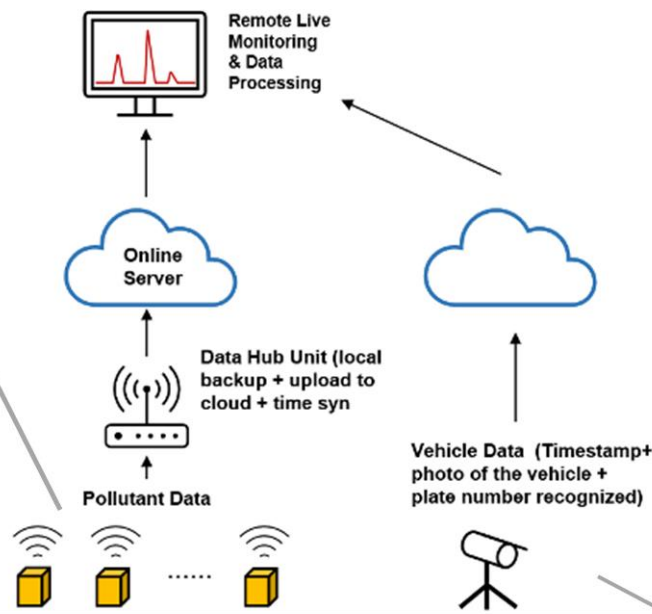
车辆信息获取和机器学习车型识别



Photo of a truck passing the YL site



Photo of the roadside GHG analyzers



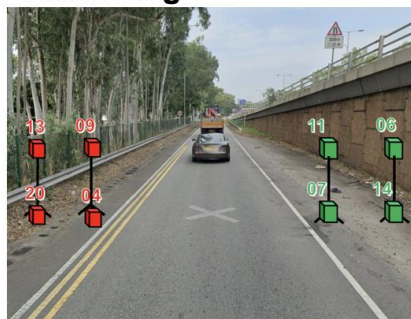
Examples of the output from the customized YOLOv8 model, with the confidence value as marked at the top of each detected vehicle



Photo of the plate number camera and the user's interface

香港的路边采样点

Yuen Long 元朗



Tsuen Wan 荃湾



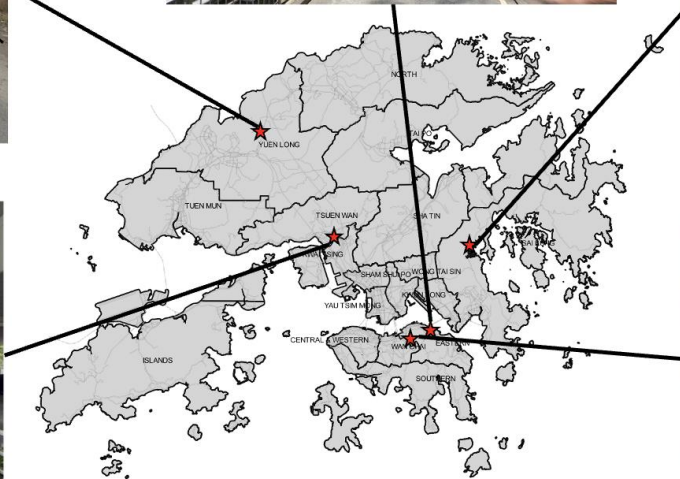
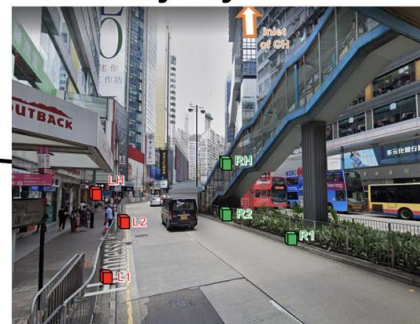
North Point 北角



Sai Kung 西贡



Causeway bay 铜锣湾



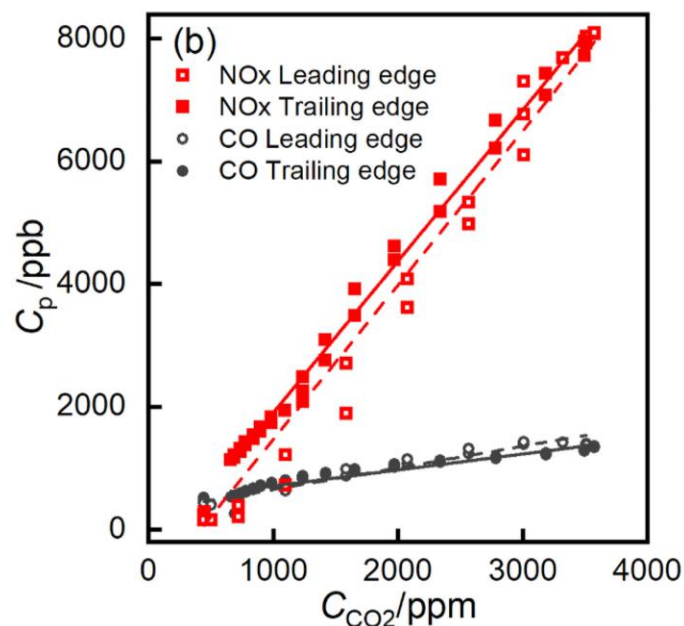
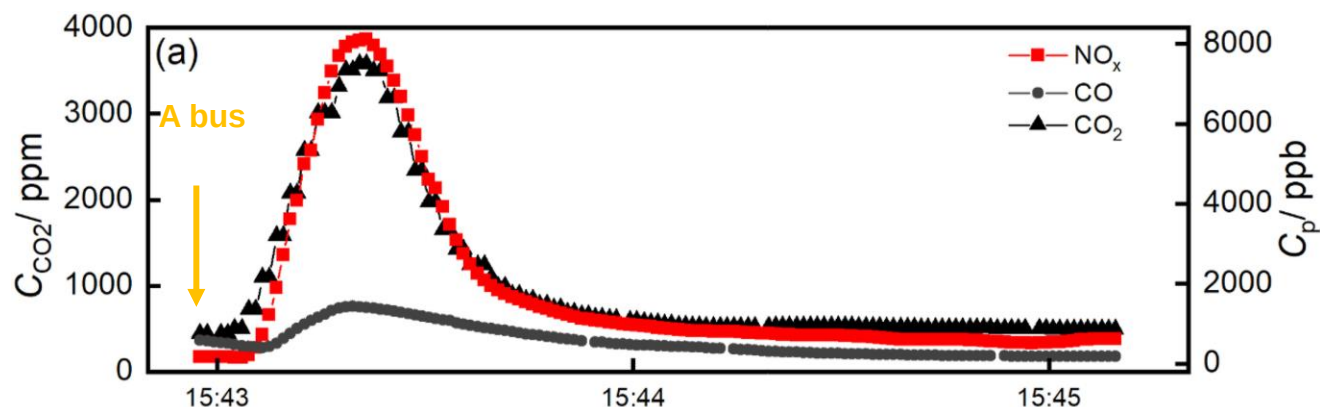
- 包括典型街道峡谷，高速路，乡村道路等路段
- 在多种道路环境，车辆组成的路边监测以避免单个采样点造成偏差

监测活动总结

取样点及缩写	荃湾 (TW)	元朗 (YL)	西贡 (SK)	北角(NP)
简要描述	集装箱码头附近的干线道路	深圳边境附近的主要道路	农村道路	混合用途城市区域的街道峡谷
测量参数	NO, NO ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , N ₂ O, Wind	NO, NO ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , N ₂ O, Wind	NO, NO ₂ , CO, CO ₂ , O ₃ , PM _{2.5} , CH ₄ , C ₂ H ₆ , N ₂ O, Wind	NO, NO ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ , N ₂ O, Wind
平均车辆密度 (每小时)	662	239	89	218
平均车速 (公里/小时)	19.9	45.3	41.9	31.2
环境温度(°C)	25.2 - 39.5 (37.2)	27.71- 37.29 (33.4)	15.6 - 33.9 (20.5)	16.2 - 28.1 (21.0)
相对湿度(%)	48.8 - 67.0 (54.3)	48.8 - 86.5 (64.7)	27.8 - 94.4 (62.3)	40.01 - 67.09 (56.27)
平均风速(m/s)	0-5.22 (1.11)	0-3.5 (0.29)	0 - 5.1 (0.49)	0.0 - 4.98 (0.47)
监测时间	September, 2023	August, 2023	January, 2023	February, 2024
取样持续时间(from 9am - 6pm)	4 days	4 days	5 days	4 days
经过车辆数量	14056	6208	4591	9401

基于瞬时尾气峰值的EF估算

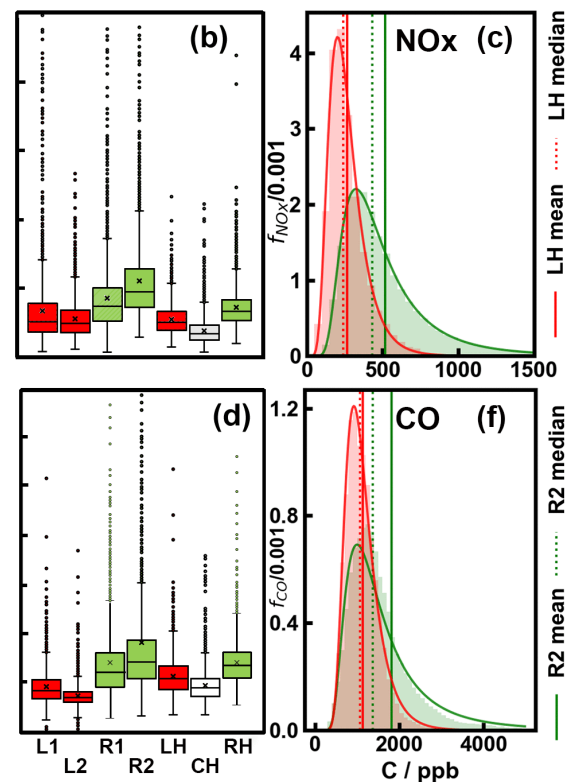
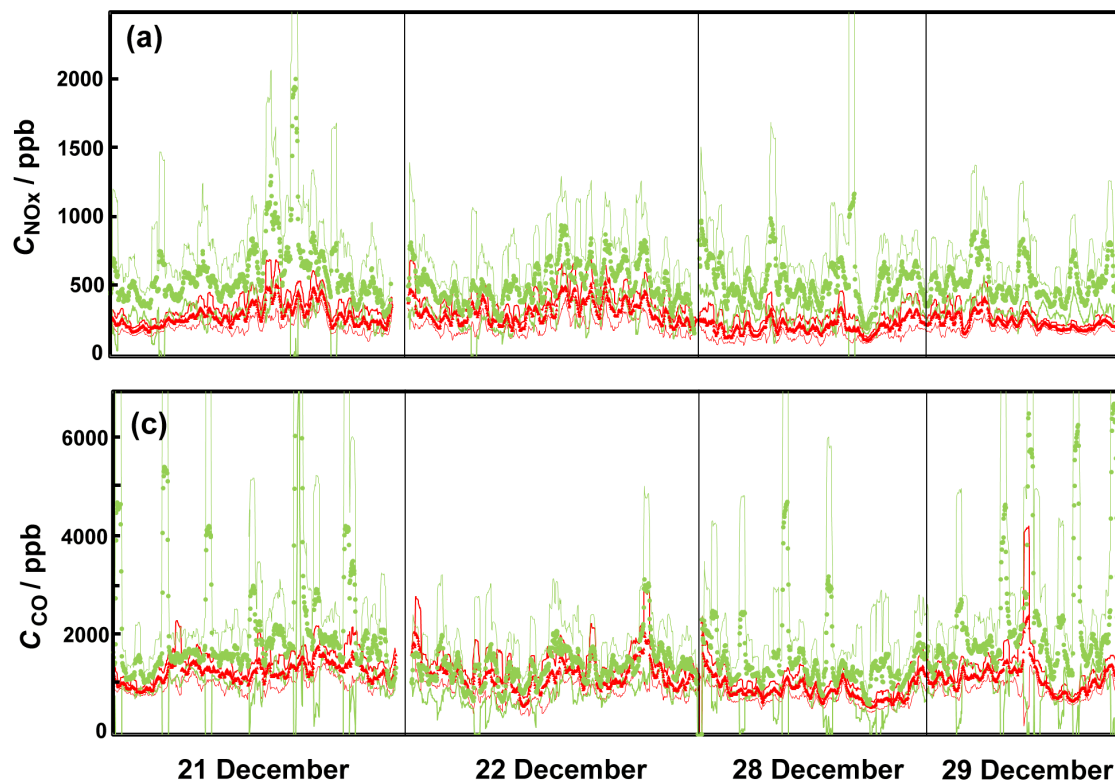
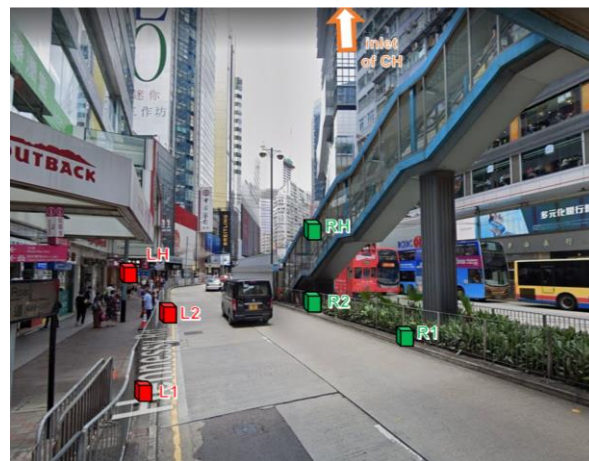
通过路边尾气羽流估算排放因子



- 从排气的“快照”估算排放因子
- 差分方法，独立于背景
- 特别适用于高排放车辆
- 基于人工智能的智能车牌识别可以将数据记录到数据库中，用于特定和个体排放

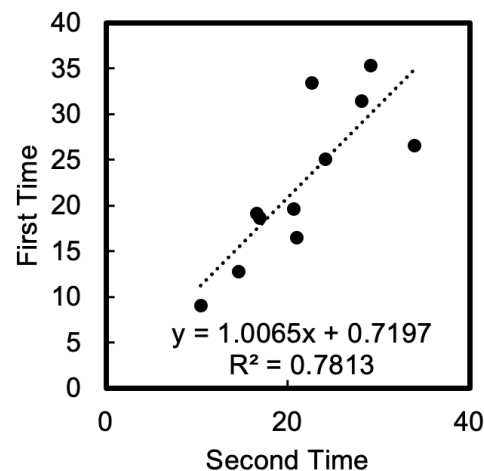
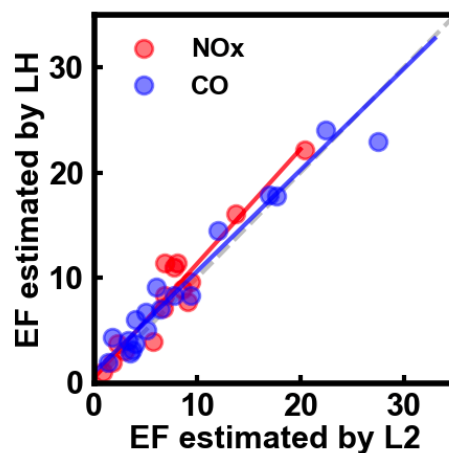
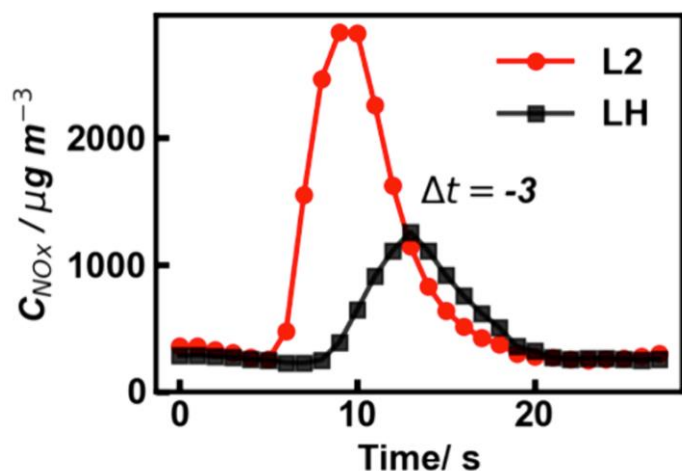
基于瞬时尾气峰值的EF估算

- 嗅探传感器网络不同节点的差异与一致性



基于瞬时尾气峰值的EF估算

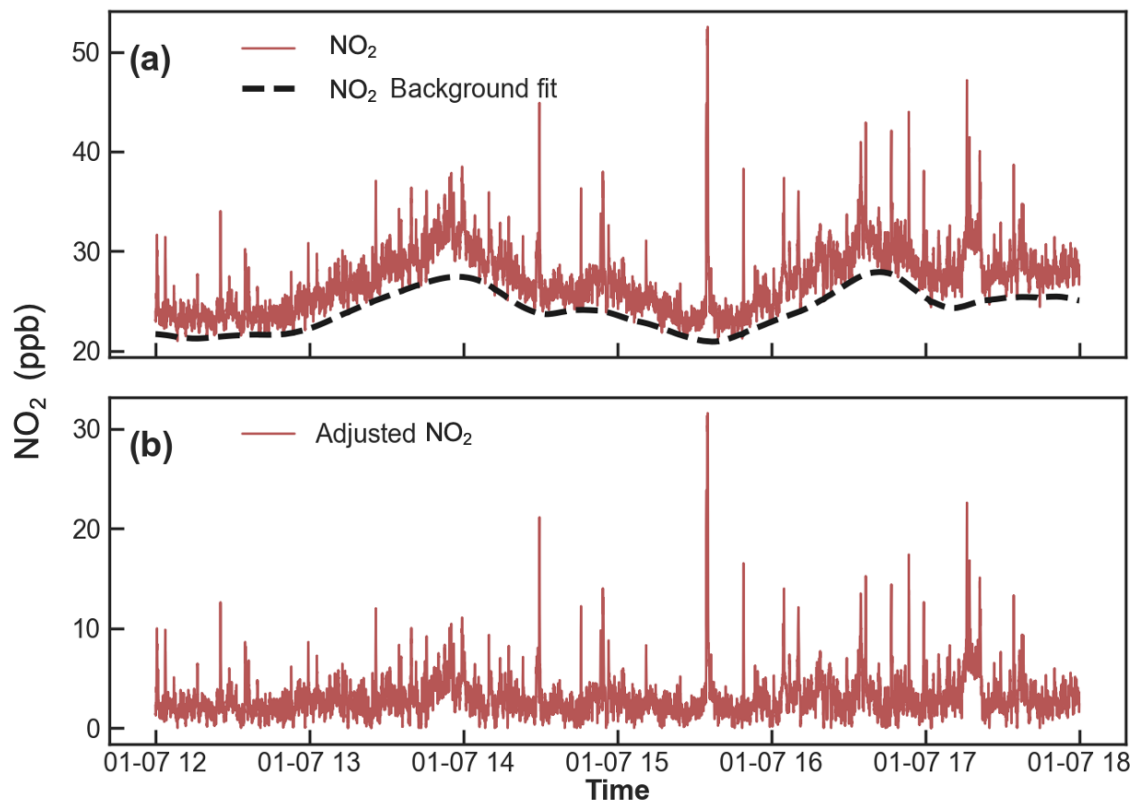
- 嗅探传感器网络不同节点的差异与一致性



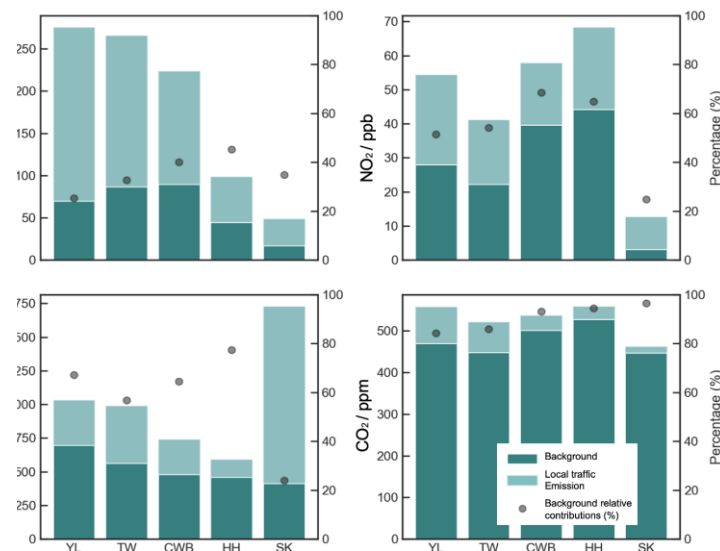
- 烟羽扩散过程中排放因子具有一定的一致性
- 对于公交车的重复测量显示了排放因子具有一定的一致性

基于瞬时尾气峰值的EF估算

■ 背景的提取与分离



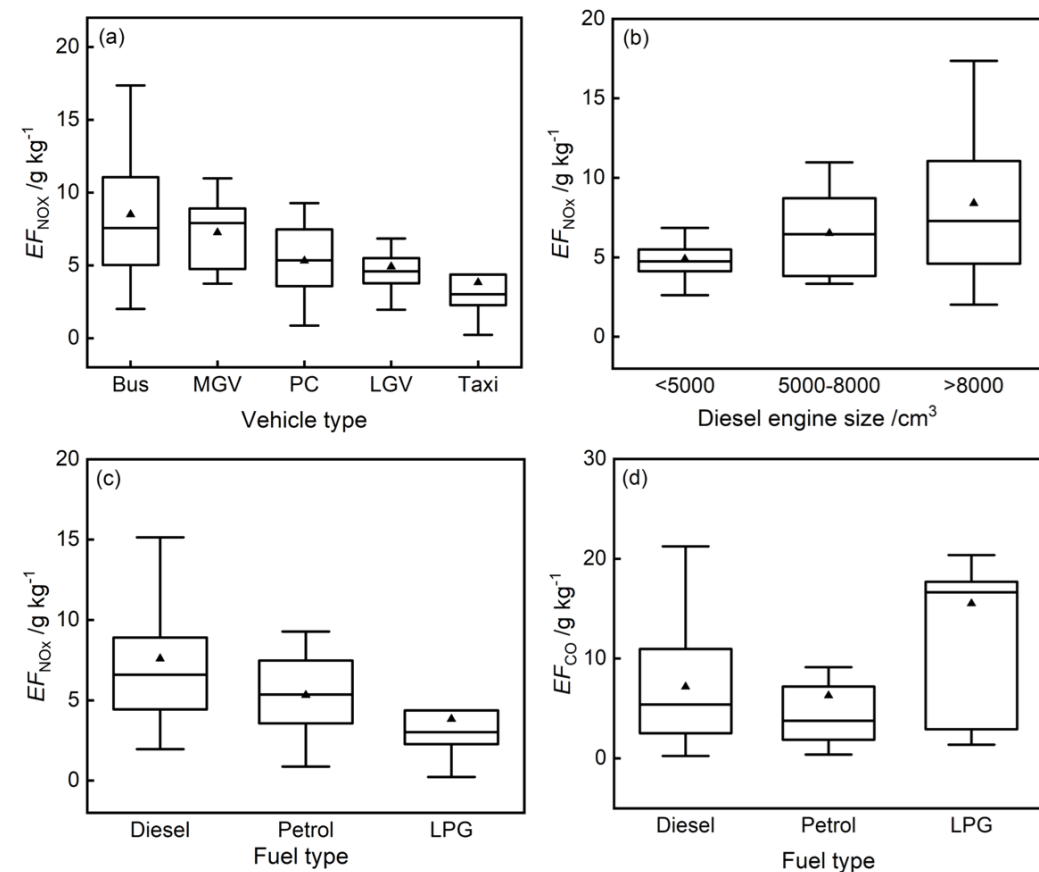
a) The original concentration, background fits, and (b) adjusted data of NO₂ measured in SK site in 07-Jan, 2023 12:00 pm - 18:00 pm



The average roadside concentration of NO, NO₂, CO and CO₂ during the campaigns with the background estimations marked in a darker shade. The background relative contributions are denoted by black dots corresponding to the right y-axis.

基于瞬时尾气峰值的EF估算

通过路边尾气羽流估算排放因子



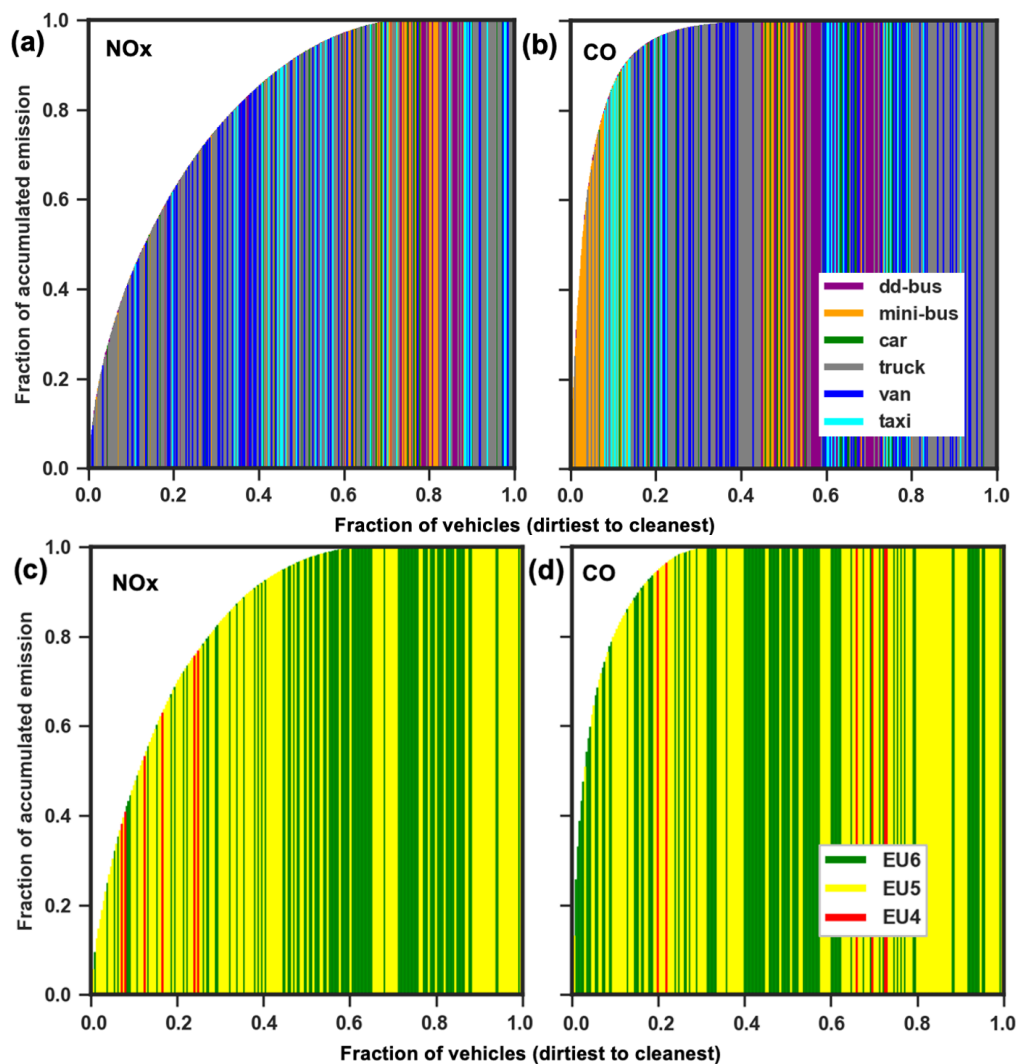
EF_{NOx} :

- DD-Bus>MGV>PC>LGV>Taxi ($p \sim 0.002$)
- NOx排放因子随着发动机尺寸的增加而增加 ($p \sim 0.034$)
- 柴油车>汽油车> 液化石油氣车 ($p \sim 0.022$)

EF_{CO} :

- 液化石油氣 >汽油车> 柴油车 ($p \sim 0.11$)

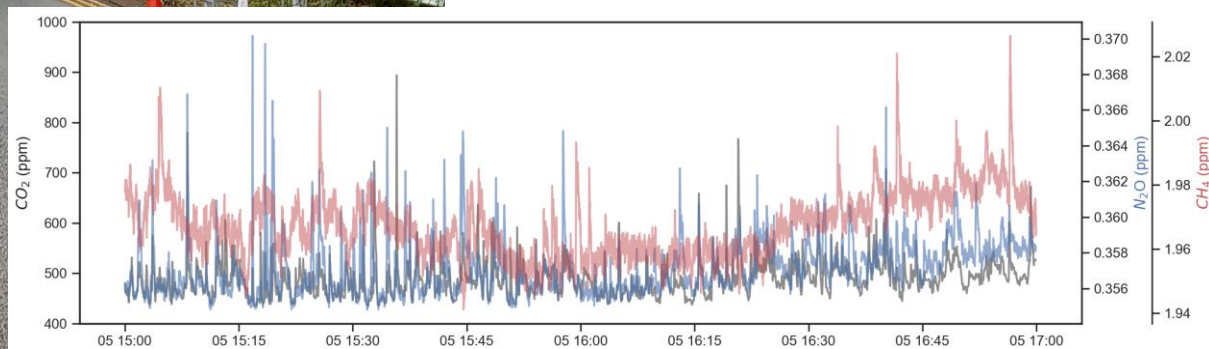
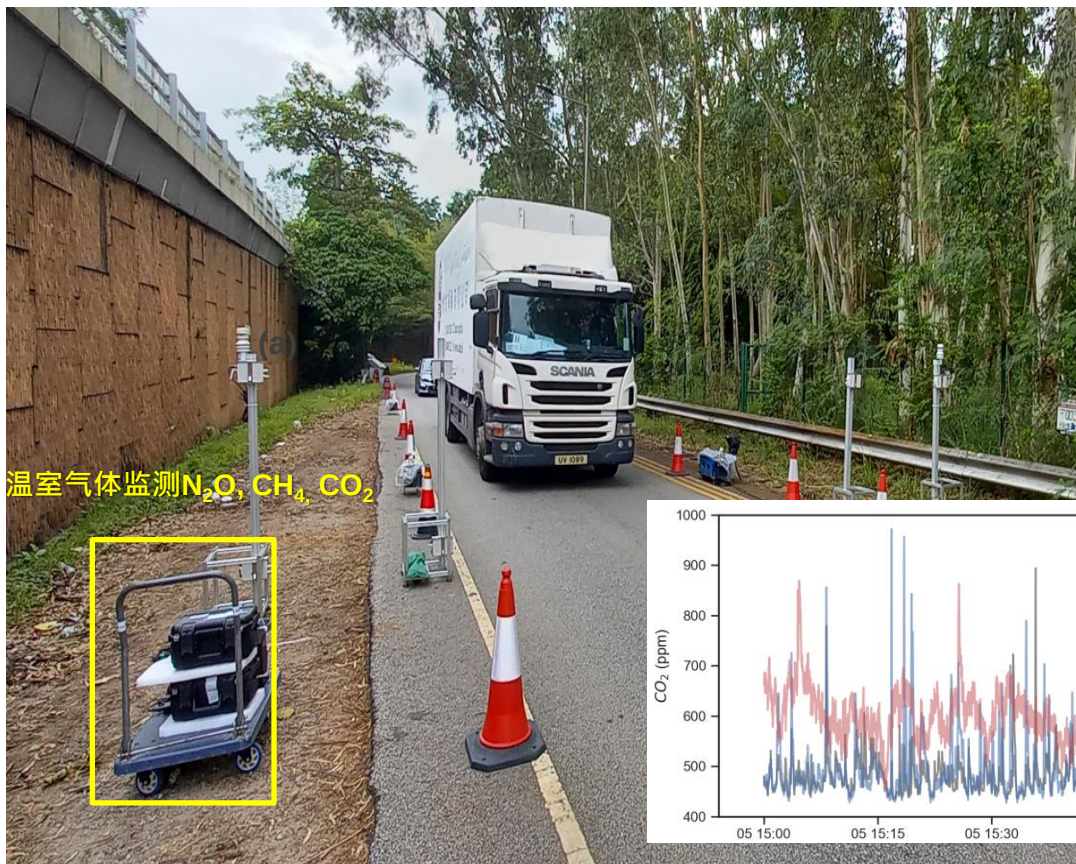
高排放车辆快速识别



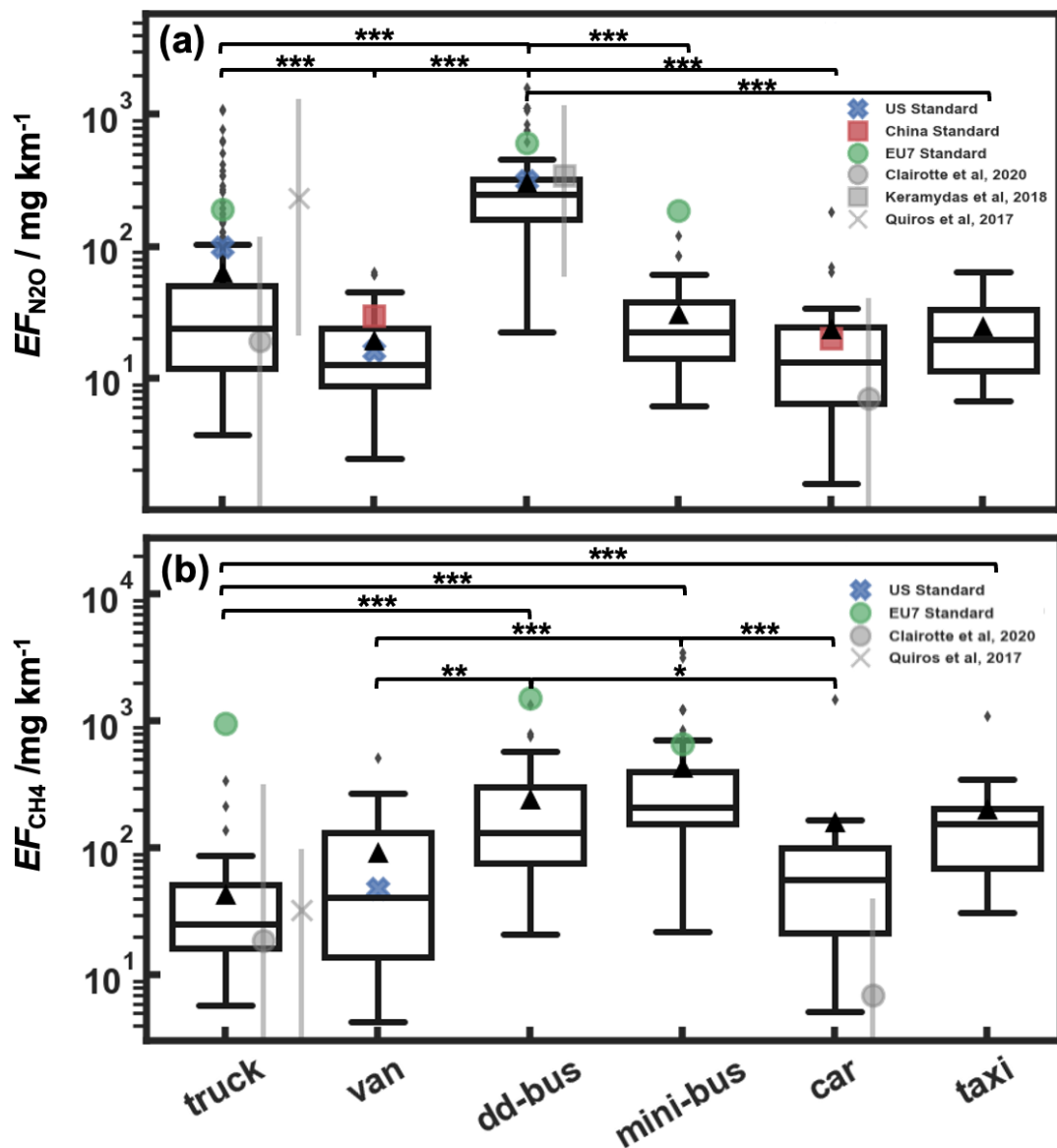
- 显著的偏态分布，大幅度偏离1:1线
- 少部分车辆占大部分NOx和CO排放
- 排放最高的10%造成了总NOx排放的46.7%和总CO排放的85.3%
- 对于NOx，前10%的高排放者主要是卡车（62%）
- 对于CO，小巴是主要的高排放车辆（67%），其次是出租车（10%）

路边测量温室气体 (GHG) 排放

- 路边快速扫描烟羽法也可以用于估算真实世界温室气体排放清单 (CH_4 、 N_2O 等)
- 甲烷 CH_4 和 N_2O 是强大的温室气体
- 全球变暖潜能值 (GWP) 分别为25和300，意味着大气中 CH_4 和 N_2O 100 年内捕获的能量分别是二氧化碳的25和 300 倍



路边测量温室气体 (GHG) 排放

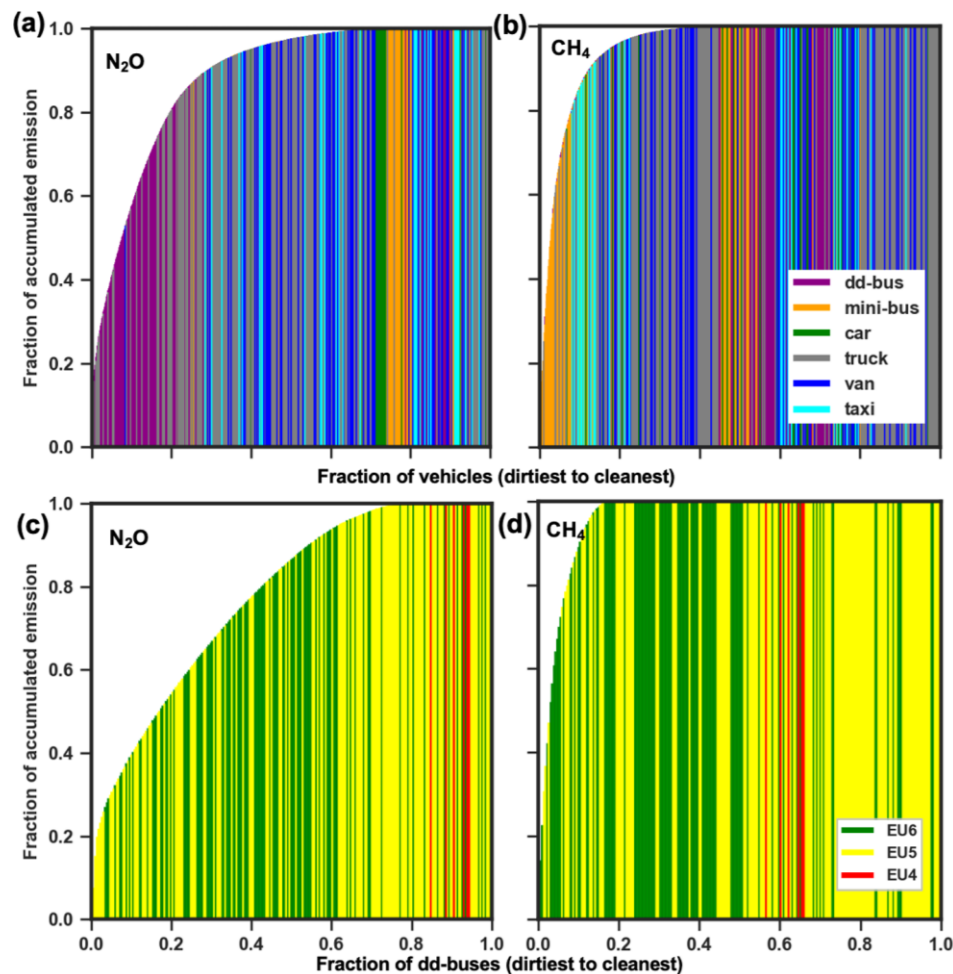


➤ 不同车型之间存在显著差异

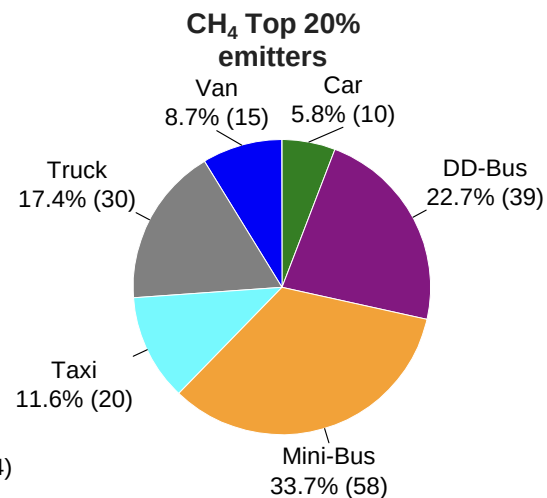
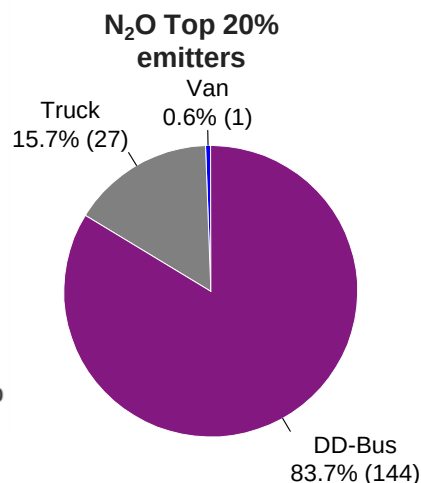
➤ 双层柴油巴士显示出明显更高的 EF_{N2O}

➤ EF_{CH4} 与液化石油气的使用及尾气处理性能有关

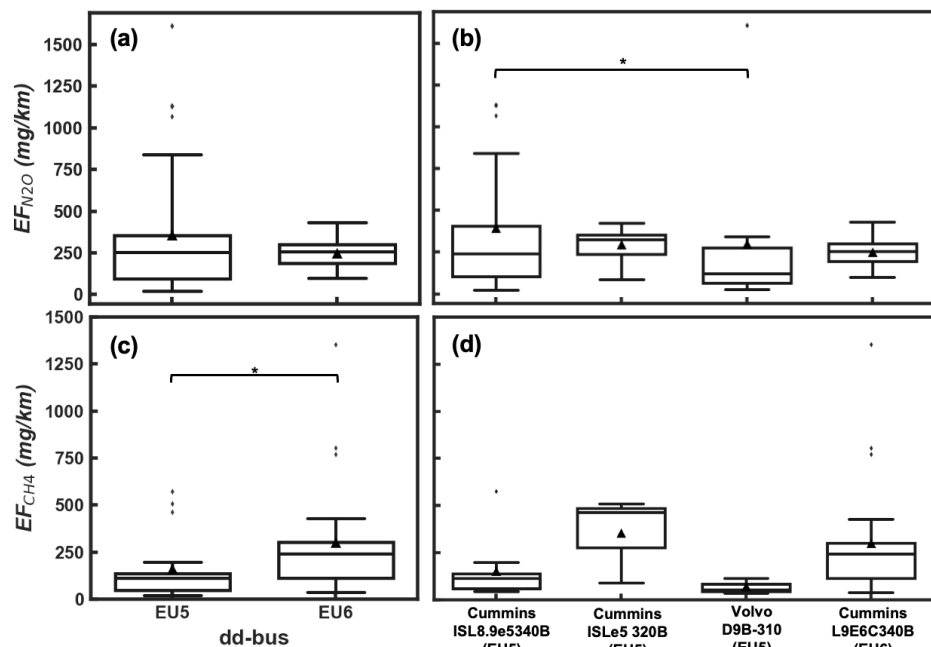
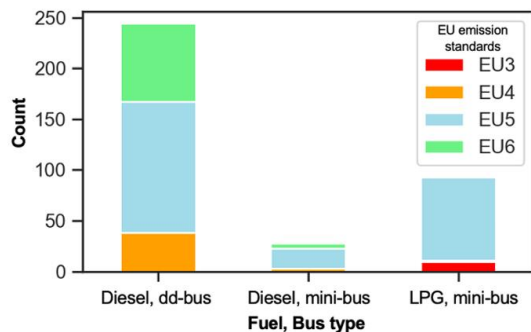
路边测量温室气体 (GHG) 排放



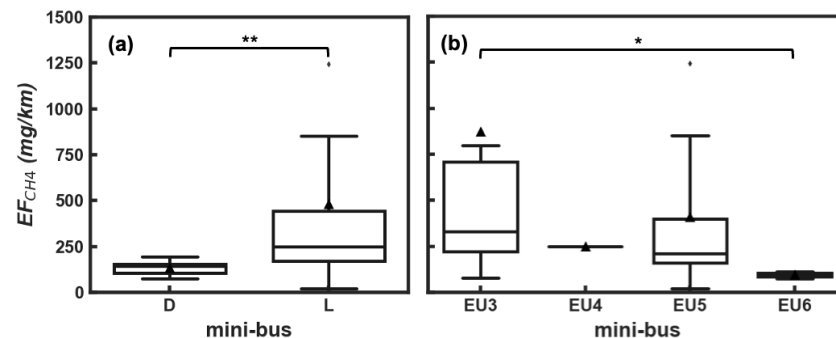
- N_2O 排放最高的20%占前81%，主要为柴油双层巴士和卡车
- 液化石油气驱动的小巴和出租车是 CH_4 的高排放者，排放最高的20%占总量的约90%



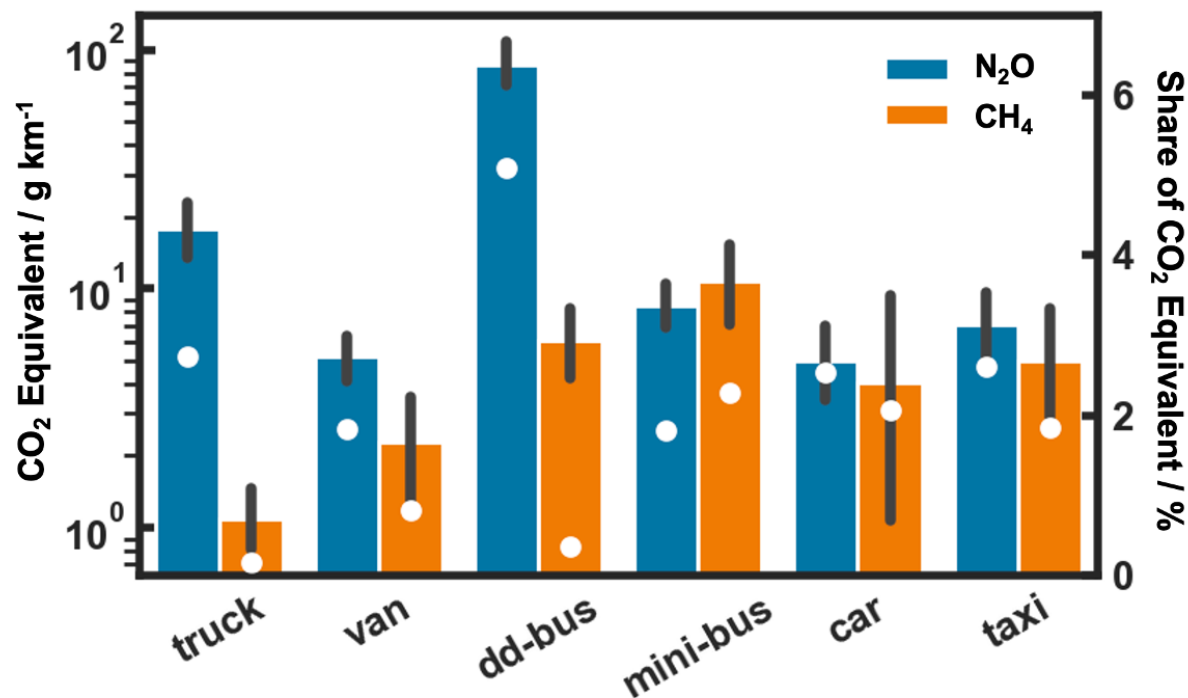
路边测量温室气体 (GHG) 排放



- 未发现欧 5 和欧6 标准之间 EF_{N_2O} 的显著差异
- 欧6双层巴士的 CH_4 排放量显著较高 ($p=0.03$)
- 未发现不同类型的柴油发动机之间的 CH_4 排放因子值存在显著差异
- LPG(L)小巴士 CH_4 排放因子显著高于($p=0.003$)柴油 (D)小巴
- 欧6小巴的 CH_4 排放因子显著 ($p<0.05$)低于欧3小巴



路边测量温室气体 (GHG) 排放



香港不同车型的平均N₂O和CH₄排放的CO₂当量。条形图显示了N₂O和CH₄在每公里克数的CO₂当量排放。白色圆点表示CH₄和N₂O排放与CO₂排放的比例。

- N₂O排放对总CO₂当量贡献0-5%
- CH₄对总CO₂当量贡献0-3%
- 双层巴士N₂O的CO₂当量份额最高
- 这个数值与欧盟先前的研究一致 (N₂O : 0-6% , CH₄ : 0-9%)

结论

- 路边传感器网络可以用于高通量的快速估算排放因子并识别高排放车辆
- 本方法可以作为现有道路测量方法的补充
- 用这种方法获得的排放因子和其他道路研究中报告范围具有可比性
- 同一类别不同车辆的排放因子可能由于发动机状态，车辆维护的不同，存在很大差别
- 治理排放最高的**10%**可以减少总排放的**40% - 70%**