

便携式挥发性有机物检测仪（FID）技术

要求及监测规范编制说明

二〇二三年九月

目 录

1.研究背景	2
1.1 任务来源	2
1.2 工作过程	2
2.团标制订必要性	3
2.1 理化性质与环境危害	3
2.2 相关环保标准和环保工作的需要	3
2.3 现行标准的实施情况和存在问题	5
3. 监测方法研究	5
3.1 国外相关研究	5
3.2 国内相关研究	7
3.2.1 管理要求	7
3.2.2 分析方法	9
4 研究内容与关键问题	13
4.1 研究内容	13
4.2 关键问题	13
5.技术路线	14
6.研究报告	15
6.1 方法研究报告	15
6.1.1 研究目标	15
6.1.2 适用范围	15
6.1.3 规范性引用文件	15
6.1.4 术语和定义	16
6.1.5 方法原理	17
6.1.6 仪器和设备	18
6.1.7 基本要求	18
6.1.8 技术要求	18
6.1.9 性能要求	20
6.1.10 测定	23
6.1.11 测定结束	24
6.1.12 质量保证和质量控制	24
6.1.13 注意事项	25
6.2 性能测试结果	25
参考文献	30

1. 研究背景

1.1 任务来源

根据《中华人民共和国大气污染防治法》《大气污染防治行动计划》《重点行业挥发性有机物综合治理方案》等文件的要求，挥发性有机物（VOCs）的治理已成为生态环境保护的重点工作。设备动静密封点泄漏是 VOCs 无组织排放的重要源项之一。《“十三五”挥发性有机物污染防治工作方案》（环大气〔2017〕121 号）要求在制药、农药、炼焦、涂料、油墨、胶粘剂、染料等行业逐步推广泄漏检测与修复工作。《国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知》（国发〔2018〕22 号）要求，实施 VOCs 专项整治方案，制定石化、化工、工业涂装、包装印刷等 VOCs 排放重点行业和油品储运销综合整治方案，出台泄漏检测与修复（LDAR）标准，编制 VOCs 治理技术指南。《重点行业挥发性有机物综合治理方案》（环大气〔2019〕53 号）要求加强设备与管线组件泄漏控制，企业中载有气态、液态 VOCs 物料的设备与管线组件，密封点数量大于等于 2000 个的，应按要求开展 LDAR 工作。

2022 年 8 月 16 日中华环保联合会《便携式挥发性有机物（FID）技术要求及监测规范》批准立项，团体标准主要起草单位为中国环境监测总站、江苏省南京环境监测中心、上海环境监测中心、上海大学等单位共同制订。

1.2 工作过程

（1）前期准备阶段

任务下达后，编制组立即组织成立标准编制组。按照《国家环境保护标准制修订工作管理办法》要求，制定工作计划开展标准编制工作。

（2）形成标准征求意见稿初稿

2022 年 8 月—2023 年 2 月，对国家和各省环境管理规定、标准、文献等相关资料 and 情况开展调研工作，主要包括：国内外相关标准的查阅；国内外相关企业标准查阅；国内外相关文献及研究成果。在广泛查阅、调研的基础上，结合我国便携式挥发性有机物开展泄漏检测的实际情况，制订本标准的基本原则和技术路线，编制了标准文本征求意见稿初稿和现场测试方案。

（3）召开团标征求意见稿初稿研讨会

2023 年 2 月 10 日，中华环保联合会主持开展了征求意见团标稿初稿研讨会，对初稿的内容和现场验证方案进行讨论并提出了修改意见。编制组对团标文本、

编制说明和现场验证方案进行了进一步的修改和完善。

(4) 组织开展现场验证实验测试

2023年3月，编制组组织12家仪器厂家开展现场验证测试，编制组整理测试数据，并形成验证测试报告，作为团标制订内容的基础。

2. 团标制订必要性

2.1 理化性质与环境危害

挥发性有机物的大气污染分为臭氧（O₃）污染、细颗粒物（PM_{2.5}）污染，有害空气污染物（Hazardous Air Pollutants, HAPs）污染和臭味污染。

臭氧污染。大部分的VOCs具有高度的光化学反应性，在阳光下经由紫外线照射，这些VOCs与大气中其它化学成分如NO反应，形成高浓度的O₃及其它过氧化物如PANs。O₃是强氧化剂，会刺激和破坏深呼吸道粘膜和组织，对眼睛有轻度刺激性。

细颗粒物污染。VOCs参与了大气中二次气溶胶的形成。这样形成的二次气溶胶不易沉降，能较长时间滞留于空中，对光线的散射力较强，从而显著降低大气能见度，形成灰霾天气。VOCs最主要的健康影响，在于当人在低浓度细颗粒范围长时间暴露下将使人体致癌几率增加。

臭味污染。臭味是人体受物质刺激感受的嗅觉反应，绝大多数也是VOCs物质。

有害空气污染物污染。HAPs包括VOCs、多环芳烃化合物、重金属及二噁英等。1990年美国《清洁空气法（Clean Air Act）》公告的189种有害空气污染物中，VOCs占70%以上。我国《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）所列的有害物，对某种气味感到厌恶，即构成臭味污染。臭味物质均具备下列几个共同特性：挥发性高、含还原态氮或硫、含碳数较低的不饱和碳氢化合物或环状化合物结构等。多数VOCs具有特殊的气味。

2.2 相关环保标准和环保工作的需要

目前我国以PM_{2.5}和O₃为特征污染物的大气复合污染形式严峻，主要表现在能见度低、大气氧化性增强（意味着形成光化学烟雾危险性增强）。改善大气环境质量的的关键问题是控制PM_{2.5}和O₃。

2010年5月，国务院办公厅转发环境保护部等部门《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》。《通知》指出挥发性有机污染物是大气污染联防联控的重点污染物之一，应开展挥发性有机物污染防治。

2012年9月，国务院批复了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》。《规划》对以大气灰霾为代表的区域复合污染问题十分重视，指出对细颗粒物和臭氧贡献较大的挥发性有机物控制尚处于起步阶段，现有污染控制力度难以满足人民群众对改善环境空气质量的迫切要求。为此，《规划》明确要求开展挥发性有机物摸底调查，完善重点行业挥发性有机物排放控制要求和政策体系，控制石化、有机化工、表面涂装等行业或工艺的挥发性有机物排放。特别重要的是，《规划》对储罐、设备与管线组件泄漏、废水挥发等VOCs无组织排放控制有非常具体的规定。例如，要求石化行业全面推行针对设备与管线组件泄漏的LDAR（泄漏检测与修复）计划，采用高效密封的浮顶罐，废水处理设施（曝气池、气浮池等）加盖密闭；要求有机化工、医药化工等企业提升装备水平，严格控制跑冒滴漏，对于实际蒸汽压大于2.8千帕、容积大于100立方米的有机液体储罐，采用高效密封方式的浮顶罐或安装密闭排气系统进行净化处理等。

2013年《国家大气污染防治行动计划》（“气十条”）要求：在石化、有机化工、表面涂装、包装印刷等行业实施挥发性有机物综合整治。2015年新修订《中华人民共和国大气污染防治法》第二条：“对颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、氨等大气污染物和温室气体实施协同控制”。

挥发性有机物（VOCs）是臭氧（O₃）污染的重要前体物，加强VOCs控制是落实习近平总书记关于PM_{2.5}与O₃协同控制重要指示批示精神的重要举措。企业设备动静密封点泄漏VOCs无组织排放是重要源项之一。《重点行业挥发性有机物综合治理方案》（环大气〔2019〕53号）中要求加强设备与管线组件泄漏控制，企业中载有气态、液态VOCs物料的设备与管线组件，密封点数量大于等于2000个的，应按要求开展泄漏检测工作（LDAR检测）。

“十四五”生态环境监测规划中加强PM_{2.5}和O₃协同控制监测，要求加快制定颗粒物组分、VOCs监测技术规范，强化监测质量控制与仪器设备量值溯源，提高监测结果准确性。在加强科技攻关，塑造产学研用创新优势中，要求重点补充更新自动、遥感、现场监测标准规范，推进管理迫切需求的有毒有害物质、VOCs等监测标准出台。

2.3 现行标准的实施情况和存在问题

《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822—2019）标准 12.4 项中明确规定：对于设备与管线组件、敞开液面逸散的 VOCs 排放，监测采样和测定方法按《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》（HJ 733—2014）的规定执行。但是 HJ 733 为一项技术导则，仅规定仪器设备的简单要求，包括响应系数、响应时间和示值相对误差。作为泄漏检测的技术规范，其中未规定仪器的方法原理、干扰和消除、试剂材料、采样、检测限、零点漂移、量程漂移、仪器校准、质量保证和质量控制等不能作为泄漏检测的检测方法标准，无法满足目前泄漏检测现场监管和执法的实际应用需求。因此，开展基于 FID 的挥发性有机物泄漏检测方法研究势在必行。《工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南》（HJ 1230—2021）中涉及泄漏现场检查，但是仪器设备的技术要求性能指标不全，缺现场测试质控要求，需要进一步补充相关内容。

3. 监测方法研究

3.1 国外相关研究

3.1.1 管理要求

国外 LDAR 的实施起步较早，已经有 30~40 年的经验积累。在长期的应用和发展过程中，国外的 LDAR 工作已经形成了较为完整的实施体系，并已进入法制化、标准化和专业化的轨道。

上世纪 80 年代初起，美国联邦法典对石化炼油行业的设备 VOCs 泄漏排放提出严格的作业要求，规定必须对石化企业实施 LDAR 作业。此后 LDAR 技术被美国许多州和地方政府所采纳，将其作为空气质量达标的主要措施之一。1990 年，美国的《清洁空气法(The Clean Air Act)》修正案正式将 LDAR 纳入其中，作为最大可行控制技术(Maximum Achievable Control Technology, MACT)，规定必须对石化和化工企业实施 LDAR 作业，以控制管线组件的无组织排放；1993 年，美国 EPA 颁布《设备泄漏排放估算协议(Protocol for Equipment Leak Emission Estimates)》，并于 1995 年对该协议进行修正，该协议给出了基于 LDAR 实测结果估算设备泄漏 VOCs 排放量的方法；为了提高 LDAR 工作效率，美国石油学会(American Petroleum Institute, API)于 1997 年提出 Smart—LDAR 技术，并由美国 EPA 于 2008 年发布了红外气体相机开展 Smart—LDAR 的 AWP(Alternative

Work Practice)规范。相对于传统的泄漏检测方法, Smart—LDAR 可以通过远距离光学成像同时检查多个泄漏组件, 从而更快地找出泄漏组件并实施修复。

欧盟于 1999 年起建议其成员国的炼油厂实施 LDAR。欧盟对 VOCs 的排放控制主要采用指令的形式, 其发布的综合污染预防与控制(Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC)指令将工业生产活动划分为能源工业、金属工业、无机材料工业、化学工业、废物管理以及其它活动等 6 大类共 33 个行业进行管理; 2010 年欧盟将 IPPC 指令与现有的工业排放指令整合为 2010/75/EU(The Industrial Emissions Directive, IED)指令, 并要求于 2013 年 1 月 7 日前逐步进入欧盟各国立法体系, 于 2014 年 1 月 7 日起用 IED 指令代替 IPPC 指令和各工业指令。IED 指令实质上是 IPPC 指令的延续和升级, 仍然以 IPPC 为核心, 但同时强化了 BAT 在环境管理和许可证管理中的作用和地位。IED 指令指出, 无组织逸散是 VOCs 控制的重点, 在储罐、设备、管线泄漏等无组织逸散 VOCs 的控制方法中, LDAR 是最佳可行技术(Best Available Technology, BAT), 与工艺排放的控制同等重要。对于 LDAR 工作的开展, 规定常规仪器检测(Sniffing Method)和光学仪器检测(Optical Gas Imaging Methods)都是可选方法。目前比利时、荷兰、瑞典等国家均出台了 LDAR 实施的相关要求和规定。

加拿大环境署制定的环境保护法案中明确提出了有害化工气体泄漏的防治要求, 要求建立并实施完善的泄漏检测与修复技术。1993 年 10 月, 加拿大环境部长理事会(Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME)发布的《设备泄漏无组织排放检测与控制实施法规》(Environmental Code of Practice for the Measurement and Control of Fugitive VOC Emissions from Equipment Leaks)中明确提出了对相关企业管道及设备实施 LDAR 的具体要求, 规定了包括压缩机、泄压阀等在内的不同密封设备的检测频次以及修复时间、泄漏率等。同时, 加拿大清洁空气战略联盟(Clean Air Strategic Alliance, CASA)要求上游油气行业于 2005 年 12 月 31 日前制定一套针对逸散性排放的最佳管理方法, 相关部门颁布并实施 LDAR 许可证制度, 并于 2007 年由 CASA 对上游石化行业进行复查考核。

3.1.2 分析方法

基于傅里叶变换检测技术, 如开路式红外检测仪(OP-FTIR), 是在气体红外成像检测基础上加入干涉仪调制, 由计算机完成傅里叶变换得到单通道红外光谱图, 根据数学模型, 由软件自动扣除背景信号、空气中的水蒸气、二氧化碳和臭氧的干扰, 得到可以用于和标准谱图比较的红外谱图, 进而计算相关系数和检出

值。该方法检测的准确性取决于内置数据库的完整性和识别算法的性能，主要用于远距离物质的定性快速检测。通过对气体特定波长的吸收测量来确定该条光路上气体的种类与浓度，其特点是可以对光路上的物质进行定性定量分析。优点是灵敏度高，只要选取合适的检测波段，可以测出低到 $\mu\text{mol/mol}$ 级的浓度，监测结果比点式检测更具有代表性，能真实反映现场 VOCs 存在状况，主要缺点是调谐范围限制了可探测的气体种类。该技术的代表性仪器主要是光谱类仪器，如激光甲烷测量仪、开路式傅立叶变换红外光谱仪（OP-FTIR）等，目前该类技术设备在石化企业开展了很多探索性的应用，积累了一定的研究数据。

以气体分子光谱学为理论基础，利用探测器来接收物体发出的红外线辐射，在特定的光谱范围内对特定的气体目标成像，使得肉眼无法看到的气体红外线辐射成为可见影像，直观可视某种气体物质的存在，这种技术也被称为面式检测技术。目前，主要有美国、法国和以色列等国家的气体红外成像产品在石化企业气体检测、事故应急检测等领域应用，利用光学原理，通过远距离采集某个区域的主动或者被动气体光学信号，形成直观的物质影像，快速定位泄漏源并跟踪泄漏云团扩散，获取有害物质种类和初步定量浓度信息。该技术的应用目前主要以红外波段为主，优点是可对大面积区域存在的气体进行扫描，高效、快速发现严重泄漏部位，是非接触、无损性的检测；缺点是能定性的气体种类有限且定量水平有待提高。

3.2 国内相关研究

3.2.1 管理要求

2010年5月11日，国务院办公厅转发环境保护部《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》（国办发〔2010〕33号），将 VOCs 的污染防治工作提升至一个新的高度，将 VOCs 列为与 SO_2 、 NO_x 和颗粒物等大气污染物同等重要的污染物；随后，国务院于 2012 年下发了《关于重点区域大气污染防治“十二五”规划》的批复，要求石化行业全面推行 LDAR 技术，加强对于生产、储存和运输过程中 VOCs 的无组织排放的检查与控制力度，对泄漏设备元件进行改造或更换，这也是国家层面上首次将 LDAR 明确要求。广州、上海、宁波城市积极响应国家号召，相继颁布了 VOCs 控制试点文件，要求各地石化企业积极开展 VOCs 的管理控制工作，特别是要积极推动 LDAR 技术的实践。2013 年环保部下发《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》，提出将泄漏检测

与修复技术列为最为重要的防治 VOCs 废气污染的技术措施。

2013 年，《大气污染防治行动计划》《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》等规定相继出台，要求实施 VOCs 污染综合整治工程。2014 年 7 月环保部出台了《石化行业挥发性有机物综合整治方案（征求意见稿）》，进一步明确到 2015 年底，石化行业全面开展“泄漏检测与修复，即 LDAR 技术”，使 VOCs 无组织排放得到控制。2019 年 6 月，生态环境部发布《重点行业挥发性有机物综合治理方案》（环大气〔2019〕53 号），明确要求石化行业深化 LDAR 工作。上述规定的出台，标志着我国从国家层面上开始加强对 VOCs 无组织泄漏的重视，并逐步开展了一系列管理控制措施。但由于我国环境管理相对滞后于环境污染治理的需求，且我国对于 VOCs 的管理控制工作尚不成熟，迫切需要构建完善合理的相关管理体系、技术标准与规范。LDAR 技术作为目前最为有效的控制 VOCs 无组织排放的技术手段，仍需要更加具体合理的管理体系与实施技术规范来确保 LDAR 的规范化、标准化开展。该体系的制定对于指导企业开展泄漏检测与修复、实现 VOCs 的减排以及实施效果的评估都有重要的意义，可以进一步推动挥发性有机物无组织排放管理体系的标准化、规范化，全国石化行业 VOCs 无组织排放管理体系的建立和完善，是我国制定 VOCs 控制政策、征收排污费的重要参考依据，也是实现 VOCs 减排控制、提升环境空气质量的重要手段。

据统计，目前国内大部分重点省份的石化企业都已经开展多轮 LDAR，而化工、煤化工、制药、合成树脂、涂料油墨行业等也陆续开展了 LDAR 检测工作。重点以石化行业为例，统计性讨论 LDAR 实施情况，经过近 5 年的努力，取得了良好的效果。据部分专业公司对多家石化企业检测数据统计，22 家石化企业受控密封点总数 365.51 万个，检测 336.85 万个，泄漏率 0.10%~2.87%。大部分企业或装置的设备泄漏减排在 20%~40%，部分企业或装置减排达 70%以上。不同地区、不同规模企业对 LDAR 的理解、项目标准化水平及完整性相差较大。央企大型石化企业 LDAR 开展的较早，而且做到了全覆盖。如中石化、中石油均有自己的 VOCs 管控数据平台，LDAR 工作的检测结果及数据库均上传各自管控平台，中石油、中石化、中海油所属的 78 家石化企业均已完成首轮实施，部分企业已经开展多轮 LDAR。LDAR 工作已经融入企业的日常管理中，并建立了常态化的检测与修复机制。

3.2.2 分析方法

利用挥发性有机物的热学、光学或电化学等特点设计的，能在现场测定某种或某类有害物质的检测仪器种类繁多，如便携式红外气体光谱仪、便携式光离子化检测仪、便携式色谱、色质联用仪、个体检测仪等。实现对单点的气体进行准确定量测定，也可以实现对单点气体的长时间监测，缺点是只能检测某个点位的气体浓度信息，难以掌握区域的气体分布情况。点式检测技术在石化企业的应用非常普及，常用的有设备密封点泄漏检测（氢火焰离子化检测仪）、气体检测报警仪、移动检测车（飞行质谱、气质联用仪等）和分析站（小屋）等。

表3-1 常见LDAR检测方法比对

项目	催化燃烧检测器	红外吸收检测器	光离子化检测器	氢火焰离子化检测器
灵敏度	1%爆炸下限（LEL）， （ $10^2 \mu\text{mol/mol}$ 数量级）	1%LEL （ $10^2 \mu\text{mol/mol}$ 数量级）	$10^{-1} \sim 10^{-3} \mu\text{mol/mol}$	$(0.1 \sim 0.5) \mu\text{mol/mol}$
检测范围	$(0 \sim 100\%)$ LEL，由于各种气体的爆炸下限不同，对不同的气体检测范围不同	$(0 \sim 100) \%LEL$ 或 $(0 \sim 10) \%OL$	$(0 \sim 10000) \mu\text{mol/mol}$	$(0 \sim 50000) \mu\text{mol/mol}$
检测对象	可以检测绝大多数 VOCs	根据仪器带通滤波器，检测的气体存在较大差异	只能检测IP低于入射紫外光光子能量的气体	可以检测绝大多数 VOCs
响应时间	30s	30s	15s	3.5s
环境影响	基本不受环境 CO_2 、水蒸气影响。检测过程需要一定量的氧气	在湿度不高的情况下，不受影响；检测不需要氧气存在	湿度可以导致读数漂移达30%；检测不需要氧气存在	基本不受环境温度和湿度影响。需要氢气燃料，检测需要一定量的氧气
费用	低	中等	中等	高
重量	轻便	轻便	轻便	较重

表 3-2 国内外主要仪器技术参数

仪器厂家	仪器型号	仪器检出限 (ppm)	量程范围 (ppm)	预处理设施 (μm 、 $^{\circ}\text{C}$)	示值误差 (满量程%)	零点漂移 (ppm)	量程漂移 (%)	响应时间 (S)	防爆等级	重复性 (相对标准偏差%)	平行性	仪器图片
江苏天瑞仪器股份有限公司	VOC-3000	0.5ppm	0-50000ppm	0.5 μm	± 5	± 0.5	± 1	3.5	Ex d ia mb IIC T4 Gb	5%	5%	
艾莫斯(天津)科技有限公司	phx21pro	0.46	0-100000	0.2 μm 常温	± 4.18	± 0.59	± 0.93	2.38s	Ex dia IIC T4 Gb	$\pm 0.72\%$	0.51%	
谱育科技	EXPEC 3100	0.1	0-100000	5 μm 滤膜	± 2	± 3	± 1	3.6	Ex d ia IIC T4 Gb	$\pm 0.5\%$	5%	
青岛明华电子	MH3500-C	0.5	0-50000	0.5 μm	± 5	± 0.5	± 2	3.5	Ex d ia IIC T4 Gb	± 2	$\pm 1\%$	
青岛众瑞智能仪器股份有限公司	ZR-3130 便携式有毒挥发气体分析仪	0.89	0-10000	二级过滤	± 0.8	± 0.2	± 0.364	3.22	Ex d ia IIC T4 Gb	$\pm 0.26\%$	0.45	

上海汉洁科学仪器有限公司	FID4	1	0-50000	5 μ m	$\pm 2\%$	± 2	± 2	3.5	Ex db ib mb IIC T4 Gb	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$	
--------------	------	---	---------	-----------	-----------	---------	---------	-----	--------------------------	-----------	-----------	---

4 研究内容与关键问题

4.1 研究内容

为了落实国家政策和标准文件要求，统一规范各工业行业的 LDAR 检测，实现流程、操作和数据处理的标准化。本团标要求对国内外相关监测技术方法和国内外相关设备进行充分调研，比对分析评价，确定适合的监测方法，为标准化研究提供技术支持。

主要研究用于泄漏检测的便携挥发性有机物检测仪（FID）基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存、测定、质量保证与质量控制和注意事项等形成便携式挥发性有机物检测仪技术要求及监测规范的框架稿及编制说明。

4.2 关键问题

目前环境挥发性有机物排放监测的方法标准，可分为实验室监测、在线监测和便携式现场监测三大类，实验室和在线非甲烷总烃相关的方法标准和仪器标准均较为成熟，便携式非甲烷总烃的方法标准目前国家也在制定当中。但是由于泄漏检测现场需求的特殊性，无法直接采用非甲烷总烃，一般采用总烃检测的方法，其关键问题分析如下：

（1）仪器技术要求：明确设备的工作条件、安全要求、功能要求和防爆就要求。

（2）仪器性能要求：明确设备的检出限、重复性、响应时间、线性误差、零点漂移、量程漂移、全系统示值误差、平行性、响应系数等。

响应时间：现场点位较多，一个小型企业通常可达 5000 个点位，大型企业可达 10 万个点位以上，排查检测工作量较大，只能选用快速的测量手段，因此一般采用总烃快速分析仪，响应时间小于 10s；

零点和量程漂移：现场浓度较高，因此要求仪器需具备较高的量程，另外仪器使用频率较高，每天需要测量几百个点，需要确定仪器长时间运行的零点和量程漂移情况；

响应系数：现场 VOCs 组分较为复杂，需要进行不同标气样品的测量，考察不同标气的响应因子情况；

（3）试验方法：规定安全检查、功能检查、外观检查、防爆检查、性能检

查。

目前便携式防爆 FID 总烃分析仪市场上已经有较为成熟的产品,如美国赛默飞的 TVA2020,美国 LDARTOOLS 公司的 PHX21,杭州谱育科技的 EXPEC3100,天瑞仪器的 VOC-3000 等,均已广泛应用于泄漏检测领域,但是由于缺乏系统性方法标准的支持,现场应用存在较大的局限性,测得的数据在监督执法中缺乏足够的权威性。因此,迫切需要对基于 FID 的泄漏检测的方法进行系统性的研究和验证,规定仪器的方法原理、干扰和消除、试剂材料、采样、零点漂移、量程漂移、仪器校准、质量保证和质量控制等,实现流程、操作和数据的标准化的。

5. 技术路线

标准下达后,课题组按照预定计划开展工作,主要技术路线如图。



图 5-1 技术路线

6. 研究报告

6.1 方法研究报告

6.1.1 研究目标

本标准方法根据《环境监测 分析方法标准制订技术导则》（HJ 168—2020）要求及实验室测试与实际应用情况而编制。主要参考文献为：《泄露和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》（HJ 733—2014）《工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南》（HJ 1230—2021）《挥发性有机物泄漏测定方法—火焰离子化侦测法》（台湾NIEA A706.73C）、《挥发性有机物泄漏测定方法》（台湾NIEA A706.72C）和美国环保署（EPA）编制的《挥发性有机化合物泄漏的测定》等。

方法研究目标如下：

（1）通过国内外相关标准、文献的搜集、比较，结合《泄露和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》（HJ 733—2014），参考以《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822—2019）和《工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南》（HJ 1230—2021）等相关内容管理要求为研究目标。

（2）进行方法验证，得到方法的检出限、测定下限、响应时间、精密度和准确度等性能指标。

6.1.2 适用范围

本标准规定了用于泄漏检测的便携挥发性有机物检测仪（FID）的术语和定义、基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存、测定、质量保证与质量控制和注意事项等。

本标准适用于爆炸性危险气体场所及非爆炸性危险气体环境用便携式 FID 检测仪（以下简称分析仪）的设计、生产和检测技术等。

6.1.3 规范性引用文件

本文件引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其有效版本适用于本文件。

GB 37822	挥发性有机物无组织排放控制标准
GB/T 191	包装储运图示标志

GB/T 2829	周期检验计数抽样程序及表
GB 3836.1	爆炸性环境 第1部分：设备通用要求
GB 3836.2	爆炸性环境 第2部分：由隔爆外壳“d”保护的设
GB 3836.4	爆炸性环境 第4部分：由本质安全型“i”保护的设
GB 4793.1	测量、控制和试验室用电气设备的安全要求
GB/T 4946	气相色谱术语
GB/T 11606	分析仪器环境试验方法
GB/T 13384	机电产品包装通用技术条件
GB/T 13966	分析仪器术语
GB/T 15479	工业自动化仪表绝缘电阻 绝缘强度技术要求和试验方法
GB/T 18268.1	测量、控制和实验室用的电设备电磁兼容性要求 第1部分： 设备通用要求
HJ 38	固定污染源废气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 气相色谱 法
HJ 168	环境监测分析方法标准制订技术导则
HJ 732	固定污染源废气挥发性有机物的采样气袋法
HJ 733	泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则
HJ 1012	环境空气和废气总烃、甲烷和非甲烷总烃便携式监测仪技术 要求及检测方法
HJ 1230	工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南

6.1.4 术语和定义

依据 HJ 168 的规定，“术语和定义”是标准的可选要素。

为便于本标准的阅读和使用，结合本标准内容，增加“术语和定义”要素，依据标准的主要技术内容以及正文中引用到的标准情况，列出了总烃、挥发性有机物、氢火焰离子化检测器、方法检出限、重复性、响应时间、响应因子、校准量程等 8 个术语和定义。这些定义参考了国内现行 GB 37822、HJ 38 、HJ 733、HJ 168、HJ 1012 等标准的相关内容。

(1) 总烃 total hydrocarbons (THC)

氢火焰离子化检测器上有响应的气态有机化合物的总和，以 $\mu\text{mol/mol}$ 表示。

[来源：HJ 38， 3.1有修改]

(2) 挥发性有机物 volatile organic compounds

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据规定确定的有机化合物。[来源：GB 37822， 3.1]

(3) 氢火焰离子化检测器 hydrogen flame ionization detector (FID)

有机物在氢火焰中燃烧时生成的离子，在电场作用下产生电信号的器件。[来源：GB/T 4946， 3.6.4.2]

(4) 方法检出限 method detection limit

用特定分析方法在给定的置信度内可从样品中定性检出待测物质的最低浓度或最小量。[来源：HJ 168， 3.1]

(5) 重复性 repeatability

指在同一实验室，使用同一方法由同一操作者对同一被测对象使用相同的仪器和设备，在相同的测试条件下，相互独立的测试结果之间的一致程度。[来源：HJ 168， 3.6]

(6) 响应时间 response time

仪器测定样品浓度时，从仪器读数开始变化到仪器最终显示稳定读数的90%浓度所需要的时间。[来源：HJ 733， 2.9]

(7) 响应因子 response factor

氢火焰离子化检测器测量其他气态有机化合物响应值相对于测量甲烷响应值的无量纲比值。[来源：HJ 1012， 3.5]

(8) 校准量程 calibration span

校准所用标准气体的浓度值，校准量程应小于或等于仪器的满量程。[来源：HJ 1131， 3.1有修改]

6.1.5 方法原理

氢火焰离子化检测器(FID)又称氢焰离子化检测器。主要用于可在H₂-Air火焰中燃烧的有机化合物(如烃类物质)的检测。

基本原理：是以氢气和空气燃烧生成的火焰为能源，当有机化合物进入以氢气和氧气燃烧的火焰，在高温下产生化学电离，电离产生比基流高几个数量级的离子，在高压电场的定向作用下，形成离子流，微弱的离子流经过高阻放大，成为与进入火焰的有机化合物量成正比的电信号，因此可以根据信号的大小对有机物进行定量分析。

6.1.6 仪器和设备

仪器检测器类型必须为火焰离子化检测器，使用前标气校准，确保其检测器对待测排放源所排放的主要 VOCs 组分有响应。便携式氢火焰离子化检测仪器主要组成如下：

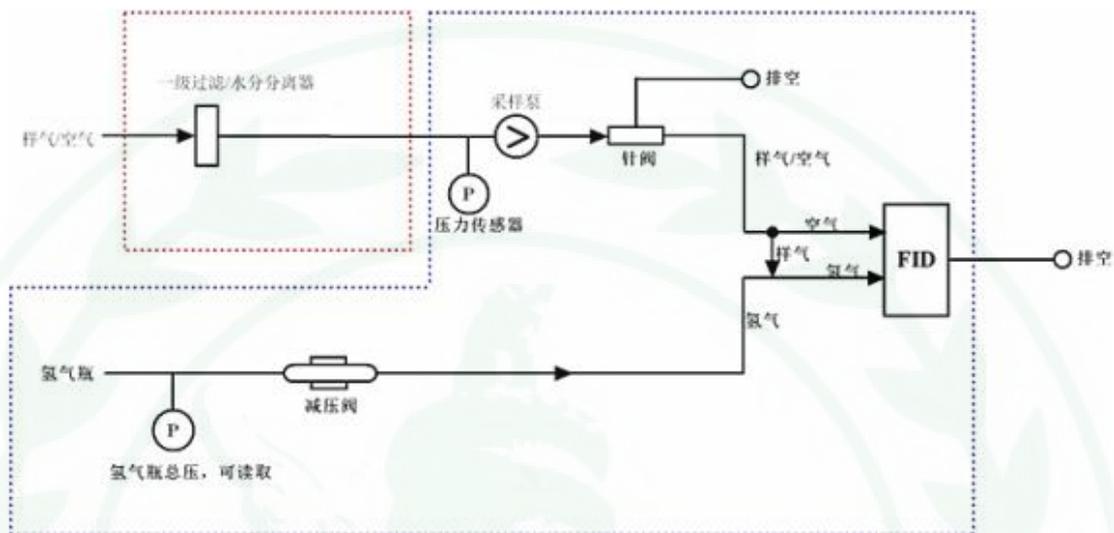


图2 仪器测试系统工作原理图

6.1.7 基本要求

(1) 材料

整机外壳采用金属或非金属导电材质，表面电阻不超过 $1 \times 10^9 \Omega$ ；整机所有采样管理及进样气路用管路均耐高温、耐腐蚀、不吸附、不析出且不与待测物发生反应的材质（如惰性化不锈钢或聚四氟乙烯等材质）。

(2) 工艺及装备

生产过程具有气密性检漏工艺、结构件清洗工艺和出厂测试工艺等完整工艺，保证生产过程规范化；生产场地应配备工艺要求相关的设备，并按要求送检。

(3) 检验检测

具备产品功能、性能、安规等项目的成品检测能力；具备电路板和氢火焰离子化检测器等核心模块的检验能力。

6.1.8 技术要求

(1) 工作条件

仪器的工作条件应符合表 6-1 的规定。

表 6-1 影响量的参比工作条件

项目	序号	影响量	单位	正常工作条件
环境条件	1	环境温度	°C	-5~45
	2	相对湿度	%RH	20~95（不凝露）
	3	大气压力	kPa	80~106
	4	射频电磁场辐射	V/m	10
	5	工频磁场	A/m	<30
电源条件	6	电池充电器电压	V	220±10
	7	充电器频率	Hz	50±0.5

（2）安全要求

在环境温度为 15°C~35°C，相对湿度≤95%条件下，仪器电源端子对地或机壳的绝缘电阻不小于 20MΩ；在环境温度为 15°C~35°C，相对湿度≤95%条件下，仪器在 1500V（有效值）、50Hz 正弦波试验电压下持续 1min，不应出现击穿或飞弧现象。

（3）功能要求

①样品采集单元

样品采集部件及气路管路的材质应选用耐高温、防腐蚀、不吸附、不析出且不与待测物发生反应的材质（如惰性化不锈钢或聚四氟乙烯等材质），应不影响目标污染物的正常测量；应具备从全系统校准入口校准的功能；为防止颗粒物污染分析仪，在气体样品进入分析仪之前可设置精细过滤器；过滤器滤料的材质应不吸附并不与气态污染物发生反应，过滤器应至少能过滤 5μm 粒径以上的颗粒物。

②样品分析单元

应具备实时自动监测 FID 火焰状态和火焰熄灭故障报警功能；系统采用外标法进行校准；所用氢气气源可由与设备一体的氢气发生器产生，也可由反复充放的高压气瓶或储氢材料提供。

③数据采集单元

整机及其数据采集单元均应具有实时数据自动记录、存储和数据导出的功能。

应具有数据采集、记录最大值、处理和软件。掉电后，应能自动保存数据，恢复供电后系统可自动启动，恢复运行状态并正常开始工作。应具备网络传输功能，可将数据通过无线网络进行传输。

④外观

表面应保持清洁，不得有污物积垢、锈蚀等现象，零件结合处应整齐，无毛刺、锐棱和粗糙不平现象，刚性连接部件不得松动。

⑤防爆

防爆性能应符合 GB 3836.1、GB 3836.2 和 GB 3836.4 的要求，分析仪应取得国家防爆合格证，整机表面应贴有防爆标识，整机防爆组别不低于 IIC，分析仪电路板满足本安防爆要求，FID 检测器满足隔爆要求。

6.1.9 性能要求

制订现场测试方案（见附件），主要测试指标包括仪器检出限、定量重复性、响应时间、线性误差、零点漂移、量程漂移、全系统示值误差、平行性、响应系数等。

(1) 性能测试方法

①仪器检出限

在正常工作条件下，待仪器运行稳定后，通入接近检出限的零气或除烃空气加标样品，待读数稳定后连续测量 7 次，记录测得浓度值 X_i ，其中 i 为测量次数（ $i=1,2,\dots,n$ ），按式（1）计算所取得数据的标准偏差 S_0 ，以 S_0 记为仪器的零点噪声。

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S_0 ——零点噪声， $\mu\text{mol/mol}$ ；

X_i ——第 i 次进样测得浓度， $\mu\text{mol/mol}$ ；

\bar{X} —— n 次进样测得浓度平均值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

i ——记录数据的序号（ $i=1\sim 7$ ）；

n ——记录数据的总个数（ $n=7$ ）。

按式（2）计算待测仪器的仪器检出限 R_{DL} 。仪器检出限应符合 5.6.1 的要求。

$$R_{DL} = 3.143S_0 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

R_{DL} ——待测仪器最低检出限, $\mu\text{mol/mol}$;

S_0 ——待测仪器零点噪声值, $\mu\text{mol/mol}$;

3.143 ——连续进样 7 次, 在 99%置信区间内的值。

②定量重复性

在正常工作条件下, 待仪器运行稳定后, 通入浓度为约2500 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气体, 稳定后记录仪器显示值 X_i 。重复上述步骤7次, 定量重复性以多次测量的相对标准偏差RSD表示, 按式(3)计算。

$$RSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \times \frac{1}{\bar{X}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

X_i ——第*i*次测量的响应值;

\bar{X} ——*n*次测量得到的响应值的平均值;

n ——测量次数 ($n=7$)。

③响应时间

在正常工作条件下, 待仪器运行稳定后, 从采样探针入口通入浓度约为10000 $\mu\text{mol/mol}$ 的甲烷标准气体, 稳定后读取分析仪显示值, 撤去标准气体, 通入除烃空气, 分析仪显示值稳定后, 再通入上述浓度的标准气体, 同时用秒表记录从通入标准气体瞬时起到分析仪显示值达到稳定值的90%时的时间。重复测量3次, 取3次记录时间的算术平均值作为分析仪的响应时间。

④线性误差

在正常工作条件下, 待仪器运行稳定后, 从采样探针入口依次通入浓度约为600 $\mu\text{mol/mol}$ 、2500 $\mu\text{mol/mol}$ 和10000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气体。30 s后分别记录标准气体通入后的稳定显示值, 每种浓度连续重复测量3次, 按式(4)计算仪器各浓度点的示值误差 Δc 。

$$\Delta c = \frac{A - A_s}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中:

Δc ——示值误差;

\bar{A} ——每种浓度3次测量响应值的平均值;

A_s ——相对应的标准气体浓度值。

⑤零点漂移与量程漂移

在正常工作条件下，待仪器运行稳定后，从采样探针入口通入除烃空气记录仪器响应值 A_{z0} ，然后通入浓度约为 $10000 \mu\text{mol/mol}$ 的标准气体，显示值稳定后记录仪器显示值 A_{s0} ，撤去标准气体。连续运行3 h，每间隔1 h重复上述步骤一次，同时记录分析仪显示值 A_{zi} 及 A_{si} ($i=1, 2, 3$)，按式 (5) 计算零点漂移，取绝对值最大的 Δ_{zi} 作为分析仪的零点漂移。

$$\Delta_{zi} = A_{zi} - A_{z0} \dots \dots \dots (5)$$

按式 (6) 计算量程漂移，取绝对值最大的 Δ_{si} 作为分析仪的量程漂移。

$$\Delta_{si} = \frac{A_{si} - A_{s0}}{R} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

式中：

Δ_{zi} ——零点漂移；

Δ_{si} ——量程漂移；

R ——校准量程。

⑥平行性

在同一试验环境条件下，将两台（套）同型号仪器运行稳定后，进行校准。从采样探针入口依次向两台（套）仪器通入浓度为 $600 \mu\text{mol/mol}$ 、 $2500 \mu\text{mol/mol}$ 和 $10000 \mu\text{mol/mol}$ 3 种甲烷标准气体，读数稳定后分别记录两台（套）仪器通入 3 种浓度标准气体的测量值。按照式 (7) 分别计算通入每种浓度标准气体两台（套）仪器测量值的相对标准偏差，即为待测仪器的平行性。

$$P_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 (C_{ij} - \bar{C}_j)^2}{\frac{1}{C_j}}} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

式中：

P_j ——两台（套）待测仪器测量第 j 种标准气体的平行性，%；

C_{ij} ——第 i 台（套）待测仪器测量第 j 种标准气体的测量值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

\bar{C}_j ——两台（套）待测仪器测量第 j 种标准气体的平均值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

i ——待测仪器的序号 ($i=1, 2$)；

j ——测试标准气体的序号 ($j=1, 2, 3$)。

⑦振动测试

按照GB/T 11606中第9章中的规定进行试验，试验前后分别通入浓度约为2500 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气体。

⑧环境测试

按照GB/T 11606中第6章的规定进行试验，试验前后分别通入浓度约为2500 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气体。

⑨电磁兼容性测试

按照GB/T 18268的规定进行试验，试验前后分别通入浓度约为2500 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气体。

6.1.10 测定

(1) 开机预热

预热期间应保持仪器处于检测状态，管路、采样探头连接完好。预热时间按仪器说明书要求，无明确要求的，预热时间不少于 30 min。

(2) 气密性检查

按照仪器说明书中规定的步骤检查仪器采样管路的气密性。无明确要求的，可通过堵住仪器采样探头的方式检查，若仪器熄火或流量显示为 0，则证明气密性良好。

(3) 仪器零点与全系统示值误差检查

校准气体，对于氢火焰离子化检测仪，需配备LDC 1倍~1.1倍（以执行标准中较高LDC为准）和10000 $\mu\text{mol/mol}$ ~11000 $\mu\text{mol/mol}$ 两种浓度的甲烷有证气体标准物质。相对扩展不确定度不大于2%，包含因子 $k=2$ ，且在有效期之内。

预热完成后，通入零气，仪器示值不应超过 $\pm 3 \mu\text{mol/mol}$ ，否则应调零；依次通入两种浓度的气体标准物质，记录仪器示值。计算全系统示值误差不大于 $\pm 5\%$ ，方可用于检测，否则需校准仪器。

(4) 环境背景测试

环境背景测试应按照HJ 1230的规定的的方法，实施检测。检测过程中，开放环境中的每套装置至少每天进行1次环境本底值测试。每次测试至少取5点，测试点宜位于地面。其中1点位于装置地面中心附近，其余4点位于装置单元4条边的

中点附近。测试点距密封点应不小于25 cm，将各点示值取平均，作为当日装置环境本底值；对于不规则边界的装置，可以分割成多个矩形区域，按照上述方法分别测试，再对多个矩形区域环境本底值取平均，作为装置单元的当日环境本底值。

在距密封点不小于25 cm的位置，检测过程中发现仪器示值与已测得的环境本底值有显著不同（仪器示值与环境本底值的差值达到或超过环境本底值的 $\pm 300\%$ ），应按照HJ 733规定的方法，测试该密封点或群组的环境本底值。装置单元设置在封闭环境中的（如车间或厂房）按照HJ 733规定的方法，测试密封点或群组的环境本底值，在确保安全的条件下，方可实施检测。

（5）泄漏测试

泄漏监测测试应按照HJ 1230规定的内容方法，实施检测。检测与读数按HJ 733执行。同一密封点包含2个及2个以上检测部位的，按最大泄漏检测值记录。

静密封（阀门、法兰、连接件、开口阀或开口管线、泄压设备等）检测，在确保检测人员安全和仪器不吸入油污、液体的前提下，采样探头紧贴被测密封点密封边缘；动密封（泵、压缩机、搅拌器等）检测，采样探头距轴封不超过1 cm。

6.1.11 测定结束

测量结束后，用除烃空气清洗测定仪，待仪器示值稳定。直接从采样管通入标准气体进行全系统示值误差检查。

全系统示值误差的计算结果相关性能要求时，样品测定结果无效，应调整仪器重新进行监测和质量检查；

零点漂移、量程漂移的计算结果任一项不需满足性能要求时，应及时维护或修复仪器；用除烃空气清洗测定仪，待仪器示数稳定后，关闭仪器和预处理器电源，断开仪器各部分连接，整理好仪器装箱，测试结束。

6.1.12 质量保证和质量控制

样品测定后测定标准气体，计算测定的全系统示值误差，应满足测试要求。

仪器使用期间，每个月至少进行一次零点漂移、量程漂移检查，如仪器长期未使用（超过1个月），在下次使用时应当进行一次零点漂移、量程漂移检查。

6.1.13 注意事项

测定前应检查探头滤膜，必要时更换滤膜。应避免检测高温（ $>50^{\circ}\text{C}$ ）、高湿（ $>95\%\text{RH}$ ）或者有腐蚀性物质（如：酸、碱、盐）的样品。设备泄漏和敞开液面排放检测现场工作环境中可能存在有毒有害物质，测试现场应做好个人防护。

6.2 性能测试结果

组织 7 家仪器厂家按照测试方案对设备的仪器性能开展了测试。实验室测试方案见附件 1，各实验室测试结果具体见附件 2。

表 6-2 仪器检出限测试结果 单位： $\mu\text{mol}/\text{mol}$

仪器厂家	仪器型号	检出限
艾莫斯（天津）科技有限公司	phx21pro-3594	0.46
	phx21pro-3575	0.68
杭州谱育科技发展有限公司	EXPEC 3100（611P2320012）	0.31
青岛明华电子仪器有限公司	MH3500-C（3500C0041221231）	0.47
	MH3500-C（3500C0040220522）	0.48
青岛众瑞智能仪器股份有限公司	ZR-3130（20220121）	0.89
	ZR-3130（20210012）	0.53
上海汉洁科学仪器有限公司	FID4（3032005）	0.93
	FID4（3032009）	0.62
江苏天瑞仪器股份有限公司	VOC-3000（100300039-00764A）	0.1
青岛崂应海纳光电环保集团有限公司	崂应 3033 型 5K00262144	0.12

表 6-3 仪器重复性测试结果 单位： $\mu\text{mol}/\text{mol}$

仪器厂家	仪器型号	重复性			
		标准气体浓度 $\mu\text{mol}/\text{mol}$	显示值 平均值	标准偏差 S	相对标准偏 差%
艾莫斯（天津）科技有限公司	phx21pro-3594	0	0.34	0.024833	/
		2500	2567	13.8624	0.54
	phx21pro-3575	0	1.27	0.11	/
		2500	2601	18.73	0.72

杭州谱育 科技发展 有限公司	EXPEC 3100 (611P2320012)	0	0.07	0.05	/
		2500	2506	10.37	0.41
青岛明华 电子仪器 有限公司	MH3500-C (3500C0041221231)	0	0.02	0.04	/
		2500	2485	3.86	0.16
	MH3500-C (3500C0040220522)	0	0.08	0.04	/
		2500	2527	3.42	0.14
青岛众瑞 智能仪器 股份 有限公司	ZR-3130 (20220121)	0	0.23	0.14	/
		2500	2550	6.71	0.26
	ZR-3130 (20210012)	0	1.03	0.08	/
		2500	2566	5.68	0.22
上海汉洁 科学仪器 有限公司	FID4 (3032005)	0	-1.1	/	/
		2500	2510	11.39	0.45
	FID4 (3032009)	0	0.35	0.38	/
		2500	2462	22.42	0.91
江苏天瑞 仪器股份 有限公司	VOC-3000 (100300039-00764A)	0	0.43	0.140	/
		2500	2533	19.52	0.77
青岛崂应 海纳光电 环保	崂应 3033 型 5K00262144	0	0.03	/	/
		2500	2500	2.73	0.11

表 6-4 仪器响应时间测试结果

仪器厂家	仪器型号	响应时间	
		平均响应时间 (S)	响应时间最大值 (Smax)
艾莫斯(天津)科技 有限公司	phx21pro-3594	2.1	2.4
	phx21pro-3575	2.4	2.6
杭州谱育科技发展 有限公司	EXPEC 3100	3.6	3.8
青岛明华电子仪器 有限公司	MH3500-C (3500C0041221231)	3.4	3.5
	MH3500-C (3500C0040220522)	3.4	3.6
青岛众瑞智能仪器股份 有限公司	ZR-3130 (20220121)	3.1	3.6
	ZR-3130 (20210012)	3.2	4.0
上海汉洁科学仪器 有限公司	FID4 (3032005)	4	5
	FID4 (3032009)	3.2	4
江苏天瑞仪器股份	VOC-3000 (100300039-00764A)	3.4	3.5

有限公司			
青岛崂应海纳光电环保集团有限公司	崂应 3033 型 5K00262144	6.4	6.5

表 6-5 仪器零点和量程漂移测试结果 单位: $\mu\text{mol/mol}$

仪器厂家	仪器型号	零点漂移和量程漂移检测	
		1h 零点漂移绝对误差 最大值 (ΔZ_{max})	1h 量程值漂移相对误差 最大值 ($\Delta S_{\text{max}}/F.S$)
艾莫斯(天津)科技有限公司	phx21pro-3594	0.53	2.1%
	phx21pro-3575	0.59	0.93%
杭州谱育科技发展有限公司	EXPEC 3100 (611P2320012)	0.7	1%
青岛明华电子仪器有限公司	MH3500-C	0.1	1.9%
	MH3500-C	0.5	-1.2%
青岛众瑞智能仪器股份有限公司	ZR-3130 (20220121)	0.2	0.36%
	ZR-3130 (20210012)	-0.3	0.17%
上海汉洁科学仪器有限公司	FID4 (3032005)	1.1	-1.7%
	FID4 (3032009)	0.7	-1.7%
江苏天瑞仪器股份有限公司	VOC-3000 (100300039-00764A)	0.4	4.7%
青岛崂应海纳光电环保	崂应 3033 型 5K00262144	-0.9	-1.8%

表 6-6 仪器平行性测试结果

仪器厂家	仪器型号	平行性			
		600 $\mu\text{mol/mol}$	2500 $\mu\text{mol/mol}$	6000 $\mu\text{mol/mol}$	10000 $\mu\text{mol/mol}$
艾莫斯(天津)科技有限公司	phx21pro-3594 phx21pro-3575	1.51%	0.66%	0.43%	0.22%
杭州谱育科技发展有限公司	EXPEC 3100 (611P2320012) (611P2320013)	1.25%	1.00%	0.10%	0.0%
青岛明华电子仪器有限公司	MH3500-C (3500C0041221231) (3500C0040220522)	1.51%	0.66%	0.43%	0.22%
青岛众瑞智能仪器股份有限公司	ZR-3130 (20220121) (20210012)	0.73%	0.16%	0.33%	0.04%
上海汉洁科学仪器有	FID4	0.03%	0.39%	0.11%	0.39%

仪器厂家	仪器型号	平行性			
		600 $\mu\text{mol/mol}$	2500 $\mu\text{mol/mol}$	6000 $\mu\text{mol/mol}$	10000 $\mu\text{mol/mol}$ 1
有限公司	(3032005)(3032009)				
江苏天瑞仪器股份有限公司	VOC-3000 (100300039-00764A) (仪器1) (仪器2)	0.25%	1.18%	1.08%	0.19%
青岛崂应海纳光电环保集团有限公司	崂应 3033 型 5K90262144 5K00262144	1.34%	0.57%	0.65%	0.09%

表 6-8 仪器全系统示值误差测试结果 单位： $\mu\text{mol/mol}$

仪器厂家	仪器型号	线性（全系统示值）误差							
		检出限浓度		低浓度浓度		中浓度		高浓度	
		平均值	相对误差 /%	平均值	相对误差 /%	平均值	相对误差 /%	平均值	相对误差 /%
艾莫斯（天津）科技有限公司	phx21pro-3594	2.8	/	2610	4.41	6248	4.13	10419	4.19
	phx21pro-3575	3.35	/	2580	3.21	6248	4.14	10349	3.50
杭州谱育科技发展有限公司	EXPEC 3100 (611P2320012)	2.2	/	2490	-0.38	5986	-0.24	10005	0.048
青岛明华电子仪器有限公司	MH3500-C (3500C0041221231)	1.9	/	2485	-0.59	6021	0.35	10066	0.66
	MH3500-C (3500C0040220522)	2.1	/	2527	1.08	5967	-0.54	9885	-1.15
青岛众瑞智能仪器股份有限公司	ZR-3130 (20220121)	4.6	/	2464	-1.42	5803	-3.28	10029	0.29
上海汉洁科学仪器有限公司	FID4 (3032005)	4.4	/	2543	1.73%	5859	-2.35	9832	-1.68
	FID4 (3032009)	5.7	/	2462	-1.51%	5750	-4.17%	9882	-1.18
江苏天瑞仪器股份有限公司	VOC-3000 (100300039-00764A)	2.57	/	2520	0.78%	6125	2.08%	10302	3.02
青岛崂应海纳光电环保集团有限公司	崂应 3033 型 5K00262144	1.92	/	2532.82	1.31%	6047	0.79%	10107	1.07%

表 6-9 仪器响应因子测试结果

生产厂家	仪器型号与编号	测试气名称	标气浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器信号响应因子 (按 HJ1012)	响应系数 (按 HJ733)	响应因子 (按 HJ1012)
艾莫斯 (天津) 科技有 限公司	phx21pro 5957	丙烷 (C_3H_8)	600	0.55	0.60	0.55
			2618	0.55	0.63	0.55
		乙烯 (C_2H_4)	600	0.44	1.14	0.44
			2474	0.49	1.07	0.49
		甲苯 (C_7H_8)	600	0.23	0.63	0.23
			2705	0.25	0.60	0.25
		二氯甲烷 (CH_2Cl_2)	600	0.82	1.18	0.84
			2595	0.78	1.24	0.84
乙酸乙酯 ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)	600	0.36	0.68	0.37		
	2614	0.35	0.70	0.37		
青岛明 华电子 仪器有 限公司	MH3500-C 3500C004 1221231	丙烷 (C_3H_8)	600	0.39	0.84	0.39
			2500	0.44	0.77	0.43
		乙烯 (C_2H_4)	600	0.35	1.41	0.35
			2500	0.40	1.22	0.41
		甲苯 (C_7H_8)	600	/	/	/
			2500	/	/	/
		二氯甲烷 (CH_2Cl_2)	600	0.85	1.18	0.84
			2500	0.70	1.40	0.72
乙酸乙酯 ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)	600	0.27	0.91	0.27		
	2500	0.29	0.87	0.29		
江苏天 瑞仪器 股份有 限公司	VOC-3000 (100300 039-00837 A)	丙烷 (C_3H_8)	611	0.58	0.25	1.33
			2562	0.60	0.56	1.34
		乙烯 (C_2H_4)	598	0.47	1.06	0.48
			2608	0.48	1.03	0.48
		甲苯 (C_7H_8)	602	0.35	0.40	0.37
			2694	0.36	0.37	0.36
		二氯甲烷 (CH_2Cl_2)	607	1.69	0.58	1.73
			2549	1.73	0.58	1.74
乙酸乙酯 ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)	599	0.21	1.17	0.22		
	2668	0.22	1.12	0.21		
青岛崂 应海纳 光电环 保集团 有限公 司	崂应 3033 型 5K010104 02	丙烷 (C_3H_8)	600	0.75	0.44	0.75
			2500	0.76	0.44	0.76
		乙烯 (C_2H_4)	600	0.58	0.85	0.58
			2500	0.59	0.85	0.59
		甲苯 (C_7H_8)	600	0.78	0.18	0.78
			2500	0.78	0.18	0.78
		二氯甲烷	600	0.76	1.32	0.76

		(CH ₂ Cl ₂)	2500	0.76	1.32	0.76
		乙酸乙酯	600	0.59	0.42	0.59
		(C ₄ H ₈ O ₂)	2500	0.59	0.42	0.59
杭州谱 育科技 发展有 限公司	EXPEC 3100	丙烷 (C ₃ H ₈)	2689	/	0.66	/
		乙烯 (C ₂ H ₄)	2514	/	1.15	/
	(611P23 20012)	二氯甲烷 (CH ₂ Cl ₂)	2541	/	1.63	/
		乙酸乙酯 (C ₄ H ₈ O ₂)	2605	/	0.80	/

表 6-10 仪器性能指标汇总表

序号	性能指标	单位	测试结果范围	控制要求	备注
1	零点漂移	μmol/mol	-0.9~0.7	±3	
2	量程漂移	%	-1.8~4.7	±5	
3	检出限	μmol/mol	0.1~0.93	1	
4	重复性	%	0.11~0.91	2	
5	平行性	%	0.0~1.51	±5	
6	全系统示值误差	%	-4.17~4.41	±5	
7	响应时间	s	2.1~6.4	5	1 家不满足要求

7. 参考文献

[1] 大气污染防治行动计划

[EB/OL].http://www.gov.cn/zwggk/2013-09/12/content_2486773.htm.

[2] Chan C K, Yao X. Air pollution in mega cities in China[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(1): 1-42.

[3] 重点区域大气污染防治“十二五”规划

[EB/OL].http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/gwy/201212/t20121205_243271.htm.

[4] Guo S, Hu M, Zamora M L, et al. Elucidating severe urban haze formation in China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014.

[5] Huang R-J, Zhang Y, Bozzetti C, et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China[J]. Nature, 2014, 514(7521): 218-222.

[6] ISO 25139—2011, Stationary source emissions - Manual method for the

- determination of the methane concentration using gas chromatography[S].
- [7] NF X43—356—2011, Stationary source emissions-Manual method for the determination of the methane concentration using gas chromatography[S].
- [8] BS EN ISO 6975—1997,
Naturalgas-Extendedanalysis-Gaschromatographicmethod [S].
- [9] ISO 6975:1997, Natural gas-Extended analysis-Gas-chromatographic method [S].
- [10] SAE J 1151—2011, Methane Measurement Using Gas Chromatography [S].
- [11] NIOSHTIC2 10011221, Mining Publication: Remote Fiber-Optic Methane Monitor [S].
- [12] ISO 14965:2000, Air quality-Determination of total non-methane organic compounds -- Cryogenic preconcentration and direct flame ionization detection method [S].
- [13] ISO 25140:2010, Stationary source emissions-Automatic method for the determination of the methane concentration using flame ionisation detection (FID) [S].
- [14] EPA Method 3C, Determination of Carbon Dioxide, Methane, Nitrogen, and Oxygen From Stationary Sources [S].
- [15] EPA Method 25C, Analysis of Non-Methane Organic Carbon (NMOC) In Landfill Gases [S].
- [16] EPA Method 25, Determination of Total Gaseous Nonmethane Organic Emissions as Carbon [S].
- [17] Qiao L, Cai J, Wang H, et al. PM_{2.5} constituents and hospital emergency-room visits in Shanghai, China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014.
- [18] Atkinson R. Atmospheric chemistry of VOCs and NO_x[J]. *Atmospheric Environment*, 2000, 34(12–14): 2063-2101.
- [19] Matus K, Nam K-M, Selin N E, et al. Health damages from air pollution in China[J]. *Global Environmental Change*, 2012, 22(1): 55-66.
- [20] Zheng G J, Duan F K, Su H, et al. Exploring the severe winter haze in Beijing: The impact of synoptic weather, regional transport and heterogeneous reactions[J]. *Atmos. Chem. Phys.*, 2015, 15(6): 2969-2983.

- [21] 邵敏, 董东. 我国大气挥发性有机物污染与控制[J]. 环境保护, 2013, (05): 25-28.
- [22] 国务院办公厅. 国务院办公厅转发环境保护部等部门《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》的通知[EB/OL].
http://zfs.mep.gov.cn/fg/gwyw/201005/t20100514_189497.htm.
- [23] 杨员, 张新民, 徐立荣, 等. 中国大气挥发性有机物控制问题及其对策研究[J]. 环境与可持续发展, 2015, (01): 14-18.
- [24] Compendium Method TO14A/TO15[S]. U.S. EPA. 1997
- [25] D M, W Y S, K C M. Illustrated handbook of physicochemical properties and environmental fate for organic chemicals-volume ii: Volatile organic chemicals[M]. 5336USA:Lewis publishers, Inc. 1992.

附件一：性能指标验证测试方案及结果

1 概述

本方案（以下简称为方案）为确认基于氢火焰离子化检测器法（FID）测定挥发性有机物泄漏等检测的测试方法。

2 实验室环境条件

- （1）环境温度：15°C~35°C，测试过程中温度变化幅度应在±5°C以内。
- （2）环境大气压：86kPa~106kPa，测试过程中压力变化幅度应在±2 kPa 以内。
- （3）相对湿度：≤85% RH。
- （4）供电电压：AC 220×（1±10%）V，频率（50±0.5）Hz。

3 测试单位及材料

（1）测试单位：江苏天瑞仪器股份有限公司、杭州谱育科技发展有限公司、河北优科科技发展有限公司、青岛明华电子仪器有限公司、江苏复森特种阀门有限公司、上海汉洁科学仪器有限公司、上海华爱色谱分析技术有限公司、青岛众瑞智能仪器股份有限公司、艾莫斯（天津）科技有限公司、青岛崂应海纳光电环保集团有限公司、北京雪迪龙科技股份有限公司。

（2）标准气体：不确定度±2%以内或国内最高级别，具体要求见表1（载气为除烃空气）

表1 实验室测试标准气名称、浓度、数量、气瓶容量

标准气名称	浓度（ $\mu\text{mol/mol}$ ）	数量（瓶）	标准气容量（L）
甲烷	5	1	8
	2600	1	
	11000	1	
丙烷	2600	1	8
乙烯	2600	1	8
甲苯	2600	1	8
二氯甲烷	2600	1	8
乙酸乙脂	2600	1	8
高纯氮	/	2	8
除烃空气	/	2	8

（3）等比例稀释配气装置（稀释比 ≤ 200 ）：配气精密度（ $\leq 1\%$ ），测试中稀释气均使用高纯氮（99.999%）

（4）秒表，分辨率为 0.1 秒

4 测试设计

4.1 测试

使用有效期内、不确定度不超过 $\pm 2\%$ 的国家级标准气体或国家最高级别的标准气体稀释至测试气,用于仪器的实验室测试。表2汇总了实验室内进行的性能指标测试和应获得的有效数据及数量。

表2 性能测试、方法验证及有效数据数量

目的	测试指标	仪器指标	每台仪器获得有效数据数量	计算	
性能测试	零点漂移	确定随时间的推移对零点的影响 (1h)	3	相对于校准零点的绝对差值	
	量程漂移	确定随时间的推移对量程点的影响 (1h)	3	相对于校准量程的绝对差值和比值	
	检出限	确定仪器测定的最小浓度	7	标准偏差	
	重复性	确定仪器在整个校准量程范围内的响应	同一浓度甲烷测定6次	标准偏差、相对标准偏差	
	平行性	确定同类型仪器的响应	2台设备, 4种不同浓度甲烷、平行测定6次	相对标准偏差	
	线性 (全系统示值) 误差	确定仪器在整个校准量程范围内的响应	零点	6	绝对误差、相对误差
			浓度点	4个不同浓度的甲烷气体, 平行测定6次	
	响应时间	确定仪器流量与分析能力的匹配性	校准量程的甲烷气体, 每个浓度测定6次	秒	
响应系数	确定方法的响应程度	5种气体 (乙烯、丙烷、甲苯、二氯甲烷、乙烯乙酯)、两个不同浓度, 测定6次, 取平均值	响应值, 响应系数, 响应因子		

4.3 时间进度

请各家及时订购标气、准备仪器、完成试验和结果统计及报送。

5 材料与设备

5.1 气体

5.1.1 零气

零气为除烃空气。除烃空气可以是压缩瓶装干燥空气或经仪器采集并处理除去颗粒物、湿气和烃类物质的干燥环境空气。用作仪器零点校准、零点漂移及量

程漂移测试间隔期间抽取的气体。

5.1.2 测试气体

建议配置标准气(法国液空)、平衡气为除烃空气、稀释气为高纯氮(99.999%),供参考。

5.1.3 校准浓度

本次测试中性能测试和方法验证规定零点、量程点的校准浓度分别为:0 $\mu\text{mol/mol}$ 、10000 $\mu\text{mol/mol}$,所有测试过程期间均不得使用其它浓度的标准气或测试气对仪器进行校准。

5.2 设备

基于便携式气相色谱—氢火焰离子化检测器法(FID)测定挥发性有机物泄漏检测等测试方法的设备,参与测试的设备品牌不应有重复。

提供仪器的单位至少对其中**2台相同型号的仪器**进行响应性、平行性指标测试。

6 测试方法

6.1 概述

性能测试和方法验证由提供仪器的单位进行自测,因此,必须严格遵守规定的测试方法。为充分利用测试所得的信息、避免性能的交叉影响,测试方法的描述顺序按表2所列测试活动的顺序排列。

依据HJ 733-2014对采样流量的要求,以及对各厂家设备信息的调研,在一个阶段的测量工作开始和结束都要有测前、测后流量验证,并做好记录。

除另有说明外,测试方法中待读数稳定后记录仪器读数(或显示值),至少等待30秒后的示值。

一旦仪器开机,不得中途断电;开机后至少预热30min后开始测试。

合作单位提供参与本测试仪器的校准量程一律按 5.1.3 设计。

6.2 性能测试

6.2.1 零点漂移和量程漂移

参与此项验证的仪器需打开**负值**显示功能。

测试方法如下:

- ① 仪器开机稳定30min;
- ② 通入零气,待读数稳定后调节仪器零点,记录读数;
- ③ 通入由11000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至10000 $\mu\text{mol/mol}$ 的测试

气，校准仪器量程点，记录读数；

④ 通入零气稳定后，记录读数为 Z_0 ，然后通入由 $11000\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至 $10000\mu\text{mol/mol}$ 的测试气，稳定后读取示值 I_0 ，接着仪器持续通入零气1h，读取 Z_i ，再切换为 $10000\mu\text{mol/mol}$ 的甲烷测试气1h，读取 I_i ，重复做3次。计算零点漂移和量程漂移；

6.2.2 检出限及测定下限

测试方法如下：

- ① 仪器开机稳定30min；
- ② 通入零气，待读数稳定后调节仪器零点，记录读数；
- ③ 通入由 $11000\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至 $10000\mu\text{mol/mol}$ 的测试气，校准仪器量程点，记录读数；
- ④ 按照 HJ 168-2020 的有关规定，采用 $5\mu\text{mol/mol}$ 的甲烷标准气体稀释至 $2\mu\text{mol/mol}$ 测试气；
- ⑤ 通往零气，待稳定后重复④，进行 7 次平行测定，计算平均值、标准偏差、相对标准偏差、测定下限及检出限等各项参数。

6.2.3 重复性

仪器重复 6 次测试同一浓度的校准测试气体，获得测定结果的相对标准偏差表示仪器的重复性。

测试方法如下：

- ① 仪器开机稳定30min；
- ② 通入零气，待读数稳定后调节仪器零点，记录读数；
- ③ 通入由 $11000\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至 $10000\mu\text{mol/mol}$ 的测试气，校准仪器量程点，记录读数；
- ④ 通入零气，待读数稳定后，通入由 $2600\mu\text{mol/mol}$ 稀释至的 $2500\mu\text{mol/mol}$ 测试气，待读数稳定记录读数；
- ⑤ 停止通入 $2500\mu\text{mol/mol}$ 测试气，切换为零气，待显示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数；
- ⑥ 连续重复步骤④至步骤⑤，测试 6 次。

6.2.4 平行性

- ① 两台仪器同时开机，至少稳定30min；
- ② 同时通入零气，待读数稳定后，调节仪器零点；

③ 同时通入由2600 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至600 $\mu\text{mol/mol}$ 试气体，待读数稳定后，记录读数；

④ 同时停止通入甲烷测试气，切换为零气；

⑤ 待显仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通入由2600 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至2500 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气，待读数稳定后，记录读数；

⑥ 同时停止通入甲烷测试气，切换为零气；

⑦ 待显仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通入由11000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至6000 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气，待读数稳定后，记录读数；

⑧ 同时停止通入甲烷测试气，切换为零气；

⑨ 待显仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通入由11000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至10000 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气，待读数稳定后，记录读数；

⑩ 连续重复步骤③至步骤⑨，测试6次。

6.2.5 线性（全系统示值）误差

线性（全系统示值）误差：依次测试仪器检出限浓度、600 $\mu\text{mol/mol}$ 、2500 $\mu\text{mol/mol}$ 、6000 $\mu\text{mol/mol}$ 、10000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷测试气体，每种浓度测试6次，均记录读数。

测试方法如下：

① 仪器开机稳定30min，通入零气，待读数稳定后调节仪器零点，记录读数；

② 通入由11000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至10000 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气，待读数稳定后校准仪器量程点，待读数稳定后记录读数；

③ 切换零气，仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通入由5 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至2~3 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气（待定，做出检出限的3-5倍）；待读数稳定记录读数；

④ 切换零气，仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通入由2600 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至600 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气；待读数稳定记录读数；

⑤ 切换零气，仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通

入由2600 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至2500 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气；待读数稳定记录读数；

⑥ 切换零气，仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通入由11000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至6000 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气；待读数稳定记录读数；

⑦ 切换零气，仪器示值下降至零附近且读数稳定后，记录读数，通入由11000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至10000 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气；待读数稳定记录读数；

⑧ 连续重复步骤③至步骤⑦，测试6次。

6.2.6 响应时间

响应时间：测试10000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷测试气体测试6次，均记录时间。

测试方法如下：

仪器开机稳定30min，通入零气，待读数稳定后调节仪器零点，记录时间；通入由11000 $\mu\text{mol/mol}$ 甲烷标准气稀释至10000 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气，记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度90%的时间，测试6次。

6.2.7 响应系数

使用同一台仪器分别测试表1中丙烷、乙烯、甲苯、二氯甲烷、乙酸乙酯五种标准测试气，获得仪器对其它有机物测试的响应性。

① 两台仪器同时开机，至少稳定30min；

② 同时通入零气，待读数稳定后，调节仪器零点；同时通入由2600 $\mu\text{mol/mol}$ 丙烷标准气稀释至600 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气，待读数稳定后，分别记录读数；

③ 同时停止通入丙烷测试气，切换为零气，待显示值下降至零附近后，同时通入由2600 $\mu\text{mol/mol}$ 丙烷标准气稀释至2500 $\mu\text{mol/mol}$ 测试气，读数稳定后，记录读数；

④ 连续重复步骤②至步骤③，重复测试6次；

⑤ 更换另一种标准测试气，连续重复步骤②至步骤③；

7 统计计算

性能指标的统计计算公式见HJ 168和验证方案附录记录表中所列。

8 提交测试报告

合作/验证单位应以单台仪器为单元，准备测试数据报告，报告附原始测试

数据，以硬拷贝和电子文件的形式，采用验证方案统一的格式提交标准编制小组。

报告和原始记录涉及的主要内容包括：

① 概况

- 测试单位
- 测试人员
- 测试地点
- 仪器生产厂
- 仪器型号、编号
- 环境条件
- 校准量程
- 气体流量

② 性能指标

- 零点漂移
- 量程漂移
- 检出限
- 重现性
- 平行性
- 线性（示值）误差
- 响应性

附录

提供以上测试结果的数据表和计算值等。

9 安全

保持测试实验室良好的通风，避免暴露于仪器排放的这些气体浓度之下。压缩瓶装气体为高压气体，使用应有安全措施，不得将气瓶排气口正对操作人员，防止高压有毒、有害气体造成人员伤害。安装的减压阀应严密不漏气。

附件二：

实验室一现场测试数据

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员： 高钰波 仪器生产厂： 艾莫斯（天津）科技有限公司
 测试地点： 天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号： phx21pro-3594
 环境温度（℃）： 22 环境压力（kPa）： 101 相对湿度（RH%）： 25
 校准量程（F.S.）： 10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称： 甲烷 测试流量（L/min）： 0.27
 测试日期： 23 年 3 月 14 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	3/14	9:30	0	0.06	0.06	10130	10255	125	1.25%
2		10:30	0.02	0.55	0.53	10130	10164	34	0.34%
3		11:30	0.10	0.57	0.47	10130	10339	209	2.09%
4		12:30	0.02	0.48	0.46	10130	10260	130	1.30%
1h 零点漂移绝对误差最大 值 (ΔZ_{\max})			0.53		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})		209		

附表 A-2 检出限检测

测试人员： 高钰波 仪器生产厂： 艾莫斯（天津）科技有限公司
 测试地点： 天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号： phx21pro-3594
 环境温度（℃）： 22 环境压力（kPa）： 101 相对湿度（RH%）： 25
 校准量程（F.S.）： 10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称： 甲烷 测试流量（L/min）： 0.27
 测试日期： 23 年 3 月 14 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值
1	13:00	3.59
2	13:01	3.72
3	13:01	3.70
4	13:02	3.82
5	13:03	3.94

6	13:04	3.65
7	13:05	3.98
标准偏差/S _z 0.147018		检出限 0.46

附表 A-3 重复性

测试人员: 高钰波 仪器生产厂: 艾莫斯(天津)科技有限公司
 测试地点: 天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号: phx21pro-3594
 环境温度 (°C): 22 环境压力 (kPa): 101 相对湿度 (RH %): 25
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.27
 测试日期: 23 年 3 月 14 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差%
1	0	零气 1: 0.31	0.3383	0.024833	/
2	0	零气 2: 0.32			
3	0	零气 3: 0.37			
4	0	零气 4: 0.32			
5	0	零气 5: 0.35			
6	0	零气 6: 0.36			
7	2500	测试气 1: 2578	2566.83	13.8624	0.54%
8	2500	测试气 2: 2546			
9	2500	测试气 3: 2584			
10	2500	测试气 4: 2562			
11	2500	测试气 5: 2573			
12	2500	测试气 6: 2560			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-4 平行性

测试人员: 高钰波 仪器生产厂: 艾莫斯(天津)科技有限公司
 测试地点: 天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号: phx21pro-3575 phx21pro-3594
 环境温度 (°C): 22 环境压力 (kPa): 101 相对湿度 (RH %): 25
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.27
 测试日期: 23 年 3 月 14 日

序号	校准气体名称	标准气浓度	仪器 1 显示值 (phx21pro-3575)	仪器 2 显示值 (phx21pro-3594)	平行性%
1	甲烷	600	622	632	1.51
			621	628	
			617	624	
			619	627	
			613	629	
			619	626	
2		2500	2602	2631	0.66

		2631	2617	
		2615	2622	
		2599	2604	
		2623	2599	
		2617	2610	
3	6000	6251	6241	0.43
		6272	6247	
		6271	6262	
		6256	6273	
		6314	6303	
		6310	6225	
4	10000	10343	10427	0.22
		10425	10492	
		10407	10504	
		10374	10473	
		10452	10511	
		10464	10533	

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员：高钰波 仪器生产厂：艾莫斯（天津）科技有限公司

测试地点：天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号：phx21pro-3594

环境温度（℃）：22 环境压力（kPa）：101 相对湿度（RH%）：25

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：0.27

测试日期：23 年 3 月 14 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)
零气 1	0	0.85	零气 2	0	1.25
检出限浓度 1	2	2.77	检出限浓度 2	2	2.80
零气 1	0	0.22	零气 1	0	0.44
低浓度 1	2500	2625	低浓度 2	2500	2585
零气 1	0	1.07	零点气 2	0	1.22
中浓度 1	6000	6264	中浓度 2	6000	6239
零气 1	0	1.25	零点气 2	0	0.95
高浓度 1	10000	10643	高浓度 2	10000	10815
零气 3	0	0.93	零气 4	0	0.89
检出限浓度 3	2	2.83	检出限浓度 4	2	2.73
零气 3	0	0.60	零气 4	0	0.42
低浓度 3	2500	2605	低浓度 4	2500	2610
零气 3	0	0.82	零点气 4	0	0.60
中浓度 3	6000	6234	中浓度 4	6000	6272
零气 3	0	1.01	零点气 4	0	0.41
高浓度 3	10000	10693	高浓度 4	10000	10464
零气 5	0	0.77	零气 6	0	0.54
检出限浓度 5	2	2.86	检出限浓度 6	2	2.81

零气 5	0	0.52	零气 6	0	0.48				
低浓度 5	2500	2614	低浓度 6	2500	2623				
零气 5	0	0.74	零点气 6	0	0.63				
中浓度 5	6000	6269	中浓度 6	6000	6210				
零气 5	0	0.56	零点气 6	0	0.34				
高浓度 5	10000	9964	高浓度 6	10000	9935				
检出限浓度	显示值	2.8	相对误差 /%	40	中浓度	显示值	6248	相对误差 /%	4.13
低浓度	平均值	2610		4.41	高浓度	平均值			10419

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员：_____高钰波_____ 仪器生产厂：_____艾莫斯（天津）科技有限公司_____

测试地点：_____天津市武清区馨凯广场6号楼703室_____ 仪器型号、编号：_____phx21pro-3594_____

环境温度（℃）：_____22_____ 环境压力（kPa）：_____101_____ 相对湿度（RH %）：_____25_____

校准量程（F.S.）：_____10000（μmol/mol）_____ 标准气名称：_____甲烷_____ 测试流量（L/min）：_____0.27_____

测试日期：_____23_____ 年 _____3_____ 月 _____14_____ 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 (μmol/mol)	仪器显示值 (μmol/mol)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	10436	2.01	2.0983
		10450	2.35	
		10473	2.22	
		10483	2.07	
		10504	1.87	
		10368	2.07	
响应时间最大值 (S _{max})			2.35	

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表 A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员：_____高钰波_____ 仪器生产厂：_____艾莫斯（天津）科技有限公司_____

测试地点：_____天津市武清区馨凯广场6号楼703室_____ 仪器型号、编号：_____phx21pro-3575_____

环境温度（℃）：_____22_____ 环境压力（kPa）：_____101_____ 相对湿度（RH %）：_____25_____

校准量程（F.S.）：_____10000（μmol/mol）_____ 标准气名称：_____甲烷_____ 测试流量（L/min）：_____0.27_____

测试日期：_____23_____ 年 _____3_____ 月 _____14_____ 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 ΔS/F.S
			起始 (Z ₀)	最终 (Z _i)	ΔZ=Z _i -Z ₀	起始 (S ₀)	最终 (S _i)	ΔS=S _i -S ₀	
1	3/14	9:45	0.01	0.11	0.10	10169	10242	73	0.73%
2		10:45	0.08	0.57	0.49	10169	10216	47	0.47%

3	11:45	0.02	0.60	0.58	10169	10245	76	0.76%
4	12:45	0.05	0.64	0.59	10169	10262	93	0.93%
1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{\max})		0.59		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})			93	

附表 A-2 检出限检测

测试人员: _____ 高钰波 _____ 仪器生产厂: 艾莫斯(天津)科技有限公司
 测试地点: 天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号: phx21pro-3575
 环境温度 (°C): 22 环境压力 (kPa): 101 相对湿度 (RH %): 25
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.27
 测试日期: 23 年 3 月 14 日

读数序号	时间	测定零气仪器显示值
1	13:10	3.25
2	13:11	3.81
3	13:12	3.62
4	13:12	3.69
5	13:13	3.80
6	13:14	3.92
7	13:15	3.77
标准偏差/ S_z		0.217628
检出限		0.68

附表 A-3 重复性

测试人员: _____ 高钰波 _____ 仪器生产厂: 艾莫斯(天津)科技有限公司
 测试地点: 天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号: phx21pro-3575
 环境温度 (°C): 22 环境压力 (kPa): 101 相对湿度 (RH %): 25
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.27
 测试日期: 23 年 3 月 14 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 /%
1	0	零气 1: 1.21	1.2667	0.11	/
2	0	零气 2: 1.15			
3	0	零气 3: 1.38			
4	0	零气 4: 1.19			
5	0	零气 5: 1.25			
6	0	零气 6: 1.42			
7	2500	测试气 1: 2593	2601.83	18.73	0.72%
8	2500	测试气 2: 2596			
9	2500	测试气 3: 2619			
10	2500	测试气 4: 2630			
11	2500	测试气 5: 2593			
12	2500	测试气 6: 2580			

注：计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值，计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员：高钰波 仪器生产厂：艾莫斯（天津）科技有限公司

测试地点：天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号：phx21pro-3575

环境温度（℃）：22 环境压力（kPa）：101 相对湿度（RH%）：25

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：0.27

测试日期：23 年 3 月 14 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)		
零气 1	0	1.08	零气 2	0	1.35		
检出限浓度 1	2	3.14	检出限浓度 2	2	3.15		
零气 1	0	1.37	零气 1	0	0.76		
低浓度 1	2500	2608	低浓度 2	2500	2593		
零气 1	0	1.49	零点气 2	0	1.22		
中浓度 1	6000	6267	中浓度 2	6000	6266		
零气 1	0	1.13	零点气 2	0	1.33		
高浓度 1	10000	10588	高浓度 2	10000	10600		
零气 3	0	1.27	零气 4	0	1.31		
检出限浓度 3	2	3.53	检出限浓度 4	2	3.49		
零气 3	0	1.30	零气 4	0	0.46		
低浓度 3	2500	2576	低浓度 4	2500	2568		
零气 3	0	1.18	零点气 4	0	1.17		
中浓度 3	6000	6221	中浓度 4	6000	6263		
零气 3	0	1.65	零点气 4	0	1.06		
高浓度 3	10000	10580	高浓度 4	10000	10495		
零气 5	0	1.33	零气 6	0	1.38		
检出限浓度 5	2	3.46	检出限浓度 6	2	3.32		
零气 5	0	1.29	零气 6	0	1.35		
低浓度 5	2500	2567	低浓度 6	2500	2570		
零气 5	0	1.39	零点气 6	0	1.47		
中浓度 5	6000	6256	中浓度 6	6000	6218		
零气 5	0	1.63	零点气 6	0	1.42		
高浓度 5	10000	9989	高浓度 6	10000	9847		
检出限浓度	显示 值 平均 值	3.35	中浓度	显 示 值 平 均 值	6248.5	相对 误差 /%	4.14
低浓度		2580.33			高浓度		10349.83

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员: 高钰波 仪器生产厂: 艾莫斯(天津)科技有限公司
 测试地点: 天津市武清区馨凯广场6号楼703室 仪器型号、编号: phx21pro-3575
 环境温度 (°C): 22 环境压力 (kPa): 101 相对湿度 (RH %): 25
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.27
 测试日期: 23 年 3 月 14 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	10064	2.58	2.39
		10102	2.44	
		10145	2.62	
		10146	2.37	
		10213	2.27	
		10216	2.04	
响应时间最大值 (S_{max})			2.62	

注: 记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表 A-7 响应系数

测试气名称	测试气浓度	仪器 信号值	信号值平均值	仪器 显示值	显示值 平均值
甲烷	600	842.46	842.2	602	601.7
		842.73		602	
		841.33		601	
	2595	3740.23	3728.07	2503	2495.3
		3724.67		2493	
		3719.3		2490	
丙烷	600	1396.93	1397.5	995	995.7
		1405.81		1002	
		1389.62		990	
	2618	6242.97	6251.8	4176	4182.0
		6212.55		4156	
		6299.84		4214	
乙烯	600	739.73	737.6	529	527.3
		739.36		529	
		733.62		524	
	2474	3455.28	3458.7	2313	2315.3
		3450.18		2310	
		3470.62		2323	
甲苯	600	1331.35	1332.3	949	949.7
		1336.68		953	

		1328.93		947	
	2705	6674.85	6701.6	4465	4483.3
		6714.95		4493	
		6715.02		4492	
二氯甲烷	600	684.09	688.1	505	507.7
		689.87		509	
		690.19		509	
	2595	2911.94	2910.0	2092	2091.3
		2913.48		2094	
		2904.59		2088	
乙酸乙脂	600	1201.53	1209.0	882	887.3
		1215.5		892	
		1209.86		888	
	2614	5218.62	5208.7	3746	3739.0
		5208.45		3739	
		5198.96		3732	

实验室二现场测试数据

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 陈一品 汪佳欢 仪器生产厂: 杭州谱育科技发展有限公司
 测试地点: 谱育科技315实验室 仪器型号、编号: 611P2320012
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 100.6 相对湿度 (RH %): 41.9
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	3月 13日	18: 30: 45	0	-0.2	0.2	10000	9978	22	0.22%
2		19: 32: 16	0	-0.3	0.3	10000	9923	77	0.77%
3		20: 34: 28	0	0.4	0.4	10000	9917	83	0.83%
4		21: 36: 44	0	0.7	0.7	10000	10100	100	1%
1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{\max})			0.7		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})		100		

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 陈一品 汪佳欢 仪器生产厂: 杭州谱育科技发展有限公司
 测试地点: 谱育科技315实验室 仪器型号、编号: 611P2320012
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 100.6 相对湿度 (RH %): 41.9
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值	读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值
1	9: 45: 15	0	8	9: 46: 57	2.2
2	9: 47: 40	0	9	9: 48: 45	2.2
3	9: 50: 12	-0.1	10	9: 52: 38	2.2
4	9: 53: 47	0.2	11	9: 55: 16	2.3
5	9: 57: 46	0	12	10: 02: 19	2.1
6	10: 04: 33	0	13	10: 05: 49	2.3
7	10: 07: 18	0	14	10: 09: 35	2.4
标准偏差/ $S_z=0.1$			检出限 =0.31		

附表 A-3 重复性

测试人员: 陈一品 汪佳欢 仪器生产厂: 杭州谱育科技发展有限公司
 测试地点: 谱育科技315实验室 仪器型号、编号: 611P2320012
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 100.6 相对湿度 (RH %): 41.9
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 %
1	0	零气 1: -0.1	-0.03	0.08	/
2	0	零气 2: -0.1			
3	0	零气 3: -0.1			
4	0	零气 4: 0.1			
5	0	零气 5: 0			
6	0	零气 6: 0			
7	2500	测试气 1: 2524	2506.03	10.37	0.41%
8	2500	测试气 2: 2504			
9	2500	测试气 3: 2505			
10	2500	测试气 4: 2508			
11	2500	测试气 5: 2492			
12	2500	测试气 6: 2503			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-4 平行性

测试人员: 陈一品 汪佳欢 仪器生产厂: 杭州谱育科技发展有限公司
 测试地点: 谱育科技315实验室 仪器型号、编号: 611P2320012 611P2320013
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 100.6 相对湿度 (RH %): 41.9
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

序号	校准气体名称	标准气浓度	仪器 1 显示值	仪器 2 显示值	相对标准偏差%
1	甲烷	600	606	593	1.25
			607	598	
			593	600	
			606	597	
			608	590	
			607	607	
2	2500	2500	2489	2530	1.00
			2501	2520	
			2482	2504	
			2487	2521	

			2492	2519	
			2492	2528	
3	6000		6005	6000	0.10
			5984	6033	
			5980	5999	
			5983	6031	
			5982	6067	
			5980	6033	
4	10000		9846	9954	0.00
			10000	9936	
			10100	10000	
			10100	10000	
			9996	9967	
			9987	9986	

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员：陈一品 汪佳欢 仪器生产厂：杭州谱育科技发展有限公司

测试地点：谱育科技315实验室 仪器型号、编号：611P2320012

环境温度（℃）：25 环境压力（kPa）：100.6 相对湿度（RH%）：41.9

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：1

测试日期：2023 年 3 月 13 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)
零气 1	0	0.1	零气 2	0	0.1
检出限浓度 1	2	2.1	检出限浓度 2	2	2.2
零气 1	0	0.1	零气 2	0	0.1
低浓度 1	2500	2489	低浓度 2	2500	2501
零气 1	0	0.1	零点气 2	0	0.1
中浓度 1	6000	6005	中浓度 2	6000	5984
零气 1	0	0.1	零点气 2	0	0.1
高浓度 1	10000	9846	高浓度 2	10000	10000
零气 3	0	0.1	零气 4	0	-0.2
检出限浓度 3	2	2.4	检出限浓度 4	2	2.3
零气 3	0	-0.1	零气 4	0	0.1
低浓度 3	2500	2482	低浓度 4	2500	2487
零气 3	0	0	零点气 4	0	-0.3
中浓度 3	6000	5980	中浓度 4	6000	5983
零气 3	0	0.1	零点气 4	0	-0.2
高浓度 3	10000	10100	高浓度 4	10000	10100
零气 5	0	-0.1	零气 6	0	0
检出限浓度 5	2	2.0	检出限浓度 6	2	2.1
零气 5	0	0	零气 6	0	-0.1
低浓度 5	2500	2492	低浓度 6	2500	2492
零气 5	0	0	零点气 6	0	0
中浓度 5	6000	5982	中浓度 6	6000	5980

零气 5	0		0.1		零点气 6	0		0	
高浓度 5	10000		9996		高浓度 6	10000		9987	
检出限浓度	显示 值 平均 值	2.2	相对 误差 /%	/	中浓度	显示 值 平均 值	5985.7	相对 误差 /%	-0.24%
低浓度		2490		-0.38%	高浓度		10004.8		0.048%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员：陈一品 汪佳欢 仪器生产厂：杭州谱育科技发展有限公司

测试地点：谱育科技315实验室 仪器型号、编号：611P2320012

环境温度 (°C)：25 环境压力 (kPa)：100.6 相对湿度 (RH %)：41.9

校准量程 (F.S.)：10000 (μmol/mol) 标准气名称：甲烷 测试流量 (L/min)：1

测试日期：2023 年 3 月 13 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 (μmol/mol)	仪器显示值 (μmol/mol)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	9277	3.51	3.56
		9871	3.73	
		9845	3.81	
		9561	3.07	
		9103	3.66	
		9265	3.59	
响应时间最大值 (S_{max})			3.81	

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

实验室三现场测试数据

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0041221231)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 14 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	3.14	8:30	0	0.1	0.1	9993.5	9987.6	-5.9	-0.06%
2		9:30	0.1	0.2	0.1	9987.6	9967.9	-19.7	-0.20%
3		10:30	0.2	0.2	0	9967.9	10154	186.1	1.86%
4		11:30	0.1	0.2	0.1	10154	10164	10	0.10%
1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{\max})			0.1		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})		186.1		

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0041221231)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值	读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值
1	3.13	2.3			
2		2			
3		1.9			
4		1.9			
5		1.9			
6		1.9			
7		1.9			
标准偏差/ S_z		0.15			
检出限		0.47			

附表 A-3 重复性

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0041221231)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 /%
1	0	零气 1: 0	0.02	0.04	/
2	0	零气 2: 0.1			
3	0	零气 3: 0			
4	0	零气 4: 0			
5	0	零气 5: 0			
6	0	零气 6: 0			
7	2500	测试气 1: 2480	2485.12	3.86	0.16%
8	2500	测试气 2: 2486.6			
9	2500	测试气 3: 2489.4			
10	2500	测试气 4: 2488.5			
11	2500	测试气 5: 2485.2			
12	2500	测试气 6: 2481.1			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-4 平行性

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0041221231/ 3500C0040220522)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

序号	校准气体名称	标准气浓度	仪器 1 显示值 (3500C0041221231)	仪器 2 显示值 (3500C0040220522)	相对标准偏差%
1	甲烷	600	602.2	599.3	1.51
			603.5	597.6	
			603.7	595.5	
			604.1	598.7	
			604.2	595.5	
			605.3	597.4	
2	2500	2480	2528	0.66	
		2486.6	2524.4		

			2489.4	2521.9	
			2488.5	2527.3	
			2485.2	2529.8	
			2481.1	2531.2	
3	6000		6006.2	5969.5	0.43
			6014.6	5968.7	
			6022.2	5949.7	
			6025.7	5965.1	
			6030.4	5961.3	
			6027.6	5971.5	
4	10000		10054.5	9905.4	0.22
			10073.7	9876.3	
			10062.6	9860.3	
			10067.2	9889.8	
			10071.2	9898.6	
			10068.5	9879.7	

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员：葛言涛 仪器生产厂：青岛明华电子仪器有限公司

测试地点：青岛明华205实验室 仪器型号、编号：MH3500-C (3500C0041221231)

环境温度（℃）：25 环境压力（kPa）：101.3 相对湿度（RH %）：50

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：1.0

测试日期：2023 年 3 月 13 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	仪器显示值 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	校准气体 浓度范围	测试浓度 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	仪器显示值 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）
零气 1	0	0	零气 2	0	0.1
检出限浓度 1	2	2.3	检出限浓度 2	2	2
零气 1	0	0	零气 1	0	0
低浓度 1	2500	2480	低浓度 2	2500	2486.6
零气 1	0	0	零点气 2	0	0
中浓度 1	6000	6006.2	中浓度 2	6000	6014.6
零气 1	0	0	零点气 2	0	0
高浓度 1	10000	10054.5	高浓度 2	10000	10073.7
零气 3	0	0	零气 4	0	0.1
检出限浓度 3	2	1.9	检出限浓度 4	2	1.9
零气 3	0	0	零气 4	0	0
低浓度 3	2500	2489.4	低浓度 4	2500	2488.5
零气 3	0	0	零点气 4	0	0
中浓度 3	6000	6022.2	中浓度 4	6000	6025.7

零气 3	0	0	零点气 4	0	0				
高浓度 3	10000	10062.6	高浓度 4	10000	10067.2				
零气 5	0	0	零气 6	0	0				
检出限浓度 5	2	1.9	检出限浓度 6	2	1.9				
零气 5	0	0	零气 6	0	0				
低浓度 5	2500	2485.2	低浓度 6	2500	2481.1				
零气 5	0	0	零点气 6	0	0				
中浓度 5	6000	6030.4	中浓度 6	6000	6027.6				
零气 5	0	0	零点气 6	0	0				
高浓度 5	10000	10071.2	高浓度 6	10000	10068.5				
检出限浓度	显示值	1.9	相对误差 /%	/	中浓度	显示值	6021.1	相对误差 /%	0.35%
低浓度	平均值	2485.1		-0.59%	高浓度	平均值	10066.3		0.66%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表A-6 响应时间

测试人员： 葛言涛 仪器生产厂： 青岛明华电子仪器有限公司

测试地点： 青岛明华205实验室 仪器型号、编号： MH3500-C (3500C0041221231)

环境温度 (°C)： 25 环境压力 (kPa)： 101.3 相对湿度 (RH %)： 50

校准量程 (F.S.)： 10000 (μ mol/mol) 标准气名称： 甲烷 测试流量 (L/min)： 1.0

测试日期： 2023 年 3 月 14 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 (μ mol/mol)	仪器显示值 (μ mol/mol)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	9993.2	3.4	3.4
		10003.6	3.5	
		9997.4	3.4	
		9978.8	3.3	
		9985.4	3.4	
		9987.6	3.5	
响应时间最大值 (S_{max})			3.5	

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0040220522)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 14 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	3.14	8:30	0	0.5	0.5	9951.4	9936.6	-14.8	-0.15%
2		9:30	0.5	0.7	0.2	9936.4	9939.2	2.8	0.03%
3		10:30	0.7	0.5	-0.2	9939.2	9885.2	-54	-0.54%
4		11:30	0.5	0.6	0.1	9885.2	9763.6	-121.6	-1.22%
1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{max})			0.5		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{max})			-121.6	

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0040220522)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值			
1	3.13	2.2			
2		2.3			
3		2.1			
4		2			
5		1.9			
6		2			
7		1.9			
标准偏差/ S_z		0.15			
检出限		0.48			

附表 A-3 重复性

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0040220522)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 /%
1	0	零气 1: 0.1	0.08	0.04	/
2	0	零气 2: 0			
3	0	零气 3: 0.1			
4	0	零气 4: 0.1			
5	0	零气 5: 0.1			
6	0	零气 6: 0.1			
7	2500	测试气 1: 2528	2527	3.42	0.14%
8	2500	测试气 2: 2524.4			
9	2500	测试气 3: 2521.9			
10	2500	测试气 4: 2527.3			
11	2500	测试气 5: 2529.8			
12	2500	测试气 6: 2531.1			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-5 线性 (全系统示值) 误差

测试人员: 葛言涛 仪器生产厂: 青岛明华电子仪器有限公司
 测试地点: 青岛明华205实验室 仪器型号、编号: MH3500-C (3500C0040220522)
 环境温度 (°C): 25 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 50
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.0
 测试日期: 2023 年 3 月 13 日

测试气体浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)
零气 1	0	0.4	零气 2	0	0.1
检出限浓度 1	2	2.2	检出限浓度 2	2	2.3
零气 1	0	0	零气 1	0	0
低浓度 1	2500	2528	低浓度 2	2500	2524.4
零气 1	0	0.1	零点气 2	0	0.2
中浓度 1	6000	5969.5	中浓度 2	6000	5987.7

零气 1	0	0.1	零点气 2	0	0.1				
高浓度 1	10000	9905.4	高浓度 2	10000	9876.3				
零气 3	0	0.1	零气 4	0	0.3				
检出限浓度 3	2	2.1	检出限浓度 4	2	2				
零气 3	0	0	零气 4	0	0.1				
低浓度 3	2500	2521.9	低浓度 4	2500	2527.3				
零气 3	0	0.1	零点气 4	0	0.1				
中浓度 3	6000	5949.7	中浓度 4	6000	5965.1				
零气 3	0	0.1	零点气 4	0	0				
高浓度 3	10000	9860.3	高浓度 4	10000	9889.8				
零气 5	0	0.1	零气 6	0	0.1				
检出限浓度 5	2	1.9	检出限浓度 6	2	2				
零气 5	0	0.1	零气 6	0	0.1				
低浓度 5	2500	2529.8	低浓度 6	2500	2531.2				
零气 5	0	0.1	零点气 6	0	0.1				
中浓度 5	6000	5961.3	中浓度 6	6000	5971.5				
零气 5	0	0.1	零点气 6	0	0.1				
高浓度 5	10000	9898.6	高浓度 6	10000	9879.7				
检出限浓度	显示值	2.08	相对误差/%	/	中浓度	显示值	5967.3	相对误差/%	-0.54%
低浓度	平均值	2527.1		1.08%	高浓度	平均值	9884.9		-1.15%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员：葛言涛 仪器生产厂：青岛明华电子仪器有限公司

测试地点：青岛明华205实验室 仪器型号、编号：MH3500-C (3500C0040220522)

环境温度 (°C)：25 环境压力 (kPa)：101.3 相对湿度 (RH %)：50

校准量程 (F.S.)：10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称：甲烷 测试流量 (L/min)：1.0

测试日期：2023 年 3 月 14 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	9936.7	3.6	3.4
		9929.8	3.5	
		9918.6	3.5	
		9921.4	3.3	
		9898.7	3.4	
		9913.5	3.2	
响应时间最大值 (S_{max})			3.6	

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表 A-7 响应系数

测试气名称	测试气浓度	仪器信号值	信号值平均值	仪器显示值	显示值平均值
甲烷	600	500	501.0	605.5	606.5
		501		606.3	
		502		607.6	
	2500	1988	1987.0	2498	2497.0
		1987		2497	
		1986		2496	
丙烷	600	583	583.3	709.9	710.1
		583		709.9	
		584		710.4	
	2500	2646	2645.0	3255	3254.0
		2645		3254	
		2644		3253	
乙烯	600	355	355.0	424.8	424.3
		355		424	
		355		424	
	2500	1607	1606.3	2050	2049.3
		1606		2049	
		1606		2049	
二氯甲烷	600	423	425.3	507	509.7
		427		512	
		426		510	
	2500	1392	1389	1791	1788.0
		1389		1788	
		1386		1785	
乙酸乙酯	600	542	543	658	659.3
		543		659	
		544		661	
	2500	2307	2314.7	2866	2875.0
		2317		2878	
		2320		2881	

实验室四 现场测试数据

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 杨靓 仪器生产厂: 青岛崂应海纳光电环保集团有限公司
 测试地点: 第一研发实验室 仪器型号、编号: 崂应3033型 (5K00262144)
 环境温度 (°C): 15.9 环境压力 (kPa): 104.96 相对湿度 (RH %): 46.7
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.72
 测试日期: 2023 年 3 月 17 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	- 量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	2023.3.17	10:51	-0.1			10032			
2		11:51		0.2	0.3		10040	12	0.12%
3		12:53		-0.6	-0.5		9867	-165	-1.65%
4		13:58		-1.0	-0.9		9856	-176	-1.76%
1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{max})			-0.9		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{max})			-176	

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 杨靓 仪器生产厂: 青岛崂应海纳光电环保集团有限公司
 测试地点: 第一研发实验室 仪器型号、编号: 崂应3033型 (5K00262144)
 环境温度 (°C): 17.4 环境压力 (kPa): 105.34 相对湿度 (RH %): 53.2
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.73
 测试日期: 2023 年 3 月 17 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值	读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值
1	14:48	0.0	1	14:49	1.9
2	14:50	-0.1	2	14:51	1.9
3	14:52	-0.1	3	14:53	1.9
4	14:54	-0.1	4	14:55	1.9
5	14:56	-0.1	5	14:57	1.8
6	14:59	-0.1	6	15:00	1.9
7	15:01	-0.1	7	15:02	1.9
标准偏差/Sz: 0.04			检出限:0.12		

附表 A-3 重复性

测试人员: 杨靛 仪器生产厂: 青岛崂应海纳光电环保集团有限公司
 测试地点: 第一研发实验室 仪器型号、编号: 崂应3033型 (5K00262144)
 环境温度 (°C): 17.6 环境压力 (kPa): 105.40 相对湿度 (RH %): 53.6
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.71
 测试日期: 2023 年 3 月 17 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差/%
1	0	零气 1: 0.2	0.03	0.08	/
2		零气 2: 0.0			
3		零气 3: 0.0			
4		零气 4: 0.0			
5		零气 5: 0.0			
6		零气 6: 0.0			
7	2500	测试气 1: 2497	2499.63	2.73	0.11
8		测试气 2: 2498			
9		测试气 3: 2504			
10		测试气 4: 2502			
11		测试气 5: 2498			
12		测试气 6: 2499			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-4 平行性

测试人员: 杨靛 仪器生产厂: 青岛崂应海纳光电环保集团有限公司
 测试地点: 第一研发实验室 仪器型号、编号: 崂应3033型 (5K90262144、5K00262144)
 环境温度 (°C): 15.7 环境压力 (kPa): 105.23 相对湿度 (RH %): 54.1
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 0.72
 测试日期: 2023 年 3 月 18 日

序号	校准气体名称	标准气浓度	仪器 1 显示值	仪器 2 显示值	相对标准偏差%
1	甲烷	600	614	605	1.34
			615	612	
			618	621	
			615	609	
			616	612	
			616	612	
2	甲烷	2500	2527	2510	0.57
			2539	2501	
			2537	2535	
			2535	2523	
			2512	2525	

		2520	2536	
3	6000	6000	6085	0.65
		6000	6061	
		6063	6051	
		6064	6038	
		6057	6061	
		6058	6017	
4	10000	10176	10205	0.09
		10257	10211	
		10266	10083	
		10268	10173	
		10263	10183	
		10229	10259	

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员：杨靓 仪器生产厂：青岛崂应海纳光电环保集团有限公司

测试地点：第一研发实验室 仪器型号、编号：崂应3033型（5K00262144）

环境温度（℃）：16.1 环境压力（kPa）：105.12 相对湿度（RH%）：56.7

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：0.69

测试日期：2023 年 3 月 18 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)
零气 1	0	0.1	零气 2	0	0.1
检出限浓度 1	2	2.0	检出限浓度 2	2	1.9
零气 1	0	0.2	零气 2	0	0.2
	600	610		600	617
零气 1	0	0.2	零气 1	0	0.2
低浓度 1	2500	2522	低浓度 2	2500	2557
零气 1	0	0.2	零点气 2	0	0.3
中浓度 1	6000	5985	中浓度 2	6000	6061
零气 1	0	0.1	零点气 2	0	0.1
高浓度 1	10000	10058	高浓度 2	10000	10031
零气 3	0	0.1	零气 4	0	0.1
检出限浓度 3	2	1.9	检出限浓度 4	2	1.9
零气 3	0	0.2	零气 4	0	0.2
	600	611		600	623
零气 3	0	0.2	零气 4	0	0.2
低浓度 3	2500	2539	低浓度 4	2500	2541
零气 3	0	0.3	零点气 4	0	0.2
中浓度 3	6000	6052	中浓度 4	6000	6025
零气 3	0	0.2	零点气 4	0	0.1
高浓度 3	10000	10099	高浓度 4	10000	10144
零气 5	0	0.0	零气 6	0	0.1
检出限浓度 5	2	1.9	检出限浓度 6	2	1.9

零气 5	0	0.1	零气 6	0	0.1			
	600	617		600	613			
零气 5	0	0.2	零气 6	0	0.1			
低浓度 5	2500	2530	低浓度 6	2500	2509			
零气 5	0	0.2	零点气 6	0	0.1			
中浓度 5	6000	6071	中浓度 6	6000	6090			
零气 5	0	0.1	零点气 6	0	0.1			
高浓度 5	10000	10167	高浓度 6	10000	10142			
检出限浓度	显示值	1.92	/	中浓度	显示值	6047.12	相对误差 /%	0.79%
低浓度	平均值	2532.82	1.31%	高浓度	平均值	10106.72		1.07%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员： 杨靛 仪器生产厂： 青岛崂应海纳光电环保集团有限公司
 测试地点： 第一研发实验室 仪器型号、编号： 崂应3033型（5K00262144）
 环境温度（℃）： 16.3 环境压力（kPa）： 105.26 相对湿度（RH %）： 56.8
 校准量程（F.S.）： 10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称： 甲烷 测试流量（L/min）： 0.71
 测试日期： 2023 年 3 月 18 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	9189	6.29	6.35
		9075	6.16	
		9117	6.36	
		9206	6.43	
		9119	6.38	
		9301	6.47	
响应时间最大值 (S _{max})		6.47		

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表 A-7 响应系数

测试气名称	测试气浓度	仪器信号值	信号值平均值	仪器显示值	显平均值
甲烷	600	22.51	22.5	601	601.7
		22.51		601	
		22.58		603	
	2500	93.6	93.75	2499	2503.0
		93.63		2500	
		94.01		2510	

丙烷	600	50.82	50.9	1357	1358.3
		51.16		1366	
		50.64		1352	
	2500	214.57	214.0	5729	5715.0
		214.12		5717	
		213.45		5699	
乙烯	600	26.29	26.3	702	702.7
		26.33		703	
		26.33		703	
	2500	109.89	110.0	2934	2936.3
		110.04		2938	
		110		2937	
甲苯	600	122.77	123.0	3278	3285.3
		122.88		3281	
		123.48		3297	
	2500	511.72	511.7	13663	13661.7
		511.61		13660	
		511.69		13662	
二氯甲烷	600	17	17.0	454	454.3
		17.04		455	
		17		454	
	2500	70.75	70.9	1889	1893.7
		70.79		1890	
		71.24		1902	
乙酸乙酯	600	52.88	52.9	1412	1412.7
		52.96		1414	
		52.88		1412	
	2500	221.27	221.8	5908	5921.7
		221.99		5927	
		222.1		5930	

实验室五 现场测试数据

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 史殿龙 仪器生产厂: 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点: 众瑞质检部 仪器型号、编号: ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20220121)
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 40
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	3.20	8:35	0.3	0.5	0.2	9990.7	10004.7	14	0.14%
2		11:00	1.0	0.8	-0.2	9930.0	9927.8	-2.2	-0.022%
3		13:05	0.7	0.6	0.1	9937.2	9973.6	36.4	0.364%
1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{\max})			0.2		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})			36.4	

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 史殿龙 仪器生产厂: 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点: 众瑞质检部 仪器型号、编号: ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20220121)
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 40
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值	读数 序号	时间	测定 $2\mu\text{mol/mol}$ 仪器显示值
1	16:10	0.1	2	16:16	1.6
3	16:25	0.1	4	16:36	0.9
5	16:48	-0.5	6	16:59	1.0
7	17:10	-0.6	8	17:24	1.3
9	17:30	-0.2	10	17:40	0.9
11	17:46	-0.5	12	17:58	0.8
13	18:08	-0.6	14	18:25	1.2
标准偏差/ S_z		0.283	检出限		0.89

附表 A-3 重复性

测试人员: 史殿龙 仪器生产厂: 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点: 众瑞质检部 仪器型号、编号: ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20220121)
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 40
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 %
1	0	-0.2	0.23	0.14	/
2	0	-0.3			
3	0	-0.3			
4	0	-0.2			
5	0	0			
6	0	-0.4			
1	2500 μmol/mol	2551.2	2550.0	6.71	0.26
2	2500 μmol/mol	2545.8			
3	2500 μmol/mol	2549.4			
4	2500 μmol/mol	2540.9			
5	2500 μmol/mol	2554.4			
6	2500 μmol/mol	2560.2			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-4 平行性

测试人员: 史殿龙 仪器生产厂: 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点: 众瑞质检部 仪器型号、编号: ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪
 仪器A: 20220121 仪器B: 20210012
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 40
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

序号	校准气体名称	标准气浓度	仪器 A 显示值 (20220121)	仪器 B 显示值 (20210012)	相对标准偏差%
1	甲烷	600	619.9	623.8	0.73
			617.3	622.6	
			622.5	621.3	
			616.2	618.4	
			617.3	617.5	
			618.9	621.6	
2		2500	2551.9	2562.8	0.16
			2548.9	2570.5	
			2554.4	2579.8	

			2538.2	2560.7	
			2550.1	2565.8	
			2555.3	2571.5	
3	6000		5965.7	6000.7	0.33
			5958.8	5997.8	
			5967.2	5995.2	
			5959.0	6007.5	
			5964.0	6010.5	
			5949.5	6000.3	
4	10000		9998.8	9994.3	0.04
			9978.1	9992.1	
			9996.4	10020.7	
			9980.7	10017.6	
			10002.1	10013.5	
			9992.1	9997.5	

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员：史殿龙 仪器生产厂：青岛众瑞智能仪器股份有限公司

测试地点：众瑞质检部 仪器型号、编号：ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20220121)

环境温度（℃）：20 环境压力（kPa）：101.3 相对湿度（RH %）：40

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：1.1

测试日期：2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)
零气 1	0	0.6	零气 2	0	0.4
检出限浓度 1	2	7.6	检出限浓度 2	2	2.3
零气 1	0	0.4	零气 1	0	0.8
低浓度 1	2500	2426.4	低浓度 2	2500	2468.1
零气 1	0	-0.1	零点气 2	0	-0.5
中浓度 1	6000	5800.9	中浓度 2	6000	5820.4
零气 1	0	0.2	零点气 2	0	0.3
高浓度 1	10000	10068.1	高浓度 2	10000	10004.3
零气 3	0	0.4	零气 4	0	-0.2
检出限浓度 3	2	3.2	检出限浓度 4	2	5.6
零气 3	0	0.0	零气 4	0	1.0
低浓度 3	2500	2478.2	低浓度 4	2500	2486.7
零气 3	0	-0.1	零点气 4	0	0.4
中浓度 3	6000	5795.9	中浓度 4	6000	5820.1
零气 3	0	0.1	零点气 4	0	-0.3
高浓度 3	10000	9998.1	高浓度 4	10000	10038.4
零气 5	0	-0.4	零气 6	0	0.3
检出限浓度 5	2	5.6	检出限浓度 6	2	3.3
零气 5	0	-0.7	零气 6	0	0.2
低浓度 5	2500	2430.1	低浓度 6	2500	2498.2
零气 5	0	0.5	零点气 6	0	-0.1

中浓度 5	6000		5760.2		中浓度 6	6000		5820.1	
零气 5	0		0.1		零点气 6	0		0.6	
高浓度 5	10000		10028.5		高浓度 6	10000		10037.9	
检出限浓度	显示值 平均值	4.6	相对误差/%	/	中浓度	显示值 平均值	5802.9	相对误差/%	-3.28%
低浓度		2464.3		-1.42%	高浓度		10029		0.29%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员： 史殿龙 仪器生产厂： 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点： 众瑞质检部 仪器型号、编号： ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20220121)
 环境温度 (°C)： 20 环境压力 (kPa)： 101.3 相对湿度 (RH %)： 40
 校准量程 (F.S.)： 10000 (μ mol/mol) 标准气名称： 甲烷 测试流量 (L/min)： 1.1
 测试日期： 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 (μ mol/mol)	仪器显示值 (μ mol/mol)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	9315.2	2.81	3.07
		9098.5	2.61	
		9320.9	3.01	
		9105.0	2.89	
		9400.6	3.51	
		9250.1	3.61	
响应时间最大值 (S_{max})		3.61		

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表 A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员： 史殿龙 仪器生产厂： 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点： 众瑞质检部 仪器型号、编号： ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20210012)
 环境温度 (°C)： 20 环境压力 (kPa)： 101.3 相对湿度 (RH %)： 40
 校准量程 (F.S.)： 10000 (μ mol/mol) 标准气名称： 甲烷 测试流量 (L/min)： 1.1
 测试日期： 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	3.20	8:35	0.4	0.1	-0.3	10006. 2	10022. 8	16.6	0.166%
2		11:00	0.9	0.9	0	9959.1	9952.1	-7	0.07%
3		13:05	1.0	0.9	-0.1	9967.6	9979.0	11.4	0.114%

1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{\max})	-0.3	1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})	16.6
--------------------------------------	------	---------------------------------------	------

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 史殿龙 仪器生产厂: 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点: 众瑞质检部 仪器型号、编号: ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20210012)
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 40
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

读数序号	时间	测定零气仪器显示值	读数序号	时间	测定 $2\mu\text{mol/mol}$ 仪器显示值
1	16:10	0.9	2	16:16	1.1
3	16:25	0.8	4	16:36	0.9
5	16:48	1.0	6	16:59	1.2
7	17:10	1.1	8	17:24	1.3
9	17:30	1.0	10	17:40	1.3
11	17:46	1.2	12	17:58	1.3
13	18:08	1.1	14	18:25	1.4
标准偏差/Sz		0.168	检出限		0.53

附表 A-3 重复性

测试人员: 史殿龙 仪器生产厂: 青岛众瑞智能仪器股份有限公司
 测试地点: 众瑞质检部 仪器型号、编号: ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20210012)
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 40
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 /%
1	0	1.1	1.03	0.08	/
2	0	1.1			
3	0	1.0			
4	0	0.9			
5	0	1.0			
6	0	1.1			
1	2500 $\mu\text{mol/mol}$	2570.3	2566.15	5.68	0.22%
2	2500 $\mu\text{mol/mol}$	2561.2			
3	2500 $\mu\text{mol/mol}$	2564.9			
4	2500 $\mu\text{mol/mol}$	2561.1			
5	2500 $\mu\text{mol/mol}$	2570.5			
6	2500 $\mu\text{mol/mol}$	2575.1			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-6 响应时间

测试人员: 史殿龙 仪器生产厂: 青岛众瑞智能仪器股份有限公司

测试地点: 众瑞质检部 仪器型号、编号: ZR-3130型便携式有毒挥发气体分析仪(20210012)

环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.3 相对湿度 (RH %): 40

校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1

测试日期: 2023 年 3 月 18 日至 2023 年 3 月 20 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	9340.1	3.01	3.22
		9500.2	3.30	
		9012.5	2.59	
		9235.1	3.11	
		9157.8	3.30	
		9238.1	4.01	
响应时间最大值 (S_{max})		4.01		
注: 记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。				

实验室六 现场测试数据

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 吴晓义、赵升、黄辉、王文杰 仪器生产厂: 江苏天瑞仪器股份有限公司
 测试地点: 天瑞仪器 仪器型号、编号: 100300039-00764A
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.9 相对湿度 (RH %): 65
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 03 月 09 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	2023.03.09	10:00	0	0.1	0.1	10000	10142.7	142.5	1.43%
2		11:00	0	0.4	0.4	10000	10254.0	25.4	0.25%
3		12:00	0	0.2	0.2	10000	10353.4	353.4	3.53%
4		13:00	0	0.1	0.1	10000	10472.5	472.5	4.73%
1h 零点漂移绝对误差最大值 (ΔZ_{\max})			0.4		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})		472.5		

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 吴晓义、赵升、黄辉、王文杰 仪器生产厂: 江苏天瑞仪器股份有限公司
 测试地点: 天瑞仪器 仪器型号、编号: 100300039-00764A
 环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.9 相对湿度 (RH %): 65
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 03 月 09 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值			
1	14: 51	0.1			
2	14: 54	0.1			
3	14: 56	0.1			
4	14: 58	0.1			
5	15: 01	0.1			
6	15: 04	0.1			
7	15: 07	0.1			
标准偏差/ S_z		0.04	检出限		0.1

附表 A-3 重复性

测试人员: 吴晓义、赵升、黄辉、王文杰 仪器生产厂: 江苏天瑞仪器股份有限公司

测试地点: 天瑞仪器 仪器型号、编号: 100300039-00764A

环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.9 相对湿度 (RH%): 65

校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1

测试日期: 2023 年 03 月 09 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 %
1	0	零气 1: 0.4	0.43	0.14	/
2	0	零气 2: 0.2			
3	0	零气 3: 0.4			
4	0	零气 4: 0.6			
5	0	零气 5: 0.5			
6	0	零气 6: 0.5			
7	2500	测试气 1: 2563.1	2533.17	19.52	0.77%
8	2500	测试气 2: 2548.0			
9	2500	测试气 3: 2533.7			
10	2500	测试气 4: 2529.9			
11	2500	测试气 5: 2512.8			
12	2500	测试气 6: 2514.1			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-4 平行性

测试人员: 吴晓义、赵升、黄辉、王文杰 仪器生产厂: 江苏天瑞仪器股份有限公司

测试地点: 天瑞仪器 仪器型号、编号: 100300039-00764A

环境温度 (°C): 20 环境压力 (kPa): 101.9 相对湿度 (RH%): 65

校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1

测试日期: 2023 年 03 月 09 日

序号	校准气体名称	标准气浓度	仪器 1 显示值	仪器 2 显示值	相对标准偏差%
1	甲烷	600	596.3	592.0	0.25
			586.3	609.3	
			579.3	584.9	
			565.3	619.4	
			576.8	618.7	
			585.2	615.4	
2	甲烷	2500	2456.3	2524.6	1.18
			2468.5	2479.4	
			2467.4	2501.2	
			2485.2	2560.2	
			2465.7	2550.8	

			2434.5	2554.1	
3	6000		5999.8	6127.7	1.08
			6076.3	6113.5	
			5968.9	6139.8	
			5867.2	6201.8	
			5899.1	6317.4	
			5881.5	6159.3	
4	10000		10432.4	10143.5	0.19
			10056.7	10104.6	
			9986.2	10355.4	
			9965.3	10417.3	
			9896.2	10453.9	
			9867.4	10284.9	

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员：吴晓义、赵升、黄辉、王文杰 仪器生产厂：江苏天瑞仪器股份有限公司

测试地点：天瑞仪器 仪器型号、编号：100300039-00764A

环境温度（°C）：20 环境压力（kPa）：101.9 相对湿度（RH%）：65

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：1

测试日期：2023 年 03 月 09 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)
零气 1	0	0.3	零气 2	0	0.2
检出限浓度 1	2	2.2	检出限浓度 2	2	2.6
零气 1	0	0.3	零气 1	0	0.3
低浓度 1	2500	2520.3	低浓度 2	2500	2568.1
零气 1	0	0.3	零点气 2	0	0.3
中浓度 1	6000	6123.6	中浓度 2	6000	6107.1
零气 1	0	0.3	零点气 2	0	0.2
高浓度 1	10000	10386.7	高浓度 2	10000	10324.1
零气 3	0	0.2	零气 4	0	0.4
检出限浓度 3	2	2.5	检出限浓度 4	2	2.6
零气 3	0	0.3	零气 4	0	0.4
低浓度 3	2500	2500	低浓度 4	2500	2500
零气 3	0	0.2	零点气 4	0	0.3
中浓度 3	6000	6127.3	中浓度 4	6000	6096.7
零气 3	0	0.1	零点气 4	0	0.2
高浓度 3	10000	10081.8	高浓度 4	10000	10420.2
零气 5	0	0.2	零气 6	0	0.1
检出限浓度 5	2	2.8	检出限浓度 6	2	2.7
零气 5	0	0.4	零气 6	0	0.3
低浓度 5	2500	2500	低浓度 6	2500	2531.2
零气 5	0	0.5	零点气 6	0	0.4
中浓度 5	6000	6162.7	中浓度 6	6000	6133.9
零气 5	0	0.5	零点气 6	0	0.3

高浓度 5	10000		10231.8		高浓度 6	10000		10368.2	
检出限浓度	显示值 平均值	2.57	相对误差/%	/	中浓度	显示值 平均值	6124.8	相对误差/%	2.08%
低浓度		2519.6		0.78%	高浓度		10301.9		3.019%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员：吴晓义、赵升、黄辉、王文杰 仪器生产厂：江苏天瑞仪器股份有限公司

测试地点：天瑞仪器 仪器型号、编号：100300039-00764A

环境温度（℃）：20 环境压力（kPa）：101.9 相对湿度（RH%）：65

校准量程（F.S.）：10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称：甲烷 测试流量（L/min）：1

测试日期：2023 年 03 月 09 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	10336.9	3.4	3.4
		10841.6	3.1	
		10464.3	3.5	
		10202.9	3.4	
		10255.3	3.5	
		10130.7	3.5	
响应时间最大值 (S_{max})		3.5		

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表 A-7 响应系数

测试气名称	测试气浓度	仪器信号值	信号值平均值	仪器显示值	显示值 平均值
甲烷	504	1167.3	1167.1	508.6	509.8
		1157.7		506.3	
		1176.3		514.6	
	2664	6091.5	6096.87	2720.3	2724.4
		6109.8		2736.6	
		6089.3		2716.2	
丙烷	611	2434.7	2472.0	2434.7	2472.0
		2493.9		2493.9	
		2487.3		2487.3	
	2562	10404.8	10564.0	4630.5	4701
		10657.6		4741.6	
		10629.6		4731.0	
乙烯	598	1310.5	1311.4	584.4	585.6
		1312.6		587.8	

		1311.1		584.6	
	2608	5697.9	5701.8	2540.7	2546.1
		5706.8		2555.7	
		5700.6		2541.8	
甲苯	602	3104.9	3463.7	1469.9	1564.6
		3564.8		1574.1	
		3721.4		1649.9	
	2694	13923.5	15532.3	6591.4	7016.3
		15985.6		7058.8	
		16687.8		7398.8	
二氯甲烷	607	2430.7	2377.1	1095.5	1064.3
		2347		1043.8	
		2353.6		1053.7	
	2549	10343.4	10115.3	4661.9	4529.1
		9987.3		4441.6	
		10015.3		4483.7	
乙酸乙酯	599	1189.2	1187.3	528.2	527.3
		1181.2		524.5	
		1191.5		529.2	
	2668	5285.2	5276.9	2347.5	2343.5
		5249.9		2331.2	
		5295.6		2351.9	

实验室七 现场测试数据

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 笪宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032005)
 环境温度 (°C): 18 环境压力 (kPa): 100.7 相对湿度 (RH %): 80
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 20 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	20	9:00-11:00	-1.1	0	1.1	9727	9659	-68	-0.70
2	23	11:00-13:00	1.1	1.1	0	9484	9589	105	1.10
3	/3/	13:00-15:00	0	0	0	9728	9690	-38	-0.39
4	21	15:00-17:00	-1.1	0	1.1	9700	9532	-168	-1.75
1h 零点漂移绝对误差最大 值 (ΔZ_{\max})			-1.1		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})			-168	

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 笪宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032005)
 环境温度 (°C): 18 环境压力 (kPa): 100.7 相对湿度 (RH %): 80
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 20 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值	读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值
1	8:00	0.4	1	8:07	0.4
2	8:01	1	2	8:08	1
3	8:02	0.4	3	8:09	1
4	8:03	0.4	4	8:10	0.4
5	8:04	1	5	8:11	0.4
6	8:05	0.4	6	8:12	1
7	8:06	0.4	7	8:13	0.4
标准偏差/ S_z		0.293	检出限		0.93

附表 A-3 重复性

测试人员: 笄宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032005)
 环境温度 (°C): 18 环境压力 (kPa): 100.7 相对湿度 (RH %): 79.8
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 21 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差 %
1	0	零气 1: -1.1	-1.1	/	/
2	0	零气 2: -1.1			
3	0	零气 3: -1.1			
4	0	零气 4: -1.1			
5	0	零气 5: -1.1			
6	0	零气 6: -1.1			
7	2500	测试气 1: 2503	2510.27	11.39	0.45
8	2500	测试气 2: 2493			
9	2500	测试气 3: 2510			
10	2500	测试气 4: 2523			
11	2500	测试气 5: 2521			
12	2500	测试气 6: 2505			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-4 平行性

测试人员: 笄宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032005/3032009)
 环境温度 (°C): 18 环境压力 (kPa): 101.1 相对湿度 (RH %): 78.9
 校准量程 (F.S.): 10000 (μmol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1-1.1
 测试日期: 2023 年 3 月 21 日

序号	校准气体名称	标准气浓度	仪器 1 显示值 (3032005)	仪器 2 显示值 (3032009)	相对标准偏差%
1	甲烷	600	580	583	0.03
			591	586	
			584	584	
			587	584	
			587	589	
			579	592	

2	2500	2460	2448	0.39
		2499	2469	
		2481	2456	
		2440	2443	
		2449	2440	
		2469	2442	
3	6000	5679	5627	0.11
		5606	5658	
		5606	5649	
		5590	5620	
		5559	5630	
		5561	5669	
4	10000	9907	9802	0.39
		9832	9842	
		9862	9762	
		9858	9938	
		9719	9743	
		9962	9864	

附表 A-5 线性（全系统示值）误差

测试人员： 竺宇星 仪器生产厂： 上海汉洁科学仪器有限公司

测试地点： 上海 仪器型号、编号： FID4（3032005）

环境温度（°C）： 18 环境压力（kPa）： 101.1 相对湿度（RH%）： 79.8

校准量程（F.S.）： 10000（ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称： 甲烷 测试流量（L/min）： 1.1

测试日期： 2023 年 3 月 21 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	仪器显示值 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	校准气体 浓度范围	测试浓度 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	仪器显示值 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）
零气 1	0	-2.1	零气 2	0	-1.1
检出限浓度 1	5.3	5.3	检出限浓度 2	5.3	4.3
零气 1	0	-1.1	零气 1	0	-1.1
低浓度 1	2500	2527	低浓度 2	2500	2555
零气 1	0	-2.1	零点气 2	0	-1.1
中浓度 1	6000	5888	中浓度 2	6000	5839
零气 1	0	-1.1	零点气 2	0	2.1
高浓度 1	10000	9743	高浓度 2	10000	9723
零气 3	0	0	零气 4	0	-1
检出限浓度 3	5.3	4.2	检出限浓度 4	5.3	4.2
零气 3	0	1.1	零气 4	0	1.1
低浓度 3	2500	2559	低浓度 4	2500	2541

零气 3	0	1.1	零点气 4	0	1.1			
中浓度 3	6000	5822	中浓度 4	6000	5849			
零气 3	0	2.1	零点气 4	0	3.2			
高浓度 3	10000	9894	高浓度 4	10000	9824			
零气 5	0	-1.1	零气 6	0	-1.1			
检出限浓度 5	5.3	4.2	检出限浓度 6	5.3	4.2			
零气 5	0	1.1	零气 6	0	1.1			
低浓度 5	2500	2514	低浓度 6	2500	2566			
零气 5	0	2.1	零点气 6	0	1.1			
中浓度 5	6000	5878	中浓度 6	6000	5880			
零气 5	0	3.2	零点气 6	0	2.1			
高浓度 5	10000	9928	高浓度 6	10000	9890			
检出限浓度	显示值	4.4	/	中浓度	显示值	5858.967	相对误差 /%	-2.35%
低浓度	平均值	2543.67	1.73%	高浓度	平均值	9831.733		-1.68%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员： 笱宇星 仪器生产厂： 上海汉洁科学仪器有限公司

测试地点： 上海 仪器型号、编号： FID4 (3032005)

环境温度 (°C) : 18.3 环境压力 (kPa) : 100.7 相对湿度 (RH %) : 79.8

校准量程 (F.S.) : 10000 (μ mol/mol) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min) : 1.1

测试日期： 2023 年 3 月 21 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 (μ mol/mol)	仪器显示值 (μ mol/mol)	响应时间 S (t90)	平均响应时间 (S)
浓度 1	10000	9917	3	4
		9854	4	
		9864	4	
		9875	4	
		9843	5	
		9789	4	
响应时间最大值 (S_{max})			5	

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。

附表A-1 零点漂移和量程漂移检测

测试人员: 笪宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032009)
 环境温度 (°C): 18 环境压力 (kPa): 100.7 相对湿度 (RH %): 80
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 21 日

序号	日期	时间	零点读数		零点漂移 绝对误差	量程点读数		量程漂移 绝对误差	量程漂移 相对误差 $\Delta S/F.S$
			起始 (Z_0)	最终 (Z_i)	$\Delta Z=Z_i-Z_0$	起始 (S_0)	最终 (S_i)	$\Delta S=S_i-S_0$	
1	2023/3 /21	9:00-1 1:00	0.7	0	-0.7	9835	9805	-30	-0.31
2		11:00- 13:00	0	0	0	9805	9765	-40	-0.41
3		13:00- 15:00	0.7	0.7	0	9756	9848	92	0.94
4		15:00- 17:00	0.7	0	-0.7	9875	9705	-170	-1.74
1h 零点漂移绝对误差最大 值 (ΔZ_{\max})			0.7		1h 量程值漂移绝对误差最大值 (ΔS_{\max})		-170		

附表 A-2 检出限检测

测试人员: 笪宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032009)
 环境温度 (°C): 18 环境压力 (kPa): 100.7 相对湿度 (RH %): 80
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 20 日

读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值	读数 序号	时间	测定零气仪器 显示值
1	8:20	0.6	1	8:35	0.6
2	8:21	1	2	8:36	1
3	8:22	0.6	3	8:37	0.6
4	8:23	1	4	8:38	1
5	8:24	0.6	5	8:39	0.6
6	8:25	1	6	8:40	1
7	8:26	1	7	8:41	1
标准偏差/ S_z		0.21	检出限		0.62

附表 A-3 重复性

测试人员: 笄宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032009)
 环境温度 (°C): 18.3 环境压力 (kPa): 100.7 相对湿度 (RH %): 79.8
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 21 日

序号	标准气体浓度	仪器显示值	显示值平均值	标准偏差 S	相对标准偏差/%
1	0	零气 1: 0	0.35	0.38	/
2	0	零气 2: 0			
3	0	零气 3: 0.7			
4	0	零气 4: 0			
5	0	零气 5: 0.7			
6	0	零气 6: 0.7			
7	2500	测试气 1: 2476	2461.82	22.42	0.91
8	2500	测试气 2: 2482			
9	2500	测试气 3: 2486			
10	2500	测试气 4: 2451			
11	2500	测试气 5: 2430			
12	2500	测试气 6: 2448			

注: 计算测定标准气体仪器显示值的平均值应减去测定零气仪器显示值的平均值, 计算平均值时负值取绝对值计入。

附表 A-5 线性 (全系统示值) 误差

测试人员: 笄宇星 仪器生产厂: 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点: 上海 仪器型号、编号: FID4 (3032009)
 环境温度 (°C): 18 环境压力 (kPa): 100.7 相对湿度 (RH %): 79.8
 校准量程 (F.S.): 10000 ($\mu\text{mol/mol}$) 标准气名称: 甲烷 测试流量 (L/min): 1
 测试日期: 2023 年 3 月 21 日

测试气体浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)	校准气体浓度范围	测试浓度 ($\mu\text{mol/mol}$)	仪器显示值 ($\mu\text{mol/mol}$)
零气 1	0	0.7	零气 2	0	0.7
检出限浓度 1	5.3	6.1	检出限浓度 2	5.3	5.7
零气 1	0	0.7	零气 1	0	0.7
低浓度 1	2500	2427	低浓度 2	2500	2470
零气 1	0	-0.7	零点气 2	0	1.3
中浓度 1	6000	5834	中浓度 2	6000	5794
零气 1	0	0	零点气 2	0	0.7

高浓度 1	10000	9782	高浓度 2	10000	9891				
零气 3	0	0	零气 4	0	0				
检出限浓度 3	5.3	5.7	检出限浓度 4	5.3	5.7				
零气 3	0	1.3	零气 4	0	1.3				
低浓度 3	2500	2466	低浓度 4	2500	2459				
零气 3	0	1.3	零点气 4	0	2				
中浓度 3	6000	5753	中浓度 4	6000	5730				
零气 3	0	0	零点气 4	0	0				
高浓度 3	10000	9849	高浓度 4	10000	9975				
零气 5	0	0.7	零气 6	0	0				
检出限浓度 5	5.3	5.7	检出限浓度 6	5.3	5.7				
零气 5	0	2	零气 6	0	2				
低浓度 5	2500	2480	低浓度 6	2500	2471				
零气 5	0	2	零点气 6	0	2				
中浓度 5	6000	5710	中浓度 6	6000	5685				
零气 5	0	2	零点气 6	0	2				
高浓度 5	10000	9866	高浓度 6	10000	9934				
检出限浓度	显示值	5.67	相对误差	/	中浓度	显示值	5749.683	相对误差	-4.17%
低浓度	平均值	2462.17	%	-1.51%	高浓度	平均值	9882.05	%	-1.18%

注：计算测定校准气体仪器显示值的平均值应减去对应测定零气仪器显示值的平均值；

附表 A-6 响应时间

测试人员： 笪宇星 仪器生产厂： 上海汉洁科学仪器有限公司
 测试地点： 上海 仪器型号、编号： FID4（3032009）
 环境温度（℃）： 18.3 环境压力（kPa）： 100.7 相对湿度（RH%）： 79.8
 校准量程（F.S.）： 10000 （ $\mu\text{mol/mol}$ ） 标准气名称： 甲烷 测试流量（L/min）： 1.1
 测试日期： 2023 年 3 月 21 日

测试气体 浓度范围	测试浓度 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	仪器显示值 （ $\mu\text{mol/mol}$ ）	响应时间 S（t90）	平均响应时间 （S）
浓度 1	10000	9943	3	3.167
		9784	4	
		9934	3	
		9754	3	
		9787	3	
		9923	3	
响应时间最大值（ S_{max} ）			4	

注：记录当仪器示值开始变化至达到测试气浓度 90%的时间。