

## 使用 Agilent 5977C GC/MSD 和氢气 载气分析邻苯二甲酸酯



### 作者

Bruce D. Quimby 博士  
安捷伦科技有限公司

### 摘要

使用 Agilent 8890 GC 系统与配备 Agilent Inert Plus Extractor EI 离子源的 Agilent 5977C Inert Plus GC/MSD，以氢气作为载气对 19 种邻苯二甲酸酯进行分析，以评估系统性能。采用本应用简报所述方法时，该系统可提供优异的峰形、分离度和灵敏度。使用氢气载气搭配 Agilent J&W HP-5ms 色谱柱（直径 180  $\mu\text{m}$ ），相比氦气载气搭配 250  $\mu\text{m}$  色谱柱，分析时间可缩短约 50%。14 种邻苯二甲酸酯的校准曲线在 1–1000 pg 范围内呈线性。双(2-甲氧基乙基)邻苯二甲酸酯 (DMEP) 在 2.5–1000 pg 范围内采用二次拟合校准。双(1-丁氧基乙基)邻苯二甲酸酯 (DBEP) 在 1–1000 pg 范围内同样需采用二次拟合。双(2-乙基己基)邻苯二甲酸酯 (DEHP) 在 2.5–1000 pg 范围内呈线性。邻苯二甲酸二异壬酯 (DINP) 和邻苯二甲酸二异癸酯 (DIDP) 均为异构体混合物，在 50–20000 pg 范围内采用线性拟合校准。本文特别强调了所使用的消耗品及使用前的预处理工作，这对实现更低的校准水平至关重要。

## 前言

塑料在现代社会中无处不在，应用非常广泛。为调整塑料的机械性能（如柔韧性、透明度和耐用性）以满足特定应用的需求，生产过程中通常会添加邻苯二甲酸酯。这类化合物与塑料分子间不以共价键结合，因此很容易释放到环境中。它们广泛存在于电线绝缘层、儿童玩具、包装、医疗器械、笔具、管材等各种产品中。目前，许多国家/地区已对各类产品中的邻苯二甲酸酯含量实施监管。虽然不同地区以及针对不同的产品邻苯二甲酸酯的分析要求有所不同，但 GC/MS 通常是首选的检测技术。

先前的文献已证明，可以在 GC/MS 分析中使用氢气和氦气作为载气。例如，使用氦气载气，成功实现了聚合物材料中七种邻苯二甲酸酯的 GC/MS 分析，校准范围为 50–1000 ng/mL<sup>[1]</sup>。另有研究详细阐述了使用氦气载气和 Agilent JetClean 智氢洁离子源，对 17 种邻苯二甲酸酯（校准范围 10–1000 ng/mL）及两种异构体混合物（DINP 和 DIDP，校准范围 125–10000 ng/mL）的校准性能<sup>[2]</sup>。还有研究使用氢气载气、Agilent HydroInert 离子源及反吹技术，实现了电缆样品中 10 种邻苯二甲酸酯的分析，校准范围为 200–5000 ng/mL<sup>[3]</sup>。鉴于许多实验室正考虑将 GC/MS 分析的载气从氦气转换为氢气，因此有必要评估氢气载气在低浓度水平 (< 10 ng/mL) 下对邻苯二甲酸酯类物质的检测性能。

本应用简报重点介绍使用氢气作为 GC 载气并在选择离子监测 (SIM) 模式下运行的 GC/MS。虽然氦气通常被视为 GC/MS 分析的理想载气，但其价格较贵且供应不稳定，因此许多应用对氢气载气的需求日益增长。用氢气进行 GC/MS 分析时，需要考虑以下几点。

首先，氢气是一种反应性气体，可能会在进样口、色谱柱中引起化学反应，有时还会在质谱仪电子轰击电离 (EI) 源中引起化学反应，从而影响分析结果。确保分析物与氢气在 GC/MS 中的高温条件下不发生化学反应，这一点非常重要。

其次，必须使用可靠的纯净氢气来源。通常需使用纯度规格高于 99.9999% 且水和氧气含量均较低的氢气发生器。强烈建议为氢气发生器配备水分过滤器。色谱级或研究级钢瓶装氢气同

样适用。还建议所有需要使用易燃易爆气体的人员都参加实验室的安全培训课程，以正确处理和使用气体。

此外，对于 GC/MS 应用，将载气换为氢气时，可能需要对气相色谱仪和质谱仪的硬件进行更换。《安捷伦 EI GC/MS 仪器载气由氦气转换为氢气的用户指南》<sup>[4]</sup> 详细介绍了操作步骤，具体包括选择合适的进样口衬管、色谱柱、真空泵和 EI 离子源。色谱条件和进样溶剂也需要相应调整。

使用氢气载气的优势之一在于，可以降低 EI 离子源的清洁需求。当使用在分析过程中使氢气以低流速连续进入离子源的 Agilent JetClean 技术时，也观察到类似的改进<sup>[3,5,6,7]</sup>。使用氢气载气的第二个优势是能在保持色谱分离度的同时缩短分析时间。

邻苯二甲酸酯是一类相对稳定的化合物，因此在使用经优化的分析方法并遵循本应用简报所述的建议时，完全可以使用氢气载气进行分析。

## 实验部分

本实验所用的系统经过专门配置，以尽可能减少邻苯二甲酸酯分析中氢气载气可能带来的潜在问题。采用的重要参数包括：

**氢气：**使用实验室自行生成的氢气作为载气，纯度规格为 99.9999% 且水和氧气含量均较低。

**脉冲不分流进样：**用于将邻苯二甲酸酯尽可能多地转移到色谱柱中。

**气相色谱柱：**使用 J&W HP-5ms 超高惰性色谱柱 (20 m × 0.18 mm 内径, 0.18 μm, 部件号 19091S-577UI)，以保持理想的载气流速和进样口压力。

**进样口衬管：**安捷伦超高惰性中部砂芯衬管 (部件号 5190-5105) 能够提供出色的峰形和惰性。

**MSD EI 离子源：**当换用氢气载气时，EI 离子源硬件是一个重要考虑因素<sup>[4]</sup>。对于容易发生氢化反应的分析物，强烈推荐使用 HydroInert 离子源，它采用特殊材料制造，相比 EI 离子源常用的金属材料，可大大降低在氢气环境下的催化活性<sup>[4,8,9]</sup>。

如果要方法的扫描数据通过谱库检索（如 NIST 谱库）的方式进行未知化合物鉴定，HydroInert 离子源仍是理想选择。不过，采用 GC/MS 分析的大部分化合物不会与氢气发生反应，使用配备 6 mm 或 9 mm 提取透镜的标准 Inert Plus Extractor EI 离子源即可完成分析<sup>[4]</sup>。对于首次尝试使用氢气作为载气的实验室来说，这提供了一种高性价比的选择。如果要分析的目标化合物数量不多，可优先选用配备 9 mm 透镜的标准 Inert Plus Extractor EI 离子源来评估分析性能。

本研究分析 19 种邻苯二甲酸酯。通过比较谱图保真度（基于 NIST 谱库匹配得分）和定量性能实验数据发现，在本实验条件下，使用配备 9 mm 透镜的标准 Inert Plus Extractor EI 离子源获得的结果与 HydroInert 离子源相当，因此最终选择该离子源进行方法分析。

图 1 显示了本实验的系统配置。表 1 和表 2 列出了仪器操作参数。

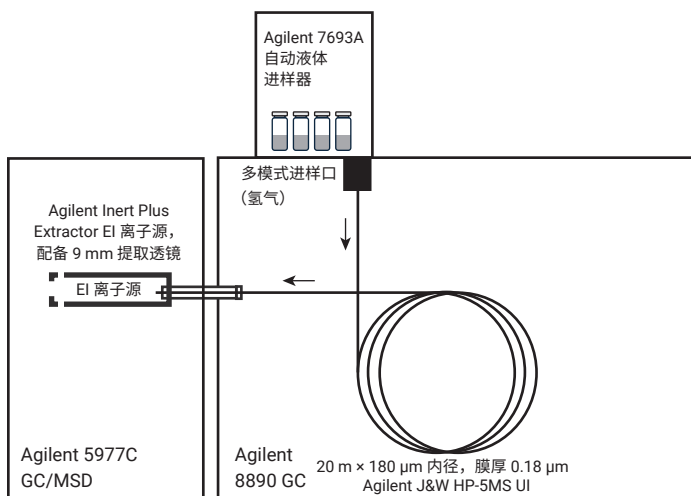


图 1. 系统配置

表 1. 用于邻苯二甲酸酯分析的 GC 和 MS 条件

方法参数	
GC	Agilent 8890 GC, 配备 Agilent 7693A 自动液体进样器和样品盘
进样口	多模式进样口 (MMI)
模式	脉冲不分流
进样脉冲压力	25 psi 持续 0.90 min
分流出口吹扫流量	50 mL/min, 1.0 min 时
进样量	1.0 μL
进样针	10 μL, PTFE 头推杆, 双锥形针头 (G4513-80203)
隔垫	11 mm 高级绿色隔垫 (部件号 8010-0208)
进样口温度	280 °C
进样口衬管	安捷伦通用超高惰性中部砂芯衬管 (部件号 5190-5105)
色谱柱	Agilent J&W HP-5MS UI 20 m × 0.18 mm 内径, 0.18 μm 膜厚 (部件号 19091S-577UI)
柱温程序 (°C)	60 °C (保持 1.5 min), 以 50 °C/min 升至 220 °C (不保持), 以 12.5 °C/min 升至 320 °C (保持 0.3 min)
载气和流速	氢气, 0.9 mL/min, 恒流模式
MSD	Agilent 5977C Inert Plus GC/MSD
离子源	Agilent Inert Plus Extractor EI 离子源, 配备可选的 9 mm 提取透镜 (G3870-20449)
传输线温度	280 °C
离子源温度	300 °C
四极杆温度	150 °C
电子倍增器电压增益模式	增益, 1.0
模式	SIM
调谐	ETUNE.U

表 2. 本研究分析的邻苯二甲酸酯的名称、缩写、CAS 号、保留时间以及目标离子和定性离子

保留时间	名称	缩写	CAS 号	目标离子 $m/z$	Q1 $m/z$	Q2 $m/z$	Q3 $m/z$
4.177	邻苯二甲酸二甲酯	DMP	131-11-3	163	77	194	133
4.530	邻苯二甲酸二乙酯	DEP	84-66-2	149	177	105	222
4.896	邻苯二甲酸二烯丙酯	DAP	131-17-9	149	41	132	189
5.206	1,2-苯二甲酸双(2-甲基丙基)酯	DIBP	84-69-5	149	223	167	104
5.480	邻苯二甲酸二丁酯	DBP	84-74-2	149	223	205	104
5.602	双(2-甲氧基乙基)邻苯二甲酸酯	DMEP	117-82-8	149	176	104	59
5.876	1,2-苯二甲酸双(4-甲基戊基)酯	BMPP	146-50-9	149	251	167	85
5.993	1,2-苯二甲酸双(2-乙氧基乙基)酯	DEEP	605-54-9	149	72	104	193
6.128	邻苯二甲酸二戊酯	DPP	131-18-0	149	237	219	104
6.915	1,2-苯二甲酸二己酯	DHXP	84-75-3	149	104	233	251
6.971	邻苯二甲酸丁苄酯	BBP	85-68-7	149	91	104	206
7.515	双(2-丁氧基乙基)邻苯二甲酸酯	DBEP	117-83-9	149	193	101	85
7.767	邻苯二甲酸二环己酯	DCHP	84-61-7	149	167	104	249
7.858	双(2-乙基己基)邻苯二甲酸酯	DEHP	117-81-7	149	167	113	104
8.777	邻苯二甲酸二正辛酯	DNOP	117-84-0	149	279	104	261
9.292	双(2-丙基庚基)邻苯二甲酸酯	DPHP	53306-54-0	149	55	167	307
9.779	1,2-苯二甲酸二壬酯	DNP	84-76-4	149	293	275	150
8-10.3	邻苯二甲酸二异壬酯	DINP	28553-12-0	293	149	167	
8.5-10.7	邻苯二甲酸二异癸酯	DIDP	26761-40-0	307	149	167	

脉冲不分流进样能够尽可能多地将邻苯二甲酸酯转移到色谱柱中，同时减少其在高温进样口内的不利相互作用。超高惰性中部砂芯衬管非常适合本应用。中部砂芯将热量传递给注入的液体样品，使其在进入色谱柱前充分气化。需特别说明的是，虽然使用的多模式进样口 (MMI) 是一款程序升温进样口，但本实验它在 280 °C 恒温条件下运行。因此，分流/不分流进样口也同样适用。

邻苯二甲酸酯校准标样按两个独立的校准组分别进行制备。第一组包含 19 种邻苯二甲酸酯中的 17 种，第二组为 DINP 和 DIDP 邻苯二甲酸酯异构体。

含有 15 种成分的定制邻苯二甲酸酯混合标准品购自 Ultra (现属于安捷伦)。各组分浓度为 1000  $\mu\text{g/mL}$ ，基质为异辛烷。邻苯二甲酸二烯丙酯 (DAP)、DINP 和 DIDP 纯品均购自安捷伦。双(2-丙基庚基)邻苯二甲酸酯 (DPHP) 纯品购自 Millipore Sigma。

17 种邻苯二甲酸酯分别配制了 11 个校准浓度：1、2.5、5、10、20、50、100、250、500、800 和 1000  $\text{ng/mL}$ ，溶剂为异辛烷。DIDP 和 DINP 异构体校准标样同样采用异辛烷配制，共 11 个校准浓度：50、100、250、500、750、1000、2500、5000、7500、10000 和 20000  $\text{ng/mL}$ 。有关化合物鉴定，请参见表 2 和图 2。所有定量测定均使用 Agilent MassHunter 定量分析软件 11.1 版。

## 结果与讨论

图 2 为 50  $\text{ng/mL}$  校准标样的 SIM 色谱图，其中 DMP 的  $m/z$  为 163，其余 16 个校准组分的  $m/z$  为 149。采用本实验参数时，色谱峰峰形表现优异。图 3 为 1000  $\text{ng/mL}$  DINP 和 DIDP 邻苯二甲酸酯标样的 SIM 色谱图。由于使用了氢气载气和小内径色谱柱，当前分析方法的运行时间 (14.5 分钟) 相较于使用氦气和 250  $\mu\text{m}$  色谱柱的方法缩短了 50% 左右<sup>[2]</sup>。

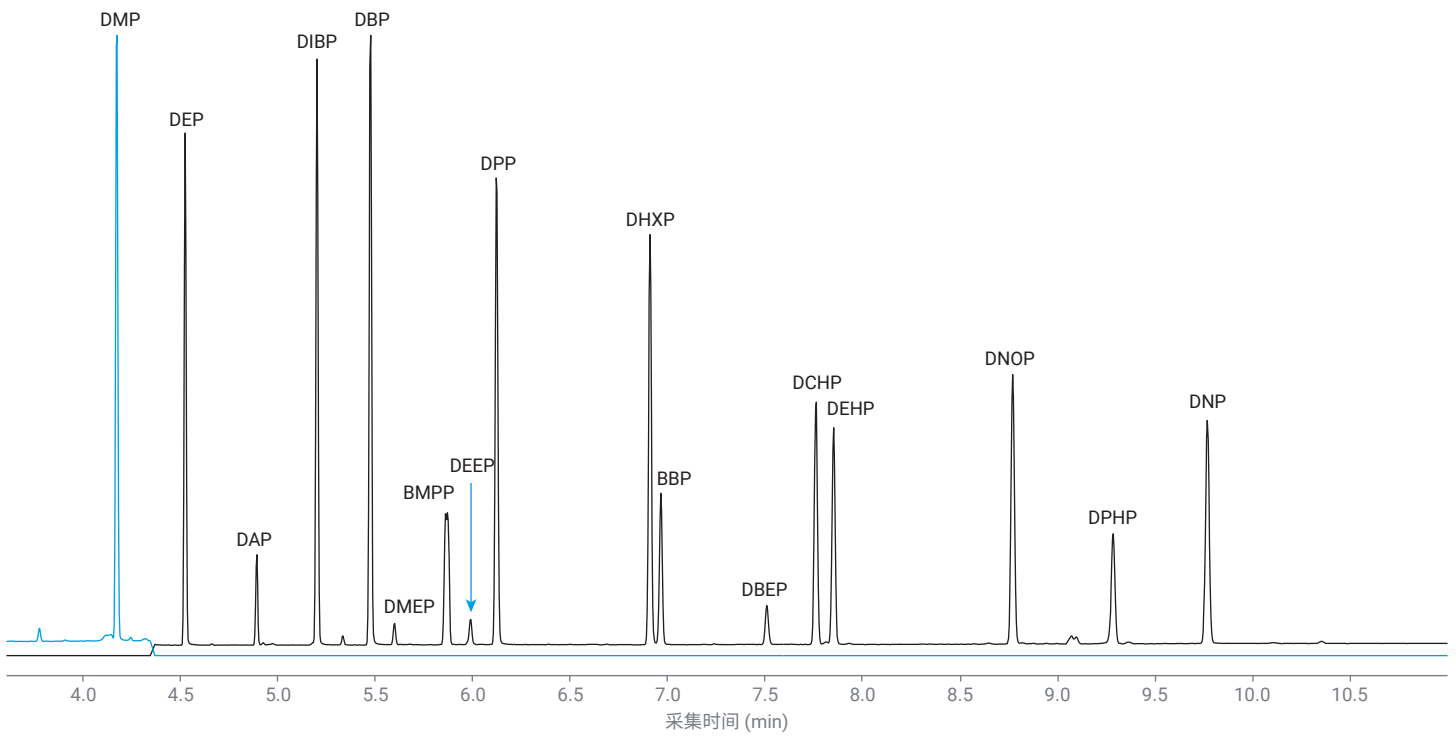


图 2. 50 ng/mL 邻苯二甲酸酯标样。蓝色曲线：DMP 的 SIM  $m/z$  163 定量离子。黑色曲线：其他目标物的 SIM  $m/z$  149 定量离子

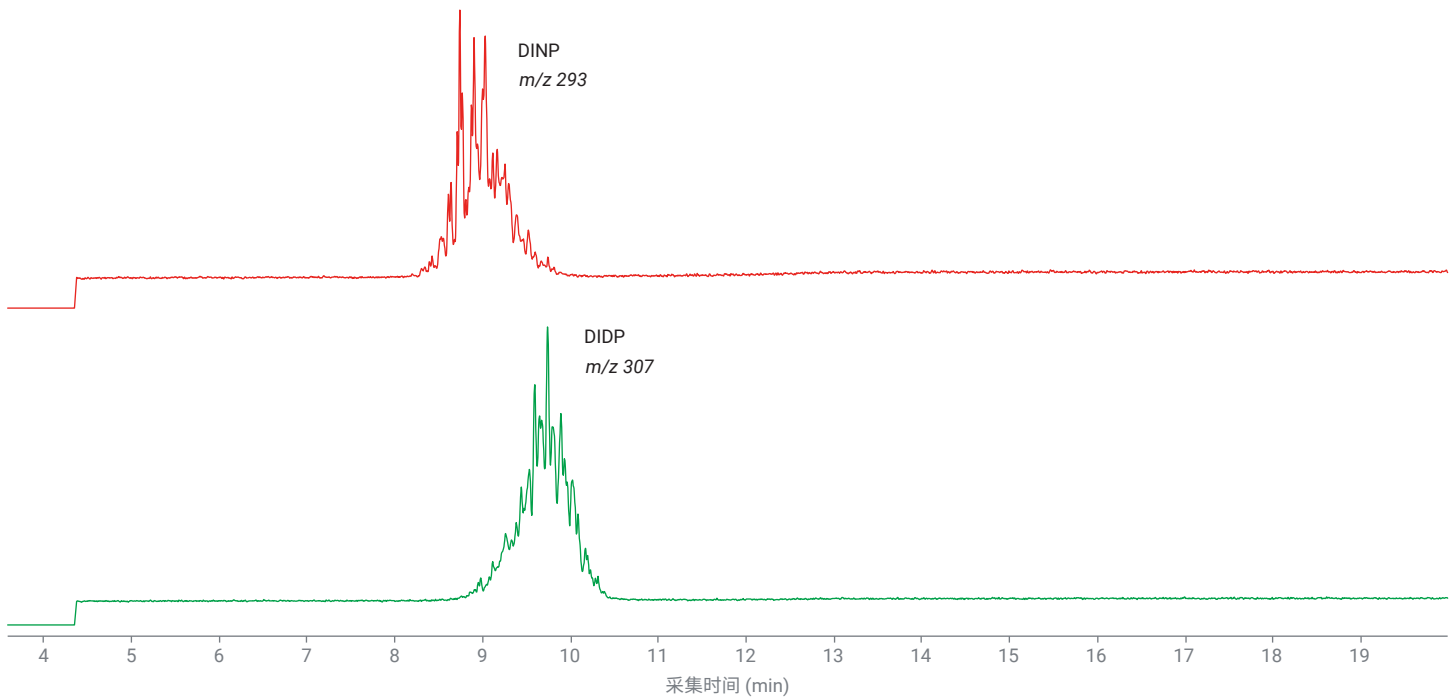


图 3. 1000 ng/mL DINP 和 DIDP 邻苯二甲酸酯标样

## 干扰和污染

本实验采用的 GC/MS 方法的灵敏度足以检测出低至 pg 级 (ng/mL) 的 17 种邻苯二甲酸酯。然而, 在一开始时, 干扰和污染会影响低浓度端的校准性能。经鉴定, 干扰峰为硅氧烷峰, 污染则源于使用的消耗品和玻璃器皿中残留的微量常见邻苯二甲酸酯。

图 4 展示了首次运行异辛烷溶剂空白时遇到的典型问题。

终止于 4.3 分钟的蓝色曲线是 DMP 的 SIM 定量离子。尽管空白中存在一些峰, 但它们能够与 DMP 完全分离, 不会造成干扰。

在黑色 SIM  $m/z$  149 曲线中, 可以发现多个问题。1,2-苯二甲酸 (DIBP)、邻苯二甲酸二丁酯 (DBP) 和邻苯二甲酸二乙酯 (DEP) 的响应显著, 而 DEHP 和 DPHP 的响应则较低。此外, 通过扫描数据还鉴定出一系列硅氧烷峰 (标注为 Si)。DPHP 峰非常小, 且被上次进样残留的展宽硅氧烷杂峰所掩盖。

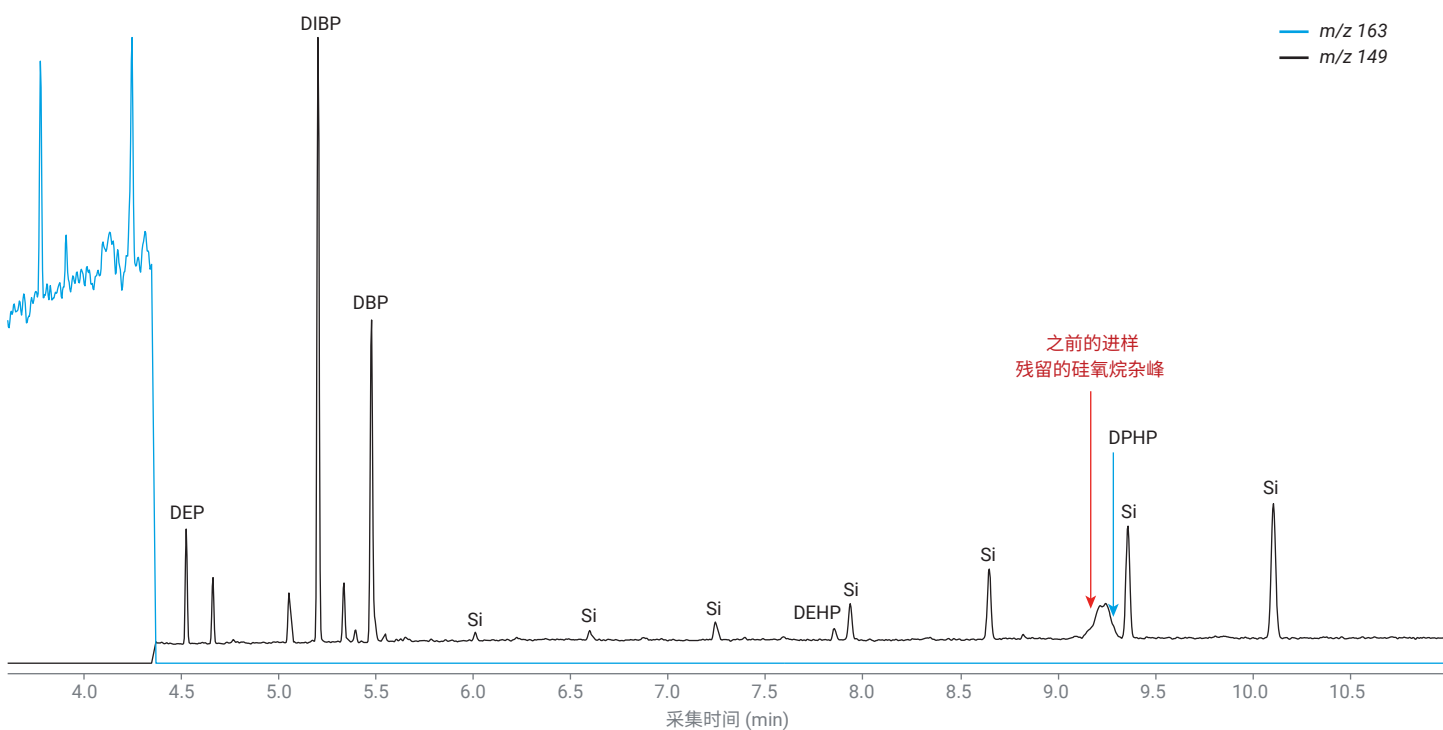


图 4. 最初在异辛烷溶剂空白中观察到的干扰和污染情况。蓝色曲线: DMP 的 SIM  $m/z$  163 定量离子。黑色曲线: 其他目标物的 SIM  $m/z$  149 定量离子

将约 75  $\mu$ L 的各校准标样或空白异辛烷加入带有 400  $\mu$ L 硅烷化平底玻璃内插管的自动进样器样品瓶 (部件号 5183-2086) 中。实验发现, 将样品瓶、样品瓶内插管、样品瓶隔垫和一次性巴斯德吸管 (用于吸液) 在玻璃器皿烘箱中 130  $^{\circ}$ C 烘烤过夜, 可以去除空白样品中的大部分邻苯二甲酸酯污染物。

但是, 干扰性硅氧烷仍然存在。最初使用的样品瓶隔垫为常见的夹层式结构, 包括 1 mm 厚的硅橡胶以及底部面向液体样品的 PTFE 层 (部件号 5185-5820)。我们发现, 每次自动进样器针头刺穿隔垫时, 都会有微量硅橡胶颗粒脱落进入样品中。随后, 样品溶剂使颗粒中的硅氧烷浸出。

图 5 为来自同一样品瓶的两次连续空白溶剂分析。需注意的是，我们对进样参数进行了设置，通过使用四泵注射系统，每次进样针头仅穿刺隔垫一次（无样品清洗步骤）。在第二次进样时，观察到了明显的硅氧烷响应。将柱温箱程序升温增加到 320 °C，并将最终保持时间延长至 7.3 分钟，以确定硅氧烷峰的出峰范围。如图 5 所示，它们持续出峰至少 20 分钟。这解释了当 GC 运行在 13 分钟结束时出现展宽的杂峰的原因。

虽然图 5 显示第一次运行时硅氧烷的响应非常小，但其响应存在波动，有时可能干扰最低浓度校准标样的检测。为此，我们对两种替代瓶盖进行了评估。图 6 显示了所测试的聚氨酯卡口盖和 PTFE 钳口盖。

两种瓶盖均未出现硅氧烷峰，且邻苯二甲酸酯污染水平极低。聚氨酯卡口盖具有弹性，针头穿刺后可重新密封，可用于同一样品多次进样。但这种材质在溶剂兼容性方面存在限制。例如，它们对于异辛烷溶剂表现良好，但对于二氯甲烷则会发生溶胀导致密封失效。

**A 聚氨酯卡口盖**



瓶盖：5181-1512

样品瓶：5182-0545

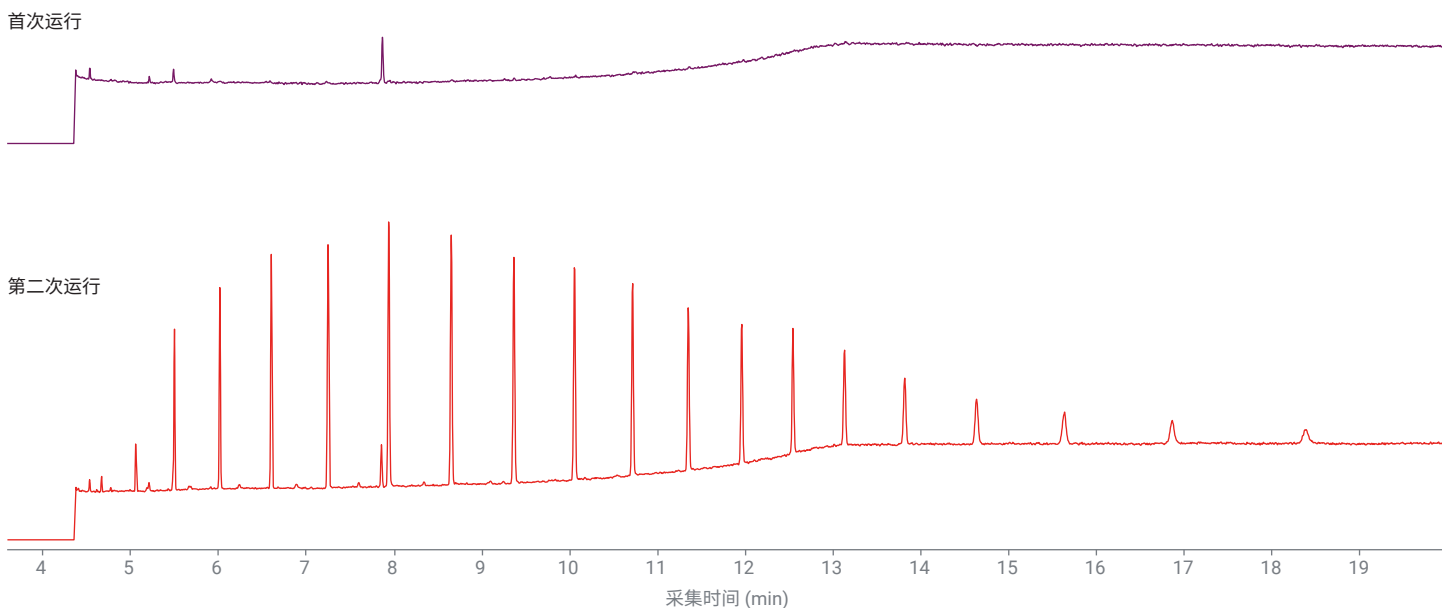
**B PTFE 钳口盖**



瓶盖：5182-0871

样品瓶：5181-3376

**图 6.** 所测试的其他安捷伦样品瓶和瓶盖，以期减少硅氧烷干扰。(A) 聚氨酯盖和卡口样品瓶。(B) 铝/PTFE 钳口盖和钳口盖样品瓶



**图 5.** 连续进样异辛烷溶剂空白，发现在 SIM  $m/z$  149 处存在来自样品瓶隔垫的硅氧烷干扰

PTFE 钳口盖同样表现良好。由于 PTFE 弹性极低，在针头穿刺后无法重新密封，因此建议每个样品瓶仅用于单次进样。如果确实需要重复进样，则应立即执行以减少蒸发问题。PTFE 钳口盖的一个优点是，它们可以与其他消耗品一起置于 130 °C 的玻璃器皿烘箱中烘烤过夜。请注意，不建议将 PTFE 钳口盖用于长期样品储存，因为其弹性相对较差，无法实现完全密封。

邻苯二甲酸酯（及其他）污染物的另一个可能来源是 Agilent 7693A 自动液体进样器的针架组件 (G4513-40525)，如图 7 所示。随着使用时间增加，高浓度标样和/或高基质样品残留物可能会污染该组件。如需清洁针架组件，可以将其放入装有约 20 mL 甲醇的小瓶中，涡旋振荡后浸泡过夜。浸泡后，应彻底风干后再重新安装。请注意，针架组件属于消耗品，应至少每年更换一次，如果使用频率较高，则应更频繁地更换。本研究采用全新针架，并按上述方法清洗后安装使用。

图 8 为使用烘烤过的消耗品、聚氨酯盖和清洗过的新针架分析 1 ng/mL (1 pg) 校准标样和空白获得的 SIM  $m/z$  149 色谱图。请注意，两个色谱图的坐标尺度是相同的，但是为了方便比较，对空白谱图进行了偏移处理。尽管仍存在微量污染迹



图 7. Agilent 7693A 自动液体进样器中的自动进样器针架

象，但其水平已大幅降低，因此在低 ppb 浓度下可以实现准确校准。使用 PTFE 钳口盖也得到了类似的结果。图 9 为相同运行的 SIM  $m/z$  163 色谱图，可以发现空白中的 DMP 水平也非常低。

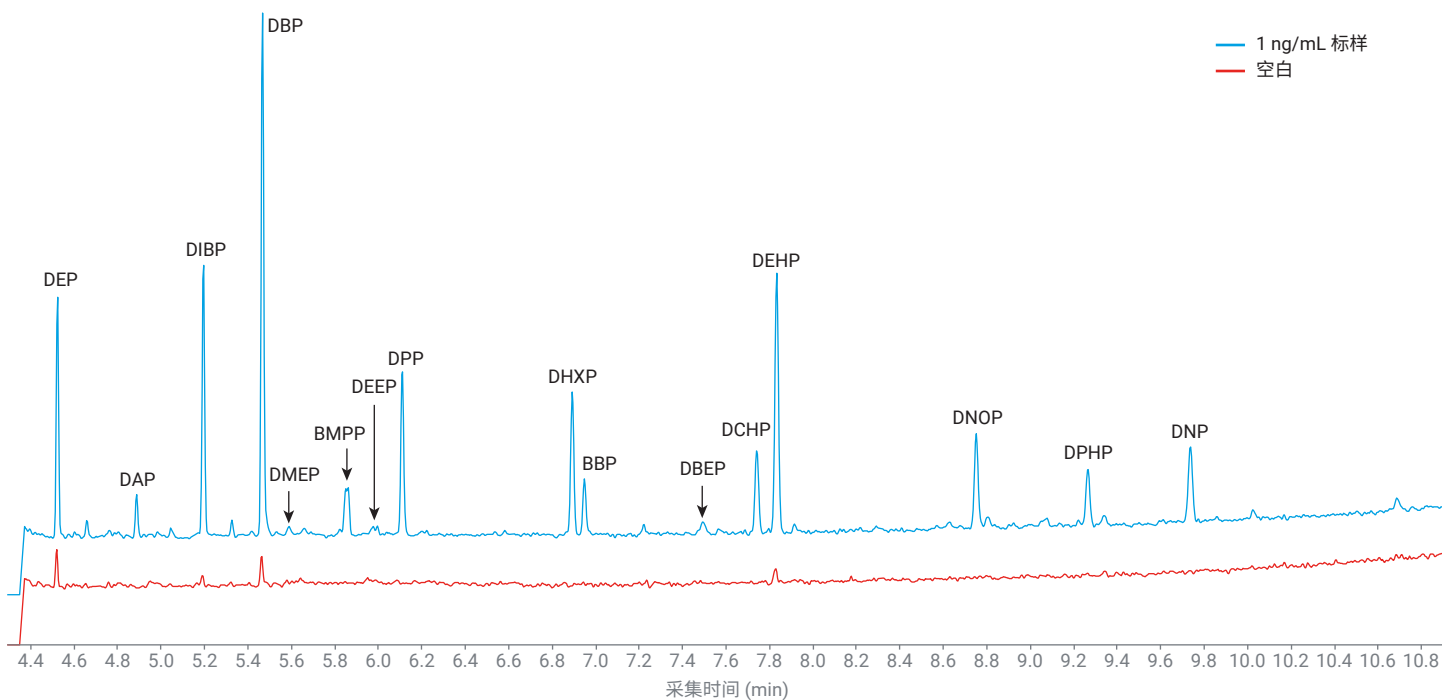


图 8. 使用烘烤过的消耗品、聚氨酯盖和清洗过的新针架分析 1 ng/mL 校准标样和空白获得的 SIM  $m/z$  149 色谱图



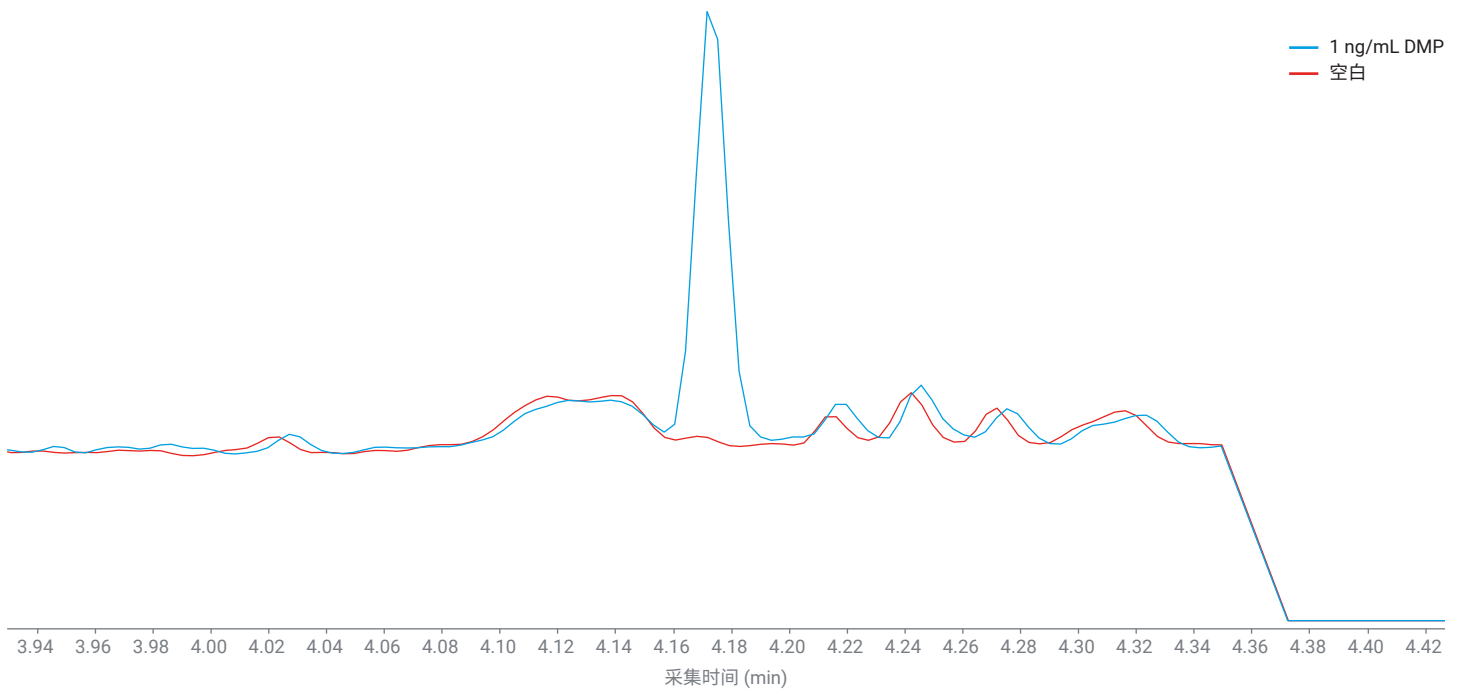


图 9. 使用烘烤过的消耗品、聚氨酯盖和清洗过的新针架分析 1 ng/mL 校准标样和空白获得的 SIM 163 色谱图 (DMP)

### 初始校准

14 种邻苯二甲酸酯的校准曲线在 1-1000 pg 范围内呈线性。DMEP 在 2.5-1000 pg 范围内采用二次拟合校准。DBEP 在 1-1000 pg 范围内同样需采用二次拟合。DEHP 在 2.5-1000 pg 范围内呈线性。表 3、图 10 和图 11 给出了 17 种邻苯二甲酸酯在 11 个浓度 (1-1000 pg) 下的系统校准结果，以及 DINP 和 DIDP (50-20000 pg) 各自的校准结果。

如有必要，可以使用相对标准误差 (RSE) 值来判断是否需要使用二次拟合和/或去除最低校准点，从而使 RSE 值 < 20%。

### 仪器检出限

完成初始校准后，我们进行了仪器检出限 (IDL) 研究。针对 17 种邻苯二甲酸酯，使用 1 pg 校准标样进行了八次重复测试。使用公式 1 计算得到 IDLs。对于信噪比较低的化合物 (DMEP 和 DEHP)，在 2.5 pg 浓度下进行了八次重复测试。对于 DINP 和 DIDP，使用 50 pg 校准标样进行了八次重复测试。表 3 列出了 IDLs 计算值。

#### 公式 1. IDL 计算公式

$$IDL = s \times t(n - 1, 1 - \alpha = 99) = s \times 2.998$$

其中：

$t(n - 1, 1 - \alpha)$  = 自由度为  $n - 1$ ，置信水平为 99% 的  $t$  值

$n$  = 测试次数 (8)

$s$  = 八次测试的标准偏差

表 3. SIM 模式下，1-1000 pg 范围内 11 个浓度点的校准结果

化合物方法									
保留时间	名称	CF	低 CF 限值	高 CF 限值	CF 权重	RSE	CF R2	浓度 IDL	IDL (ppb)
4.175	DMP	线性	1	1000	1/x	9.5	1.000	1	0.20
4.524	DEP	线性	1	1000	1/x	9.9	0.999	1	0.21
4.892	DAP	线性	1	1000	1/x	11.6	0.999	1	0.23
5.200	DIBP	线性	1	1000	1/x	7.3	0.999	1	0.60
5.471	DBP	线性	1	1000	1/x	5.4	1.000	1	0.60
5.594	DMEP	二次拟合	2.5	1000	1/x	14.1	0.999	2.5	0.40
5.865	BMPP	线性	1	1000	1/x	7.7	0.999	1	0.17
5.985	DEEP	线性	1	1000	1/x	14.9	0.998	2.5	0.56
6.119	DPP	线性	1	1000	1/x	10	0.999	1	0.16
6.899	DHXP	线性	1	1000	1/x	11.1	0.999	1	0.19
6.955	BBP	线性	1	1000	1/x	11.3	0.999	1	0.18
7.498	DBEP	二次拟合	1	1000	1/x	14.3	0.999	1	0.73
7.751	DCHP	线性	1	1000	1/x	11.7	0.999	1	0.26
7.841	DEHP	线性	2.5	1000	1/x	9.6	0.999	1	0.61
8.758	DNOP	线性	1	1000	1/x	11.3	0.999	1	0.27
9.274	DPHP	线性	1	1000	1/x	10.1	0.999	1	0.30
9.745	DNP	线性	1	1000	1/x	11.8	0.999	1	0.31
8.754	DINP	线性	50	20000	1/x	11.3	0.998	50	7.08
9.762	DIDP	线性	50	20000	1/x	11.7	0.998	50	7.13

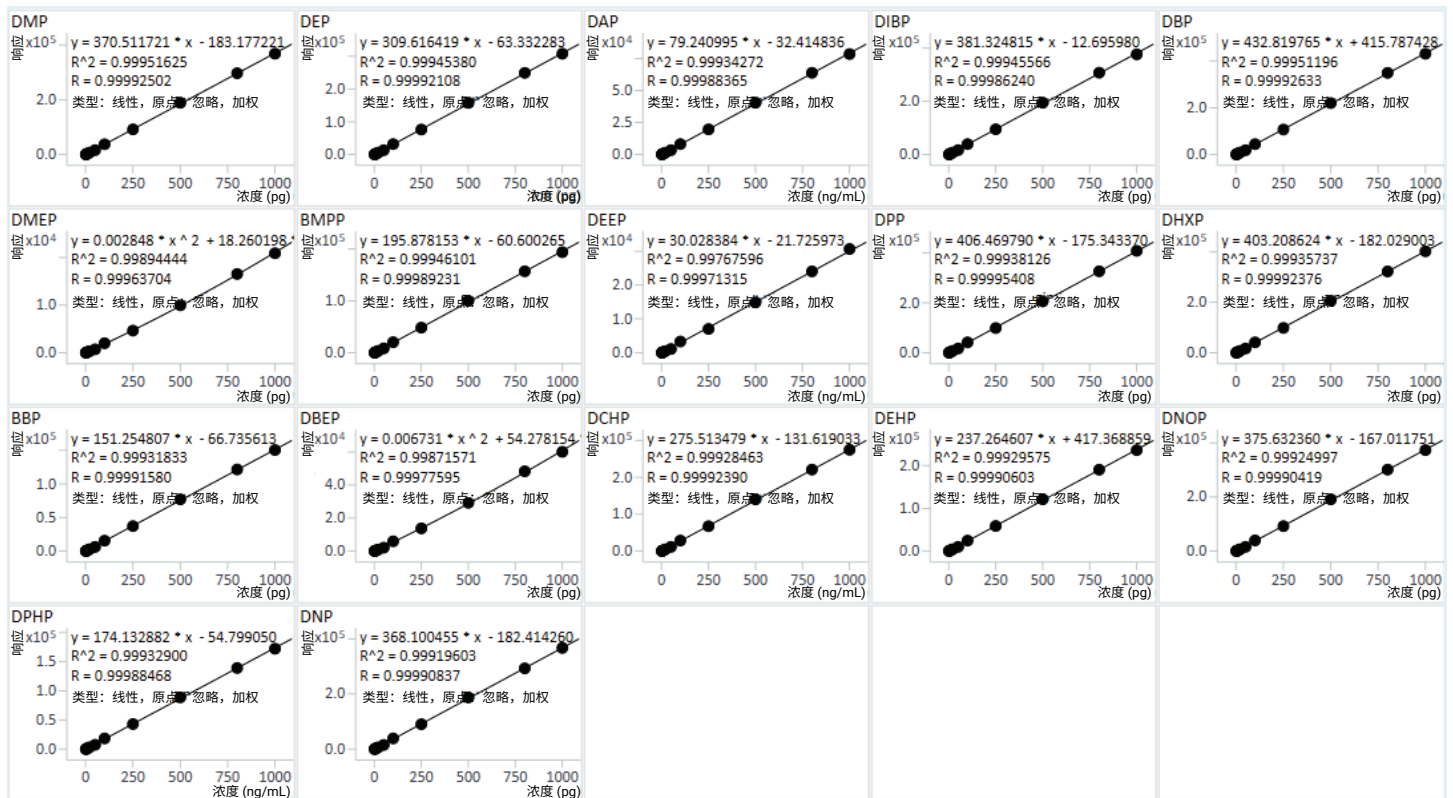


图 10. SIM 模式下，17 种邻苯二甲酸酯 11 个浓度点 (1-1000 pg) 的校准曲线

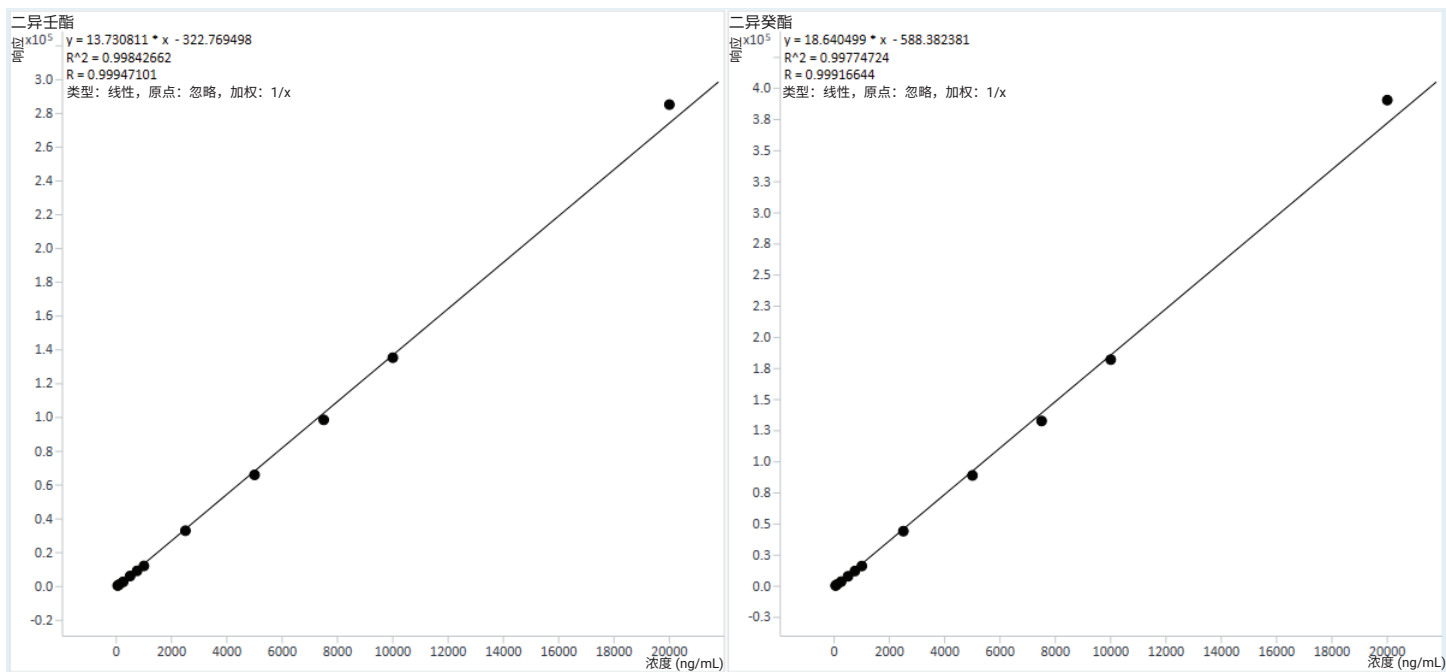


图 11. SIM 模式下, DNP 和 DIDP 11 个浓度点 (50–20000 pg) 的校准曲线

## 结论

使用 Agilent 5977C GC/MSD 和 8890 GC，遵循本应用简报所述的方法，可以获得优异的峰形、分离度和灵敏度。利用氢气载气与 Agilent J&W HP-5ms 180  $\mu\text{m}$  直径色谱柱，相较于使用氮气载气可以缩短分析时间。14 种邻苯二甲酸酯的校准曲线在 1–1000 pg 范围内呈线性。DMEP 和 DBEP 需要采用二次曲线拟合，DMEP 和 DEHP 的校准范围为 2.5–1000 pg。DINP 和 DIDP 采用线性拟合，校准范围为 50–20000 pg。要实现低浓度端的可靠校准，需要特别注意所使用的消耗品及使用前的预处理工作。

## 参考文献

1. Bushey, J. 使用 Agilent 8890 气相色谱系统和 Agilent 5977A GC/MSD 分析邻苯二甲酸酯, *安捷伦科技公司应用简报*, **2018**, 5994-0483ZHCN
2. Zhang, J. 将 Agilent 8890 GC 和配备 Agilent JetClean 的 MSD 联用按照方法 GB 5009.271-2016 进行邻苯二甲酸酯分析, *安捷伦科技公司应用简报*, **2019**, 5994-0656ZHCN
3. Dao, D. L.; Tran, M. T.; Phan, X. D.; Pham, Q. T.; Nguyen, T. L.; Ho, T. D.; Srisawang, B. Analysis of Phthalate with Hydrogen Carrier Gas (采用氢气载气分析邻苯二甲酸酯), *安捷伦科技公司应用简报*, **2024**, 5994-7215EN
4. Agilent EI GC/MS Instrument Helium to Hydrogen Carrier Gas Conversion (安捷伦 EI GC/MS 仪器载气由氮气转换为氢气), *安捷伦科技公司用户指南*, **2022**, 5994-2312EN
5. Andrianova, A. A.; Quimby, B. D. 用于分析挑战性基质中 PAHs 的优化的 GC/MS 方法, *安捷伦科技公司应用简报*, **2019**, 5994-0499ZHCN
6. Anderson, K. A.; Szelewski, M. J.; Wilson, G.; Quimby, B. D.; Hoffman, P. D. Modified Ion Source Triple Quadrupole Mass Spectrometer Gas Chromatograph for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *J. Chromatogr. A.* **2015**, 1419, 89–98. DOI: 10.1016/j.chroma.2015.09.054
7. Quimby, B. D.; Prest, H. F.; Szelewski, M. J.; Freed, M. K. In-Situ Conditioning in Mass Spectrometer Systems. US 8,378,293 B1, **2013**
8. 配备 HydroInert 离子源的 Agilent Inert Plus GC/MS 系统, *安捷伦科技公司技术概述*, **2022**, 5994-4889ZHCN
9. Quimby, B. D.; Andrianova, A. A. Mass Spectrometry Ion Source. US 12,033,843 B2, **2024**

查找当地的安捷伦客户中心:

[www.agilent.com/chem/contactus-cn](http://www.agilent.com/chem/contactus-cn)

免费专线:

800-820-3278, 400-820-3278 (手机用户)

联系我们:

[LSCA-China\\_800@agilent.com](mailto:LSCA-China_800@agilent.com)

在线询价:

[www.agilent.com/chem/erfq-cn](http://www.agilent.com/chem/erfq-cn)

[www.agilent.com](http://www.agilent.com)

DE-006223

本文中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技 (中国) 有限公司, 2025  
2025 年 5 月 7 日, 中国出版  
5994-8354ZHCN