

城市道路移动源高排放 快速识别技术与应用

基于高通量烟羽监测（RPS）的技术路径、实证结果与监管应用



2026年长三角空气质量管理技术研讨会 • 2026年9月17日 • 上海

报告人：宁治 · 香港科技大学

全球在用车监管正从周期检测转向“连续筛查 + 强制复核”

全球进展

2014 香港

路边遥测无须截停车辆。超标车辆收到通知后，须在 12 个工作日内通过指定底盘测功机测试。



2023 美国加州

Clean Truck Check 使用路边排放监测识别潜在高排放重型车，并要求 30 天内提交合格检测。

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 retrofitted 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.



2024 欧盟

Euro 7 引入车载排放监测，要求识别 NO_x、PM 等显著超标，并支持年检和路检读取。

Euro 7

OBM 监测 NO_x / PM
检测至少 2.5 倍限值超标

共同趋势：广覆盖筛查用于发现风险，法定检测用于确认事实，维修与处罚形成闭环。

来源：香港环保署、California Air Resources Board、Regulation (EU) 2024/1257

中国政策已经提出数字化监管，关键任务是把线索转化为可执行证据

中国政策

2022

柴油货车污染治理攻坚行动

建设重型柴油车远程在线监控平台，探索超标识别、定位、取证和执法的数字化模式。

2023

空气质量持续改善行动计划

加强移动源监管能力，拓展非现场监管，强化自动监测数据质量和跨部门执法。

2024–26

机动车排放检验专项整治

六部门联合整治第三方机构造假，并形成常见弄虚作假行为清单与严重情形判定标准。

制度缺口

现行体系重视年检与专项路检，但缺少覆盖日常道路、独立于检测机构、能够连续发现异常车辆的前端线索层。

来源：环大气〔2022〕68号、国发〔2023〕24号、生态环境部机动车排放检验专项整治文件

检验造假说明“有标准”不等于“道路上持续达标”

监管痛点

4,000+

辆机动车获得虚假合格报告

120 万元+

案件披露的非法获利

生态环境部 2024 年通报的作弊产业链案例

01 OBD 作弊器

篡改故障码、CAL ID 或诊断信息

02 软硬件改数

电源板按比例降低尾气检测结果

03 临时应付检验

堵排气管、临时加装催化器、替气检验

04 改变关键条件

放宽工况、调整设备参数或伪造车辆信息

治理含义

真实道路独立筛查可以发现“检验合格但道路高排放”的异常车辆，为倒查检测、维修和车辆状态提供外部证据线索。

来源：生态环境部机动车排放检验领域专项整治典型案例及作弊产业链通报

城市移动源治理面临“量大、流动、排放不均”三重难题

问题

机动车数量持续增长，但污染贡献高度集中在少量高排放车辆与高负荷工况。监管需要从随机抽测转向连续筛查。

44%

上海 $\text{PM}_{2.5}$ 来源中
移动源贡献

5%

重型柴油车约占
机动车保有量

90%+

重型柴油车贡献机动车
 NO_x 的主要份额

核心矛盾

传统检测能够精确测量单车，但难以覆盖大规模真实道路车流；高通量监测的价值在于先找到“值得查”的车辆。

数据来自文件夹内“移动源监测能力建设子项”汇报材料，比例口径分别对应 $\text{PM}_{2.5}$ 源解析、车辆保有量与机动车排放贡献。

高通量监测替代“广撒网筛查”，法规检测保留最终认定权

替代关系

01

法规测试 / PEMS

优势

精度高、可解释

局限

效率低，难覆盖大样本

02

遥感监测

优势

无接触、通行效率高

局限

柴油车与多车道场景受限

03

路检路查

优势

具备执法衔接能力

局限

依赖人工经验，拦截成本高

04

烟羽嗅探

优势

真实工况、连续筛查

局限

需解决烟羽分离与车辆归属

代际变化：从人工抽查少量车辆，升级为全天候筛查全部通行车辆，再由执法力量精准复核。

边界：替代低效率筛查环节，不替代具有法律效力的法规检测和处罚程序。

从尾管排放到路边捕获，烟羽经历生成、输运、稀释和采样

物理过程



采样原理：设备不收集全部烟羽，而是在自然输运过程中连续截取小比例气样，识别车辆造成的短时浓度增量。

路边交通嗅探站（RPS系统）将烟羽切片转换为同步曲线与车辆事件

采样与感知



01

高流量采样

缩短传输延迟，降低管路滞留

02

多组分分析

CO₂、NO、NO₂、CO 与 PM 同步测量

03

视觉感知

AI 识别车牌、车型、车道和通过时刻

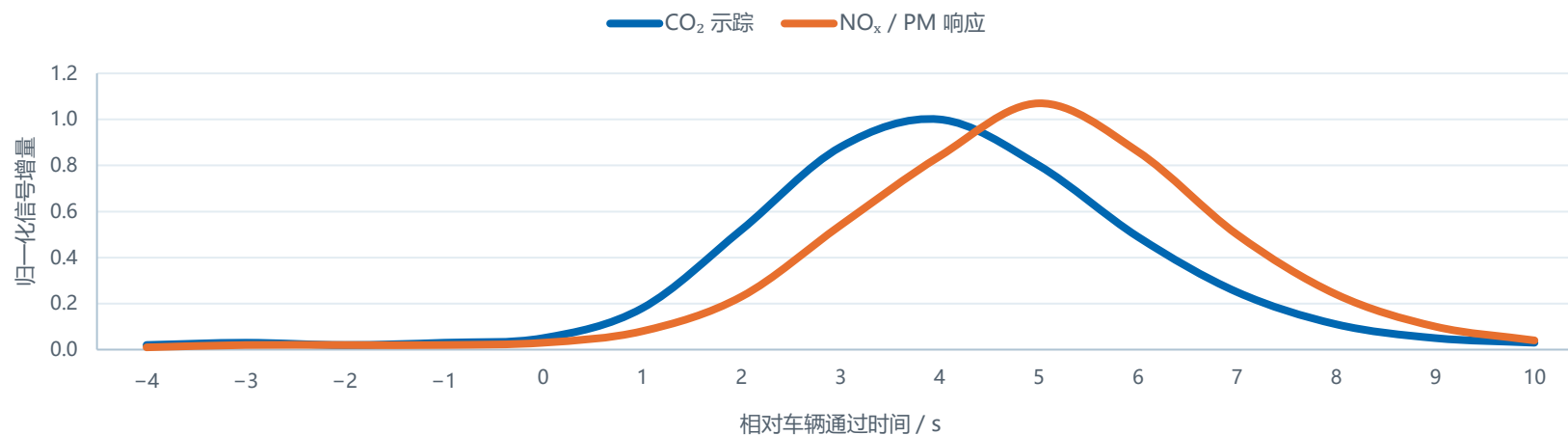
04

气象校正

风速风向用于解释捕获概率与峰形变化

归一化响应示意（非实测）

同一时间轴用于识别烟羽到达、污染峰值与回落边界



● **t₀ 车辆进入**
视频触发

● **t₁ 烟羽到达**
CO₂ 开始抬升

● **t₂ 峰值配对**
污染物同步响应

● **t₃ 稀释回落**
事件窗口闭合

采样延迟、摄像时间和分析仪响应统一标定后，系统才能把曲线峰形正确归属到车辆。

AI 将多源数据转换为烟羽事件、车辆归属和执法优先级

AI分析

01 数据对齐

统一相机、车牌、气体、颗粒物与气象时间戳

02 信号预处理

漂移校正、异常点标记、缺测管理与响应延迟补偿

03 自适应本底

滚动中位数跟踪背景，计算 ΔCO_2 、 ΔNO_x 与 ΔPM

04 事件检测

识别升高、持续、峰值和回落，验证多污染物同步性

05 烟羽车辆匹配

结合车道、车速与时间窗；AI 分离多车重叠烟羽

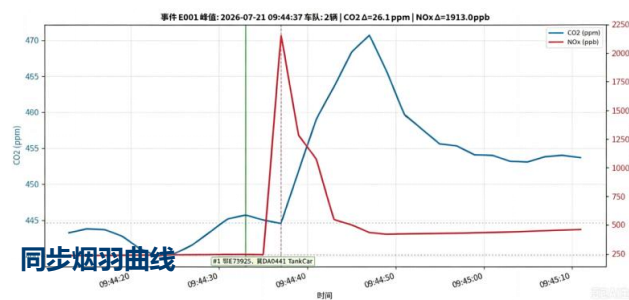
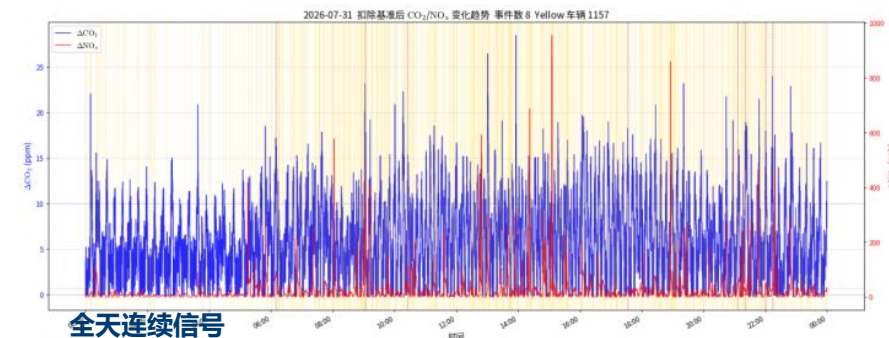
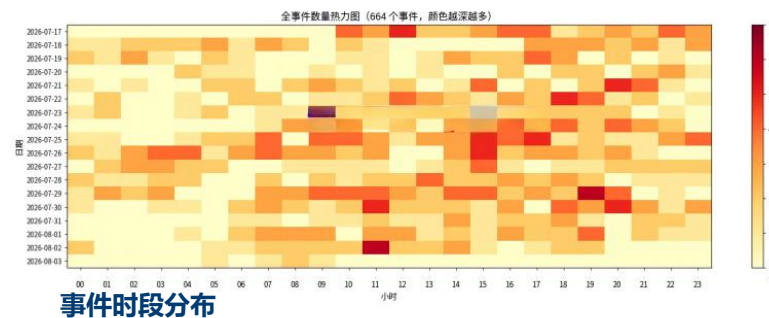
06 风险与决策

融合排放分位数、重复命中和模型置信度，生成执法建议

综合输出：烟羽事件置信度、候选车辆、排放风险等级、重复命中记录、建议拦截点位。

真实道路测试场景：现场布设、连续监测与单车事件证据

实测Demo



17 天
连续运行

37,854 辆
有效车辆

664 个
同步事件

22 个
明显高排放事件

证据链：现场运行照片 + 连续污染物信号 + 车辆抓拍 + 同步烟羽曲线

真实道路测试场景：点位选择决定烟羽是否可分离，也决定结果能否用于监管

部署



优先场景

货运通道与港区

重型柴油车比例高，监管目标明确

收费站与检查站

车辆速度稳定，便于时间匹配与复核

城市主干路重点断面

适合长期刻画车队排放特征

夜间高负荷路段

更容易捕捉异常排放与绕行车辆

避开强横风、复杂交叉口和频繁拥堵启停造成的多车烟羽重叠。

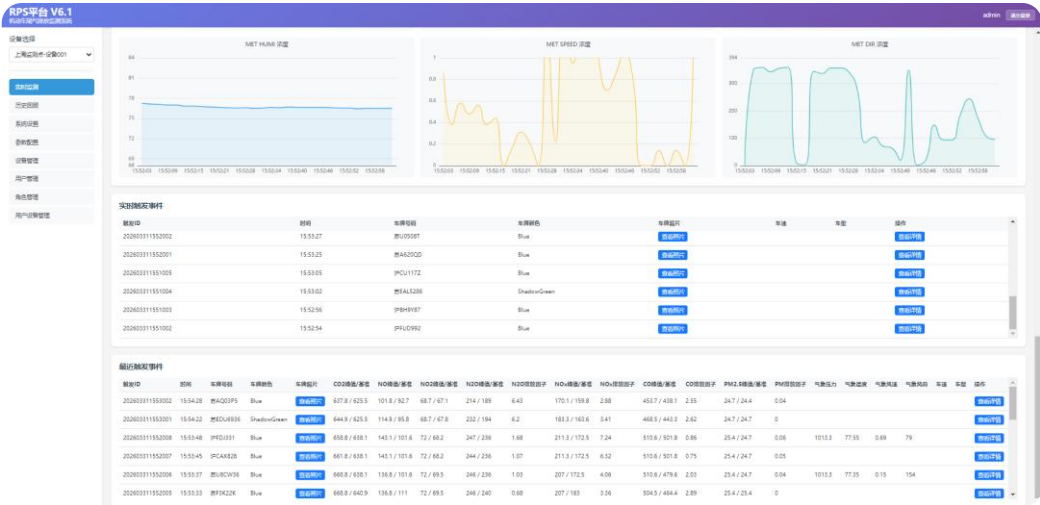
真实道路测试场景：高速路口试点验证了连续监测与车辆追溯链路

案例



现场监测

收费站 / 检查站场景具备减速通行与复核条件，适合验证烟羽事件和车辆信息的时间一致性。



平台闭环

车辆记录、排放曲线、抓拍图像与地图信息统一呈现，为后续抽检和复测提供线索。

真实道路测试场景：高速断面监测展示了真实车流下的高通量运行能力

案例



断面布设

在不影响正常通行的条件下持续采集车辆与污染物信号。



昼夜运行

夜间货运流量与高负荷工况为识别重点，设备需满足连续运行与环境适应要求。

高排放车辆闭环管理：从连续筛查到复测销号

闭环管理

感知与智能研判



闭环关键：复测结果不是终点，而是回流车辆档案、筛查模型和点位策略，形成持续优化。

借鉴现有成熟执法制度中普遍区分“高通量粗筛”和“法定证据确认”

执法逻辑

监管场景	粗筛线索	法定取证	确认与处置
船舶燃油硫含量	烟羽异常、文件检查或登轮检查形成线索	从指定采样点提取并封存代表性油样	认可实验室按 MARPOL 程序检验硫含量
酒驾检查	路边呼气检测快速判断风险	提取、封装并送检血液样本	血液酒精鉴定意见用于案件认定
食品安全	现场快检发现疑似不合格产品	依法抽样并记录样品链	合格食品检验机构完成实验室检验

机动车对应关系	RPS 连续筛查形成高风险名单和烟羽证据包	执法部门再采用法规检测完成认定	进入维修复测与处罚程序。
---------	-----------------------	-----------------	--------------

依据：MARPOL Annex VI；最高法指导性案例270号；《食品安全法》第112条

执法融入采用“机器筛查、平台派单、现场认定、闭环销号”

执法

01

机器筛查

全天候扫描通行车辆，输出疑似名单、证据曲线与重点时段

02

平台派单

多次命中或跨点复现后，向前方执法点推送车牌、方向和风险等级

03

现场认定

执法人员精准拦截，使用法规方法复测并完成程序性取证

04

闭环销号

维修后复测；结果回写模型，更新重点车辆库并评估治理效果

执法优势：少拦车、快定位、可追溯、能复盘，特别适合夜间货运与固定绕行路线治理。

建议采用“关键通道成网、前后点协同、执法点承接”的部署方式

网络

高通量监测网络下的柴油货车排放因子加权积分计算与筛选系统示意图



三级部署建议

一级：入口粗筛

港区、物流园、高速入口布设单点设备，识别高风险车辆。

二级：路段复现

沿主通道设置前后点，利用重复命中分离车队烟羽并提高置信度。

三级：执法承接

在检查站或前方安全区布置复核力量，接收名单并实施精准拦截。

平台统一汇聚车牌、轨迹、烟羽事件和复测结果，实现跨区协查与模型更新。

网络建设宜分三阶段推进，先打通执法闭环再扩大覆盖

实施

01 阶段一：单点验证

选择货运通道，完成设备标定、算法本地化和法规方法并行验证。

02 阶段二：通道组网

在高风险走廊部署前后点，建立重复命中规则和前方执法承接。

03 阶段三：城市联网

覆盖港区、物流园和城市出入口，接入统一平台并支持跨区协查。

04 持续评估机制

以命中率、复核超标率、有效拦截率和维修复测改善率评价网络。

扩点条件：复核超标率稳定、烟羽归属可解释、数据链可追溯、执法部门能够承接。

谢谢！