

《环境空气 57 种臭氧前体物的测定 罐采样/气相色谱-氢火焰离子化检测/质谱检测联用法》编制说明（征求意见稿）

标准编制组

二零一九年四月

项目名称：环境空气 57 种臭氧前体物的测定 罐采样/气相色谱-氢火焰离子化检测/质谱检测联用法

项目统一编号：SDGPPS2017C（402001）016

项目承担单位：山东省环境监测中心

编制组主要成员：曹方方 李红莉 岳太星 张凤菊 王桂勋 郭文建 张慧

目 录

1 项目背景.....	2
1.1 任务来源.....	2
1.2 工作过程.....	2
2 标准制修订的必要性分析.....	3
2.1 被测对象的性质、来源及环境危害.....	3
2.2 相关环保标准和环保工作的需要.....	4
2.3 现行污染物分析方法标准的实施情况和存在的问题.....	8
3 国内外相关分析方法研究.....	9
3.1 主要国家、地区及国际组织相关标准分析方法研究.....	9
3.2 国内相关标准分析方法研究.....	9
3.3 文献报道的关于 PAMS 组分的分析方法.....	10
3.4 在线仪器的分析技术路线.....	10
4 标准制修订的基本原则和技术路线.....	11
4.1 标准制修订的基本原则.....	11
4.2 标准制修订的难点.....	11
5 方法研究报告.....	12
5.1 研究目的.....	12
5.2 适用范围.....	12
5.3 方法原理.....	14
5.4 干扰与消除.....	14
5.5 试剂和材料.....	14
5.6 测试条件优化.....	16
6 样品的采集与保存.....	19
7 样品测定步骤.....	21
8 结果计算及表示.....	25
9 精密度和准确度.....	27
10 质量保证和质量控制.....	27
11 注意事项.....	28
12 实验室内方法性能参数.....	28
13 方法验证.....	35
14 参考文献.....	36
附件 1.....	38

1 项目背景

1.1 任务来源

2017年3月山东省环境保护厅征求环境保护标准制修订工作的意见,6月下达了“环境空气 56 种臭氧前体物的测定 罐采样气相色谱-质谱法”的项目计划,项目统一编号为 SDGPPS2017C(402001)016,山东省环境监测中心站承担了该标准的编制工作。

1.2 工作过程

1.2.1 成立标准编制小组

2017年6月山东省环境监测中心站接到制订《环境空气 56 种臭氧前体物的测定 罐采样气相色谱-质谱法》的工作任务后,成立了标准编制组,召开了标准制订工作启动会。

1.2.2 国内外标准、文献调研

标准编制根据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》的相关规定,检索、查询国内外相关标准文献资料,包括相关环境保护标准、国内外文献材料、目前在线监测的主流技术路线等。在资料查阅及调研的过程中,主要考察乙烷、乙烯和乙炔 3 种 C_2 组分的捕集和分离问题,通过相关标准及资料的调研结果,结合我国环境监测的实际情况确定了标准制订技术路线,形成标准开题论证报告,开展初步实验,根据实验结果编写了标准草案。

1.2.3 研究建立标准方法,进行方法条件试验

2017年3月至8月,标准编制组在国内外标准、文献调研及现行主流技术路线调研的基础上,制定了研究方案及技术路线。参照美国 TO-15 方法及国家标准 HJ759-2015 方法,确定试验方案,优化试验条件。在试验结果的基础上编写了开题论证报告和标准草案。

1.2.4 开题论证情况

2017年8月在山东省环境保护厅召开了开题论证会。论证委员会听取了标准开题论证报告和标准初稿内容介绍,提出以下修改意见和建议:

- 1、补充完善国内有关臭氧前体物的污染状况、主要组分及相关研究;
- 2、本方法以柱温箱冷却+单柱分析方法为主,并用此方法进行精密度和准确度的验证,建议将双柱分析的方法作为资料性附录。

2017年8月至2018年3月,标准编制组根据开题论证会专家意见,深入调研国内臭氧前体物的污染状况及相关研究,确定采用气相色谱-火焰离子化检测法分析 C_2 - C_4 组分,气相色谱-质谱法分析高碳组分,确保每种化合物都具有较高灵敏度,同时尽可能避免非目标组分对测定结果的干扰,并将标准名称重新确立为《环境空气 57 种臭氧前体物的测定 罐采样 气相色谱-氢火焰离

子化检测/质谱检测联用法》。同时增加电子制冷对目标组分富集净化的前处理技术，并重新编写方法的标准文本。

1.2.5 方法验证及征求意见稿、编制说明的编写

2018年7月至10月，组织6家有资质的实验室开展方法验证工作，并进行数据汇总和分析，完成方法验证报告，编写标准征求意见稿和编制说明。

2 标准制修订的必要性分析

2.1 被测对象的性质、来源及环境危害

挥发性有机化合物（Volatile Organic Compounds，以下简称 VOCs）是一类有机化合物的统称，目前在国际范围内没有统一的定义。世界卫生组织（WHO）从物理层面定义为：指在标准大气压下，熔点低于室温、沸点低于 200~260℃ 的有机化合物总称。美国联邦环保署（EPA）、美国 ASTM D3960-98 标准等从化学层面将其定义为：除 CO、CO₂、碳酸、金属碳化合物、碳酸盐和碳酸铵以外的，任何可以参加大气光化学反应的碳化合物。中国大陆地区一般采用第一种定义来限定 VOCs 的范畴。按照化学结构，VOCs 可以分为烷烃（直链烷烃和环烷烃）、烯烃、炔烃、苯系物、醇类、醛类、醚类、酮类、酸类、酯类、卤代烃及其它，共 12 类物质。VOCs 是环境空气中重要的污染物质，有些组分对人体健康会造成直接损害，具有致畸、致癌、致突变的“三致”作用，如苯、萘、1,3-丁二烯、三氯甲烷等；有的组分含有特殊基团，如有机胺、含硫化合物、含氧有机物等具有特殊异味，对人体感觉器官造成不舒服的刺激；部分挥发性有机物在紫外光照射下与环境空气中的 NO_x 发生光化学反应生成近地面臭氧和有机气溶胶。

臭氧前体物（Ozone Precursor Compounds）指大气环境中参与大气光化学反应生成臭氧的空气污染物，主要包括氮氧化物（NO_x）、挥发性有机物和一氧化碳（CO）。本标准测定的臭氧前体物是 VOCs 的一个分支，分子结构中仅包括碳、氢两种原子，碳原子数在 C₂-C₁₂ 之间的挥发性有机物，包括烯烃、烷烃、芳香烃和炔烃，美国光化学评价监测网（Photochemical Assessment Monitoring Stations）将其中 57 种物质列入监测名单，一般称之为 PAMS 物质。PAMS 组分的来源主要有两种，自然源和人为源。自然源主要是阔叶植物的释放，还有海洋、微生物降解或地球化学过程释放；人为排放源是臭氧前体物的主要来源，包括汽车尾气排放、化石燃料燃烧^[1-2]、生物燃料燃烧、汽油蒸发、溶剂的使用、天然气排放、化学工业排放和喷涂等。其中最大的人为排放源是机动车尾气排放，如乙烯、乙炔、1-丁烯、异丁烯、丙烷、丙烯、异戊烷、正戊烷、苯系物等。

美国曾因城市环境空气中臭氧污染问题，决定对城市环境空气中大量存在且对臭氧生成起主要作用的 PAMS 物质，即原 PAMS 清单中的物质作为监控指标^[3]。随着技术的进步，目标组分一

直在不断更新，根据在线监测结果在原 PAMS 清单的基础上不断增减监测组分名录。城市大气中 PAMS 组分是非常重要的大气污染物：消耗对流层的臭氧；是光化学烟雾和近地面臭氧生成的重要前体物，在平流层发生光化学反应生成臭氧；具有毒性和致畸作用，危害人体健康^[4-6]。57 种目标组分除苯已被确认为一级致癌物，其余组分本身毒性不大，主要是与环境空气中的 NO_x 在紫外光作用下发生光化学反应生成近地面臭氧，近地面臭氧是一种有害气体，甚至可能会成为“健康杀手”。如果空气中臭氧浓度过高，会引起咳嗽、头疼等症状，还会对皮肤、眼睛、鼻粘膜等产生刺激。

2.2 相关环保标准和环保工作的需要

2.2.1 国外对PAMS的控制情况

美国因为大气中臭氧浓度达不到国家空气质量标准（NAAQS）的要求，为得到臭氧及其前体物的综合性数据，1990 年清洁空气法案修正案（CAAA）要求政府颁布加强大气中臭氧、氮氧化物、挥发性有机物（VOCs）监测的条例，以期得到能够反映大气中臭氧污染情况的比较全面和有代表性的数据。法案颁布后，在臭氧不达标的州设立光化学评估监测站（PAMS），实时监测臭氧、氮氧化物、VOCs 等空气污染状况指标和气象参数。其主要目的是帮助 USEPA 了解臭氧污染的原因，为空气质量控制当局在评估、跟踪或者必要时修改控制措施时提供全面的空气质量数据。美国在全国臭氧污染较为严重的 24 个城市设立自动监测站点监测环境空气中 57 种臭氧前体物组分，规定采用苏玛罐采样分析 24 小时样品，自动在线连续分析；日本国家规定监测 58 种组分（包括 α 和 β 萜烯），欧盟国家强制监测环境空气中 31 种臭氧前体物。

2.2.2 我国对 PAMS 的控制情况

（1）我国臭氧污染现状

2012 年，环境保护部批准发布的《环境空气质量标准》（GB3095-2012）增加了 PM_{2.5} 的浓度限值和臭氧 8h 平均浓度限值，2013 年颁布实施的《环境空气质量评价技术规范》评价标准新增臭氧浓度指标，新标准的实施使空气质量达标形势更为严峻。我国臭氧超标问题突出，资料显示目前我国许多城市曾遭受或正在遭受不同程度的臭氧污染的侵袭，如北京、广州、上海、成都等城市春夏季节臭氧小时平均浓度超过国家大气质量的二级标准（0.2mg/m³）^[7]。部分城市臭氧超过国家二级标准的天数达到 20%，有些地区甚至多次出现臭氧最大小时浓度超过欧洲警报水平。

2016 年，国家监测网 338 个城市臭氧日最大 8 小时平均浓度为 138mg/m³，71%的城市（239 个）臭氧浓度为 120~180 mg/m³，接近标准限值。超标城市多达 59 个，主要分布在京津冀及周边地区、长三角区域等地区；其中 98 个城市超标 30d 以上，87 个城市臭氧为首要污染物天数超过

30d, 如京津冀 26.3%的天数以臭氧为首要污染物, 珠三角 70.3%的天数以臭氧为首要污染物。2017 年 5-6 月份的持续高温天气, 加剧了京津冀及周边地区的大气污染, 臭氧为首要污染物。2015 年山东省臭氧年均浓度为 $168\mu\text{g}/\text{m}^3$, 高于二级标准 ($160\mu\text{g}/\text{m}^3$), 全省臭氧超标天数为 40d, 其中 5-8 月份超标天数最多, 占总超标天数的 82.5%^[8]; 臭氧污染逐渐取代雾霾天气污染, 渐渐进入人们的视线。

(2) 我国对 VOCs 的控制情况

我国为防治臭氧污染, 改善空气质量做了大量努力。自 2010 年起, 国务院、原环保部(现更名为中华人民共和国生态环境部)、财政部相继出台政策, 为限制 VOCs 的排放做出重大举措。国务院 2010 年 6 月颁布《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》, 首次将 VOCs 列为重点控制的四项大气污染物之一; 2013 年 9 月发布《大气污染防治行动计划》, 要求推进 VOCs 污染防治, 将 VOCs 纳入排污征收范围; 2016 年重新修订《大气污染防治法》, 将 VOCs 纳入监管范围。环境保护部紧跟做出行动: 2011 年 12 月根据《国家环境保护“十二五”规划》开展挥发性有机污染物和有毒废气监测, 完善重点行业排放标准; 2012 年 10 月向社会公布了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》, 强调要全面开展 VOCs 防治工作该规划首次提出在重点区域率先推进大气污染联防联控工作以及对挥发性有机物的综合控制, 并对各地 VOCs 的排放控制指标提出要求, 以达到臭氧污染得到初步控制的目的。2014 年 7 月大气挥发性有机物监测工作正式开启, 2014 年率先开展石油化工行业的 VOCs 治理工作; 2017 年 12 月发布《2018 年重点地区环境空气挥发性有机物监测方案》, 为有的放矢地开展臭氧污染防治工作, 于 2018 年起对污染较重的京津冀及周边、长三角、珠三角、成渝、关中地区、辽宁中南部、武汉及周边等 78 个城市开展监测, 其中山东省有 8 个城市, 包括济南、青岛、淄博、聊城、德州、滨州、济宁和菏泽。监测项目囊括了原 PAMS 清单中的 57 种组分、TO15 中规定的组分及 13 种醛、酮类物质。2018 年 2 月生态环境部印发《环境空气臭氧前体有机物手工监测技术规定》(试行), 在无国家标准分析方法的情况下, 拟对全国开展臭氧前体有机物提供技术指南。为解决国内臭氧污染问题凸显却无相关臭氧前体挥发性有机物标准分析方法的困境, 生态环境部监测司决定对现行标准《环境空气 挥发性有机物的测定罐采样/气相色谱-质谱法 (HJ759-2015)》重新修订, 增加臭氧前体有机物部分。

各省也纷纷出台挥发性有机物综合整治方案和分行业的 VOCs 排放标准, 并根据行业出台 VOCs 排污征费办法以改善空气质量状况。目前很多监测站、科研机构搭建 VOCs 自动监测平台实时分析 57 种 PAMS 组分, 但主要用于科研层面, 还未对生态环境主管部门对如何控制 VOCs、改善臭氧污染状况提供数据和技术依据。且虽然提出对 VOCs 总量提出控制要求, 但对排放 VOCs 总量如何量化、控制哪些 VOCs 组分并未提出明确要求; 对于臭氧污染严重的区域, 我国也没有

强制对 VOCs 监测，亦未规定监测何种 VOCs 组分。

(3) 山东省对 VOCs 的控制情况

山东省 VOCs 污染严重，2010 年 10 月环境保护部首次发布了我国包括京津冀、长三角和珠三角地区在内涉及 19 个省、直辖市、自治区的 13 个重点发展区域的 VOCs 数据，显示重点区域代表性行业 VOCs 排放量最大的区域为山东省，达 79.6 万吨。

山东省非常重视 VOCs 的控制和治理，2014 年印发了《山东省石化等四个重点行业挥发性有机物综合整治方案》，制定了石化、有机化工、表面涂装、包装印刷等四个行业 VOCs 综合整治方案；于 2016 年 5 月 30 日发布《关于挥发性有机物排污费等有关问题的通知》，开始针对石化行业及印刷包装行业征收 VOCs 排污费，并决定自 2018 年 1 月 1 日起进一步扩大征收范围，逐步覆盖 VOCs 排放重点行业。山东省相继颁布了《挥发性有机物排放标准 第一部分汽车制造业》(DB37)(表 1)、《挥发性有机物及恶臭污染物排放标准 1 化学工业企业污水处理厂》(DB37)(表 2)、《挥发性有机物排放标准 2 铝型材工业》(DB37)(表 3)、《挥发性有机物排放标准 3 家具制造业》(DB37)(表 4)、《挥发性有机物排放标准 4 印刷业》(DB37)(表 5)，还有表面涂装、有机化工等行业排放标准，规定了苯系物和总挥发性有机物等指标。但还没出台相应的环境空气质量标准对 VOCs 浓度进行监控和管理。

总体看，山东省目前对氮氧化物的控制取得积极成效，但对 VOCs 的控制力度仍不够，近年来臭氧污染呈现加剧态势。

表 1 山东省《挥发性有机物排放标准 第 1 部分 汽车制造业》(DB37)

序号	污染项目	汽车涂装生产线排气筒最高允许排放浓度 (mg/m ³)	厂界监控点浓度限值 (mg/m ³)
1	苯	1	0.1
2	甲苯	3	0.4
3	二甲苯	12	0.2
		16	
4	苯系物	20	1
		30	
5	VOCs	40	2
		50	

表 2 山东省《挥发性有机物及恶臭污染物排放标准 化学工业企业污水处理厂》(DB37)

序号	污染项目	最高允许排放浓度 (mg/m ³)
1	苯系物	10
2	非甲烷总烃	80

表 3 山东省《挥发性有机物排放标准 第 2 部分 铝型材工业》(DB37)

序号	污染项目	最高允许排放浓度 (mg/m ³)	
		I 时段	II 时段
1	苯	1	1
2	甲苯	3	3
3	二甲苯	10	5
4	苯系物	15	10
5	VOCs	60	40

表 4 山东省《挥发性有机物排放标准 第 3 部分 家具制造业》(DB37)

序号	污染项目	最高允许排放浓度 (mg/m ³)		厂界监控点浓度限值 (mg/m ³)
		I 时段	II 时段	
1	苯	1	0.5	0.1
2	甲苯与二甲苯合计	40	20	0.2
3	VOCs	80	40	2

表 5 山东省《挥发性有机物排放标准 第 4 部分 印刷业》(DB37)

序号	污染项目	最高允许排放浓度 (mg/m ³)	厂界监控点浓度限值 (mg/m ³)
1	苯	/	0.1
2	甲苯	/	0.1
3	二甲苯	10	0.2
4	VOCs	50	2

2.2.3 环境空气质量监测对 PAMS 排放标准的限值要求

为改善臭氧污染状况，欧盟国家强制监测环境空气中 31 种臭氧前体物；美国环保署对各个监测点位实时监测 57 种 PAMS 物质并随时公布监测数据；日本强制监测 58 种组分（包括 α 和 β 蒎烯）。我国还没有形成对 VOCs 的有效管理，对 VOCs 环境基准的研究尚处于起步阶段，未纳入环境统计管理体系。

2.2.4 环境保护重点工作涉及的污染物项目监测要求

《环境空气质量评价技术规范》评价标准新增臭氧浓度指标，当在光照强度大、温度高的气象条件下臭氧经常成为首要污染物，使空气质量达标形势更为严峻。但臭氧并不是由污染源直接排放产生，而是排放到大气中的 NO_x 与 VOCs 发生光化学反应生成。随着 2013 年国务院发布“大气十条”以来，二氧化硫、氮氧化物的控制达到了初步效果，VOCs 的排放量却呈增加态势，据估计 VOCs 的排放量已达 2500 万吨左右。2010 年重点区域代表性行业 VOCs 排放量最大的区域为

山东省，达 79.6 万吨^[9]。当前对氮氧化物的控制力度与对 VOCs 的控制力度不匹配，导致近年来臭氧污染呈现加剧态势。

根据《山东省典型城市环境空气挥发性有机物污染调查》显示，57 种 PAMS 组分是我省城市环境空气中较为丰富的 VOCs 物种，建立相应的实验室标准分析方法不仅满足实验室分析的需求，还可实现对在线监测仪器所得数据进行质量控制和比对。

2.3 现行污染物分析方法标准的实施情况和存在的问题

我国于 2015 年颁布了关于环境空气中挥发性有机物分析的标准方法《环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法》(HJ759-2015)。该方法规定了环境空气中烯烃、烷烃、氯代烃、含硫有机物、含氧有机物和苯系物等 65 种挥发性有机物的测定方法。采用采样罐采集样品，经三级冷阱预浓缩后气相色谱质谱法分析，该标准分析方法对于分析环境空气中挥发性有机物具有很好的指导意义。2013 年颁布《环境空气 挥发性有机物的测定 吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法》(HJ644-2013)，吸附管采集样品，加热解析后，采用气相色谱/质谱法分析卤代烃、苯系物和氯苯类 35 种挥发性有机物。

目前我国现有国家标准中，现行方法标准仅涉及 15 种臭氧前体有机物，无针对臭氧前体物质分析建立标准分析方法。《环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法》(HJ759-2015) 中涉及的组分见表 6。2018 年生态环境部科技标准司拟对 HJ759-2015 重新修订，增加臭氧前体有机物部分，预计 2020 年完成标准修订工作。

表 6 HJ759-2015 环境保护标准中涉及的 PAMS 组分

序号	英文名称	中文名称	CAS 号
1	Benzene	苯	71-43-2
2	1,3-Butadiene	1,3-丁二烯	106-99-0
3	Cyclohexane	环己烷	110-82-7
4	Ethyl benzene	乙苯	
5	4-Ethyltoluene	对乙基甲苯	622-96-8
6	Heptane	庚烷	142-82-5
7	Hexane	己烷	110-54-3
8	Propylene	丙烯	115-7-1
9	Styrene	苯乙烯	100-42-5
10	Toluene	甲苯	108-88-3
11	1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-三甲苯	95-63-6
12	1,3,5-Trimethylbenzene	1,3,5-三甲苯	108-67-8
13	o-Xylene	邻-二甲苯	95-47-6
14	m-Xylene	间-二甲苯	108-38-3
15	p-Xylene	对-二甲苯	106-42-3

3 国内外相关分析方法研究

3.1 主要国家、地区及国际组织相关标准分析方法研究

为评价挥发性有机物对近地面臭氧污染的影响，美国对臭氧前体物质的分析做了大量研究。分析方法主要包括在线监测分析和离线实验室分析方法两种。

3.1.1 美国EPA方法

(1) TO-12 方法，在线采样分析或样品采集后离线分析环境空气中非甲烷有机物。样品经低温冷阱捕集后直接进检测器(FID)分析，丙烷作为校准气。该方法是对所有在 FID 上有信号响应的有机物总量分析，并未对单个目标组分分析。

(2) 美国环保署(United States Environmental Protection Agency,EPA)于 1991 年颁布了臭氧前体物样品采集和分析的技术支持性文件(Technical assistance document for sampling and analysis of ozone precursors)。该技术支持性文件规定了采样点位的布设、采样频次等要求，并对样品的前处理方式，特别是对除去样品中水分的环节提供了几种选择。样品分析采用气相色谱-火焰离子化检测器分析，可根据实验室内配置选择双柱双检测器，PLOT 毛细管柱分析 C₂-C₄ 组分，非极性的 HP-1 毛细管柱分析 C₄ 以上组分；也可选择冷柱温进样同时分析 57 种组分。

3.1.2 其他组织的方法

目前为止，未查到 ISO、日本、欧盟等国家组织关于臭氧前体物分析的方法。Enthalpy Analytical 公司有离线分析 57 种臭氧前体物质的作业指导书(ENT-167)，采样罐采集样品后，经低温浓缩后气相色谱法检测分析，检测器为火焰离子化检测器。为有效分离乙烷、乙烯和乙炔 3 组分，采用冷柱温进样分析。

3.2 国内相关标准分析方法研究

我国还未正式颁布臭氧前体有机污染物的标准监测分析方法。2018 年我国为积极推进环境空气 VOCs 监测体系和能力建设，摸清生成臭氧的重点 VOCs 种类，掌握浓度水平和变化规律，有的放矢地开展臭氧污染防治工作，在全国重点地区开展环境空气挥发性有机物监测，并制定了《环境空气臭氧前体有机物手工监测技术要求》(试行)。该文件详细规定了样品的采集、测定方法及详细的质量保证和质量控制措施，对于臭氧前体有机物的测试方法并未做严格的规定，其中包括 3 个资料性附件供分析测试人员参考。包括罐采样/气相色谱-氢离子火焰检测器/质谱检测器联用法、罐采样/气相色谱-氢离子火焰检测法和罐采样/气相色谱-质谱法等，其中罐采样/气相色谱-质谱法是由我们前期的工作总结提供。文件未对 3 个监测分析方法的普适性、监测结果的差异性进行评

价和比较。

3.3 文献报道的关于 PAMS 组分的分析方法

虽然目前并未有 57 种 PAMS 组分分析的标准方法，但关于环境空气中 PAMS 组分的文献报道有很多。离线分析方法中主要前处理方式和检测方法上存在差异，前处理方式主要有吸附管捕集-热脱附和低温冷阱预浓缩；同时分析 57 种组分采用冷柱温箱色谱分离后经火焰光度检测器(FID)分析或质谱检测器 (MS) 分析。具体情况见表 7。

表 7 不同分析方法

序号	方法	原理	特点	检出限	参考文献
1	低温捕集/热脱附-气相色谱法	样品在-78℃条件下经三合一材料的捕集管富集，迅速加热至 280℃脱附，经色谱柱冷柱温分离后，火焰光度离子化检测器检测	优点：冷柱温进样分析，一根色谱柱同时分析 C ₂ -C ₁₂ 组分，FID 检测器分析，灵敏度高。 缺点：未除水，可能会导致毛细管柱堵住，峰型变差	0.011-0.024nmol/mol	[10]
2	三级冷阱预浓缩-气相色谱法	样品经三级冷阱预浓缩系统浓缩后，经色谱柱冷柱温分离后，火焰光度离子化检测器检测	优点：三级冷阱预浓缩可有效除去样品中水分、二氧化碳、氮气等的干扰；冷柱温进样分析，一根色谱柱同时分析 C ₂ -C ₁₂ 组分，FID 检测器分析，灵敏度高。 缺点：FID 检测器分析，对于共流出的非目标组分或色谱峰发生偏移时无法判别，容易出现假阳性结果，对目标化合物无法定性	1-3pptv	[11]
3	低温捕集/热脱附-气相色谱/质谱法	样品经二级低温吸附再解析后，经色谱柱冷柱温分离，气相色谱质谱法分析	优点：质谱法分析可避免假阳性定量结果，同时可对非目标化合物定性分析 缺点：冷柱温箱起始温度低（-20℃），不能分析乙烷、乙烯、乙炔 3 个低碳组分	--	[12]

3.4 在线仪器的分析技术路线

目前在线实时分析 VOCs 监测系统的技术已经比较成熟，很多技术已实现商品化被广泛应用于自动在线监测点或化工园区。目前在线监测系统的技术路线基本有两个，一是两套独立的系统分析低碳组分（C₂-C₆）和高碳组分（C₆-C₁₂）；一是一套采样系统，低碳组分和高碳组分分别由 FID 检测器分析和质谱检测器分析。如荷兰公司生产的 Synspec 公司生产的 GC955 系列监测系统^[13]、法国 CHROMA-SUD 公司生产的 AirmoVOC 分析系统^[14]、德国 AMA 公司生产的 GC5000^[15]系统

均是由双通道采样，两套独立的分析仪及 FID 检测器分别分析低碳（C₂-C₆）和高碳（C₆-C₁₂）组分。武汉天虹仪器有限公司的 TH-300B^[16]在线监测系统采用双通道采样，两路样品分别在冷冻除水后进入两路捕集柱，在-150℃的条件采用 PLOT 毛细管柱捕集 C₂~C₅ 碳氢化合物，去活空毛细管柱捕集 C₅~C₁₂ 碳氢化合物。加热脱附后 C₂-C₅ 组分由强极性毛细管柱分离后用 FID 检测器分析，C₅-C₁₂ 组分经非极性毛细管柱分离后 MS 监测器分析。

美国 PerkinElmer 公司生产的 Clarus580 系统^[17]由一套采样系统两套检测器组成。样品经采 Nafion 干燥器去除湿润空气中多余的水分，由三合一材料组合的捕集管冷富集。加热脱附后先经非极性毛细管柱分离，先流出的 C₂-C₆ 组份通过 D-Swafer 压力切换技术切换至强极性的 PLOT 毛细管柱分离后经 FID 检测器分析，后流出组分经切换至一段无涂层去活化毛细柱到第二个 FID 检测器分析。

4 标准制修订的基本原则和技术路线

4.1 标准制修订的基本原则

本标准依据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》（报部长专题会稿）、GB/T 1.1-2000《标准化工作导则》、GB/T 2001.4-2001《标准编写规则第 4 部分：化学分析方法》及 HJ/T 168-2010《环境监测分析方法标准制订技术导则》的要求，以国内外文献为基础而编制。标准制（修）订基本原则如下：

- （1）本标准能满足一次进样分析 57 种原 PAMS 清单中的组分，且可对非目标组分进行定性分析，为今后对监测组分调整做准备；
- （2）标准方法稳定可靠，具有科学性、合理性和适用性，可在各地市之间施行；
- （3）标准内容完整，表述准确，易于理解，便于实施。

4.2 标准制修订的难点

4.2.1 前处理方式

国内外关于分析 57 种 PAMS 组分的前处理方式主要有吸附管低温采样-热脱附法和罐采样-低温冷阱富集两种方式。吸附管低温采样-热脱附法的优点是通过电子制冷，不需要液氮制冷；缺点是不能用于吸附管直接现场采样，捕集管的填料对吸附效果影响重大。可考虑采用不锈钢罐采集样品后回实验室上机分析。

罐采样-低温冷阱富集法的优点是样品采集方便，适合野外操作，而且样品进样、浓缩系统有商品化的仪器，对于实验室离线分析是一种较好的选择；缺点是富集时冷阱温度低，需要液氮制冷。因此，根据不同实验室具体情况，选择经济、方便、可行的前处理方式至关重要。

4.2.2 检测器

气相色谱法/火焰离子化检测 (GC/FID) 法分析烃类组分具有灵敏度高、可靠性好的优势，特别是在质谱上响应低的组分，如乙烯、乙炔、乙烷等低分子量组分在 FID 上可有较好的响应。但气相色谱法是根据保留时间对目标组分定性，当保留时间发生偏离或者有共流出非目标组分时，无法准确定性和定量分析；且对检出频次较高、对臭氧生成贡献大的非目标组分无法准确定性。环境空气组分复杂，如果采用 FID 检测器分析环境空气中 57 种 PAMS 组分，当分析结果出现的异常值和非目标组分时无法给出合理解释，对在线监测数据出现假阳性结果时无法准确判断。

质谱检测器虽然灵敏度不如 FID，但可消除保留时间发生偏移或存在共流出组分对造成的假阳性结果，同时可对非目标组分进行定性。但分析成本高，不适于在线分析用，可用于实验室离线分析。对于 VOCs 组成及主要的臭氧前体物质不清的情况下是最优选择。

本标准拟采用分流技术，将在质谱检测器中响应低、干扰离子严重的低碳组分采用火焰离子化检测器分析，其余高碳组分采用质谱监测器分析。

4.2.3 色谱条件的选择

乙烯、乙炔、乙烷、丙烷和丙烯几种轻烃难以捕捉，在色谱柱中保留难度较大，是分离的难点。选用强极性的毛细管柱进行分析，例如 GAS-PRO 或 PLOT AL₂O₃ 等，发现不需要冷柱温进样即可实现几种轻烃组分的分离，但无法分离同分异构体组分，且样品湿度对目标组分的保留时间会造成极大影响；选用中等极性 DB-624 或非极性的 DB-1 毛细管柱无法实现对 3 种轻烃组分的分离分析。如何兼顾所有组分均可得到较好的分离分析是该研究的难点

5 方法研究报告

5.1 研究目的

通过条件实验、比较目前国内外较为先进的分析 57 种臭氧前体物的方法，总结出采用不锈钢罐采样，低温浓缩富集环境空气中的臭氧前体有机物，建立普适性强、灵敏度和准确度高、经济适用的分析方法。通过比较，拟通过阀切换技术或中心切割技术实现气相色谱法分析 C₂-C₄ 的低碳组分，气相色谱质谱法定性、定量分析 C₅ 以上组分。方法包括样品采集、浓缩、去除干扰物质、仪器分析和数据处理等方面的内容，并就质量控制和质量保证方面的内容进行阐述，对分析过程可能出现的问题进行总结。

5.2 适用范围

本标准是山东省地方标准。本标准适用于环境空气中乙烷、乙烯等 57 种臭氧前体物的测定；其他挥发性有机物如果通过方法适用性验证，也可采用本标准测定。

本方法的目标组分包含了美国 EPA 为控制臭氧污染超标所设立监测的所有化合物组分, 包括 C₂-C₁₂ 范围内的 57 种碳氢化合物组分。目标化合物名单见表 8.

表 8 目标化合物信息

序号	中文名	英文名	CAS	序号	中文名	英文名	CAS
1	乙烯	Ethene	74-85-1	29	2,3-二甲基戊烷	2,3-Dimethylpentane	565-59-3
2	乙炔	Ethyne	74-86-2	30	3-甲基己烷	3-Methylhexane	589-34-4
3	乙烷	Ethane	75-21-8	31	2,2,4-三甲基戊烷	2,2,4-Trimethylpentane	540-84-1
4	丙烯	Propene	115-07-1	32	庚烷	n-Heptane	142-82-5
5	丙烷	Propane	74-98-6	33	甲基环己烷	Methylcyclohexane	108-87-2
6	异丁烷	2-Methylpropane	75-28-5	34	2,3,4-三甲基戊烷	2,3,4-Trimethylpentane	565-75-3
7	正丁烷	1-Butene	106-97-8	35	甲苯	Toluene	108-88-3
8	1-丁烯	n-Butane	106-98-9	36	2-甲基庚烷	2-Methylheptane	31394-54-4
9	反-2-丁烯	trans-2-Butene	624-64-6	37	3-甲基庚烷	3-Methylheptane	589-81-1
10	顺-2-丁烯	cis-2-Butene	590-18-1	38	辛烷	n-Octane	111-65-9
11	异戊烷	isopentane	78-78-4	39	乙苯	Ethylbenzene	100-41-4
12	1-戊烯	1-Pentene	109-67-1	40	间/对-二甲苯	m/p-Xylene	108-38-3;106-42-3
13	正戊烷	n-pentane	109-66-0	41	苯乙烯	Styrene	100-42-5
14	异戊二烯	Isoprene	78-79-5	42	邻-二甲苯	o-Xylene	95-47-6
15	反-2-戊烯	trans-2-Pentene	646-04-8	43	壬烷	n-Nonane	111-84-2
16	顺-2-戊烯	cis-2-Pentene	627-20-3	44	异丙苯	Isopropylbenzene	25321-09-9
17	2,2-二甲基丁烷	2,2-Dimethylbutane	75-83-2	45	丙基苯	n-Propylbenzene	103-65-1
18	环戊烷	Cyclopentane	287-92-3	46	间-乙基甲苯	1-Ethyl-3-methylbenzene	620-14-4
19	2,3-二甲基丁烷	2,3-Dimethylbutane	79-29-8	47	对-乙基甲苯	1-Ethyl-4-methylbenzene	622-96-8
20	2-甲基戊烷	2-Methylpentane	107-83-5	48	均三甲苯	1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8
21	3-甲基戊烷	3-Methylpentane	96-14-0	49	邻-乙基甲苯	1-Ethyl-2-methylbenzene	611-14-3

序号	中文名	英文名	CAS	序号	中文名	英文名	CAS
		e				nzene	
22	1-己烯	1-Hexene	592-41-6	50	1,2,4-三甲苯	1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6
23	正己烷	n-Hexane	110-54-3	51	癸烷	n-Decane	124-18-5
24	甲基环戊烷	Methylcyclopentane	96-37-7	52	1,2,3-三甲苯	1,2,3-Trimethylbenzene	526-73-8
25	2,4-二甲基戊烷	2,4-Dimethylpentane	108-08-7	53	间-二乙苯	m-Diethylbenzene	141-93-5
26	苯	Benzene	71-43-2	54	对-二乙基苯	p-Diethylbenzene	105-05-5
27	环己烷	Cyclohexane	110-82-7	55	十一烷	n-Undecane	1120-21-4
28	2-甲基己烷	2-Methylhexane	73513-42-5	56	十二烷	n-Dodecane	112-40-3

5.3 方法原理

环境空气样品用内壁硅烷化处理的不锈钢采样罐采集，经低温或其他等效方式除水浓缩后，加热解吸至气相色谱仪分离，氢火焰离子化检测器分析 C2 ~ C4 组分，质谱检测器分析其余组分。根据色谱峰的保留时间、碎片离子质荷比及其丰度比定性，外标/内标法定量。

5.4 干扰与消除

采用低温或其他等效方式除水；分析高浓度样品后，系统要充分净化，防止系统中残留 VOCs 的干扰。

5.5 试剂和材料

5.5.1 试剂

5.5.1.1 混合标准气（有证标准物质）：57 种目标组分，各组分浓度为 1.0 $\mu\text{mol/mol}$ 。高压钢瓶保存，钢瓶压力不低于 1.0 MPa。

5.5.1.2 混合标准使用气：使用气体稀释装置（5.5.2.6）将混合标气（5.5.1.1）用高纯氮气（5.5.1.6）稀释至 2.00 nmol/mol 浓度，可保存 30 天。

5.5.1.3 内标标准气（有证标准物质）：组分为：溴氯甲烷、对溴氟苯、1,2-二氟苯、氯苯-d5。浓度为 1.0 $\mu\text{mol/mol}$ ，高压钢瓶保存，钢瓶压力不低于 1.0 MPa。

5.5.1.4 内标标准使用气：使用气体稀释装置（5.5.2.6）将内标标准气（5.5.1.3）用高纯氮气（5.5.1.6）稀释至 5.00 nmol/mol，可保存 30 天。

5.5.1.5 高纯氮气： $\geq 99.999\%$ 。

5.5.1.6 高纯氮气：≥99.999%。

5.5.1.7 液氮。

5.5.2 仪器和设备

5.5.2.1 气相色谱-质谱联用仪：气相部分具有分流、不分流进样口，柱温箱具有程序升温功能，气相部分配有火焰离子化检测器。质谱部分具有 70 eV 电子轰击（EI）离子源，有全扫描/选择离子（SIM）扫描、谱库检索等功能。

5.5.2.2 气体预浓缩仪：可采用电子制冷或液氮制冷。

5.5.2.3 液氮制冷应具有三级冷阱功能：具有自动定量取样及自动添加标准气体的功能。第一级冷阱能冷却至-120 °C，填料为玻璃微珠+TENAX；第二级冷阱能冷却至-40 °C，填料为 TENAX；第三级冷阱为空管，能冷却到-180 °C。气体预浓缩装置与气相色谱-质谱联用仪连接管路均使用硅烷化管路，并能在 50 °C~150 °C 范围加热。

5.5.2.4 电子制冷：应配有除水功能的装置，富集装置的制冷温度不高于-30 °C，富集管的填料为 carbon sieve 和 carbon B 混合填料或其他等效技术。

5.5.2.5 毛细管色谱柱：

阀切换：毛细管柱柱长 60 m、内径 0.32 mm、膜厚 1.0 μm（固定液为聚二甲基硅氧烷），或其他等效毛细管柱；毛细管柱柱长 30 m、内径 0.32 mm、膜厚 1.0 μm（固定液为聚二甲基硅氧烷），GS-Pro 毛细管柱柱长 30 m、内径 0.32 mm。

中心切割：毛细管柱柱长 60 m、内径 0.32 mm、膜厚 1.8 μm（固定液为 6%腈丙基苯、94% 二甲基硅氧烷或其他等效毛细管柱；Alumina Bond /Na₂SO₄毛细管柱柱长 30 m、内径 0.53 mm、膜厚 10 μm，或其他等效毛细管柱。

5.5.2.6 自动进样器：可实现采样罐样品自动进样。

5.5.2.7 罐清洗装置：可加温、加湿清洗罐，能将采样罐抽至真空（<10 Pa）。

5.5.2.8 气体稀释装置：可二级稀释，稀释倍数>1000 倍。

5.5.2.9 采样罐：内壁经惰性化处理的不锈钢罐，容积 3.2 L 或 6 L。耐压值>35 psig。

5.5.2.10 恒定流量采样器：固定流量，采样前用标准流量计校准流量。

5.5.2.11 真空压力表：1.0 KPa。

5.5.2.12 温度计：精度 0.1 °C。

5.5.2.13 精度要求≤7 kPa（1 psi）。

5.5.2.14 过滤器：孔径小于 10 μm。

5.5.2.15 制冷装置：电子制冷：装有 Carbon Sieve 和 Carbon B 混合填料的吸附剂富集；液氮制冷

的一级冷阱填充玻璃微珠+TENAX，二级冷阱填充 TENAX.

5.6 测试条件优化

5.6.1 色谱柱的选择

选择合适的色谱柱对于分析多组分样品至关重要。结果表明 57 种目标组分经 DB-1 毛细管柱或 DB-624 毛细管柱分离后，C₂-C₄ 组分经强极性的 GAS-PRO 或 PLOT/AL₂O₃ 毛细管柱上实现较好的分离（图 1），但乙烷和乙烯无法在 PLOT/AL₂O₃ 毛细管柱上分离（图 2）；其余高碳组分在 DB-1 毛细管柱上的共流出组分对少，而经 DB-624 毛细管柱分离的共流出组分对多。因此，决定目标组分经非极性的 DB-1 毛细管柱分离后，C₂-C₄ 组分经阀切换技术或中心切割技术切换至强极性的 GAS-PRO 或 PLOT/Q 毛细管柱上分离，其余组分经空毛细管柱后至质谱检测器分析。

本标准的制定采取了阀切换技术和中心切割技术两种分流技术，鉴于前期做了大量研究工作，未对两种技术进行统一的色谱柱分析。阀切换技术采用 GAS-PRO 毛细管柱分离低碳组分，DB-1 毛细管柱分离高碳组分；中心切割技术采用 PLOT/AL₂O₃ 毛细管柱分离低碳组分，DB-624 分离其余组分。实验结果表明高碳组分中除环戊烷和 2,3-二甲基丁烷不能完全分离外，其余组分均可实现较好分离；在 DB-624 毛细管柱中，异戊二烯和顺-2-戊烯、2,3-二甲基丁烷和 2-甲基戊烷、2-甲基己烷和环己烷、苯和 2,2,4-三甲基戊烷、甲苯和正辛烷、乙苯和正壬烷等组分对不能进行很好的分离，但质谱检测器因根据离子碎片进行定性和定量分析，不影响其结果。

色谱柱具体情况：

色谱柱组合1： 中心切割

色谱柱1：长度不小于60 m，内径0.32 mm，1.8 μm膜厚（624型色谱柱），或其他等效毛细管柱；

色谱柱2：：30 m × 0.53 mm，10 μm膜厚（Alumina Bond /Na₂SO₄），或其他等效毛细管柱.

色谱柱组合2：阀切换进样

FID分析柱：GAS-PRO(30 m×0.32 mm)或其他等效毛细管柱。

MS分析柱：DB-1(60 m×0.32 mm×1.0μm)毛细管柱和RTX-1(30 m×0.32 mm×1.0μm)毛细管柱串联.

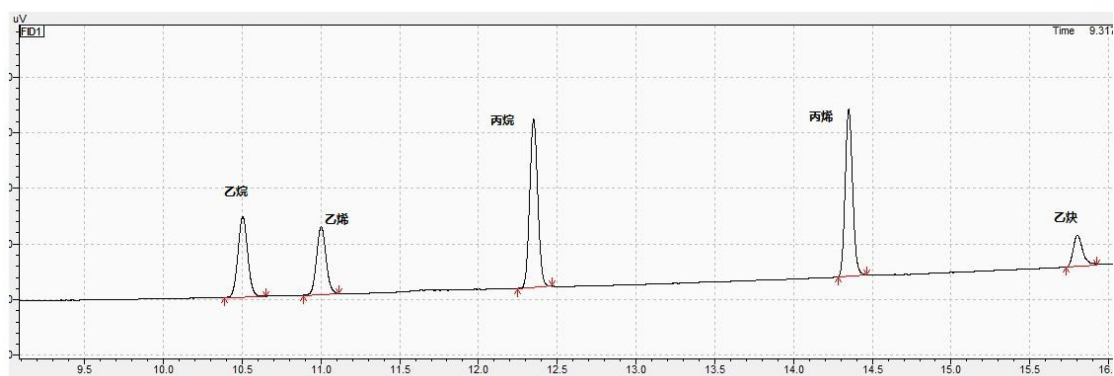


图 1 低碳组分在 PL0T /AL203 毛细管柱上分离情况

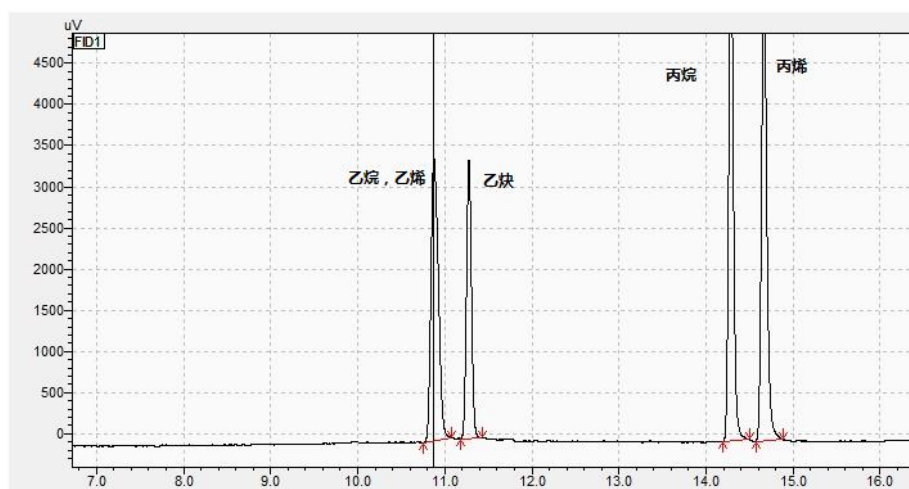


图 2 低碳组分在 PL0T /Q 毛细管柱上分离情况

5.6.2 分流模式的选择

三级冷阱预浓缩：预浓缩系统与气相色谱质谱仪的连接方式是载气经气相色谱仪的 EPC 控制压力后，与预浓缩装置相连接，作为载气经过一级、二级和三级冷阱后，通过传输线与毛细管柱直接连接。该套装置，样品由二级冷阱转移至三级冷阱时载气流量会增大，所以比较不分流、分流比 10:1 和分流比 20:1 对各目标组分响应信号的影响，结果表明不同分流模式不影响测定结果。

冷阱捕集/热脱附：样品经-30℃除水后进入吸附剂冷阱中进行捕集浓缩，由热解析载气带样品至色谱柱，所以分流模式不起作用。

5.6.3 前处理条件的优化

5.6.3.1 三级冷阱预浓缩

研究采用三级冷阱实现样品的捕集、净化、浓缩和进样。一级冷阱的捕集管有空管、填充玻璃微珠、填充玻璃微珠+TENAX 复合材料三种，主要去除样品中水分、氧气和氮气等的干扰；二级冷阱填充 TENAX 吸附材料用于冷富集样品组分，并除去二氧化碳的干扰；三级冷阱为空管，低温条件下对样品组分冷聚焦。57 种 PAMS 组分包括 C₂-C₁₂ 的烷烃、烯烃、芳烃和炔烃，物理化

学性质跨度较大，为能够保证低碳组分有效捕集和高碳组分的有效热脱附，温度参数的合理优化是决定分析成败的关键。

（1）温度参数的优化

为保证 C₂ 组分的有效捕集，一级冷阱选择填充玻璃微珠和 TENAX 复合材料的捕集管。比较捕集温度设置为-120 °C、-150 °C和-165 °C对样品分析的影响，结果表明-120 °C和-150 °C的捕集温度对样品分析结果无影响，当温度设置为-165°C时，样品分析的重现性变差。这可能由于温度降低导致一级冷阱的填料间隙变小，进样体积不准导致。因此，一级冷阱的捕集温度设置为-120 °C。

二级冷阱需除去二氧化碳对样品分析的影响，最低温度设置不能低于二氧化碳的沸点 -56.55 °C。比较二级冷阱捕集温度设置为-15 °C、-30 °C、-40 °C、-50 °C时对 57 种 PAMS 分析结果的影响。当二级冷阱温度设置为-15 °C时，各组分相应信号均较低，随着温度降低各组分相应信号增强；当温度降低至-40 °C以后，各组分的响应信号变化不大，如图 3（以乙烯、乙炔和乙烷为例）。综合考虑二级冷阱捕集温度设置为-40 °C。

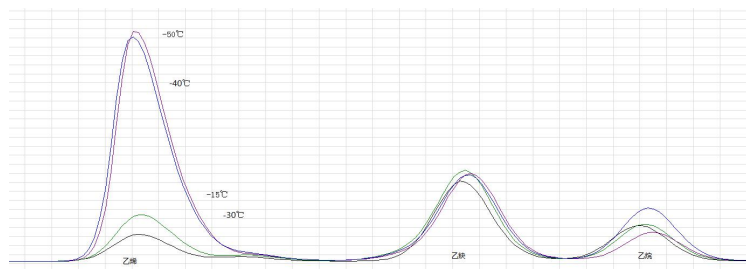


图 3 二级冷阱捕集温度的影响

同时研究了二级冷阱解析温度的影响，比较了解析温度为 140 °C、160 °C、180 °C和 200 °C解析条件对目标组分的影响。结果表明当解析温度设为 160 °C时，各组分响应信号最强，随着解析温度升高响应信号值反而降低。这有可能在 160 °C的条件下，TENAX 的脱附能力最强，而且脱附的速率与三级冷阱的捕集速率相吻合，保证目标组分的完全解析和有效捕集。因此，二级冷阱热解析温度设置为 160 °C。

（2）时间参数的优化

一级冷阱填装有玻璃微珠和 TENAX，虽然与空管相比该捕集管对于低碳组分可实现较好的富集作用，但同时对于高碳组分的吸附能力更强。因此样品由一级冷阱转移至二级冷阱时，有可能出现高碳组分转移不完全的现象。比较了转移 4 min、6 min 和 8 min 对目标物的影响，结果表明 4 min 就能转移完全，因此将一级冷阱转移至二级冷阱的时间设为 4 min。

5.6.3.2 捕集管冷捕集/热脱附

捕集管冷捕集热脱附技术，目前是在线监测分析常用技术，不需要液氮制冷，通过低温除水后，样品经填装特定材料的吸附管通过低温电子制冷达到样品富集的目的，快速加热解析后进入

色谱柱分析，是液氮制冷三级浓缩技术的一个有益补充，固本标准将其技术收纳进来。因仪器参数条件已经进行优化，技术也非常成熟，故未进一步优化。

样品经-30℃的空管除水后进入吸附剂冷阱中进行捕集浓缩（-30℃），快速加热至300℃解析后进入色谱柱。

比较了不同填料对目标组分的影响，结果表明当捕集管中填装Carbon Sieve和Carbon B混合填料时，各目标组分能有效捕集和解析；当填装TO15的填料时，乙炔线性差，这可能是该材料对乙炔的吸附容量小，容易饱和的缘故，因此选择填装Carbon Sieve和Carbon B混合填料的捕集管。

5.6.4 取样量的影响

当环境空气样品湿度达75%时，1 L样品中含有18 μL的水。样品湿度较大时，对样品富集和样品分析都会造成不良影响：降低采样流速，严重时堵塞富集管路；进入气相后堵塞色谱柱，造成保留时间偏移或峰型变差；数据的重现性和准确度下降等。在连续大批量样品分析时，经常会发生采集样品（Trapping sample）的流量达不到设定值或样品采集完成后载气无法将样品传输至二级冷阱中的现象。因此，当分析湿度较大的样品时，减少进样体积或充氮气加压后再分析，建议取样体积小于100 mL。当管路发生堵塞或流量达不到设定值时，可烘烤（bake）10 min后再行分析。

5.6.5 切换时间的优化

所有组分经非极性毛细管柱HP-1或中等极性DB-624毛细管柱后，C₂-C₄组分流入强极性毛细管柱分离，其余组分经非极性毛细管柱分离或不经毛细管柱再次分离直接流入质谱检测器分析。所以阀切换的时间非常重要，如果切割时间过早，低碳组分会流入质谱，切换时间太晚可能有些高沸点组分流入火焰离子化检测器，还有可能某些组分丢失。所以阀切换时间尽量在保留时间间隔距离比较远的两个组分之间进行。

经过试验研究发现，如果采用阀切换技术，2-甲基丁烷和顺-2-丁烯之间的保留时间相距较远，阀切换时间可在12 min-14 min内任意时间点切换均可，因此本实验的阀切换时间选择为12 min，中心切割技术实验条件下，丙烷和异丁烷之间的保留时间差距大，将丙烷之前的低碳组分流入火焰离子化检测器分析，结果表明切割时间设为8.4 min，可保证所有组分均可检测，因此中心切割技术的切换时间设为8.4 min。

6 样品的采集与保存

6.1 采样前准备

采样罐的清洗：按照罐清洗装置说明书对采样罐清洗。分析完样品的采样罐或放置过一段时间的采样罐在使用前需要清洗后使用。清洗时进行加湿，降低罐体内壁的活性吸附；必要时可在50℃-80℃加热清洗。清洗完毕的采样罐抽至真空（<10 Pa），拧紧螺帽放至清洁的环境中。

原则上，清洗好的采样罐需注入高纯氮气或零空气至30 psig，放置24h进行泄露检查，24 h后压力变化不超过2 psig认为不漏气，可抽真空后使用。

6.2 样品采集

样品采集可采用瞬时采样和恒定流量采样两种方式。样品采集前调节好恒定流量采样器流量。

瞬时采样：将清洗并抽至真空的采样罐带至采样点，安装过滤器，打开采样阀开始采样，待罐内压力与采样点大气压力一致后，关闭阀门，拧紧防尘螺帽。记录采样日期、采样起止时间、温度、湿度、样品编号、大气压及采样罐真空度等信息，具体参见HJ/T 194。

恒定流量采样：将清洗并抽至真空的采样罐带至采样点，安装恒流采样器、过滤器，逆时针旋转采样阀开始采样。在设定的恒定流量所对应的采样时间达到后，关闭阀门，用密封螺帽密封。记录采样日期、采样起止时间、温度、湿度、样品编号、大气压及采样罐真空度等信息，具体参见HJ/T 194。

6.3 样品保存

样品在常温条件下保存，保存期限不超过 30 d。

6.4 样品制备

实际样品在分析前，须使用真空压力表（6.9）测定罐内压力。若压力小于 83kPa，须用高纯氮气加压至 101kPa，并按式（1）计算稀释倍数。

$$f = \frac{Y_a}{X_a} \quad (1)$$

式中：f—稀释倍数，无量纲；

X_a—稀释前的罐压力，kPa；

Y_a—稀释后的罐压力，kPa。

6.5 实验室空白制备

将预先清洗好并抽至真空的采样罐连在气体稀释装置上，打开高纯氮气阀门。待采样罐压力达到预设值后（一般为 101kPa），关闭采样罐阀门。

6.6 全程序空白制备

用高纯氮气注入预先清洗好并抽至真空的采样罐，加压至 101 kPa 后带至采样现场，拧开螺帽、打开罐阀门暴露于采样现场后拧紧螺帽、关闭罐阀门，与同批次采集样品后的采样罐一起送回实验室分析。

7 样品测定步骤

7.1 样品前处理技术参数

7.1.1 液氮制冷浓缩参考分析条件

取样体积100 mL。（可根据样品浓度及湿度情况在20 mL-1000 mL范围内调整）

一级冷阱：捕集温度：-120 °C；捕集流速：60 /min；解吸预加热温度：0 °C；解吸温度：10 °C；烘烤温度：150 °C，烘烤时间：10 min。一级冷阱的类型为填装玻璃微珠和TENAX的捕集阱。

二级冷阱：捕集温度为-40 °C；捕集流速为10 /min，捕集体积为40 ；解吸温度为160 °C；解析时间：3.0 min；烘烤温度为190 °C；烘烤时间：10 min。二级冷阱类型为填装TENAX的捕集阱。

三级冷阱：捕集温度为-175 °C；进样时间为2.0 min。系统烘烤时间为10 min。

传输线温度为100 °C。

7.1.2 电子制冷参考分析条件

进样体积为100 mL，经-30 °C的空管除水后进入吸附剂冷阱中进行捕集浓缩（-30 °C），快速加热至300 °C解析后进入色谱柱。

7.2 气相色谱参考条件

7.2.1 阀切换的气相色谱条件

程序升温：-10 °C保持6 min，以15 °C/min升温到10 °C，再以4°C/min升温到150 °C，再以15°C/min升温到240 °C保持2 min.

色谱柱流量：3.0 mL /min。

进样口温度：220 °C。

阀切换时间：12 min。

7.2.2 中心切割

程序升温：40 °C保持3 min，以8 °C/min升温到50 °C（2 min），再以8 °C/min升温到150 °C，保持10 min，再以15 °C/min升温到185 °C，保持16.5 min.

色谱柱流量：1.5 /min。

进样口温度：220 °C。

切割时间：8.4 min，或视情况调整。

7.3 质谱参考条件

接口温度：280 °C。

离子源温度：230 ℃。

四级杆温度：150 ℃。

溶剂延迟：4 min。

扫描方式：SIM模式对样品进行定量分析。

7.4 FID 参考条件

检测器温度：250℃，空气400 mL/min，氢气40 mL/min，尾吹气（氮气）30 mL/min。

7.5 校准

7.5.1 仪器性能检查

样品分析前，需要检查气相色谱-质谱系统性能。将4-溴氟苯标准气体经浓缩仪进样，得到4-溴氟苯的关键离子丰度须符合表9的标准，否则需要清洗离子源或者重新校准。

表 9 4-溴氟苯关键离子丰度标准

质量数	离子丰度	质量数	离子丰度
50	质量数 95 的 8%~40%	174	质量数 95 的 50%~120%
75	质量数 95 的 30%~66%	175	质量数 174 的 4%~9%
95	基峰，相对丰度 100%	176	质量数 174 的 93%~101%
96	质量数 95 的 5%~9%	177	质量数 117 的 5%~9%
173	质量数 174 的 2%		

7.5.2 内标使用气配制

内标使用气浓度为5.00 nmol/mol。将内标标准气按7.4.1步骤配制而成。

7.5.3 校准曲线的配制与测定

分别取混合标准使用气50 mL、100 mL、400 mL、800 mL、1000 mL绘制标准曲线，相当于各浓度点浓度分别为1.00 nmol/mol、2.00 nmol/mol、8.00 nmol/mol、16.0 nmol/mol、20.0 nmol/mol（可根据实际样品情况调整）的标准系列，每个浓度点平行进样两次取平均值。标准曲线中每个点均加入内标，阀切换技术的内标浓度为5.00 nmol/mol，中心切割技术是采用定量环加入内标，使用内标气浓度为1.0 μmol/mol。按照仪器参考条件，依次从低浓度到高浓度进行测定。各组分的特征离子见表10。

FID采用外标法定量计算。目标化合物浓度为横坐标，目标化合物面积为纵坐标，用最小二乘法绘制校准曲线。

质谱采用内标法定量计算。按照公式（2）计算目标物的相对响应因子（RRF），按照公式（3）计算目标物全部标准浓度点的平均相对响应因子（ \overline{RRF} ）。

$$RRF_i = \frac{A_x}{A_i} \times \frac{\varphi_{is}}{\varphi_x} \quad (2)$$

式中：RRF_i—目标化合物的相对响应因子，无量纲；

A_x—目标化合物定量离子峰面积；

A_{is}—内标化合物定量离子峰面积；

φ_{is}—内标物的摩尔分数，nmol/mol；

φ_x—目标物的摩尔分数，nmol/mol。

$$\overline{RRF} = \frac{\sum_{i=1}^n RRF_i}{n} \quad (3)$$

式中： \overline{RRF} —目标化合物的平均相对响应因子，无量纲；

RRF_i—标准系列中第 i 点目标化合物的相对响应因子，无量纲；

n—标准系列点数。

表 10 质谱分析的部分目标化合物的特征离子

编号	化合物	定量离子	定性离子 1	定性离子 2	编号	化合物	定量离子	定性离子 1	定性离子 2
1	异丁烷	43	41	42	26	2,2,4-三甲基戊烷	57	56	41
2	正丁烷	43	41	58	27	庚烷	43	57	71
3	1-丁烯	41	39	56	28	甲基环己烷	83	55	98
4	反-2-丁烯	41	39	56	29	2,3,4-三甲基戊烷	71	43	70
5	顺-2-丁烯	41	39	56	30	甲苯	91	92	
6	异戊烷	43	42	57	31	2-甲基庚烷	57	43	99
7	1-戊烯	42	55	70	32	3-甲基庚烷	57	85	43
8	正戊烷	43	41	42	33	辛烷	43	57	85
9	1,3-二戊烯	67	68	53	34	乙苯	91	106	
10	反-2-戊烯	55	70	42	35,36	间/对-二甲苯	91	106	
11	顺-2-戊烯	55	70	42	37	苯乙烯	104	103	78
12	2,2-二甲基丁烷	57	71	43	38	邻-二甲苯	91	106	105
13	环戊烷	42	55	70	39	壬烷	57	43	85
14	2,3-二甲基丁烷	43	42	71	40	异丙苯	105	120	
15	2-甲基戊烷	43	42	71	41	丙基苯	91	120	

编号	化合物	定量离	定性离	定性离	编号	化合物	定量离子	定性离子	定性离子
16	3-甲基戊烷	57	56	41	42	间-乙基甲苯	105	120	
17	1-己烯	56	41	55	43	对-乙基甲苯	105	120	
18	正己烷	57	41	56	44	均三甲苯	105	120	
19	甲基环戊烷	56	41	69	45	邻-乙基甲苯	105	120	
20	2,4-二甲基戊烷	57	43	56	46	1,2,4-三甲苯	105	120	
21	苯	78	77		47	癸烷	57	43	71
22	环己烷	84	56	41	48	1,2,3-三甲苯	105	120	
23	2-甲基己烷	43	57	85	49	间-二乙苯	105	119	134
24	2,3-二甲基戊烷	56	43	71	50	对-二乙基苯	119	105	134
25	3-甲基己烷	43	57	71	51	十一烷	57	43	71
26	2,2,4-三甲基戊烷	57	56	41	52	十二烷	57	43	71

7.5.4 色谱图

在最佳实验条件下对57种化合物分析，中心切割技术和阀切换技术的色谱图见图4-图7。

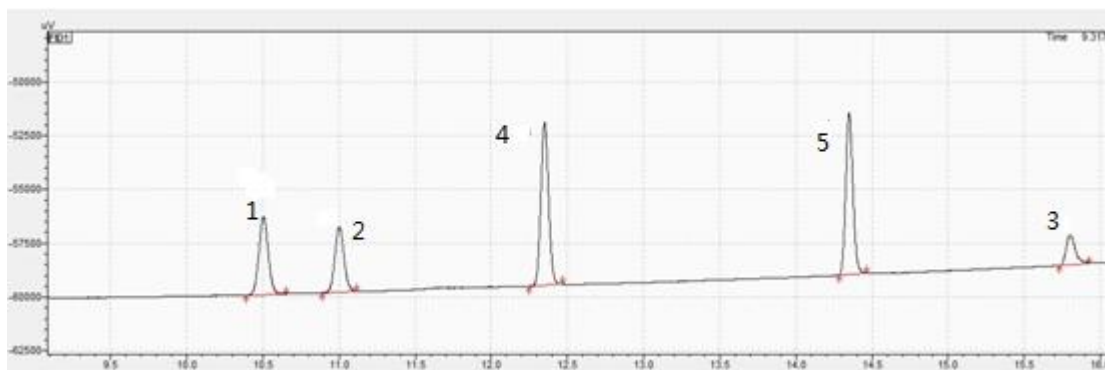


图 4 中心切割技术的的色谱图

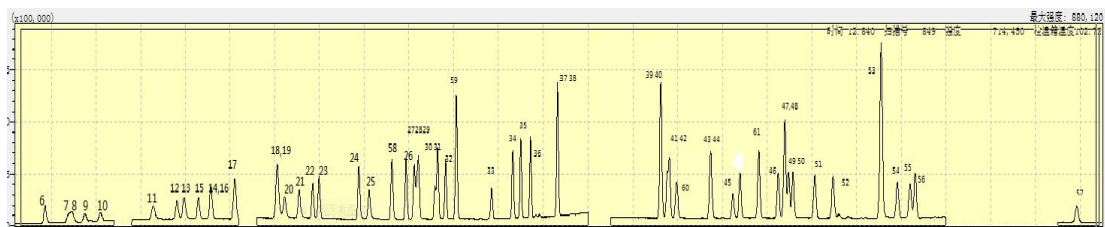


图 5 中心切割技术的选择离子流图

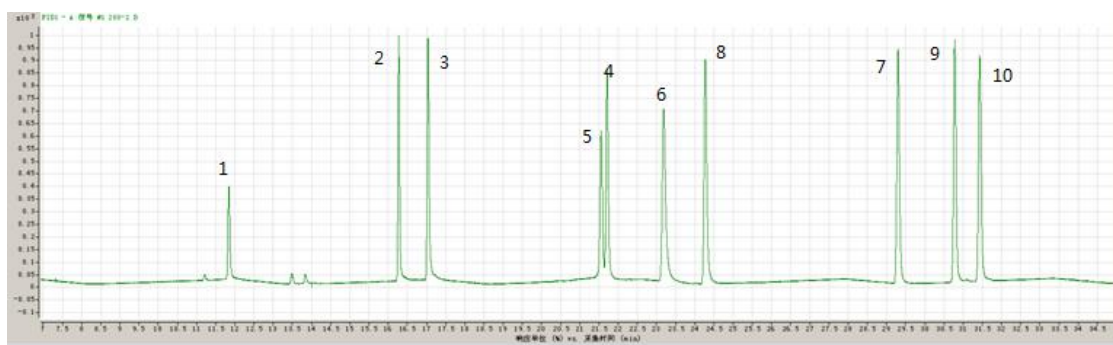


图 6 阀切换技术测定的色谱图

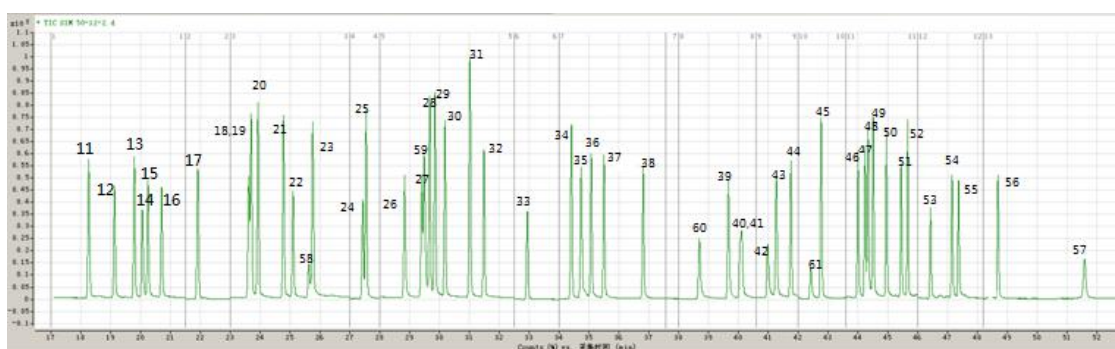


图 7

阀切换技术测定的选择离子流图

注：1-乙烷；2-乙烯；3-乙炔；4-丙烯；5-丙烷；6-异丁烷；7-1-丁烯；8-正丁烷；9-反-2-丁烯；10-顺-2-丁烯；11-2-甲基丁烷；12-1-戊烯；13-正戊烷；14-异戊二烯；15-反-2-戊烯；16-顺-2-戊烯；17-2,2-二甲基丁烷；18-环戊烷；19-2,3-二甲基丁烷；20-2-甲基戊烷；21-3-甲基戊烷；22-1-己烯；23-正己烷；24-甲基环戊烷；25-2,4-二甲基戊烷；26-苯；27-环己烷；28-2-甲基己烷；29-2,3-二甲基戊烷；30-3-甲基己烷；31-2,2,4-三甲基戊烷；32-庚烷；33-甲基环己烷；34-2,3,4-三甲基戊烷；35-甲苯；36-2-甲基庚烷；37-3-甲基庚烷；38-辛烷；39-乙苯；40+41-间/对二甲苯；42-苯乙烯；43-邻二甲苯；44-壬烷；45-异丙苯；46-丙基苯；47-间乙基甲苯；48-对乙基甲苯；49-均三甲苯；50-邻乙基甲苯；51-1,2,4-三甲苯；52-癸烷；53-1,2,3-三甲苯；54-间二乙苯；55-对二乙苯；56-十一烷；57-十二烷；58-溴氯甲烷（内标1）；59-1,2-二氟苯（内标2）；60-氯苯-D5（内标3）；61-对溴氟苯（内标4）。

7.5.5 样品测定

将制备好的样品连接至气体预浓缩仪，取100 mL样品浓缩分析，阀切换技术同时加入50.0 mL内标标准使用气，中心切割技术定量环加入1.0 mL 内标标准气按照仪器参考条件进行测定。

7.5.6 空白样品测定

按照与样品测定相同的操作步骤进行实验室空白和全程序空白的测定。

8 结果计算及表示

8.1 定性结果

8.1.1 对于每个目标化合物，应通过校准曲线经过多次进样建立保留时间窗口，保留时间窗口为 ± 3 倍的保留时间标准偏差，样品中目标化合物的保留时间应在保留时间的窗口内。

8.1.2 质谱分析时，目标化合物在标准质谱图中的丰度高于30%的所有离子应在样品质谱图中存在，样品质谱图中的相对丰度与标准质谱图中的相对丰度的绝对值偏差应小于30%。对于某些化合物，一些特殊的离子（如：分子离子峰），如果其相对丰度低于30%，也应该作为判别化合物的依据。如果实际样品存在明显的背景干扰，则在比较时应扣除背景影响。

按公式（4）计算相对保留时间RRT

$$RRT = \frac{RT_c}{RT_{is}} \quad (4)$$

式中：RRT—目标化合物相对保留时间，无量纲；

RT_c—目标化合物的保留时间，min；

RT_{is}—内标物的保留时间，min。

按公式（5）计算平均相对保留时间（ \overline{RRT} ）；标准系列中同一目标化合物的相对保留时间平均值

$$\overline{RRT} = \frac{\sum_i^n RRT_i}{n} \quad (5)$$

式中： \overline{RRT} —目标物的相对保留时间，无量纲；

RRT_i—标准系列中第i点目标位的相对保留时间，无量纲；

n—标准系列点数。

按公式（6）计算辅助定性离子和定量离子峰面积比

$$Q = \frac{A_q}{A_t} \quad (6)$$

式中：Q-辅助定性离子和定量离子峰面积比；

A_t-定量离子峰面积；

A_q-辅助定性离子峰面积。

8.2 定量结果

8.2.1 外标法

火焰离子化检测器采用外标法进行定量计算。样品中目标物的含量（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）按照公式（7）进行计算。

$$\rho = \varphi_x \times \frac{M}{22.4} \times f \quad (7)$$

式中：ρ—样品中目标物的浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

φ_x —由校准曲线得到的目标化合物的摩尔分数，nmol/mol；

V—样品进样体积，mL；

M—目标物的摩尔质量，g/mol；

22.4—标准状态下（273.15 K，101.325 kPa 下）气体的摩尔体积，L/mol；

f—稀释倍数，无量纲。

8.2.2 内标法

质谱法采用内标法进行定量计算。样品中目标物的含量（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）按照公式（8）进行计算。

$$\rho = \frac{A_x}{A_{is}} \times \frac{\varphi_{is}}{\text{RRF}} \times \frac{M}{22.4} \times f \quad (8)$$

式中： ρ — 样品中目标物的浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

A_x — 目标化合物定量离子峰面积；

A_{is} — 内标化合物定量离子峰面积；

φ_{is} —内标物的摩尔分数，nmol/mol；

RRF—目标化合物的平均相对响应因子，无量纲；

M—目标物的摩尔质量，g/mol；

22.4—标准状态下（273.15 K，101.325 kPa 下）气体的摩尔体积，L/mol；

f—稀释倍数，无量纲。

8.3 结果表示

测定结果的小数点后保留的位数与方法检出限一致，但最多保留 3 位有效数字。

9 精密度和准确度

9.1 精密度

6 家实验室分别对 2.0 nmol/mol、10.0 nmol/mol、18.0 nmol/mol 三个浓度统一样品进行了测定，实验室内相对标准偏差分别为：0.65%-19.8%，0.46%-14.3%，0.29%-7.20%；实验室间相对标准偏差分别为：0.60%-12.3%，0.2%-4.8%，0.2%-11.5.5%；重复性限范围分别为：0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~7.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~43.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；再现性限范围分别为：0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~26.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~46.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

9.2 准确度

6 家实验室分别对加标量为 2.0 nmol/mol 环境空气样品进行加标回收测定，加标回收率为 80.2%-107%。

10 质量保证和质量控制

10.1 空白

实验室空白、全程序空白中目标物的浓度应低于方法测定下限。否则应查找原因，并采取相应措施，消除干扰。

10.2 平行样品的测定

每 20 个样品或每批次（少于 20 个/批）分析一个平行样。平行样品的相对偏差应小于或等于 30%，否则查找原因并重新分析。

10.3 内标物

样品中内标物的保留时间与当天连续校准或者最近绘制的校准曲线中内标物的保留时间偏差应不超过 20 s，定量离子峰面积变化应在 60%~140%之间。

10.4 校准曲线

校准曲线至少需要 5 个浓度点，目标物相对响应因子的相对标准偏差(RSD)应小于等于 30%，否则应查找原因并重新绘制标准曲线。

10.5 连续校准。

每次样品分析前做一次校准曲线中间浓度点或次高点。测定结果与初始浓度值相对偏差应小于等于 30%，否则应查找原因或重新绘制校准曲线。

11 注意事项

- (1) 实验室环境应远离有机溶剂，降低、消除有机溶剂和其他挥发性有机物的本底干扰。
- (2) 分析高浓度样品后，需增加空白分析，如发现系统有残留，可多次分析空白样品，去除残留。

12 实验室内方法性能参数

配制 0.50 nmol/mol 和 1.00 nmol/mol 的标准使用气，进样量 100 mL 平行做 7 组，根据公式(9) 计算各组分方法检出限 (MDL)；配制 2.00nmol/mol，10.0 nmol/mol，18.0 nmol/mol 的低、中、高浓度的标准气体，进样量 100 mL，每组平行做 6 次进行方法精密度实验。精密度、准确度测定结果见表 11~表 13。方法检出限和测定下限参数见表 14，结果表明 57 种目标化合物的方法检出限在 0.15-1.82 ug/m³ 之间，测定下限在 0.56-7.26 ug/m³ 之间。3 组浓度水平的相对标准偏差 (RSD) <6.7%，回收率≥77.7% (表 14)，表明该方法灵敏度高、精密度好。

$$MDL = t(n-1,0.99) \times S \quad (9)$$

表 11 添加浓度为 2.0 nmol/mol 各目标化合物精密度、准确度测定结果 单位: nmol/mol

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率 (%)	标准偏差	相对标准偏差 (%)
乙烯	1.91	2.09	2.06	2.09	2.06	2.15	2.06	103	0.079	3.84
乙炔	1.92	2.35	2.15	1.96	2.19	2.14	2.12	106	0.158	7.44
乙烷	1.89	2.23	2.21	2.26	2.18	2.25	2.17	108	0.138	6.38
丙烯	1.92	1.89	1.92	1.97	1.98	1.96	1.94	97.0	0.033	1.71
丙烷	1.93	2.02	2.05	2.07	2.10	2.09	2.04	102	0.062	3.02
异丁烷	1.93	1.88	1.94	1.93	1.98	1.97	1.94	96.9	0.037	1.88

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
1-丁烯	1.95	1.88	1.88	1.87	2.04	1.91	1.92	96.2	0.067	3.49
正丁烷	1.93	2.02	1.99	2.01	2.19	2.04	2.03	102	0.087	4.30
反-2-丁烯	1.97	2.01	1.99	2.00	2.16	2.05	2.03	101	0.070	3.44
顺-2-丁烯	2.00	2.08	2.07	2.08	2.22	2.11	2.09	105	0.073	3.49
2-甲基丁烷	2.18	2.23	2.18	2.19	2.33	2.22	2.22	111	0.057	2.56
1-戊烯	2.28	2.25	2.23	2.19	2.34	2.23	2.25	113	0.051	2.24
正戊烷	1.97	2.01	1.93	1.92	2.13	1.96	1.99	99.3	0.078	3.95
异戊二烯	1.96	1.90	1.87	1.85	2.05	1.91	1.92	96.1	0.071	3.69
反-2-戊烯	1.95	1.90	1.87	1.85	2.03	1.89	1.92	95.8	0.068	3.53
顺-2-戊烯	1.96	1.91	1.88	1.85	2.03	1.88	1.92	96.1	0.067	3.49
2,2-二甲基丁烷	1.96	1.93	1.91	1.88	2.07	1.93	1.95	97.4	0.066	3.37
环戊烷	1.99	2.00	1.95	1.94	2.13	2.00	2.00	100	0.070	3.48
2,3-二甲基丁烷	1.94	1.94	1.92	1.90	2.05	1.94	1.95	97.4	0.052	2.69
2-甲基戊烷	1.95	1.94	1.92	1.91	2.05	1.93	1.95	97.5	0.051	2.61
3-甲基戊烷	1.96	1.93	1.91	1.89	2.05	1.93	1.95	97.3	0.057	2.94
1-己烯	1.93	1.93	1.90	1.88	2.05	1.91	1.93	96.5	0.059	3.06
正己烷	1.94	1.91	1.88	1.86	2.01	1.90	1.91	95.7	0.053	2.76
甲基环戊烷	1.96	1.92	1.90	1.87	2.04	1.92	1.93	96.7	0.061	3.14
2,4-二甲基戊烷	1.93	1.91	1.89	1.87	2.00	1.88	1.91	95.6	0.049	2.57
苯	2.13	2.08	2.04	2.02	2.18	2.04	2.08	104	0.064	3.08
环己烷	1.95	1.89	1.85	1.82	1.99	1.87	1.90	94.8	0.062	3.27
2-甲基己烷	1.93	1.90	1.90	1.87	1.97	1.89	1.91	95.5	0.036	1.90
2,3-二甲基戊烷	1.91	1.89	1.88	1.86	1.96	1.87	1.89	94.7	0.035	1.83
3-甲基己烷	1.93	1.91	1.90	1.88	1.99	1.91	1.92	95.9	0.038	1.96
2,2,4-三甲基戊烷	1.94	1.90	1.89	1.87	1.98	1.89	1.91	95.6	0.038	2.00
庚烷	1.94	1.92	1.89	1.89	1.97	1.92	1.92	96.1	0.031	1.64
甲基环己烷	1.95	1.88	1.86	1.84	1.95	1.87	1.89	94.6	0.048	2.51
2,3,4-三甲基戊烷	1.95	1.88	1.88	1.86	1.94	1.88	1.90	95.0	0.039	2.03
甲苯	1.92	1.84	1.80	1.79	1.90	1.81	1.84	92.2	0.053	2.87
2-甲基庚烷	1.94	1.89	1.88	1.86	1.95	1.88	1.90	95.0	0.037	1.95
3-甲基庚烷	1.93	1.89	1.87	1.86	1.94	1.88	1.89	94.7	0.035	1.86
辛烷	1.96	1.92	1.90	1.88	1.95	1.90	1.92	95.8	0.032	1.69
乙苯	1.94	1.83	1.79	1.77	1.97	1.80	1.85	92.4	0.086	4.65
间/对二甲苯	1.58	1.46	1.45	1.48	1.57	1.44	1.50	74.9	0.063	4.19

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
苯乙烯	1.97	1.86	1.86	1.80	1.92	1.82	1.87	93.7	0.063	3.35
邻二甲苯	1.93	1.89	1.84	1.82	1.97	1.85	1.88	94.2	0.056	2.97
壬烷	1.95	1.92	1.92	1.89	1.97	1.90	1.93	96.3	0.030	1.55
异丙苯	1.96	1.91	1.83	1.83	1.96	1.86	1.89	94.6	0.059	3.11
丙基苯	1.95	1.86	1.82	1.80	1.90	1.83	1.86	93.0	0.056	3.01
间乙基甲苯	1.93	1.76	1.72	1.66	1.80	1.73	1.77	88.4	0.093	5.27
对乙基甲苯	1.95	1.78	1.86	1.79	1.84	1.74	1.83	91.3	0.073	4.01
均三甲苯	1.87	1.65	1.63	1.63	1.71	1.62	1.69	84.3	0.096	5.70
邻乙基甲苯	1.92	1.82	1.79	1.77	1.86	1.80	1.83	91.3	0.054	2.98
1,2,4-三甲苯	1.93	1.77	1.73	1.70	1.81	1.74	1.78	89.0	0.082	4.59
癸烷	1.95	1.92	1.90	1.88	1.93	1.90	1.91	95.6	0.027	1.44
1,2,3-三甲苯	1.88	1.67	1.64	1.61	1.72	1.64	1.69	84.6	0.099	5.84
间二乙苯	2.05	1.66	1.62	1.57	1.61	1.60	1.69	84.3	0.182	10.80
对二乙苯	1.97	1.85	1.83	1.77	1.85	1.81	1.85	92.3	0.067	3.65
十一烷	1.98	1.90	1.90	1.83	1.87	1.86	1.89	94.6	0.052	2.75
十二烷	2.32	2.17	2.20	2.14	2.29	2.22	2.22	111	0.071	3.18

表 12 添加浓度为 10.0 nmol/mol 各目标化合物精密度、准确度测定结果 单位: nmol/mol

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
乙烯	8.98	8.31	8.13	7.95	7.98	7.79	8.19	82	0.425	5.19
乙炔	9.07	8.47	8.24	8.01	7.97	7.74	8.25	82	0.471	5.71
乙烷	8.93	8.24	8.04	7.84	7.78	7.61	8.07	81	0.471	5.83
丙烯	8.36	8.72	8.70	8.66	8.68	8.53	8.61	86	0.140	1.62
丙烷	8.64	8.52	8.38	8.27	8.25	8.11	8.36	84	0.194	2.32
异丁烷	8.85	8.94	8.96	8.82	8.84	8.64	8.84	88	0.116	1.31
1-丁烯	8.81	8.68	8.61	8.51	8.51	8.40	8.59	86	0.148	1.72
正丁烷	9.02	8.73	8.64	8.56	8.55	8.43	8.65	87	0.206	2.38
反-2-丁烯	8.82	8.67	8.59	8.49	8.47	8.38	8.57	86	0.160	1.87
顺-2-丁烯	8.92	8.71	8.61	8.53	8.49	8.42	8.61	86	0.181	2.10
2-甲基丁烷	9.27	9.01	8.90	8.84	8.84	8.74	8.93	89	0.186	2.08
1-戊烯	9.20	9.07	9.05	9.04	9.03	8.96	9.06	91	0.079	0.88
正戊烷	9.22	9.12	9.09	9.06	9.04	8.96	9.08	91	0.085	0.94
异戊二烯	9.43	9.32	9.39	9.44	9.37	9.40	9.39	94	0.043	0.46
反-2-戊烯	9.28	9.23	9.27	9.21	9.18	9.10	9.21	92	0.067	0.73
顺-2-戊烯	9.32	9.21	9.22	9.24	9.24	9.13	9.23	92	0.060	0.65
2,2-二甲基丁烷	9.30	9.27	9.23	9.23	9.22	9.13	9.23	92	0.059	0.64
环戊烷	9.14	9.06	9.00	8.97	8.95	8.85	9.00	90	0.099	1.10
2,3-二甲基	9.21	9.02	8.89	8.85	8.82	8.65	8.91	89	0.191	2.15

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
丁烷										
2-甲基戊烷	9.18	8.96	8.85	8.82	8.78	8.59	8.86	89	0.196	2.21
3-甲基戊烷	9.29	9.20	9.16	9.15	9.15	8.97	9.15	92	0.103	1.13
1-己烯	9.29	9.14	9.09	9.12	9.09	8.89	9.10	91	0.129	1.42
正己烷	9.28	9.19	9.15	9.17	9.15	8.94	9.15	91	0.112	1.22
甲基环戊烷	9.24	9.24	9.18	9.19	9.18	9.01	9.18	92	0.085	0.93
2,4-二甲基戊烷	9.33	9.25	9.18	9.16	9.12	8.96	9.17	92	0.126	1.38
苯	9.54	9.57	9.59	9.59	9.55	9.44	9.55	95	0.056	0.59
环己烷	9.42	9.51	9.52	9.59	9.59	9.42	9.51	95	0.078	0.82
2-甲基己烷	9.08	9.12	9.01	8.98	8.93	8.81	8.99	90	0.109	1.21
2,3-二甲基戊烷	9.18	9.16	9.09	9.06	8.98	8.84	9.05	91	0.128	1.41
3-甲基己烷	9.10	9.11	9.02	9.00	8.92	8.83	9.00	90	0.106	1.18
2,2,4-三甲基戊烷	9.19	9.25	9.14	9.08	9.06	9.00	9.12	91	0.092	1.01
庚烷	9.03	9.02	8.92	8.84	8.80	8.76	8.89	89	0.115	1.29
甲基环己烷	9.35	9.52	9.50	9.55	9.53	9.49	9.49	95	0.071	0.75
2,3,4-三甲基戊烷	9.21	9.40	9.45	9.45	9.41	9.42	9.39	94	0.092	0.98
甲苯	9.53	9.57	9.58	9.59	9.53	9.58	9.56	96	0.025	0.27
2-甲基庚烷	9.12	9.19	9.22	9.19	9.12	9.09	9.16	92	0.051	0.56
3-甲基庚烷	9.15	9.18	9.20	9.18	9.06	9.07	9.14	91	0.061	0.67
辛烷	8.92	8.97	8.96	8.95	8.87	8.86	8.92	89	0.047	0.52
乙苯	9.00	9.31	9.43	9.53	9.55	9.62	9.41	94	0.227	2.41
间/对二甲苯	9.44	9.59	9.70	9.78	9.80	9.86	9.70	97	0.158	1.63
苯乙烯	8.55	8.84	9.06	8.98	9.15	9.13	8.95	90	0.230	2.57
邻二甲苯	9.52	9.65	9.70	9.75	9.75	9.77	9.69	97	0.095	0.98
壬烷	8.44	8.63	8.61	8.59	8.58	8.55	8.57	86	0.065	0.76
异丙苯	8.99	9.23	9.30	9.35	9.39	9.42	9.28	93	0.156	1.68
丙基苯	8.56	9.21	9.28	9.33	9.32	9.40	9.18	92	0.312	3.40
间乙基甲苯	9.07	9.37	9.47	9.51	9.61	9.57	9.43	94	0.196	2.08
对乙基甲苯	9.21	9.26	9.32	9.29	9.23	9.29	9.27	93	0.043	0.46
均三甲苯	8.65	9.31	9.30	9.20	9.47	9.43	9.23	92	0.298	3.23
邻乙基甲苯	8.84	8.99	9.10	9.15	9.08	9.19	9.06	91	0.125	1.38
1,2,4-三甲苯	8.66	8.85	8.93	9.14	9.20	9.22	9.00	90	0.223	2.48
癸烷	8.64	8.82	8.74	8.76	8.78	8.69	8.74	87	0.064	0.73
1,2,3-三甲苯	8.71	8.96	8.93	9.03	9.22	9.25	9.02	90	0.201	2.23

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
间二乙苯	8.37	8.82	8.86	8.99	9.09	9.06	8.86	89	0.267	3.01
对二乙苯	8.83	8.75	8.82	8.91	9.02	9.05	8.90	89	0.118	1.33
十一烷	8.29	8.18	8.28	8.51	8.55	8.59	8.40	84	0.169	2.01
十二烷	7.47	7.60	7.70	7.99	7.89	7.92	7.76	78	0.203	2.61

表 13 添加浓度为 18.0 nmol/mol 各目标化合物精密度、准确度测定结果 单位: nmol/mol

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
乙烯	15.15	14.22	14.46	14.44	14.03	14.31	14.43	80	0.385	2.67
乙炔	15.13	14.77	14.62	14.21	13.96	13.89	14.43	80	0.490	3.40
乙烷	15.75	15.37	14.99	14.39	14.10	14.22	14.80	82	0.671	4.53
丙烯	14.87	15.10	14.90	14.67	14.48	14.65	14.78	82	0.221	1.49
丙烷	14.38	14.29	14.10	13.71	13.44	13.86	13.96	78	0.363	2.60
异丁烷	14.76	14.88	14.80	14.56	14.17	13.91	14.51	81	0.388	2.68
1-丁烯	14.49	14.71	14.62	14.36	14.13	14.02	14.39	80	0.273	1.90
正丁烷	14.63	14.70	14.59	14.28	14.00	14.13	14.39	80	0.291	2.03
反-2-丁烯	14.42	14.63	14.52	14.25	14.05	14.20	14.34	80	0.216	1.51
顺-2-丁烯	14.45	14.60	14.50	14.22	13.97	14.15	14.31	80	0.239	1.67
2-甲基丁烷	11.70	11.85	11.80	11.57	11.32	11.76	11.67	65	0.197	1.69
1-戊烯	11.45	11.74	11.74	11.59	11.31	11.56	11.56	64	0.168	1.45
正戊烷	13.90	14.31	14.33	14.37	14.27	14.31	14.25	79	0.174	1.22
异戊二烯	14.06	14.65	14.78	14.83	14.80	14.85	14.66	81	0.303	2.07
反-2-戊烯	13.91	14.34	14.39	14.33	14.16	14.24	14.23	79	0.175	1.23
顺-2-戊烯	13.96	14.41	14.53	14.49	14.29	14.30	14.33	80	0.206	1.44
2,2-二甲基丁烷	14.14	14.47	14.48	14.44	14.29	14.31	14.36	80	0.134	0.93
环戊烷	14.09	14.47	14.53	14.48	14.34	14.41	14.38	80	0.160	1.11
2,3-二甲基丁烷	14.06	14.22	14.18	14.07	13.88	13.98	14.06	78	0.127	0.90
2-甲基戊烷	14.11	14.26	14.27	14.05	13.86	14.12	14.11	78	0.150	1.06
3-甲基戊烷	14.04	14.31	14.37	14.35	14.20	14.26	14.26	79	0.123	0.87
1-己烯	13.93	14.28	14.39	14.40	14.24	14.32	14.26	79	0.171	1.20
正己烷	14.29	14.55	14.64	14.59	14.42	14.59	14.51	81	0.132	0.91
甲基环戊烷	14.04	14.31	14.40	14.43	14.28	14.35	14.30	79	0.137	0.96
2,4-二甲基戊烷	14.03	14.16	14.21	14.15	13.94	14.27	14.13	78	0.121	0.86
苯	13.89	14.34	14.56	14.61	14.37	14.53	14.38	80	0.265	1.84
环己烷	14.18	14.45	14.54	14.60	14.46	14.28	14.42	80	0.158	1.10
2-甲基己烷	14.29	14.40	14.41	14.38	14.05	14.29	14.30	79	0.134	0.94
2,3-二甲基戊烷	14.27	14.31	14.28	14.12	13.87	14.25	14.18	79	0.165	1.16

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
3-甲基己烷	14.29	14.37	14.40	14.32	14.07	14.23	14.28	79	0.119	0.83
2,2,4-三甲基戊烷	14.26	14.36	14.39	14.31	14.07	14.22	14.27	79	0.115	0.81
庚烷	14.44	14.55	14.62	14.55	14.27	14.46	14.48	80	0.124	0.86
甲基环己烷	14.02	14.24	14.41	14.44	14.26	14.61	14.33	80	0.204	1.42
2,3,4-三甲基戊烷	14.03	14.35	14.44	14.49	14.28	14.52	14.35	80	0.183	1.28
甲苯	13.84	14.23	14.39	14.46	14.26	14.61	14.30	79	0.264	1.85
2-甲基庚烷	14.26	14.45	14.57	14.49	14.19	14.35	14.39	80	0.145	1.01
3-甲基庚烷	14.22	14.43	14.52	14.44	14.11	14.38	14.35	80	0.152	1.06
辛烷	14.27	14.49	14.56	14.53	14.26	14.49	14.43	80	0.133	0.92
乙苯	13.40	14.19	14.59	14.81	14.70	14.69	14.40	80	0.535	3.72
间/对二甲苯	13.50	14.16	14.57	14.81	14.73	14.71	14.41	80	0.504	3.49
苯乙烯	12.57	13.69	14.35	14.81	14.76	14.81	14.17	79	0.894	6.31
邻二甲苯	14.07	14.43	14.62	14.69	14.51	14.67	14.50	81	0.231	1.59
壬烷	14.64	14.70	14.70	14.63	14.33	14.71	14.62	81	0.146	1.00
异丙苯	13.99	14.38	14.65	14.75	14.58	17.52	14.98	83	1.273	8.50
丙基苯	13.96	14.41	14.63	14.73	14.63	14.73	14.51	81	0.297	2.04
间乙基甲苯	14.32	14.67	14.86	14.93	14.54	14.86	14.70	82	0.234	1.59
对乙基甲苯	14.27	14.40	14.52	14.49	14.14	14.61	14.40	80	0.174	1.21
均三甲苯	14.05	14.58	14.44	14.93	14.34	14.57	14.49	80	0.294	2.03
邻乙基甲苯	13.80	14.28	14.23	14.38	14.07	14.36	14.19	79	0.220	1.55
1,2,4-三甲苯	14.32	14.72	14.95	15.05	14.88	15.11	14.84	82	0.287	1.94
癸烷	15.06	14.91	14.90	14.78	14.41	14.73	14.80	82	0.222	1.50
1,2,3-三甲苯	14.19	14.60	14.81	14.90	14.76	14.96	14.70	82	0.282	1.92
间二乙苯	14.73	15.03	15.24	15.23	15.20	15.31	15.12	84	0.214	1.42
对二乙苯	14.41	14.63	14.72	14.64	14.61	14.76	14.63	81	0.123	0.84
十一烷	15.37	15.28	15.40	15.00	15.18	15.38	15.27	85	0.155	1.01
十二烷	13.56	13.72	13.96	13.83	14.55	14.26	13.98	78	0.365	2.61

表 14 方法检出限和测定下限

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	平均值	标准偏差	t 值	检出限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	测定下限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	分子量
乙烯	0.50	0.52	0.52	0.51	0.56	0.52	0.50	0.52	0.019	3.14	0.07	0.30	28
乙炔	0.56	0.58	0.58	0.59	0.6	0.58	0.56	0.58	0.014		0.05	0.20	26
乙烷	0.53	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.53	0.54	0.010		0.04	0.17	30
丙烯	0.50	0.52	0.51	0.53	0.52	0.52	0.50	0.52	0.010		0.06	0.22	42
丙烷	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.45	0.007		0.04	0.16	44
异丁烷	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.48	0.007		0.06	0.23	58

1-丁烯	0.53	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.53	0.55	0.008		0.07	0.26	58
正丁烷	0.58	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.58	0.59	0.009		0.07	0.28	56
反-2-丁烯	0.49	0.51	0.52	0.52	0.52	0.51	0.50	0.51	0.010		0.08	0.30	56
顺-2-丁烯	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.46	0.007		0.05	0.21	56
2-甲基丁烷	0.53	0.55	0.55	0.55	0.54	0.54	0.53	0.54	0.008		0.08	0.31	72
1-戊烯	0.53	0.51	0.54	0.52	0.53	0.56	0.58	0.54	0.024		0.24	0.95	70
正戊烷	0.49	0.51	0.51	0.5	0.5	0.51	0.49	0.50	0.009		0.10	0.38	72
异戊二烯	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.5	0.48	0.49	0.009		0.09	0.34	68
反-2-戊烯	0.55	0.48	0.52	0.6	0.51	0.57	0.53	0.54	0.040		0.39	1.57	70
顺-2-戊烯	0.59	0.61	0.6	0.6	0.6	0.6	0.58	0.60	0.009		0.09	0.34	70
2,2-二甲基丁烷	0.57	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.57	0.58	0.009		0.10	0.42	86
环戊烷	0.60	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61	0.59	0.61	0.009		0.09	0.35	70
2,3-二甲基丁烷	0.52	0.53	0.55	0.58	0.56	0.56	0.57	0.55	0.021		0.26	1.03	86
2-甲基戊烷	0.61	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62	0.60	0.62	0.009		0.11	0.43	86
3-甲基戊烷	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.45	0.007		0.08	0.32	86
1-己烯	0.63	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.62	0.64	0.009		0.11	0.43	84
正己烷	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.41	0.006		0.07	0.29	86
甲基环戊烷	0.48	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.48	0.007		0.09	0.34	84
2,4-二甲基戊烷	0.50	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.50	0.52	0.008		0.11	0.43	100
苯	0.39	0.4	0.43	0.39	0.42	0.37	0.39	0.40	0.021		0.23	0.90	78
环己烷	0.49	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.49	0.51	0.007		0.09	0.35	84
2-甲基己烷	0.57	0.59	0.58	0.59	0.58	0.58	0.56	0.58	0.010		0.14	0.54	100
2,3-二甲基戊烷	0.44	0.45	0.47	0.5	0.48	0.49	0.47	0.47	0.022		0.31	1.24	100
3-甲基己烷	0.59	0.61	0.6	0.61	0.6	0.6	0.58	0.60	0.010		0.14	0.55	100
2,2,4-三甲基戊烷	0.64	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.64	0.65	0.009		0.15	0.60	114
庚烷	0.49	0.51	0.5	0.52	0.47	0.46	0.48	0.49	0.022		0.31	1.24	100
甲基环己烷	0.72	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.73	0.011		0.14	0.58	98
2,3,4-三甲基戊烷	0.75	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.75	0.76	0.009		0.15	0.61	114
甲苯	0.55	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.55	0.57	0.008		0.11	0.43	92
2-甲基庚烷	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.62	0.63	0.009		0.15	0.60	114
3-甲基庚烷	0.67	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	0.67	0.68	0.010		0.16	0.63	114
辛烷	0.79	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.79	0.80	0.012		0.19	0.76	114
乙苯	0.85	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.85	0.87	0.013		0.19	0.77	106
间/对二甲苯	0.96	0.9	0.89	0.96	1.02	0.95	0.98	0.95	0.045		0.67	2.67	106
苯乙烯	1.06	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08	1.06	1.08	0.015		0.21	0.86	104
邻二甲苯	0.71	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.71	0.72	0.011		0.16	0.64	106
壬烷	0.69	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.69	0.70	0.010		0.19	0.75	128
异丙苯	0.75	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76	0.75	0.76	0.011		0.18	0.74	120
丙基苯	0.76	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.76	0.77	0.011		0.19	0.77	120
间乙基甲苯	0.66	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.67	0.010		0.16	0.65	120
对乙基甲苯	0.66	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.67	0.010		0.16	0.65	120
均三甲苯	0.66	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.67	0.010		0.16	0.65	120

邻乙基甲苯	0.72	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.73	0.011		0.18	0.71	120
1,2,4-三甲苯	0.77	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.77	0.78	0.012		0.19	0.78	120
癸烷	0.62	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.62	0.63	0.009		0.17	0.69	142
1,2,3-三甲苯	0.81	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.81	0.82	0.012		0.20	0.82	120
间二乙苯	0.84	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.84	0.86	0.013		0.24	0.96	134
对二乙苯	0.83	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.83	0.85	0.013		0.24	0.95	134
十一烷	0.90	0.93	0.91	0.92	0.93	0.95	0.90	0.92	0.018		0.38	1.53	156
十二烷	1.12	1.15	1.12	1.17	1.16	1.17	1.13	1.15	0.023		0.54	2.16	170

13 方法验证

13.1 方法验证方案

13.1.1 参与方法验证的实验室、验证人员的基本情况

有 6 家单位参加了方法验证工作，具体名单如下表 15。

表 15 方法验证的实验室、验证人员的基本情况

姓名	性别	年龄	职务或职称	所学专业	参加工作时间	验证单位
杜明月	女	31	工程师	无机化学	6 年	济南市环境监测中心站
时杰	女	53	高级工程师	化学教育	37	潍坊市环境监测中心站
李林	男	30	工程师	环境科学	6	
许哲源	男	28	助理工程师	环境科学	5	
耿冬梅	女	50	高级工程师	环境工程	29 年	威海市环境保护监测站
王丽敏	女	30	工程师	无机化学	4 年	
乔燕	女	31	工程师	化学工程与工艺	7 年	滨州市环境保护监测站
孙硕	女	24	助理工程师	环境科学	3 年	
韩智峰	男	36	工程师	分析化学	9 年	山东省产品质量检验研究院
周延生	男	48	高级工程师	分析化学	13 年	山东分析测试中心
李磊	男	35	工程师	化学	10 年	

按照《环境监测 分析方法标准制修订技术导则》(HJ 168-2010)的要求，组织六家有资质的实验室进行验证。根据影响方法的精密度和准确度的主要因素和数理统计学的要求，编制方法验证报告，验证数据主要包括检出限、精密度以及加标回收率等。

13.1.2 方法验证方案

方法检出限：分别测定浓度为 0.50 nmol/mol 和 1.00 nmol/mol 的实验室空白加标样品，剔除离群值后将各自的 7 次测定结果计算其标准偏差 S，此时检出限 $MDL=S \times 3.143$ 。

方法的测定下限：参照 HJ168，以 4 倍方法检出限确定为本方法目标物的测定下限。

方法精密度/准确度：6 家实验室分别对 2.0 nmol/mol、10.0 nmol/mol、18.0 nmol/mol 3 种不同含量的统一样品进行了测定，对测定结果剔除离群值后将各平行测定 6 次的结果计算平均值，标准偏差，相对标准偏差等，按照加标量和测定值计算回收率确定准确度。对上述两种测定结果剔除离群值后将平行测定 6 次的结果计算平均值，标准偏差，相对标准偏差、回收率等。

13.2 方法验证过程

13.2.1 确定方法验证单位。

各验证单位按照方法验证方案准备实验用品，确定验证时间。在方法验证前，参加验证的操作人员应熟悉和掌握方法原理、操作步骤及流程。方法验证过程中所用的试剂和材料、仪器和设备分析步骤应符合方法相关要求。

13.2.2 《方法验证报告》见附件一。

13.3 方法验证数据的取舍

13.3.1 检出限：本标准验证方案浓度为 0.5 nmol/mol 的实验室空白加标样品计算方法检出限。按照 HJ 168-2010 的要求，对于针对多组分的分析方法，一般要求至少有 50% 的被分析物样品浓度在 3~5 倍计算出的方法检出限的范围内，同时，至少 90% 的被分析样品浓度在 1~10 倍计算出的方法检出限的范围内，其余不多于 10% 的被分析物样品不应超过 20 倍计算出的方法检出限。本方法在检出限的过程当中，均满足上述条件，将本课题组实验室和 6 家验证实验室测定的结果的最大值，确定为该化合物的检出限。

13.3.2 数据统计时，所有数据全部采用，未进行取舍。

13.3.3 方法精密度和准确度统计结果能满足方法特性指标要求。

14 参考文献

[1]杨辉,等.南京市北郊夏季挥发性有机物的源解析[J].环境科学, 2013,34(12):4519-4528.

[2]刘丹,等.北京冬季灰霾频发期VOCs源解析及健康风险评价[J].环境科学, 2016, 37 (10): 3693-3701.

[3] United States Environment Protection Agency.Technical assistance document for sampling and analysis of ozone precursors[S].

- [4] Angela K. Baker. Measurements of nonmethane hydrocarbons in 28 United States cities[J]. Atmospheric Environment, 2008,42 (1) :170-182.
- [5] 段菁春, 彭艳春, 谭吉华等. 北京市冬季灰霾期NMHCs空间分布特征研究[J].环境科学, 2013,34(12):4533-4557.
- [6] Sou N.Matsunaga.Evaluation of non-methane hydrocarbon (NMHC) emissions based on an ambient air measurement in Tokyo area,Japan[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(38): 4982 -4993.
- [7] Wei W, Cheng S Y, et al. Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) emitted from petroleum refinery in Beijing, China[J]. Atmospheric Environment, 2014,89 (1) :358-366.
- [8]山东省环境保护厅。山东省环境质量报告书, 2011-2015年.
- [9]王铁宇,等。我国VOCs的排放特征及控制对策研究[J]。环境科学, 2013,34 (12) : 4756-4761.
- [10]Shinji Saito, et al. Characteristics of ambient C2-C12 non-methane hydrocarbons in metropolitan Nagoya, Japan [J]. Atmospheric Environment, 2009,43(29):4384-4395.
- [11]Sou N. Matsunaga, et al. Evaluation of non-methane hydrocarbon(NMHC) emissions based on ambient air measurement in Tokyo area, Japan [J]. Atmospheric Environment, 2010,44(38):4982- 4993.
- [12]罗玮,等。广州大气挥发性有机物的臭氧生成潜势及来源研究[J]。环境科学与技术, 2011, 34(5):80-86.
- [13]崔雄虎,等。上海城区典型污染过程VOCS特征及臭氧潜势分析[J].环境科学, 2011,32 (12) : 3537-3542.
- [14]王倩,等。上海市秋季大气VOCs对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究[J].环境科学, 2013,34(2):424-433.
- [15]邹宇,等。广州番禺大气成分站复合污染过程VOCs对O₃与SOA的生成潜势[J].环境科学, 2017,38(6):2246-2255.
- [16]刘芮伶,等。重庆主城区夏季挥发性有机物(VOCs)浓度特征及来源研究[J].环境科学学报,2017,37(4):1260-1267.
- [17]N.Durana, et al. Long term hourly measurement of 62 non-methane hydrocarbons in urban area: Main results and contribution of non-traffic sources[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(16): 2860-2872.

附件 1

方法验证报告

方法名称：环境空气 57 种臭氧前体物的测定 罐采样/气相色谱
-氢火焰离子化检测/质谱检测联用法

项目主编单位：山东省环境监测中心

验证单位：济南市环境监测中心站、潍坊市环境监测中心站、滨州市环境监测站、
威海市环境监测中心站、山东省分析测试中心、山东省产品质量检验研究院

项目负责人及职称：曹方方 工程师

通讯地址：济南市经十路 3377 号 电话：0531-66226298

报告编写人及职称：曹方方 工程师

报告日期：2018 年 10 月 1 日

1. 原始测试数据

1.1 实验室基本情况

本方法的 6 家验证实验室依次为：1-济南市环境监测中心站、2-潍坊市环境监测中心站、3-滨州市环境监测站、4-威海市环境监测站、5-山东省分析测试中心、6-山东省产品质量检验研究院。6 家单位参加方法验证工作的具体参加人员名单、仪器见表附 1-1、附表 1-2。

附表 1-1 参加验证的人员情况登记表

姓名	性别	年龄	职务或职称	所学专业	参加工作时间	验证单位
杜明月	女	31	工程师	无机化学	6 年	济南市环境监测中心站
时杰	女	53	高级工程师	化学教育	37	潍坊市环境监测中心站
李林	男	30	工程师	环境科学	6	
许哲源	男	28	助理工程师	环境科学	5	
耿冬梅	女	50	高级工程师	环境工程	29 年	威海市环境保护监测站
王丽敏	女	30	工程师	无机化学	4 年	
乔燕	女	31	工程师	化学工程与工艺	7 年	滨州市环境保护监测站
孙硕	女	24	助理工程师	环境科学	3 年	
韩智峰	男	36	工程师	分析化学	9 年	山东省产品质量检验研究院
周延生	男	48	高级工程师	分析化学	13 年	山东分析测试中心
李磊	男	35	工程师	化学	10 年	

附表 1-2 参加验证单位仪器情况登记表

仪器名称	规格型号	仪器编号	性能状况	验证单位
气相色谱质谱联用仪	5977B/7890B	US1652R006	良好	济南市环境监测中心站
大气浓缩仪	ENTECH7200	1445	良好	
气相色谱质谱联用仪	5977B/7890B	US1652R006	良好	潍坊市环境监测中心站
大气浓缩仪	ENTECH7200	1445	良好	
气相色谱质谱联用仪	5977B/7890B	US1652R006	良好	威海市保护环境监测站
大气浓缩仪	ENTECH7200	1445	良好	
气相色谱质谱联用仪	GCMS-QP2020	0214256022825A	良好	滨州市环境监测中心站
大气浓缩仪	CIA Advantage-xr Kori-xr	UL61010-1	良好	

	Unity-xr			
气相色谱质谱联用仪	GCMS-QP2020	0214256022825A	良好	山东省产品质量检验研究院
大气浓缩仪	CIA Advantage-xr Kori-xr Unity-xr	UL61010-1		
气相色谱质谱联用仪	GCMS-QP2020	0214256022825A	良好	山东省产品质量检验研究院
大气浓缩仪	CIA Advantage-xr Kori-xr Unity-xr	UL61010-1	良好	

1.2 目标化合物的检出限原始测试数据

6 家实验室对环境空气中 57 种臭氧前体物在最佳实验条件下，通过样品除干扰组分、浓缩后上机分析进行检出限测试，各目标化合物的检出限原始测试数据见附表 1-3。

附表1-3 方法检出限及测定下限结果表（实验室1）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 μg/m ³	测定下限 μg/m ³
乙烯	0.48	0.47	0.50	0.50	0.48	0.46	0.48	0.016	3.14	0.06	0.25
乙炔	0.55	0.54	0.55	0.55	0.53	0.52	0.54	0.013	3.14	0.05	0.18
乙烷	0.59	0.60	0.66	0.63	0.61	0.59	0.61	0.028	3.14	0.12	0.47
丙烯	0.47	0.52	0.52	0.52	0.54	0.52	0.52	0.026	3.14	0.15	0.62
丙烷	0.60	0.63	0.67	0.64	0.62	0.60	0.63	0.024	3.14	0.15	0.59
异丁烷	0.61	0.61	0.62	0.61	0.63	0.67	0.62	0.022	3.14	0.18	0.72
1-丁烯	0.46	0.45	0.47	0.49	0.47	0.45	0.47	0.014	3.14	0.11	0.44
正丁烷	0.40	0.41	0.44	0.45	0.44	0.43	0.43	0.018	3.14	0.14	0.58
反-2-丁烯	0.50	0.52	0.55	0.53	0.54	0.53	0.53	0.017	3.14	0.13	0.52
顺-2-丁烯	0.50	0.49	0.53	0.52	0.52	0.52	0.51	0.015	3.14	0.12	0.46
2-甲基丁烷	0.56	0.56	0.60	0.60	0.62	0.60	0.59	0.024	3.14	0.25	0.99
1-戊烯	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81	0.83	0.81	0.012	3.14	0.12	0.49
正戊烷	1.08	1.10	1.13	1.11	1.11	1.10	1.10	0.015	3.14	0.16	0.62
异戊二烯	0.82	0.82	0.82	0.81	0.80	0.79	0.81	0.013	3.14	0.10	0.41
反-2-戊烯	0.70	0.71	0.73	0.71	0.70	0.69	0.71	0.012	3.14	0.12	0.49
顺-2-戊烯	0.78	0.80	0.84	0.82	0.81	0.81	0.81	0.019	3.14	0.19	0.76
2,2-二甲基丁烷	0.87	0.88	0.92	0.90	0.89	0.89	0.89	0.020	3.14	0.24	0.96
环戊烷	1.16	1.19	1.20	1.19	1.19	1.18	1.18	0.012	3.14	0.12	0.49
2,3-二甲基丁烷	0.56	0.57	0.59	0.56	0.54	0.52	0.56	0.023	3.14	0.28	1.13
2-甲基戊烷	0.35	0.37	0.35	0.39	0.33	0.35	0.35	0.022	3.14	0.26	1.05

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 μg/m ³	测定下限 μg/m ³
3-甲基戊烷	0.65	0.64	0.67	0.65	0.63	0.62	0.64	0.019	3.14	0.23	0.92
1-己烯	0.65	0.65	0.67	0.64	0.62	0.60	0.64	0.023	3.14	0.27	1.07
正己烷	0.69	0.68	0.72	0.69	0.67	0.65	0.68	0.022	3.14	0.27	1.07
甲基环戊烷	0.55	0.55	0.58	0.55	0.53	0.52	0.55	0.021	3.14	0.25	0.99
2,4-二甲基戊烷	0.58	0.57	0.61	0.58	0.57	0.55	0.58	0.019	3.14	0.26	1.04
苯	0.40	0.46	0.44	0.45	0.44	0.43	0.44	0.019	3.14	0.21	0.82
环己烷	0.58	0.58	0.59	0.57	0.55	0.54	0.57	0.021	3.14	0.25	1.00
2-甲基己烷	0.65	0.64	0.68	0.65	0.64	0.62	0.65	0.019	3.14	0.26	1.05
2,3-二甲基戊烷	0.50	0.52	0.55	0.53	0.54	0.53	0.53	0.017	3.14	0.24	0.96
3-甲基己烷	0.68	0.69	0.71	0.68	0.66	0.65	0.67	0.023	3.14	0.32	1.26
2,2,4-三甲基戊烷	0.72	0.73	0.74	0.72	0.71	0.69	0.72	0.018	3.14	0.29	1.17
庚烷	0.50	0.49	0.53	0.52	0.46	0.51	0.50	0.024	3.14	0.33	1.32
甲基环己烷	0.82	0.80	0.83	0.80	0.79	0.78	0.80	0.019	3.14	0.27	1.07
2,3,4-三甲基戊烷	0.80	0.82	0.85	0.83	0.81	0.80	0.82	0.019	3.14	0.31	1.23
甲苯	0.63	0.64	0.64	0.63	0.62	0.60	0.63	0.015	3.14	0.19	0.75
2-甲基庚烷	0.63	0.68	0.71	0.69	0.68	0.67	0.68	0.028	3.14	0.44	1.76
3-甲基庚烷	0.72	0.72	0.76	0.74	0.73	0.72	0.73	0.017	3.14	0.28	1.10
辛烷	0.80	0.80	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.024	3.14	0.38	1.51
乙苯	0.92	0.93	0.95	0.93	0.92	0.91	0.92	0.013	3.14	0.20	0.79
间/对二甲苯	0.78	0.80	0.81	0.80	0.82	0.82	0.81	0.015	3.14	0.23	0.91
苯乙烯	0.54	0.60	0.59	0.55	0.55	0.55	0.56	0.025	3.14	0.36	1.46
邻二甲苯	0.72	0.72	0.78	0.77	0.76	0.75	0.75	0.025	3.14	0.37	1.49
壬烷	0.74	0.74	0.75	0.74	0.73	0.72	0.74	0.010	3.14	0.18	0.74
异丙苯	0.76	0.80	0.82	0.81	0.80	0.79	0.80	0.022	3.14	0.37	1.48
丙基苯	0.79	0.81	0.83	0.81	0.80	0.80	0.81	0.015	3.14	0.25	1.00
间乙基甲苯	0.73	0.73	0.73	0.71	0.70	0.69	0.71	0.017	3.14	0.28	1.13
对乙基甲苯	0.67	0.70	0.73	0.71	0.70	0.69	0.70	0.019	3.14	0.33	1.30
均三甲苯	0.72	0.73	0.73	0.71	0.71	0.69	0.72	0.014	3.14	0.24	0.96
邻乙基甲苯	0.75	0.76	0.79	0.77	0.76	0.75	0.77	0.015	3.14	0.25	1.00
1,2,4-三甲苯	0.81	0.82	0.84	0.82	0.81	0.81	0.82	0.011	3.14	0.18	0.73
癸烷	0.65	0.65	0.68	0.66	0.65	0.65	0.66	0.011	3.14	0.23	0.91
1,2,3-三甲苯	0.82	0.85	0.88	0.87	0.86	0.85	0.85	0.020	3.14	0.33	1.33
间二乙苯	0.87	0.90	0.92	0.90	0.89	0.89	0.90	0.019	3.14	0.36	1.43
对二乙苯	0.85	0.90	0.90	0.89	0.88	0.87	0.88	0.019	3.14	0.36	1.44
十一烷	0.92	0.96	0.97	0.96	0.95	0.94	0.95	0.016	3.14	0.35	1.38
十二烷	0.58	0.63	0.60	0.59	0.59	0.59	0.60	0.018	3.14	0.42	1.67

附表1-3 方法检出限及测定下限结果表（实验室2）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	测定下限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
乙烯	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.36	0.39	0.016	3.14	0.06	0.25
乙炔	0.56	0.58	0.58	0.57	0.57	0.55	0.57	0.011	3.14	0.04	0.16
乙烷	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.49	0.52	0.014	3.14	0.06	0.23
丙烯	0.45	0.47	0.47	0.46	0.46	0.44	0.46	0.011	3.14	0.06	0.26
丙烷	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.52	0.54	0.011	3.14	0.07	0.27
异丁烷	0.61	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59	0.61	0.009	3.14	0.07	0.29
1-丁烯	0.36	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.37	0.012	3.14	0.10	0.39
正丁烷	0.42	0.39	0.40	0.44	0.41	0.43	0.41	0.019	3.14	0.15	0.61
反-2-丁烯	0.53	0.50	0.50	0.50	0.46	0.48	0.49	0.022	3.14	0.16	0.65
顺-2-丁烯	0.50	0.49	0.50	0.51	0.51	0.47	0.50	0.014	3.14	0.11	0.43
2-甲基丁烷	0.56	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.56	0.006	3.14	0.06	0.23
1-戊烯	0.80	0.81	0.80	0.80	0.80	0.79	0.80	0.004	3.14	0.04	0.16
正戊烷	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	0.003	3.14	0.03	0.13
异戊二烯	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.76	0.005	3.14	0.04	0.14
反-2-戊烯	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.005	3.14	0.04	0.18
顺-2-戊烯	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.78	0.004	3.14	0.04	0.14
2,2-二甲基丁烷	0.88	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86	0.87	0.011	3.14	0.13	0.53
环戊烷	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	0.003	3.14	0.03	0.11
2,3-二甲基丁烷	0.46	0.47	0.47	0.46	0.46	0.44	0.46	0.010	3.14	0.12	0.50
2-甲基戊烷	0.36	0.34	0.35	0.37	0.34	0.38	0.35	0.015	3.14	0.19	0.74
3-甲基戊烷	0.56	0.57	0.56	0.56	0.56	0.54	0.56	0.010	3.14	0.12	0.50
1-己烯	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.52	0.54	0.011	3.14	0.13	0.52
正己烷	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59	0.57	0.59	0.011	3.14	0.14	0.54
甲基环戊烷	0.46	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.46	0.010	3.14	0.12	0.49
2,4-二甲基戊烷	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.50	0.008	3.14	0.11	0.46
苯	0.42	0.39	0.40	0.44	0.41	0.43	0.41	0.019	3.14	0.21	0.82
环己烷	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.46	0.48	0.011	3.14	0.13	0.50
2-甲基己烷	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.55	0.57	0.010	3.14	0.14	0.56
2,3-二甲基戊烷	0.52	0.50	0.50	0.50	0.46	0.48	0.49	0.020	3.14	0.28	1.12
3-甲基己烷	0.59	0.60	0.59	0.59	0.59	0.58	0.59	0.008	3.14	0.11	0.45
2,2,4-三甲基戊烷	0.65	0.65	0.65	0.64	0.64	0.63	0.64	0.006	3.14	0.10	0.41
庚烷	0.51	0.49	0.50	0.51	0.51	0.47	0.50	0.015	3.14	0.21	0.84
甲基环己烷	0.72	0.73	0.73	0.72	0.72	0.71	0.72	0.007	3.14	0.09	0.37

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 μg/m ³	测定下限 μg/m ³
2,3,4-三甲 基戊烷	0.75	0.76	0.75	0.75	0.75	0.74	0.75	0.006	3.14	0.09	0.36
甲苯	0.57	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.56	0.008	3.14	0.10	0.41
2-甲基庚烷	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.63	0.005	3.14	0.08	0.32
3-甲基庚烷	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.68	0.005	3.14	0.08	0.32
辛烷	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80	0.79	0.80	0.006	3.14	0.10	0.40
乙苯	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.005	3.14	0.07	0.29
间/对二甲 苯	0.83	0.81	0.80	0.80	0.78	0.83	0.81	0.021	3.14	0.31	1.24
苯乙烯	1.09	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	0.006	3.14	0.08	0.33
邻二甲苯	0.72	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.004	3.14	0.05	0.21
壬烷	0.70	0.70	0.70	0.69	0.69	0.69	0.70	0.004	3.14	0.07	0.27
异丙苯	0.75	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75	0.76	0.005	3.14	0.09	0.35
丙基苯	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.77	0.004	3.14	0.07	0.27
间乙基甲苯	0.66	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.005	3.14	0.09	0.34
对乙基甲苯	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.005	3.14	0.08	0.31
均三甲苯	0.67	0.67	0.67	0.66	0.66	0.66	0.67	0.004	3.14	0.06	0.25
邻乙基甲苯	0.72	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.004	3.14	0.06	0.25
1,2,4-三甲 苯	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.78	0.004	3.14	0.06	0.24
癸烷	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.005	3.14	0.11	0.42
1,2,3-三甲 苯	0.83	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.82	0.006	3.14	0.10	0.41
间二乙苯	0.87	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86	0.87	0.010	3.14	0.18	0.72
对二乙苯	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.003	3.14	0.06	0.24
十一烷	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.005	3.14	0.12	0.46
十二烷	1.18	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	0.009	3.14	0.21	0.83

附表1-3 方法检出限及测定下限结果表（实验室3）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检 出 限 μg/m ³	测定 下限 μg/m ³
乙烯	0.46	0.44	0.43	0.42	0.44	0.40	0.43	0.019	3.14	0.08	0.31
乙炔	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.56	0.60	0.025	3.14	0.09	0.36
乙烷	0.59	0.57	0.56	0.55	0.54	0.51	0.55	0.029	3.14	0.12	0.49
丙烯	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.45	0.49	0.026	3.14	0.15	0.60
丙烷	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.54	0.57	0.024	3.14	0.15	0.59
异丁烷	0.67	0.65	0.64	0.63	0.62	0.60	0.64	0.022	3.14	0.18	0.71
1-丁烯	0.45	0.44	0.42	0.41	0.40	0.38	0.42	0.025	3.14	0.20	0.80
正丁烷	0.43	0.45	0.45	0.42	0.46	0.44	0.44	0.014	3.14	0.11	0.45

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检 出 限 μg/m ³	测定 下限 μg/m ³
反-2-丁烯	0.53	0.50	0.50	0.51	0.49	0.51	0.51	0.014	3.14	0.11	0.43
顺-2-丁烯	0.52	0.51	0.52	0.52	0.52	0.41	0.50	0.045	3.14	0.34	1.36
2-甲基丁烷	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.58	0.014	3.14	0.14	0.56
1-戊烯	0.83	0.83	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.010	3.14	0.10	0.40
正戊烷	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.08	1.09	0.007	3.14	0.07	0.27
异戊二烯	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.78	0.010	3.14	0.07	0.29
反-2-戊烯	0.69	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.68	0.008	3.14	0.08	0.31
顺-2-戊烯	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.80	0.008	3.14	0.08	0.30
2,2-二甲基丁烷	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.86	0.88	0.010	3.14	0.13	0.50
环戊烷	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	0.006	3.14	0.06	0.23
2,3-二甲基丁烷	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.45	0.49	0.026	3.14	0.31	1.24
2-甲基戊烷	0.35	0.32	0.30	0.33	0.37	0.28	0.32	0.032	3.14	0.38	1.53
3-甲基戊烷	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	0.55	0.58	0.026	3.14	0.31	1.24
1-己烯	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.54	0.57	0.024	3.14	0.28	1.12
正己烷	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.59	0.62	0.024	3.14	0.29	1.17
甲基环戊烷	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.49	0.021	3.14	0.25	1.00
2,4-二甲基戊烷	0.55	0.54	0.54	0.52	0.52	0.50	0.53	0.019	3.14	0.27	1.07
苯	0.43	0.45	0.45	0.42	0.46	0.44	0.44	0.014	3.14	0.15	0.61
环己烷	0.54	0.52	0.51	0.51	0.50	0.48	0.51	0.019	3.14	0.22	0.90
2-甲基己烷	0.62	0.61	0.60	0.59	0.59	0.57	0.60	0.018	3.14	0.25	1.00
2,3-二甲基戊烷	0.53	0.50	0.50	0.51	0.49	0.51	0.51	0.014	3.14	0.20	0.79
3-甲基己烷	0.65	0.64	0.62	0.61	0.61	0.60	0.62	0.018	3.14	0.26	1.03
2,2,4-三甲基戊烷	0.69	0.68	0.67	0.67	0.66	0.65	0.67	0.015	3.14	0.24	0.98
庚烷	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.41	0.50	0.044	3.14	0.62	2.47
甲基环己烷	0.78	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.75	0.015	3.14	0.21	0.83
2,3,4-三甲基戊烷	0.80	0.79	0.78	0.77	0.77	0.76	0.78	0.014	3.14	0.23	0.90
甲苯	0.60	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.58	0.014	3.14	0.18	0.71
2-甲基庚烷	0.67	0.66	0.65	0.64	0.64	0.64	0.65	0.012	3.14	0.19	0.77
3-甲基庚烷	0.72	0.71	0.70	0.70	0.69	0.69	0.70	0.012	3.14	0.20	0.78
辛烷	0.83	0.83	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.010	3.14	0.16	0.65
乙苯	0.91	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.89	0.010	3.14	0.15	0.60
间/对二甲苯	0.86	0.85	0.79	0.84	0.78	0.84	0.83	0.033	3.14	0.50	1.99
苯乙烯	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.08	1.09	0.007	3.14	0.10	0.39
邻二甲苯	0.75	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73	0.74	0.009	3.14	0.13	0.52
壬烷	0.72	0.72	0.71	0.71	0.70	0.70	0.71	0.007	3.14	0.13	0.54
异丙苯	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.78	0.010	3.14	0.16	0.65
丙基苯	0.80	0.79	0.78	0.78	0.78	0.77	0.78	0.009	3.14	0.16	0.62
间乙基甲苯	0.69	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.68	0.008	3.14	0.13	0.53

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检 出 限 μg/m ³	测定 下限 μg/m ³
对乙基甲苯	0.69	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.68	0.008	3.14	0.13	0.53
均三甲苯	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.67	0.68	0.008	3.14	0.14	0.54
邻乙基甲苯	0.75	0.75	0.74	0.74	0.73	0.73	0.74	0.009	3.14	0.15	0.59
1,2,4-三甲苯	0.81	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.80	0.008	3.14	0.13	0.52
癸烷	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.007	3.14	0.15	0.59
1,2,3-三甲苯	0.85	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.009	3.14	0.15	0.59
间二乙苯	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.86	0.88	0.010	3.14	0.20	0.78
对二乙苯	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.85	0.86	0.007	3.14	0.14	0.54
十一烷	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	0.006	3.14	0.14	0.55
十二烷	1.18	1.18	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	0.006	3.14	0.14	0.56

附表 1-3 方法检出限及测定下限结果表（实验室 4）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出 限 μg/m ³	测定 下限 μg/m ³
乙烯	0.50	0.52	0.50	0.52	0.52	0.50	0.51	0.011	3.14	0.04	0.17
乙炔	0.57	0.58	0.58	0.59	0.60	0.58	0.58	0.010	3.14	0.04	0.15
乙烷	0.55	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.55	0.008	3.14	0.03	0.13
丙烯	0.52	0.52	0.51	0.53	0.52	0.52	0.52	0.006	3.14	0.04	0.15
丙烷	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.002	3.14	0.01	0.04
异丁烷	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.004	3.14	0.03	0.12
1-丁烯	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.001	3.14	0.01	0.03
正丁烷	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.001	3.14	0.01	0.04
反-2-丁烯	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.51	0.52	0.002	3.14	0.01	0.05
顺-2-丁烯	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.001	3.14	0.01	0.04
2-甲基丁烷	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54	0.54	0.55	0.002	3.14	0.02	0.09
1-戊烯	0.34	0.31	0.34	0.33	0.32	0.36	0.33	0.017	3.14	0.16	0.65
正戊烷	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.51	0.50	0.002	3.14	0.02	0.09
异戊二烯	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.49	0.002	3.14	0.02	0.07
反-2-戊烯	0.35	0.20	0.35	0.35	0.33	0.33	0.32	0.060	3.14	0.59	2.34
顺-2-戊烯	0.60	0.61	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.002	3.14	0.01	0.06
2,2-二甲基丁烷	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.002	3.14	0.02	0.08
环戊烷	0.62	0.62	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.001	3.14	0.01	0.05
2,3-二甲基丁烷	0.35	0.33	0.35	0.38	0.36	0.36	0.36	0.015	3.14	0.18	0.73
2-甲基戊烷	0.62	0.63	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.002	3.14	0.02	0.07
3-甲基戊烷	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.001	3.14	0.01	0.03
1-己烯	0.64	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.002	3.14	0.02	0.08
正己烷	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.002	3.14	0.02	0.09
甲基环戊烷	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.002	3.14	0.03	0.11
2,4-二甲基戊烷	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.002	3.14	0.03	0.14

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 μg/m ³	测定下限 μg/m ³
苯	0.39	0.40	0.43	0.39	0.42	0.37	0.40	0.021	3.14	0.23	0.94
环己烷	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.002	3.14	0.03	0.10
2-甲基己烷	0.59	0.59	0.58	0.59	0.58	0.58	0.58	0.002	3.14	0.03	0.13
2,3-二甲基戊烷	0.47	0.45	0.47	0.50	0.48	0.49	0.48	0.016	3.14	0.23	0.91
3-甲基己烷	0.61	0.61	0.60	0.61	0.60	0.60	0.60	0.002	3.14	0.02	0.09
2,2,4-三甲基戊烷	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.66	0.002	3.14	0.03	0.12
庚烷	0.50	0.51	0.50	0.52	0.47	0.46	0.49	0.023	3.14	0.32	1.28
甲基环己烷	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.74	0.001	3.14	0.02	0.08
2,3,4-三甲基戊烷	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.77	0.001	3.14	0.02	0.06
甲苯	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.002	3.14	0.02	0.10
2-甲基庚烷	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.002	3.14	0.03	0.11
3-甲基庚烷	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	0.69	0.001	3.14	0.02	0.09
辛烷	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.002	3.14	0.03	0.10
乙苯	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.001	3.14	0.02	0.08
间/对二甲苯	0.84	0.84	0.84	0.78	0.84	0.78	0.82	0.030	3.14	0.44	1.76
苯乙烯	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08	1.09	0.001	3.14	0.02	0.07
邻二甲苯	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.001	3.14	0.02	0.08
壬烷	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.001	3.14	0.02	0.07
异丙苯	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76	0.77	0.002	3.14	0.03	0.13
丙基苯	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.003	3.14	0.04	0.17
间乙基甲苯	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.68	0.003	3.14	0.05	0.20
对乙基甲苯	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.68	0.004	3.14	0.07	0.26
均三甲苯	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.68	0.004	3.14	0.06	0.25
邻乙基甲苯	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.74	0.003	3.14	0.05	0.20
1,2,4-三甲苯	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.002	3.14	0.04	0.16
癸烷	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.64	0.002	3.14	0.04	0.17
1,2,3-三甲苯	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.002	3.14	0.03	0.13
间二乙苯	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.002	3.14	0.04	0.14
对二乙苯	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.002	3.14	0.04	0.18
十一烷	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.001	3.14	0.03	0.10
十二烷	1.17	1.17	1.17	1.17	1.16	1.17	1.17	0.002	3.14	0.06	0.22

附表 1-3 方法检出限及测定下限结果表（实验室 5）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 μg/m ³	测定下限 μg/m ³
乙烯	0.52	0.52	0.53	0.50	0.52	0.53	0.52	0.011	3.14	0.04	0.17
乙炔	0.49	0.49	0.49	0.51	0.50	0.48	0.49	0.010	3.14	0.04	0.15

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 μg/m ³	测定下限 μg/m ³
乙烷	0.53	0.53	0.52	0.53	0.54	0.52	0.53	0.008	3.14	0.03	0.13
丙烯	0.45	0.44	0.45	0.45	0.46	0.42	0.45	0.014	3.14	0.08	0.32
丙烷	0.45	0.45	0.49	0.51	0.45	0.44	0.47	0.027	3.14	0.16	0.66
异丁烷	0.52	0.55	0.51	0.52	0.49	0.48	0.51	0.026	3.14	0.21	0.85
1-丁烯	0.53	0.55	0.56	0.58	0.56	0.55	0.56	0.015	3.14	0.12	0.49
正丁烷	0.58	0.61	0.61	0.62	0.61	0.60	0.61	0.015	3.14	0.12	0.49
反-2-丁烯	0.50	0.57	0.53	0.54	0.52	0.52	0.53	0.025	3.14	0.19	0.75
顺-2-丁烯	0.44	0.52	0.48	0.48	0.47	0.46	0.47	0.025	3.14	0.19	0.76
2-甲基丁烷	0.52	0.60	0.55	0.57	0.56	0.55	0.56	0.026	3.14	0.26	1.03
1-戊烯	0.32	0.33	0.32	0.33	0.34	0.34	0.33	0.008	3.14	0.08	0.31
正戊烷	0.50	0.52	0.51	0.52	0.52	0.51	0.51	0.008	3.14	0.09	0.34
异戊二烯	0.47	0.51	0.49	0.51	0.50	0.50	0.50	0.017	3.14	0.13	0.50
反-2-戊烯	0.34	0.39	0.33	0.36	0.31	0.34	0.35	0.029	3.14	0.28	1.14
顺-2-戊烯	0.58	0.66	0.59	0.62	0.61	0.60	0.61	0.029	3.14	0.28	1.13
2,2-二甲基丁烷	0.57	0.64	0.58	0.61	0.60	0.59	0.60	0.027	3.14	0.32	1.28
环戊烷	0.60	0.67	0.61	0.63	0.62	0.62	0.62	0.025	3.14	0.24	0.96
2,3-二甲基丁烷	0.32	0.37	0.33	0.35	0.37	0.37	0.35	0.021	3.14	0.25	1.01
2-甲基戊烷	0.61	0.64	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63	0.011	3.14	0.13	0.54
3-甲基戊烷	0.43	0.49	0.45	0.47	0.46	0.45	0.46	0.020	3.14	0.24	0.96
1-己烯	0.63	0.68	0.64	0.66	0.65	0.65	0.65	0.016	3.14	0.19	0.75
正己烷	0.39	0.48	0.42	0.43	0.43	0.41	0.43	0.029	3.14	0.36	1.42
甲基环戊烷	0.47	0.52	0.48	0.50	0.50	0.49	0.49	0.020	3.14	0.24	0.94
2,4-二甲基戊烷	0.50	0.57	0.52	0.53	0.53	0.52	0.53	0.022	3.14	0.31	1.26
苯	0.38	0.44	0.42	0.42	0.38	0.39	0.40	0.025	3.14	0.27	1.09
环己烷	0.50	0.55	0.50	0.52	0.52	0.51	0.52	0.017	3.14	0.20	0.82
2-甲基己烷	0.57	0.62	0.58	0.59	0.59	0.58	0.59	0.017	3.14	0.24	0.95
2,3-二甲基戊烷	0.49	0.48	0.46	0.50	0.50	0.50	0.49	0.016	3.14	0.22	0.88
3-甲基己烷	0.60	0.64	0.60	0.62	0.61	0.61	0.61	0.014	3.14	0.19	0.77
2,2,4-三甲基戊烷	0.65	0.71	0.66	0.67	0.66	0.66	0.67	0.020	3.14	0.32	1.30
庚烷	0.46	0.44	0.43	0.49	0.49	0.47	0.46	0.025	3.14	0.36	1.43
甲基环己烷	0.73	0.76	0.73	0.75	0.74	0.74	0.74	0.011	3.14	0.16	0.63
2,3,4-三甲基戊烷	0.76	0.79	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.009	3.14	0.15	0.59
甲苯	0.56	0.62	0.58	0.58	0.58	0.57	0.58	0.019	3.14	0.24	0.97
2-甲基庚烷	0.63	0.66	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.008	3.14	0.13	0.53
3-甲基庚烷	0.68	0.71	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.008	3.14	0.13	0.53
辛烷	0.81	0.84	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.013	3.14	0.20	0.82
乙苯	0.88	0.90	0.89	0.89	0.89	0.88	0.89	0.008	3.14	0.11	0.46
间/对二甲苯	0.84	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.80	0.020	3.14	0.30	1.20

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	测定下限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
苯乙烯	1.08	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	0.007	3.14	0.10	0.42
邻二甲苯	0.73	0.75	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.007	3.14	0.11	0.43
壬烷	0.70	0.73	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.008	3.14	0.15	0.60
异丙苯	0.76	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77	0.007	3.14	0.11	0.46
丙基苯	0.77	0.80	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.010	3.14	0.16	0.66
间乙基甲苯	0.67	0.70	0.68	0.69	0.69	0.68	0.68	0.009	3.14	0.16	0.64
对乙基甲苯	0.67	0.70	0.68	0.69	0.69	0.68	0.68	0.009	3.14	0.15	0.58
均三甲苯	0.67	0.70	0.69	0.68	0.69	0.68	0.68	0.009	3.14	0.16	0.62
邻乙基甲苯	0.73	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74	0.75	0.009	3.14	0.16	0.64
1,2,4-三甲苯	0.79	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80	0.011	3.14	0.19	0.76
癸烷	0.63	0.67	0.65	0.64	0.64	0.64	0.65	0.012	3.14	0.24	0.98
1,2,3-三甲苯	0.82	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83	0.84	0.011	3.14	0.18	0.73
间二乙苯	0.86	0.91	0.88	0.87	0.87	0.87	0.88	0.016	3.14	0.29	1.18
对二乙苯	0.85	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86	0.87	0.011	3.14	0.20	0.81
十一烷	0.93	0.97	0.94	0.94	0.94	0.93	0.94	0.014	3.14	0.31	1.25
十二烷	1.16	1.22	1.18	1.18	1.17	1.17	1.18	0.020	3.14	0.48	1.91

附表 1-3 方法检出限及测定下限结果表（实验室 6）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	测定下限 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
乙烯	0.52	0.52	0.53	0.51	0.52	0.52	0.52	0.006	3.14	0.02	0.10
乙炔	0.55	0.54	0.54	0.55	0.54	0.54	0.54	0.006	3.14	0.02	0.08
乙烷	0.49	0.50	0.51	0.51	0.52	0.50	0.51	0.010	3.14	0.04	0.18
丙烯	0.43	0.40	0.40	0.37	0.40	0.41	0.40	0.022	3.14	0.13	0.52
丙烷	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.46	0.007	3.14	0.05	0.18
异丁烷	0.45	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.017	3.14	0.14	0.55
1-丁烯	0.52	0.51	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54	0.016	3.14	0.13	0.51
正丁烷	0.56	0.56	0.60	0.59	0.60	0.59	0.58	0.018	3.14	0.15	0.60
反-2-丁烯	0.47	0.48	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.018	3.14	0.13	0.54
顺-2-丁烯	0.39	0.42	0.46	0.45	0.46	0.45	0.44	0.027	3.14	0.21	0.82
2-甲基丁烷	0.55	0.51	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.014	3.14	0.14	0.57
1-戊烯	0.34	0.33	0.34	0.33	0.32	0.33	0.33	0.007	3.14	0.06	0.26
正戊烷	0.49	0.46	0.51	0.49	0.50	0.49	0.49	0.015	3.14	0.15	0.59
异戊二烯	0.48	0.45	0.49	0.48	0.49	0.48	0.48	0.013	3.14	0.10	0.39
反-2-戊烯	0.35	0.35	0.32	0.35	0.33	0.35	0.34	0.014	3.14	0.14	0.56
顺-2-戊烯	0.60	0.56	0.60	0.60	0.60	0.59	0.59	0.014	3.14	0.14	0.54
2,2-二甲基丁烷	0.56	0.55	0.58	0.58	0.58	0.58	0.57	0.012	3.14	0.15	0.60
环戊烷	0.61	0.59	0.61	0.61	0.61	0.60	0.60	0.010	3.14	0.09	0.37
2,3-二甲基丁烷	0.35	0.35	0.34	0.35	0.37	0.36	0.35	0.010	3.14	0.12	0.46

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	标准偏差	t 值	检出限 μg/m ³	测定下限 μg/m ³
2-甲基戊烷	0.61	0.60	0.62	0.62	0.62	0.61	0.61	0.007	3.14	0.08	0.33
3-甲基戊烷	0.44	0.42	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.009	3.14	0.10	0.41
1-己烯	0.64	0.62	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.007	3.14	0.08	0.33
正己烷	0.40	0.39	0.40	0.40	0.40	0.39	0.40	0.006	3.14	0.07	0.28
甲基环戊烷	0.46	0.46	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.009	3.14	0.11	0.43
2,4-二甲基戊烷	0.48	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.012	3.14	0.17	0.70
苯	0.38	0.40	0.42	0.38	0.40	0.34	0.39	0.026	3.14	0.28	1.14
环己烷	0.46	0.49	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.019	3.14	0.23	0.91
2-甲基己烷	0.55	0.57	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.012	3.14	0.17	0.66
2,3-二甲基戊烷	0.47	0.50	0.49	0.45	0.49	0.49	0.48	0.019	3.14	0.27	1.07
3-甲基己烷	0.57	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.59	0.012	3.14	0.17	0.67
2,2,4-三甲基戊烷	0.63	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.009	3.14	0.14	0.58
庚烷	0.48	0.48	0.51	0.47	0.48	0.47	0.48	0.015	3.14	0.21	0.83
甲基环己烷	0.71	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.009	3.14	0.13	0.50
2,3,4-三甲基戊烷	0.74	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.009	3.14	0.15	0.60
甲苯	0.55	0.57	0.57	0.56	0.56	0.56	0.56	0.008	3.14	0.10	0.41
2-甲基庚烷	0.62	0.63	0.64	0.63	0.64	0.63	0.63	0.008	3.14	0.13	0.51
3-甲基庚烷	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.006	3.14	0.10	0.38
辛烷	0.79	0.81	0.80	0.81	0.81	0.80	0.80	0.007	3.14	0.11	0.45
乙苯	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.006	3.14	0.08	0.34
间/对二甲苯	0.78	0.84	0.84	0.83	0.78	0.78	0.81	0.030	3.14	0.44	1.77
苯乙烯	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	0.004	3.14	0.06	0.23
邻二甲苯	0.71	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72	0.005	3.14	0.08	0.31
壬烷	0.69	0.71	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.006	3.14	0.11	0.43
异丙苯	0.75	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.006	3.14	0.10	0.39
丙基苯	0.76	0.78	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.007	3.14	0.12	0.49
间乙基甲苯	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.004	3.14	0.07	0.30
对乙基甲苯	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.004	3.14	0.07	0.30
均三甲苯	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.005	3.14	0.08	0.34
邻乙基甲苯	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.006	3.14	0.11	0.43
1,2,4-三甲苯	0.77	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.006	3.14	0.10	0.41
癸烷	0.61	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.007	3.14	0.14	0.57
1,2,3-三甲苯	0.81	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.007	3.14	0.12	0.46
间二乙苯	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.005	3.14	0.10	0.41
对二乙苯	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.005	3.14	0.09	0.34
十一烷	0.91	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.006	3.14	0.13	0.52
十二烷	1.15	1.16	1.17	1.17	1.17	1.16	1.16	0.005	3.14	0.12	0.47

1.3 目标化合物的精密度和准确度原始测试数据

6 家实验室对高纯氮气中加标量 2.00 nmol/mol、10.00 nmol/mol、18.0nmol/mol 三个不同浓度的样品在最佳实验条件下上机分析, 计算目标组分的精密度。考虑到实际样品中目标组分浓度不高, 按照空白样品加标的方式对高纯氮气中加标量 2.00 nmol/mol、10.00 nmol/mol、18.0 nmol/mol 三个不同浓度的样品计算加标回收率, 确定方法准确度。对各目标化合物的精密度、准确度原始测试数据见附表 1-4~附表 1-6。

附表 1-4 加标量为 2.00 nmol/mol 精密度、准确度测试数据表 (实验室 1)

加标量 2.00 nmol/mol	测定结果(nmol/mol)						平均 值 (nmol/ mol)	标准 偏差	相对标 准偏 差%	加标回 收率%
	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	第六 次				
乙烷	2.16	2.11	2.11	2.09	2.08	1.95	2.08	0.07	3.42	104
乙烯	2.23	2.15	2.02	2.34	2.10	1.94	2.13	0.15	6.81	106
乙炔	1.93	1.86	1.81	1.80	1.80	1.90	1.85	0.06	3.09	92.6
丙烷	2.02	1.99	1.86	2.03	1.98	2.13	2.00	0.09	4.37	100
2-甲基丁烷	2.35	2.32	2.36	2.17	2.24	2.03	2.24	0.13	5.76	112
1-戊烯	2.28	2.16	2.09	1.91	1.92	2.16	2.09	0.15	7.01	104
正戊烷	2.34	2.24	2.17	1.98	2.01	2.10	2.14	0.14	6.54	107
异戊二烯	2.34	2.24	2.17	1.99	2.01	2.11	2.14	0.14	6.32	107
反-2-戊烯	2.31	2.20	2.13	1.96	1.97	2.09	2.11	0.14	6.54	106
顺-2-戊烯	2.26	2.15	2.08	1.90	1.92	2.10	2.07	0.14	6.73	104
2,2-二甲基丁烷	2.27	2.19	2.12	1.92	1.95	2.18	2.11	0.14	6.70	105
丙烯	2.02	1.88	1.94	1.85	1.87	2.24	1.97	0.15	7.50	98.4
环戊烷	2.36	2.22	2.17	1.98	2.03	2.24	2.17	0.14	6.42	108
2,3-二甲基丁烷	2.31	2.24	2.18	1.98	2.02	2.35	2.18	0.15	6.94	109
异丁烷	1.93	1.93	1.84	1.88	1.86	2.27	1.95	0.16	8.31	97.6
2-甲基戊烷	2.29	2.20	2.13	1.93	1.98	2.28	2.13	0.16	7.27	107
1-己烯	2.30	2.21	2.15	1.96	2.00	2.28	2.15	0.14	6.71	107
3-甲基戊烷	2.21	2.12	2.05	1.86	1.89	2.21	2.06	0.15	7.45	103
正丁烷	2.00	1.85	1.85	1.74	1.87	2.16	1.91	0.15	7.72	95.5
正己烷	2.17	2.07	2.01	1.85	1.85	2.15	2.02	0.14	6.93	101
甲基环戊烷	2.25	2.15	2.09	1.91	1.94	2.24	2.10	0.15	7.02	105
2,4-二甲基戊烷	2.09	2.00	1.95	1.80	1.80	2.22	1.98	0.16	8.34	98.9
苯	2.39	2.27	2.20	2.06	2.05	2.24	2.20	0.13	5.93	110
环己烷	2.24	2.14	2.08	1.91	1.94	2.25	2.09	0.15	6.96	105
2-甲基己烷	2.11	2.01	1.94	1.79	1.80	2.24	1.98	0.17	8.79	99.1
1-丁烯	1.95	1.85	1.86	1.76	1.80	2.36	1.93	0.22	11.4	96.5

2,3-二甲基戊烷	2.25	2.15	2.12	1.95	2.00	2.36	2.14	0.15	7.07	107
3-甲基己烷	2.15	2.05	1.99	1.86	1.86	2.20	2.02	0.14	7.05	101
反-2-丁烯	2.07	1.98	1.91	1.84	1.83	2.21	1.97	0.15	7.49	98.6
2,2,4-三甲基戊烷	2.11	2.02	1.96	1.84	1.82	2.21	1.99	0.15	7.59	99.6
庚烷	2.08	1.98	1.92	1.79	1.79	2.25	1.97	0.18	9.00	98.4
顺-2-丁烯	2.03	1.87	1.88	1.67	1.86	2.19	1.92	0.18	9.25	95.9
甲基环己烷	2.03	1.93	1.87	1.75	1.74	2.37	1.95	0.23	12.0	97.4
2,3,4-三甲基戊烷	2.02	1.94	1.88	1.78	1.75	2.35	1.95	0.22	11.2	97.7
甲苯	2.14	2.01	1.95	1.86	1.82	2.39	2.03	0.21	10.4	101
2-甲基庚烷	1.99	1.89	1.85	1.74	1.71	2.27	1.91	0.20	10.7	95.5
3-甲基庚烷	1.98	1.89	1.84	1.75	1.73	2.27	1.91	0.20	10.4	95.4
辛烷	1.97	1.88	1.82	1.75	1.72	2.21	1.89	0.18	9.50	94.6
乙苯	2.09	2.02	1.94	1.88	1.83	2.40	2.03	0.21	10.2	101
间/对二甲苯	2.02	1.95	1.87	1.80	1.77	2.47	1.98	0.26	13.0	98.9
苯乙烯	2.16	2.06	1.99	1.95	1.91	2.28	2.06	0.14	6.94	103
邻二甲苯	2.01	1.94	1.85	1.79	1.74	2.44	1.96	0.25	12.9	98.2
壬烷	2.00	1.93	1.84	1.77	1.72	2.14	1.90	0.16	8.19	94.9
异丙苯	2.18	2.12	2.05	1.98	1.92	2.35	2.10	0.16	7.42	105
丙基苯	2.43	2.30	2.22	2.15	2.10	2.35	2.26	0.12	5.47	113
间乙基甲苯	2.15	2.14	2.10	2.03	1.97	2.39	2.13	0.15	6.83	107
对乙基甲苯	2.29	2.14	2.10	2.03	1.97	2.32	2.14	0.14	6.53	107
均三甲苯	2.25	2.16	2.09	2.05	2.00	2.36	2.15	0.13	6.18	108
邻乙基甲苯	2.35	2.22	2.17	2.11	2.05	2.30	2.20	0.11	5.03	110
1,2,4-三甲苯	2.32	2.21	2.15	2.07	2.03	2.30	2.18	0.12	5.59	109
癸烷	2.33	2.18	2.12	2.07	2.00	2.17	2.15	0.11	5.14	107
1,2,3-三甲苯	2.42	2.29	2.23	2.17	2.11	2.31	2.25	0.11	4.88	113
间二乙苯	2.75	2.27	2.16	2.11	2.05	2.27	2.27	0.25	11.1	113
对二乙苯	2.36	2.19	2.13	2.09	2.02	2.26	2.17	0.12	5.56	109
十一烷	2.44	2.25	2.19	2.13	2.07	2.15	2.20	0.13	5.96	110
十二烷	2.65	2.45	2.39	2.32	2.27	1.98	2.34	0.22	9.48	117

附表 1-4 加标量为 2.00 nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 2）

加标量 2.00 nmol/mol	测定结果(nmol/mol)						平均值 (nmol/mol)	标准偏差	相对标准偏差 /%	加标回收率/%
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次				
乙烷	2.12	2.11	2.17	2.19	2.12	2.19	2.11	0.04	1.79	106
乙烯	1.86	1.92	2.01	2.20	1.98	1.89	2.01	0.12	6.11	101
乙炔	1.76	1.75	1.79	1.73	1.78	1.75	1.72	0.03	1.47	85.8
丙烷	2.03	3.37	1.70	1.77	1.90	1.88	1.86	0.63	19.80	93.0
2-甲基丁烷	2.15	2.13	2.18	1.97	2.09	2.01	1.96	0.08	4.25	98.2

1-戊烯	1.86	1.82	1.85	1.65	1.75	1.69	1.63	0.09	5.21	81.6
正戊烷	1.95	1.90	1.94	1.73	1.84	1.78	1.71	0.09	5.12	85.7
异戊二烯	1.96	1.91	1.94	1.74	1.85	1.78	1.71	0.09	5.18	85.3
反-2-戊烯	1.92	1.86	1.89	1.69	1.79	1.72	1.66	0.09	5.63	83.1
顺-2-戊烯	1.87	1.81	1.84	1.64	1.74	1.67	1.61	0.09	5.77	80.5
2,2-二甲基丁烷	1.90	1.85	1.88	1.65	1.78	1.72	1.64	0.10	5.99	82.1
丙烯	1.89	1.89	1.87	1.89	1.93	1.87	1.87	0.02	1.22	93.4
环戊烷	2.01	1.97	1.98	1.76	1.89	1.84	1.76	0.10	5.51	88.2
2,3-二甲基丁烷	1.98	1.91	1.98	1.72	1.88	1.82	1.75	0.10	5.76	87.4
异丁烷	1.79	1.92	1.88	1.79	1.83	1.80	1.82	0.05	2.98	90.9
2-甲基戊烷	1.93	1.90	1.93	1.73	1.87	1.80	1.75	0.08	4.56	87.3
1-己烯	1.95	1.90	1.93	1.71	1.85	1.79	1.73	0.09	5.19	86.3
3-甲基戊烷	1.84	1.79	1.81	1.61	1.72	1.67	1.60	0.09	5.58	80.0
正丁烷	1.81	1.87	1.88	1.76	1.84	1.78	1.81	0.05	2.63	90.7
正己烷	1.81	1.77	1.77	1.58	1.69	1.64	1.57	0.09	5.54	78.7
甲基环戊烷	1.89	1.85	1.86	1.63	1.78	1.72	1.64	0.10	5.97	82.1
2,4-二甲基戊烷	1.75	1.71	1.71	1.54	1.64	1.58	1.52	0.08	5.36	76.2
苯	2.00	1.94	1.94	1.77	1.84	1.79	1.72	0.09	5.48	86.2
环己烷	1.90	1.87	1.87	1.66	1.79	1.74	1.68	0.09	5.57	83.8
2-甲基己烷	1.75	1.73	1.73	1.54	1.65	1.59	1.53	0.09	5.58	76.7
1-丁烯	1.85	1.86	1.86	1.78	1.80	1.72	1.82	0.05	11.4	91.0
2,3-二甲基戊烷	1.96	1.90	1.90	1.72	1.83	1.82	1.73	0.09	4.96	86.3
3-甲基己烷	1.82	1.78	1.78	1.63	1.72	1.67	1.62	0.07	4.60	80.9
反-2-丁烯	1.91	1.87	1.92	1.74	1.88	1.86	1.87	0.06	3.46	93.4
2,2,4-三甲基戊烷	1.79	1.75	1.73	1.60	1.66	1.62	1.57	0.08	4.80	78.6
庚烷	1.76	1.72	1.72	1.59	1.65	1.61	1.57	0.07	4.36	78.5
顺-2-丁烯	1.86	1.87	1.93	1.75	1.86	1.81	1.76	0.06	3.36	87.9
甲基环己烷	1.70	1.66	1.65	1.53	1.59	1.55	1.50	0.07	12.0	75.1
2,3,4-三甲基戊烷	1.72	1.69	1.67	1.58	1.61	1.57	1.54	0.06	11.2	76.9
甲苯	1.79	1.75	1.71	1.63	1.65	1.61	1.58	0.07	10.4	78.9
2-甲基庚烷	1.69	1.65	1.63	1.53	1.57	1.53	1.50	0.07	10.7	74.9
3-甲基庚烷	1.69	1.66	1.64	1.55	1.58	1.54	1.51	0.06	4.0	75.6
辛烷	1.70	1.67	1.65	1.57	1.60	1.58	1.55	0.05	3.36	77.4
乙苯	1.81	1.77	1.74	1.68	1.68	1.65	1.63	0.06	3.7	81.4
间/对二甲苯	1.30	1.70	1.66	1.21	1.61	1.19	1.18	0.24	20.0	59.1
苯乙烯	1.89	1.85	1.82	1.77	1.77	1.75	1.73	0.05	3.11	86.4
邻二甲苯	1.71	1.67	1.62	1.56	1.56	1.53	1.50	0.07	4.8	75.1
壬烷	1.69	1.66	1.61	1.55	1.55	1.52	1.49	0.07	4.47	74.3
异丙苯	1.87	1.83	1.79	1.73	1.73	1.68	1.65	0.07	4.36	82.6
丙基苯	2.05	2.00	1.92	1.87	1.85	1.79	1.75	0.10	5.58	87.6
间乙基甲苯	1.94	1.89	1.84	1.76	1.76	1.72	1.67	0.09	5.21	83.5

对乙基甲苯	1.94	1.89	1.84	1.76	1.76	1.72	1.67	0.09	5.21	83.5
均三甲苯	1.93	1.89	1.84	1.73	1.77	1.73	1.68	0.08	4.99	84.2
邻乙基甲苯	2.00	1.96	1.89	1.84	1.82	1.78	1.73	0.08	4.81	86.7
1,2,4-三甲苯	2.00	1.95	1.90	1.84	1.83	1.79	1.74	0.08	4.56	87.2
癸烷	1.96	1.94	1.87	1.82	1.81	1.76	1.73	0.08	4.53	86.3
1,2,3-三甲苯	2.06	2.01	1.95	1.89	1.87	1.83	1.79	0.09	4.95	89.4
间二乙苯	2.01	1.98	1.93	1.87	1.86	1.82	1.78	0.07	4.2	89.1
对二乙苯	1.99	1.95	1.90	1.85	1.83	1.79	1.76	0.08	4.28	87.8
十一烷	2.02	2.00	1.94	1.90	1.88	1.85	1.81	0.07	3.81	90.5
十二烷	2.24	2.23	2.18	2.13	2.12	2.09	2.06	0.06	3.07	103

附表 1-4 加标量为 2.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 3）

加标量 2.00 nmol/mol	测定结果(nmol/mol)						平均值 (nmol/mol)	标准 偏差	相对标 准偏差 /%	加标 回收 率/%
	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	第六 次				
乙烷	2.17	2.26	2.23	2.13	2.05	2.17	2.17	0.07	3.43	108
乙烯	2.01	1.98	2.22	2.14	1.98	2.21	2.09	0.11	5.43	105
乙炔	1.74	1.78	1.65	1.71	1.72	1.79	1.73	0.05	2.92	86.6
丙烷	1.91	1.90	1.91	1.89	1.92	1.70	1.87	0.08	4.41	93.5
2-甲基丁烷	2.02	2.01	1.95	1.97	1.98	2.18	2.02	0.08	4.10	100.9
1-戊烯	1.59	1.65	1.62	1.62	1.65	1.85	1.66	0.09	5.48	83.2
正戊烷	1.70	1.75	1.72	1.71	1.73	1.94	1.76	0.09	5.02	87.9
异戊二烯	1.71	1.74	1.72	1.72	1.71	1.94	1.76	0.09	5.13	87.8
反-2-戊烯	1.66	1.69	1.67	1.66	1.65	1.89	1.70	0.09	5.35	85.1
顺-2-戊烯	1.61	1.64	1.62	1.61	1.60	1.84	1.65	0.09	5.53	82.5
2,2-二甲基丁烷	1.64	1.68	1.65	1.65	1.65	1.88	1.69	0.09	5.44	84.6
丙烯	1.89	1.89	1.85	1.90	1.87	1.87	1.88	0.02	0.87	94.0
环戊烷	1.78	1.83	1.81	1.77	1.80	1.98	1.83	0.08	4.35	91.5
2,3-二甲基丁烷	1.77	1.82	1.80	1.79	1.80	1.98	1.83	0.07	4.06	91.4
异丁烷	1.82	1.90	1.85	1.83	1.84	1.88	1.85	0.03	1.66	92.6
2-甲基戊烷	1.76	1.79	1.78	1.78	1.77	1.93	1.80	0.06	3.36	90.2
1-己烯	1.74	1.77	1.75	1.75	1.75	1.93	1.78	0.07	4.04	89.0
3-甲基戊烷	1.61	1.63	1.61	1.61	1.61	1.81	1.65	0.08	4.83	82.3
正丁烷	1.84	1.88	1.77	1.83	1.84	1.88	1.84	0.04	2.27	92.1
正己烷	1.59	1.61	1.59	1.58	1.58	1.77	1.62	0.07	4.49	81.0
甲基环戊烷	1.67	1.70	1.68	1.67	1.67	1.86	1.71	0.08	4.46	85.4
2,4-二甲基戊烷	1.54	1.55	1.53	1.52	1.52	1.71	1.56	0.07	4.72	78.1
苯	1.73	1.74	1.71	1.70	1.70	1.94	1.75	0.09	5.15	87.7
环己烷	1.70	1.72	1.71	1.70	1.69	1.87	1.73	0.07	4.05	86.6
2-甲基己烷	1.56	1.57	1.56	1.55	1.57	1.73	1.59	0.07	4.39	79.4
1-丁烯	1.79	1.78	1.82	1.81	1.80	1.86	1.81	0.03	1.47	90.5
2,3-二甲基戊烷	2.10	1.78	1.76	1.76	1.76	1.90	1.84	0.14	7.40	92.1
3-甲基己烷	1.64	1.65	1.63	1.63	1.64	1.78	1.66	0.06	3.57	83.1

反-2-丁烯	1.83	1.91	1.91	1.89	1.88	1.92	1.89	0.03	1.73	94.5
2,2,4-三甲基戊烷	1.59	1.59	1.57	1.56	1.56	1.73	1.60	0.07	4.18	80.0
庚烷	1.58	1.58	1.56	1.56	1.56	1.72	1.59	0.06	3.78	79.7
顺-2-丁烯	1.78	1.88	1.75	1.88	1.85	1.93	1.84	0.07	3.67	92.2
甲基环己烷	1.51	1.51	1.49	1.48	1.49	1.65	1.52	0.06	4.26	76.2
2,3,4-三甲基戊烷	1.54	1.53	1.52	1.52	1.51	1.67	1.55	0.06	3.89	77.5
甲苯	1.58	1.56	1.54	1.54	1.53	1.71	1.58	0.07	4.33	78.9
2-甲基庚烷	1.50	1.49	1.48	1.48	1.47	1.63	1.51	0.06	4.14	75.3
3-甲基庚烷	1.51	1.50	1.49	1.48	1.48	1.64	1.52	0.06	3.91	75.8
辛烷	1.55	1.53	1.53	1.53	1.52	1.65	1.55	0.05	3.12	77.6
乙苯	1.61	1.60	1.58	1.58	1.57	1.74	1.61	0.06	3.86	80.7
间/对二甲苯	1.55	1.16	1.51	1.51	1.50	1.66	1.48	0.17	11.40	74.0
苯乙烯	1.72	1.70	1.68	1.68	1.66	1.82	1.71	0.06	3.29	85.5
邻二甲苯	1.48	1.47	1.44	1.44	1.43	1.62	1.48	0.07	4.80	74.1
壬烷	1.48	1.46	1.44	1.44	1.43	1.61	1.48	0.07	4.59	73.8
异丙苯	1.64	1.61	1.59	1.58	1.56	1.79	1.63	0.08	5.10	81.4
丙基苯	1.72	1.69	1.66	1.65	1.63	1.92	1.71	0.11	6.39	85.6
间乙基甲苯	1.65	1.62	1.60	1.59	1.56	1.84	1.64	0.10	6.00	82.2
对乙基甲苯	1.65	1.62	1.60	1.59	1.56	1.84	1.65	0.10	6.00	82.3
均三甲苯	1.68	1.65	1.62	1.60	1.59	1.84	1.66	0.09	5.61	83.2
邻乙基甲苯	1.72	1.69	1.66	1.65	1.63	1.89	1.71	0.10	5.74	85.4
1,2,4-三甲苯	1.73	1.70	1.67	1.66	1.64	1.90	1.71	0.10	5.64	85.7
癸烷	1.72	1.68	1.65	1.64	1.62	1.87	1.70	0.09	5.48	84.8
1,2,3-三甲苯	1.77	1.74	1.71	1.69	1.67	1.95	1.76	0.10	5.79	87.8
间二乙苯	1.77	1.74	1.71	1.70	1.68	1.93	1.75	0.09	5.15	87.7
对二乙苯	1.74	1.71	1.68	1.67	1.65	1.90	1.73	0.09	5.26	86.3
十一烷	1.80	1.78	1.74	1.73	1.71	1.94	1.79	0.08	4.75	89.3
十二烷	2.04	2.02	1.98	1.96	1.97	2.18	2.02	0.08	4.06	101.2

附表 1-4 加标量为 2.00 nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 4）

加标量 2.00 nmol/mol	测定结果(nmol/mol)						平均值 (nmol/ mol)	标准 偏差	相对标 准偏差 /%	加标回 收率 /%
	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	第六 次				
乙烷	2.17	2.26	2.23	2.13	2.15	2.19	2.19	0.05	2.27	109
乙烯	1.98	2.03	1.97	1.99	2.02	2.03	2.00	0.03	1.33	100
乙炔	1.74	1.78	1.65	1.71	1.72	1.75	1.72	0.04	2.45	86.2
丙烷	1.91	1.90	1.91	1.89	1.92	1.88	1.90	0.01	0.65	95.0
2-甲基丁烷	2.20	2.01	1.95	1.97	1.98	2.01	2.02	0.09	4.51	101
1-戊烯	1.59	1.65	1.62	1.62	1.65	1.69	1.64	0.03	2.11	82.0

正戊烷	1.70	1.75	1.72	1.71	1.73	1.78	1.73	0.03	1.69	86.6
异戊二烯	1.71	1.74	1.72	1.72	1.71	1.78	1.73	0.03	1.66	86.5
反-2-戊烯	1.66	1.69	1.67	1.66	1.65	1.72	1.67	0.02	1.48	83.7
顺-2-戊烯	1.61	1.64	1.62	1.61	1.60	1.67	1.62	0.03	1.63	81.2
2,2-二甲基丁烷	1.64	1.68	1.65	1.65	1.65	1.72	1.67	0.03	1.73	83.3
丙烯	1.89	1.89	1.85	1.90	1.87	1.87	1.88	0.02	0.89	93.9
环戊烷	1.78	1.83	1.81	1.77	1.80	1.84	1.81	0.03	1.68	90.3
2,3-二甲基丁烷	1.77	1.82	1.80	1.79	1.80	1.82	1.80	0.02	1.11	90.1
异丁烷	1.82	1.90	1.85	1.83	1.84	1.80	1.84	0.04	1.92	92.0
2-甲基戊烷	1.76	1.79	1.78	1.78	1.77	1.80	1.78	0.02	0.86	89.2
1-己烯	1.74	1.77	1.75	1.75	1.75	1.79	1.76	0.02	1.08	87.9
3-甲基戊烷	1.61	1.63	1.61	1.61	1.61	1.67	1.62	0.02	1.52	81.2
正丁烷	1.84	1.88	1.77	1.83	1.84	1.78	1.82	0.04	2.38	91.2
正己烷	1.59	1.61	1.59	1.58	1.58	1.64	1.60	0.02	1.34	79.9
甲基环戊烷	1.67	1.70	1.68	1.67	1.67	1.72	1.68	0.02	1.15	84.2
2,4-二甲基戊烷	1.54	1.55	1.53	1.52	1.52	1.58	1.54	0.02	1.56	77.1
苯	1.73	1.74	1.71	1.70	1.70	1.79	1.73	0.03	1.89	86.5
环己烷	1.70	1.72	1.71	1.70	1.69	1.74	1.71	0.02	1.15	85.6
2-甲基己烷	1.56	1.57	1.56	1.55	1.57	1.59	1.57	0.02	1.00	78.3
1-丁烯	1.79	1.78	1.82	1.81	1.80	1.72	1.79	0.04	1.96	89.4
2,3-二甲基戊烷	2.10	1.78	1.76	1.76	1.76	1.82	1.83	0.13	7.28	91.4
3-甲基己烷	1.64	1.65	1.63	1.63	1.64	1.67	1.64	0.02	0.97	82.2
反-2-丁烯	1.83	1.91	1.91	1.89	1.88	1.86	1.88	0.03	1.61	94.0
2,2,4-三甲基戊烷	1.59	1.59	1.57	1.56	1.56	1.62	1.58	0.02	1.36	79.0
庚烷	1.58	1.58	1.56	1.56	1.56	1.61	1.58	0.02	1.19	78.8
顺-2-丁烯	1.78	1.88	1.75	1.88	1.85	1.81	1.83	0.05	2.95	91.3
甲基环己烷	1.51	1.51	1.49	1.48	1.49	1.55	1.51	0.02	1.57	75.3
2,3,4-三甲基戊烷	1.54	1.53	1.52	1.52	1.51	1.57	1.53	0.02	1.40	76.6
甲苯	1.58	1.56	1.54	1.54	1.53	1.61	1.56	0.03	1.94	78.0
2-甲基庚烷	1.50	1.49	1.48	1.48	1.47	1.53	1.49	0.02	1.60	74.5
3-甲基庚烷	1.51	1.50	1.49	1.48	1.48	1.54	1.50	0.02	1.61	75.1
辛烷	1.55	1.53	1.53	1.53	1.52	1.58	1.54	0.02	1.28	77.0
乙苯	1.61	1.60	1.58	1.58	1.57	1.65	1.60	0.03	1.85	80.0
间/对二甲苯	1.55	1.76	1.51	1.51	1.50	1.78	1.60	0.13	8.29	80.0
苯乙烯	1.72	1.70	1.68	1.68	1.66	1.75	1.70	0.03	1.79	84.9
邻二甲苯	1.48	1.47	1.44	1.44	1.43	1.53	1.47	0.04	2.48	73.3
壬烷	1.48	1.46	1.44	1.44	1.43	1.52	1.46	0.03	2.29	73.0

异丙苯	1.64	1.61	1.59	1.58	1.56	1.68	1.61	0.04	2.76	80.5
丙基苯	1.72	1.69	1.66	1.65	1.63	1.79	1.69	0.06	3.55	84.5
间乙基甲苯	1.65	1.62	1.60	1.59	1.56	1.72	1.63	0.05	3.36	81.3
对乙基甲苯	1.65	1.62	1.60	1.59	1.56	1.72	1.63	0.05	3.36	81.3
均三甲苯	1.68	1.65	1.62	1.60	1.59	1.73	1.64	0.05	3.05	82.2
邻乙基甲苯	1.72	1.69	1.66	1.65	1.63	1.78	1.69	0.06	3.34	84.4
1,2,4-三甲苯	1.73	1.70	1.67	1.66	1.64	1.79	1.70	0.06	3.36	84.8
癸烷	1.72	1.68	1.65	1.64	1.62	1.76	1.68	0.05	3.25	83.9
1,2,3-三甲苯	1.77	1.74	1.71	1.69	1.67	1.83	1.74	0.06	3.30	86.8
间二乙苯	1.77	1.74	1.71	1.70	1.68	1.82	1.74	0.05	2.95	86.8
对二乙苯	1.74	1.71	1.68	1.67	1.65	1.79	1.71	0.05	2.98	85.4
十一烷	1.80	1.78	1.74	1.73	1.71	1.85	1.77	0.05	2.89	88.5
十二烷	2.04	2.02	1.98	1.96	1.97	2.09	2.01	0.05	2.46	100

附表 1-4 加标量为 2.00 nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 5）

加标量 2.00 nmol/mol	测定结果/nmol/mol						平均 值 nmol/ mol	标准 偏差	相对标 准偏差 /%	加标回 收率 /%
	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	第六 次				
乙烷	2.16	2.11	2.11	2.09	2.24	2.19	2.15	0.06	2.65	108
乙烯	2.03	2.10	1.98	2.03	2.11	2.03	2.05	0.05	2.41	102
乙炔	1.93	1.86	1.81	1.80	1.80	1.75	1.82	0.06	3.51	91.2
丙烷	2.02	1.69	1.72	1.88	1.76	1.88	1.83	0.13	6.89	91.3
2-甲基丁烷	2.55	2.42	2.36	2.17	2.24	2.01	2.29	0.19	8.41	114
1-戊烯	2.28	2.16	2.09	1.91	1.92	1.69	2.01	0.21	10.4	100
正戊烷	2.34	2.24	2.17	1.98	2.01	1.78	2.09	0.20	9.78	104
异戊二烯	2.34	2.24	2.17	1.99	2.01	1.78	2.09	0.20	9.64	104
反-2-戊烯	2.31	2.20	2.13	1.96	1.97	1.72	2.05	0.21	10.4	102
顺-2-戊烯	2.26	2.15	2.08	1.90	1.92	1.67	2.00	0.21	10.6	99.9
2,2-二甲基丁烷	2.27	2.19	2.12	1.92	1.95	1.72	2.03	0.20	10.1	101
丙烯	2.02	1.88	1.94	1.85	1.87	1.87	1.90	0.07	3.45	95.2
环戊烷	2.36	2.22	2.17	1.98	2.03	1.84	2.10	0.18	8.78	105
2,3-二甲基丁烷	2.31	2.24	2.18	1.98	2.02	1.82	2.09	0.18	8.73	105
异丁烷	1.93	1.93	1.84	1.88	1.86	1.80	1.87	0.05	2.87	93.7
2-甲基戊烷	2.29	2.20	2.13	1.93	1.98	1.80	2.05	0.18	8.94	103
1-己烯	2.30	2.21	2.15	1.96	2.00	1.79	2.07	0.19	9.02	103
3-甲基戊烷	2.21	2.12	2.05	1.86	1.89	1.67	1.97	0.20	10.0	98.4
正丁烷	2.00	1.85	1.85	1.74	1.87	1.78	1.85	0.09	4.78	92.4
正己烷	2.17	2.07	2.01	1.85	1.85	1.64	1.93	0.19	9.90	96.6
甲基环戊烷	2.25	2.15	2.09	1.91	1.94	1.72	2.01	0.19	9.55	100
2,4-二甲基戊	2.09	2.00	1.95	1.80	1.80	1.58	1.87	0.18	9.65	93.6

烷										
苯	2.39	2.27	2.20	2.06	2.05	1.79	2.12	0.21	9.81	106
环己烷	2.24	2.14	2.08	1.91	1.94	1.74	2.01	0.18	8.91	100
2-甲基己烷	2.11	2.01	1.94	1.79	1.80	1.59	1.87	0.18	9.78	93.7
1-丁烯	1.95	1.85	1.86	1.76	1.80	1.72	1.82	0.08	4.40	91.2
2,3-二甲基戊烷	2.25	2.15	2.12	1.95	2.00	1.82	2.05	0.16	7.60	102
3-甲基己烷	2.15	2.05	1.99	1.86	1.86	1.67	1.93	0.17	8.69	96.5
反-2-丁烯	2.07	1.98	1.91	1.84	1.83	1.86	1.91	0.09	4.96	95.7
2,2,4-三甲基戊烷	2.11	2.02	1.96	1.84	1.82	1.62	1.89	0.17	9.14	94.7
庚烷	2.08	1.98	1.92	1.79	1.79	1.61	1.86	0.17	8.91	93.1
顺-2-丁烯	2.03	1.87	1.88	1.67	1.86	1.81	1.85	0.12	6.41	92.7
甲基环己烷	2.03	1.93	1.87	1.75	1.74	1.55	1.81	0.17	9.25	90.5
2,3,4-三甲基戊烷	2.02	1.94	1.88	1.78	1.75	1.57	1.82	0.16	8.73	91.2
甲苯	2.14	2.01	1.95	1.86	1.82	1.61	1.90	0.18	9.51	95.0
2-甲基庚烷	1.99	1.89	1.85	1.74	1.71	1.53	1.79	0.16	8.95	89.3
3-甲基庚烷	1.98	1.89	1.84	1.75	1.73	1.54	1.79	0.15	8.40	89.4
辛烷	1.97	1.88	1.82	1.75	1.72	1.58	1.79	0.13	7.55	89.3
乙苯	2.09	2.02	1.94	1.88	1.83	1.65	1.90	0.15	8.07	95.1
间/对二甲苯	2.02	1.95	1.87	1.80	1.77	1.78	1.86	0.10	5.37	93.2
苯乙烯	2.16	2.06	1.99	1.95	1.91	1.75	1.97	0.14	7.17	98.5
邻二甲苯	2.01	1.94	1.85	1.79	1.74	1.53	1.81	0.17	9.34	90.6
壬烷	2.00	1.93	1.84	1.77	1.72	1.52	1.79	0.17	9.43	89.7
异丙苯	2.18	2.12	2.05	1.98	1.92	1.68	1.99	0.18	8.87	99.4
丙基苯	2.43	2.30	2.22	2.15	2.10	1.79	2.16	0.22	10.0	108
间乙基甲苯	2.15	2.14	2.10	2.03	1.97	1.72	2.02	0.16	8.09	101
对乙基甲苯	2.29	2.14	2.10	2.03	1.97	1.72	2.04	0.19	9.43	102
均三甲苯	2.25	2.16	2.09	2.05	2.00	1.73	2.04	0.18	8.71	102
邻乙基甲苯	2.35	2.22	2.17	2.11	2.05	1.78	2.11	0.19	9.06	106
1,2,4-三甲苯	2.32	2.21	2.15	2.07	2.03	1.79	2.09	0.18	8.72	105
癸烷	2.33	2.18	2.12	2.07	2.00	1.76	2.08	0.19	9.06	104
1,2,3-三甲苯	2.42	2.29	2.23	2.17	2.11	1.83	2.17	0.20	9.16	109
间二乙苯	2.15	2.27	2.16	2.11	2.05	1.82	2.09	0.15	7.29	105
对二乙苯	2.36	2.19	2.13	2.09	2.02	1.79	2.10	0.19	8.97	105
十一烷	2.44	2.25	2.19	2.13	2.07	1.85	2.15	0.20	9.16	108
十二烷	2.65	2.45	2.39	2.32	2.27	2.09	2.36	0.19	7.98	118

附表 1-4 加标量为 2.00 nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 6）

加标量 2.00 nmol/mol	测定结果 nmol/mol						平均 值 nmol/	标准 偏差	相对标 准偏差 /%	加标回 收率 /%
	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	第六 次				

							mol			
乙烷	2.19	2.12	2.19	2.11	2.17	2.26	2.17	0.05	2.46	109
乙烯	2.11	2.09	2.02	2.03	1.99	2.12	2.06	0.05	2.61	103
乙炔	1.73	1.78	1.75	1.72	1.74	1.78	1.75	0.03	1.58	87.4
丙烷	1.77	1.90	1.88	1.86	1.91	1.90	1.87	0.05	2.67	93.5
2-甲基丁烷	1.97	2.09	2.01	1.96	2.12	2.01	2.03	0.06	3.19	101
1-戊烯	1.65	1.75	1.69	1.63	1.59	1.65	1.66	0.06	3.31	83.1
正戊烷	1.73	1.84	1.78	1.71	1.70	1.75	1.75	0.05	2.93	87.7
异戊二烯	1.74	1.85	1.78	1.71	1.71	1.74	1.75	0.05	3.06	87.7
反-2-戊烯	1.69	1.79	1.72	1.66	1.66	1.69	1.70	0.05	2.86	85.1
顺-2-戊烯	1.64	1.74	1.67	1.61	1.61	1.64	1.65	0.05	2.99	82.5
2,2-二甲基丁烷	1.65	1.78	1.72	1.64	1.64	1.68	1.68	0.05	3.16	84.2
丙烯	1.89	1.93	1.87	1.87	1.89	1.89	1.89	0.02	1.20	94.4
环戊烷	1.76	1.89	1.84	1.76	1.78	1.83	1.81	0.05	2.86	90.6
2,3-二甲基丁烷	1.72	1.88	1.82	1.75	1.77	1.82	1.79	0.06	3.33	89.7
异丁烷	1.79	1.83	1.80	1.82	1.82	1.90	1.83	0.04	2.19	91.4
2-甲基戊烷	1.73	1.87	1.80	1.75	1.76	1.79	1.78	0.05	2.78	89.2
1-己烯	1.71	1.85	1.79	1.73	1.74	1.77	1.76	0.05	2.81	88.2
3-甲基戊烷	1.61	1.72	1.67	1.60	1.61	1.63	1.64	0.05	2.91	81.9
正丁烷	1.76	1.84	1.78	1.81	1.84	1.88	1.82	0.04	2.46	91.0
正己烷	1.58	1.69	1.64	1.57	1.59	1.61	1.61	0.04	2.57	80.7
甲基环戊烷	1.63	1.78	1.72	1.64	1.67	1.70	1.69	0.06	3.27	84.5
2,4-二甲基戊烷	1.54	1.64	1.58	1.52	1.54	1.55	1.56	0.04	2.70	78.2
苯	1.77	1.84	1.79	1.72	1.73	1.74	1.76	0.04	2.43	88.2
环己烷	1.66	1.79	1.74	1.68	1.70	1.72	1.72	0.05	2.77	85.8
2-甲基己烷	1.54	1.65	1.59	1.53	1.56	1.57	1.57	0.04	2.71	78.7
1-丁烯	1.78	1.80	1.72	1.82	1.79	1.78	1.78	0.03	1.87	89.2
2,3-二甲基戊烷	1.72	1.83	1.82	1.73	2.10	1.78	1.83	0.14	7.60	91.5
3-甲基己烷	1.63	1.72	1.67	1.62	1.64	1.65	1.65	0.04	2.22	82.7
反-2-丁烯	1.74	1.88	1.86	1.87	1.83	1.91	1.85	0.06	3.12	92.4
2,2,4-三甲基戊烷	1.60	1.66	1.62	1.57	1.59	1.59	1.60	0.03	2.03	80.2
庚烷	1.59	1.65	1.61	1.57	1.58	1.58	1.60	0.03	1.88	79.8
顺-2-丁烯	1.75	1.86	1.81	1.76	1.78	1.88	1.81	0.05	2.90	90.4
甲基环己烷	1.53	1.59	1.55	1.50	1.51	1.51	1.53	0.03	2.07	76.6
2,3,4-三甲基戊烷	1.58	1.61	1.57	1.54	1.54	1.53	1.56	0.03	1.93	78.1
甲苯	1.63	1.65	1.61	1.58	1.58	1.56	1.60	0.04	2.24	80.1
2-甲基庚烷	1.53	1.57	1.53	1.50	1.50	1.49	1.52	0.03	2.01	76.0

3-甲基庚烷	1.55	1.58	1.54	1.51	1.51	1.50	1.53	0.03	1.98	76.6
辛烷	1.57	1.60	1.58	1.55	1.55	1.53	1.56	0.03	1.62	78.2
乙苯	1.68	1.68	1.65	1.63	1.61	1.60	1.64	0.03	2.09	82.1
间/对二甲苯	1.89	1.77	2.01	1.98	1.95	1.89	1.92	0.09	4.48	95.8
苯乙烯	1.77	1.77	1.75	1.73	1.72	1.70	1.74	0.03	1.79	87.0
邻二甲苯	1.56	1.56	1.53	1.50	1.48	1.47	1.52	0.04	2.58	75.8
壬烷	1.55	1.55	1.52	1.49	1.48	1.46	1.51	0.04	2.53	75.4
异丙苯	1.73	1.73	1.68	1.65	1.64	1.61	1.67	0.05	2.87	83.7
丙基苯	1.87	1.85	1.79	1.75	1.72	1.69	1.78	0.07	3.9	89.0
间乙基甲苯	1.76	1.76	1.72	1.67	1.65	1.62	1.70	0.06	3.39	84.9
对乙基甲苯	1.76	1.76	1.72	1.67	1.65	1.62	1.70	0.06	3.39	84.9
均三甲苯	1.73	1.77	1.73	1.68	1.68	1.65	1.71	0.05	2.64	85.3
邻乙基甲苯	1.84	1.82	1.78	1.73	1.72	1.69	1.76	0.06	3.35	88.2
1,2,4-三甲苯	1.84	1.83	1.79	1.74	1.73	1.70	1.77	0.06	3.20	88.6
癸烷	1.82	1.81	1.76	1.73	1.72	1.68	1.75	0.05	3.06	87.6
1,2,3-三甲苯	1.89	1.87	1.83	1.79	1.77	1.74	1.81	0.06	3.28	90.7
间二乙苯	1.87	1.86	1.82	1.78	1.77	1.74	1.81	0.05	2.80	90.3
对二乙苯	1.85	1.83	1.79	1.76	1.74	1.71	1.78	0.05	2.97	89.0
十一烷	1.90	1.88	1.85	1.81	1.80	1.78	1.84	0.05	2.50	91.8
十二烷	2.13	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.07	0.04	2.09	104

附表 1-5 加标量为 10.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 1）

化合物	第一次 (nmol/mol)	第二次 (nmol/mol)	第三次 (nmol/mol)	第四次 (nmol/mol)	第五次 (nmol/mol)	第六次 (nmol/mol)	平均值	加标回收率 (%)	标准偏差 (nmol/mol)	相对标准偏差 (%)
乙烷	9.07	8.56	9.29	8.17	10.10	7.25	8.74	87.4	0.98	11.26
乙烯	10.21	9.06	10.20	8.96	8.12	7.84	9.07	90.7	1.00	11.03
乙炔	13.60	13.81	13.87	13.90	13.89	13.92	13.83	138	0.12	0.87
丙烷	9.18	9.26	9.73	9.42	9.56	9.93	9.51	95	0.28	3.00
2-甲基丁烷	10.21	10.29	10.36	10.43	10.57	10.59	10.41	104	0.15	1.47
1-戊烯	11.68	11.78	11.87	11.92	12.07	12.07	11.90	119	0.15	1.31
正戊烷	11.83	11.90	12.02	12.03	12.19	12.20	12.03	120	0.15	1.24
异戊二烯	11.52	11.63	11.72	11.81	11.97	11.99	11.77	118	0.19	1.60
反-2-戊烯	11.71	11.83	11.91	11.97	12.11	12.12	11.94	119	0.16	1.35
顺-2-戊烯	11.69	11.81	11.89	11.96	12.09	12.11	11.93	119	0.16	1.37
2,2-二甲基丁烷	12.16	12.26	12.34	12.43	12.62	12.62	12.41	124	0.19	1.53
丙烯	8.44	8.51	8.54	8.60	8.60	8.56	8.54	85.4	0.06	0.73
环戊烷	11.17	11.41	11.43	11.67	11.64	11.68	11.50	115	0.20	1.75
2,3-二甲	11.83	11.93	11.96	12.03	12.16	12.06	12.00	120	0.11	0.96

化合物	第一次 (nmol l/mol)	第二次 (nmol l/mol)	第三次 (nmol l/mol)	第四次 (nmol l/mol)	第五次 (nmol l/mol)	第六次 (nmol /mol)	平均值	加标回 收率 (%)	标准偏 差 (nmol/ mol)	相对标 准偏差 (%)
基丁烷										
异丁烷	10.94	11.05	11.18	11.28	11.00	10.93	11.06	111	0.14	1.28
2-甲基戊 烷	11.79	11.87	11.96	12.04	12.12	12.14	11.99	120	0.14	1.14
1-己烯	11.86	11.97	12.06	12.15	12.31	12.29	12.11	121	0.18	1.46
3-甲基戊 烷	11.95	12.03	12.13	12.19	12.36	12.35	12.17	122	0.17	1.36
正丁烷	10.61	10.72	10.55	10.45	10.56	10.70	10.60	106	0.10	0.95
正己烷	11.75	11.84	11.89	11.98	12.13	12.16	11.96	120	0.16	1.35
甲基环戊 烷	11.75	11.85	11.95	12.03	12.16	12.17	11.98	120	0.17	1.41
2,4-二甲 基戊烷	12.17	12.25	12.34	12.41	12.60	12.64	12.40	124	0.19	1.52
苯	10.91	11.07	11.13	11.17	11.32	11.43	11.17	112	0.18	1.64
环己烷	11.58	11.67	11.78	11.88	11.95	12.01	11.81	118	0.17	1.42
2-甲基己 烷	11.37	11.47	11.54	11.61	11.72	11.77	11.58	116	0.15	1.30
1-丁烯	10.50	10.51	10.46	10.49	10.62	10.68	10.54	105	0.09	0.83
2,3-二甲 基戊烷	11.86	11.91	12.03	12.06	12.17	12.23	12.04	120	0.14	1.20
3-甲基己 烷	11.66	11.75	11.82	11.86	11.99	12.04	11.85	119	0.14	1.21
反-2-丁烯	10.22	10.39	10.35	10.58	10.47	10.61	10.44	104	0.14	1.41
2,2,4-三甲 基戊烷	11.98	12.08	12.17	12.24	12.36	12.44	12.21	122	0.17	1.41
庚烷	11.28	11.38	11.46	11.51	11.61	11.70	11.49	115	0.15	1.30
顺-2-丁烯	10.15	10.28	10.21	10.25	10.27	10.36	10.25	103	0.07	0.69
甲基环己 烷	11.83	11.90	11.99	12.08	12.23	12.32	12.06	121	0.19	1.57
2,3,4-三甲 基戊烷	11.79	11.90	11.95	12.05	12.18	12.31	12.03	120	0.19	1.58
甲苯	9.82	9.94	9.97	10.04	10.13	10.26	10.03	100	0.15	1.52
2-甲基庚 烷	11.27	11.39	11.45	11.53	11.66	11.74	11.51	115	0.17	1.53
3-甲基庚 烷	11.41	11.53	11.60	11.69	11.81	11.91	11.66	117	0.18	1.57
辛烷	10.67	10.77	10.82	10.87	11.01	11.12	10.88	109	0.17	1.52
乙苯	8.74	8.84	8.88	8.98	9.12	9.28	8.97	89.7	0.20	2.22
间/对二甲	8.52	8.63	5.56	8.73	8.83	8.97	8.21	82.1	1.31	15.91

化合物	第一次 (nmol l/mol)	第二次 (nmol l/mol)	第三次 (nmol l/mol)	第四次 (nmol l/mol)	第五次 (nmol l/mol)	第六次 (nmol /mol)	平均值	加标回 收率 (%)	标准偏 差 (nmol/ mol)	相对标 准偏差 (%)
苯										
苯乙烯	7.43	7.50	7.44	7.62	7.71	7.90	7.60	76.0	0.18	2.42
邻二甲苯	8.64	8.78	8.78	8.86	8.97	9.09	8.85	88.5	0.16	1.81
壬烷	9.65	9.80	9.84	9.92	10.02	10.14	9.89	98.9	0.171	1.73
异丙苯	8.59	8.71	8.77	8.86	8.95	9.09	8.83	88.3	0.18	2.05
丙基苯	8.26	8.44	8.45	8.55	8.66	8.84	8.54	85.4	0.20	2.36
间乙基甲 苯	8.00	8.14	8.19	8.25	8.25	8.40	8.20	82.0	0.13	1.59
对乙基甲 苯	8.00	8.15	8.18	8.26	8.25	8.39	8.21	82.1	0.130	1.59
均三甲苯	8.04	8.12	8.13	8.15	8.29	8.43	8.19	81.9	0.14	1.73
邻乙基甲 苯	8.07	8.23	8.25	8.35	8.44	8.57	8.32	83.2	0.17	2.12
1,2,4-三甲 苯	7.65	7.77	7.77	7.82	7.95	8.09	7.84	78.4	0.16	2.00
癸烷	8.34	8.46	8.50	8.58	8.66	8.79	8.56	85.6	0.16	1.85
1,2,3-三甲 苯	7.61	7.67	7.69	7.84	7.94	8.13	7.81	78.1	0.20	2.51
间二乙苯	7.11	7.23	7.21	7.30	7.44	7.54	7.31	73.1	0.16	2.21
对二乙苯	7.17	7.29	7.33	7.37	7.46	7.64	7.38	73.8	0.16	2.18
十一烷	7.22	7.32	7.31	7.43	7.52	7.67	7.41	74.1	0.16	2.21
十二烷	6.11	6.24	6.24	6.35	6.41	6.58	6.32	63.2	0.16	2.59

附表 1-5 加标量为 10.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 2）

化合物	第一次 (nmol l/mol)	第二次 (nmol l/mol)	第三次 (nmol l/mol)	第四次 (nmol l/mol)	第五次 (nmol l/mol)	第六次 (nmol /mol)	平均值	加标回 收率 (%)	标准偏 差 (nmol/ mol)	相对标 准偏差 (%)
乙烷	9.25	10.10	10.40	8.85	8.44	8.98	9.34	93.4	0.76	8.14
乙烯	10.3	10.8	8.89	11.0	8.18	10.6	9.97	99.7	1.15	11.5
乙炔	10.1	10.3	10.3	10.2	11.2	10.5	10.4	104	0.39	3.82
丙烷	9.93	9.95	9.99	9.93	10.0	9.86	9.95	99.5	0.06	0.59
2-甲基 丁烷	9.30	9.52	9.60	9.74	9.87	10.2	9.70	97.0	0.30	3.10
1-戊烯	10.6	10.9	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.33	3.02
正戊烷	10.7	10.9	11.1	11.3	11.4	11.7	11.2	112	0.35	3.15
异戊二 烯	10.5	10.7	10.8	11.0	11.1	11.4	10.9	109	0.33	3.04
反-2-戊	10.6	10.8	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.33	2.97

化合物	第一次 (nmol l/mol)	第二次 (nmol l/mol)	第三次 (nmol l/mol)	第四次 (nmol l/mol)	第五次 (nmol l/mol)	第六次 (nmol /mol)	平均值	加标 回收 率 (%)	标准偏 差 (nmol/ mol)	相对标 准偏差 (%)
烯										
顺-2-戊 烯	10.6	10.8	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.33	2.99
2,2-二 甲基丁 烷	11.0	11.2	11.4	11.6	11.7	12.1	11.5	115	0.39	3.43
丙烯	8.12	8.30	8.19	8.27	8.24	8.48	8.27	82.7	0.12	1.45
环戊烷	10.21	10.54	10.68	10.78	10.88	12.97	11.01	110	0.99	8.98
2,3-二 甲基丁 烷	10.7	10.9	11.0	11.3	11.4	11.6	11.1	111	0.35	3.11
异丁烷	10.5	10.6	10.6	10.6	10.6	11.0	10.7	107	0.17	1.58
2-甲基 戊烷	10.7	10.9	11.0	11.3	11.3	11.7	11.1	111	0.36	3.24
1-己烯	10.7	10.9	11.1	11.3	11.4	11.8	11.2	112	0.37	3.35
3-甲基 戊烷	10.7	10.9	11.1	11.4	11.5	11.8	11.2	112	0.39	3.45
正丁烷	10.3	10.3	10.3	10.4	10.3	10.6	10.4	104	0.137	1.32
正己烷	10.5	10.7	10.8	11.1	11.2	11.5	10.9	109	0.38	3.38
甲基环 戊烷	10.6	10.9	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.34	3.06
2,4-二 甲基戊 烷	10.8	11.1	11.3	11.5	11.7	12.0	11.4	114	0.42	3.71
苯	9.78	9.99	10.2	10.4	10.5	10.7	10.3	103	0.34	3.32
环己烷	10.5	10.7	10.8	11.0	11.2	11.4	10.9	109	0.34	3.12
2-甲基 己烷	10.3	10.5	10.6	10.8	10.9	11.2	10.7	107	0.3	3.01
1-丁烯	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.5	10.2	102	0.14	1.36
2,3-二 甲基戊 烷	10.7	10.9	11.1	11.2	11.4	11.6	11.1	111	0.36	3.18
3-甲基 己烷	10.4	10.7	10.9	11.1	11.2	11.4	10.9	109	0.36	3.34
反-2-丁 烯	10.3	10.3	10.0	10.1	10.1	10.3	10.2	102	0.14	1.35
2,2,4-三 甲基戊 烷	10.6	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.2	112	0.40	3.59

化合物	第一次 (nmol l/mol)	第二次 (nmol l/mol)	第三次 (nmol l/mol)	第四次 (nmol l/mol)	第五次 (nmol l/mol)	第六次 (nmol /mol)	平均值	加标 回收 率 (%)	标准偏 差 (nmol/ mol)	相对标 准偏差 (%)
庚烷	10.0	10.3	10.5	10.7	10.9	11.0	10.6	106	0.36	3.45
顺-2-丁 烯	9.9	10.1	10.1	10.0	10.0	10.1	10.0	100	0.07	0.72
甲基环 己烷	10.4	10.7	10.9	11.1	11.3	11.6	11.0	110	0.43	3.87
2,3,4-三 甲基戊 烷	10.3	10.6	10.9	11.1	11.3	11.4	10.9	109	0.43	3.90
甲苯	8.68	8.86	9.13	9.32	9.40	9.50	9.15	91	0.32	3.51
2-甲基 庚烷	9.95	10.1	10.5	10.7	10.8	10.8	10.5	105	0.37	3.49
3-甲基 庚烷	9.98	10.2	10.6	10.8	10.9	11.0	10.6	106	0.41	3.88
辛烷	9.36	9.51	9.93	10.1	10.2	10.2	9.89	99	0.37	3.73
乙苯	7.48	7.64	8.05	8.23	8.39	8.33	8.02	80.2	0.38	4.71
间/对二 甲苯	7.31	7.45	7.82	8.00	8.14	8.09	7.80	78.0	0.35	4.43
苯乙烯	6.34	6.50	6.87	7.02	7.15	7.02	6.82	68.2	0.32	4.72
邻二甲 苯	7.50	7.63	7.99	8.14	8.28	8.24	7.97	79.7	0.33	4.10
壬烷	8.43	8.57	8.95	9.13	9.29	9.19	8.93	89.3	0.35	3.94
异丙苯	7.51	7.66	8.02	8.09	8.30	8.23	7.97	79.7	0.32	3.98
丙基苯	7.10	7.26	7.64	7.78	7.94	7.90	7.60	76.0	0.35	4.60
间乙基 甲苯	6.98	7.07	7.37	7.60	7.75	7.61	7.40	74.0	0.31	4.23
对乙基 甲苯	6.98	7.06	7.37	7.60	7.75	7.61	7.39	73.9	0.31	4.24
均三甲 苯	7.01	7.17	7.44	7.61	7.78	7.62	7.44	74.4	0.30	3.98
邻乙基 甲苯	7.04	7.18	7.48	7.63	7.80	7.78	7.49	74.9	0.314	4.19
1,2,4-三 甲苯	6.69	6.83	7.07	7.21	7.38	7.36	7.09	70.9	0.281	3.96
癸烷	7.32	7.46	7.76	7.89	8.05	7.96	7.74	77.4	0.291	3.76
1,2,3-三 甲苯	6.64	6.79	7.03	7.17	7.35	7.30	7.05	70.5	0.28	4.01
间二乙 苯	6.25	6.37	6.60	6.73	6.90	6.89	6.62	66.2	0.27	4.07
对二乙	6.28	6.44	6.68	6.79	6.95	6.91	6.67	66.7	0.27	4.02

化合物	第一次 (nmol l/mol)	第二次 (nmol l/mol)	第三次 (nmol l/mol)	第四次 (nmol l/mol)	第五次 (nmol l/mol)	第六次 (nmol /mol)	平均值	加标 回收 率 (%)	标准偏 差 (nmol/ mol)	相对标 准偏差 (%)
苯										
十一烷	6.38	6.52	6.71	6.83	6.99	6.99	6.74	67.4	0.25	3.68
十二烷	6.89	6.72	6.87	6.85	6.86	6.10	6.71	67.1	0.31	4.58

附表 1-5 加标量为 10.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 3）

化合物	第一次 (nmol l/mol)	第二次 (nmol l/mol)	第三次 (nmol l/mol)	第四次 (nmol l/mol)	第五次 (nmol l/mol)	第六次 (nmol /mol)	平均 值	加标回 收率 (%)	标准 偏差 (nmol l/mol)	相对标 准偏差 (%)
乙烷	10.3	10.1	10.2	9.26	10.2	9.10	9.86	98.6	0.53	5.4
乙烯	10.2	8.98	9.19	9.26	9.37	9.86	9.48	94.8	0.46	4.9
乙炔	10.3	10.5	10.5	10.8	10.5	10.3	10.5	105	0.18	1.8
丙烷	9.40	9.62	9.62	10.1	10.4	9.9	9.84	98.4	0.37	3.7
2-甲基 丁烷	6.66	6.80	7.02	7.05	6.69	9.27	7.25	72.5	1.01	13.9
1-戊烯	7.54	7.71	8.01	7.96	7.60	10.6	8.24	82.4	1.17	14.2
正戊烷	7.63	7.79	8.07	8.00	7.67	10.7	8.31	83.1	1.19	14.3
异戊二 烯	7.51	7.68	7.97	7.91	7.56	10.5	8.18	81.8	1.14	13.9
反-2-戊 烯	7.65	7.79	8.05	7.90	7.71	10.6	8.29	82.9	1.15	13.9
顺-2-戊 烯	7.62	7.77	8.02	7.88	7.68	10.6	8.26	82.6	1.16	14.0
2,2-二甲 基丁烷	7.82	8.00	8.32	8.27	7.85	10.9	8.53	85.3	1.19	14.0
丙烯	8.18	8.23	8.34	8.45	8.23	8.33	8.29	82.9	0.10	1.2
环戊烷	7.42	7.57	7.81	8.89	7.46	10.2	8.23	82.3	1.12	13.6
2,3-二甲 基丁烷	7.73	7.87	8.12	8.00	7.76	10.6	8.35	83.5	1.13	13.5
异丁烷	10.60	10.62	10.37	10.45	10.58	10.4	10.5	105	0.11	1.0
2-甲基 戊烷	7.64	7.81	8.10	8.09	7.70	10.6	8.33	83.3	1.14	13.7
1-己烯	7.72	7.92	8.20	8.22	7.72	10.6	8.41	84.1	1.13	13.5
3-甲基 戊烷	7.77	7.95	8.30	8.30	7.75	10.7	8.47	84.7	1.13	13.3
正丁烷	10.30	10.27	10.36	10.38	10.24	10.2	10.3	103	0.07	0.7
正己烷	7.63	7.80	8.12	8.16	7.59	10.4	8.29	82.9	1.07	13.0
甲基环 戊烷	7.76	7.90	8.14	8.14	7.77	10.6	8.39	83.9	1.11	13.3

化合物	第一次 (nmol/mol)	第二次 (nmol/mol)	第三次 (nmol/mol)	第四次 (nmol/mol)	第五次 (nmol/mol)	第六次 (nmol/mol)	平均值	加标回收率 (%)	标准偏差 (nmol/mol)	相对标准偏差 (%)
2,4-二甲基戊烷	7.82	8.01	8.29	8.38	7.76	10.8	8.51	85.1	1.14	13.4
苯	7.04	7.16	7.43	7.55	6.98	9.76	7.65	76.5	1.06	13.8
环己烷	7.62	7.75	7.95	8.04	7.61	10.5	8.24	82.4	1.11	13.4
2-甲基己烷	7.52	7.64	7.86	7.91	7.49	10.	8.12	81.2	1.07	13.2
1-丁烯	10.2	10.1	10.2	10.3	10.3	10.1	10.3	103	0.11	1.1
2,3-二甲基戊烷	7.76	7.90	8.15	8.27	7.78	10.6	8.42	84.2	1.11	13.1
3-甲基己烷	7.70	7.85	8.07	8.18	7.65	10.4	8.31	83.1	1.05	12.6
反-2-丁烯	10.1	10.2	10.3	10.2	10.1	10.2	10.2	102	0.09	0.9
2,2,4-三甲基戊烷	7.87	8.02	8.30	8.40	7.80	10.61	8.50	85.0	1.06	12.5
庚烷	7.43	7.56	7.82	7.95	7.36	10.01	8.02	80.2	1.00	12.5
顺-2-丁烯	9.88	9.88	9.92	10.27	9.75	9.88	9.93	99.3	0.18	1.8
甲基环己烷	9.63	9.80	10.1	8.26	7.53	10.4	9.28	92.8	1.13	12.1
2,3,4-三甲基戊烷	9.66	9.82	10.1	8.28	7.58	10.3	9.29	92.9	1.10	11.9
甲苯	8.33	8.44	8.67	8.88	8.22	8.60	8.52	85.2	0.24	2.8
2-甲基庚烷	9.54	9.62	9.88	10.03	9.46	9.89	9.74	97.4	0.23	2.3
3-甲基庚烷	9.44	9.57	9.82	9.97	9.35	9.91	9.68	96.8	0.26	2.7
辛烷	9.00	9.10	9.34	9.54	8.90	9.30	9.20	92.0	0.24	2.6
乙苯	7.55	7.70	7.97	8.10	7.42	7.38	7.69	76.9	0.30	3.8
间/对二甲苯	7.53	7.64	7.86	8.05	7.43	7.23	7.63	76.3	0.30	3.9
苯乙烯	6.75	6.81	7.06	7.26	6.62	6.26	6.79	67.9	0.35	5.1
邻二甲苯	7.72	7.83	8.01	8.20	7.64	7.39	7.80	78.0	0.29	3.7
壬烷	8.62	8.70	8.87	9.05	8.56	8.34	8.69	86.9	0.25	2.9
异丙苯	7.69	7.84	8.04	8.19	7.58	7.39	7.79	77.9	0.30	3.8
丙基苯	7.52	7.62	7.83	8.11	7.43	7.02	7.59	75.9	0.37	4.9

化合物	第一次 (nmol/mol)	第二次 (nmol/mol)	第三次 (nmol/mol)	第四次 (nmol/mol)	第五次 (nmol/mol)	第六次 (nmol/mol)	平均值	加标回收率 (%)	标准偏差 (nmol/mol)	相对标准偏差 (%)
间乙基甲苯	7.40	7.52	7.65	7.80	7.32	8.88	7.76	77.6	0.58	7.4
对乙基甲苯	7.40	7.52	7.65	7.80	7.32	8.88	7.76	77.6	0.58	7.4
均三甲苯	7.31	7.48	7.63	7.78	7.29	8.90	7.73	77.3	0.60	7.8
邻乙基甲苯	7.43	7.53	7.69	7.92	7.35	8.95	7.81	78.1	0.59	7.6
1,2,4-三甲苯	7.17	7.27	7.47	7.60	7.07	8.57	7.53	75.3	0.55	7.3
癸烷	7.83	7.90	8.03	8.25	7.80	9.27	8.18	81.8	0.56	6.8
1,2,3-三甲苯	7.08	7.20	7.39	7.62	7.02	8.56	7.48	74.8	0.57	7.7
间二乙苯	6.81	6.91	7.11	8.39	6.74	8.17	7.35	73.5	0.73	9.9
对二乙苯	6.82	6.91	7.07	7.31	6.77	8.19	7.18	71.8	0.53	7.4
十一烷	7.01	7.10	7.27	7.59	6.94	8.31	7.37	73.7	0.51	7.0
十二烷	6.18	6.27	6.43	6.86	6.13	7.52	6.57	65.7	0.54	8.2

附表 1-5 加标量为 10.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 4）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率 (%)	标准偏差	相对标准偏差 (%)
乙烷	12.4	12.1	11.4	10.8	10.4	9.85	11.2	112	0.99	8.9
乙烯	10.3	10.6	10.8	10.9	10.2	10.6	10.6	106	0.27	2.6
乙炔	10.1	10.4	10.3	11.3	11.7	10.5	10.7	107	0.63	5.9
丙烷	9.93	9.95	9.99	9.93	10.0	10.5	10.1	101	0.22	2.2
2-甲基丁烷	9.30	9.52	9.60	9.74	9.87	10.2	9.70	97.0	0.30	3.1
1-戊烯	10.6	10.9	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.33	3.0
正戊烷	10.7	10.9	11.1	11.3	11.4	11.7	11.2	112	0.35	3.1
异戊二烯	10.5	10.7	10.8	11.0	11.1	11.4	10.9	109	0.33	3.0
反-2-戊烯	10.6	10.8	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.33	3.0
顺-2-戊烯	10.6	10.8	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.33	3.0

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
2,2-二甲基丁烷	11.0	11.2	11.4	11.6	11.7	12.1	11.5	115	0.39	3.4
丙烯	8.12	8.30	8.19	8.27	8.24	8.48	8.27	82.7	0.12	1.4
环戊烷	10.2	10.5	10.7	10.8	10.9	13.0	11.0	110	0.99	9.0
2,3-二甲基丁烷	10.7	10.9	11.0	11.3	11.4	11.6	11.1	111	0.35	3.1
异丁烷	10.5	10.6	10.6	10.6	10.6	11.0	10.7	107	0.17	1.6
2-甲基戊烷	10.7	10.9	11.0	11.3	11.3	11.7	11.1	111	0.36	3.2
1-己烯	10.7	10.9	11.1	11.3	11.4	11.8	11.2	112	0.37	3.3
3-甲基戊烷	10.7	10.9	11.1	11.4	11.5	11.8	11.2	112	0.39	3.4
正丁烷	10.3	10.3	10.3	10.4	10.3	10.6	10.4	104	0.14	1.3
正己烷	10.5	10.7	10.8	11.1	11.2	11.5	10.9	109	0.37	3.4
甲基环戊烷	10.6	10.9	11.0	11.2	11.3	11.6	11.1	111	0.34	3.1
2,4-二甲基戊烷	10.8	11.1	11.3	11.5	11.7	12.0	11.4	114	0.42	3.7
苯	9.78	10.0	10.2	10.4	10.5	10.7	10.3	103	0.34	3.3
环己烷	10.5	10.7	10.8	11.0	11.2	11.4	10.9	109	0.34	3.1
2-甲基己烷	10.3	10.5	10.6	10.8	10.9	11.2	10.7	107	0.32	3.0
1-丁烯	10.2	10.2	10.1	10.1	10.1	10.5	10.2	102	0.14	1.4
2,3-二甲基戊烷	10.7	10.9	11.1	11.2	11.4	11.6	11.1	111	0.35	3.2
3-甲基己烷	10.4	10.7	10.9	11.1	11.2	11.4	10.9	109	0.37	3.3
反-2-丁烯	10.3	10.3	10.0	10.1	10.1	10.3	10.2	102	0.14	1.3
2,2,4-三甲基戊烷	10.6	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.2	112	0.40	3.6
庚烷	10.0	10.3	10.5	10.7	10.9	11.0	10.6	106	0.36	3.5
顺-2-丁烯	9.92	10.1	10.1	10.0	10.0	10.1	10.0	100	0.07	0.7
甲基环己烷	10.4	10.7	10.9	11.1	11.3	11.6	11.0	110	0.43	3.9
2,3,4-三甲基戊	10.3	10.6	10.9	11.1	11.3	11.4	10.9	109	0.43	3.9

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
烷										
甲苯	8.68	8.86	9.13	9.32	9.40	9.50	9.15	91.5	0.32	3.5
2-甲基庚烷	10.0	10.1	10.5	10.7	10.8	10.8	10.5	105	0.37	3.5
3-甲基庚烷	10.0	10.2	10.6	10.8	10.9	11.0	10.6	106	0.41	3.9
辛烷	9.36	9.51	9.93	10.1	10.2	10.2	9.89	98.9	0.37	3.7
乙苯	10.5	10.6	11.0	11.2	11.4	11.3	11.0	110	0.38	3.4
间/对二甲苯	10.3	10.5	10.8	11.0	11.1	11.1	10.8	108	0.35	3.2
苯乙烯	9.34	9.50	9.87	10.0	10.1	10.0	9.8	98.2	0.32	3.3
邻二甲苯	10.5	10.6	11.0	11.1	11.3	11.2	11.0	110	0.33	3.0
壬烷	11.4	11.6	12.0	12.1	12.3	12.2	11.9	119	0.35	2.9
异丙苯	10.5	10.7	11.0	11.1	11.3	11.2	11.0	110	0.32	2.9
丙基苯	10.1	10.3	10.6	10.8	10.9	10.9	10.6	106	0.35	3.3
间乙基甲苯	10.0	10.1	10.4	10.6	10.7	10.6	10.4	104	0.31	3.0
对乙基甲苯	10.0	10.1	10.4	10.6	10.7	10.6	10.4	104	0.31	3.0
均三甲苯	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	10.6	10.4	104	0.30	2.8
邻乙基甲苯	10.0	10.2	10.5	10.6	10.8	10.8	10.5	105	0.31	3.0
1,2,4-三甲苯	9.69	9.83	10.1	10.2	10.4	10.4	10.1	101	0.28	2.8
癸烷	10.3	10.5	10.8	10.9	11.0	11.0	10.7	107	0.29	2.7
1,2,3-三甲苯	9.64	9.79	10.0	10.2	10.3	10.3	10.0	100	0.28	2.8
间二乙苯	9.25	9.37	9.60	9.73	9.90	9.89	9.62	96.2	0.27	2.8
对二乙苯	9.28	9.44	9.68	9.79	9.95	9.91	9.67	96.7	0.27	2.8
十一烷	9.69	9.52	9.71	9.83	9.99	9.99	9.79	97.9	0.18	1.9
十二烷	8.81	8.72	8.87	8.85	9.06	9.10	8.90	89.0	0.15	1.7

附表 1-5 加标量为 10.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 5）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	标准偏差	相对标准偏差/%	加标回收率/%
乙烷	8.98	8.31	8.13	7.95	7.98	7.79	8.19	0.43	5.19	81.9
乙烯	9.07	8.47	8.24	8.01	7.97	7.74	8.25	0.47	5.71	82.5
乙炔	8.93	8.24	8.04	7.84	7.78	7.61	8.07	0.47	5.83	80.7
丙烷	8.36	8.72	8.70	8.66	8.68	8.53	8.61	0.14	1.62	86.1
2-甲基丁烷	8.64	8.52	8.38	8.27	8.25	8.11	8.36	0.19	2.32	83.6
1-戊烯	8.85	8.94	8.96	8.82	8.84	8.64	8.84	0.12	1.31	88.4
正戊烷	8.81	8.68	8.61	8.51	8.51	8.40	8.59	0.15	1.72	85.9
异戊二烯	9.02	8.73	8.64	8.56	8.55	8.43	8.65	0.21	2.38	86.5
反-2-戊烯	8.82	8.67	8.59	8.49	8.47	8.38	8.57	0.16	1.87	85.7
顺-2-戊烯	8.92	8.71	8.61	8.53	8.49	8.42	8.61	0.18	2.10	86.1
2,2-二甲基丁烷	9.27	9.01	8.90	8.84	8.84	8.74	8.93	0.19	2.08	89.3
丙烯	9.20	9.07	9.05	9.04	9.03	8.96	9.06	0.08	0.88	90.6
环戊烷	9.22	9.12	9.09	9.06	9.04	8.96	9.08	0.08	0.94	90.8
2,3-二甲基丁烷	9.43	9.32	9.39	9.44	9.37	9.40	9.39	0.04	0.46	93.9
异丁烷	9.28	9.23	9.27	9.21	9.18	9.10	9.21	0.07	0.73	92.1
2-甲基戊烷	9.32	9.21	9.22	9.24	9.24	9.13	9.23	0.06	0.65	92.3
1-己烯	9.30	9.27	9.23	9.23	9.22	9.13	9.23	0.06	0.64	92.3
3-甲基戊烷	9.14	9.06	9.00	8.97	8.95	8.85	9.00	0.10	1.10	90.0
正丁烷	9.21	9.02	8.89	8.85	8.82	8.65	8.91	0.19	2.15	89.1
正己烷	9.18	8.96	8.85	8.82	8.78	8.59	8.86	0.20	2.21	88.6
甲基环戊烷	9.29	9.20	9.16	9.15	9.15	8.97	9.15	0.10	1.13	91.5
2,4-二甲基戊烷	9.29	9.14	9.09	9.12	9.09	8.89	9.10	0.13	1.42	91.0
苯	9.28	9.19	9.15	9.17	9.15	8.94	9.15	0.11	1.22	91.5
环己烷	9.24	9.24	9.18	9.19	9.18	9.01	9.18	0.09	0.93	91.8
2-甲基己烷	9.33	9.25	9.18	9.16	9.12	8.96	9.17	0.13	1.38	91.7

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	标准偏差	相对标准偏差/%	加标回收率/%
1-丁烯	9.54	9.57	9.59	9.59	9.55	9.44	9.55	0.06	0.59	95.5
2,3-二甲基戊烷	9.42	9.51	9.52	9.59	9.59	9.42	9.51	0.08	0.82	95.1
3-甲基己烷	9.08	9.12	9.01	8.98	8.93	8.81	8.99	0.11	1.21	89.9
反-2-丁烯	9.18	9.16	9.09	9.06	8.98	8.84	9.05	0.13	1.41	90.5
2,2,4-三甲基戊烷	9.10	9.11	9.02	9.00	8.92	8.83	9.00	0.11	1.18	90.0
庚烷	9.19	9.25	9.14	9.08	9.06	9.00	9.12	0.09	1.01	91.2
顺-2-丁烯	9.03	9.02	8.92	8.84	8.80	8.76	8.89	0.11	1.29	88.9
甲基环己烷	9.35	9.52	9.50	9.55	9.53	9.49	9.49	0.07	0.75	94.9
2,3,4-三甲基戊烷	9.21	9.40	9.45	9.45	9.41	9.42	9.39	0.09	0.98	93.9
甲苯	9.53	9.57	9.58	9.59	9.53	9.58	9.56	0.03	0.27	95.6
2-甲基庚烷	9.12	9.19	9.22	9.19	9.12	9.09	9.16	0.05	0.56	91.6
3-甲基庚烷	9.15	9.18	9.20	9.18	9.06	9.07	9.14	0.06	0.67	91.4
辛烷	8.92	8.97	8.96	8.95	8.87	8.86	8.92	0.05	0.52	89.2
乙苯	9.00	9.31	9.43	9.53	9.55	9.62	9.41	0.23	2.41	94.1
间/对二甲苯	9.44	9.59	9.70	9.78	9.80	9.86	9.70	0.16	1.63	97.0
苯乙烯	8.55	8.84	9.06	8.98	9.15	9.13	8.95	0.23	2.57	89.5
邻二甲苯	9.52	9.65	9.70	9.75	9.75	9.77	9.69	0.10	0.98	96.9
壬烷	8.44	8.63	8.61	8.59	8.58	8.55	8.57	0.07	0.76	85.7
异丙苯	8.99	9.23	9.30	9.35	9.39	9.42	9.28	0.16	1.68	92.8
丙基苯	8.56	9.21	9.28	9.33	9.32	9.40	9.18	0.31	3.40	91.8
间乙基甲苯	9.07	9.37	9.47	9.51	9.61	9.57	9.43	0.20	2.08	94.3
对乙基甲苯	9.21	9.26	9.32	9.29	9.23	9.29	9.27	0.04	0.46	92.7
均三甲	8.65	9.31	9.30	9.20	9.47	9.43	9.23	0.30	3.23	92.3

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	标准偏差	相对标准偏差/%	加标回收率/%
苯										
邻乙基甲苯	8.84	8.99	9.10	9.15	9.08	9.19	9.06	0.13	1.38	90.6
1,2,4-三甲苯	8.66	8.85	8.93	9.14	9.20	9.22	9.00	0.22	2.48	90.0
癸烷	8.64	8.82	8.74	8.76	8.78	8.69	8.74	0.06	0.73	87.4
1,2,3-三甲苯	8.71	8.96	8.93	9.03	9.22	9.25	9.02	0.20	2.23	90.2
间二乙苯	8.37	8.82	8.86	8.99	9.09	9.06	8.86	0.27	3.01	88.6
对二乙苯	8.83	8.75	8.82	8.91	9.02	9.05	8.90	0.12	1.33	89.0
十一烷	8.29	8.18	8.28	8.51	8.55	8.59	8.40	0.17	2.01	84.0
十二烷	8.47	8.60	8.76	8.99	8.89	8.92	8.77	0.20	2.30	87.7

附表 1-5 加标量为 10.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 6）

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
乙烷	9.13	9.39	9.85	8.44	9.98	9.07	9.31	93.1	0.56	6.1
乙烯	9.78	9.86	9.87	9.48	10.6	9.67	9.9	98.8	0.40	4.0
乙炔	9.35	9.31	9.32	9.74	9.48	9.60	9.47	94.7	0.17	1.8
丙烷	9.95	9.99	9.93	10.0	9.35	9.18	9.74	97.4	0.37	3.8
2-甲基丁烷	9.52	9.60	9.74	9.87	10.16	10.21	9.85	98	0.29	2.9
1-戊烯	10.9	11.0	11.2	11.3	11.6	11.7	11.3	113	0.32	2.9
正戊烷	10.9	11.1	11.3	11.4	11.7	11.8	11.4	114	0.35	3.1
异戊二烯	10.7	10.8	11.0	11.1	11.4	11.5	11.1	111	0.32	2.9
反-2-戊烯	10.8	11.0	11.2	11.3	11.6	11.7	11.3	113	0.33	2.9
顺-2-戊烯	10.8	11.0	11.2	11.3	11.6	11.7	11.2	112	0.33	2.9
2,2-二甲基丁烷	11.2	11.4	11.6	11.7	12.1	12.2	11.7	117	0.38	3.2
丙烯	8.30	8.19	8.27	8.24	8.48	8.44	8.32	83.2	0.11	1.4
环戊烷	10.5	10.7	10.8	10.9	13.0	11.2	11.2	112	0.91	8.1
2,3-二甲基丁烷	10.9	11.0	11.3	11.4	11.6	11.8	11.3	113	0.35	3.1
异丁烷	10.6	10.6	10.6	10.6	11.0	10.9	10.7	107	0.18	1.7
2-甲基戊烷	10.9	11.0	11.3	11.3	11.7	11.8	11.3	113	0.36	3.2
1-己烯	10.9	11.1	11.3	11.4	11.8	11.9	11.4	114	0.37	3.2

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
3-甲基戊烷	10.9	11.1	11.4	11.5	11.8	12.0	11.4	114	0.38	3.4
正丁烷	10.3	10.3	10.4	10.3	10.6	10.6	10.4	104	0.15	1.5
正己烷	10.7	10.8	11.1	11.2	11.5	11.8	11.2	112	0.40	3.6
甲基环戊烷	10.9	11.0	11.2	11.3	11.6	11.7	11.3	113	0.34	3.0
2,4-二甲基戊烷	11.1	11.3	11.5	11.7	12.0	12.2	11.6	116	0.42	3.6
苯	9.99	10.2	10.4	10.5	10.7	10.9	10.4	104	0.34	3.2
环己烷	10.7	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.1	111	0.34	3.0
2-甲基己烷	10.5	10.6	10.8	10.9	11.2	11.4	10.9	109	0.33	3.0
1-丁烯	10.2	10.1	10.1	10.1	10.5	10.5	10.3	103	0.18	1.8
2,3-二甲基戊烷	10.9	11.1	11.2	11.4	11.6	11.9	11.3	113	0.37	3.2
3-甲基己烷	10.7	10.9	11.1	11.2	11.4	11.7	11.2	112	0.37	3.3
反-2-丁烯	10.3	10.0	10.1	10.1	10.3	10.2	10.2	102	0.13	1.3
2,2,4-三甲基戊烷	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	12.0	11.4	114	0.40	3.5
庚烷	10.3	10.5	10.7	10.9	11.0	11.3	10.8	108	0.36	3.4
顺-2-丁烯	10.1	10.1	10.0	10.0	10.1	10.1	10.1	101	0.06	0.6
甲基环己烷	10.7	10.9	11.1	11.3	11.6	11.8	11.2	112	0.42	3.7
2,3,4-三甲基戊烷	10.6	10.9	11.1	11.3	11.4	11.8	11.2	112	0.42	3.8
甲苯	8.86	9.13	9.32	9.40	9.50	9.82	9.3	93	0.33	3.5
2-甲基庚烷	10.1	10.5	10.7	10.8	10.8	11.3	10.7	107	0.38	3.5
3-甲基庚烷	10.2	10.6	10.8	10.9	11.0	11.4	10.8	108	0.42	3.9
辛烷	9.51	9.93	10.1	10.2	10.2	10.7	10.1	101	0.38	3.8
乙苯	7.64	8.05	8.23	8.39	8.33	8.74	8.23	82.3	0.37	4.5
间/对二甲苯	7.45	7.82	8.00	8.14	8.09	8.52	8.00	80.0	0.35	4.4
苯乙烯	6.50	6.87	7.02	7.15	7.02	7.43	7.00	70.0	0.31	4.4
邻二甲苯	7.63	7.99	8.14	8.28	8.24	8.64	8.16	81.6	0.33	4.1
壬烷	8.57	8.95	9.13	9.29	9.19	9.65	9.1	91.3	0.36	3.9
异丙苯	7.66	8.02	8.09	8.30	8.23	8.59	8.15	81.5	0.31	3.8
丙基苯	7.26	7.64	7.78	7.94	7.90	8.26	7.80	78.0	0.34	4.3
间乙基甲苯	7.07	7.37	7.60	7.75	7.61	8.00	7.57	75.7	0.32	4.2
对乙基甲苯	7.06	7.37	7.60	7.75	7.61	8.00	7.56	75.6	0.32	4.3
均三甲苯	7.17	7.44	7.61	7.78	7.62	8.04	7.61	76.1	0.30	3.9
邻乙基甲苯	7.18	7.48	7.63	7.80	7.78	8.07	7.66	76.6	0.30	4.0
1,2,4-三甲苯	6.83	7.07	7.21	7.38	7.36	7.65	7.25	72.5	0.28	3.9
癸烷	7.46	7.76	7.89	8.05	7.96	8.34	7.91	79.1	0.30	3.7
1,2,3-三甲苯	9.79	10.0	10.2	10.3	10.3	10.6	10.2	102	0.28	2.8
间二乙苯	9.37	9.60	9.73	9.90	9.89	10.1	9.77	97.7	0.26	2.6

化合物	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	平均值	加标回收率(%)	标准偏差	相对标准偏差(%)
对二乙苯	9.44	9.68	9.79	9.95	9.91	10.2	9.82	98.2	0.25	2.6
十一烷	9.52	9.71	9.83	9.99	9.99	10.2	9.88	98.8	0.24	2.5
十二烷	8.72	8.87	8.85	9.06	9.10	9.11	8.95	89.5	0.16	1.8

附表 1-6 加标量为 18.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 1）

加标量 18.0nmol/ mol	测定结果/nmol/mol						平均值 /nmol/m ol	标准 偏差	相对标准 偏差/%	加标回收 率/%
	第一 次	第二 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次				
乙烷	17.8	17.9	18.0	18.9	18.0	18.0	18.1	0.39	2.14	100
乙烯	18.0	18.0	18.2	18.0	18.2	18.1	18.1	0.11	0.63	100
乙炔	18.3	18.2	18.1	18.2	18.1	18.3	18.2	0.11	0.60	101
丙烷	18.0	17.8	18.3	16.8	17.2	17.3	17.6	0.53	3.05	98
2-甲基丁 烷	14.2	13.6	13.3	13.5	13.5	13.2	13.6	0.36	2.63	75
1-戊烯	16.6	15.7	15.4	15.5	15.6	15.2	15.7	0.45	2.90	87
正戊烷	16.5	15.7	15.4	15.6	15.6	15.3	15.7	0.43	2.77	87
异戊二烯	16.7	15.8	15.7	15.7	15.8	15.4	15.8	0.43	2.74	88
反-2-戊 烯	16.3	15.4	15.4	15.4	15.5	15.2	15.5	0.41	2.62	86
顺-2-戊 烯	16.3	15.4	15.4	15.4	15.5	15.2	15.5	0.41	2.62	86
2,2-二甲 基丁烷	16.7	15.9	15.8	15.8	15.8	15.5	15.9	0.41	2.59	89
丙烯	15.0	15.0	15.3	15.0	15.0	15.0	15.0	0.14	0.95	84
环戊烷	15.6	14.9	15.0	14.9	14.8	16.8	15.3	0.77	4.99	85
2,3-二甲 基丁烷	16.3	15.5	15.6	15.7	15.6	15.5	15.7	0.31	1.96	87
异丁烷	18.3	17.4	19.3	18.6	19.3	18.8	18.6	0.69	3.72	103
2-甲基戊 烷	16.5	15.6	15.9	15.8	15.7	15.6	15.8	0.34	2.12	88
1-己烯	16.7	15.7	16.1	16.0	15.9	15.7	16.0	0.35	2.20	89
3-甲基戊 烷	16.9	15.9	16.3	16.3	16.2	16.0	16.3	0.36	2.18	90
正丁烷	18.2	17.2	19.1	18.6	18.9	18.5	18.4	0.65	3.53	102
正己烷	16.6	15.6	16.3	16.3	16.2	15.9	16.2	0.35	2.16	90
甲基环戊 烷	16.2	15.3	15.9	15.9	15.8	15.6	15.8	0.32	2.00	88
2,4-二甲 基戊烷	16.5	15.5	16.4	16.4	16.3	16.1	16.2	0.38	2.34	90

加标量 18.0nmol/ mol	测定结果/nmol/mol						平均值 /nmol/m ol	标准 偏差	相对标准 偏差/%	加标回收 率/%
	第一 次	第二 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次				
乙烷	17.8	17.9	18.0	18.9	18.0	18.0	18.1	0.39	2.14	100
苯	17.5	16.4	17.5	17.3	17.2	16.9	17.1	0.40	2.32	95
环己烷	16.2	15.3	16.0	15.9	15.8	15.6	15.8	0.33	2.08	88
2-甲基己 烷	15.6	14.6	15.6	15.7	15.6	15.4	15.4	0.41	2.68	86
1-丁烯	18.9	18.2	19.1	18.7	18.8	18.7	18.7	0.30	1.59	104
2,3-二甲 基戊烷	16.3	15.2	16.3	16.2	16.2	16.0	16.0	0.41	2.54	89
3-甲基己 烷	16.3	15.2	16.4	16.4	16.4	16.1	16.1	0.46	2.84	90
反-2-丁 烯	18.7	18.1	17.2	18.8	18.9	18.7	18.4	0.66	3.56	102
2,2,4-三 甲基戊烷	16.4	15.1	16.4	16.5	16.4	16.2	16.2	0.53	3.26	90
庚烷	16.5	15.2	16.7	16.7	16.6	16.4	16.4	0.57	3.46	91
顺-2-丁 烯	18.8	18.3	18.4	18.1	18.3	18.1	18.3	0.25	1.35	102
甲基环己 烷	17.2	16.0	17.2	17.3	17.1	16.9	16.9	0.49	2.91	94
2,3,4-三 甲基戊烷	17.1	15.6	17.1	17.2	17.1	16.8	16.8	0.62	3.66	93
甲苯	19.2	17.6	19.4	19.2	19.1	18.7	18.9	0.68	3.58	105
2-甲基庚 烷	17.3	15.7	17.3	17.3	17.2	16.9	16.9	0.64	3.80	94
3-甲基庚 烷	17.4	15.8	17.4	17.4	17.3	17.0	17.0	0.65	3.79	95
辛烷	17.8	16.2	17.8	17.8	17.7	17.4	17.4	0.63	3.59	97
乙苯	21.3	19.4	21.1	21.2	21.0	20.6	20.8	0.70	3.39	115
间/对二 甲苯	21.1	21.3	21.1	21	20.9	20.5	21.0	0.27	1.29	117
苯乙烯	21.1	19.2	21.0	20.8	20.6	20.3	20.5	0.71	3.46	114
邻二甲苯	21.2	19.6	21.1	20.9	20.8	20.4	20.6	0.60	2.93	115
壬烷	20.0	18.6	19.8	19.7	19.6	19.3	19.5	0.51	2.63	108
异丙苯	21.6	20.1	21.4	21.5	21.2	20.9	21.1	0.53	2.53	117
丙基苯	22.1	20.6	22.0	21.7	21.5	21.0	21.5	0.57	2.7	119
间乙基甲 苯	21.2	19.9	20.8	20.7	20.7	20.3	20.6	0.46	2.21	115
对乙基甲 苯	21.2	19.9	20.9	20.7	20.6	20.3	20.6	0.47	2.29	114
均三甲苯	21.0	19.8	20.7	20.5	20.4	20.0	20.4	0.44	2.15	113

加标量 18.0nmol/ mol	测定结果/nmol/mol						平均值 /nmol/m ol	标准 偏差	相对标准 偏差/%	加标回收 率/%
	第一 次	第二 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次				
乙烷	17.8	17.9	18.0	18.9	18.0	18.0	18.1	0.39	2.14	100
邻乙基甲 苯	21.4	20.2	21.2	20.9	20.8	20.4	20.8	0.46	2.21	116
1,2,4-三 甲苯	20.5	19.5	20.3	20.2	20.0	19.6	20.0	0.39	1.96	111
癸烷	21.8	20.8	21.5	21.1	21.0	20.6	21.1	0.44	2.08	117
1,2,3-三 甲苯	20.7	19.7	20.5	20.2	20.0	19.7	20.1	0.42	2.09	112
间二乙苯	20.2	19.1	24.6	19.6	19.4	18.9	20.3	2.14	10.55	113
对二乙苯	20.2	19.3	20.1	19.6	19.5	19.2	19.7	0.43	2.20	109
十一烷	20.8	20.1	20.6	20.8	21.1	20.1	20.6	0.42	2.03	114
十二烷	22.8	22.1	21.9	20.7	20.9	20.0	21.4	1.05	4.92	119

附表 1-6 加标量为 18.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 2）

加标量 18.0nmol/mol	测定结果/nmol/mol						平均 值 /nmol/ mol	标准 偏差	相对标 准偏差 /%	加标 回收 率/%
	第一 次	第二 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次				
乙烷	17.6	17.7	17.3	18.0	18.2	18.4	17.9	0.41	2.28	99.3
乙烯	17.3	17.5	18.6	18.2	18.0	17.2	17.8	0.55	3.09	98.9
乙炔	17.5	17.3	17.5	17.1	17.8	17.3	17.4	0.24	1.38	96.8
丙烷	18.7	18.3	18.0	18.3	17.8	18.0	18.2	0.31	1.72	101
2-甲基丁烷	15.3	15.4	15.2	15.0	14.8	14.4	15.0	0.37	2.44	83.5
1-戊烯	17.8	17.5	17.3	17.1	17.1	16.4	17.2	0.46	2.69	95.6
正戊烷	17.8	17.7	17.5	17.2	17.2	16.5	17.3	0.46	2.64	96.2
异戊二烯	17.9	17.5	17.3	17.1	17.1	16.5	17.2	0.49	2.83	95.8
反-2-戊烯	17.6	17.2	17.1	16.8	16.8	16.1	16.9	0.49	2.92	94.1
顺-2-戊烯	17.6	17.3	17.1	16.8	16.8	16.1	16.9	0.50	2.93	94.1
2,2-二甲基丁 烷	18.1	17.8	17.6	17.4	17.2	16.6	17.5	0.52	2.99	97.0
丙烯	15.8	15.3	15.1	15.2	15.0	15.0	15.2	0.28	1.86	84.6
环戊烷	17.2	16.9	18.9	18.7	16.3	15.8	17.3	1.25	7.20	96.1
2,3-二甲基丁 烷	17.6	17.0	16.9	16.6	16.5	16.0	16.8	0.54	3.25	93.1
异丁烷	19.3	19.4	18.4	18.6	18.3	17.8	18.6	0.61	3.28	103
2-甲基戊烷	17.8	17.2	17.0	16.6	16.8	16.1	16.9	0.58	3.46	93.9
1-己烯	17.9	17.4	17.1	16.8	16.9	16.1	17.0	0.60	3.50	94.7
3-甲基戊烷	18.2	17.7	17.5	17.1	17.2	16.5	17.4	0.59	3.38	96.5
正丁烷	19.0	18.9	18.5	18.6	18.6	18.5	18.7	0.24	1.29	104
正己烷	17.9	17.4	17.1	16.8	16.9	16.1	17.1	0.60	3.50	94.7

甲基环戊烷	17.6	17.1	16.8	16.5	16.5	15.8	16.7	0.61	3.64	92.8
2,4-二甲基戊烷	17.6	17.6	17.1	16.8	16.8	16.0	17.0	0.62	3.62	94.3
苯	19.2	18.9	18.4	18.1	18.0	17.3	18.3	0.67	3.64	102
环己烷	17.5	17.2	16.8	16.5	16.5	15.8	16.7	0.61	3.66	92.8
2-甲基己烷	16.8	16.9	16.2	16.0	15.9	15.2	16.2	0.63	3.93	89.8
1-丁烯	19.7	19.3	19.0	18.8	18.9	18.6	19.1	0.41	2.15	106
2,3-二甲基戊烷	17.6	17.5	16.8	20.8	16.5	15.8	17.5	1.72	9.83	97.2
3-甲基己烷	17.6	17.7	17.1	16.8	16.7	15.9	17.0	0.67	3.93	94.3
反-2-丁烯	19.9	19.3	19.1	19.0	19.0	18.8	19.2	0.37	1.94	107
2,2,4-三甲基戊烷	17.7	18.0	17.3	17.0	16.9	16.0	17.2	0.68	3.96	95.3
庚烷	17.9	18.2	17.5	17.2	17.1	16.2	17.3	0.70	4.05	96.3
顺-2-丁烯	19.5	18.7	18.4	18.5	18.5	18.6	18.7	0.39	2.08	104
甲基环己烷	18.6	18.7	18.0	17.7	17.6	16.8	17.9	0.70	3.89	100
2,3,4-三甲基戊烷	18.6	19.0	18.3	18.1	17.8	16.9	18.1	0.72	3.97	101
甲苯	21.3	21.1	20.7	20.4	20.2	19.2	20.5	0.75	3.64	114
2-甲基庚烷	19.0	19.2	18.5	18.3	18.0	17.2	18.4	0.72	3.92	102
3-甲基庚烷	19.1	19.3	18.7	18.5	18.2	17.3	18.6	0.71	3.85	103
辛烷	19.7	19.7	19.1	18.9	18.7	17.9	19.0	0.67	3.52	106
乙苯	20.6	20.7	20.1	18.9	19.5	19.7	19.9	0.69	3.46	111
间/对二甲苯	19.8	20.7	20.0	19.0	18.9	18.4	19.5	0.85	4.35	108
苯乙烯	18.9	18.4	17.9	17.7	17.3	16.6	17.8	0.80	4.49	98.8
邻二甲苯	18.8	18.5	17.9	17.7	17.3	16.5	17.8	0.81	4.55	98.7
壬烷	17.4	17.1	16.5	16.3	15.9	15.3	16.4	0.77	4.68	91.1
异丙苯	19.2	19.0	18.4	18.1	17.6	17.0	18.2	0.83	4.57	101
丙基苯	20.0	19.5	18.9	18.7	18.2	17.5	18.8	0.91	4.8	104
间乙基甲苯	17.8	18.4	17.8	17.6	17.4	16.6	17.6	0.60	3.43	97.9
对乙基甲苯	19.1	18.4	17.7	17.6	17.4	16.6	17.8	0.86	4.85	99.0
均三甲苯	18.5	18.2	17.4	17.2	17.0	16.5	17.5	0.75	4.29	97.1
邻乙基甲苯	19.2	18.7	18.1	17.9	17.4	16.9	18.0	0.84	4.66	100
1,2,4-三甲苯	18.1	17.7	17.1	17.0	16.5	16.1	17.1	0.76	4.44	94.9
癸烷	19.6	18.9	18.3	18.1	17.6	17.2	18.3	0.87	4.73	102
1,2,3-三甲苯	18.4	17.9	17.4	17.0	16.7	16.3	17.3	0.78	4.52	95.9
间二乙苯	20.1	16.9	16.5	16.4	16.0	15.5	16.9	1.64	9.71	93.9
对二乙苯	18.0	17.3	16.9	16.6	16.1	15.7	16.7	0.83	4.94	93.0
十一烷	22.0	21.0	20.4	20.2	19.6	19.3	20.4	0.99	4.85	114
十二烷	20.5	18.9	18.6	18.6	18.2	17.9	18.8	0.92	4.90	104

附表 1-6 加标量为 18.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 3）

加标量	测定结果/nmol/mol	平均	标准	相对	加标回
-----	---------------	----	----	----	-----

18.0nmol/mol	第一次	第二次	第三次	第三次	第四次	第五次	值 /nmol/ mol	偏差	标准 偏差 /%	收率/%
乙烷	17.6	17.7	16.3	16.8	17.6	16.4	17.1	0.64	3.78	94.8
乙烯	17.3	18.2	17.5	17.8	16.5	17.7	17.5	0.57	3.28	97.2
乙炔	18.1	17.3	17.5	18.1	18.8	18.3	18.0	0.55	3.03	100
丙烷	18.7	18.3	18.0	18.3	17.8	18.0	18.2	0.31	1.72	101
2-甲基丁烷	15.3	15.4	15.2	15.0	14.8	14.4	15.0	0.37	2.44	83.5
1-戊烯	17.8	17.5	17.3	17.1	17.1	16.4	17.2	0.46	2.69	95.6
正戊烷	17.8	17.7	17.5	17.2	17.2	16.5	17.3	0.46	2.64	96.2
异戊二烯	17.9	17.5	17.3	17.1	17.1	16.5	17.2	0.49	2.83	95.8
反-2-戊烯	17.6	17.2	17.1	16.8	16.8	16.1	16.9	0.49	2.92	94.1
顺-2-戊烯	17.6	17.3	17.1	16.8	16.8	16.1	16.9	0.50	2.93	94.1
2,2-二甲基丁烷	18.1	17.8	17.6	17.4	17.2	16.6	17.5	0.52	2.99	97.0
丙烯	15.8	15.3	15.1	15.2	15.0	15.0	15.2	0.28	1.86	84.6
环戊烷	17.2	16.9	18.9	18.7	16.3	15.8	17.3	1.25	7.20	96.1
2,3-二甲基丁烷	17.6	17.0	16.9	16.6	16.5	16.0	16.8	0.54	3.25	93.1
异丁烷	19.3	19.4	18.4	18.6	18.3	17.8	18.6	0.61	3.28	103
2-甲基戊烷	17.8	17.2	17.0	16.6	16.8	16.1	16.9	0.58	3.46	93.9
1-己烯	17.9	17.4	17.1	16.8	16.9	16.1	17.0	0.60	3.50	94.7
3-甲基戊烷	18.2	17.7	17.5	17.1	17.2	16.5	17.4	0.59	3.38	96.5
正丁烷	19.0	18.9	18.5	18.6	18.6	18.5	18.7	0.24	1.29	104
正己烷	17.9	17.4	17.1	16.8	16.9	16.1	17.1	0.60	3.50	94.7
甲基环戊烷	17.6	17.1	16.8	16.5	16.5	15.8	16.7	0.61	3.64	92.8
2,4-二甲基戊烷	17.6	17.6	17.1	16.8	16.8	16.0	17.0	0.62	3.62	94.3
苯	19.2	18.9	18.4	18.1	18.0	17.3	18.3	0.67	3.64	102
环己烷	17.5	17.2	16.8	16.5	16.5	15.8	16.7	0.61	3.66	92.8
2-甲基己烷	16.8	16.9	16.2	16.0	15.9	15.2	16.2	0.63	3.93	89.8
1-丁烯	19.7	19.3	19.0	18.8	18.9	18.6	19.1	0.41	2.15	106
2,3-二甲基戊烷	17.6	17.5	16.8	20.8	16.5	15.8	17.5	1.72	9.83	97.2
3-甲基己烷	17.6	17.7	17.1	16.8	16.7	15.9	17.0	0.67	3.93	94.3
反-2-丁烯	19.9	19.3	19.1	19.0	19.0	18.8	19.2	0.37	1.94	107
2,2,4-三甲基戊烷	17.7	18.0	17.3	17.0	16.9	16.0	17.2	0.68	3.96	95.3
庚烷	17.9	18.2	17.5	17.2	17.1	16.2	17.3	0.70	4.05	96.3
顺-2-丁烯	19.5	18.7	18.4	18.5	18.5	18.6	18.7	0.39	2.08	104
甲基环己烷	18.6	18.7	18.0	17.7	17.6	16.8	17.9	0.70	3.89	100
2,3,4-三甲基戊烷	18.6	19.0	18.3	18.1	17.8	16.9	18.1	0.72	3.97	101

甲苯	21.3	21.1	20.7	20.4	20.2	19.2	20.5	0.75	3.64	114
2-甲基庚烷	19.0	19.2	18.5	18.3	18.0	17.2	18.4	0.72	3.92	102
3-甲基庚烷	19.1	19.3	18.7	18.5	18.2	17.3	18.6	0.71	3.85	103
辛烷	19.7	19.7	19.1	18.9	18.7	17.9	19.0	0.67	3.52	106
乙苯	18.6	18.7	18.1	18.0	17.5	16.7	17.9	0.77	4.31	100
间/对二甲苯	18.9	18.7	18.0	17.8	17.4	16.4	17.9	0.89	4.96	99
苯乙烯	18.9	18.4	17.9	17.7	17.3	16.6	17.8	0.80	4.49	98.8
邻二甲苯	18.8	18.5	17.9	17.7	17.3	16.5	17.8	0.81	4.55	98.7
壬烷	17.4	17.1	16.5	16.3	15.9	15.3	16.4	0.77	4.68	91.1
异丙苯	19.2	19.0	18.4	18.1	17.6	17.0	18.2	0.83	4.57	101
丙基苯	20.0	19.5	18.9	18.7	18.2	17.5	18.8	0.91	4.8	104
间乙基甲苯	17.8	18.4	17.8	17.6	17.4	16.6	17.6	0.60	3.43	97.9
对乙基甲苯	19.1	18.4	17.7	17.6	17.4	16.6	17.8	0.86	4.85	99.0
均三甲苯	18.5	18.2	17.4	17.2	17.0	16.5	17.5	0.75	4.29	97.1
邻乙基甲苯	19.2	18.7	18.1	17.9	17.4	16.9	18.0	0.84	4.66	100
1,2,4-三甲苯	18.1	17.7	17.1	17.0	16.5	16.1	17.1	0.76	4.44	94.9
癸烷	19.6	18.9	18.3	18.1	17.6	17.2	18.3	0.87	4.73	102
1,2,3-三甲苯	18.4	17.9	17.4	17.0	16.7	16.3	17.3	0.78	4.52	95.9
间二乙苯	23.1	16.9	16.5	16.4	16.0	15.5	17.4	2.85	16.36	96.7
对二乙苯	18.0	17.3	16.9	16.6	16.1	15.7	16.7	0.83	4.94	93.0
十一烷	22.0	21.0	20.4	20.2	19.6	19.3	20.4	0.99	4.85	114
十二烷	20.5	18.9	18.6	18.6	18.2	17.9	18.8	0.92	4.90	104

附表 1-6 加标量为 18.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 4）

加标量 18.0nmol/mol	测定结果/nmol/mol						平均 值 /nmol/ mol	标准 偏差	相对标 准偏差 /%	加标 回收 率/%
	第一 次	第二 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次				
乙烷	18.4	18.1	18.3	17.8	17.9	18.2	18.1	0.23	1.28	101
乙烯	17.8	16.9	18.3	18.2	17.9	17.3	17.7	0.54	3.04	98.5
乙炔	17.2	17.5	18.6	18.3	18.0	17.5	17.9	0.54	3.02	99.2
丙烷	18.0	17.8	18.3	16.8	17.2	17.2	17.5	0.55	3.12	97.4
2-甲基丁烷	14.2	13.6	13.3	13.5	13.5	13.2	13.6	0.36	2.63	75.3
1-戊烯	16.6	15.7	15.4	15.5	15.6	15.2	15.7	0.45	2.90	87.1
正戊烷	16.5	15.7	15.4	15.6	15.6	15.3	15.7	0.43	2.77	87.1
异戊二烯	16.7	15.8	15.7	15.7	15.8	15.4	15.8	0.43	2.74	87.9
反-2-戊烯	16.3	15.4	15.4	15.4	15.5	15.2	15.5	0.41	2.62	86.3
顺-2-戊烯	16.3	15.4	15.4	15.4	15.5	15.2	15.5	0.41	2.62	86.3
2,2-二甲基丁烷	16.7	15.9	15.8	15.8	15.8	15.5	15.9	0.41	2.59	88.6
丙烯	15.0	15.0	15.3	15.0	15.0	15.0	15.0	0.14	0.95	83.6
环戊烷	15.6	14.9	15.0	14.9	14.8	16.8	15.3	0.77	4.99	85.2
2,3-二甲基丁	16.3	15.5	15.6	15.7	15.6	15.5	15.7	0.31	1.96	87.2

烷										
异丁烷	18.3	17.4	19.3	18.6	19.3	18.8	18.6	0.69	3.72	103
2-甲基戊烷	16.5	15.6	15.9	15.8	15.7	15.6	15.8	0.34	2.12	88.0
1-己烯	16.7	15.7	16.1	16.0	15.9	15.7	16.0	0.35	2.20	88.9
3-甲基戊烷	16.9	15.9	16.3	16.3	16.2	16.0	16.3	0.36	2.18	90.4
正丁烷	18.2	17.2	19.1	18.6	18.9	18.5	18.4	0.65	3.53	102
正己烷	16.6	15.6	16.3	16.3	16.2	15.9	16.2	0.35	2.16	89.8
甲基环戊烷	16.2	15.3	15.9	15.9	15.8	15.6	15.8	0.32	2.00	87.8
2,4-二甲基戊烷	16.5	15.5	16.4	16.4	16.3	16.1	16.2	0.38	2.34	90.0
苯	17.5	16.4	17.5	17.3	17.2	16.9	17.1	0.40	2.32	95.3
环己烷	16.2	15.3	16.0	15.9	15.8	15.6	15.8	0.33	2.08	87.9
2-甲基己烷	15.6	14.6	15.6	15.7	15.6	15.4	15.4	0.41	2.68	85.7
1-丁烯	18.9	18.2	19.1	18.7	18.8	18.7	18.7	0.30	1.59	104
2,3-二甲基戊烷	16.3	15.2	16.3	16.2	16.2	16.0	16.0	0.41	2.54	89.1
3-甲基己烷	16.3	15.2	16.4	16.4	16.4	16.1	16.1	0.46	2.84	89.7
反-2-丁烯	18.7	18.1	17.2	18.8	18.9	18.7	18.4	0.66	3.56	102
2,2,4-三甲基戊烷	16.4	15.1	16.4	16.5	16.4	16.2	16.2	0.53	3.26	89.9
庚烷	16.5	15.2	16.7	16.7	16.6	16.4	16.4	0.57	3.46	90.9
顺-2-丁烯	18.8	18.3	18.4	18.1	18.3	18.1	18.3	0.25	1.35	102
甲基环己烷	17.2	16.0	17.2	17.3	17.1	16.9	16.9	0.49	2.91	94.1
2,3,4-三甲基戊烷	17.1	15.6	17.1	17.2	17.1	16.8	16.8	0.62	3.66	93.4
甲苯	19.2	17.6	19.4	19.2	19.1	18.7	18.9	0.68	3.58	105
2-甲基庚烷	17.3	15.7	17.3	17.3	17.2	16.9	16.9	0.64	3.80	94.1
3-甲基庚烷	17.4	15.8	17.4	17.4	17.3	17.0	17.0	0.65	3.79	94.7
辛烷	17.8	16.2	17.8	17.8	17.7	17.4	17.4	0.63	3.59	96.9
乙苯	21.3	19.4	21.1	21.2	21.0	20.6	20.8	0.70	3.39	115
间/对二甲苯	21.1	21.3	21.1	21	20.9	20.5	21.0	0.27	1.29	117
苯乙烯	21.1	19.2	21.0	20.8	20.6	20.3	20.5	0.71	3.46	114
邻二甲苯	21.2	19.6	21.1	20.9	20.8	20.4	20.6	0.60	2.93	115
壬烷	20.0	18.6	19.8	19.7	19.6	19.3	19.5	0.51	2.63	108
异丙苯	21.6	20.1	21.4	21.5	21.2	20.9	21.1	0.53	2.53	117
丙基苯	22.1	20.6	22.0	21.7	21.5	21.0	21.5	0.57	2.7	119
间乙基甲苯	21.2	19.9	20.8	20.7	20.7	20.3	20.6	0.46	2.21	115
对乙基甲苯	21.2	19.9	20.9	20.7	20.6	20.3	20.6	0.47	2.29	114
均三甲苯	21.0	19.8	20.7	20.5	20.4	20.0	20.4	0.44	2.15	113
邻乙基甲苯	21.4	20.2	21.2	20.9	20.8	20.4	20.8	0.46	2.21	116
1,2,4-三甲苯	20.5	19.5	20.3	20.2	20.0	19.6	20.0	0.39	1.96	111
癸烷	21.8	20.8	21.5	21.1	21.0	20.6	21.1	0.44	2.08	117
1,2,3-三甲苯	20.7	19.7	20.5	20.2	20.0	19.7	20.1	0.42	2.09	112

间二乙苯	20.2	19.1	24.6	19.6	19.4	18.9	20.3	2.14	10.55	113
对二乙苯	20.2	19.3	20.1	19.6	19.5	19.2	19.7	0.43	2.20	109
十一烷	22.4	20.3	20.1	20.6	20.7	20.2	20.7	0.86	4.13	115
十二烷	20.8	20.1	20.9	20.7	20.9	20.0	20.6	0.41	2.02	114

附表 1-6 加标量为 18.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 5）

加标量 18.0nmol/mol	测定结果/nmol/mol						平均值 /nmol/mol	标准 偏差	相对标准 偏差 /%	加标 回收 率/%
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次				
乙烷	18.4	18.8	18.9	18.9	18.5	18.3	18.6	0.27	1.43	104
乙烯	18.1	18.5	18.2	17.9	17.8	17.4	18.0	0.38	2.09	99.9
乙炔	17.4	17.1	17.6	17.9	17.6	17.3	17.5	0.28	1.60	97.1
丙烷	17.7	17.6	17.7	17.8	17.6	17.7	17.7	0.05	0.29	98.3
2-甲基丁烷	16.4	16.2	16.0	15.7	15.4	15.1	15.8	0.50	3.16	87.8
1-戊烯	18.9	18.7	18.5	18.0	17.8	17.2	18.2	0.62	3.39	101
正戊烷	19.0	18.6	18.5	18.1	17.9	17.3	18.2	0.60	3.28	101
异戊二烯	19.2	19.0	18.7	18.2	17.9	17.3	18.4	0.70	3.83	102
反-2-戊烯	18.8	18.6	18.4	17.9	17.6	17.0	18.0	0.70	3.88	100
顺-2-戊烯	18.8	18.6	18.4	17.9	17.6	17.0	18.0	0.70	3.89	100
2,2-二甲基 丁烷	19.3	19.0	18.9	18.3	18.0	17.3	18.5	0.74	3.98	103
丙烯	14.9	14.8	14.9	15.0	14.9	15.0	14.9	0.06	0.42	82.9
环戊烷	18.2	17.8	17.7	17.4	19.5	18.9	18.3	0.79	4.33	101
2,3-二甲基 丁烷	18.9	18.8	18.6	17.9	17.6	16.8	18.1	0.83	4.57	100
异丁烷	18.6	18.5	18.6	18.3	18.2	18.6	18.5	0.17	0.92	103
2-甲基戊烷	19.0	18.8	18.7	18.0	17.6	16.9	18.2	0.83	4.55	101
1-己烯	19.3	19.1	18.9	18.2	17.7	17.0	18.4	0.87	4.73	102
3-甲基戊烷	19.6	19.4	19.2	18.4	18.0	17.3	18.7	0.88	4.70	104
正丁烷	18.5	18.5	18.7	18.8	18.4	18.6	18.6	0.13	0.69	103
正己烷	19.6	19.3	19.1	18.4	17.9	17.2	18.6	0.91	4.92	103
甲基环戊 烷	19.2	18.9	18.7	18.0	17.6	17.0	18.2	0.84	4.63	101
2,4-二甲基 戊烷	19.8	19.5	19.2	18.6	18.1	17.4	18.8	0.91	4.87	104
苯	21.2	20.9	20.6	20.0	19.4	18.7	20.1	0.95	4.74	112
环己烷	19.3	19.0	18.8	18.2	17.7	17.1	18.3	0.82	4.48	102
2-甲基己烷	18.9	18.6	18.4	17.9	17.4	16.9	18.0	0.76	4.24	100
1-丁烯	18.7	18.5	18.8	18.7	18.7	18.7	18.7	0.09	0.48	104
2,3-二甲基 戊烷	19.6	19.4	19.1	18.6	18.1	17.4	18.7	0.83	4.42	104
3-甲基己烷	19.9	19.6	19.2	18.8	18.3	17.7	18.9	0.82	4.33	105
反-2-丁烯	18.9	18.9	18.8	19.0	17.6	18.7	18.7	0.54	2.88	104

2,2,4-三甲基戊烷	19.9	19.6	19.2	18.9	18.4	17.8	19.0	0.77	4.08	105
庚烷	20.1	19.8	19.4	19.1	18.6	18.0	19.2	0.78	4.06	107
顺-2-丁烯	18.4	18.3	18.6	18.5	18.2	18.3	18.4	0.12	0.66	102
甲基环己烷	20.9	20.6	20.2	19.7	19.2	18.5	19.8	0.89	4.47	110
2,3,4-三甲基戊烷	20.7	20.5	19.9	19.7	19.2	18.7	19.8	0.76	3.83	110
甲苯	20.4	20.1	22.3	22.2	21.6	21.1	21.3	0.86	3.86	118
2-甲基庚烷	20.8	20.6	20.0	19.8	19.4	18.9	19.9	0.74	3.72	111
3-甲基庚烷	21.0	20.8	20.1	20.0	19.5	19.0	20.1	0.77	3.83	111
辛烷	21.3	21.2	20.4	20.4	19.9	19.4	20.5	0.72	3.53	114
乙苯	19.5	19.5	18.2	18.4	17.7	17.1	18.4	0.97	5.28	102
间/对二甲苯	19.4	19.1	18.1	18.3	17.5	18.2	18.4	0.70	3.78	102
苯乙烯	19.1	19.1	17.7	18.0	17.3	16.7	18.0	0.96	5.36	100
邻二甲苯	19.3	19.2	18.0	18.1	17.5	16.9	18.2	0.92	5.07	101
壬烷	17.7	17.6	16.6	16.8	16.2	15.7	16.8	0.78	4.67	93
异丙苯	20.1	19.9	18.8	18.9	18.2	17.5	18.9	0.99	5.22	105
丙基苯	20.4	20.2	18.9	19.2	18.5	18.0	19.2	0.94	4.9	107
间乙基甲苯	19.3	19.0	17.8	18.1	17.6	16.9	18.1	0.91	5.02	101
对乙基甲苯	19.3	19.1	17.9	18.1	17.6	16.9	18.1	0.91	5.00	101
均三甲苯	18.9	18.7	17.6	17.8	17.2	16.6	17.8	0.88	4.94	99
邻乙基甲苯	19.5	19.3	18.2	18.3	17.7	17.2	18.4	0.90	4.92	102
1,2,4-三甲苯	18.6	18.3	17.2	17.4	16.9	16.3	17.4	0.86	4.94	97
癸烷	19.7	19.5	18.4	18.6	18.1	17.6	18.7	0.80	4.31	104
1,2,3-三甲苯	18.8	18.4	17.4	17.6	17.0	16.4	17.6	0.91	5.16	98
间二乙苯	17.8	17.5	16.4	16.7	16.1	15.6	16.7	0.85	5.09	93
对二乙苯	18.0	17.7	16.6	16.9	16.3	15.8	16.9	0.85	5.04	94
十一烷	22.1	21.6	20.4	20.7	20.1	19.5	20.8	0.96	4.64	115
十二烷	20.4	20.1	19.0	19.1	18.8	18.0	19.2	0.88	4.55	107

附表 1-6 加标量为 18.0nmol/mol 精密度、准确度测试数据表（实验室 6）

加标量 18.0nmol/mol	测定结果/nmol/mol						平均值 /nmol/ mol	标准 偏差	相对 标准 偏差 /%	加标 回收 率/%
	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五次	第六 次				
乙烷	18.6	18.6	18.7	18.8	18.2	18.4	16.9	4.06	1.17	93.8

乙烯	17.3	17.6	17.2	17.8	17.5	17.7	17.5	0.23	1.30	97.3
乙炔	18.5	18.3	18.5	18.1	18.8	18.3	18.4	0.24	1.30	102
丙烷	18.7	18.3	18.0	18.3	17.8	18.0	18.2	0.31	1.72	101
2-甲基丁烷	15.3	15.4	15.2	15.0	14.8	14.4	15.0	0.37	2.44	83.5
1-戊烯	17.8	17.5	17.3	17.1	17.1	16.4	17.2	0.46	2.69	95.6
正戊烷	17.8	17.7	17.5	17.2	17.2	16.5	17.3	0.46	2.64	96.2
异戊二烯	17.9	17.5	17.3	17.1	17.1	16.5	17.2	0.49	2.83	95.8
反-2-戊烯	17.6	17.2	17.1	16.8	16.8	16.1	16.9	0.49	2.92	94.1
顺-2-戊烯	17.6	17.3	17.1	16.8	16.8	16.1	16.9	0.50	2.93	94.1
2,2-二甲基丁烷	18.1	17.8	17.6	17.4	17.2	16.6	17.5	0.52	2.99	97.0
丙烯	15.8	15.3	15.1	15.2	15.0	15.0	15.2	0.28	1.86	84.6
环戊烷	17.2	16.9	18.9	18.7	16.3	15.8	17.3	1.25	7.20	96.1
2,3-二甲基丁烷	17.6	17.0	16.9	16.6	16.5	16.0	16.8	0.54	3.25	93.1
异丁烷	19.3	19.4	18.4	18.6	18.3	17.8	18.6	0.61	3.28	103
2-甲基戊烷	17.8	17.2	17.0	16.6	16.8	16.1	16.9	0.58	3.46	93.9
1-己烯	17.9	17.4	17.1	16.8	16.9	16.1	17.0	0.60	3.50	94.7
3-甲基戊烷	18.2	17.7	17.5	17.1	17.2	16.5	17.4	0.59	3.38	96.5
正丁烷	19.0	18.9	18.5	18.6	18.6	18.5	18.7	0.24	1.29	104
正己烷	17.9	17.4	17.1	16.8	16.9	16.1	17.1	0.60	3.50	94.7
甲基环戊烷	17.6	17.1	16.8	16.5	16.5	15.8	16.7	0.61	3.64	92.8
2,4-二甲基戊烷	17.6	17.6	17.1	16.8	16.8	16.0	17.0	0.62	3.62	94.3
苯	19.2	18.9	18.4	18.1	18.0	17.3	18.3	0.67	3.64	102
环己烷	17.5	17.2	16.8	16.5	16.5	15.8	16.7	0.61	3.66	92.8
2-甲基己烷	16.8	16.9	16.2	16.0	15.9	15.2	16.2	0.63	3.93	89.8
1-丁烯	19.7	19.3	19.0	18.8	18.9	18.6	19.1	0.41	2.15	106
2,3-二甲基戊烷	17.6	17.5	16.8	20.8	16.5	15.8	17.5	1.72	9.83	97.2
3-甲基己烷	17.6	17.7	17.1	16.8	16.7	15.9	17.0	0.67	3.93	94.3
反-2-丁烯	19.9	19.3	19.1	19.0	19.0	18.8	19.2	0.37	1.94	107
2,2,4-三甲基戊烷	17.7	18.0	17.3	17.0	16.9	16.0	17.2	0.68	3.96	95.3
庚烷	17.9	18.2	17.5	17.2	17.1	16.2	17.3	0.70	4.05	96.3
顺-2-丁烯	19.5	18.7	18.4	18.5	18.5	18.6	18.7	0.39	2.08	104
甲基环己烷	18.6	18.7	18.0	17.7	17.6	16.8	17.9	0.70	3.89	100
2,3,4-三甲基戊烷	18.6	19.0	18.3	18.1	17.8	16.9	18.1	0.72	3.97	101
甲苯	21.3	21.1	20.7	20.4	20.2	19.2	20.5	0.75	3.64	114
2-甲基庚烷	19.0	19.2	18.5	18.3	18.0	17.2	18.4	0.72	3.92	102
3-甲基庚烷	19.1	19.3	18.7	18.5	18.2	17.3	18.6	0.71	3.85	103
辛烷	19.7	19.7	19.1	18.9	18.7	17.9	19.0	0.67	3.52	106

乙苯	18.6	18.7	18.1	18.0	17.5	16.7	17.9	0.77	4.31	100
间/对二甲苯	18.9	18.7	18.0	17.8	17.4	16.4	17.9	0.89	4.96	99.3
苯乙烯	18.9	18.4	17.9	17.7	17.3	16.6	17.8	0.80	4.49	98.8
邻二甲苯	18.8	18.5	17.9	17.7	17.3	16.5	17.8	0.81	4.55	98.7
壬烷	17.4	17.1	16.5	16.3	15.9	15.3	16.4	0.77	4.68	91.1
异丙苯	19.2	19.0	18.4	18.1	17.6	17.0	18.2	0.83	4.57	101
丙基苯	20.0	19.5	18.9	18.7	18.2	17.5	18.8	0.91	4.8	104
间乙基甲苯	17.8	18.4	17.8	17.6	17.4	16.6	17.6	0.60	3.43	97.9
对乙基甲苯	19.1	18.4	17.7	17.6	17.4	16.6	17.8	0.86	4.85	99.0
均三甲苯	18.5	18.2	17.4	17.2	17.0	16.5	17.5	0.75	4.29	97.1
邻乙基甲苯	19.2	18.7	18.1	17.9	17.4	16.9	18.0	0.84	4.66	100
1,2,4-三甲苯	18.1	17.7	17.1	17.0	16.5	16.1	17.1	0.76	4.44	94.9
癸烷	19.6	18.9	18.3	18.1	17.6	17.2	18.3	0.87	4.73	102
1,2,3-三甲苯	18.4	17.9	17.4	17.0	16.7	16.3	17.3	0.78	4.52	95.9
间二乙苯	20.1	16.9	16.5	16.4	16.0	15.5	16.9	1.64	9.71	93.9
对二乙苯	18.0	17.3	16.9	16.6	16.1	15.7	16.7	0.83	4.94	93.0
十一烷	22.0	21.0	20.4	20.2	19.6	19.3	20.4	0.99	4.85	114
十二烷	20.5	18.9	18.6	18.6	18.2	17.9	18.8	0.92	4.90	104

2. 方法验证数据汇总

2.1 方法检出限、测定下限、精密度数据汇总

对 6 家实验室方法验证结果中检出限、测定下限及精密度的统计结果见附表 2-1~附表

2-2:

附表 2-1 方法检出限、测定下限数据汇总表

化合物	实验室检出限 (µg/m³)						方法检出限 (µg/m³)	测定下限 (µg/m³)
	第一家	第二家	第三家	第四家	第五家	第六家		
乙烯	0.02	0.04	0.04	0.06	0.06	0.08	0.08	0.32
乙炔	0.02	0.04	0.04	0.05	0.04	0.09	0.09	0.36
乙烷	0.04	0.03	0.03	0.12	0.06	0.12	0.12	0.48
丙烯	0.13	0.08	0.04	0.15	0.06	0.15	0.15	0.60
丙烷	0.05	0.16	0.01	0.15	0.07	0.15	0.16	0.64
异丁烷	0.14	0.21	0.03	0.18	0.07	0.18	0.21	0.84
1-丁烯	0.13	0.12	0.01	0.11	0.10	0.20	0.20	0.80
正丁烷	0.15	0.12	0.01	0.14	0.15	0.11	0.15	0.60
反-2-丁烯	0.13	0.19	0.01	0.13	0.16	0.11	0.19	0.76
顺-2-丁烯	0.21	0.19	0.01	0.12	0.11	0.34	0.34	1.4
2-甲基丁烷	0.14	0.26	0.02	0.25	0.06	0.14	0.26	1.0
1-戊烯	0.06	0.08	0.16	0.12	0.04	0.10	0.16	0.64
正戊烷	0.15	0.09	0.02	0.16	0.03	0.07	0.16	0.64

异戊二烯	0.10	0.13	0.02	0.10	0.04	0.07	0.13	0.52
反-2-戊烯	0.14	0.28	0.59	0.12	0.04	0.08	0.59	2.4
顺-2-戊烯	0.14	0.28	0.01	0.19	0.04	0.08	0.28	1.1
2,2-二甲基丁烷	0.15	0.32	0.02	0.24	0.13	0.13	0.32	1.3
环戊烷	0.09	0.24	0.01	0.12	0.03	0.06	0.24	0.96
2,3-二甲基丁烷	0.12	0.25	0.18	0.28	0.12	0.31	0.31	1.2
2-甲基戊烷	0.08	0.13	0.02	0.26	0.19	0.38	0.38	1.5
3-甲基戊烷	0.10	0.24	0.01	0.23	0.12	0.31	0.31	1.2
1-己烯	0.08	0.19	0.02	0.27	0.13	0.28	0.28	1.1
正己烷	0.07	0.36	0.02	0.27	0.14	0.29	0.36	1.4
甲基环戊烷	0.11	0.24	0.03	0.25	0.12	0.25	0.25	1.0
2,4-二甲基戊烷	0.17	0.31	0.03	0.26	0.11	0.27	0.27	1.1
苯	0.28	0.27	0.23	0.21	0.21	0.15	0.28	1.1
环己烷	0.23	0.20	0.03	0.25	0.13	0.22	0.25	1.0
2-甲基己烷	0.17	0.24	0.03	0.26	0.14	0.25	0.26	1.0
2,3-二甲基戊烷	0.27	0.22	0.23	0.24	0.28	0.20	0.27	1.1
3-甲基己烷	0.17	0.19	0.02	0.32	0.11	0.26	0.32	1.3
2,2,4-三甲基戊烷	0.14	0.32	0.03	0.29	0.10	0.24	0.32	1.3
庚烷	0.21	0.36	0.32	0.33	0.21	0.62	0.62	2.5
甲基环己烷	0.13	0.16	0.02	0.27	0.09	0.21	0.27	1.1
2,3,4-三甲基戊烷	0.15	0.15	0.02	0.31	0.09	0.23	0.31	1.2
甲苯	0.10	0.24	0.02	0.19	0.10	0.18	0.24	0.96
2-甲基庚烷	0.13	0.13	0.03	0.44	0.08	0.19	0.44	1.8
3-甲基庚烷	0.10	0.13	0.02	0.28	0.08	0.20	0.28	1.1
辛烷	0.11	0.20	0.03	0.38	0.10	0.16	0.38	1.5
乙苯	0.08	0.11	0.02	0.20	0.07	0.15	0.20	0.8
间/对二甲苯	0.44	0.30	0.44	0.23	0.31	0.50	0.44	1.8
苯乙烯	0.06	0.10	0.02	0.36	0.08	0.10	0.36	1.4
邻二甲苯	0.08	0.11	0.02	0.37	0.05	0.13	0.37	1.5
壬烷	0.11	0.15	0.02	0.18	0.07	0.13	0.18	0.72
异丙苯	0.10	0.11	0.03	0.37	0.09	0.16	0.37	1.5
丙基苯	0.12	0.16	0.04	0.25	0.07	0.16	0.25	1.0
间乙基甲苯	0.07	0.16	0.05	0.28	0.09	0.13	0.28	1.1
对乙基甲苯	0.07	0.15	0.07	0.33	0.08	0.13	0.33	1.3
均三甲苯	0.08	0.16	0.06	0.24	0.06	0.14	0.24	0.96
邻乙基甲苯	0.11	0.16	0.05	0.25	0.06	0.15	0.25	1.0
1,2,4-三甲苯	0.10	0.19	0.04	0.18	0.06	0.13	0.19	0.76
癸烷	0.14	0.24	0.04	0.23	0.11	0.15	0.24	0.96
1,2,3-三甲苯	0.12	0.18	0.03	0.33	0.10	0.15	0.33	1.3
间二乙苯	0.10	0.29	0.04	0.36	0.18	0.20	0.36	1.4
对二乙苯	0.09	0.20	0.04	0.36	0.06	0.14	0.36	1.4
十一烷	0.13	0.31	0.03	0.35	0.12	0.14	0.35	1.4
十二烷	0.12	0.48	0.06	0.42	0.21	0.14	0.42	1.7

附表 2-2 精密度测试数据汇总表

化合物	总均值(nmol/mol)			实验室内相对标准偏差(%)			实验室间相对标准偏差(%)			重复性限 r(μg/m³)			再现性限 R(μg/m³)		
	低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高
乙烷	2.1	9.4	17.8	1.79-3.43	5.19-11.3	1.17-3.78	0.6	2.5	8.5	0.4	2.5	1.5	0.4	3.6	1.6
乙烯	2.1	9.5	17.8	1.33-6.81	4.00-11.5	0.63-3.28	2.3	3.8	1.1	0.1	1.3	7.5	0.2	6.3	16.5
乙炔	1.8	10.5	16.1	1.47-3.51	0.87-5.90	0.60-3.03	0.8	1.9	13.4	1.6	1.4	2.2	0.8	3.1	2.8
丙烷	1.9	9.6	17.9	0.65-19.8	0.59-3.80	0.29-3.12	12.3	1.3	1.0	0.6	2.4	2.1	0.9	6.6	5.1
2-甲基丁烷	2.1	9.2	14.7	3.19-8.41	1.47-13.9	2.44-3.16	2.3	3.5	0.4	0.8	3.9	3.6	1.8	11.4	7.8
1-戊烯	1.8	10.4	16.9	2.11-10.4	1.31-14.2	2.69-3.39	3.7	3.7	0.4	0.8	3.9	3.4	1.6	12.2	8.0
正戊烷	1.9	10.5	16.9	1.69-9.78	1.24-14.3	2.64-3.28	3.3	3.7	0.4	0.8	3.8	3.5	1.5	10.8	7.8
异戊二烯	1.9	10.3	16.9	1.66-9.64	1.60-13.9	2.74-3.83	3.3	3.5	0.6	0.7	3.6	3.4	1.7	10.8	7.2
反-2-戊烯	1.8	10.4	16.6	1.48-10.4	1.35-13.9	2.62-3.88	3.7	3.6	0.6	0.7	3.6	3.4	1.7	10.8	7.2
顺-2-戊烯	1.8	10.4	16.6	1.63-10.6	1.37-14.0	2.62-3.89	3.7	3.6	0.6	1.0	5.1	4.8	2.3	15.1	10.3
2,2-二甲基丁烷	1.8	10.8	17.1	1.73-10.1	1.53-14.0	2.59-3.98	3.4	3.5	0.7	0.6	0.9	1.9	0.6	2.8	2.2
丙烯	1.9	8.5	15.1	0.87-7.5	0.88-1.20	0.42-1.86	2.8	0.3	0.6	1.0	7.4	9.3	1.9	13.8	13.8
环戊烷	1.9	10.3	16.8	1.68-8.78	0.94-13.6	4.33-7.20	2.9	4.4	1.5	0.7	3.6	3.6	1.4	9.9	7.0
2,3-二甲基丁烷	1.9	10.5	16.7	1.11-8.73	0.46-13.5	1.96-4.57	3.1	3.7	1.2	0.6	1.3	5.3	0.6	5.9	9.1
异丁烷	1.9	10.5	18.6	1.92-8.31	0.73-1.70	0.92-3.72	2.6	0.4	1.1	0.9	4.7	5.0	1.6	12.8	9.1
2-甲基戊烷	1.9	10.5	16.8	0.86-8.94	0.65-13.7	2.12-4.55	3.4	3.7	1.1	1.2	5.8	6.1	2.3	16.1	11.1
1-己烯	1.9	10.6	16.9	1.08-9.02	0.64-13.5	2.20-4.73	3.3	3.5	1.2	0.9	4.7	5.0	1.9	13.8	9.1
3-甲基戊烷	1.8	10.6	17.3	1.52-10.0	1.10-13.3	2.18-4.70	3.8	3.5	1.1	0.8	1.5	4.6	0.8	6.9	10.8
正丁烷	1.8	10.2	18.6	2.27-7.72	0.70-2.15	0.69-3.53	2.4	0.4	1.2	1.2	5.8	6.5	2.3	16.5	11.1
正己烷	1.7	10.4	17.1	1.34-9.90	1.35-13.0	2.16-4.92	3.7	3.2	1.2	1.2	5.8	6.1	2.3	15.7	11.1
甲基环戊烷	1.8	10.5	16.7	1.15-9.55	1.13-13.3	2.00-4.63	3.4	3.5	1.2	1.1	6.0	6.4	2.3	17.3	11.6
2,4-二甲基戊烷	1.7	10.7	17.0	1.56-9.65	1.42-13.4	2.34-4.87	3.9	3.4	1.2	1.2	5.4	6.9	2.7	14.2	13.4
苯	1.9	9.8	18.2	1.89-9.81	1.22-13.8	2.32-4.74	3.5	3.5	1.1	1.2	5.8	6.1	2.3	15.4	11.5
环己烷	1.8	10.4	16.7	1.15-8.91	0.93-13.4	2.08-4.48	3.3	3.5	1.1	1.3	6.3	7.6	2.7	17.0	13.8
2-甲基己烷	1.7	10.2	16.2	1.0-9.78	1.30-13.2	2.68-4.24	4.0	3.4	0.9	1.0	1.4	3.5	1.0	3.5	3.8
1-丁烯	1.8	10.2	18.9	1.96-11.4	0.59-1.10	0.48-2.15	4.0	0.4	0.7	1.5	5.6	13.5	2.3	15.0	16.5
2,3-二甲基戊烷	1.9	10.6	17.2	4.96-7.6	0.82-13.1	2.54-9.83	1.3	3.5	3.8	1.3	6.3	8.0	2.7	18.3	14.7
3-甲基己烷	1.8	10.4	17.0	0.97-8.69	1.21-12.6	2.84-4.33	3.4	3.3	0.8	0.9	1.8	6.3	0.9	6.3	7.6
反-2-丁烯	1.9	10.0	18.9	1.61-7.49	0.90-1.41	1.94-3.56	2.4	0.2	0.8	1.3	6.7	8.0	2.7	19.2	14.7
2,2,4-三甲基戊烷	1.7	10.6	17.2	1.36-9.14	1.18-12.5	3.26-4.08	3.6	3.2	0.6	1.5	7.1	9.7	3.1	19.3	16.8
庚烷	1.7	10.1	17.3	1.19-9.00	1.01-12.5	3.46-4.06	4.1	3.2	0.5	1.3	1.3	4.0	1.3	6.3	4.5
顺-2-丁烯	1.8	9.9	18.5	2.90-9.25	0.60-1.80	0.66-2.08	2.8	0.5	0.6	1.3	7.0	8.3	2.6	14.4	14.9
甲基环己烷	1.6	10.7	17.9	1.57-9.25	0.75-12.1	2.91-4.47	5.2	3.4	0.8	1.5	7.6	9.7	3.1	16.8	13.7
2,3,4-三甲基戊烷	1.7	10.6	17.7	1.40-11.2	0.98-11.9	3.66-3.97	4.8	3.3	0.3	1.2	2.8	8.5	2.4	6.1	13.4
甲苯	1.7	9.3	20.1	1.94-10.4	0.27-3.50	3.58-3.86	4.4	1.3	0.3	1.5	4.1	10.2	3.1	12.2	18.3
2-甲基庚烷	1.6	10.4	18.2	1.60-10.7	0.56-3.50	3.72-3.92	4.5	1.3	0.2	1.5	4.6	10.2	3.1	13.2	18.8
3-甲基庚烷	1.6	10.4	18.3	1.61-10.4	0.67-3.90	3.79-3.85	4.4	1.4	0.2	1.5	4.1	9.7	2.5	10.7	18.8
辛烷	1.6	9.8	18.7	1.28-9.50	0.52-3.80	3.52-3.59	3.9	1.4	0.2	1.4	4.3	10.4	2.8	16.6	21.3

化合物	总均值(nmol/mol)			实验室内相对标准偏差(%)			实验室间相对标准偏差(%)			重复性限 r(μg/m ³)			再现性限 R(μg/m ³)		
	低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高	低	中	高
乙苯	1.7	8.9	19.3	1.85-10.2	2.22-4.50	3.39-5.28	4.2	0.9	0.5	2.4	8.0	43.5	4.7	18.5	46.4
间/对二甲苯	1.7	8.7	18.1	4.48-13.0	1.63-15.9	1.29-4.96	4.3	4.8	11.5	0.9	3.7	10.2	2.3	16.7	20.0
苯乙烯	1.8	7.8	18.7	1.79-7.17	2.42-5.10	3.46-5.36	2.8	0.8	0.5	1.9	3.8	9.9	3.3	16.6	20.8
邻二甲苯	1.6	8.9	18.8	2.48-12.9	1.81-4.1	2.93-5.07	5.2	1.1	0.7	1.7	4.6	10.9	3.4	20.6	26.9
壬烷	1.6	9.5	17.5	2.29-9.43	0.76-3.94	2.63-4.68	3.8	1.2	0.8	1.6	4.3	11.8	3.8	18.2	24.1
异丙苯	1.8	8.8	19.3	2.76-8.87	1.68-3.98	2.53-5.22	3.3	0.8	1.0	1.6	4.8	12.3	4.3	18.2	23.0
丙基苯	1.9	8.6	19.8	3.55-10.0	2.36-4.90	2.70-4.90	3.0	0.7	0.9	1.6	4.8	9.1	3.8	18.8	24.1
间乙基甲苯	1.8	8.5	18.7	3.36-8.09	1.59-7.40	2.21-5.02	2.5	1.8	0.9	1.6	4.8	11.3	3.8	18.2	23.6
对乙基甲苯	1.8	8.4	18.8	3.36-9.43	0.46-7.40	2.29-5.00	2.9	2.2	1.1	1.6	5.4	10.2	3.8	18.2	24.1
均三甲苯	1.8	8.4	18.5	2.64-8.71	1.73-7.80	2.15-4.94	2.8	1.8	1.0	1.6	4.8	11.3	3.8	17.7	23.6
邻乙基甲苯	1.9	8.5	19.0	3.34-9.06	1.38-7.60	2.21-4.92	2.6	1.9	1.1	1.6	4.8	10.2	3.8	18.2	24.1
1,2,4-三甲苯	1.9	8.1	18.1	3.20-8.72	2.00-7.30	1.96-4.94	2.4	1.6	1.1	1.9	5.7	13.3	3.8	19.7	27.9
癸烷	1.8	8.6	19.3	3.06-9.06	0.73-6.80	2.08-4.73	2.8	1.9	1.1	1.6	4.8	10.7	3.8	20.4	23.0
1,2,3-三甲苯	1.9	8.6	18.3	3.28-9.16	2.23-7.70	2.09-5.16	2.7	1.6	1.1	2.4	6.6	32.9	4.2	23.3	41.9
间二乙苯	1.9	8.3	18.1	2.80-11.1	2.21-9.90	5.09-16.4	4.1	2.5	3.7	1.8	4.8	12.0	3.6	23.3	28.1
对二乙苯	1.9	8.3	17.7	2.97-8.97	1.33-7.40	2.20-5.04	2.8	1.7	1.2	2.1	5.6	17.4	4.2	26.5	29.3
十一烷	1.9	8.3	20.6	2.50-9.16	1.90-7.00	2.03-4.85	3.0	1.6	1.1	0.3	2.8	6.4	0.3	4.7	4.3
十二烷	2.1	7.7	20.6	2.09-9.48	1.70-8.20	2.02-4.90	3.6	2.0	1.1	0.4	2.5	1.5	0.4	3.6	1.6

2.2 方法准确度数据汇总

对 6 家实验室方法验证结果中的标准样品准确度进行统计分析，其结果见附表 2-3:

附表 2-3 实际样品加标准准确度测试数据汇总表

化合物	加标浓度((nmol/mol)	\overline{P} (%)	S_p	$\overline{P} \pm 2 S_p$ (%)
乙烷	2.00	107	2.0	107±3.9
乙烯	2.00	103	2.3	10.±4.6
乙炔	2.00	88.3	2.9	88.3±5.7
丙烷	2.00	94.4	3.0	94.4±6.0
2-甲基丁烷	2.00	105	6.7	105±13.4
1-戊烯	2.00	89.0	10.2	89.0±20.4
正戊烷	2.00	93.2	9.6	93.2±19.3
异戊二烯	2.00	93.1	9.7	93.1±19.5
反-2-戊烯	2.00	90.8	10.3	90.8±20.6
顺-2-戊烯	2.00	88.4	10.6	88.4±21.2
2,2-二甲基丁烷	2.00	90.0	10.2	90.0±20.3
丙烯	2.00	94.9	1.8	94.9±3.6
环戊烷	2.00	95.6	8.6	95.6±17.1
2,3-二甲基丁烷	2.00	95.4	9.1	95.4±18.3
异丁烷	2.00	93.0	2.4	93.0±4.9

化合物	加标浓度((nmol/mol)	\overline{P} (%)	S_p	$\overline{P} \pm 2 S_p$ (%)
2-甲基戊烷	2.00	94.3	8.4	94.3±16.8
1-己烯	2.00	93.6	9.0	93.6±18.0
3-甲基戊烷	2.00	87.8	10.1	87.8±20.3
正丁烷	2.00	92.2	1.8	92.2±3.5
正己烷	2.00	86.3	9.8	86.3±19.6
甲基环戊烷	2.00	90.2	9.7	90.2±19.4
2,4-二甲基戊烷	2.00	83.7	9.9	83.7±19.8
苯	2.00	94.1	10.9	94.1±21.7
环己烷	2.00	91.1	9.0	91.1±18.0
2-甲基己烷	2.00	84.3	9.6	84.3±19.1
1-丁烯	2.00	91.3	2.7	91.3±5.4
2,3-二甲基戊烷	2.00	95.1	7.8	95.1±15.6
3-甲基己烷	2.00	87.7	8.7	87.7±17.4
反-2-丁烯	2.00	94.8	2.2	94.8±4.4
2,2,4-三甲基戊烷	2.00	85.4	9.3	85.4±18.6
庚烷	2.00	84.7	8.7	84.7±17.4
顺-2-丁烯	2.00	91.7	2.7	91.7±5.3
甲基环己烷	2.00	81.9	9.6	81.9±19.3

3. 方法验证结论

(1) 在进行方法验证报告数据统计时，所有数据全部采用，未进行取舍。

(2) 6 家实验室验证结果表明，目标化合物的方法检出限为 0.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，测定下限为 0.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。6 家实验室分别对 2.0 nmol/mol、10.0 nmol/mol、18.0 nmol/mol 三个浓度统一样品进行了测定，实验室内相对标准偏差分别为：0.65%-19.8%，0.46%-14.3%，0.29%-7.20%；实验室间相对标准偏差分别为：0.60%-12.3%，0.2%-4.8%，0.2%-11.5.5%；重复性限范围分别为：0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 7.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 43.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；再现性限范围分别为：0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 26.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 46.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(3) 从方法验证结果可以看出，本方法所涉及的苯检出限最大值为 0.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而我国环境空气质量评价标准或无组织排放监控限值要求中涉及到的可用本方法测定的挥发性有机物苯的评价标准限值为 0.4 mg/m^3 ；我省环境空气质量评价标准或无组织排放监控限值要求中涉及到的可用本方法测定的挥发性有机物的苯的评价标准限值为 0.1 mg/m^3 。所以本方法检出限满足其环保标准的要求。方法各项特性指标能达到预期要求。