

《温室气体走航监测技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

《温室气体走航监测技术规范》起草组

二〇二四年十一月

1 标准编制背景与过程

1.1 编制背景

温室气体浓度升高引起的全球气候变化正受到越来越多的关注，各国正积极应对以期减缓和适应气候变化带来的影响。我国作为全球温室气体的重要贡献国家之一，其排放也受到较多关注，为此，习近平总书记于 2020 年第 75 届联合国大会一般性辩论上明确提出我国二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和的“双碳”目标。二氧化碳和甲烷作为主要的两种温室气体，其排放规模以及特征，正受到科研界和城市管理层的关注。在此背景下，精确测量城市尺度温室气体排放状况，明确区域温室气体排放规律与特征显得尤为重要。城市作为主要人为源温室气体排放的贡献区域，其来源较为多样，如城市温室气体的重要来源包括：工业生产、交通运输、家庭能源使用、农业活动、建筑施工等。走航监测系统的重要性和应用领域的广泛性（如物流运输、城市环境卫生管理、大气污染防治等）。当前走航监测系统技术规范或缺失或不足。

为贯彻《关于进一步强化碳达峰碳中和标准计量体系建设行动方案（2024—2025 年）》，落实省委、省政府《关于推动高质量发展做好碳达峰碳中和工作的实施意见》《江苏省碳达峰实施方案》有关部署要求，

1.2 编制过程

1.2.1 标准预研

1.2.1.1 国内外碳监测进展调研

随着全球应对气候变化工作的逐步开展，国内外针对温室气体开展了涵盖全球、国家以及省市地区多维尺度的监测工作，其中国际性大气温室气体监测网络 (GAW)，通过 31 个全球大气本底站、400 多个区域大气本底站以及飞机和轮船上携带的二氧化碳探测器测得的数据整合而得全球温室气体浓度。

我国城市碳监测聚焦区域、城市和重点行业三个层面。采用定点监测结合移动监测以及卫星遥感的手段，构建“空天地”监测系统。走航监测是指利用航空器进行大范围、全方位地观察和采样空气样品的一种方式。相比之下，定点监测则是在固定位置设置仪器进行连续、长期地观察。定点监测虽然数据准确性高，但受限于位置固定无法全面覆盖。走航监测在车辆或者便携式设备上搭载传感器，在实时收集数据的同时可以覆盖更广泛的区域，因此具有监测范围可选、能够快速溯源等优势。

1.2.1.2 走航监测系统搭建

为确保监测过程正常开展，在走航车内需搭载高精度温室气体监测设备，气象五参，以及 GPS 和 UPS 设备，此外在车顶加装了红外摄像系统，确保数据追溯时，有据可查。

1.2.2 立项申请

2024 年 5 月，向江苏省环境科学学会正式提交立项申请。

1.2.3 列入立项计划

2024 年 6 月本标准被列入《省市场监管局等七部门关于印发江苏省以标准提升牵引设备更新和消费品以旧换新实施方案的通知》2024-2025 年我省拟重点制修订团体标准项目。

1.2.4 标准立项、初审会

2024 年 11 月 20 日，江苏省环境科学学会在南京组织召开了标准立项审查会，经专家质询和讨论，同意立项，同时专家对标准初稿进行讨论，给出修改意见，标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准征求意见稿。

1.2.5 征求意见

2024 年 11 月 22 日—2024 年 12 月 22 日，江苏省环境科学学会公开征求意见。

2 编制目的

温室气体移动走航监测具有高效、灵活且实时的监测特性。然而，在实际操作层面，由于不同技术应用水平及操作流程的不统一，往往会造成走航监测数据在准确性和可比性上的偏差。鉴于这一情况，制定温室气体走航监测技术标准显

得尤为重要。本标准的制定旨在建立一套走航监测的技术手段和实施流程，从而确保监测数据的准确与可靠，从而确保监测结果的质量和一致性。

2.1 编制必要性分析

2.1.1 城市精准碳监测核算的需求

随着全球气候政策的加强和我国双碳目标的提出，城市需要精确掌握碳排放情况，为制定有效的减排策略提供数据支撑。其次，精准碳监测核算对于城市的科学管理至关重要，它能够帮助决策者了解碳排放的来源、分布及变化趋势，从而优化能源结构，推动绿色低碳发展。作为城市温室气体固定监测点位的有效补充，科学合理的走航监测数据能够在时空水平上进一步提高整个城市碳核算的精准度。

2.1.2 重点排放源监测评估的需要

走航监测通过停车定点监测与移动走航监测，能够对温室气体进行定性定量分析，并基于地理位置信息显示沿行进路线温室气体的空间连续分布。进而通过数据分析系统能够在短时间内对大范围的地区进行筛查，对排放热区进行溯源分析。能够满足诸如地质封存项目中的泄漏排查以及重点园区碳排放监测方面的需求。

3 制定的可行性分析

3.1 技术储备

3.1.1 实地走航经历

在 2022-2023 年间，本项目团队为研究不同区域温室气体排放特征，在我国不同城市(济南，太原，重庆，丽水)分别开展了为期数天的地区温室气体走航监测，积累了大量温室气体走航监测的经验。走航过程中同步测试了基于走航实际

监测数据的实时数据分析平台，针对地区温室气体的时空分布以及主要贡献源的排放特征有了清晰的理解。

3.1.2 设备性能测试经验

本指南编制人员参与了多次温室气体监测设备（离轴积分腔技术）的原型设计迭代，从光路设计、传感器选型到信号处理算法的优化，并参与了部分地区环境监测站与国家监测总站的温室气体设备性能比对与测试工作。从 2022 年 12 到 2024 年 11 月，在济南与太原等地区使用不同监测技术（离轴积分腔与光腔衰荡）的温室气体设备开展连续走航监测，期间开展了多次基于温室气体设备性能标定与测试方面的工作。

3.2 人员保障能力

本标准项目编制人员既有长期在一线从事温室气体监测的人员，也有在温室气体监测仪器研发方面的技术人员。因此能够从实际设备性能以及走航监测具体工作开展方面提供可靠的技术支撑。

4 主要内容说明

4.1 适用范围确定

本文件规定了温室气体走航监测系统，系统概述，仪器仪表设施技术要求，数据质量控制，监测方案制定要求，数据采集与审核平台，系统维护等方面的内容。本文件适用于温室气体监控设备航测系统的技术基础。

4.2 术语和定义

下列术语和定义适用于本技术指南。

4.2.1 温室气体 Greenhouse Gas; GHG

大气中能够吸收红外辐射的气体成分，主要包括水汽(H_2O)、二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)、六氟化硫(SF_6)、氢氟碳化物(HFCs)、

全氟化碳（PFCs）和臭氧（O₃）等。

[来源：QX/T 125-2011, 3.1]

6.2.2 走航监测 Cruise Monitoring

利用车载式监测设备在行进中连续自动监测，对温室气体等大气成分进行定性定量分析，并基于地理位置信息显示沿行进路线上大气成分的空间连续分布。

[来源：DB 31/T 310002, 3.2]

6.2.3 数据采集系统 Data Collection System

数据采集系统通常指从数据源收集、识别和选取数据的过程，或者指数字化、电子扫描系统的记录过程以及内容和属性的编码过程。数据采集系统包括了可视化的报表定义、审核关系的定义、报表的审批和发布、数据填报、数据预处理、数据评审、综合查询统计等功能模块。通过信息采集的网络化和数字化，扩大数据采集的覆盖范围，提高审核工作的全面性、及时性和准确性，最终实现相关业务工作管理现代化、程序规范化、决策科学化以及服务网络化。

4.3 方法概述

温室气体走航监测系统主要由车载式监测设备、车载卫星定位系统及电子地图等设备组成。车载式监测设备集成高精度的传感器和数据处理单元，能够实时采集大气中的温室气体浓度数据。该系统能够在移动过程中实时、连续地自动监测大气环境中的温室气体。对于监测到的高浓度区域，系统会进行复测或实施驻点监测，以确保对温室气体及挥发性有机物进行全面、精准的联合走航监测。车载卫星定位系统则用于实时记录监测车辆的位置信息，能够直观展示行进路线上温室气体及挥发性有机物浓度的空间分布情况，以便后续的数据分析和处理。

4.4 监测设备原理

高精度温室气体分析仪是一种实时痕量气体监测仪，能够测量这些气体的 ppbv 灵敏度。该分析仪基于离轴积分腔吸收光谱结合噪声源技术，利用近红外激光实时测量分子的光谱特征。激光在光学测量腔内循环，有效路径长度可达 20 公里，气体在腔内吸收被有效增强，并使得测量超痕量气体浓度成为可能。

4.5 标准气体

4.5.1 走航监测应配备包含附录 A 所规定的二氧化碳和甲烷的标准气体。

4.5.2 监测选用的标准气体应为符合国家证标准气体标准或在有相应认证资质的单位定制的单标或者混合浓度标准气体。情况允许下，应优先采用可以溯源到我国主要温室气体国家基准/标尺的标气。

4.5.3 使用温室气体标准气前，应检查气瓶的压力和浓度，确保其达到使用要求。使用后应及时关闭气瓶阀门，并定期检查气瓶是否有泄漏和其他异常情况。

4.6 仪器设备

4.6.1 温室气体分析仪

温室气体分析仪通常采用光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法或腔增强吸收光谱法等技术对常规温室气体二氧化碳（CO₂）、甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）进行监测。设备精度主要取决于监测目的。当前城市温室气体监测的测量精度与范围如下：

- 测量精度： CO₂ 精度<0.2 ppm； CH₄ 精度<5ppb；
- 测量范围： CO₂ 测量范围 0~5000 ppm， CH₄ 测量范围 0~50 ppm。

4.6.2 大气采样系统

- 车载大气采样系统主要包含 ①采样管线、②采样泵、③套装管路④温控系统、⑤保温隔热层五部分。
- 采样管路应选用不释放有干扰物质且不与待测温室气体发生化学反应的材料，例如聚四氟乙烯管材或者硅烷化处理的不锈钢材料。
- 采样气体进入温室气体设备前端通常需采用冷阱或者 Nafion 管进行除水。
- 当采样系统需要为多种设备提供样气时，需通过气泵调整抽气流速，确保设备得到充足进样量。
- 走航监测注重采样时效性，因此应确保进样管线长度到采样系统的距离低于 1 米。

4.6.3 工控机

- 工控机应满足在宽温范围内运行，如-25°C~60°C 或更宽的温度范围，以适应不同季节和气候条件下的工作环境。
- 工控机应具备 RS-485 或 RS -232 或以太网通信接口，用于与上位机通信。
- 具备 IP 等级（如 IP65）的防尘防水性能，整体结构应经过良好的设计和可靠的固定，能够承受车辆移动环境中的振动和冲击。
- 应具备宽压输入，且具备过电压保护、过电流保护和静电保护等工业级保护功能，确保在电源异常时保护工控机和数据的安全。
- 数据如需无线传输应考虑加密算法保护数据隐私，以确保工控机在传输和处理敏感信息时的安全性，可选择增加 VPN 设备进行数据加密传输。

4.6.4 供电系统要求

- 走航监测车应自带市电供电系统接入、UPS 供电 2 种方式，应符合 GB/T29477-2012 中 5.1.5.1 中的规定。
- 车内 UPS 供电应至少满足走航监测设备连续运行 4h 以上。
- 车内仪器用电须经过稳压设备后使用，避免因电压不稳导致的设备损坏或故障。

4.6.5 气象监测系统

为了满足环境监测和数据分析的高标准需求，走行车工控机应配备一套符合 HJ/T 55（环境空气质量自动监测技术规范）中明确规定的气象参数实时测量与记录系统。系统还应严格遵循 HJ 194 中对于测量范围和精度的要求，确保其能够在各种复杂环境中稳定运行。

4.6.6 车载卫星定位系统及电子地图

为了提升走航监测的精确度和时效性，车辆应装备车载北斗卫星定位系统。该系统在执行走航任务时，能够实时记录车辆的经纬度坐标等关键地理位置信息，确保监测数据的空间准确性。北斗卫星定位系统的定位精度需控制在 3.5 米以内，卫星定位系统的定位时间分辨率需达到或优于 1 秒。

4.6.7 数采系统

走航监测车应装备数据处理系统，该系统集数据采集、高效传输、直观展示以及远程在线交互功能于一体。根据具体的监测需求，该系统能够直接与前端的各类仪器设备相连，精准获取其原始输出信号，确保数据的全面性和准确性。

系统能够依据走航数据自动生成走航路径上的温室气体浓度分布彩图，可通

过不同条带或柱状图的差异来直观展示不同区域的浓度高低，并具备浓度范围自定义功能。同时，系统应清晰标注走航监测的具体区域、主要道路名称、监测时间以及图例说明，为后续的分析决策提供详尽的信息支持。

5 监测方法

5.1 仪器准备

5.1.1 温室气体分析仪校准

为保障走航数据的准确性，走航监测前进行校准。根据设备原理类型，可参考 GB/T 34287-2017、GB/T 34286-2017、GB/T 34415-2017、GB/T 33672-2017 等相关标准。走航监测前，每瓶标气均通入 15min，利用 5min 均值响应浓度数据与标称值进行拟合，用最小二乘法绘制校准曲线。仪器经过校准后，进行目标气单点校准。走航结束后，进行 1 次目标气单点校准，分析走航监测前后设备的漂移，通标时间应不少于 5 分钟（设备读数稳定后）。

5.1.2 试运行

在正式走航监测前，进行监测设备和车辆的启动自检，并在周边区域开展小范围走航试验，确认车辆、卫星定位系统、车内监测设备、数据集成系统等运行正常；数据可正常存储上传，信号传输无误。

5.2 走航监测路线选择

5.2.1 根据实际走航监测目的，合理规划监测路线。监测前应明确区域内重点温室气体排放源信息（如企业、园区、垃圾填埋场等）、道路分布特征以及盛行风向等信息。

5.2.2 走航路线主要沿城市道路、重点区域或工业园区周边、边界、厂界进行走航监测，也可参考 HJ/T 55 要求在排放源上下风向或者低值/高值区进行走航监测，在排放高值区域建议进行 10 分钟驻点监测。驻停监测时如果车辆非新能源车，车辆应迎风停放或者车辆熄火监测，防治因车辆尾气排放对监测结果造成影响。

5.2.3 针对交通排放的走航监测，应分别选取交通拥挤和通畅路段，分别在

交通早中晚高峰期和平峰期、工作日与非工作日、不同季度分别开展监测。

5.2.4 针对非交通排放的城市、乡村或者其他区域排放现状调查的走航监测，应尽量避免交通拥堵路段的高峰期，并适当增加走航频次，确保走航结果具有区域代表性。

5.3 走航监测注意事项

5.3.1 走航过程中，技术人员需要注意周围可能影响监测结果的活动，例如生物质燃烧、工业生产、异味等信息，并做好记录，记录表格可参考附录 B。

5.3.2 走航监测宜在风速 8m/s 以下，且全天均无明显降水情况下开展。

5.3.3 走航监测车速应在满足道路最低限速要求情况下进行，常规路段建议控制在 30km/h 至 40km/h 之间，在其他快速道路建议控制在 90km/h 以下。

5.3.4 在园区或企业走航时，应采用在园区内部加密走航，兼顾园区周围的原则，同步结合驻停监测在待测区域上下风向进行温室气体监测。

5.3.5 在实际走航过程中会遇到设计的路线无法通行（如临时施工、交通管制等），可依据实际情况针对路线进行合理调整，并将调整计划记录在案。

5.4 结果计算与表示

本文件默认二氧化碳和甲烷浓度单位分别为 ppm 和 ppb，测量结果均保留小数点后 2 位数字。默认浓度单位为 mg m^{-3} 或 $\mu\text{g m}^{-3}$ 的监测设备，应按照公式(1)对单位进行换算。

$$\phi_v = p_w \times \frac{V_m}{M} \quad (1)$$

式中：

ϕ_v ——二氧化碳体积浓度为 ppm，或者甲烷体积浓度为 ppb；

p_w ——二氧化碳质量浓度为 mg m^{-3} ，或者甲烷质量浓度为 $\mu\text{g m}^{-3}$ ；

M ——摩尔质量，单位为 g mol^{-1} ；

V_m ——标准状况下的气体摩尔体积，取 22.4 L mol^{-1} 。

不同温室气体浓度通过采样系统中颜色变化表示。

5.5 质量保障与质量控制

5.5.1 走航开始前，应对温室气体设备进行校准，确保其达到正产工作状态。走航结束后，应对设备开展目标气检查，确保其测量结果与走航监测前结果相比，二氧化碳浓度差异不大于 0.5 ppm，甲烷浓度差异不大于 3 ppb。

5.5.2 走航车内的温室气体分析仪，需每季度开展一次设备性能检查，确保仪器处于良好状态。可参考 GB/T 34287-2017、GB/T 34286-2017、GB/T 34415-2017、GB/T 33672-2017 等相关标准进行。

5.5.3 走航监测过程应建立完整的质量管理控制流程，包括但不限于技术人员培训计划、仪器操作规范、设备维修记录、设备质控与校准记录、日常运维记录等。

5.6 数据审核与报送

5.6.1 审核人员应核实走航监测过程中设备是否记录了所有必要的数 据，包括时间、地点、温室气体浓度等。检查数据记录是否连续，无缺失或中断。

5.6.2 核实走航监测设备在使用前是否进行了校准，并查看校准记录。检查校准日期和校准结果，确保设备在监测期间处于准确状态。

5.6.3 使用统计方法（如均值、标准差、极值等）识别数据中的异常值，并通过对比历史数据以及走航经验，识别出与以往监测结果显著不同的数据点。核实异常数据是否由仪器故障、校准问题或环境因素等引起。对确认无误的异常数据，按照既定规则进行剔除，并说明剔除原因。

5.6.4 将审核通过的数据备份便于后期分析和数据追溯。结合数据编写走航报告并进行报送。

5.7 人员培训与安全防护

运维人员应通过专业走航培训，具有熟练的设备操作以及初步设备管路调试和检修能力。车辆内部常备电器灭火设备且数据通信系统能够在走航以及驻停期间通信畅通。

走航监测优先保证行车安全，车辆行驶过程前应检查车顶取样监测装置，确

保其处于收起状态；当车辆行驶过程中，应以较低车速行驶（ $<40\text{km/h}$ ）；驻车监测时，应选取相对安全区域靠边停车，并开启车辆警示闪光灯。

应定期检查走航车车况，以及车内监测设备，减少安全隐患，确保其处于良好的工作状态。

6 规范验证实验

设施设备要求

城市走航监测系统的设施设备应满足如下要求：

- 测量精度：CO₂ 精度 $<0.2\text{ ppm}$ ；CH₄ 精度 $<5\text{ ppb}$ ；
- 测量范围：CO₂ 测量范围 0~5000 ppm，CH₄ 测量范围 0~50 ppm。

环境条件要求

走航监测宜在风速 8m/s 以下，且全天均无明显降水情况下开展。走航监测车速应在满足道路最低限速要求情况下进行，常规路段建议控制在 30km/h 至 40km/h 之间，在其他快速道路建议控制在 90km/h 以下。

数据准确度与有效性评价

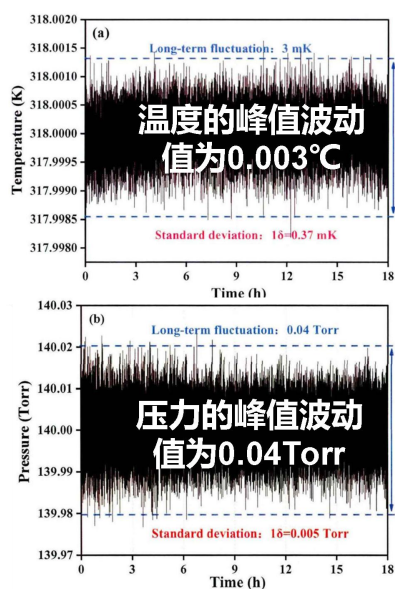
监测数据应使用统计方法或可视化技术，识别和排除异常值，以确保数据的准确性。针对温室气体设备应开展关于设备数据重复性和漂移的测试，确保其达到正常工作状态。

6.1 实验室验证

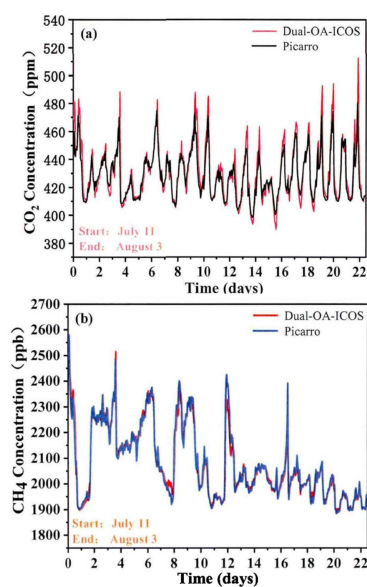
重复性：通入浓度接近仪器常规观测浓度范围的标气，待仪器读数稳定后，记录仪器输出值（显示值），运行 10 小时或以上。在不做外部标定的情况下，以每 5 min 测量均值 A_i 的标准偏差表示重复性。

漂移：通入标气，自仪器读数稳定开始，连续分析 15 分钟，取后 5 分钟，每隔 20 秒计算平均值。在不做外部标定的情况下每隔 5 小时按照前面的方法分析一次，无需连续通入标气，保证 24 小时后分析第 3 次。所有均值，计算最大值和最小值的差值，即为漂移值。

温度和压力的 稳定性测试



picarroG2301 一致性比较实验



6.2 实地走航验证

本车载方案搭载了安徽新谱光电科技有限公司（简称“新谱光电”）自主研发含有 CO₂、CH₄、H₂O 指标的国产高精度温室气体浓度分析仪（GA1301）

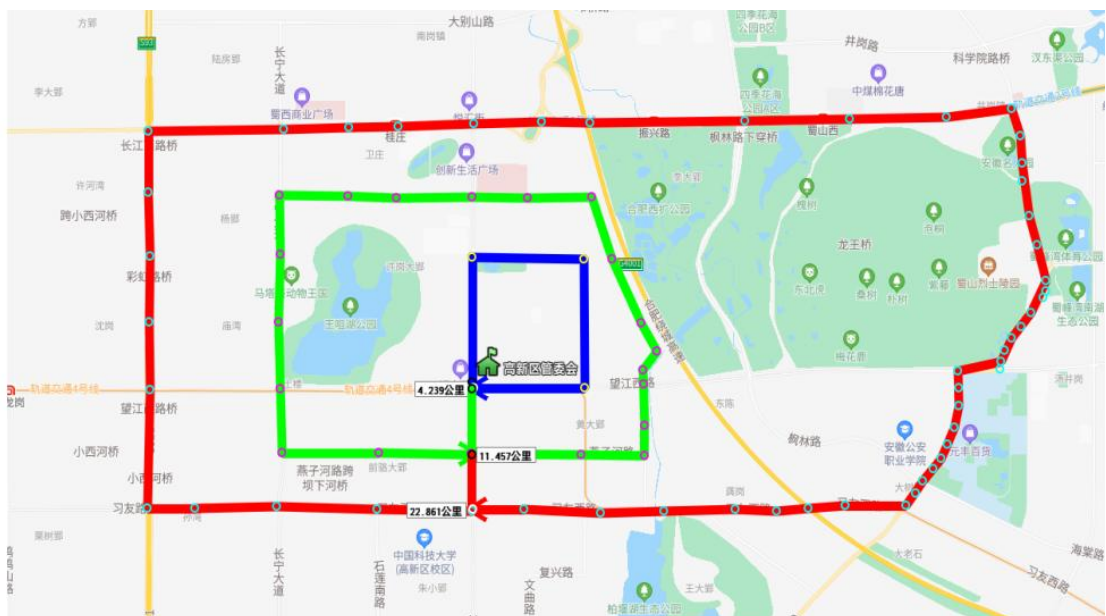
6.2.1 走航时间

2024 年 6 月 6 日，下午 14:00-15:30。

6.2.2 走航天气

走航时段天气：温度为 20° 左右，多云天气，东风 2~3 级左右。

6.2.3 走航路线及里程



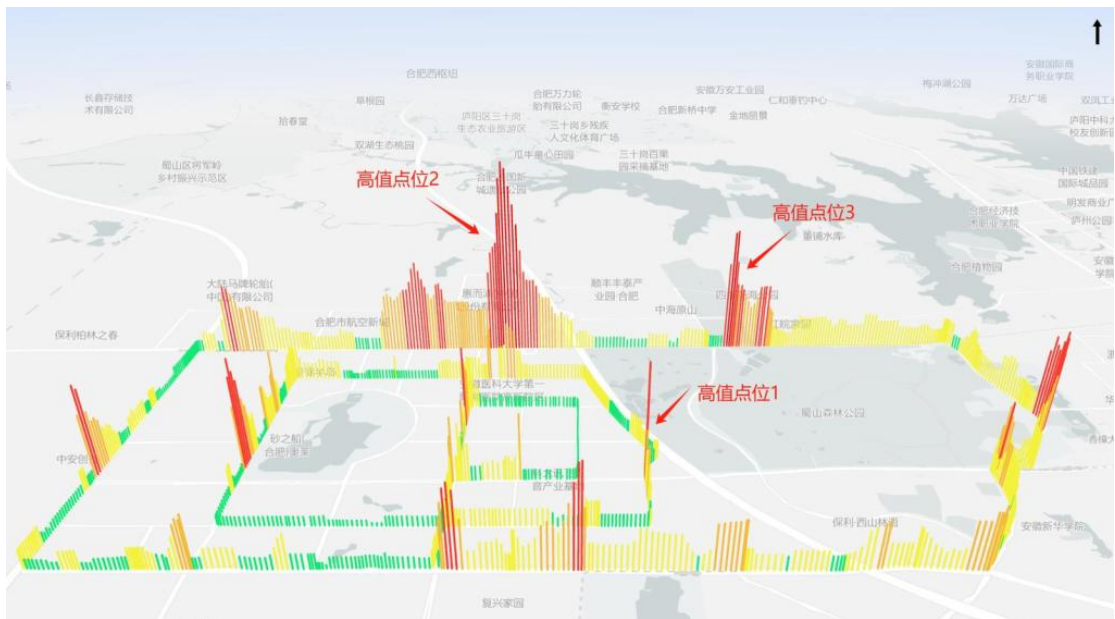
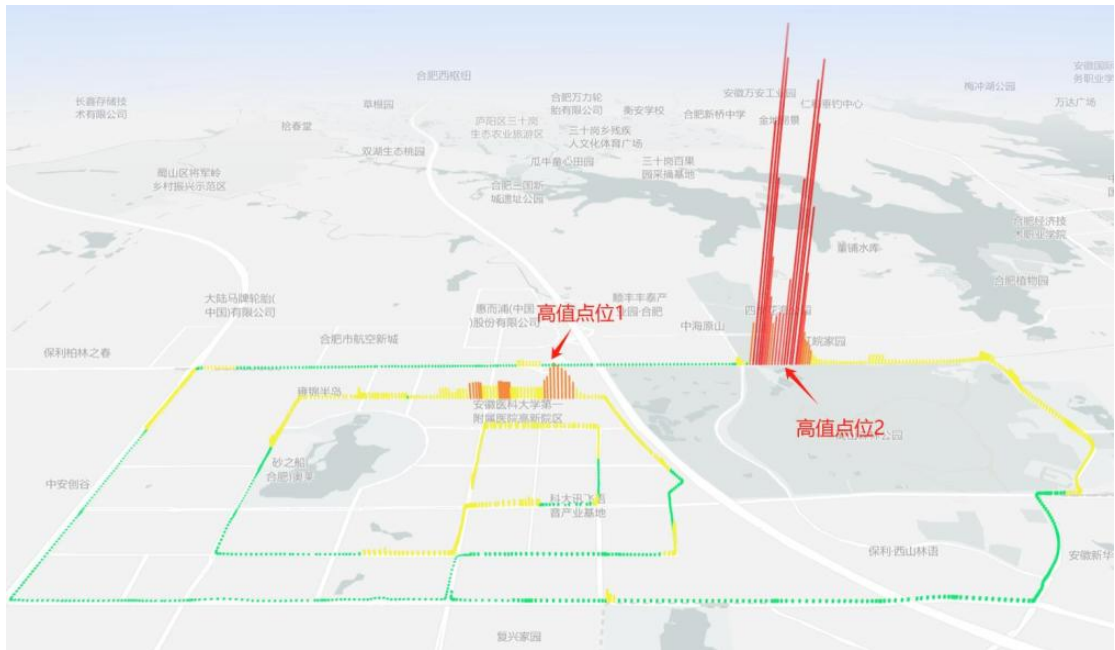
本次走航主要是以高新区管委会为中心环绕开展：

路线 1：望江西路→创新大道→彩虹路→永和路→望江西路，总里程 4.239km；

路线 2：燕子河路→长宁大道→皖水路→杨林路→燕子河路，总里程 11.457km；

路线 3：习友路→方兴大道→长江西路→玉兰大道→习友路，总里程 22.861km。

走航结果显示合肥市高新区 CH₄ 最小值： 2078.679 ppb，最大值： 4647.891 ppb。整体浓度均值在 2119.634 ppb 左右，高于大气本底值（2022 年中国温室气体公报的 1979±0.6ppb）。



第一处高值位于杨林路与望江西路交叉口出现，峰值浓度 553.0618ppm，疑似为机动车尾气的无组织排放所致。

第二处在创新大道与长江西路交叉口附近，出现峰值浓度 587.5947 ppm，现场大型运输车辆较多行驶，疑似为货运车辆尾气排放所致。

第三处在蜀山西(地铁站)C 出口西侧附近，出现峰值浓度 530.8895 ppm，现场有公交车行驶，疑似为公交车尾气排放所致。

综上所述，合肥市高新区走航区域 CO₂、CH₄ 整体浓度偏高。走航监测发现高新区主要交通路口 CO₂ 浓度偏高（如长江西路与创新大道交口、创新大道

与习友路交口、玉兰大道与黄山路交口、长宁大道与望京西路交口等），疑似道路车辆尾气排放所致。走航监测发现美芝制冷近出现 CH₄ 高值，很大可能的

原因为美芝制冷具有以天然气为动力的车辆，或者存在天然气储存管，因此导致周边区域 CH₄ 浓度值升高。同时在道路公交车后方持续监测到 CH₄ 高值，为公交车以天然气为动力，到站行驶缓慢，因此导致周边区域 CH₄ 浓度值升高。

7 重大分歧意见的处理

无

8 参考文献

- [1] 汪 玉. 用于走航监测的大气温室气体检测系统及网络监测平台的研制 中国科学技术大学, 2022.
- [2] World Meteorological Organization. Global Atmosphere Watch (GAW), Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG3IS) report: Urban Greenhouse Gas Emission Observation and Monitoring Best Research Practices, 2021.
- [3] 中国环境监测总站. 城市碳监测试点质量控制与质量管理指南（试行）. 北京, 2023.
- [4] 上海市环境保护产业协会. 温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范. 上海, 2024