

《温室气体（二氧化碳和甲烷）
走航监测技术规范》

编制说明

（征求意见稿）

编制组
二零二四年

目录

1	工作背景和工作过程.....	1
1.1	工作背景.....	1
1.2	工作过程.....	2
2	制定的必要性分析.....	4
2.1	交通源是碳排放的重要来源.....	4
2.2	走航监测是固定监测站网的补充.....	4
2.3	碳监测评估试点工作的需要.....	5
3	制定的可行性分析.....	6
3.1	技术储备.....	6
3.2	人员保障.....	6
4	国内外相关分析方法研究.....	7
4.1	采用国家标准、国际标准或国内外先进标准情况.....	7
4.2	相关研究.....	7
4.3	相关应用.....	9
5	制定的基本原则和技术路线.....	10
5.1	基本原则.....	10
5.2	技术路线.....	11
6	主要内容说明.....	12
6.1	适用范围确定.....	12
6.2	术语和定义.....	12
6.3	方法概述.....	13
6.4	试剂或材料.....	13
6.5	仪器和设备.....	13
6.6	监测方法.....	18
6.7	结果计算与表示.....	21
6.8	质量保障与质量控制.....	22

6.9	数据审核与报送	23
6.10	人员培训与安全防护	23
7	规范验证实验	24
7.1	实验室测试	24
7.2	道路测试	24
8	征集意见及处理情况	33
9	先进性说明	33
10	重大分歧意见的处理	33
11	规范实施的措施建议	33
12	参考文献	34

《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》 编制说明

1 工作背景和工作过程

1.1 工作背景

2020年9月，习近平总书记在第75届联合国大会一般性辩论上郑重宣示：中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。这一目标也被称为“双碳”目标，是指导我国相关政策制定和实施的根本遵循。

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》，生态环境部《碳监测评估试点工作方案》以及其他我国和上海市碳达峰碳中和相关政策和行动计划，支撑应对气候变化成效评估和减污降碳协同治理，支撑城市温室气体监测能力和碳监测评估体系建设，规范利用车辆搭载温室气体分析仪开展温室气体走航监测，主要涵盖温室气体效应最大的二氧化碳和甲烷两种温室气体。2017年开始，中国科学院上海高等研究院依托中科院和上海市相关项目，逐步开展温室气体走航监测相关研究工作。2022年，依托于上海市环境监测中心碳监测评估试点工作项目，在上海市利用车辆搭载温室气体分析仪，开展主要道路和区域温室气体走航监测，监测周期已满1年。为了总结项目实施经验，补充并提升全国碳监测试点中温室气体走航监测技术，基于已有的示范工作为后期技术推广提供依据，特制定本文件。

编制任务由上海市环境监测中心、中国科学院上海高等研究院、上海师范大学牵头，参编单位包括上海交通大学、上海电力大学、复旦大学、浙江省生态环境监测中心、ABB（中国）有限公司、北京世纪朝阳科技发展有限公司、上海北分科技股份有限公司、浙江灵析精仪科技发展有限公司、上海申欣优达环保科技有限公司和漾青环保科技（上海）有限公司。

1.2 工作过程

1.2.1 前期准备

1.2.1.1 文献调研

2017 年初，查询并研究国内外最新的走航监测标准和论文文献资料，研究温室气体走航监测的技术现状，对开展温室气体走航监测的技术要求和设备性能进行汇总分析，获得了大量技术资料，初步形成了在城市内开展温室气体走航监测的工作方案。

1.2.1.2 走航监测系统搭建

2017 年 1-3 月，利用中国科学院上海高等研究院的移动测试车、温室气体分析仪、气象仪、GPS 定位仪等设备，开始进行温室气体移动监测系统搭建，并在中国科学院上海高等研究院园区内进行测试，完成了走航监测系统的调试，具备了二氧化碳和甲烷等温室气体的走航监测能力。

1.2.1.3 道路实测

2017 年 3 月，利用自行搭建的温室气体走航监测系统，在上海市主干道路开展了温室气体道路实测实验，覆盖了全市主干道路（内环、中环、外环、南北高架、延安高架）及其连接的隧道（延安东路隧道、上中路隧道、军工路隧道、外环隧道），以及连接郊区的华夏高架路。通过实测首次获得了上海市主干道路和隧道中的二氧化碳和甲烷的空间分布特征等相关信息。

1.2.1.4 示范运行

2022 年 2 月和 7 月，利用中国科学院上海高等研究院温室气体走航监测系统，在冬季和夏季开展了大规模的上海市主干道路温室气体走航监测实验，覆盖了上海市主要的高速路和快速路及其连接的隧道。在示范运行期间，不断完善提升温室气体走航监测系统的应用便捷性，研究车辆走航监测温室气体（二氧化碳和甲烷）的质量控制和保障方法，确定运行维护等内容。

1.2.1.5 标准立项

2023 年 1 月 18 日，在上海市环境保护产业协会召开了《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》团体标准立项评审。经过专家组评审和质询，一

致同意《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》团体标准立项。

1.2.1.6 成立规范编制小组

2023年2月~3月，上海市环境监测中心和中国科学院上海高等研究院接受工作任务后，会同上海交通大学、上海电力大学、复旦大学、上海师范大学、浙江省生态环境监测中心、ABB（中国）有限公司、北京世纪朝阳科技发展有限公司、上海北分科技股份有限公司、浙江灵析精仪科技发展有限公司、上海申欣优达环保科技有限公司和漾青环保科技（上海）有限公司成立了规范编制工作组。

1.2.1.7 内部技术研讨

2023年4月~6月，《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》编制期间，编制组共召开4次内部会议对标准编制进度与技术要求进行研讨。技术研讨会会对技术路线确定、技术指南框架制定和监测技术等问题进行了讨论。同时在6月份，利用上海市环境监测中心、中国科学院上海高等研究院的移动走航车辆，搭载了不同品牌的高精度温室气体分析仪在上海市开展了实地走航监测实验，监测区域包括主干道路监测、区域走航监测和点源周边监测。

1.2.2 规范和编制说明草稿编写

2023年7月~12月，完善《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》文本及编制说明。编制组提交《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》征求意见稿。

1.2.3 征求意见

2024年*月*日，上海市环境保护产业协会对《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》公开征求意见，公开征求时间为2024年×月×日至2024年×月×日。

1.2.4 修改送审

公开征求意见期间，根据反馈意见对《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》文本及编制说明进行进一步修改，并答复反馈意见。2024年×月×日召开技术审定会。

2 制定的必要性分析

2.1 交通源是碳排放的重要来源

交通碳排放约占我国碳排放总量的 10%，是我国碳排放的重要来源，仅次于能源和工业部门。上海市作为超大城市，2022 年上海市机动车保有量达到 537 万辆，其中汽车保有量 477 万辆，新能源汽车保有量达 94.5 万辆。2022 年上海市终端能源消费量为 11738 万吨标煤，其中交通运输业耗能为 2308 万吨标煤，总终端能源消费量的 20%。2022 年上海市煤油气和外来电力碳排放为 2.43 亿吨，其中油品类碳排放为 8140 万吨，约占总排放的 34%。因此，对上海市碳排放时空分布进行追踪，交通排放是一个非常重要的排放源，对全市碳监测体系构建至关重要。

在前期监测实验中也发现，车辆在隧道中怠速行驶时，隧道中二氧化碳和甲烷浓度均呈现快速上涨的趋势，而且两者之间的相关系数达到 0.97，充分证明交通车辆在怠速行进过程中会同时排放二氧化碳和甲烷。因此在温室气体走航监测时，特别需要同时监测温室效应最大的两种温室气体即二氧化碳和甲烷。

2.2 走航监测是固定监测站网的补充

2022 年，上海市碳监测评估试点中，通过自建和合作方式建设了“7+1”固定监测站网。但是固定站网仅能监测单一点位的二氧化碳和甲烷等温室气体的时间变化特征，覆盖范围较小，对于城市二氧化碳和甲烷浓度空间分布无法覆盖和监测。其次，这些固定站点基本上是利用中国铁塔公司的通讯高塔，很少直接位于路边，也无法对道路上交通排放的温室气体变化特征进行追踪和持续监测。

走航监测为追踪二氧化碳和甲烷等温室气体空间分布提供了一种有效手段，通过搭载高精度温室气体分析仪，在不同的道路上开展走航监测，快速获取温室气体（二氧化碳和甲烷）空间分布特征。其次，移动监测车也可以作为一个临时固定监测站，可以对特定园区和企业开展临时性的定位监测及定时监测，发挥车载移动监测灵活性、动态性的特点。因此，走航监测是固定站点温室气体监测的

必要补充，和固定站一起构建了全面的温室气体监测体系，追踪城市温室气体时空变化特征。

2.3 碳监测评估试点工作的需要

2021年9月，生态环境部印发《碳监测评估试点工作方案》，落实生态环境部《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》中的“加强温室气体监测，逐步纳入生态环境监测体系统筹实施”的要求。试点工作方案的目标是面向管理、辅助核算，将监测作为排放核算的重要支撑、校核和辅助手段；因地制宜、分类施策，试点城市根据经济社会等客观因素，结合自身基础，重点识别城市温室气体源汇特征，明确目标，细化内容，提出符合基本要求且有针对性的监测方案；立足业务、兼顾科研，初步建立业务化运行的碳监测评估试点工作。注重碳达峰碳中和监测关键科技问题研究，先行先试，积累经验；统筹融合、协同联动，将碳监测纳入常规生态环境监测网络统筹设计，发挥对减污降碳协同增效的支撑服务工作，发挥政府、企业、科研院所等监测资源优势，加强合作共享。

在城市大气温室气体监测试点技术指南中，根据各地监测需求、基础条件、技术能力等差异，将试点城市分为综合试点城市、基础试点城市、海洋试点城市三大类。在综合试点城市和基础试点城市的监测要求中，均需要开展走航车移动监测二氧化碳、走航车移动监测甲烷监测，是碳监测试点中的重要内容之一。

我国《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）规定了环境空气的污染物项目和浓度限值，基本项目主要为二氧化硫、二氧化氮、一氧化碳、臭氧、可吸入颗粒物（PM₁₀）、细颗粒物（PM_{2.5}），不包括二氧化碳和甲烷等温室气体。目前已颁布的涉及环境空气的标准包括《环境空气气态污染物（SO₂、NO₂、O₃、CO）连续自动监测系统技术要求及检测方法》（HJ 654）。涉及温室气体监测的标准主要包括国家推荐标准《大气二氧化碳(CO₂)光腔衰荡光谱观测系统》（GB/T 34415）、《大气甲烷光腔衰荡光谱观测系统》（GB/T 33672）、《温室气体 二氧化碳测量 离轴积分腔输出光谱法》（GB/T 34286）、《温室气体 甲烷测量 离轴积分腔输出光谱法》（GB/T 34287）。这些温室气体的监测标准大都针对固定站监测，对于走航

监测不能完全适用。

环境空气走航监测标准相对较少，主要有《长三角生态绿色一体化发展示范区挥发性有机物走航监测技术规范》（DB 31/T 310002）以及《传感器法环境空气车载移动监测系统技术规范》（T/SHAEP1004-2022）。针对环境空气中温室气体的走航监测规范很少，缺乏利用车辆开展温室气体移动监测的技术规范。在双碳政策和碳监测评估的国家需求和地方需求下，对温室气体车载移动监测的系统组成、技术要求、监测方法和运行维护等方面提出了新的要求。温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术的应用需要进一步制定相关技术标准，提升温室气体监测的科学合理性、针对性和有效性。《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》的编制有利于推进温室气体走航监测，提升温室气体走航监测的标准化水平和数据有效性。

3 制定的可行性分析

3.1 技术储备

依托于 2015 年-2017 年上海市科委项目《构建天地一体化碳排放数据系统及应用研究》，以及 2022 年上海市环境监测中心服务项目《二氧化碳和甲烷立体监测同化反演及通量估算》在上海市分别开展了温室气体（二氧化碳和甲烷）移动走航监测的技术验证和监测示范，对上海市市域内主干道路及其连接的隧道进行了走航监测，获得了上海市不同季节二氧化碳和甲烷空间分布特征。通过多次监测不断探索温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术方法、质控方法、运行维护内容以及走航监测的注意事项等经验，编制了《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》草稿。

3.2 人员保障

编制任务由上海市环境监测中心、中国科学院上海高等研究院、上海师范大学牵头，合作单位包括上海交通大学、上海电力大学、复旦大学、浙江省生态环境监测中心、ABB（中国）有限公司、北京世纪朝阳科技发展有限公司、上海北

分科技股份有限公司、浙江灵析精仪科技发展有限公司、上海申欣优达环保科技有限公司和漾青环保科技（上海）有限公司。编制组成员近一年开发、参与温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术监测方案编制和规范草稿编写，也参与编制了多项团标、地标和国标等标准，编制经验丰富，团队技术积累深厚。

4 国内外相关分析方法研究

4.1 采用国家标准、国际标准或国内外先进标准情况

4.1.1 国外

编制组在调研过程中没有找到国外关于温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测的相关标准或指南。

4.1.2 国内

2021年9月，生态环境部印发《碳监测评估试点工作方案》，在该工作方案中，同时编写了城市大气温室气体及海洋碳汇监测试点技术指南。在试点技术指南中对于走航CO₂/CH₄监测提到技术路线可以采用“非分散红外吸收法(NDIR)、光腔衰荡光谱法、傅里叶变换红外光谱法，采用高密度网格化固定点位监测和连续移动监测。

在全国标准信息平台上，编制组调研发现了1份由安徽省环境检测行业协会发布的《温室气体走航监测技术规范》团体标准（T/AHEMA 19-2022）。该标准规范由安徽蜀峰环境科技发展有限公司提出。

4.2 相关研究

4.2.1 国外

国外温室气体监测常常和大气污染物一起开展，在车辆上搭载大气污染物和温室气体监测设备，形成移动监测平台，利用实时监测结果，评估道路上空气质量或温室气体以及城市地区空气质量或温室气体的时空梯度(Westerdahl et al., 2005; Atherton et al., 2017; Mitchell et al., 2018)。例如 Westerdahl et al. (2005)利用 TSI-Trak Plus 在丰田车改装的平台上开展了美国洛杉矶的 CO₂ 走航监测，走航

监测覆盖了居民区、高速公路等区域，监测结果显示高速公路上的 CO₂ 和大气污染物浓度较高。Mitchell et al. (2018)将温室气体分析仪和大气污染物监测设备搭载在轻轨平台上，在美国盐湖城市开展固定道路上二氧化碳和甲烷走航监测。Mitchell et al. (2018)研究了二氧化碳和甲烷等每个物种的时间平均值和案例研究，揭示了梯度、间歇点源、季节和日变化，以及排放、大气化学和气象条件造成的复杂关系。二氧化碳和二氧化氮与化石燃料的燃烧有关，在整个城市观察到了广泛的空间梯度，在交通路口观察到了明显的羽流，而对于二氧化氮，在机车铁路货场附近观察到了大量羽流。甲烷空间分布的特点是与工业和商业设施相关的明显羽流，其中一些羽流遵循白天工作时间的模式；其他羽流全天持续存在，表明他们是与泄漏有关的逃逸性排放。

4.2.2 国内

国内走航监测主要以大气污染物走航监测为主，温室气体的走航监测相对较少(Zhang et al., 2015; Sun et al., 2019; Wei and Wang, 2020)。中国科学院上海高等研究院在 2017 年在上海市开展了主干道路上及公路隧道里二氧化碳和甲烷走航监测实验(Wei and Wang, 2020)。监测结果显示上海高速公路的二氧化碳和甲烷平均浓度分别为 472.88 ± 34.48 ppm 和 2033 ± 54 ppb，公路隧道的二氧化碳和甲烷平均浓度分别为 1308.92 ± 767.48 ppm 和 2182 ± 112 ppb。二氧化碳和甲烷的最高浓度分别出现在延安高架路和南北高架路上，而最低值都出现在华夏高架路上。二氧化碳和甲烷的热点并不一致，说明它们有不同的来源。隧道对温室气体有“推拉效应”，交通拥挤的延安东路隧道从入口到出口的温室气体浓度急剧上升。Sun et al. (2019)在北京利用移动监测平台和高精度 CH₄ 监测仪，对北京市道路上二氧化碳和甲烷浓度进行走航监测。监测结果表明城市观测点的 CH₄ 浓度分布在 1940-2370 ppb 之间，变化较小，而农村地区的浓度梯度较大；农村地区的 CO₂ 与 CH₄ 浓度之间存在显著相关性，而城市地区则不存在显著相关性。此外通过走航监测可以识别几个点源，如尚未纳入中国国家温室气体清单的液化天然气 (LNG) 发电厂；液化天然气运输车的“指纹”比率 (LNG 运输车、LNG 加气站和 LNG 电厂 CH₄:CO₂ 比值) 呈“L”型。

4.3 相关应用

走航监测常常用于温室气体走航和大气污染物走航监测,通过移动监测的优势获得温室气体和大气污染物的空间分布特征,弥补固定监测点位的不足。走航监测常常用于区域调查,例如调查城市和农村地区温室气体空间分布特征,变化规律(Westerdahl et al., 2005; Mitchell et al., 2018; Sun et al., 2019; Wei and Wang, 2020)。走航监测也可以利用监测得到温室气体和大气污染物的浓度梯度,用于排放源的识别或排放通量估算(Mitchell et al., 2018; Sun et al., 2019; Vinković et al., 2022)。这两种监测方式在很多时候结合在一起进行使用的(Sun et al., 2019; Vinković et al., 2022)。

4.3.1 区域调查型走航监测

区域走航监测的目标是为了获得温室气体的空间分布特征,了解区域内温室气体的现状和变化趋势。例如中国科学院上海高等研究院通过走航监测获得了上海市主干道路上及公路隧道里二氧化碳和甲烷空间分布特征(Wei and Wang, 2020)。Sun et al. (2019)调查了北京市城区和农村二氧化碳和甲烷的空间分布特征并计算 $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ 比值。Mitchell et al. (2018)监测盐湖城市固定道路上的二氧化碳和甲烷的空间分布特征,并利用轻轨每日重复行驶的特点,进行了不同日期不同时刻的重复监测,分析城市固定道路上二氧化碳和甲烷日内变化特征。Westerdahl et al. (2005)调查了洛杉矶市的高速公路、居民区道路上的二氧化碳空间分布特征。

4.3.2 排放源识别型走航监测

排放源识别走航监测的目标是通过监测道路上温室气体的浓度,通过测量的高浓度来判断是否存在温室气体排放或泄漏,并利用模型来进行排放源源强的估算。Sun et al. (2019)通过走航监测识别了液化气发电厂等潜在排放源以及液化天然气运输车、LNG 加气站等的可能泄漏。Atherton et al. (2017)通过走航监测对加拿大石油和天然气开发地区的甲烷排放进行评估。评估结果显示加拿大蒙特尼地区的所有石油和天然气基础设施每年向大气排放的甲烷超过 111800 吨。这一数值超过了所报告的不列颠哥伦比亚省所有石油和天然气行业甲烷排放源的自下而上估算值 (78000 吨)。目前用于估算甲烷排放量的自下而上方法通常无法通

过彻底的实地测量来计算石油和天然气基础设施的排放部分，而通过走航监测可以更准确地反映油气开发中排放源数量。Shi et al. (2023)通过走航监测对 CO₂ 和 CH₄ 排放源进行了识别，并利用排放分配模型（EMISSION-PARTITION model）对独立排放源和多排放源进行了源强估算。Vinković et al. (2022)利用走航监测数据评估了养牛场的甲烷排放通量，评估的结果与利用无人机监测和计算的甲烷排放量进行对比验证。

5 制定的基本原则和技术路线

5.1 基本原则

制定本文件，编制组本着科学性、通用性、前瞻性、具有可扩展性以及易操作性的原则。同时参考国内外相关标准规范，在归纳总结了上海市移动走航监测经验的基础上，对温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术作出了相关的规定和要求。基本原则主要体现在以下几个方面：

5.1.1 科学性

本文件通过多设备走航监测实验和不同季节主干道路走航监测实验，为规范中仪器性能指标选取及限定提供了数据支撑。同时基于实际项目工作经验与需求，规范了温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测系统组成、技术要求、质量保证与质量控制等内容，规范内容覆盖了温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测的全流程。

5.1.2 前瞻性

本文件监测技术的仪器设备采用模块设计，可根据不同项目要求或不同应用场景进行结构调整和扩展升级，补充环境空气其他参数测量。

5.1.3 通用性

本文件充分考虑了温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测的实施场景和监测目的。文件内容尽量与现有标准保持匹配，其中涉及到已有相关标准规范的指标和方法均直接引用原标准文件。

5.1.4 易操作型

本文件所规定的仪器和设备、监测方法、质量保证与质量控制，是通过对相关管理部门和科学研究人员在实际工作中面临的问题和操作经验的充分调研，兼顾了仪器的特点和不同实施单位的需求，保持一定的灵活性和可操作性。

5.2 技术路线

通过查阅相关文献、标准规范，对温室气体走航监测技术的仪器和设备组成、监测方法、设备运行维护等进行研究，分析仪器设备组成与监测技术指标存在的问题。基于上海市温室气体走航监测项目运行经验，对温室气体（二氧化碳和甲烷）监测系统仪器设备组成、监测方法、设备运行维护等方面进行了规定。并编制《温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术规范》（草稿）。召开厂家论证会与专家论证会等征求修改意见，进行修改和完善，编制完成本文件文本和编制说明。规范编制技术路线如图 1 所示。

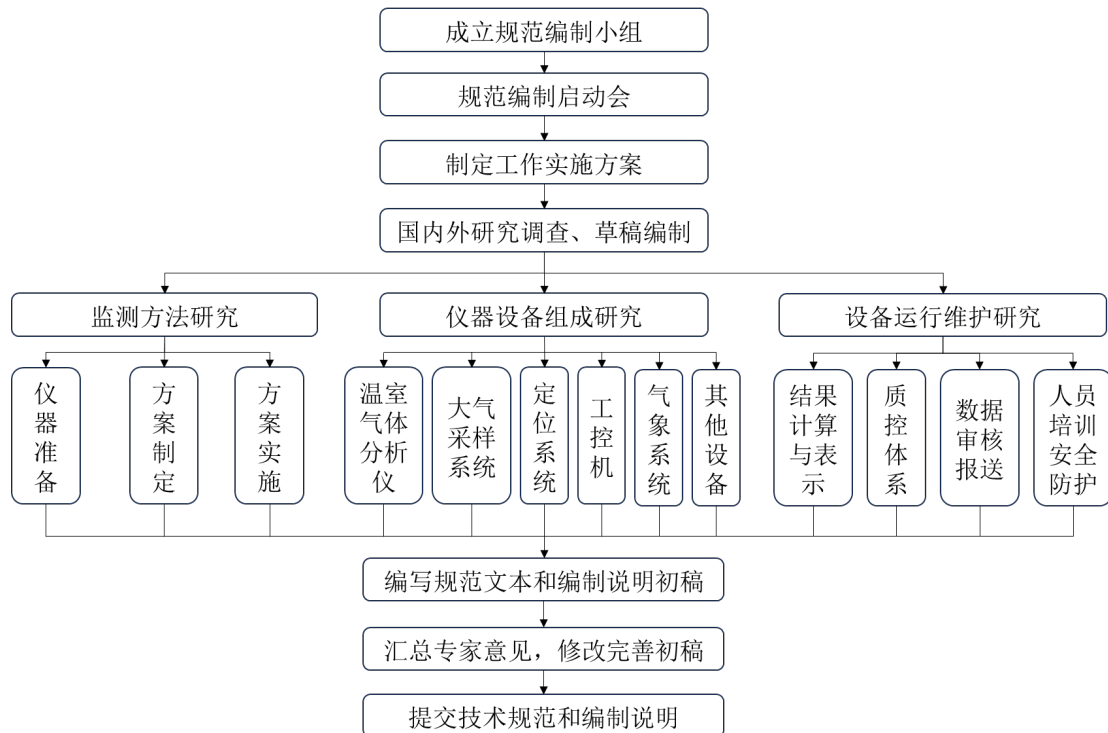


图 1 本文件制定的技术路线

6 主要内容说明

本文件的制定注重与国家现有标准和地方标准协调配套。向国际及国内先进水平看齐,充分考虑现有市场技术水平,对技术要求、性能指标等做出详细要求,力求使文件涵盖技术内容尽可能全面,可操作性强、合理、有先进性。文件包括:前言、范围、规范性引用文件、术语和定义、方法概述、试剂或材料、仪器和设备、监测方法、结果计算与表示、质量保证与质量控制、数据审核和报送、人员培训与安全培训,共十一个部分。

6.1 适用范围确定

本文件目的是为温室气体(二氧化碳和甲烷)走航监测提供支持。主要针对高精度温室气体分析仪开展环境空气中二氧化碳和甲烷等温室气体的走航监测,温室气体走航监测的仪器和设备、监测方法、结果计算与表示、质量保证与控制等部分做出规范要求,用于城市温室气体走航监测。

本文件规定了温室气体(二氧化碳和甲烷)走航监测系统的方法概述、试剂或材料、仪器和设备、监测方法、结果计算与表示、质量保证与质量控制以及安全防护要求。

本文件适用于采用走航监测技术的温室气体监测体系的建设与运行管理,可作为建设、运行与管理的技术依据。

6.2 术语和定义

对文件中的的术语进行统一规范的定义,在本部分对重要术语进行了定义和解释。本文件相关术语主要引用其他标准已规定的术语与定义。

温室气体是指大气中能够吸收红外辐射的气体成分,主要包括水汽(H₂O)、二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、六氟化硫(SF₆)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)和臭氧(O₃)等。本文件中针对走航监测的温室气体主要为二氧化碳(CO₂)和甲烷(CH₄)。

本文件中的走航监测是指利用车载式快速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。

本文件中的驻点监测是指利用车载式快速监测设备在固定点开展连续自动监测，对温室气体等大气成分和其他环境参数进行定点定性定量分析，驻点监测时间不少于 30 分钟。

6.3 方法概述

本文件中的温室气体走航监测技术是指利用温室气体走航监测系统及其他辅助设备，在行进中对环境空气中温室气体进行连续自动监测，并结合地理位置信息，显示沿行进路线上的二氧化碳和甲烷等温室气体浓度空间分布，对高浓度点位进行复测或驻点监测，完成二氧化碳和甲烷等温室气体的走航监测。

6.4 试剂或材料

本文件中主要使用的试剂主要为标准气体，用于校准温室气体分析仪。工作标准气体中必须包括二氧化碳和甲烷两种温室气体。根据工作的需要，也可以根据监测的大气成分配置其他温室气体或污染物的标准气体。

标准气体应购买有证的标准气体，或者在有资质的单位（如中国计量科学研究院、中国气象局等标气研制单位）定制。

为了和国内外数据进行比对，温室气体的标准气体应按照环境温室气体监测量值溯源体系的要求，溯源到我国主要温室气体国家基准/标尺。也应该能够根据国家基准/标尺与国际气象组织（WMO）的差异，溯源至全球基准/标尺上。

6.5 仪器和设备

温室气体走航监测系统由温室气体分析仪、车载式大气采样系统、供电设备、车载卫星定位系统及电子地图、气象监测系统、工控机和其他相关设备或辅助设备组成。

6.5.1 温室气体分析仪

温室气体分析仪是温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测技术中的最重要监测设备。本文件中的必测指标是二氧化碳和甲烷（表 1），他们的分子量分别是 44 和 16。通过温室气体分析仪可以测量二氧化碳和甲烷等温室气体浓度，和经纬度数据结合后可以获得二氧化碳和甲烷温室气体的空间分布特征。

表 1 温室气体走航监测必测目标物

序号	温室气体名称	摩尔质量/ (g mol^{-1})	CAS 号
1	二氧化碳	44	124-38-9
2	甲烷	16	74-82-8

二氧化碳和甲烷是大气中痕量气体，例如 2020 年的全球二氧化碳和甲烷浓度均值分别是 413.2 ± 0.2 ppm 和 1889 ± 2 ppb，我国瓦里关全球背景站的二氧化碳和甲烷浓度分别为 414.3 ± 0.2 ppm， 1944 ± 0.7 ppb，长三角地区区域本底站临安站的二氧化碳和甲烷浓度分别为 431.3 ± 0.4 ppm， 2044 ± 3.0 ppb。长三角地区的二氧化碳和甲烷浓度均高于全球和中国背景站。2020 年全球大气二氧化碳和甲烷的年度增幅分别为 2.5 ppm 和 11 ppb，瓦里关的增幅分别为 2.5 ppm 和 17 ppb。过去 10 年（2011~2020 年）全球二氧化碳和甲烷的年平均增量为 2.40 ppm 和 8.0 ppb，而同期瓦里关的增量年平均增量为 2.43 ppm 和 8.5 ppb。为了识别出季节变化以及城市区域内的年度变化，需要准确识别出温室气体的微小浓度变化，设备的误差至少要小于浓度增量的十分之一，即二氧化碳和甲烷的测量精度至少需要达到 0.25 ppm 和 1 ppb。因此，在温室气体走航监测时，应优先考虑选用高精度温室气体分析仪，确保走航监测获得的温室气体精度和准确度能够识别出道路和城市不同区域间差异。考虑到走航监测时车辆始终处于移动状态，在高速公路和城市快速路上，在 60、80、100 和 120 km/h 速度下的每秒行驶的距离分别是 16.7、22.2、27.8 和 33.3 米（表 2）。为了更好的刻画出城市温室气体空间分布，温室气体分析仪的测量间隔尽可能小，建议温室气体分析仪的测量间隔不大于 1s。

表 2 不同车速下车辆在 1、2、5、10 秒下行驶距离

(单位: 米)

车速 km/h	1 s	2 s	5 s	10 s
120	33.3	66.7	166.7	333.3
100	27.8	55.6	138.9	277.8
80	22.2	44.4	111.1	222.2
60	16.7	33.3	83.3	166.7
50	13.9	27.8	69.4	138.9
40	11.1	22.2	55.6	111.1
30	8.3	16.7	41.7	83.3
20	5.6	11.1	27.8	55.6
10	2.8	5.6	13.9	27.8
5	1.4	2.8	6.9	13.9
1	0.3	0.6	1.4	2.8

目前市场上已有的温室气体高精度监测设备有诸多厂家在生产和销售, 这些设备主要基于光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法和腔增强吸收光谱法等方法。温室气体分析仪由包括使用光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法或腔增强吸收光谱法等技术的设备主机、采样泵、前置过滤器、数据采集存储及传输单元等组成。采样时间间隔不大于 1s。

6.5.2 车载式大气采样系统

车载式大气采样系统主要是将车辆外部的空气抽入走航车辆内, 并由温室气体分析仪的采样泵将气体抽入温室气体分析仪中。

根据车辆组成的不同, 可以按照《环境空气气态污染物(SO₂、NO₂、O₃、CO)连续自动监测系统技术要求及检测方法》(HJ 654) 的要求配置采样总管。若无条件安装采样总管时, 可以直接使用管路从车辆外部引入环境空气进入车内。管路应尽量短以减少对待测温室气体的吸附, 管路总长度不超过 5 m。

为了避免车辆本身的影响, 气体的采样能够应该采样口应位于车顶前部, 且采样口应高于车顶不小于 0.2 m。

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、黄铜、硼硅酸盐玻璃或者硅烷化处理的不锈钢材料。

考虑到环境空气中颗粒物的影响, 采样气体进入设备分析前需要对颗粒物进行过滤, 可以使用颗粒物过滤器去除粒径大于 5 μ m 的颗粒物, 推荐使用不锈钢或聚四氟乙烯滤膜。

为了避免水汽对温室气体浓度影响，采样气体进入设备分析前需采用冷阱、高氯酸镁干燥剂或者 Nafion 管除水。

整个车载大气采样系统安装完成后，需要测试设备开启后环境空气从采样口至温室气体分析仪所需要的时间，用于后续和 GPS 数据匹配。为了减少气体在管路中的传输事件，可采用大流量泵抽取样气，分流部分样气至温室气体分析仪，缩短样气在管路中的停留时间小于 30 秒。

6.5.3 供电设备

为了保证温室气体分析仪及辅助设备正常工作，需要在走航车辆上配置电池等供电设备，满足设备用电需要。为了获得尽可能多的有效数据，供电设备对全部设备的供电能力应不少于半个工作日，即需要满足走航监测设备连续运行 4h 以上。根据工作需要，可以配置满足 1 天工作能力的供电能力，最大限度发挥走航监测在可移动性上的优势。

6.5.4 车载卫星定位系统及电子地图

卫星定位系统可以获取车辆走航监测时的位置信息，是开展走航监测必不可少的监测设备。通过配备车载卫星定位系统，在走航监测时同步记录经纬度坐标、行进速度等信息。为了和温室气体分析仪的时间分辨率保持一致，车载卫星定位系统的计时精度应在 1s 以内。为了识别出不同车道上温室气体浓度差异，卫星定位系统的空间分辨率应该不大于我国多车道公路的机动车车道最小宽度。按照行业标准《城市道路工程设计规范》(CJJ 37-2012)，在设计时速大于 60 km/h 时，小客车专用车道的最小车道为 3.5 m；时速≤60 km/h 时，小客车专用车道的最小车道为 3.25 m。考虑城市高快速道路的实际时速大于 60km/h，因此卫星定位系统的定位精度应不小于 3.5 m。

6.5.5 气象监测系统

为了评估气温、风速、风向等因素对监测结果的影响，根据工作需要，可以配置气象监测系统，在走航监测温室气体同时监测环境温度、相对湿度、大气压、风速和风向等气象参数。相应气象参数的测量范围和精度应满足《环境空气质量手工监测技术规范》(HJ 194) 的要求。气象参数应按照《大气污染物无组织排放监测技术导则》(HJ/T 55) 的要求，实现气象参数实时测量和记录。

6.5.6 工控机

为了记录走航监测过程中各类型设备的监测数据,并可以根据需要可以上传至上位平台,因此建议在走航监测系统中配置工控机。工控机的配置应符合《污染物在线监控(监测)系统数据传输标准》(HJ 212)的要求,保障系统运行并将数据上传至上位平台。

根据不同通讯接口的要求,工控机需要具备 USB 接口或以太网通信接口,使用无线网卡可以与上位平台通信。根据需要也可以使用 RS-485 或 RS-232 等接口进行通讯。

存储要求。根据使用需要,工控机能完整存储不少于 12 个月的所有参数监测数据及相关信息。

此外,因为工控机放置在车辆上进行道路、园区等多种区域走航监测,因此工控机需要具备抗振动、防电磁干扰等功能。此外在走航监测时,点源接入会存在波动,因此工控机也需要具备更大的电压稳定性,允许外部供电电压波动±10%。

部分温室气体分析仪自身已经配置了电脑,包括了存储和通讯接口,具备存储和上传数据功能,工控机的配置可以酌情消减。

6.5.7 其他设备

根据温室气体来源解析,减污降碳协同控制监测等工作需要,可以配置氧化亚氮(N₂O)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、乙烷(C₂H₆)等在线监测设备,或者其他离线采样装置或设备,用于作为选测目标物和示踪物。也可配置行车记录仪等视频采集设备,记录走航监测时周边的车辆和外部环境。这些监测设备的安装和数据接入可以参考温室气体分析仪的安装和数据接入要求。

表 3 温室气体走航监测选测目标物和示踪物

序号	大气成分名称	摩尔质量/(g mol ⁻¹)	CAS 号
1	氧化亚氮	44	10024-97-2
2	一氧化碳	28	630-08-0
3	二氧化氮	46	10102-44-0
4	二氧化硫	64	7446-09-5
5	乙烷	30	74-84-0

6.6 监测方法

监测方法包括仪器准备、监测方案制定、监测方案实施等三个方面。

6.6.1 仪器准备

在走航监测开展前，需要确认走航监测系统的完整性和准确性，确保走航监测处于可行状态。为了保证监测数据的准确性，需要对温室气体分析仪进行设备校准和准确度分析

6.6.1.1 设备校准和漂移分析

利用标准物质对走航监测前后的温室气体分析仪进行校准，来分析评估设备的准确性和漂移。走航监测前的校准是将温室气体分析仪监测的温室气体浓度统一到国家或者国际标尺上，确保走航监测的温室气体分析数据的准确性。通过走航监测后的设备校准，可以判断出温室气体分析仪因受走航监测过程中车辆振动等因素的影响而产生的漂移情况。通过走航监测前后浓度与标气的差异来判断设备在整个走航监测前后的漂移。具体的校准方式如下：

(1) 在走航监测前，使用溯源至国家温室气体基准/标尺尺度的标准气体对温室气体分析仪进行单点校准。通入标气时间应在设备读数稳定后不少于 5 分钟。

(2) 在走航监测后，使用温室气体分析仪对溯源至国家温室气体基准/标尺尺度的标准气体进行测量，分析走航监测前后设备的漂移。通入标气时间应在设备读数稳定后不少于 5 分钟。

6.6.1.2 准确度分析

为了评估所使用的温室气体分析仪的精度，需要对设备进行准确度分析。具体的实施方法是：使用温室气体分析仪连续通入标准气体，设备读数稳定不少于 15 分钟。以实际测量结果计算温室气体分析仪的准确度和精密度。根据工作需要，也可以将通入标气的时间延长到 30 分钟或者 1 小时。

6.6.1.3 试运行

在开展道路走航监测前，需要进行走航监测系统的试运行，确保系统正常运行。试运行可以通过启动监测设备和车辆，在车辆停放区域周边开展小范围走航

试验，确认车辆、采样系统、温室气体分析仪、气象监测系统等运行正常；工控机可正常存储、上传监测数据；卫星定位系统显示定位准确。

试运行过程中出现问题，需要对所出现的问题进行排查，确保无问题后方可进行上路进行道路走航监测实验。

6.6.2 监测方案制定

温室气体走航监测需要制定走航监测方案，规划走航的区域和路线。

气象条件选择。温室气体浓度受风速风向等气象因素有关，为避免风速过大无法准确识别道路及附近排放源的影响，因此参照《长三角生态绿色一体化发展示范区挥发性有机物走航监测技术规范》，走航监测宜在风速 8 m/s 以下开展。因温室气体分析仪监测受水汽影响较大，走航监测应选择在全天均无明显降水天气条件下开展。

监测区域规划。应根据环境管理要求和解决实际环境问题的目的，合理规划监测区域。监测前应调查和掌握区域内排放温室气体的主要行业或者企业等排放源信息、道路分布特征以及盛行风向等信息。

监测路线规划。结合区域管理要求和目标区域排放源分布，合理规划走航监测路线。应沿城市道路，重点区域或工业园区内部、边界、厂界进行走航监测。根据需要，也可参考《大气污染物无组织排放监测技术导则》HJ/T 55 要求在排放源周边及其下风向进行走航监测或者驻点监测。

参比浓度选择。因二氧化碳和甲烷是长寿命气体，在大气中有背景浓度，根据需要可选择周边环境空气固定站点的二氧化碳和甲烷监测数据作为走航监测的参比背景浓度。也可选择走航范围内的上风向或者无明显排放区域的温室气体平均浓度作为参比浓度。

6.6.3 监测方案实施要求

根据走航监测实施的目的，温室气体走航监测可以划分为区域调查型和排放源识别型两种走航监测模式。不同的监测模式对应的监测要求存在差异。

6.6.3.1 区域调查型走航监测要求

区域调查型走航监测适用于城市、乡村或其他类型的区域性温室气体浓度调查，主要目的是通过走航监测获得温室气体空间分布特征，弥补温室气体固定监

测站点位不足的缺点。区域调查型走航监测的数据可应用于区域温室气体现状评估以及作为碳同化系统的输入和验证数据。

针对交通排放的走航监测，根据工作需要，应在交通高峰期和平峰期、白天和夜晚、工作日与非工作日分别开展走航监测。通过多时刻的走航监测获得交通排放的主要特征。

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，应在非交通高峰期的时间内开展移动走航监测，避免高峰期大流量交通对监测结果的影响。考虑植物光合作用对二氧化碳吸收以及微生物排放的影响，应在夏季和冬季、白天和夜晚分别开展移动走航监测，区分植被光合作用和无植被光合作用的影响。

6.6.3.2 排放源识别型走航监测要求

排放源识别型走航监测适用于大型温室气体排放点源和无组织排放源的识别及排放估算的调查。主要目的是通过走航监测识别出点源或无组织排放源排放的二氧化碳或甲烷的烟羽，通过浓度差异和高斯模型等方法估算出点源或无组织排放源的源强。

为了避免交通源的影响，排放源识别型走航监测应在非交通高峰期的时间内开展。通过在交通平峰期间监测，尽最大可能去除交通源排放的影响，使监测的结果更多反映出点源或无组织排放源的排放特征。

排放源周边监测。在潜在点源或无组织排放源的周边路网进行密集走航监测，获得点源或无组织排放源周边的二氧化碳和甲烷等温室气体浓度的空间分布，识别出温室气体浓度的高浓度区域和低浓度区域。

对温室气体浓度高浓度区域，可开展停车驻点监测，结合道路位置信息、气象参数，评估监测点位的二氧化碳和甲烷特征，进一步开展温室气体排放来源的溯源。根据工作需要可同时在点源的上下风向或者低/高浓度区域同时开展停车驻点监测，计算点源排放引起的温室气体浓度的增量，辅助温室气体排放溯源。因温室气体存在背景浓度，建议驻点监测时间不少于 30 分钟，避免周边活动的临时干扰。

6.6.3.3 其他监测要求

实际道路走航监测时应按照规划路线开展走航监测。在出现道路施工或者监测结果异常等情况下可对路线进行适当调整。走航监测速度应满足道路最低限速要求，按照高速路/快速路、主干路、次干路最高限速为 120、80、60 km/h 计算，每秒车辆行进的距离分别为 33.3、22.2 和 16.7m（表 2）。将这些数据按 5 或 10 进行取值并向下兼容，对应的高速路/快速路、主干路、次干路应满足的条件是每 30m、20m、15m 可获取一组监测数据。

走航监测过程中若发现二氧化碳浓度和甲烷浓度有明显峰值或超过均值 20% 以上时，超过 550ppm，甲烷浓度超过 2200ppb 时，说明周边可能存在明显的排放源。按照走航均值 CO₂ 和 CH₄ 浓度为 450ppm 和 2200ppb 计算，CO₂ 和 CH₄ 浓度超过 540ppm 和 2400ppm 时，可能提示监测区域周边有显著排放源。条件允许时，可以在该点附近靠近排放源进行走航或者停车驻点监测。根据需要可以对高浓度监测点位进行复测，可按照排放源识别型走航监测的要求开展溯源监测。

6.7 结果计算与表示

温室气体分析仪在走航监测获得的二氧化碳和甲烷等温室气体浓度数据需要定量表示，也需要和位置信息等匹配。

6.7.1 定量结果

根据实际采用的设备技术类型的差异，可以根据采用光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法、腔增强吸收光谱法或者其他高精度测量技术的温室气体分析仪对样气中二氧化碳和甲烷的不同响应，直接定量样气中的二氧化碳和甲烷等温室气体浓度。

6.7.2 结果表示

本文件二氧化碳和甲烷使用的浓度单位使用体积浓度表示，分别为 ppm（ $\mu\text{mol/mol}$ ）和 ppb（ nmol/mol ）。测量结果均保留小数点后 2 位数字。

部分仪器的默认浓度单位为质量浓度时，需要将质量浓度 mg m^{-3} 或 $\mu\text{g m}^{-3}$ 换算为体积浓度。可以按照公式（1）对单位进行换算。

$$\varphi_v = \rho_w \times \frac{V_m}{M} \quad (1)$$

式中：

φ_v ——二氧化碳（CO₂）体积浓度为 ppm，或者甲烷（CH₄）体积浓度为 ppb；

ρ_w ——二氧化碳（CO₂）质量浓度为 mg m⁻³，或者甲烷（CH₄）质量浓度为 μg 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。

6.7.3 空间分布图绘制

走航监测完成后绘制走航路径上的二氧化碳和甲烷的浓度分布图，温室气体浓度高低可以使用颜色来区分，也可以使用柱状图来区分。浓度分布图上需标注走航监测的区域、主要道路名称、走航监测时间和图例。根据工作需要，可以在高浓度点位附近注释，标注周边主要点源和潜在污染源等信息。

二氧化碳和甲烷走航监测分布图上浓度所对应的颜色可根据工作需要设置为渐变颜色。

6.8 质量保障与质量控制

为了保障监测结果在国内外具备可比性，需要对采用光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法、腔增强吸收光谱法等高精度测量的温室气体分析仪进行校准。每次走航监测前均需要利用溯源至国家温室气体基准/标尺尺度的标准气体对温室气体分析仪进行校准。

走航监测后使用温室气体分析仪对该标准气体进行测量，测量的结果与走航监测前的结果相比，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，否则当次走航监测数据仅作为参考。此目的是为了保障温室气体分析仪在走航监测过程中不出现较大的浓度偏差。0.5ppm 和 3ppb 是按照二氧化碳和甲烷的环境浓度为 400ppm 和 2000ppb，偏差不大于 0.125%计算得到。

为了确保仪器状态稳定，对于采用光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法和光学反馈腔增强红外吸收光谱法的温室气体分析仪，需要每季度开展一次仪器稳定性检查，确保仪器处于良好状态。

为了规范质量保证和质量控制过程，应建立质量控制文件，包括但不限于标

准操作规范、日常运行维护与质量控制规范、维修记录和校准记录等。

车辆在道路行驶时，不可避免的受到振动影响。为了减少对温室气体分析仪等设备的影响最大程度降低测量误差，应对走航监测中的设备采取防震措施。

6.9 数据审核与报送

走航监测数据在报送和存档前，需要对数据进行审核。

监测数据需要进行严格审核，走航监测结果审核内容包括：

- a) 走航监测过程是否符合规范；
- b) 数据记录是否规范、完整；
- c) 质控指标复核，确保各项质控指标合格。

通过审核后的监测数据按照规定的格式（表 4）及相关要求汇总报送。

表 4 温室气体走航监测数据报送表

日期	时间	经度 (°)	纬度 (°)	道路 名称	CO ₂ 浓度 (ppm)	CH ₄ 浓度 (ppb)	车速 (km/h)	气象参数（可选）		
								气温 (°C)	气压 (hPa)	相对湿度 (%)

6.10 人员培训与安全防护

为了保障走航监测的人员和设备安全，需要对人员进行培训，并做好安全防护。

随车工作人员。随车工作人员应通过培训，具有熟练的操作技能，能正确使用仪器设备。

设备维护。车辆和设备应由专业人员定期进行检修维护工作。

优先保障行车安全。沿高速路/快速路、主干道路、次干路走航监测时，应满足道路的限速要求，确保行车安全的前提下满足每 30m、20m、15m 内应有一组

监测数据。沿重点区域或者工业园区开展走航监测时，以较低车速行驶时或临时停车不超过 10 分钟时，应开启危险报警闪光灯（即“双闪”灯）对周边车辆进行警示。

遵守属地管理要求。在工业园区或企业内部开展走航监测时，应遵守园区和企业的安全生产管理要求。

7 规范验证实验

为了验证本文件的可行性，规范编制组针对不同技术类型的高精度分析仪开展了验证实验。分别应用光腔衰荡光谱法、离轴积分腔输出光谱法、腔增强吸收光谱法的温室气体分析仪参与了验证测试。测试地点分别位于上海、广西和山西等地。

7.1 实验室测试

实验室测试在中国科学院上海高等研究院碳数据与碳评估研究中心开展，主要开展精度测试和实验室设备校准。在实验室首先利用已追溯至 WMO 的标气对仪器进行校准。然后对设备通入标气进行精确度测试。

7.2 道路测试

7.2.1 上海市道路测试

2023 年 6 月，在上海市道路上开展了本文件的验证测试。本次实验使用的是光腔衰荡光谱法和腔增强吸收光谱法原理的温室气体分析仪，仪器放置在中国科学院上海高等研究院的移动测试车上。在上海市的华夏高架、两港大道、绕城高速部分路段、虹梅高架、外环部分路段和燃气电厂周边分别开展监测。道路监测安排在交通平峰期间，分别开展区域调查型和排放源识别型走航监测。



图 2 上海市道路走航验证实验道路示意图

7.2.1.1 光腔衰荡光谱法温室气体分析仪测试结果

(1) 空间分布特征分析

2023 年 6 月,利用光腔衰荡光谱法温室气体分析仪测量的上海市道路上 CO_2 和 CH_4 浓度分别为 $459.82 \pm 63.51 \text{ ppm}$ 和 $2040.68 \pm 93.20 \text{ ppb}$ 。基于 GPS 定位仪测定的位置数据和温室气体分析仪测量的二氧化碳和甲烷浓度数据,可以绘制出走航监测的道路二氧化碳和甲烷空间分布图(图 3 和图 4)。

从二氧化碳空间分布图上看(图 3),二氧化碳浓度较高的区域主要集中于外环、虹梅南路隧道出口,郊环部分路段罗山路辅路以及临港大道部分路段。二氧化碳浓度较低的区域主要集中于两港大道和滴水湖区域,如环湖一路、环湖二路以及环湖三路。高浓度的 CO_2 浓度主要来源于道路拥挤车流量大(如外环)、隧道风引起的隧道出口浓度升高(虹梅南路隧道出口)以及红绿灯等候时前车尾气排放(如临港大道部分点位)。



图3 上海市走航监测的二氧化碳空间分布（光腔衰荡光谱技术）

从甲烷空间分布图上看（图4），甲烷浓度较高的区域主要集中靠近市区的范围内，例如华夏高架、浦东机场周边、虹梅高架和外环部分路段。此外在奉贤燃气电厂周边也发现较高浓度的甲烷甲烷浓度较低的区域主要集中于临港大道南侧、滴水湖周边以及沪芦高速、郊环（绕城高速）部分路段。

从二氧化碳和甲烷的监测结果来看，高浓度二氧化碳和甲烷浓度的出现可以用于潜在排放源的识别。而在滴水湖等车辆较少区域，走航监测的结果可以直接用于区域二氧化碳浓度调查。



图 4 上海市走航监测的甲烷空间分布（光腔衰荡光谱技术）

（2）燃气电厂周边走航监测

2023 年 6 月，走航车辆在上海市某燃气电厂周边开展二氧化碳和甲烷走航监测实验。

从二氧化碳的空间分布上看，在金海公路、东方美谷大道、工业路和大叶公路等路段均监测得到高浓度的二氧化碳浓度（图 5）。这些道路上高浓度值可能是电厂烟羽导致，但是还需要进行结合风速风向数据和其他数据进行确认。



图 5 燃气电厂周边二氧化碳空间分布

从甲烷的空间分布上看，在金海公路、金庄公路、工业路和大叶公路等路段部分点位监测得到高浓度的甲烷浓度（图 6）。

需要特别指出的是，虽然在燃气电厂周边的部分道路上能够识别到高浓度的二氧化碳和甲烷，但是还不能直接确认为电厂的烟羽导致。因此，基于高精度二氧化碳和甲烷监测结果较难直接反映出高架排放源的烟羽，还需要借助其他手段如柱浓度监测和气象数据分析才能更好的对烟羽进行判别和开展后续排放估算。



图 6 燃气电厂周边甲烷空间分布

7.2.1.2 腔增强吸收光谱法温室气体分析仪测试结果

2023 年 6 月，将采用腔增强吸收光谱法技术的温室气体分析仪一起放在中国科学院上海高等研究院的走航监测车上一起开展道路走航监测实验。由于该型设备的时间分辨率为 10s，比采用光腔衰荡光谱技术的温室气体分析仪低，因此在部分路段上的监测浓度范围与光腔衰荡光谱技术存在差异。但从实际监测结果上看，两种技术的温室气体分析仪测量的空间分布较为一致，均能识别到二氧化碳和甲烷的高浓度区域。



图7 上海市走航监测的二氧化碳空间分布（腔增强吸收光谱技术）

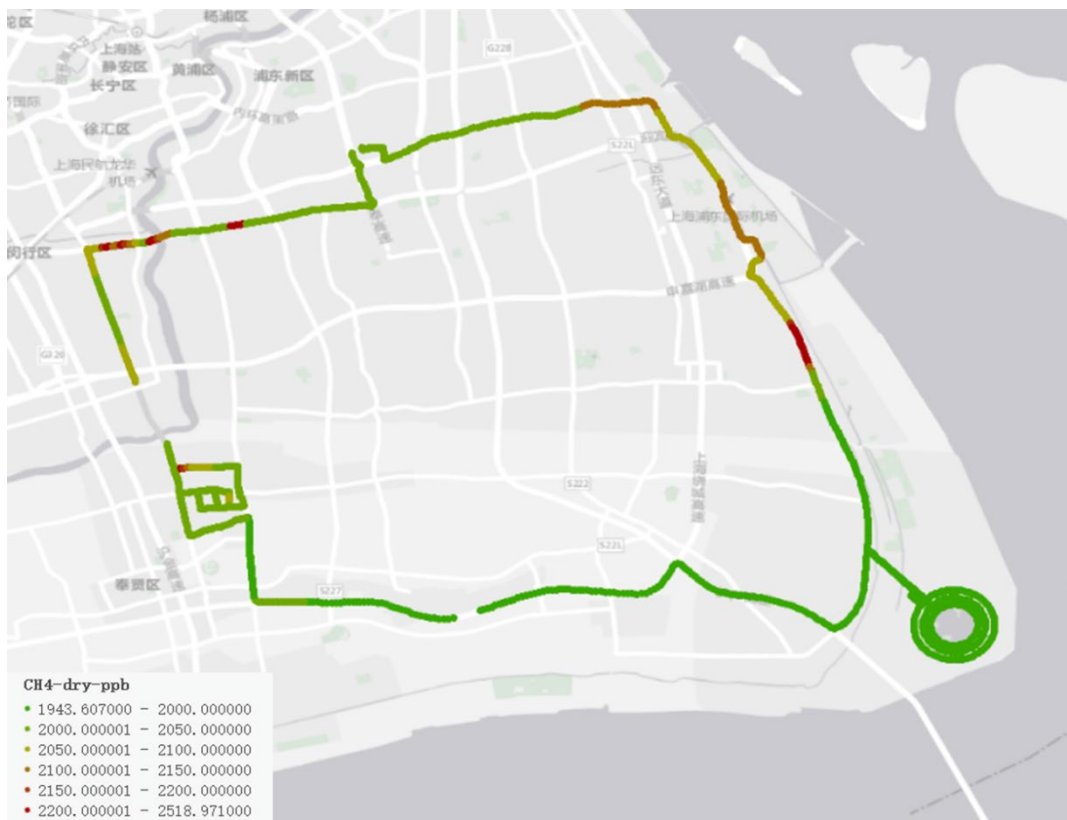


图8 上海市走航监测的甲烷空间分布（腔增强吸收光谱技术）

7.2.2 广西壮族自治区道路测试

2023年5月,使用光腔衰荡光谱法的温室气体分析仪在广西壮族自治区(以下简称广西)道路上开展了本文件的验证测试。 CO_2 和 CH_4 浓度分别为 447.43 ± 12.08 ppm和 2260.34 ± 67.36 ppb。

从空间分布上看,走航监测能够清晰识别到道路上的二氧化碳和甲烷的高浓度区域路段(图4和图5)。二氧化碳和甲烷空间分布存在差异,在部分路段同时出现较高的浓度,表明可能受机动车排放影响;在部分路段仅二氧化碳或者甲烷中一种浓度较高,表明该段路可能存在其他的排放来源。



图4 广西某地二氧化碳走航监测验证(光腔衰荡光谱技术)



图 5 广西某地甲烷走航监测验证（光腔衰荡光谱技术）

7.2.3 山西省道路测试

在甲烷源排放监测方面，使用车载离轴积分腔输出光谱法技术设备对山西省的三个煤矿成功进行了甲烷排放试点监测。其中 1 处煤矿的甲烷排放趋势见图 6。

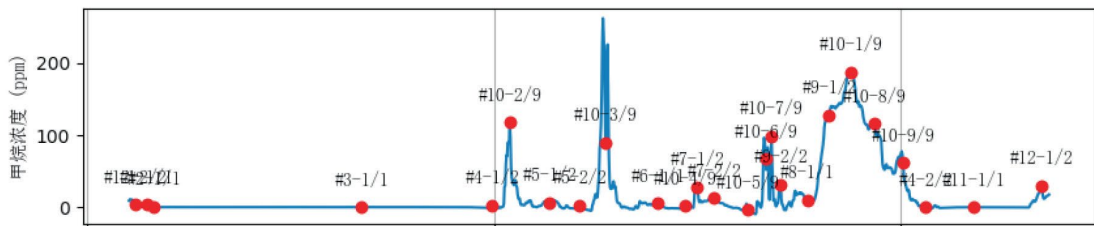


图 6 山西某煤矿甲烷排放趋势（离轴积分腔输出技术）

三处煤矿的检测结果均有行车路线轨迹与甲烷浓度标尺显示，低甲烷浓度在轨迹上显示为蓝色，甲烷浓度越高，轨迹上的红色就越深（图 7）。



图 7 山西三处煤矿甲烷走航监测结果（离轴积分腔输出技术）

8 征集意见及处理情况

征求意见中。共收到 XX 条意见，采纳 XX 条意见。

9 先进性说明

本文件为针对温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测工作的标准化文件。本文件规定了利用高精度温室气体监测设备开展温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测的术语和定义。对开展走航监测的全过程提出了要求，包括标准气体、仪器和设备组成、监测方法、结果计算与表示，数据审核与质量控制等。针对目前市场上高精度监测设备技术类型、品牌较多等特征，基于实际外场监测数据，规定了温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测系统的技术要求。

本文件基于上海市区域碳排放和园区碳排放的特征，将走航监测的实施区分为区域调查型和排放源识别型两种走航监测模式，为城市温室气体（二氧化碳和甲烷）走航监测实施提供参考。

10 重大分歧意见的处理

暂无重大分歧意见

11 规范实施的措施建议

加强标准宣贯培训。《规范》发布实施后，生态环境主管部门、碳监测网络建设相关单位进行《规范》的宣贯，确保相关政府部门、单位知晓、了解以及使用本《规范》。

12 参考文献

- [1] Atherton, E., and Coauthors, 2017: Mobile measurement of methane emissions from natural gas developments in northeastern British Columbia, Canada. *Atmos. Chem. Phys.*, **17**, 12405-12420.
- [2] Mitchell, L. E., and Coauthors, 2018: Monitoring of greenhouse gases and pollutants across an urban area using a light-rail public transit platform. *Atmos. Environ.*, **187**, 9-23.
- [3] Shi, T., and Coauthors, 2023: Quantifying factory-scale CO₂/CH₄ emission based on mobile measurements and EMISSION-PARTITION model: cases in China. *Environ. Res. Lett.*, **18**, 034028.
- [4] Sun, W., L. Deng, G. Wu, L. Wu, P. Han, Y. Miao, and B. Yao, 2019: Atmospheric Monitoring of Methane in Beijing Using a Mobile Observatory. *Atmosphere*, **10**, 554.
- [5] Vinković, K., and Coauthors, 2022: Evaluating the use of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based active AirCore system to quantify methane emissions from dairy cows. *Sci. Total Environ.*, **831**, 154898.
- [6] Wei, C., and M. Wang, 2020: Spatial distribution of greenhouse gases (CO₂ and CH₄) on expressways in the megacity Shanghai, China. *Environ. Sci. Pollut. R.*, **27**, 31143–31152.
- [7] Westerdahl, D., S. Fruin, T. Sax, P. M. Fine, and C. Sioutas, 2005: Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles. *Atmos. Environ.*, **39**, 3597-3610.
- [8] Zhang, Y., and Coauthors, 2015: Emission factors of fine particles, carbonaceous aerosols and traces gases from road vehicles: Recent tests in an urban tunnel in the Pearl River Delta, China. *Atmos. Environ.*, **122**, 876-884.