

# 利用 Agilent 8850 气相色谱仪快速分析蒸馏酒并进行长期稳定性测试

## 作者

Youjuan Zhang,  
Jinjiang Zhang 和 Shun Na  
安捷伦科技有限公司  
中国上海

## 摘要

准确、快速地分析蒸馏酒中的关键化合物对于确保产品质量、优化生产工艺及高效解决质量问题至关重要。本研究利用配备火焰离子化检测器 (FID) 的 Agilent 8850 气相色谱 (GC) 系统，开发了一种快速分析蒸馏酒中醇类、醛类、酯类和有机酸的方法。通过采用 10 m 的 Agilent J&W DB-WAX UI 色谱柱，结合 8850 气相色谱仪特有的柱温箱快速加热和冷却功能，与传统方法相比，单个样品的分析周期缩短至三分之一。我们考察了不同的载气，获得了优异的性能，并且满足蒸馏酒行业质控部门的要求。通过实际样品的 2000 多次进样分析，验证了该快速分析方法的适用性以及系统的超高惰性和长期稳定性。

## 前言

在蒸馏酒行业，醇类、酯类、醛类和酸类等化合物会直接影响酒的风味、品质及稳定性。因此，对这些化合物进行准确的定量分析是确保产品符合质量标准的关键环节。传统分析方法<sup>[1]</sup>往往耗时较长，而质控 (QC) 部门通常需要在短时间内完成大批量样品检测，以满足生产线的实时需求或快速响应质量问题。快速的分析解决方案不仅能显著提高工作效率，还能减少等待时间，从而保障生产流程顺畅高效以及产品品质稳定。此外，快速可靠的分析技术有助于发现潜在工艺问题，进而优化生产工艺。

Agilent 8850 气相色谱系统是一款紧凑小巧、节能高效的智能气相色谱仪，专为需要快速分析的实验室而设计。它的亮点之一在于其柱温箱，可以极快地加热和冷却，尤其适合快速检测场景。本研究采用 8850 气相色谱仪结合超高惰性 10 m DB-WAX 色谱柱快速分析蒸馏酒样品。我们在不同载气条件下评估了系统性能，包括氮气、氦气和氢气，以满足各实验室的差异化需求。结果表明，相较于耗时超过 30 分钟的传统方法，该系统可以显著缩短分析时间，无论采用何种载气，都能节省三倍以上的时间。其中，使用氢气作为载气时，性能尤其出色：蒸馏酒中的所有 17 种关键组分在 3 分钟内全部流出，单个样品的整个分析周期仅 7 分钟，分析效率是传统方法的五倍。该系统的快速分析能力为蒸馏酒行业提供了一种卓有成效的解决方案，能够在保持与传统方法相同的准确性和可靠性的同时，实现更快、更高效的检测。

## 实验部分

使用配备火焰离子化检测器 (FID) 的 8850 气相色谱仪快速分析蒸馏酒。采用配备 5  $\mu\text{L}$  进样针的 Agilent 7650A 自动液体进样器完成进样。使用 OpenLab CDS 2.7 采集并处理数据。

表 1. Agilent 8850 气相色谱仪氮气、氦气和氢气载气方法的配置参数

|        | 氮气载气   | 氦气载气   | 氢气载气   |
|--------|--|--|--|
| 气相色谱系统 | Agilent 8850 GC/FID  |  |  |
| 进样口    | 分流/不分流，250 °C，分流比 200:1<br>安捷伦进样口衬管，超高惰性，低压降，分流，带玻璃毛（部件号 5190-2295）  |  |  |
| 色谱柱    | Agilent J&W DB-WAX 超高惰性柱，10 m × 0.18 mm, 0.18 $\mu\text{m}$ (部件号 121-7012UI)                                   |  |  |
| 载气     | 氮气，梯度流速，<br>0.06 mL/min<br>(0.5 min)，然后以<br>20 mL/min/min 升至<br>0.5 mL/min                                     | 氦气，梯度流速，<br>0.16 mL/min<br>(0.2 min)，然后以<br>20 mL/min/min 升至<br>0.8 mL/min                                     | 氢气，梯度流速，<br>0.2 mL/min<br>(0.1 min)，然后以<br>10 mL/min/min 升至<br>1 mL/min  |
| 柱温箱    | 35 °C (1.4 min)，<br>然后以 12 °C/min<br>升至 70 °C，然后以<br>150 °C/min 升至<br>210 °C (1 min);<br>后运行：240 °C<br>(1 min) | 35 °C (1 min)，<br>然后以 26 °C/min<br>升至 70 °C，然后以<br>130 °C/min 升至<br>240 °C (0.5 min);<br>后运行：245 °C<br>(1 min) | 35 °C (0.7 min)，<br>然后以 34.4 °C/min<br>升至 70 °C，然后以<br>172 °C/min 升至<br>240 °C (0.5 min);<br>后运行：245 °C<br>(0.5 min) |
| FID    | 250 °C；氢气：30 mL/min；空气：300 mL/min；<br>尾吹气 ( $\text{N}_2$ )：25 mL/min   |  |  |
| 进样     | 0.5 $\mu\text{L}$<br>安捷伦 ALS 进样针，金标，23–26s 锥形针头 (部件号 5181-1273)  |  |  |

注：表 1 中的柱温箱升温速率基于 8850 240V 快速柱温箱。

## 样品前处理

本研究使用的 17 种目标化合物单标及 3 种内标 (ISTD) 购自上海安谱实验科技股份有限公司。四个实际样品（中国白酒）由客户提供。

实验所用溶剂为体积比 60:40 的乙醇/水溶液。取一定量的各单标化合物混合，用上述溶剂稀释，制备混标储备液。为了建立校准曲线，配制了六种不同浓度的标准溶液，各目标化合物的具体浓度详见表 2。

内标化合物为叔戊醇、乙酸正戊酯和 2-乙基丁酸。内标 (ISTD) 化合物同样使用乙醇/水溶液 (60:40) 作为溶剂，最终分析浓度为 200 ppm。定量计算时，醇类和醛类以叔戊醇为内标，酯类以乙酸正戊酯为内标，乙酸和己酸则以 2-乙基丁酸为内标进行定量。

## 结果与讨论

考虑到不同实验室的需求有所不同，本研究评估了使用氮气、氢气和氦气作为载气在蒸馏酒分析中的性能。对于有成本控制要求的实验室，可以优先考虑使用氮气作为载气。对于追求高效率但又无法使用氢气作为载气的实验室，氦气是一个不错的选择。如果需要实现超快速分析，则可以选择氢气作为载气。

### 方法优化

在方法开发的初期阶段，我们发现使用中部砂芯衬管（部件号 5190-5105）在相同的采集条件下可以获得更尖锐的色谱峰和更好的分离度。但相较于带玻璃毛的衬管，使用 5190-5105 衬管得到的峰面积重复性结果并不理想。醇类和酯类的绝对峰面积重复性 (RSD) 超过 3%，而酸类的重复性则更差。经过比较多种不同的衬管，本研究最终选择了 5190-2295 衬管，并且经方法优化后，获得了满意的峰形。

在开发此快速分析方法的过程中，我们还观察到，当以氮气作为载气且色谱柱采用恒流模式时，第一个流出的化合物乙醛在使用中部砂芯衬管时可以获得尖锐的峰形。而当换用玻璃毛衬管（如 5190-2295 衬管）时，乙醛峰出现展宽甚至分裂现象（图 1）。如前所述，中部砂芯衬管的重复性不及玻璃毛衬管。因此，本实验最终采用 5190-2295 衬管。为了优化乙醛的峰形，本研究采用了梯度流速模式。最初，设定较低的色谱柱流速并短暂保持一段时间，然后快速升至正常流速。这种方法使乙醛获得了尖锐的峰形。

### 氮气载气结果

利用 8850 气相色谱仪的快速加热和冷却功能以及 10 m 短色谱柱，实现了对蒸馏酒的快速分析。使用氮气作为载气时，单次进样的气相色谱运行时间为 6.25 分钟，随后进行 1 分钟的后运行。冷却和平衡时间约为 3 分钟，因此单个样品的总分析时长为 11 分钟。如图 2 所示，传统方法分析单个样品需要超过 35 分钟（包括冷却和平衡时间）。相比之下，快速方法只需 11 分钟。由于分析时间显著缩短，快速方法可以将实验室效率提高至三倍以上。此外，尽管分析时间大幅缩短，但图 3 表明分离效果和峰形仍表现优异。乙酸乙酯、乙缩醛和甲醇等关键化合物均获得了尖锐对称的峰，并实现了基线分离。乳酸乙酯和正己醇也实现了完全基线分离。对称的峰形和良好的分离是实现准确定量的前提，而该系统的分析结果充分地证明了其定量准确性。

通过优化方法参数，获得了优异的峰形和分离效果。接下来，我们进行了方法验证，包括评估线性、重复性、检出限 (LOD) 等性能指标。考虑到几种实际样品中各目标组分的浓度差异较大，本研究针对不同的化合物选择了不同的线性范围，详见表 2。各化合物均建立了 6 点校准曲线，相关系数均  $\geq 0.9992$ 。图 4 为主要的醇类、醛类、酯类和酸类的校准曲线。

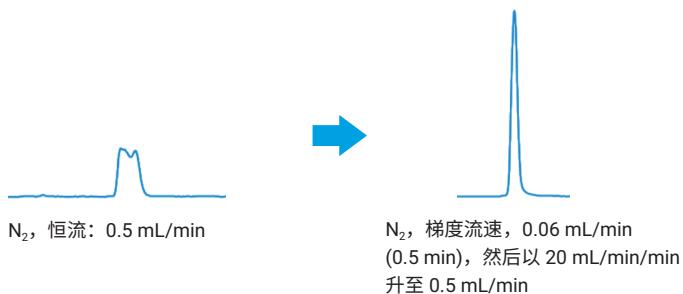
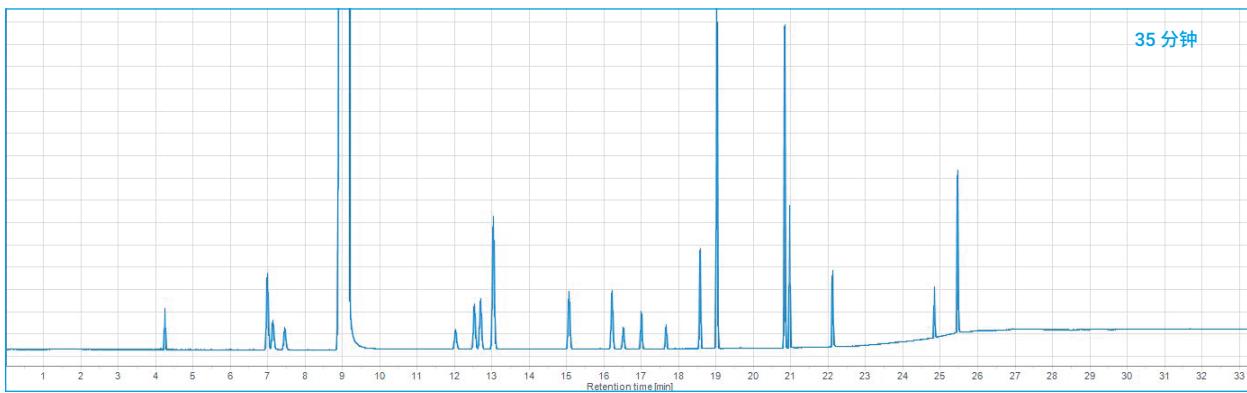


图 1. 优化乙醛的峰形

A



B

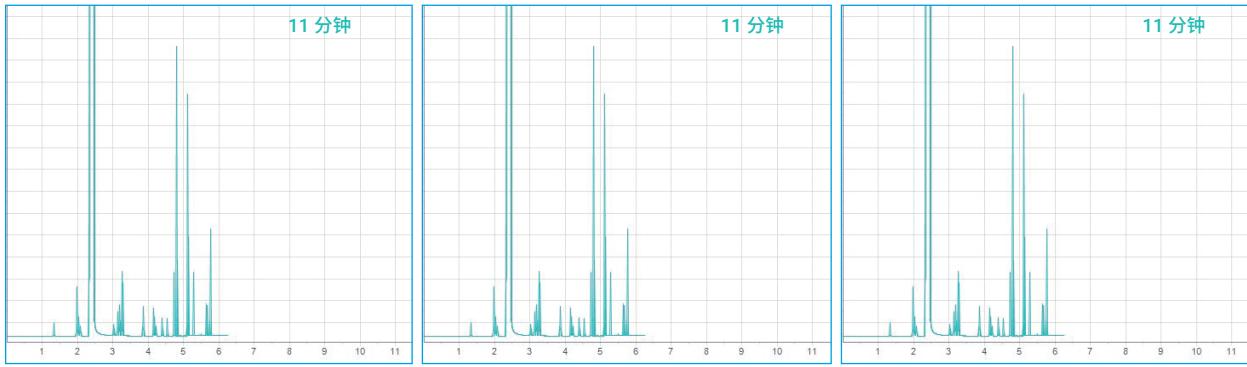


图2. 使用氮气作为载气时，传统方法与快速分析方法的分析周期比较。传统方法分析一个样品需要 35 分钟 (A)，相同时间内，11 分钟快速方法可以分析三个样品 (B)

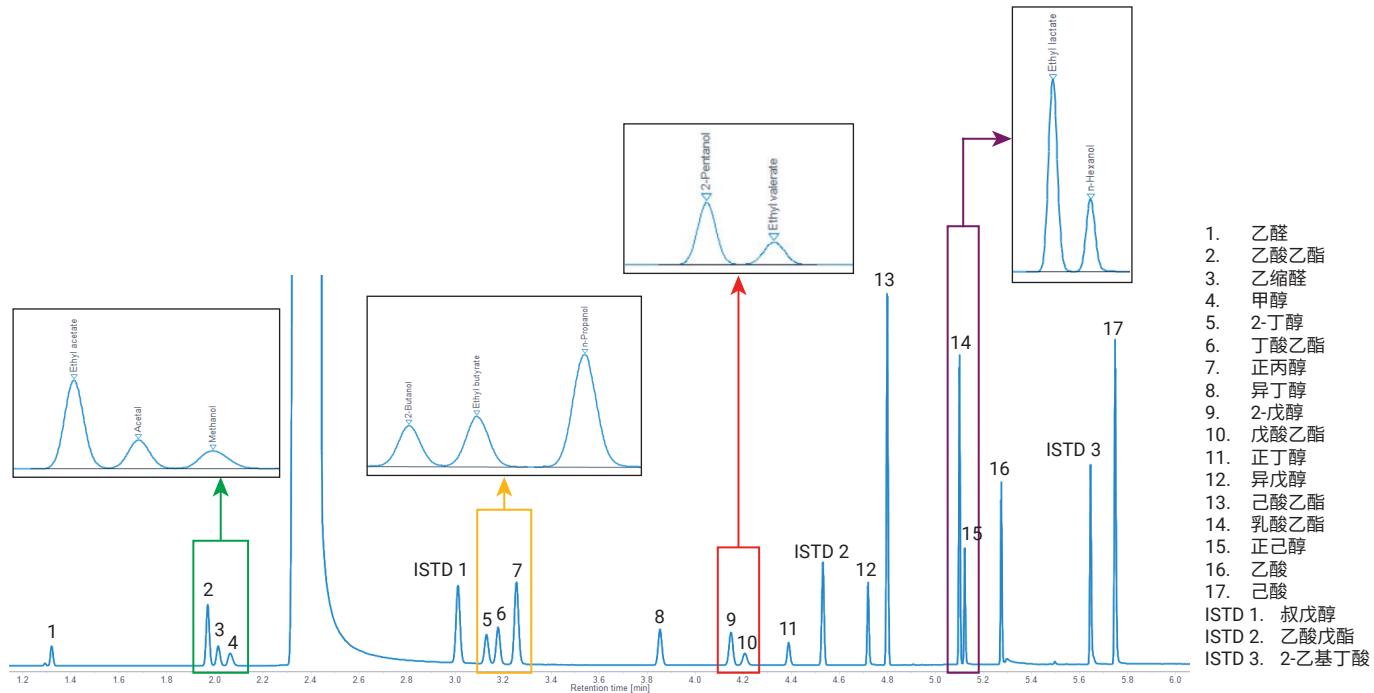


图3. 使用氮气作为载气时，L2 浓度下 17 种目标化合物的 GC/FID 色谱图

表 2. 使用氮气作为载气时每种目标化合物的线性范围和线性结果

| 编号 | 名称   | L1<br>(ppm) | L2<br>(ppm) | L3<br>(ppm) | L4<br>(ppm) | L5<br>(ppm) | L6<br>(ppm) | R <sup>2</sup> |
|----|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| 1  | 乙醛   | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 0.9995         |
| 2  | 乙酸乙酯 | 150         | 300         | 750         | 1500        | 2400        | 3000        | 0.9998         |
| 3  | 乙缩醛  | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 0.9992         |
| 4  | 甲醇   | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 0.9999         |
| 5  | 2-丁醇 | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 0.9999         |
| 6  | 丁酸乙酯 | 75          | 150         | 375         | 750         | 1200        | 1500        | 0.9999         |
| 7  | 正丙醇  | 150         | 300         | 750         | 1500        | 2400        | 3000        | 0.9999         |
| 8  | 异丁醇  | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 1              |
| 9  | 2-戊醇 | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 0.9999         |
| 10 | 戊酸乙酯 | 25          | 50          | 125         | 250         | 400         | 500         | 0.9999         |
| 11 | 正丁醇  | 25          | 50          | 125         | 250         | 400         | 500         | 0.9999         |
| 12 | 异戊醇  | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 0.9999         |
| 13 | 己酸乙酯 | 250         | 500         | 1250        | 2500        | 4000        | 5000        | 1              |
| 14 | 乳酸乙酯 | 250         | 500         | 1250        | 2500        | 4000        | 5000        | 0.9999         |
| 15 | 正己醇  | 50          | 100         | 250         | 500         | 800         | 1000        | 0.9998         |
| 16 | 乙酸   | 300         | 500         | 800         | 1000        | 1600        | 2000        | 0.9993         |
| 17 | 己酸   | 225         | 375         | 600         | 750         | 1200        | 1500        | 0.9998         |

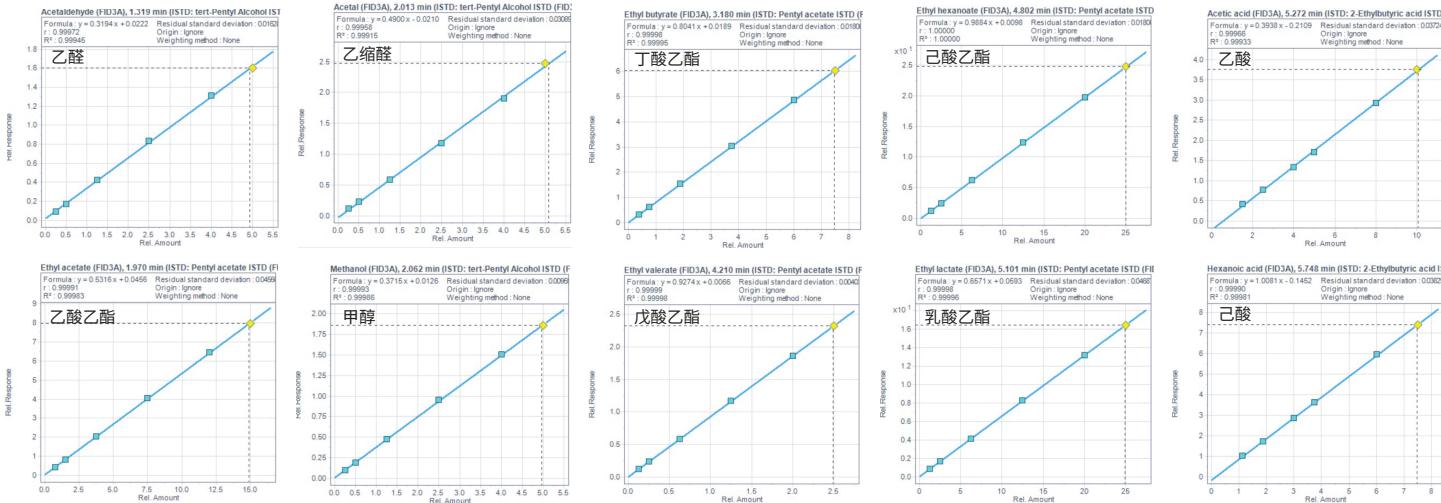


图 4. 使用氮气作为载气时部分代表性化合物的校准曲线

对于低、中、高浓度的标样，每种浓度下均进行 8 次连续进样。剔除第一次进样的数据，其余 7 次进样的保留时间和峰面积重复性结果如表 3 和图 5 所示。保留时间 %RSD 不超过 0.02%，峰面积重复性 (RSD) 在 2.5% 以内，表明该系统具有优异的稳定性和惰性。即使对于乙酸和己酸这类难测组分，也获得了稳定的结果。如果乙酸和己酸的重复性开始下降，建议

检查衬管是否受到污染。可以尝试更换新的衬管，观察结果是否改善。

配制浓度低于 L1 水平的标准溶液，用于测试检出限 (LOD)。根据信噪比 (S/N = 3) 计算得到每种化合物的 LOD 值，详见表 4 和图 6。

表3. 使用氮气作为载气时 17 种目标化合物的重复性结果

| 编号 | 名称   | RT    | 峰面积 %RSD (n = 7) |       |       | RT %RSD (n = 7) |       |       |
|----|------|-------|------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|    |      |       | L1               | L3    | L6    | L1              | L3    | L6    |
| 1  | 乙醛   | 1.32  | 1.857            | 0.387 | 0.428 | 0.011           | 0.008 | 0.004 |
| 2  | 乙酸乙酯 | 1.969 | 0.7              | 0.332 | 0.46  | 0.017           | 0.006 | 0.005 |
| 3  | 乙缩醛  | 2.013 | 0.835            | 0.468 | 0.399 | 0.014           | 0.008 | 0.006 |
| 4  | 甲醇   | 2.062 | 1.141            | 0.564 | 0.36  | 0.02            | 0.01  | 0.008 |
| 5  | 2-丁醇 | 3.13  | 1.018            | 0.406 | 0.362 | 0.009           | 0.009 | 0.007 |
| 6  | 丁酸乙酯 | 3.178 | 1.022            | 0.459 | 0.439 | 0.008           | 0.005 | 0.006 |
| 7  | 正丙醇  | 3.255 | 0.788            | 0.42  | 0.361 | 0.008           | 0.007 | 0.007 |
| 8  | 异丁醇  | 3.852 | 1.065            | 0.469 | 0.204 | 0.013           | 0.007 | 0.006 |
| 9  | 2-戊醇 | 4.148 | 0.543            | 0.389 | 0.37  | 0.02            | 0.012 | 0.005 |
| 10 | 戊酸乙酯 | 4.206 | 1.574            | 0.461 | 0.367 | 0.01            | 0.011 | 0.008 |
| 11 | 正丁醇  | 4.387 | 2.004            | 0.85  | 0.325 | 0.012           | 0.007 | 0.005 |
| 12 | 异戊醇  | 4.72  | 0.847            | 0.384 | 0.376 | 0.005           | 0.004 | 0.006 |
| 13 | 己酸乙酯 | 4.8   | 0.459            | 0.343 | 0.361 | 0.008           | 0.002 | 0.004 |
| 14 | 乳酸乙酯 | 5.1   | 0.585            | 0.317 | 0.418 | 0.005           | 0.004 | 0.006 |
| 15 | 正己醇  | 5.122 | 1.178            | 0.559 | 0.417 | 0.006           | 0.003 | 0.004 |
| 16 | 乙酸   | 5.274 | 2.1              | 0.682 | 0.702 | 0.007           | 0.005 | 0.007 |
| 17 | 己酸   | 5.749 | 1.134            | 2.476 | 0.679 | 0.012           | 0.006 | 0.018 |

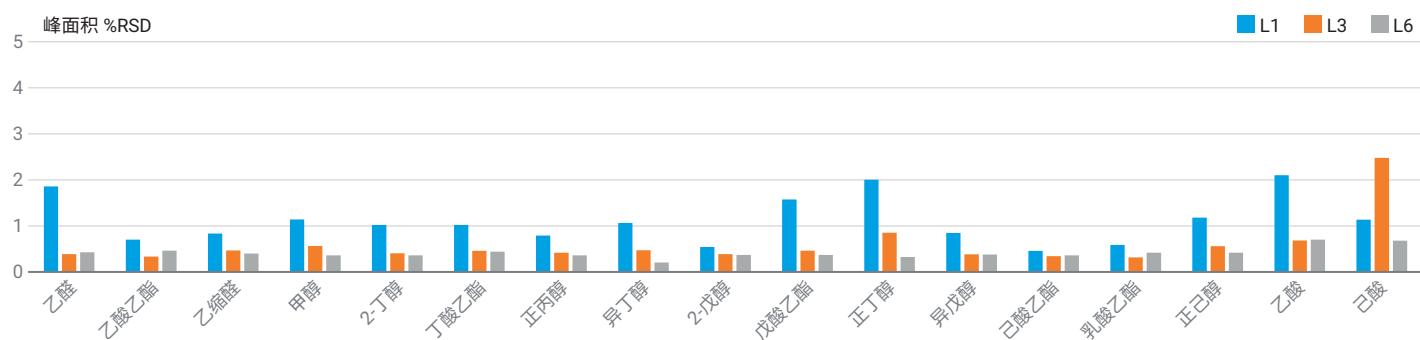
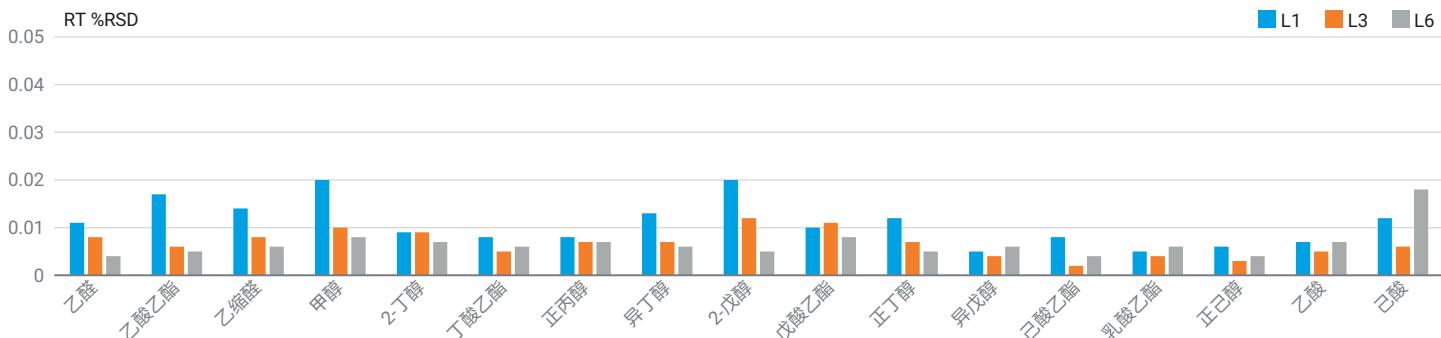


图5. 使用氮气作为载气时目标化合物的重复性结果

表 4. 使用氮气作为载气时 17 种化合物的 LOD 计算值

| 峰编号          | 1    | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11   | 12   | 13    | 14    | 15   | 16   | 17   |
|--------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 标准溶液浓度 (ppm) | 11   | 33   | 11   | 11  | 11   | 17   | 33   | 11   | 11   | 6   | 6    | 11   | 56    | 56    | 11   | 60   | 45   |
| S/N (峰-峰)    | 12.7 | 30.3 | 10.8 | 6.9 | 15.8 | 17.4 | 44.0 | 18.9 | 18.4 | 5.6 | 13.1 | 44.2 | 163.1 | 167.5 | 63.6 | 45.0 | 92.1 |
| LOD (ppm)    | 2.6  | 3.3  | 3.1  | 4.8 | 2.1  | 2.9  | 2.3  | 1.8  | 1.8  | 3.0 | 1.3  | 0.8  | 1.0   | 1.0   | 0.5  | 4.0  | 1.5  |

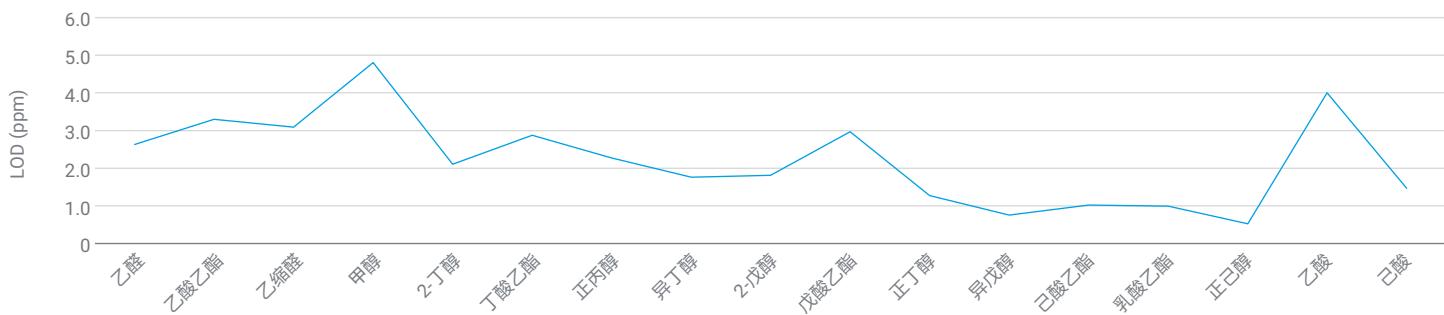


图 6. 使用氮气作为载气时目标化合物的 LODs

### 有机酸残留

蒸馏酒中的酸通常容易发生残留，尤其是在进样口衬管。与乙酸相比，己酸的残留更为明显。本研究考察了有机酸的残留情况。在开始残留实验之前，换用了新的隔垫和衬管。采用去离子水和乙醇作为进样针清洗溶剂。进样后，先用去离子水清洗进样针两次，再用乙醇清洗两次。在下一次进样前，重复相同的清洗步骤，即先用去离子水清洗两次，再用乙醇清洗两次，以确保进样针头上无任何残留。在进样高浓度标样 (L6) 后，连续进行多次乙醇/水 (v/v 40:60) 空白进样。将空白样中乙酸

和己酸的峰面积与 L1 和 L6 标样中相应的峰面积进行比较。从图 7 可以看出，高浓度标样后的第一次空白进样中，乙酸的残留量占 L6 中乙酸含量的 1.05%，而已酸的残留量占 L6 中己酸的 2.37%。图 7 还给出了相对于 L1 中酸含量的残留百分比。由此我们能够评估系统是否足够洁净，避免影响低浓度样品的分析。经过两次空白进样后，己酸的残留量已低于 L1 的 10%，表明对低浓度样品分析的影响可以忽略不计。如果经过多次空白进样后发现己酸残留仍然很高，则需要更换新的衬管。

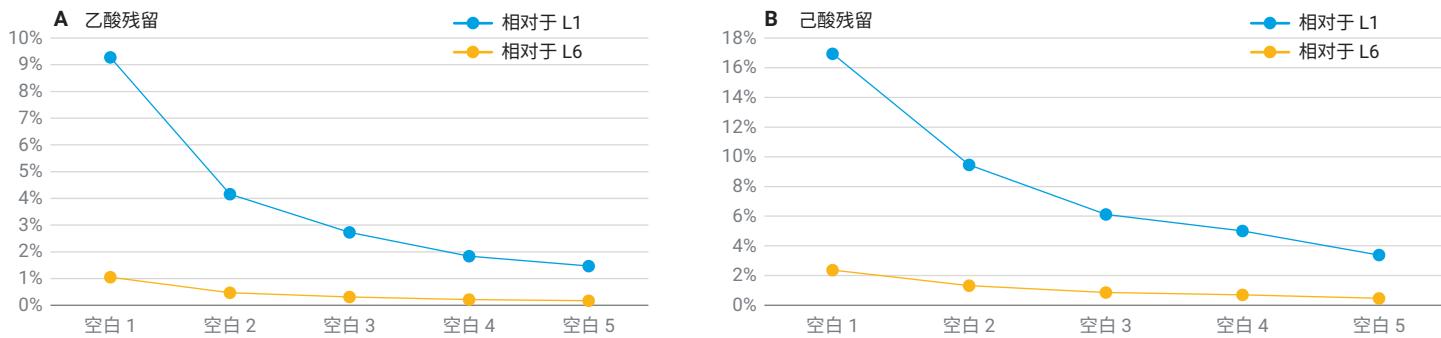
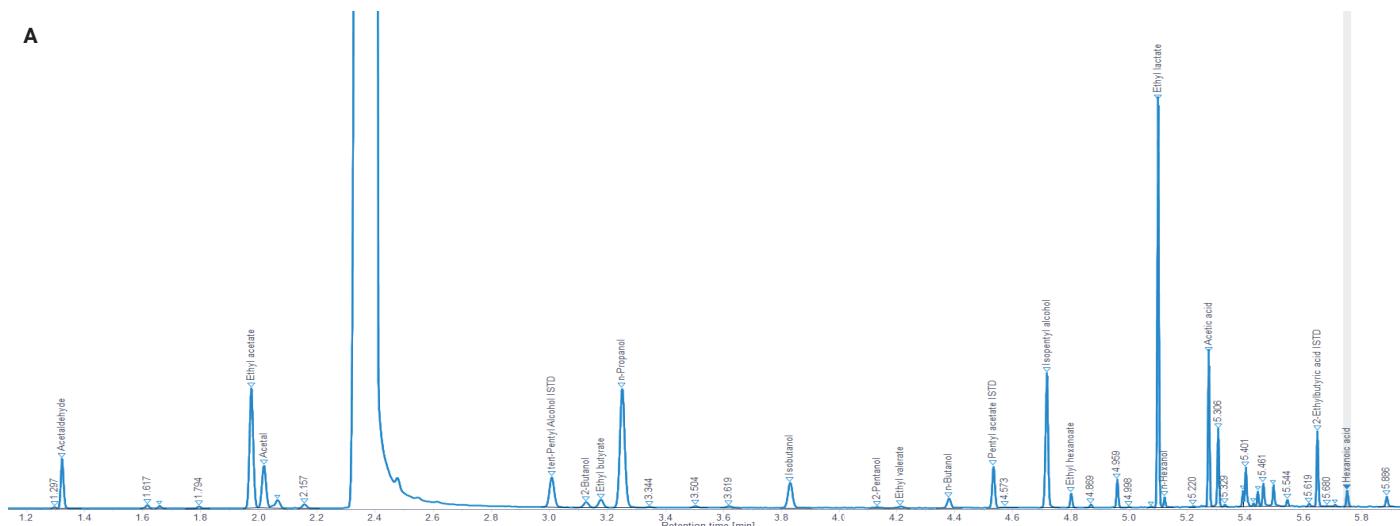


图7. 乙酸(A)和己酸(B)的残留情况。蓝线表示空白样品中残留酸的峰面积相对于L1浓度水平下酸的峰面积的百分比。橙色线表示空白样品中残留酸的峰面积相对于L6浓度水平下酸的峰面积的百分比

实际样品分析

为了更好地了解该方法在实际应用中的表现，本研究对四种不同品牌、采用不同生产工艺的中国白酒样品进行了分析。分析结果表明，四个样品中目标组分的种类和浓度存在显著差异，

充分体现了中国白酒生产工艺的多样性。尽管存在这些差异，但所有目标峰都获得了对称的峰形，并与相邻化合物有效分离，如图 8 所示。这表明无论样品复杂程度或生产工艺如何变化，该方法都能提供可靠、准确的峰鉴定结果。



**图 8.** 使用氮气作为载气获得的不同香型中国白酒色谱图: (A) 酱香型, (B) 浓香型, (C) 清香型, (D) 兼香型 (下页续)

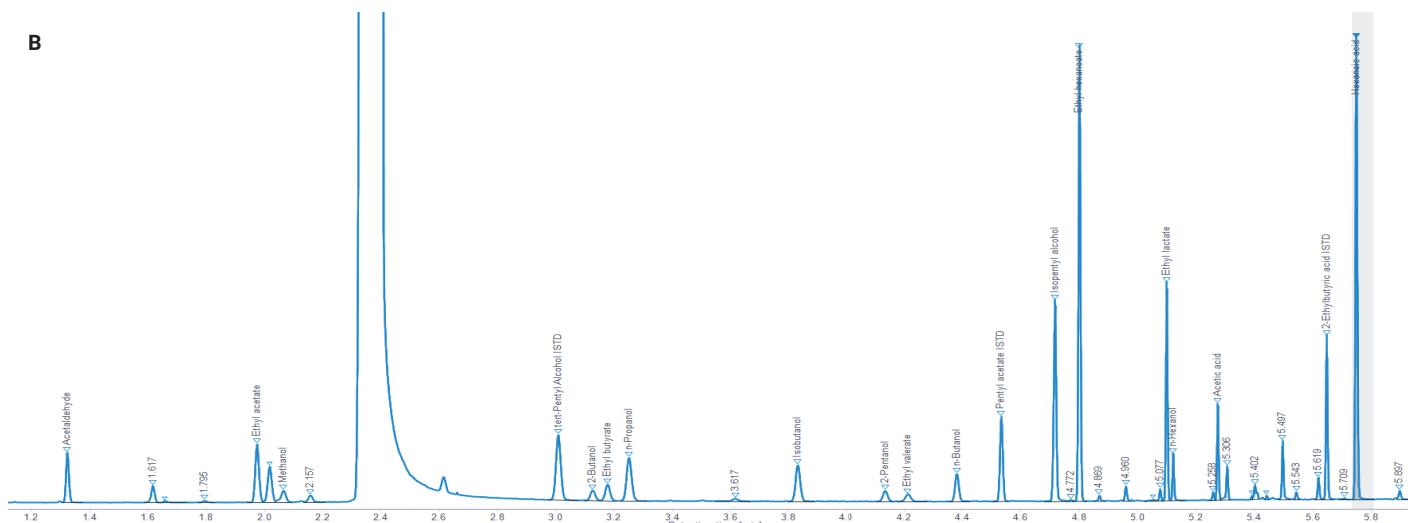
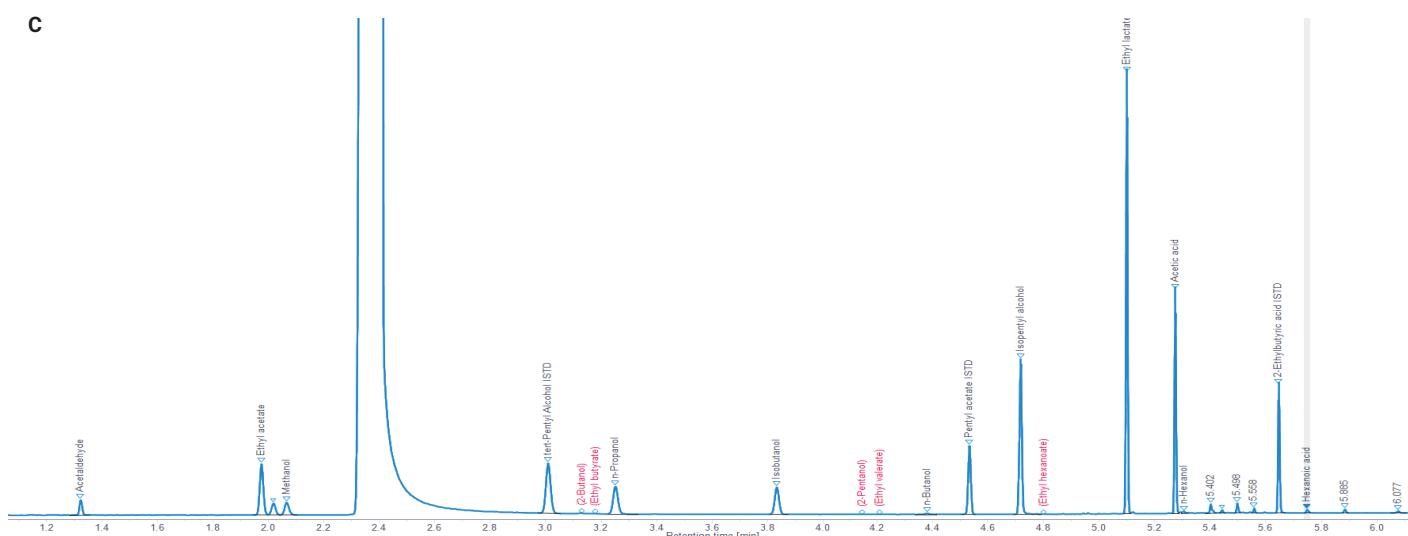
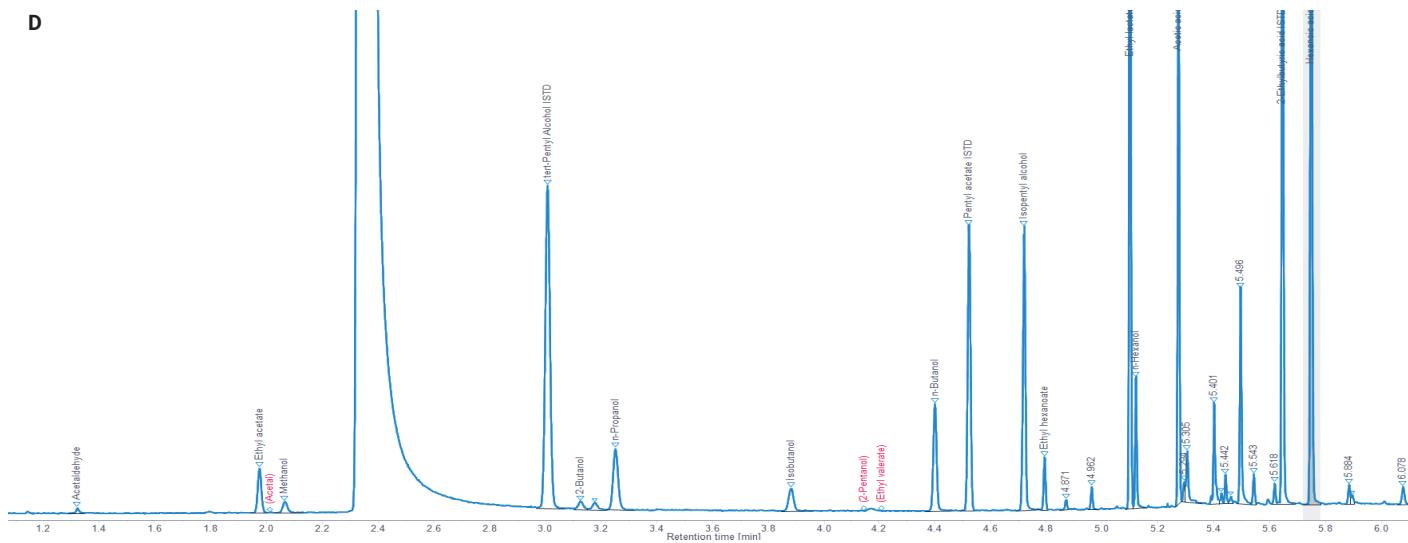
**B****C****D**

图8. 使用氮气作为载气获得的不同香型中国白酒色谱图: (A) 酱香型, (B) 浓香型, (C) 清香型, (D) 兼香型 (接上页)

为了进一步验证分析系统长时间运行的可靠性和稳健性，我们使用实际样品进行了长期稳定性实验。在整个实验过程中，10 m 的 DB-WAX 色谱柱保持不变，仅定期更换隔垫和衬管等消耗品，以保持理想性能。图 9 展示了稳定性测试结果，比较了第 1 次、第 100 次、第 500 次、第 1000 次、第 1500 次和第 2000 次进样的色谱图。结果清楚地表明，即使样品含有

大量水分（该中国白酒样品约含 50% 的水），经过 2000 次进样后，保留时间仍然保持稳定，所有目标峰均保持尖锐、对称的峰形，并实现了稳定、有效的分离。这充分体现了该系统在长期使用中的优异稳定性和稳健性，表明其非常适合蒸馏酒类样品的常规分析。

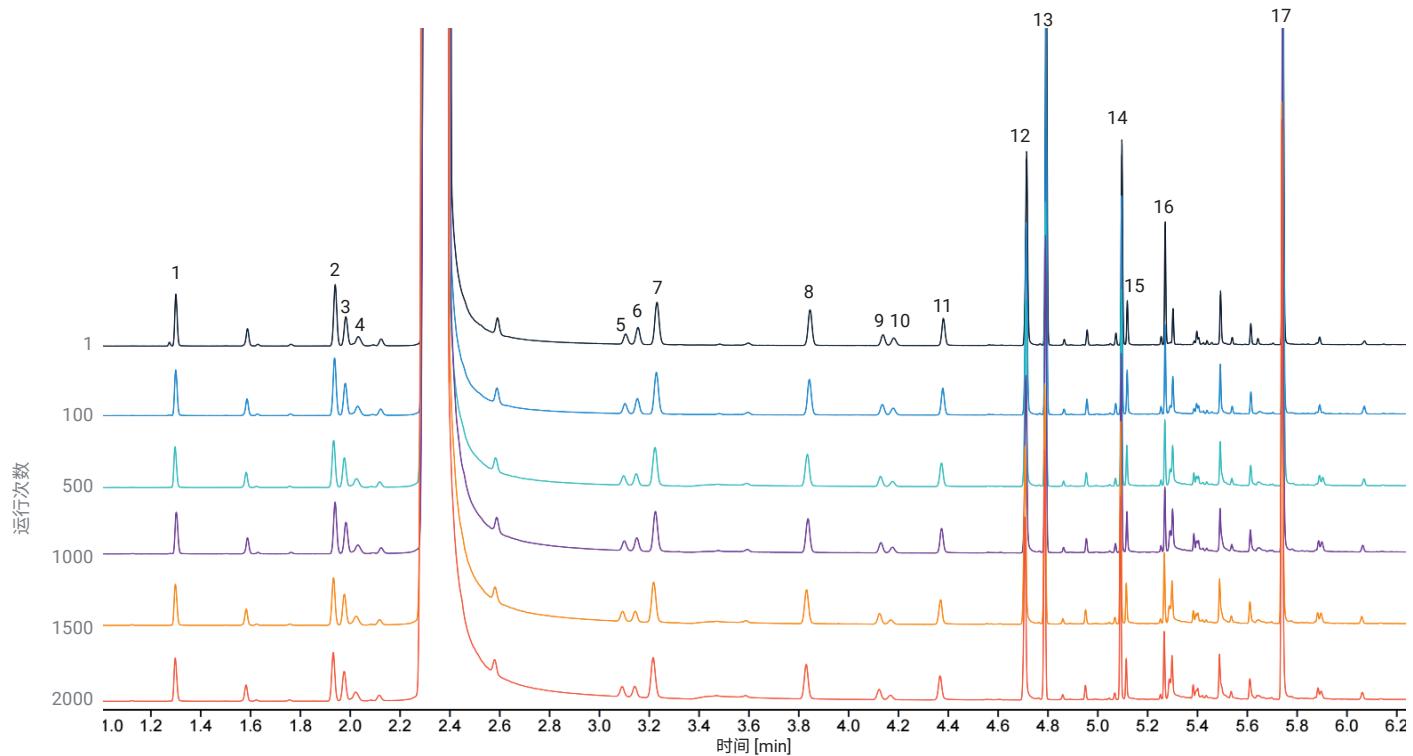


图 9. 使用氮气作为载气时，同一中国白酒样品重复进样的 GC/FID 叠加色谱图

## 8850 气相色谱仪的节能优势

8850 气相色谱仪分析蒸馏酒的速度是传统方法的 3 倍，因此实验室效率也能实现同步增长。在 24 小时内，传统的 35 分钟方法可以分析 41 个样品，而使用 11 分钟快速方法，相同时间内可以分析 130 个样品。通过 8850 气相色谱仪的浏览器界面或触摸屏，可实时监测每日能耗数据，如图 10 所示。使用 8850 连续 24 小时分析蒸馏酒样品，日耗电量为 10.02 kWh。这期间共分析了 130 个样品，平均每个样品的能耗为 0.07708 kWh。相比之下，使用传统方法在常规气相色谱仪上分析蒸馏酒时，24 小时内只能分析 41 个样品，总耗电量为 9.07 kWh，平均每个样品的能耗为 0.22122 kWh。需要说明的是，气相色谱仪在待机或柱温箱恒温状态下的能耗低于升温（尤其是柱温箱程序升温）阶段的能耗。在相同时间内，8850 气相色谱仪的

加热循环次数是传统设备的三倍。虽然因加热循环次数增加导致总能耗略有增加，但单个样品的能耗仅为传统气相色谱系统的 34.8%。

在蒸馏酒质控实验室中，每天往往要处理一二百个样品，因此通常会同时运行多台气相色谱系统。例如，如果一天要分析 130 个样品，则只需一台 8850 气相色谱仪即可完成该任务，但如果要使用传统气相色谱仪在相同时间内完成任务，则需要三台传统气相色谱仪。假设每周工作五天，每年工作 50 周，一台 8850 气相色谱仪每年可处理 32500 个样品，总耗电量为 2505.1 kWh。相比之下，一年内要处理相同数量的样品，则需要三台传统气相色谱仪，总耗电量为 7189.65 kWh。以美国电价约 0.12 美元/kWh 计算<sup>[2]</sup>，这意味着每年可节省 562.2 美元，并且无需额外配置两台传统气相色谱仪（详见表 5）。

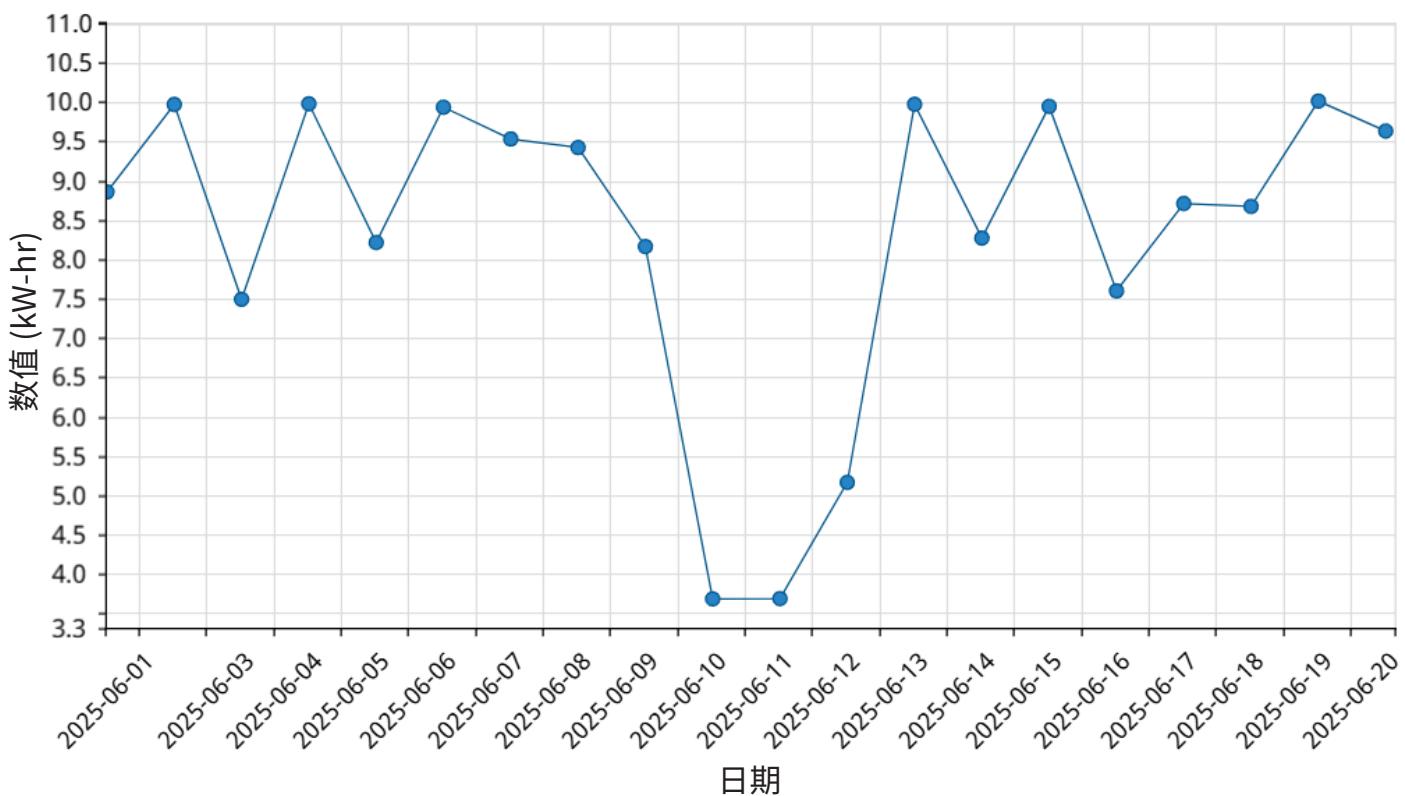


图 10. 使用氮气作为载气进行实际样品分析时，Agilent 8850 气相色谱仪的每日能耗

表 5. 使用氮气作为载气时 8850 气相色谱仪的节能情况

| 参数                  | 设定值                        |                         |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|
| 气相色谱仪类型             | 8850 气相色谱仪                 | 传统气相色谱仪                 |
| 单次蒸馏酒样品分析的平均能耗      | 0.07708 kWh                | 0.22122 kWh             |
| 蒸馏酒样品分析耗时           | 11 min                     | 35 min                  |
| 每天（24 小时）分析的样品数     | 130 个样品                    | 41 个样品                  |
| 仪器使用频率              | 每周 5 天<br>每年 50 周          |                         |
| 每年分析 32500 个样品的能耗   | 2505.1 kWh, 需一台 8850 气相色谱仪 | 7189.65 kWh, 需三台传统气相色谱仪 |
| 能耗成本                | 0.12 美元/kWh                |                         |
| 每年能耗成本              | 300.6 美元                   | 862.8 美元                |
| 8850 能耗/传统系统能耗      | 34.8%                      |                         |
| 8850 气相色谱仪每年节省的能耗成本 | 562.2 美元                   |                         |

如果使用氦气或氢气作为载气，样品分析速度还可进一步提升，相同时间内能够分析更多样品。此外，与使用氮气相比，节能效果也将更为显著。具体数据请参考附录表格。

### 氦气载气结果

与氮气载气相比，使用氦气作为载气可以加快分析速度。气相色谱运行时间仅需 4 分钟，计入后运行时间、冷却和柱温箱平衡时间，单次运行的总分析周期缩短至 9 分钟，如图 11 所示。

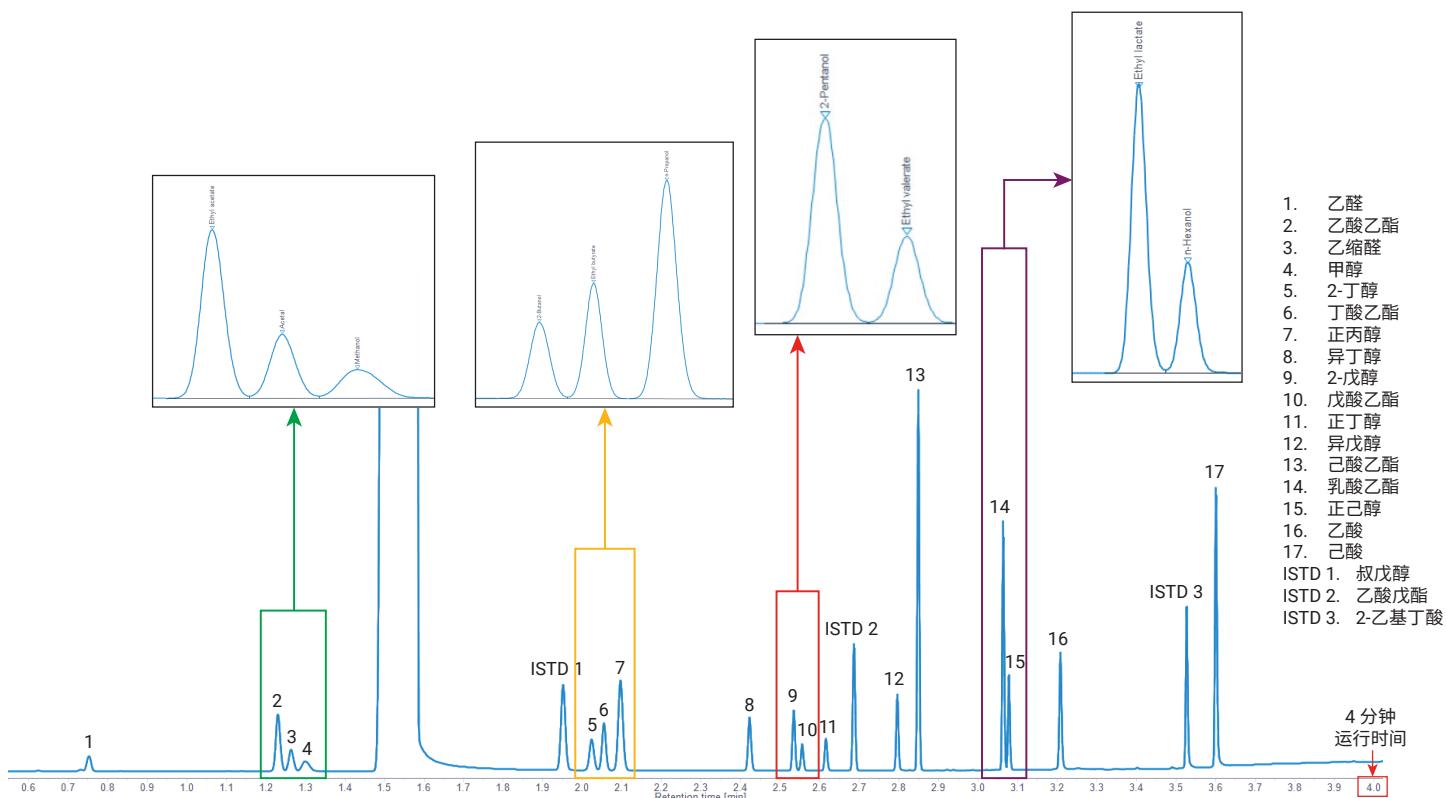


图 11. 使用氦气作为载气时，L2 浓度下 17 种目标化合物的 GC/FID 色谱图

我们以氦气为载气，同样进行了方法验证。校准曲线的浓度范围与使用氮气作为载气时一致，如表 2 所示。所有化合物的相关系数均  $\geq 0.9995$ 。由表 6 可知，17 种化合物的峰面积

%RSD 远低于 2.7%。LOD 的计算方法与使用氮气载气时所用的方法相同。结果表明，LOD 也与使用氮气载气获得的 LOD 基本一致，范围在 0.5–4.3 ppm 之间，如表 6 所示。

表 6. 使用氦气作为载气时，17 种目标化合物的  $R^2$ 、RSDs 和 LODs

|    | 名称   | RT    | $R^2$  | 峰面积 %RSD (n = 7) |      |      | LOD ppm<br>(峰-峰) |
|----|------|-------|--------|------------------|------|------|------------------|
|    |      |       |        | L1               | L3   | L6   |                  |
| 1  | 乙醛   | 0.75  | 0.9999 | 0.77             | 0.83 | 0.88 | 2.5              |
| 2  | 乙酸乙酯 | 1.227 | 0.9999 | 0.96             | 0.83 | 0.64 | 2.5              |
| 3  | 乙缩醛  | 1.26  | 0.9998 | 0.92             | 0.93 | 0.82 | 2.1              |
| 4  | 甲醇   | 1.295 | 0.9998 | 1.59             | 1.22 | 1.01 | 4.3              |
| 5  | 2-丁醇 | 2.021 | 0.9999 | 0.58             | 1.22 | 1.18 | 1.4              |
| 6  | 丁酸乙酯 | 2.052 | 0.9999 | 0.92             | 0.96 | 0.86 | 1.7              |
| 7  | 正丙醇  | 2.095 | 0.9999 | 0.65             | 1.17 | 1.18 | 1.5              |
| 8  | 异丁醇  | 2.418 | 0.9999 | 0.76             | 1.13 | 1.23 | 0.9              |
| 9  | 2-戊醇 | 2.532 | 0.9999 | 0.90             | 1.26 | 1.28 | 0.7              |
| 10 | 戊酸乙酯 | 2.555 | 0.9999 | 1.18             | 0.99 | 0.98 | 1.0              |
| 11 | 正丁醇  | 2.613 | 0.9999 | 0.89             | 1.36 | 1.29 | 0.7              |
| 12 | 异戊醇  | 2.795 | 0.9999 | 0.88             | 1.32 | 1.31 | 0.6              |
| 13 | 己酸乙酯 | 2.849 | 0.9999 | 0.76             | 1.08 | 1.17 | 0.7              |
| 14 | 乳酸乙酯 | 3.064 | 0.9999 | 0.94             | 1.03 | 1.04 | 1.0              |
| 15 | 正己醇  | 3.077 | 0.9998 | 0.99             | 1.46 | 1.33 | 0.5              |
| 16 | 乙酸   | 3.207 | 0.9995 | 2.52             | 1.94 | 1.24 | 4.0              |
| 17 | 己酸   | 3.601 | 0.9997 | 2.43             | 1.64 | 2.68 | 0.9              |

## 氢气载气结果

如果需要实现超快速分析，可以选择氢气作为载气。使用氢气作为载气时，气相色谱运行时间仅需 3 分钟，计入后运行时间、冷却时间和柱温箱平衡时间，单个样品的分析周期可缩短至 7 分钟，从而实现对蒸馏酒的超快速分析。

采用氢气作为载气时，方法验证思路与使用氮气作为载气时相同。图 12 和表 7 给出了相关性能结果。可以看出，氢气能够实现超快速分析，并且峰形、分离度、线性、重复性和检出限等性能结果与使用氮气/氦气作为载气时同样出色。

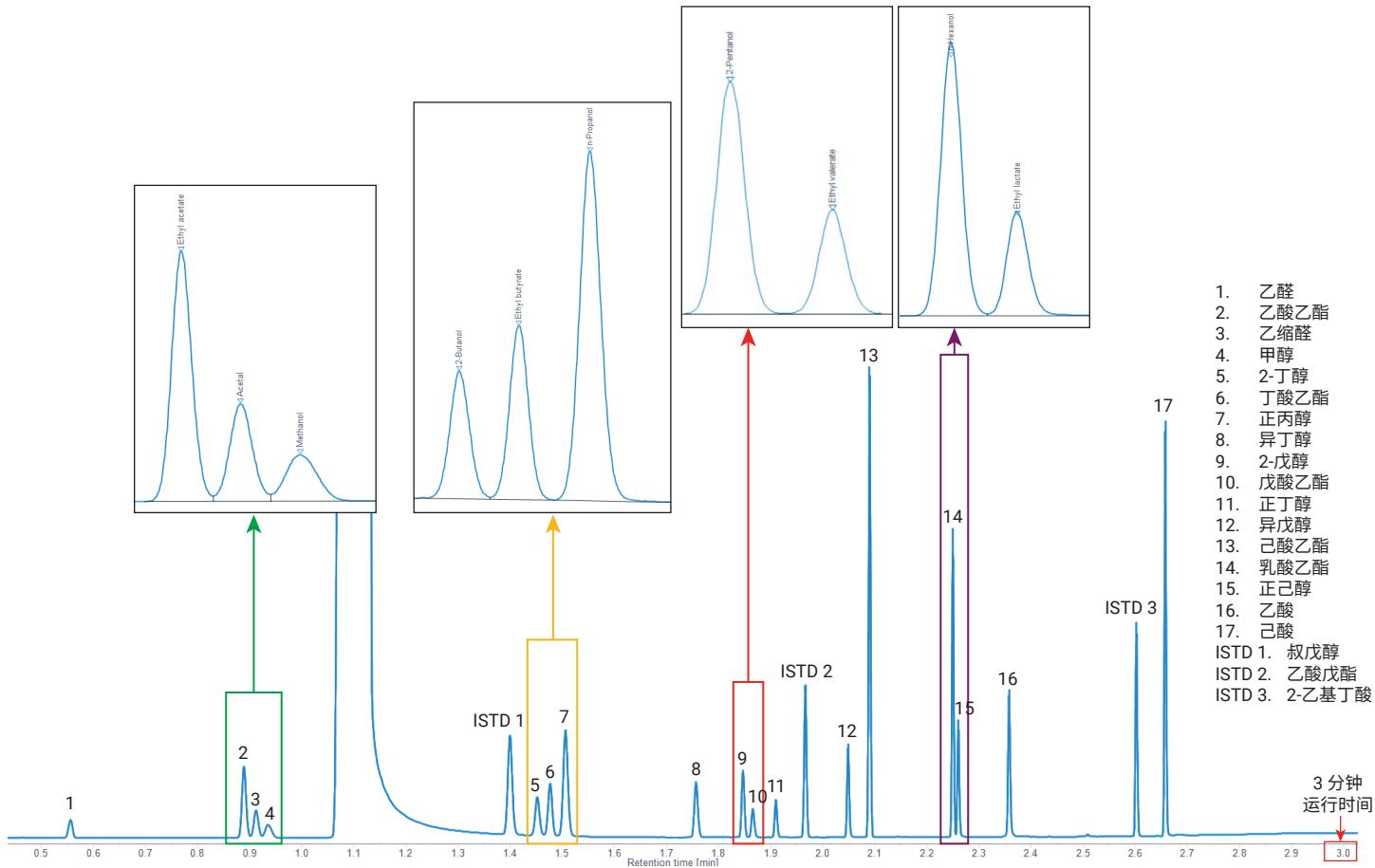


图 12. 使用氢气作为载气时，L2 浓度下 17 种目标化合物的 GC/FID 色谱图

表 7. 使用氢气作为载气时，17 种目标化合物的 R<sup>2</sup>、RSDs 和 LODs

|    | 名称   | RT    | R <sup>2</sup> | 峰面积 RSD% (n = 7) |      |      | LOD ppm<br>(峰-峰) |
|----|------|-------|----------------|------------------|------|------|------------------|
|    |      |       |                | L1               | L3   | L6   |                  |
| 1  | 乙醛   | 0.556 | 0.9999         | 1.10             | 0.49 | 0.39 | 1.7              |
| 2  | 乙酸乙酯 | 0.889 | 0.9999         | 0.47             | 0.40 | 0.24 | 1.8              |
| 3  | 乙缩醛  | 0.912 | 0.9999         | 0.55             | 0.41 | 0.26 | 1.5              |
| 4  | 甲醇   | 0.935 | 0.9999         | 0.87             | 0.52 | 0.31 | 3.3              |
| 5  | 2-丁醇 | 1.452 | 0.9999         | 0.67             | 0.32 | 0.25 | 1.2              |
| 6  | 丁酸乙酯 | 1.476 | 0.9999         | 0.82             | 0.46 | 0.28 | 1.3              |
| 7  | 正丙醇  | 1.506 | 1              | 0.30             | 0.31 | 0.22 | 1.3              |
| 8  | 异丁醇  | 1.756 | 0.9999         | 0.87             | 0.71 | 0.27 | 0.8              |
| 9  | 2-戊醇 | 1.847 | 1              | 0.51             | 0.33 | 0.25 | 0.6              |
| 10 | 戊酸乙酯 | 1.866 | 0.9999         | 0.94             | 0.26 | 0.32 | 0.7              |
| 11 | 正丁醇  | 1.91  | 0.9999         | 0.59             | 0.33 | 0.29 | 0.6              |
| 12 | 异戊醇  | 2.049 | 0.9999         | 0.51             | 0.38 | 0.26 | 0.5              |
| 13 | 己酸乙酯 | 2.09  | 0.9999         | 0.53             | 0.43 | 0.25 | 0.5              |
| 14 | 乳酸乙酯 | 2.25  | 0.9997         | 0.19             | 0.29 | 0.23 | 0.8              |
| 15 | 正己醇  | 2.26  | 0.9999         | 0.44             | 0.54 | 0.25 | 0.4              |
| 16 | 乙酸   | 2.357 | 0.9991         | 1.33             | 2.06 | 0.49 | 1.3              |
| 17 | 己酸   | 2.657 | 0.9999         | 1.45             | 1.94 | 0.99 | 0.5              |

## 结论

本应用简报清晰展示了 Agilent 8850 气相色谱系统在蒸馏酒关键成分定量分析中的优势，该系统设计智能、用户友好、高效快速、节能环保且体积小巧，是实验室的理想选择。利用 Agilent 8850 气相色谱仪的快速加热和冷却功能并搭配使用短色谱柱，分析时间可缩短至传统方法的三分之一。这不仅能够显著提高实验室效率，同时能耗仅为传统气相色谱系统的三分之一。尤为关键的是，速度和能耗优势并未影响色谱分析性能。

在本研究中，我们针对不同实验室的实际需求，考察了三种不同载气条件下蒸馏酒中 17 种关键化合物的分离和定量性能，取得了超出预期的结果。在对实际样品进行 2000 多次进样后，醇类、醛类、酯类和有机酸的保留时间与峰形仍保持稳定，表明该系统在分析蒸馏酒样品时具有优异的惰性和稳定性。这一优异性能为蒸馏酒行业质控部门提供了可靠的快速筛查与准确定量方法。

## 参考文献

1. Kenneth, L.; Zhou, Y. 使用 Agilent J&W DB-WAX 超高惰性毛细管气相色谱柱对蒸馏酒进行分析, 安捷伦科技公司应用简报, 出版号 5991-6638CHCN, **2016**
2. Denoyer, E. 提高气相色谱创新回报率, 安捷伦科技公司应用简报, 出版号 5991-7833CHCN, **2017**

## 附录

表 A1. 使用氦气和氢气作为载气时, Agilent 8850 气相色谱仪的节能情况

| 参数                  | 设定值               |                      |                      |
|---------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| 气相色谱仪类型             | 传统气相色谱仪<br>(氮气载气) | 8850 气相色谱仪<br>(氦气载气) | 8850 气相色谱仪<br>(氢气载气) |
| 单次蒸馏酒样品分析的平均能耗      | 0.22122 kWh       | 0.07331 kWh          | 0.06112 kWh          |
| 蒸馏酒样品分析耗时           | 35 min            | 9 min                | 7 min                |
| 每天 (24 小时) 分析的样品数   | 41 个样品            | 160 个样品              | 205 个样品              |
| 仪器使用频率              | 每周 5 天<br>每年 50 周 |                      |                      |
| 每年分析 32500 个样品的能耗   | 7189.65 kWh       | 2382.6 kWh           | 1986.4 kWh           |
| 能耗成本                | 0.12 美元/kWh       |                      |                      |
| 每年能耗成本              | 862.8 美元          | 285.9 美元             | 238.4 美元             |
| 8850 能耗/传统系统能耗      | 100%              | 33.1%                | 27.6%                |
| 8850 气相色谱仪每年节省的能耗成本 | 0                 | 576.9 美元             | 624.4 美元             |

注: 为了与表 5 保持一致, 本附录表格在计算时采用的样品通量为 32500 个样品。实际上, 当使用氦气或氢气作为载气时, 年样品处理量分别可达 40000 个和 51250 个样品。这意味着实际的节能效果将远超附录表格当前列出的数值。但是, 为了保持一致性以方便阅读和比较, 附录表格仍采用 32500 个样品的通量进行计算。

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-009756

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 10 月 9 日, 中国出版

5994-8642ZHCN

