

# 基于 ASTM D7504 方法使用 Agilent 8850 气相色谱系统分析单环芳烃

## 使用氦气或氢气载气的常规方法和快速方法

### 作者

Scott Hoy  
安捷伦科技有限公司

### 摘要

本应用简报重点介绍了 Agilent 8850 单通道气相色谱仪应用于 ASTM D7504 中所述的常见芳烃污染物的常规分离（39 分钟）和快速分离（6.05 分钟）的速度和精度<sup>[1]</sup>。此外，还展示了使用安捷伦方法转换软件将常规方法转换为快速方法的过程，供有兴趣探索 ASTM D7504 更多变化的用户使用。分别通过 20 次连续重复进样分析三种不同的外购混标，对两种方法的精度进行了评估。对于两种方法，该系统均获得了出色的精度，所有非痕量级化合物的计算浓度 RSD 均低于 1.0%。快速方法中对二甲苯标准品中苯的浓度为 14 ppmw 时，平均 (n = 20) RMS 信噪比 (S/N) 为 60，表明苯的 MDL 约低于 1.0 ppmw。

## 前言

ASTM D7504 是全球化学品行业中具有里程碑意义的方法，可用于成品的质量控制以及来料和中间产物流的过程控制。该方法可确定最简单的单环芳烃物质（包括苯、甲苯、乙苯和二甲苯异构体）的纯度。这些化合物被广泛用于燃料、溶剂以及生产更专业的化学品和材料的基础材料。ASTM D7504 的关键挑战在于如何在以对二甲苯为主成分的样品中将较小的乙苯峰和间二甲苯峰与较大的对二甲苯峰分离。

本应用简报探讨了按照 ASTM D7504 使用 Agilent 8850 气相色谱系统通过两种不同的方法对单环芳烃进行的分析。第一种方法是遵循常规应用，使用氦气载气和填充厚聚乙二醇固定相的长色谱柱，总运行时间为 39 分钟。这种方法和其他类似的方法，已经在 Agilent 6850、8860、8890 和 9000 气相色谱

系统上做过相应的研究并发表应用简报<sup>[2-5]</sup>。第二种方法是一种更快的方法，它使用氢气载气和长度更短内径更窄的 Wax 柱，总运行时间为 6.05 分钟。该快速方法可在不影响方法精度的情况下，保持对乙苯/对二甲苯/间二甲苯三重峰的充分分离。

Agilent 8850 气相色谱系统沿用 Agilent 6850 气相色谱系统的经典设计，但采用最新的技术，以相同的小体积配备功能强大的单通道。芳香族溶剂纯度方法在 6850 中广泛应用，该系统体积小，实验室可以在提高样品通量的同时拥有备用仪器。在本应用简报的开发过程中，一开始使用 6850 气相色谱系统开发常规分离，然后使用 8850 气相色谱系统进一步改进，图 1 显示了对二甲苯校验标准品（如实验部分所述）在这两种仪器上的分离情况。

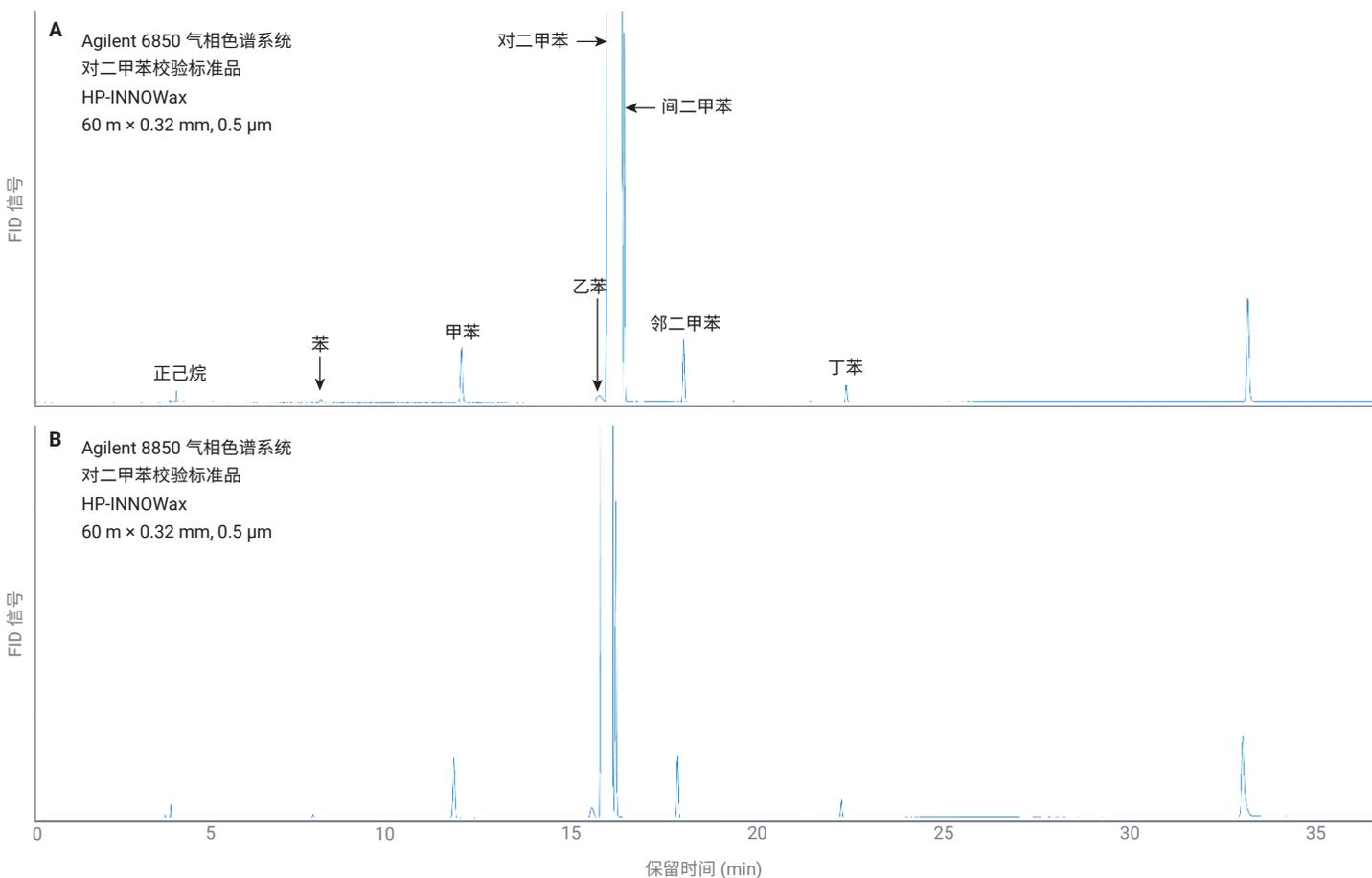


图 1. 使用 Agilent 6850 气相色谱系统 (A) 和 Agilent 8850 气相色谱系统 (B) 分析对二甲苯校验标准品获得的色谱图

8850 气相色谱系统将小体积柱温箱与驱动旗舰产品 8890 气相色谱系统的第六代电子气路控制 (EPC) 技术相结合。热敏性和气动精度的结合使 8850 气相色谱系统能够大大加快常规方法的速度。它还具有 Agilent 8890 和 9000 Intuvo 气相色谱的全套气相色谱智能功能, 包括空白评估和峰评估 (可帮助警告用户色谱条件被破坏), 以及早期维护反馈 (EMF) 计数器 (可追踪上次维护后的进样次数和间隔时间)。这些功能不仅能帮助用户取得成功, 还能保持性能, 延长仪器的正常运行时间。

8850 气相色谱系统上的 EMF 计数器尤其适用于快速方法, 在该方法中, 由于通量提高, 进样口消耗品 (如隔垫和衬管) 在一定时间内会经历更严重的磨损。图 2 显示了 EMF 计数器追踪衬管进样的情况, 以及可启用在达到时间或进样限值时通过气相色谱仪弹出警告的选项。这些计数器预先设置了安捷伦品牌消耗品的推荐限值, 用户可根据特定需求进行更改。可通过气相色谱仪前触摸屏、浏览器界面和 OpenLab CDS 访问 EMF 趋势图。

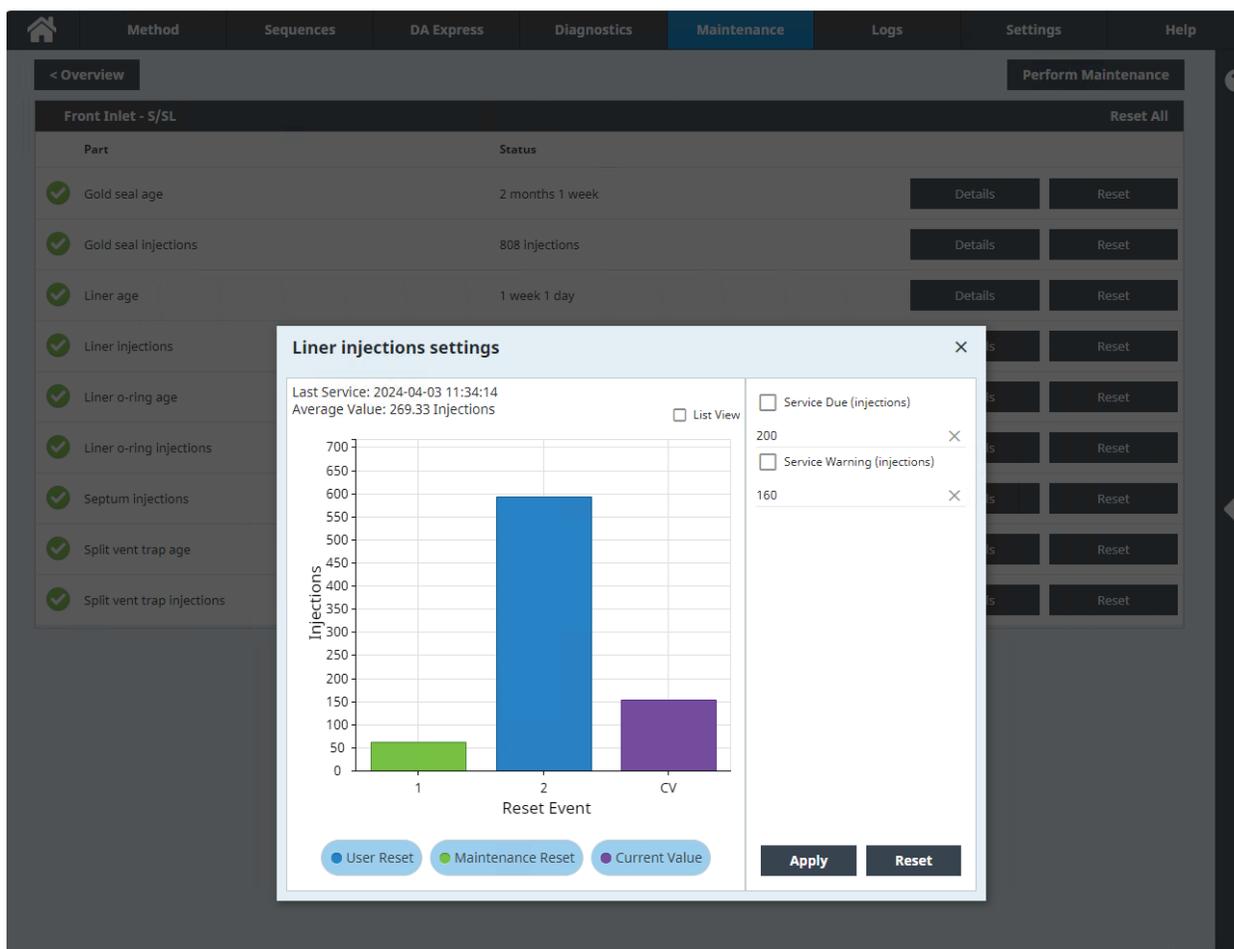


图 2. EMF 计数器根据 Agilent 8850 气相色谱系统上次更换衬管后的进样次数追踪进样口衬管的使用时长

除了提供仪器性能信息外，8850 气相色谱系统还可追踪能源和气体消耗情况。图 3 和图 4 所示为本应用简报开发过程中每天氦气消耗量和功耗情况的趋势图示例。对于运行 ASTM

D7504 的质量控制实验室而言，将多台气相色谱仪专用于提高储备量和通量的方法并不少见，每台气相色谱仪的功耗和气体消耗数据有助于快速识别潜在的异常行为，以便进行调查。

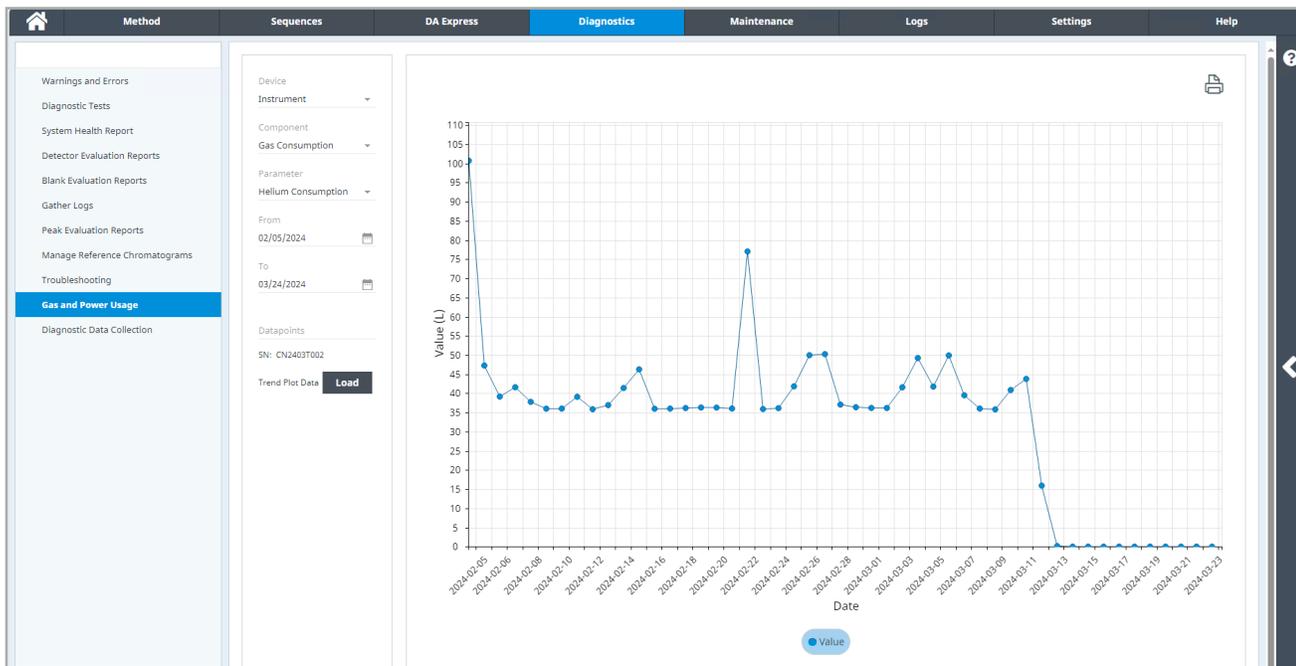


图 3. 开发本应用简报期间使用的 Agilent 8850 气相色谱系统的每日气体消耗量（氦气）。2024-03-13 的结果表明，随着方法开发转换为重点关注 H<sub>2</sub> 载气，He 消耗量下降。

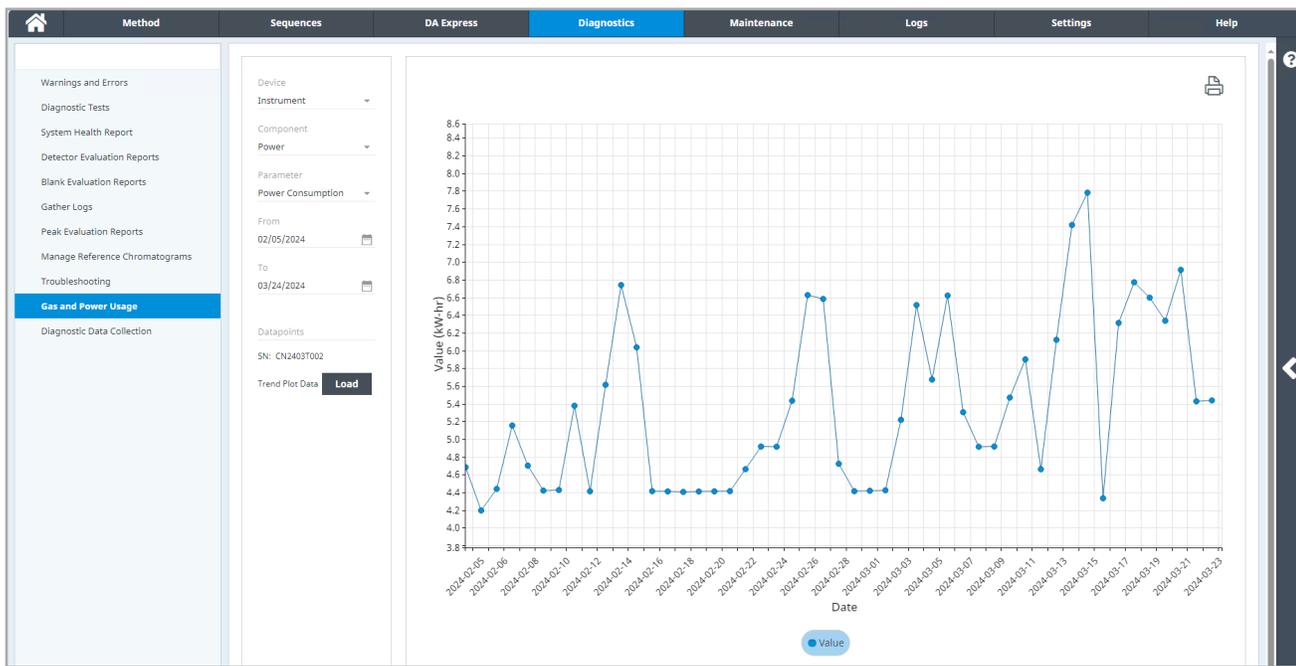


图 4. 开发本应用简报期间使用的 Agilent 8850 气相色谱系统的每日功耗

## 实验部分

8850 气相色谱系统配备 Agilent 7650A 自动进样器、分流/不分流 (SSL) 进样口和火焰离子化检测器 (FID)。常规方法使用 Agilent HP-INNOWax, 60 m × 0.32 mm, 0.5 μm 色谱柱 (部件号 19091N-2161E) 和氦气载气; 快速方法使用 20 m × 0.18 mm, 0.18 μm HP-INNOWax 色谱柱 (部件号 19091N-5771E) 和氢气载气。两种方法的仪器配置和消耗品见表 1; 两种方法的方法参数见表 2。

含有苯、甲苯和对二甲苯常见污染物的校验标准品购自 Spectrum Quality Standards (部件号分别为 7504CK-BZ、7504CK-T 和 7504CK-PX); 其组成如表 3 所示。对常规和快速方法进行精度研究, 包括对每个校验标准品进行 20 次连续重复进样。使用 Agilent OpenLab CDS 2.7 执行数据采集和分析。

表 1. 常规方法和快速方法的仪器配置和消耗品

| 配置        |   |  |
|-----------|---|--|
|           | 常规方法  | 快速方法   |
| 进样器       | Agilent 7650A 自动液体进样器 (ALS)                                   | Agilent 7650A 自动液体进样器 (ALS)                                    |
| 进样口       | 分流/不分流  | 分流/不分流   |
| 色谱柱       | Agilent HP-INNOWax, 60 m × 0.32 mm, 0.5 μm (部件号 19091N-2161E) | Agilent HP-INNOWax, 20 m × 0.18 mm, 0.18 μm (部件号 19091N-5771E) |
| 检测器       | FID   | FID  |
| 载气        | 氦气  | 氢气   |
| 消耗品       |   |  |
| 进样口隔垫     | 安捷伦不粘连高级绿色隔垫 (部件号 5183-4759)                                  |  |
| 进样口衬管     | 安捷伦超高惰性低压降分流衬管, 带玻璃毛 (部件号 5190-2295)                          |  |
| ALS 进样针   | 安捷伦蓝色系列, 5 μL, 固定针头, 23-26s/42/锥形针尖 (部件号 G4513-80206)         |  |
| 载气过滤器     | 用于载气的 Agilent Gas Clean 气体净化器套件, 1/8 英寸 (部件号 CP17976)         |  |
| FID 气体过滤器 | 用于 FID 的 Agilent Gas Clean 气体净化器套件, 1/8 英寸 (部件号 CP736530)     |  |

表 2. 常规方法和快速方法的方法参数

|                       | 常规方法               | 快速方法                 |
|-----------------------|--------------------|----------------------|
| 运行时间                  | 39 分钟              | 6.05 分钟              |
| ALS 和进样口              |                    |                      |
| 载气                    | 氦气, 2.1 mL/min, 恒流 | 氢气, 1.5 mL/min, 恒流模式 |
| 隔垫吹扫                  | 3 mL/min           | 6 mL/min             |
| 进样量                   | 0.6 μL             | 0.2 μL               |
| 模式                    | 分流, 100:1          | 分流, 500:1            |
| 温度                    | 260 °C             | 260 °C               |
| 柱温箱升温程序               |                    |                      |
| 初始温度                  | 60 °C              | 50 °C                |
| 初始保持时间                | 10 分钟              | 1 分钟                 |
| 温阶 1 速率               | 5 °C/min           | 40 °C/min            |
| 温阶 1 设定值              | 150 °C             | 100 °C               |
| 温阶 1 保持               | -                  | -                    |
| 温阶 2 速率               | 50 °C/min          | 50 °C/min            |
| 温阶 2 设定值              | 200 °C             | 240 °C               |
| 温阶 2 保持               | 10 分钟              | 1 分钟                 |
| 检测器                   |                    |                      |
| 数据采集速率                | 20 Hz              | 50 Hz                |
| 温度                    | 260 °C             | 260 °C               |
| 空气                    | 400 mL/min         | 400 mL/min           |
| 氢气                    | 30 mL/min          | 30 mL/min            |
| 尾吹气 (N <sub>2</sub> ) | 25 mL/min          | 25 mL/min            |

表 3. 苯、甲苯和对二甲苯校验标准品的成分剖析

|          | 苯校验标准品    | 甲苯校验标准品 | 对二甲苯校验标准品 |
|----------|-----------|---------|-----------|
|          | 浓度 (ppmw) |         |           |
| 正己烷      | 502       | -       | 27        |
| 苯        | 平衡气       | 159     | 14        |
| 甲苯       | 102       | 平衡气     | 320       |
| 1,4-二氧六环 | 10        | -       | -         |
| 乙苯       | -         | 205     | 85        |
| 对二甲苯     | 50        | 97      | 平衡气       |
| 间二甲苯     | 50        | 108     | 1251      |
| 异丙苯      | 10        | -       | -         |
| 邻二甲苯     | 30        | 10      | 296       |
| 丙基苯      | 202       | 24      | -         |
| 丁苯       | 100       | -       | 74        |

## 结果与讨论

### 常规 D7504 方法

图 5 显示了使用常规方法配置和 60 m × 320 μm, 0.5 μm HP-INNOWax 色谱柱对所有三种校验标准品进行的分离。该方法在约 23 分钟内成功洗脱苯、甲苯和对二甲苯标准品中的所有化合物。由于对二甲苯在空气中容易缓慢氧化，因此在对二甲苯色谱图的末端会出现两个额外的峰。如果在下一次进样前没有完全洗脱，这些氧化产物会与样品中的其他潜在污染物一起，以“鬼峰”的形式出现在下一次的谱图中。为帮助消除

潜在的交叉污染，柱温箱的温度逐渐升高，超过了常规方法的最终温度 150 °C。具体做法是取消在 150 °C 下保持 10 分钟的步骤，改为以 50 °C/min 将柱温箱从 150 °C 快速升温至 200 °C，并在 200 °C 下保持 10 分钟。请注意，本应用简报使用 120 V 8850 气相色谱系统开发；230 V 型号气相色谱系统的柱温箱升温速率更快。尽管存在这种差异，120 V Agilent 8850 气相色谱系统仍能以出色的精度实现快速升温，31 分钟时较大污染物峰的保留时间重现性印证了这一点 (0.0018% RSD, n = 20)。

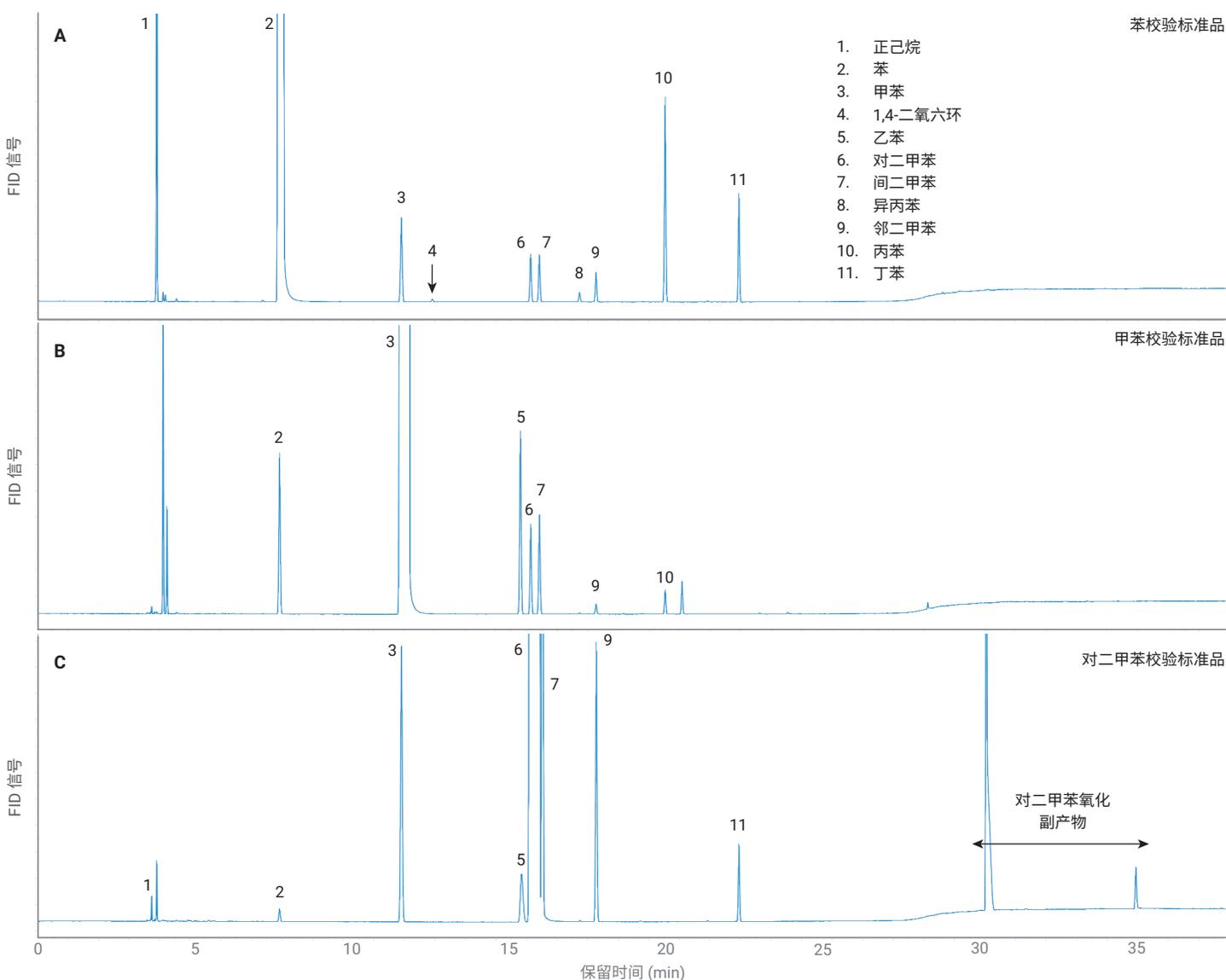


图 5. 苯 (A)、甲苯 (B) 和对二甲苯 (C) 校验标准品的常规方法分离

为评估该方法的重现性，通过连续 20 次重复进样每种校验标准品，并在每组重复进样之间加入空白进样，进行了精度研究。精度研究结果如表 4 所示。由于轻质芳烃分子的蒸气压相对较高，并且易受当地环境条件波动的影响，因此难以实现高精度分析。这可能会导致自动进样器注入样品量的可变性

增加，与甲苯和对二甲苯校验标准品相比，苯校验标准品中化合物的峰面积 %RSD 结果较高印证了这一点。ASTM D7504 采用归一化定量过程，有助于克服这一挑战，在对所有三种标准品中的所有非痕量分子进行 n = 20 次重复测量时，计算得到的浓度 %RSD 值低于 1.0%。

表 4. 常规方法的精度研究结果

|          | 苯校验标准品 (n = 20)    |            |              |         |          |           |
|----------|--------------------|------------|--------------|---------|----------|-----------|
|          | 浓度 (ppmw)          | 平均 RMS 信噪比 | RT 平均值 (min) | RT %RSD | 峰面积 %RSD | %质量数 %RSD |
| 正己烷      | 502                | 17235      | 3.8885       | 0.011   | 2.88     | 0.72      |
| 苯        | 平衡气                | 9721787    | 8.0008       | 0.0274  | 2.85     | 0.00      |
| 甲苯       | 102                | 1304       | 11.8929      | 0.0158  | 2.81     | 0.32      |
| 1,4-二氧六环 | 10                 | 44         | 12.9036      | 0.0277  | 2.37     | 2.73      |
| 对二甲苯     | 50                 | 739        | 16.1223      | 0.0087  | 2.81     | 0.37      |
| 间二甲苯     | 50                 | 729        | 16.407       | 0.008   | 2.68     | 0.55      |
| 异丙苯      | 10                 | 152        | 17.7228      | 0.0073  | 2.19     | 1.40      |
| 邻二甲苯     | 30                 | 459        | 18.2612      | 0.0067  | 2.61     | 0.81      |
| 丙基苯      | 202                | 3187       | 20.5218      | 0.0046  | 2.82     | 0.64      |
| 丁苯       | 100                | 1711       | 22.9378      | 0.0033  | 2.87     | 0.77      |
|          | 甲苯校验标准品 (n = 20)   |            |              |         |          |           |
|          | 浓度 (ppmw)          | 平均 RMS 信噪比 | RT 平均值 (min) | RT %RSD | 峰面积 %RSD | %质量数 %RSD |
| 苯        | 159                | 2506       | 7.9078       | 0.008   | 1.54     | 0.41      |
| 甲苯       | 平衡气                | 5376842    | 12.1279      | 0.0123  | 1.57     | 0.00      |
| 乙苯       | 205                | 2919       | 15.7896      | 0.0059  | 1.66     | 0.29      |
| 对二甲苯     | 97                 | 1404       | 16.1265      | 0.0067  | 1.65     | 0.28      |
| 间二甲苯     | 108                | 1568       | 16.4113      | 0.0062  | 1.65     | 0.33      |
| 邻二甲苯     | 10                 | 165        | 18.2643      | 0.0059  | 1.36     | 0.77      |
| 丙基苯      | 24                 | 388        | 20.5246      | 0.0035  | 1.73     | 0.73      |
|          | 对二甲苯校验标准品 (n = 20) |            |              |         |          |           |
|          | 浓度 (ppmw)          | 平均 RMS 信噪比 | RT 平均值 (min) | RT %RSD | 峰面积 %RSD | %质量数 %RSD |
| 正己烷      | 27                 | 921        | 3.8885       | 0.0166  | 1.00     | 0.94      |
| 苯        | 14                 | 199        | 7.906        | 0.0123  | 0.84     | 0.81      |
| 甲苯       | 320                | 4130       | 11.8959      | 0.0099  | 0.78     | 0.49      |
| 乙苯       | 85                 | 732        | 15.8226      | 0.0196  | 0.75     | 0.17      |
| 对二甲苯     | 平衡气                | 4600116    | 16.3998      | 0.0122  | 0.76     | 0.00      |
| 间二甲苯     | 1251               | 21670      | 16.5071      | 0.0061  | 0.78     | 0.10      |
| 邻二甲苯     | 296                | 4258       | 18.2729      | 0.0044  | 0.77     | 0.10      |
| 丁苯       | 74                 | 1164       | 22.9403      | 0.0023  | 0.84     | 0.29      |

## 快速 D7504 方法

尽管 8850 气相色谱系统为常规 D7504 方法带来了价值，但当应用于更具挑战性的分离时，其真正的潜力才得以体现。通过提高柱温箱升温速率、缩短柱温箱温度保持时间以及使用氢气代替氦气作为载气，可以大大加快 ASTM D7504 分离速度。较快的柱温箱升温速率会降低分离度，为了确保乙苯/对二甲苯/间二甲苯区域的分离效果满足要求，必须抵消这种降低。为此，我们将色谱柱内径从 320  $\mu\text{m}$  减至 180  $\mu\text{m}$ ，这大大提高了分离效率（色谱峰更加尖锐），进而提高了整体分离度。更尖锐的色谱峰会对分离度的提高产生显著影响，因此也可以缩短色谱柱柱长，从而进一步加快分析方法的速度。

为了帮助用户了解改变色谱柱和方法参数的影响，安捷伦在每套气相色谱系统中都提供了方法转换软件以及其他实用的气相色谱计算器，这些工具也可以在线下载。方法转换软件（图 6）允许用户输入现有的方法参数、色谱柱属性、载气和柱温箱程序步骤，并计算适当的参数，以便在使用不同色谱柱和载气时获得几乎相同的分离效果。除了原始转换外，方法转换软件还可以输出方法参数以获得所需的速度增益或大幅提高分离效率（峰尖锐度）。图 6 显示了利用方法转换软件如何将常规 D7504 方法参数转换为使用氢气载气和 20 m  $\times$  0.18  $\mu\text{m}$  HP-INNOWax 色谱柱的快速方法。

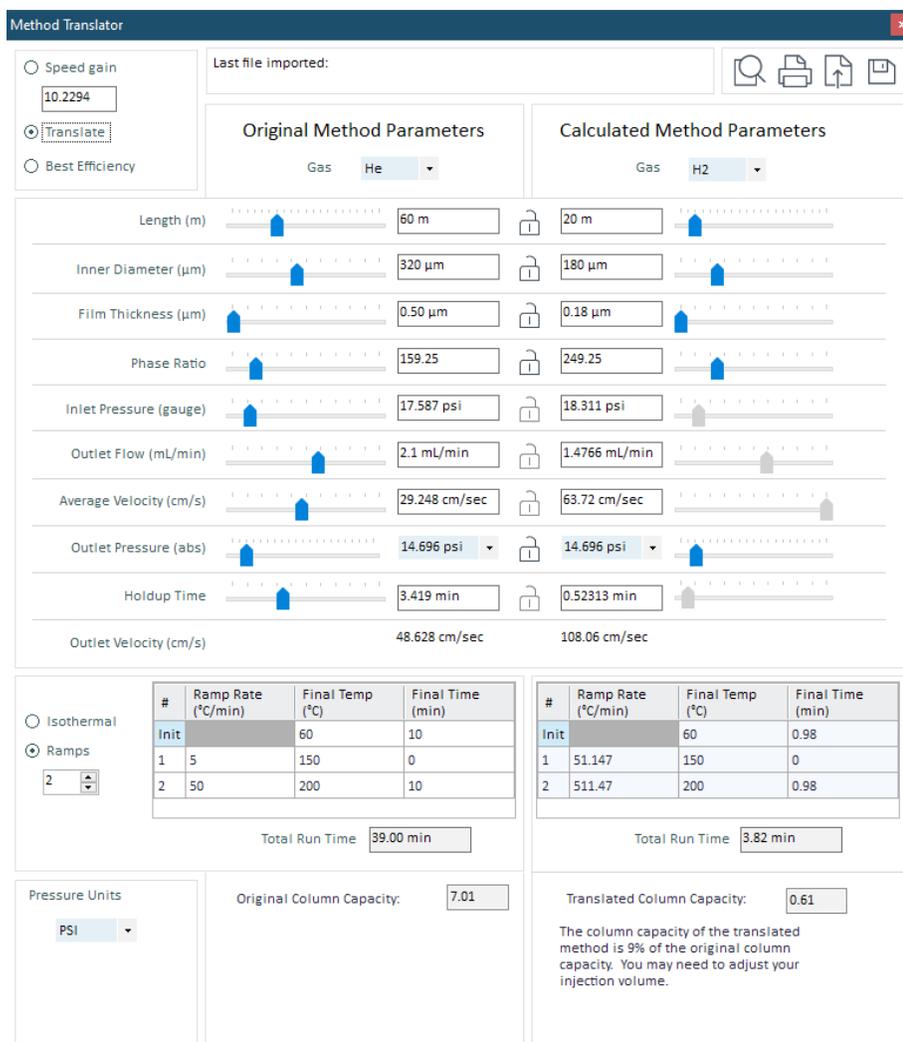


图 6. 安捷伦方法转换软件将常规方法参数转换为使用不同色谱柱和氢气载气进行相同分离的参数

方法转换软件显示新的总运行时间为 3.82 分钟，比常规 D7504 快约 10 倍。通过将转换后的柱温箱升温速率修约至 50 °C/min，将初始和最终保持时间分别修约至 1 分钟，并将新的升温速率从 511.47 °C/min 降回 50 °C/min，可将柱温箱升温程序简化，得到 4.8 分钟的新的总运行时间。通

过减缓对二甲苯/间二甲苯洗脱窗口期间的升温梯度，以提高分离效果。此外，将最终柱温箱温度升至 240 °C，以帮助洗脱潜在的污染物。最终的方法参数如表 2 所示，所得到的校验标准品分离结果如图 7 所示。

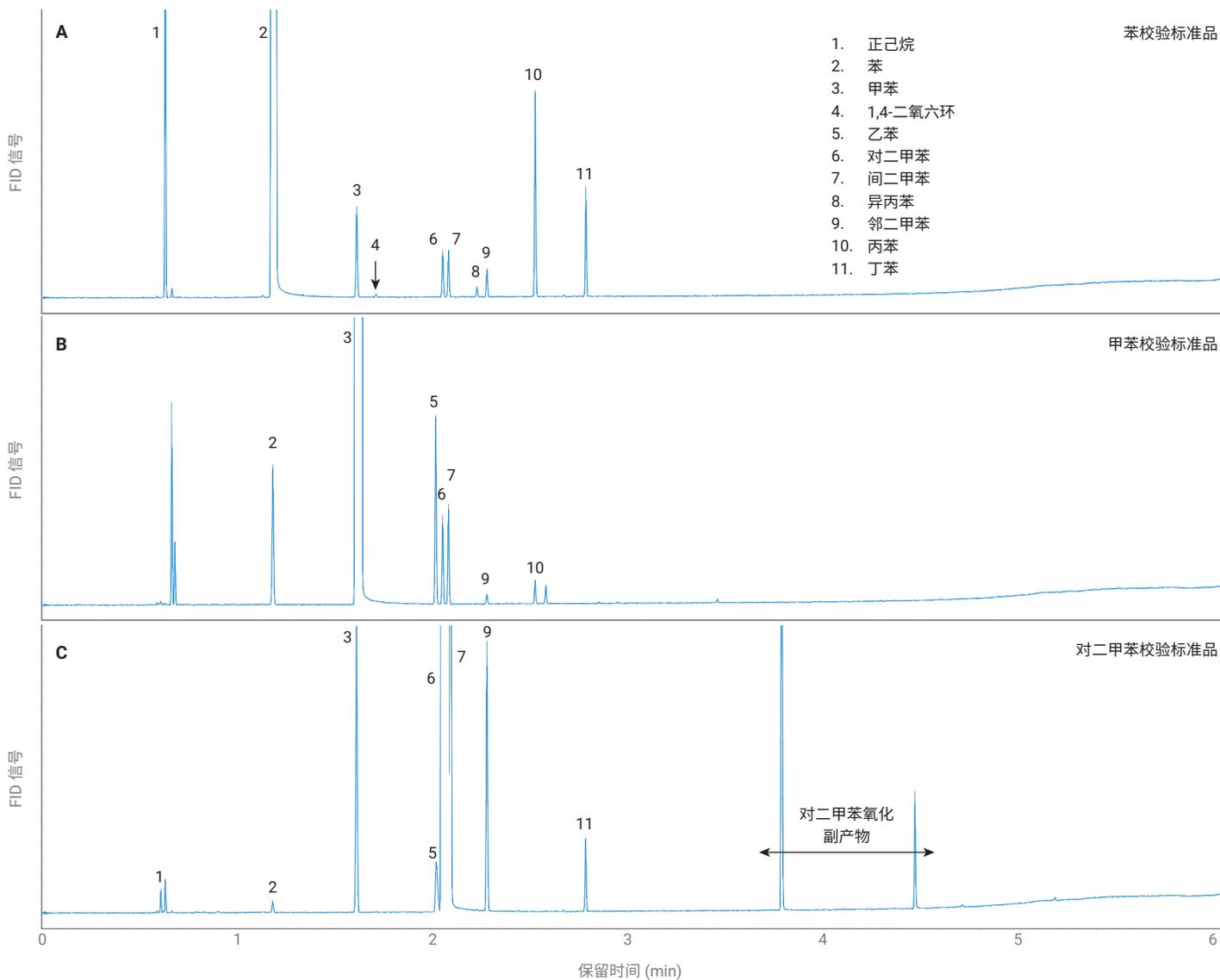


图 7. 苯 (A)、甲苯 (B) 和对二甲苯 (C) 校验标准品的快速方法分离

方法转换软件输出的关键参数是转换后的色谱柱容量。该参数对于成功分离对二甲苯样品中的乙苯/对二甲苯/间二甲苯三重峰至关重要。在这种情况下，方法转换软件显示新色谱柱的容量是常规方法色谱柱容量的 9%，这意味着必须调整快速方法的进样量和 ALS 参数，以减少约 90% 的进样量。为此，我们将进样量从 0.6  $\mu\text{L}$  减少到 0.2  $\mu\text{L}$ ，并将分流比从 100:1 增至 500:1，使载样量减少 93%。

对常规方法进行的精度研究同样适用于快速方法（耗费 1/5 的时间）；结果如表 5 所示。除痕量化合物外，每种化合物的浓度 %RSD 值均低于 1.0%。与常规方法（洗脱窗口为 41.1 s）相比，第六代 EPC 和灵活的柱温箱控制的直接影响体现在快速方法的保留时间精度上，其中乙苯、对二甲苯和间二甲苯的洗脱窗口为 4.3 s。

表 5. 快速方法的精度研究结果

|          | 苯校验标准品 (n = 20)    |            |              |         |          |           |
|----------|--------------------|------------|--------------|---------|----------|-----------|
|          | 浓度 (ppmw)          | 平均 RMS 信噪比 | RT 平均值 (min) | RT %RSD | 峰面积 %RSD | %质量数 %RSD |
| 正己烷      | 502                | 3263       | 0.6327       | 0.0078  | 1.82     | 0.19      |
| 苯        | 平衡气                | 3010035    | 1.1953       | 0.0313  | 1.76     | 0.00      |
| 甲苯       | 102                | 458        | 1.6127       | 0.0221  | 1.76     | 0.88      |
| 1,4-二氧六环 | 10.1               | 15         | 1.7117       | 0.0442  | 6.31     | 6.70      |
| 对二甲苯     | 50.3               | 241        | 2.0527       | 0.0179  | 1.84     | 1.00      |
| 间二甲苯     | 50.3               | 237        | 2.0824       | 0.0167  | 1.75     | 0.97      |
| 异丙苯      | 10.1               | 49         | 2.2278       | 0.0176  | 3.59     | 4.13      |
| 邻二甲苯     | 30.2               | 145        | 2.2792       | 0.0154  | 1.74     | 1.90      |
| 丙基苯      | 202                | 1026       | 2.5258       | 0.0167  | 1.68     | 0.37      |
| 丁苯       | 99.7               | 548        | 2.7848       | 0.0171  | 1.87     | 0.62      |
|          | 甲苯校验标准品 (n = 20)   |            |              |         |          |           |
|          | 浓度 (ppmw)          | 平均 RMS 信噪比 | RT 平均值 (min) | RT %RSD | 峰面积 %RSD | %质量数 %RSD |
| 苯        | 159                | 707        | 1.1837       | 0.024   | 2.09     | 0.46      |
| 甲苯       | 平衡气                | 2150591    | 1.6349       | 0.0451  | 2.48     | 0.00      |
| 乙苯       | 205                | 952        | 2.0171       | 0.0205  | 2.35     | 0.26      |
| 对二甲苯     | 97.3               | 452        | 2.0527       | 0.0187  | 2.34     | 0.42      |
| 间二甲苯     | 108                | 502        | 2.0824       | 0.0181  | 2.36     | 0.39      |
| 邻二甲苯     | 10                 | 50         | 2.279        | 0.0184  | 2.15     | 1.88      |
| 丙基苯      | 24.2               | 122        | 2.5257       | 0.0135  | 2.47     | 0.97      |
|          | 对二甲苯校验标准品 (n = 20) |            |              |         |          |           |
|          | 浓度 (ppmw)          | 平均 RMS 信噪比 | RT 平均值 (min) | RT %RSD | 峰面积 %RSD | %质量数 %RSD |
| 正己烷      | 27                 | 169        | 0.633        | 0.0099  | 2.06     | 1.57      |
| 苯        | 14                 | 60         | 1.1838       | 0.0338  | 2.12     | 2.03      |
| 甲苯       | 319.9              | 1484       | 1.6126       | 0.023   | 2.05     | 0.22      |
| 乙苯       | 84.6               | 254        | 2.0216       | 0.0271  | 1.61     | 0.76      |
| 对二甲苯     | 平衡气                | 1857116    | 2.0812       | 0.0422  | 2.06     | 0.00      |
| 间二甲苯     | 1251.4             | 7495       | 2.0938       | 0.0254  | 1.99     | 0.67      |
| 邻二甲苯     | 296.2              | 1400       | 2.2797       | 0.0173  | 2.00     | 0.16      |
| 丁苯       | 73.9               | 385        | 2.7845       | 0.0136  | 2.08     | 0.48      |

快速方法的一大亮点是对二甲苯校验标准中的苯，其含量为 14 ppmw，平均 RMS 信噪比为 60。在柱上进样量减少了 93% 的前提下，苯的方法检出限约为 0.7 ppmw（信噪比 = 3），方法定量限为 2.3 ppmw（信噪比 = 10）。图 8 显示了对二甲苯

校验标准品的 20 次连续重复进样的苯峰叠加图。对于痕量化合物灵敏度要求较高的用户，可以降低进样口分流比以增加进样量，但这会降低乙苯/对二甲苯/间二甲苯三重峰的分离度。

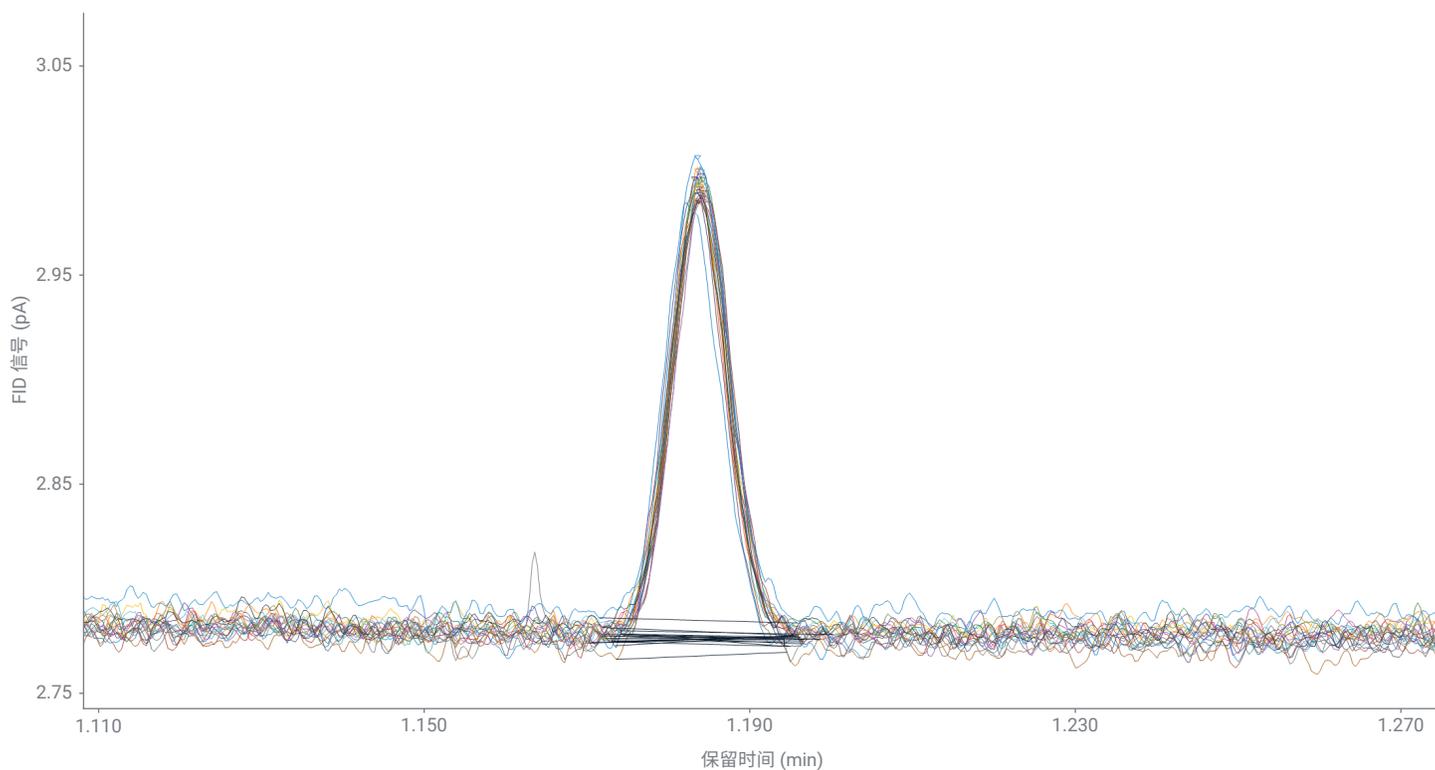


图 8. 快速方法对二甲苯校验标准品的 20 次连续重复进样的叠加图，显示苯的含量为 14 ppmw，平均 RMS 信噪比为 60

## 结论

结果表明，Agilent 8850 气相色谱系统在应用于常规方法和 ASTM D7504 优化的快速方法时，均可提供出色的稳定性和精度。在连续 20 次重复进样中，采用两种方法分析所有三种标准品中的所有非痕量组分得到的浓度 %RSD 值均低于 1.0%。苯的浓度为 14 ppmw 时，使用常规方法时，平均 RMS 信噪比为 199，使用快速方法时为 60，表明这两种方法的近似方法检出限均低于 1.0 ppmw。Agilent 8850 气相色谱仪的宽度仅为 Agilent 8890 气相色谱仪的一半，在占地面积相同的情况下使用两台 Agilent 8850 气相色谱仪可为单通道测试方法提供了真正的备用仪器。Agilent 8850 气相色谱仪的全套气相色谱智能功能有助于增强仪器的远程监控和诊断，早期维护反馈计数器有助于大幅延长仪器的正常运行时间。

## 参考文献

1. ASTM D7504-23, Standard Test Method for Trace Impurities in Monocyclic Aromatic Hydrocarbons by Gas Chromatography and Effective Carbon Number, ASTM International, West Conshohocken, PA, **2023**.  
[www.astm.org](http://www.astm.org)
2. McCurry, J. D. A Unified Gas Chromatographic Method for Aromatic Solvent Analysis (用于芳烃溶剂分析的统一气相色谱方法), *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5988-3741EN, **2001** 年 8 月
3. Zhang, Y., 使用 Agilent 8860 气相色谱系统和内置数据处理工具分析单环芳烃溶剂的通用方法, *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5994-1586ZHCN, **2022** 年 9 月
4. Pan, J.; Wieder, L.; McCurry, J., 在 Agilent 8890 气相色谱系统上根据 ASTM D7504 优化单环芳烃纯度分析的效率和可靠性, *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5994-0597ZHCN, **2019** 年 1 月
5. 化学纯度分析, *安捷伦科技公司应用简报*, 出版号 5991-7220CHCN, **2016** 年 9 月

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/gc/8850](http://www.agilent.com/gc/8850)

DE65256369

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, 2024  
2024 年 5 月 15 日, 中国出版  
5994-7409ZHCN