



T/CECS G XXX: 20XX

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

道路石油沥青挥发性有机化合物检测规程

Detection Specifications for Volatile Organic Compounds of Road
Petroleum Asphalt

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

道路石油沥青挥发性有机化合物检测规程

**Detection Specifications for Volatile Organic Compounds of Road
Petroleum Asphalt**

T/CECS G:

主编单位：葛洲坝集团交通投资有限公司

长安大学

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：20XX 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2023 年第一批协会标准制定、修订计划〉的通知》（建标协字[2023]10 号）的要求，由葛洲坝集团交通投资有限公司和长安大学承担《道路石油沥青挥发性有机化合物检测规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。编写组经广泛调查研究，总结试验研究和工程实践经验，参考国内外研究成果及相关标准，并在广泛征求意见的基础上，完成了本规程的编制工作。

本规程共分 5 章和 2 个附录，主要技术内容包括：总则、术语与符号、实验仪器、沥青 VOCs 采样、检测与分析、附录 A：建立沥青 VOCs 指纹组分数据库和附录 B：沥青 VOCs 指纹组分标准曲线标定方法。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程是基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本规程提出的应用条件，对于某些特定专项应用条件，使用本规程相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由交通运输部公路科学研究院负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程解释单位，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：XXX；邮编：XXX），以便修订时研用。

主编单位：葛洲坝集团交通投资有限公司

长安大学

参编单位：葛洲坝集团交通投资有限公司

湖北省建筑科学研究设计院股份有限公司

交通运输部公路科学研究所

哈尔滨工业大学

武汉工程大学

武汉理工大学

目 录

1 总则	2
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 试验仪器	4
3.1 仪器及性能	4
3.2 核查与校准	4
4 沥青 VOCs 采样	4
4.1 一般规定	4
4.2 实验室气体采集	5
4.3 施工现场气体采集	6
5 检测与分析	7
5.1 一般规定	7
5.2 数据处理	8
5.3 制定量化公式	8
附录 A：建立沥青 VOCs 指纹组分数据库	10
A.1 一般规定	10
A.2 指纹组分筛选及定义	10
附录 B：沥青 VOCs 指纹组分标准曲线标定方法	11
B.1 一般规定	11
B.2 外标法标准曲线的建立	11

1 总则

1.1 为标准化道路石油沥青挥发性有机化合物排放的定量检测，本规程对实验所涉及的检测设备、操作方法、应用条件以及分析模型等进行规定，以保证实验安全性、数据准确性和评价合理性。

条文说明

沥青材料由于其自身的复杂组分，在施工高温时释放的 VOCs 种类数超 100 种，当下用于其定性定量分析的方法有很多，但并未形成体系与标准，导致不同检测设备间的数据不可通用和对比量化，本规程采用最权威、最精确的复杂组分检测方法——气相色谱质谱法，对沥青 VOCs 进行定性分析和定量计算。

1.2 本规程适用于实验室内的沥青加热时、模拟沥青拌合时和分散混合料静置时 VOCs 释放的定量检测，也适用于道路施工现场 VOCs 排放量的工程应用采集计算。

条文说明

本规程基于沥青 VOCs 释放特性和现有数据库信息，构建了一套可用于道路石油沥青挥发有机化合物的统一检测方案和量化公式。其规定了在实验室封闭模拟和施工现场敞开环境的气体采集方案，并针对采集样品，提出了有机物挥发量值与检测数据值之间的映射量化计算公式，可基于此实现沥青 VOCs 的定性定量检测。

1.3 用于本规程实验的仪器应经国家有关检测机构认定合格并符合本规程要求。

1.4 试验人员在实验中应遵守安全操作、防火、防毒及环境保护等相关规定。

2 术语和符号

2.1 术语

对规程中所涉及的专业术语进行汇总说明，同时给出相应推荐性英文术语方便理解。

2.1.1 沥青 VOCs (Asphalt Volatile Organic Compounds)

沥青在常压、施工温度下释放的有机挥发性气体。

2.1.2 匹配度 (Matching degree)

色谱峰对应物质与质谱库离子碎片信息的匹配程度，用于表征对应物质的可信度。

2.1.3 丰度 (Abundance)

色谱图中对峰定量表示的物理量，无量纲，用于表征检测仪器对物质的响应大小。

2.1.4 特征离子 (Characteristic ions)

物质标准质谱图中丰度最高的 m/z 值，具有特征性，用于物质色谱提取特征离子。

2.1.5 特征峰面积 (Characteristic peak area)

色谱图中物质提取特征离子后对丰度积分的结果，无量纲，正相关于该物质挥发量。

2.1.6 指纹组分 (Fingerprint component)

基于 104 种不同沥青的 VOCs 释放数据，选取归纳出的 12 种有较强代表性的 VOCs 组分，具有挥发量大、物质毒性强的特点，用于表征沥青 VOCs 主要组分。

2.1.7 标准曲线 (Standard curves)

GC-MS 色谱测试图中，物质的色谱峰面积 y (无量纲) 与实际含量 x (ng) 的线性映射关系，用于建立沥青 VOCs 统一量化公式。

2.2 符号

表 2-1 对规范中涉及的符号进行汇总说明，方便理解与查阅。

表 2-1 规范中涉及的符号及其说明

序号	参数	含义
1	S_t	实际 GC-MS 测得的色谱峰总面积，无量纲
2	S_i	实际 GC-MS 测得的指纹组分 i 的色谱峰面积，无量纲
3	s_i	实际 GC-MS 测得的指纹组分 i 的色谱特征离子峰面积，无量纲
4	k_i	指纹组分 i 特征离子标准曲线的斜率 k
5	b_i	指纹组分 i 特征离子标准曲线的截距 b
6	K	甲苯总离子标准曲线的斜率 K
7	B	甲苯总离子标准曲线的截距 B
8	m	实际检测的总 VOCs 释放量，ng

3 试验仪器

3.1 仪器及性能

3.1.1 道路沥青挥发性有机化合物的收集装置为活性炭 T-C 吸附管与大气采样仪，此外，在吸附管采集前端经 5cm 橡胶软管连接空气过滤器及 0.22 μm PTFE 滤膜。

3.1.2 检测设备为热脱附气相色谱质谱联用仪（Thermal Desorption Gas Chromatography-Mass Spectrometer, TD-GC-MS）。

3.2 核查与校准

3.2.1 对大气采样器的采样速率进行设置与校准，保证采样的可靠性。

条文说明

进行气体采样前需提前调试并设定采样速率，注意当采样速率设定值较大时，其连接吸附装置后可能因为负压现象导致实际采样速率无法达到设定值，从而导致采样失误。

3.2.2 对 T-C 吸附管进行气体收集前的老化处理与空白实验。验证仪器设备和吸附管处于正常工作状态，不出现基线漂移等情况，保证实验数据的规范性和可靠性。

条文说明

T-C 吸附管在进行气体采样前需进行老化步骤以净化吸附管，对于老化后放置超过 2 周的吸附管在进行下一次采样前需再进行一次老化，以净化在放置期内可能导致的污染。气相色谱质谱仪在检测样品前需要进行冷阱老化，避免上一个样品的残留干扰。吸附管在采样前进行 TD-GC-MS 的空白实验，用于与采样后异常检测数据进行对比，消除因吸附管基底对气体数据的影响。

4 沥青 VOCs 采样

4.1 一般规定

4.1.1 吸附管采样需根据 VOCs 释放源的气体浓度确定吸附时间，保证吸附量不超

过吸附管的击穿浓度。

条文说明

吸附管的采样时间需控制在一定范围内，过短会导致气体采集不全，过长会导致气体量太大，进而导致色谱峰出现累计堆叠，降低定性准确度和定量精度，进一步变大，会导致气体量超过吸附管的击穿浓度。

4.1.2 吸附管灵敏度极高，在采样前需隔绝其与外界环境接触，两端均盖上管帽并用锡纸独立密封，采样时操作迅速，尽量减少其暴露于环境的无效采样时间。

条文说明

吸附管的检测线低且吸附能力强灵敏度高，外界环境气体在一定程度上也会导致吸附管污染，老化后的吸附管在采样前需用锡纸独立密封包装。

4.2 实验室气体采集

4.2.1 实验室沥青 VOCs 释放平台搭建

4.2.1.1 取同批次沥青加热，并称取 3 份 100g 沥青样品于 3 个 500ml 三口烧瓶中，冷却至室温。

4.2.1.2 按照图 4-1 搭建实验发生平台，将冷却后的三口烧瓶置于 500 ml 电热套中，设置加热温度为施工温度基质沥青 $160\pm 3^{\circ}\text{C}$ （SBS 改性沥青 $170\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，橡胶改性沥青 $180\pm 3^{\circ}\text{C}$ ）。

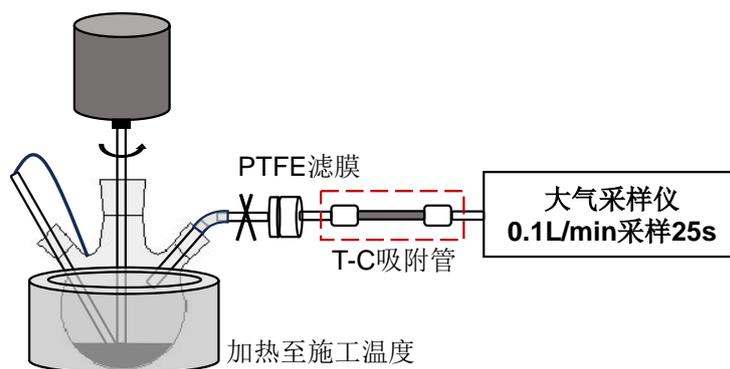


图 4-1 实验室沥青 VOCs 发生采集平台

4.2.2 实验室沥青 VOCs 加热步骤及采集参数

4.2.2.1 打开电热套加热，关闭导管夹，保证三口烧瓶不与外界连通，待沥青由固

态转变为可流动态后，打开搅拌器边加热边搅拌使其均匀受热至设定温度。

4.2.2.2 达到设定温度后保温 30s，打开导管夹，用 T-C 吸附管连接导管和大气采样仪，打开大气采样仪采样并平衡气压，采样速率 0.1L/min，采样时间 25s。

4.2.2.3 采样结束后，取下吸附管，安装管帽并用锡纸密封好待检测。

条文说明

室内采样用于实验模拟沥青 VOCs 排放的场景，重点研究沥青在不同温度、种类和受热方式等多因素情况下的挥发现象，致力于构建沥青排放的精细化分析模型。其加热步骤、气体采样速率及采样时间等条件在需对比分析的样品间保持一致，以降低实验误差提高采样精准度。

吸附管在采样后需独立密封保存，避免空气影响和管间交叉污染，并在一周内完成检测，降低时间延长导致的定量精度下降情况。

4.3 施工现场气体采集

4.3.1 对路面沥青 VOCs 的收集与检测，需建立在实际沥青施工的基础上，其沥青材料和集料类型、配合比需满足相关试验规程《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》。

4.3.2 沥青道路施工现场的采集分为沥青加热、拌合和摊铺阶段，采样点及采样速率均与沥青 VOCs 的释放浓度相关。相较于实验室采样，施工现场采样设备去除前端三口烧瓶加热装置，增加 0.2m 橡胶软管。

4.3.3 加热阶段的沥青 VOCs 采集

4.3.3.1 采样地点为沥青加热罐口 0.1m 处，采样速率 0.5L/min，采样时间 1min。

4.3.3.2 在沥青罐处环境相对密闭，沥青 VOCs 受环境风速风向影响较小，同时刻双通路采样，采集 2 个吸附管后，数据分析后取平均值。

4.3.4 拌和阶段的沥青 VOCs 采样

4.3.4.1 采样地点为沥青装料车车顶，采样速率 1L/min，采样时间 2min。

4.3.4.2 刚完成装料的装料车顶空气环境依然流动性较弱，依然采用同时刻双通路采样，采集 2 个吸附管后，数据分析后取平均值。

4.3.5 摊铺阶段的沥青 VOCs 采样

4.3.5.1 采样地点选取四个，分别为摊铺机熨平板、摊铺驾驶舱、离摊铺源 1.5m 的施工人员站位、摊铺路面压实处，采样速率 2L/min，采样时间 2min。

4.3.5.2 摊铺环境开放，受风速风向影响各处浓度差异较大，多点位采样综合不同位置的 VOCs 浓度数据，每个采样点处采集 1 个吸附管数据。

条文说明

施工现场采样用于路面摊铺时的 VOCs 量化和监管场景，侧重于对实际生产的排放监测，分为仅沥青的加热阶段、沥青与混合料作用的拌合阶段、均匀混合料暴露于空气中的摊铺阶段。其采样受施工工序和现场环境的影响较大，故在不同阶段的采样位置和采样速率有所区别，由于现场环境开放，故采样前端需增加具有水平方向遮挡效果的装置，以降低外界环境对样品的影响。

5 检测与分析

5.1 一般规定

5.1.1 所有采样的沥青 VOCs 通过热脱附气相色谱质谱联用仪检测分析。

条文说明

气相色谱质谱联用仪对于每一个色谱峰均能输出与之相匹配的 20 种物质成分，一般选择第一个匹配度最高的物质为最佳匹配物质。当最佳匹配度低于 80 时，认为该峰对应的物质不纯，不能直接以最佳匹配物质将其定性定量，需酌情对其进行物质归类和计算。

5.1.2 色谱图中最大的丰度略低于 1×10^7 为最优吸附量，若超过 1×10^7 的 VOCs 组分超过 10 种，则认为吸附量过大，需调整采样时间及速率重新采样；若整体组分丰度明显低于 1×10^5 ，则认为吸附量过小，也需调整采样时间及速率重新采样。

条文说明

物质的丰度仅代表检测设备对该物质的响应程度，与其检测浓度呈一定的正相关，但对于不同物质而言，其丰度大小不可直接认定为其浓度大小，需通过对应关系换算后确定其真实定量值。

5.2 数据处理

5.2.2 沥青 VOCs 成分信息直接通过质谱库对比得到。

5.2.3 沥青 VOCs 含量数据需先制定量化公式再通过计算得到。

条文说明

气相色谱质谱联用仪检测的成分分析通过 NIST MS 数据库进行比对核验，定性数据均可通过本规范制定的量化步骤进一步完成定量分析。

5.3 制定量化公式

5.3.1 根据前期实验数据和文献统计，从 104 种不同沥青的 VOCs 数据中汇总并归纳了 12 种具有代表性的沥青 VOCs 组分，并定义为沥青 VOCs 指纹组分（见附录 A），包括 5 种烷烃（2-甲基戊烷、正己烷、3-甲基己烷、庚烷、2-甲基庚烷）、4 种烃类衍生物（丙酮、甲基丙烯醛、正丁醛、异戊醛）以及 3 种毒性较大物质（二硫化碳、苯、甲苯），基于此制定量化公式。

5.3.2 定量分析过程按照图 5-1 所示流程。沥青总 VOCs 的定量计算包括指纹组分和非指纹组分两部分。

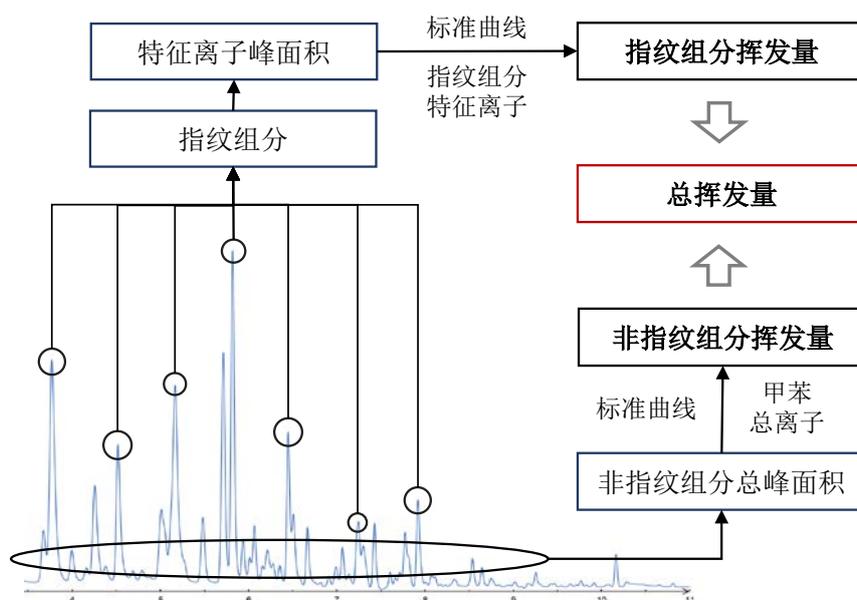


图 5-1 沥青 VOCs 的定量分析流程图

5.3.3 指纹组分的量化依据建立的沥青 VOCs 指纹组分特征离子标准曲线（见附录 B）；非指纹组分的量化依据 HJ644-2013 文件关于空气中总挥发性有机物的检测方法规定，对于未标定的挥发有机物，采用甲苯总离子的标准曲线估算总体含量。

5.3.4 基于标准曲线建立总 VOCs 量化公式如下，代入 GC-MS 实验的 VOCs 色谱图数据即可对沥青 VOCs 挥发总量进行定量计算。

$$m = \sum_{i=1}^{12} \frac{s_i - b_i}{k_i} + \frac{S_t - \sum S_i - B}{K} \quad (1)$$

S_i ——指纹组分 i 的峰面积；

S_t ——色谱图总峰面积；

s_i ——指纹组分 i 提取特征离子的峰面积；

k_i, b_i ——指纹组分 i 特征离子标准曲线中的 k、b 值，见附录；

K, B——甲苯的总离子标准曲线中的 k、b 值，见附录。

条文说明

用于量化 VOCs 的指纹组分是通过实验和调研优选的代表性组分，具有普适性。沥青 VOCs 的最主要成分为烷烃类物质，故指纹组分种烷烃类物质占比较高，若定量需求更改，可根据需求先优选组分，再制定相应的量化公式后用于后续检测计算。

附录 A：建立沥青 VOCs 指纹组分数据库

A.1 一般规定

A.1.1 仅通过甲苯的挥发量-峰面积映射关系计算总体挥发量的精度较低，筛选足够多沥青 VOCs 主要组分并建立其标准曲线，有效提高沥青 VOCs 的量化精度。

A.1.2 定义沥青 VOCs 指纹组分：沥青 VOCs 中大概率出现且释放量大、在环境负荷研究领域具有代表性的多种 VOCs 组分的合集。

A.1.3 在进行任意沥青材料 VOCs 分析时，并非 12 种指纹组分均出现，而是至少任意 6 种以上的组分出现，即大概率出现。

A.2 指纹组分筛选及定义

A.2.1 归纳课题组实验的 15 种沥青和文献调研的 89 种沥青的 VOCs 数据，选取其公共组分，并筛选具有代表性的组分用于定量。

A.2.2 筛选标准：①色谱峰面积大，沥青 VOCs 平均峰面积中占前 10；②物质组分纯度高，质谱分析中该物质的匹配度大于 80；③色谱峰面积不大但其毒性强。筛选的 12 种指纹组分信息如表附录 A-1 所示，指纹组分种类在被分析沥青中出现的越多，释放总量精度越高。

表附录 A-1 指纹组分信息及特点

类别	组分名称	化学式	分子量 M	主要特点
醛类	2-甲基戊烷	C ₆ H ₁₄	86	峰面积大、重复率高
	正己烷	C ₆ H ₁₄	86	峰面积大、重复率高
	3-甲基己烷	C ₇ H ₁₆	100	峰面积大、重复率高
	庚烷	C ₇ H ₁₆	100	峰面积大
	2-甲基庚烷	C ₈ H ₁₈	114	峰面积大
衍生物	丙酮	C ₃ H ₆ O	58	毒性强、峰面积大
	甲基丙烯醛	C ₄ H ₆ O	70	毒性较强
	正丁醛	C ₄ H ₈ O	72	峰面积大、毒性较强
	异戊醛	C ₅ H ₁₀ O	86	峰面积大、毒性较强
苯系物	苯	C ₆ H ₆	78	毒性强、重复率高
	甲苯	C ₇ H ₈	92	毒性强、重复率高
含硫物	二硫化碳	CS ₂	76	毒性强、峰面积大

附录 B：沥青 VOCs 指纹组分标准曲线标定方法

B.1 一般规定

B.1.1 通过外标法建立 12 种沥青 VOCs 指纹组分的特征离子标准曲线

B.1.2 标准曲线的可用范围为同一设备在半年内所有 TD-GC-MS 实验数据的定量分析，若采用不同设备进行定量计算，需重新对指纹组分的标准曲线进行标定。

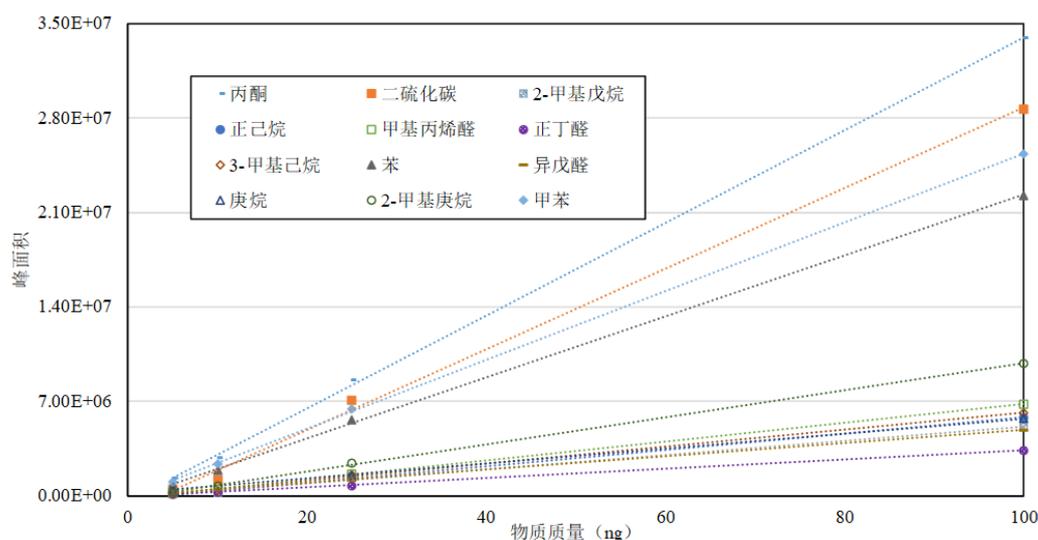
B.2 外标法标准曲线的建立

B.2.1 将 12 种指纹组分分析纯与甲醇溶剂配制成浓度为 5、10、25 和 100mg/L 的标准溶液，用微量注射器取 1.0 μ L 标准溶液进入吸附管，借助 TD-GC-MS 分析。

B.2.2 对色谱图的每种指纹组分分别提取特征离子，记录不同浓度下的特征离子峰面积，建立其特征离子峰面积（无量纲）-物质含量（ng）的线性关系，即为该组分特征离子标准曲线，如图附录 B-1 所示。

B.2.3 归纳指纹组分特征离子标准曲线的相关参数 k 、 b 值等，如表附录 B-1 所示。

B.2.4 重复（2）的操作，但不提取离子，记录不同浓度下的甲苯的总离子峰面积，建立其峰面积（无量纲）-物质含量（ng）的线性关系，即为甲苯的总离子标准曲线，其 K 、 B 值用于定量估算非指纹组分的挥发量。



图附录 B-1 指纹组分特征离子标准曲线拟合

表附录 B-1 指纹组分特征离子标准曲线相关参数

指纹组分	特征离子	标准曲线	R ² 值	k	b
丙酮	43	y=343626x-364314	0.9997	343626	-364314
二硫化碳	76	y=298908x-1000000	0.998	298908	-1000000
2-甲基戊烷	43	y=52473x-135812	0.995	52473	-135812
正己烷	57	y=60211x-221316	0.9989	60211	-221316
甲基丙烯醛	41	y=69922x-181122	1	69922	-181122
正丁醛	44	y=34289x-72334	0.9996	34289	-72334
3-甲基己烷	43	y=63284x-165633	0.999	63284	-165633
苯	78	y=225677x-251811	0.9998	225677	-251811
异戊醛	44	y=49161x-34785	0.9999	49161	-34785
庚烷	43	y=55100x+192419	0.9996	55100	192419
2-甲基庚烷	57	y=100359x-186202	0.9998	100359	-186202
甲苯	91	y=254898x-132876	0.9998	254898	-132876
甲苯	总离子	y=558607x-58162	0.9996	558607	-58162