

使用 TurboMatrix 热脱附气相色谱系统进行臭氧前体物分析

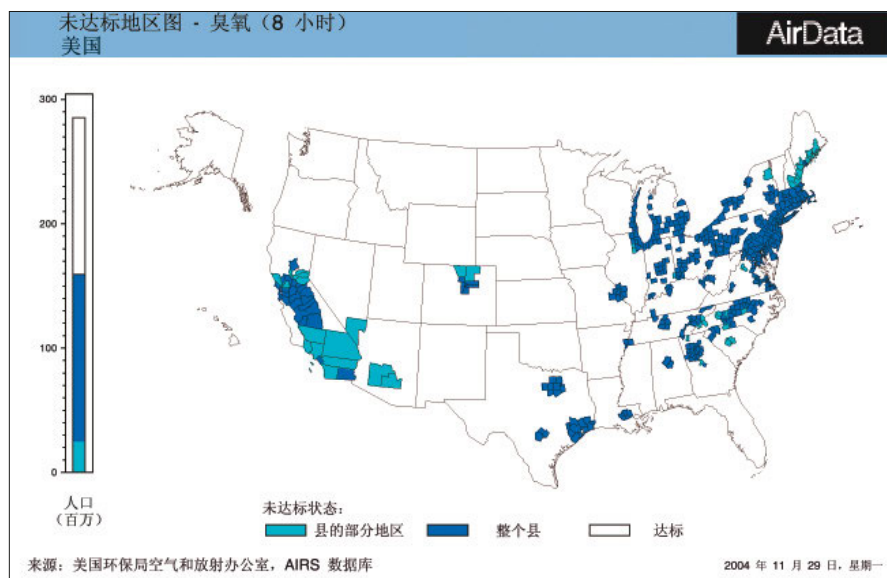


图 1. 臭氧未达标的区域 (www.epa.gov)。

简介

在美国, 1970 年的清洁空气法赋予了环保署 (EPA) 维持空气清洁和保障公众健康的责任。环境空气常规监测的六项指标包括: SO_x 、 NO_x 、 PM_{10} 、Pb、CO 和臭氧。在 1990 年修正的清洁空气法里, 加入了空气对臭氧生成有贡献的挥发性有机物 (VOC) 的监测。图 1 显示的是这些指标监测结果未能达标的城市地区。

这些监测工作是通过光化学评估监测站 (PAMS) 来完成的。除了光化学评估监测站 (PAMS) 这个项目, 在欧洲还有其他类似项目, 如 1992 年臭氧指令和联合国欧洲经济局 (UNECE) 关于 VOC 排放控制协议。尽管光化学评估监测站 (PAMS) 在美国已经建立很多年, 据最近美国国家环保局 (EPA) 最近发布消息, 在过去 10 年里臭氧浓度仅降低了 4%, 仍然是一主要的健康关注因素。¹

作者
Ian Seeley
Chromian Consulting Services
Bethel, CT USA

及

Andrew Tipler, Ph.D.
Zoe Grosser, Ph.D.
珀金埃尔默生命与分析科学部
710 Bridgeport Avenue
Shelton, CT 06484 USA

臭氧前体物中 C₂ 到 C₁₂ 挥发性有机物的分析在分析化学上是一个很重大的技术上的挑战。这些化合物在空气中浓度非常低，而且需要短时间间隔的监测以获得日变化的评估，这样就要求样品进入气相色谱 (GC) 前必须进行浓缩。虽然样品可以在野外采集后带回实验室分析，但是野外在线采集方式能最大程度降低样品周转时间，也能减少采样工具的使用，VOC 存在与否的数据与气象数据做到最大程度的吻合。

在野外，VOC 中低分子量的 C₂ 组分可在低温下经固体吸附剂捕集。这样引入一些列冷阱操作问题。在遥远的监测站，若通过液氮冷却方式降温维持仪器的运转将是一件非常困难而且花费极多的事情。

本文描述了 PerkinElmer 仪器公司与美国环保局 (US EPA) 合作开发的在野外在线自动监测 C₂ 到 C₁₂ 挥发性有机物而不需要液氮的方法。² 这套分析系统依靠最新热脱附仪系统支持样品进样，即 TurboMatrix™ TD。

系统要求

表 1 列出了 54 种 (m-xylene 和 p-xylene 合视为一个组分) U.S.EPA 规定的臭氧前体物目标分析物。参见 “Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Ozone Precursors” , EPA/600-R-98/601, September 1998。U.S.EPA 网站上可以找到:

<http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pams/newtad.pdf>

这些目标化合物在空气中浓度变化惊人，因此需进行特殊的样品采集和后续的色谱分析。此外，方法要求每个样品采集时间不能超过 40 分钟，以保证每个样品分析间隔时间为 1 小时。对无人操作来讲，从样品采集到获得分析数据总时间不超过 1 小时。

表 1. 臭氧前体物目标分析物。		
乙烯	2,3-二甲基丁烷	正辛烷
乙炔	2-甲基戊烷	乙苯
乙烷	3-甲基戊烷	间二甲苯和对二甲苯
丙烯	正己烷	苯乙烯
丙烷	甲基环戊烷	邻二甲苯
异丁烷	2,4-二甲基戊烷	正壬烷
1-丁烯	苯	异丙苯
正丁烷	环己胺	正丙基苯
反-2-丁烯	2-甲基己烷	间乙基甲苯
顺-2-丁烯	2,3-二甲基戊烷	对乙基甲苯
异戊烷	3-甲基己烷	1,3,5-三甲基苯
1-戊烯	2,2,4-三甲基戊烷	邻乙基甲苯
正戊烷	正庚烷	1,2,4-三甲基苯
异戊二烯	甲基环己烷	正癸烷
反-2-戊烯	2,3,4-三甲基戊烷	1,2,3-三甲基苯
顺-2-戊烯	甲苯	间二乙基苯
2,2-二甲丁烷	2-甲基庚烷	对二乙基苯
环戊烷	3-甲基庚烷	正十一烷

系统概述

图 2 为 PerkinElmer®在线臭氧前体物检测系统示意图。带在线采样附件的 TurboMatrix 热脱附仪负责样品的采集，样品可以直接从环境空气在线采集，也可以从事先储存好的不锈钢罐 (canister) 中采集样品。热脱附 (TD) 将分析物从样品中提取出来转移到吸附冷阱中。捕集的分析物经加热从吸附阱中

脱附出来，由一根可加热的传输线经载气带入 Clarus® 500 气相色谱仪。气相色谱仪拥有两根色谱柱和一个中心切割装置，将目标组分按挥发性程度分割为两个部分分别在两根色谱柱上进行分离。挥发性较强的组分在 PLOT 柱上进行分离，另外的部分在 BP-1 色谱柱上进行分离。两根色谱柱配备的检测器均为氢火焰检测器 (FID)。计算机上运行

TotalChrom® 数据处理系统和 TurboMatrix 控制软件，可对仪器进行配置和控制以及数据处理。另外，如安装了第三方远程控制软件，可远程进入仪器控制计算机进行操作。

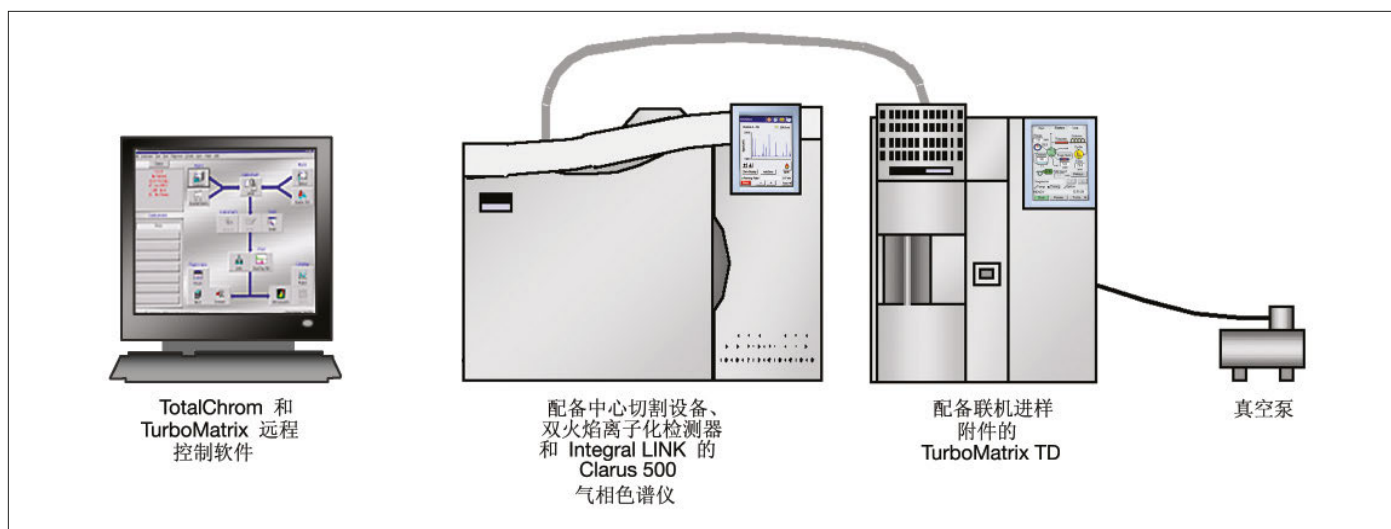


图 2. 珀金埃尔默联机臭氧前体物监测系统的重要组成部分。

系统特征

- 完全满足美国环保局 (U.S.EPA) 《臭氧前体物采样和分析技术支持文件》的要求
- 允许无人操作
- 双柱同时分析
- 中心切割技术产生平行色谱图增大产出和色谱分离效果
- 小时间间隔采样
- 采样与色谱分析同时进行
- 系统自动校准
- 完整的数据处理
- 可选择热脱附系统、气相色谱和数据处理的远程软件控制
- 无需冷却剂操作
- 样品信息整合至结果文件
- 一个供应商提供全部分析方案包

样品采集

将不同吸附剂混合使用，可在

TurboMatrix TD 半导体制冷阱允许的最低温度 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下有效捕集目标化合物。这有效的避免了液氮的需要。图 3 为 PerkinElmer 用于采集空气样品的“空气有毒物吸附阱”。同样的吸附阱也可用于 PerkinElmer 空气有毒物监测系统，此系统按 U.S.EPA TO-14、

TO-15 和 TO-17 方法要求分析环境空气中有毒挥发性有机物。

图 4 为这个捕集阱的内部结构。空气样品从左边边采入冷阱。当捕集阱被加热时，脱附的气体仍然从左边边解吸出来。解吸出来的这部分空间内径减少至 0.7 mm ，这样将汽化引起的稀释降到最低，还能降低死体积，防止色谱峰变宽。捕集阱快速加热 ($2400\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$)

也能防止色谱峰变宽。从捕集阱解吸出来的组分若想获得较好的峰型，建议在解吸时载气流速设置为 $3\text{--}5\text{ mL}/\text{分钟}$ 。这意味着脱附气体由传输线转移至气相色谱柱时可以保持较低的分流比（典型分流比为 $1:1$ ）。

这种捕集阱采用了两种吸附剂，吸附性能较弱（碳黑）的吸附剂朝向样品进口/出口端，可以保留样品中挥发性较弱的组分。吸附性能较强的吸附剂（碳分子筛）位于弱吸附剂之后，用于捕集挥发性较强组分 ($\text{C}_2 - \text{C}_4$)。当捕集阱被加热时，脱附组分从捕集阱反吹出来——这样保证挥发性较弱组分不会与强吸附剂接触。采用一根捕集阱需要捕集阱在非常宽的温度范围内操作，两种吸附剂既能吸附所有的臭氧前体物目标化合物也能有效解吸，无需依赖液体冷却剂。 C_2 组分在此捕集阱上的保留可参见图 5。空气采样量 600 mL ，乙炔可定量保留。其他 C_2 碳氢化合物在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下保留体积为 1.2 L ， C_3 组分则多于 4 L 。

玻璃纤维过滤片的使用是为了保持吸附床分离而又不引起气体流路的死体积。吸附剂保持在捕集阱窄内径一端，另一端用玻璃棉和弹簧丝固定，保证吸附剂在操作时保持最佳位置。

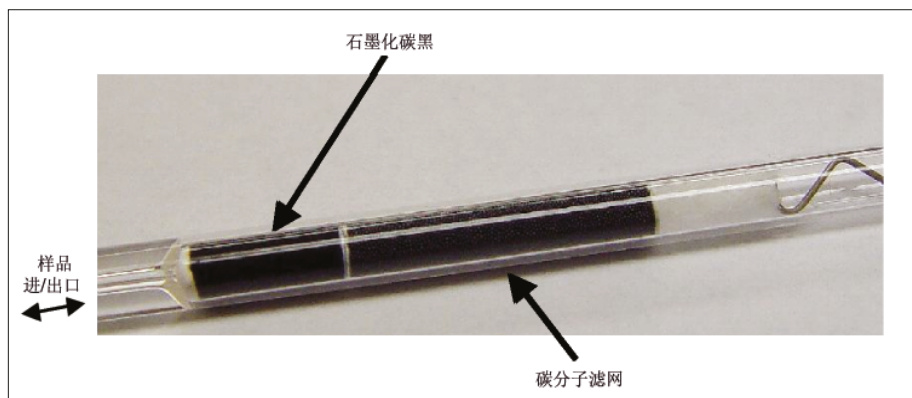


图 3. 珀金埃尔默空气有毒物质捕集阱的图片。

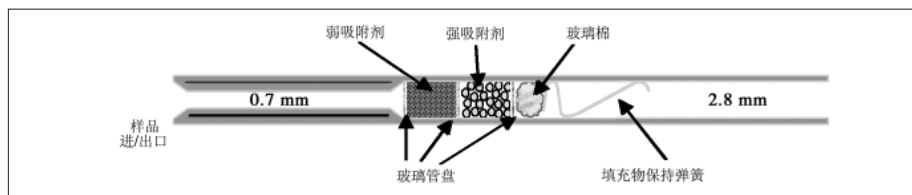


图 4. 珀金埃尔默 TurboMatrix TD 捕集阱的内部几何结构。

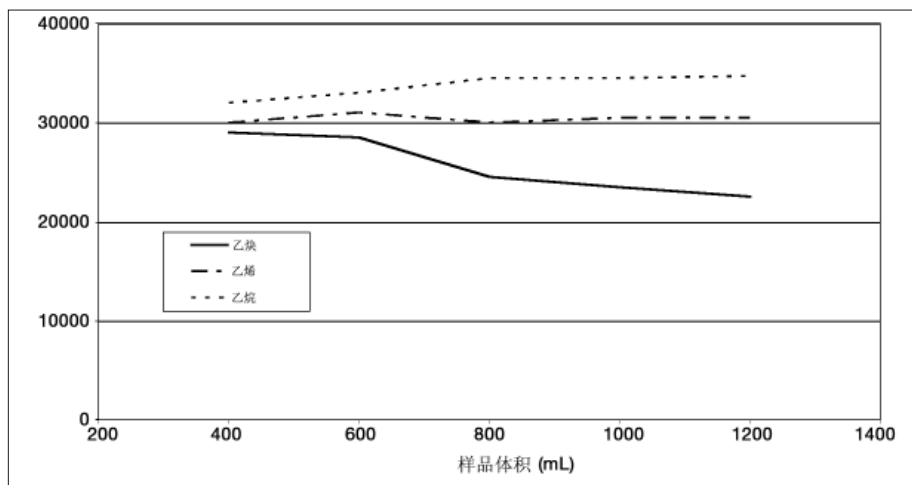


图 5. C_2 碳氢化合物回收与样品气体体积（16 到 $19\text{ ng}/\text{化合物}$ ）。

热脱附系统

图 6 到图 9 显示用于此应用的热脱附系统的示意图。这些图只表示执行此分析时的几个必要阶段，但却说明了系统对气相色谱仪中样品分析物的收集和脱附方式。在图 6 到图 9 中，TD 技术的核心在虚线的左侧，而联机进样附件的核心在虚线的右侧。

旋转阀 (RVC) 用于选择是运行样品还是运行校正标准混合物。此阀的位置受 TotalChrom 数据处理顺序控制，因此可使用系统的计划功能自动重新校正。

一旦样品（或标准液）流过 RVC，则通过 Nafion™ 膜干燥器供给进样，以去除水分。Nafion 是全氟磺酸聚合物，可被水分子浸透，在此应用中非常有

效。此膜还可去除许多极性化合物，尤其是脂肪醇、甲酮、醚和酯类。但是，上述化合物均未存在于目标分析物列表中，而且从样品中去除了可能产生干扰的物质，这对于此项应用非常有益。电磁阀 (ISV2) 提供干气流，以去除提取的水分并保持膜在最佳条件下工作。

当系统处于未使用状态时，样品流将通过另一个旋转阀 (RVB) 进入电流控制器和真空泵中。此安排允许系统在室温压力下，甚至是在低于室温的压力下（如果样品在耐氧化罐中），以用户设置的进样速度进样空气。如果由于电力问题而导致电磁阀 (ISV1) 关闭，则在这些条件下不会损失昂贵的标准混合气。

要供给样品，如图 7 所示旋转 RVB。这会使样品流流经空管（仅用作导管）、RVA，直到进入保留分析物的冷却捕集阱中。捕集阱的出样口通过 RVB 接回，并连接到电流控制器和真空泵。在设定的时间段内以设置的流速收集样品，二者均由用户设置。

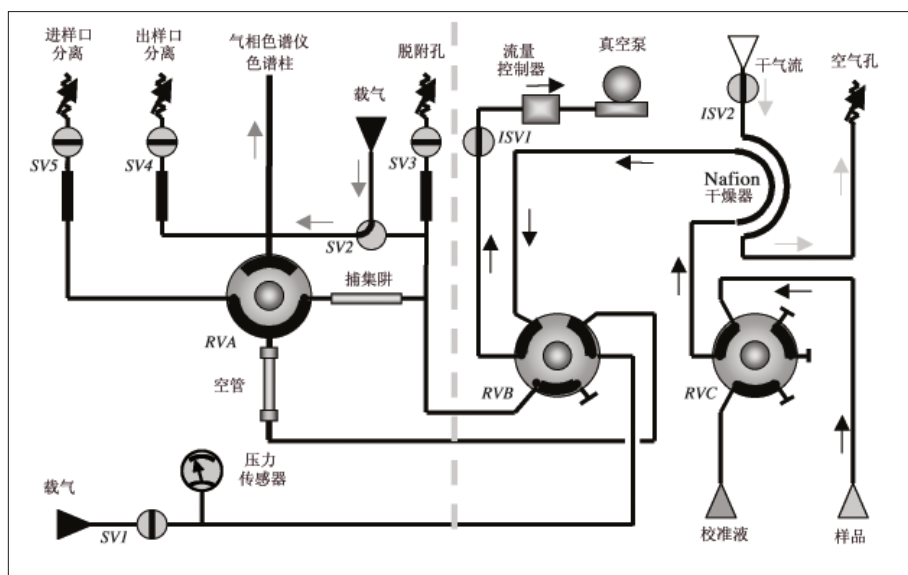


图 6. 配有联机进样附件的珀金埃尔默 TurboMatrix TD 热脱附系统 - 停止位置。

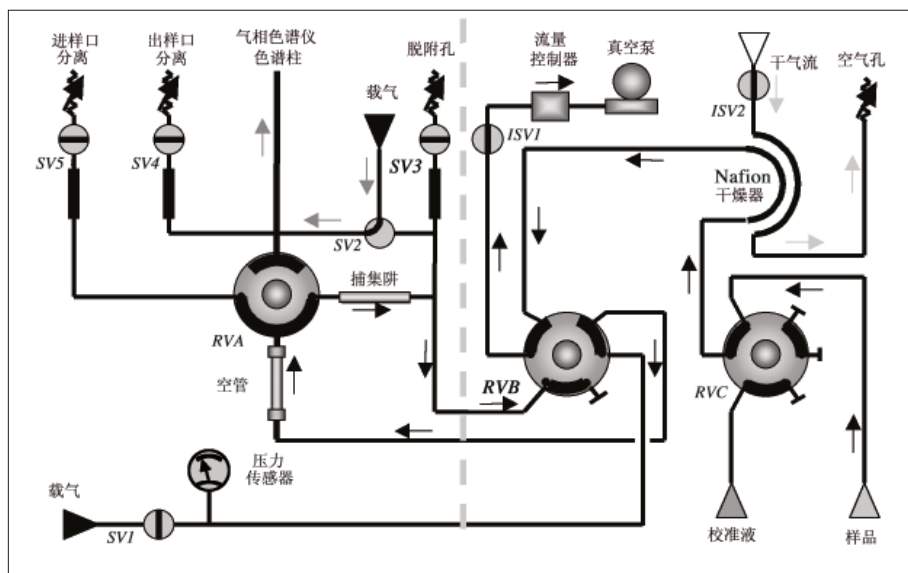


图 7. 配有联机进样附件的珀金埃尔默 TurboMatrix TD 热脱附系统 - 进样位置。

一旦样品被捕集阱捕集, 旋转阀 (RV) B 转回到它原来的位置上, 旋转阀 (RV) A

系统将分析当前样品的色谱并开始收集要使用的下一样品。

图 10 为一张带有在线采样附件的热脱附仪照片。图 11 为该仪器后视图, 其中后盖被移除以显示采样系统关键部位。

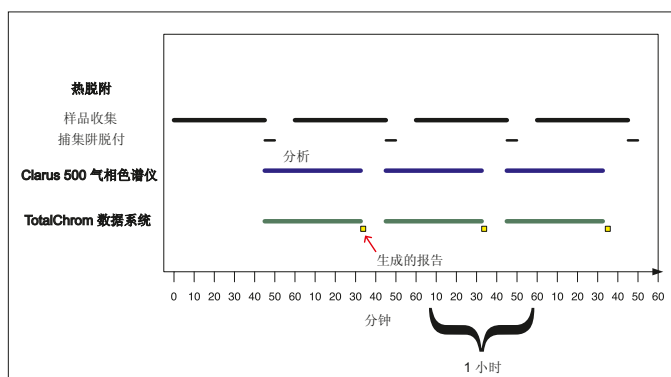


图 8. 重复功能支持要在每个小时内发生的样品收集、色谱和数据收集。

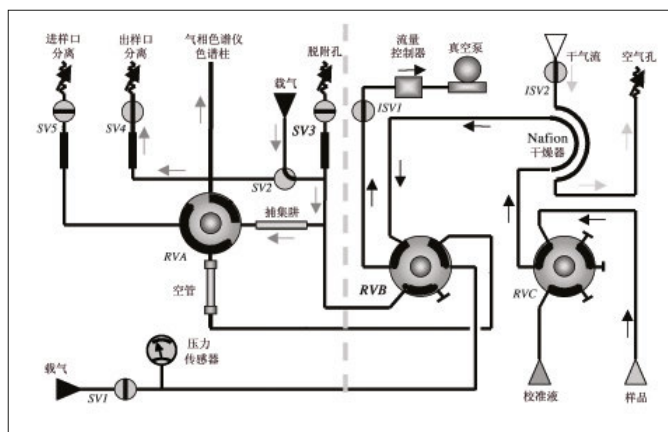


图 9. 配有联机进样附件的珀金埃尔默 TurboMatrix TD 系统 - 脱附位置。



图 10. 配有联机进样附件（安装在仪器的后面）的珀金埃尔默 TurboMatrix TD 系统。

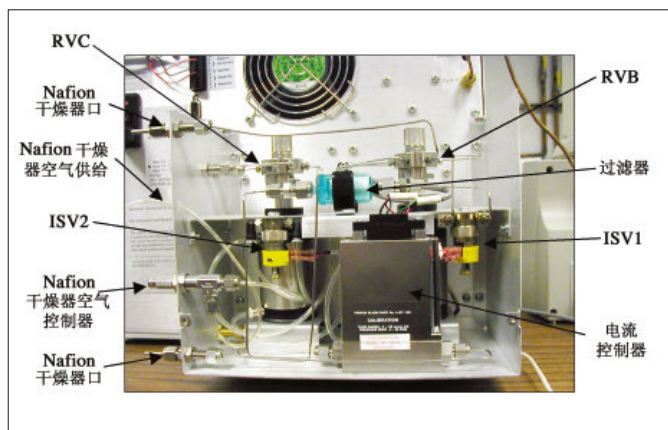


图 11. 卸下联机进样附件盖后露出的主要组件。

气相色谱分析

样品经热脱附转移到气相色谱后，表 1 中列出的 55 种目标组分必须在 50 分钟内得到分离并定性和定量，以便使 GC 柱温箱降温至起始温度后还能在 1 小时后启动下一个样品分析。如果没有外加冷却剂冷却柱温箱以获得极低的起始温度，用一根色谱柱势必难以对 55 种目标化合物达到令人满意的分离效果。这样一来，热脱附仪不需要液氮的特点就算不上什么优势了。

为了分离挥发性极强的组分（例如乙烷、乙烯、乙炔），需要采用保留性很强的氧化铝 PLOT 柱。这类色谱柱对于轻质气体的分离效果是非常理想的，但是它的上限温度只到 200 °C，对于碳数大于己烷的组分都无能为力。

若要解决柱温限制问题必须添加另外一根甲基硅氧烷色谱柱与 PLOT 一起使用，两根色谱柱采用中心切割阀进行切换，如图 12 所示。

这里采用的中心切割技术是基于 Dean's Switch 压力平衡原理，它具有结构简单、高度惰性、低热质量和低死体积等优点。

这里有两个压力调节器，第一个 (P1) 位于 TD 用于控制甲基硅氧烷色谱柱进口压力，第二个 (P2) 附着在中心切割装置上，位于两根色谱柱之间。对当前操作条件， $P1 > P2 > \text{环境压力}$ 。P1 与 P2 之间的差异代表了通过甲基硅氧烷色谱柱的压降，此压降控制通过色谱柱的载气流速。P2 为 PLOT 柱的柱压，可控制其载气流速。这样的安排可以保证两根色谱柱同时进行分析。

中心切割技术用来将分析物分成两部分分配到两根色谱柱上——高挥发性组分经甲基硅氧烷色谱柱流出后直接进入 PLOT 柱进行分离，这部分组分由检测器 FID2 检测。高挥发性组分流出之后，中心切割装置切换到另一个方向使甲基硅氧烷色谱柱后面流出的组分直接到达检测器 FID1。

图 13 和 14 解释了中心切割装置是如何工作的。安装在 GC 柱温箱外部的电磁阀将样品采集进色谱柱，流出物在出口处被分成两部分 D 和 E，另一端载气持续供应。D 点压力必须十分接近 E 点压力以维持气路方向。达到这一点是通过在靠近 PLOT 柱端添加一段熔融石英限制管作气阻——就是所谓的“压力平衡切换”。

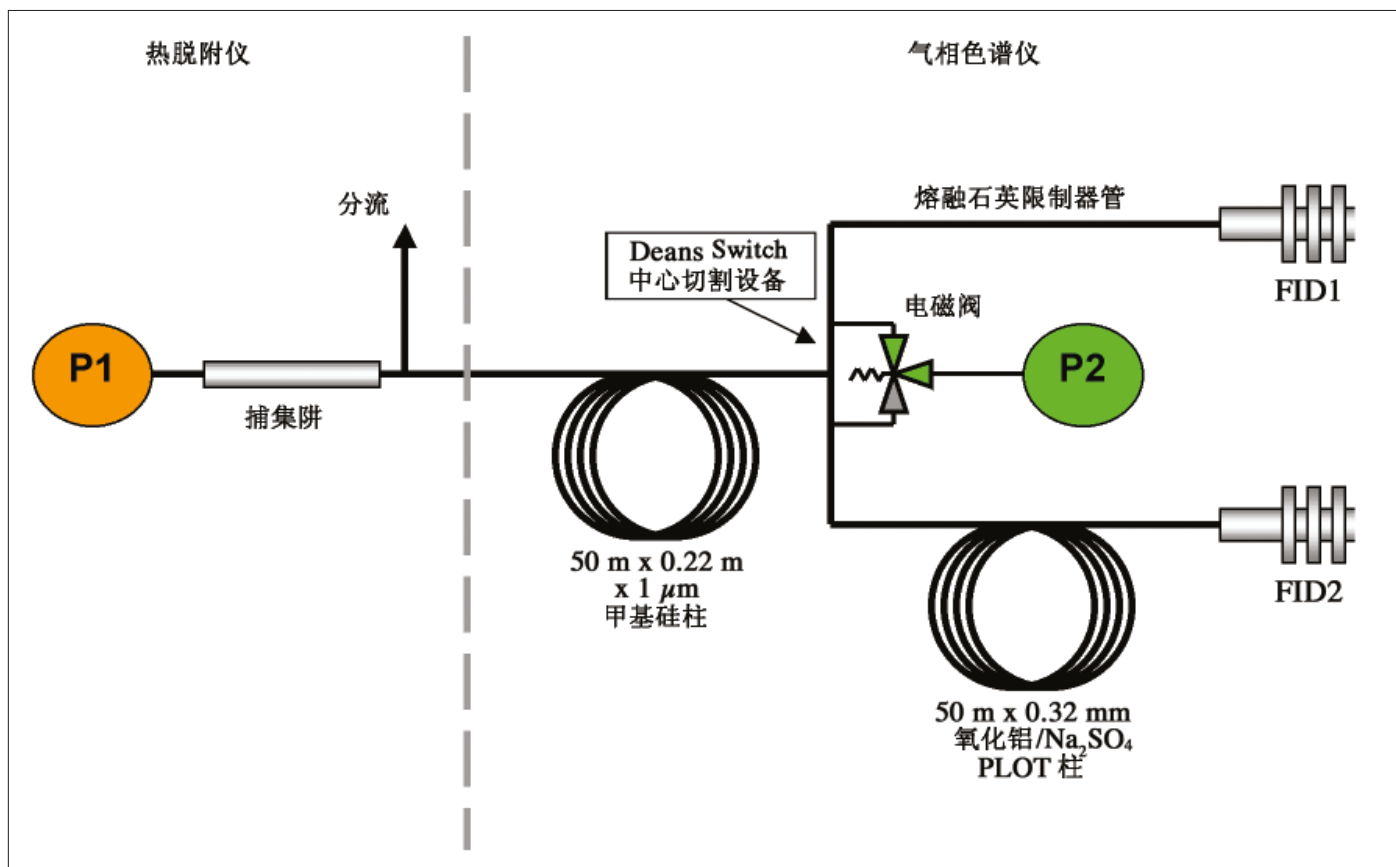


图 12. 气相色谱系统的示意图 - 显示配置了中心切割装置的双色谱柱。

在中心切割装置上的切换点之间连接一针阀用以维持载气以极低流量通过另一端空管路以确保样品没有损失或者分析过程中避免再进样。

图 15 为 10-ppb 标准混合物由甲基硅氧烷色谱柱直接连接 FID1 检出物色谱图（无中心切割）。

可以看到正己烷以前的组分分离效果不是很好，但是之后的组分分离效果可以接受。采用中心切割技术后，正己烷之

前的组分被转移至 PLOT 柱。图 16 即为两根色谱柱同时运行结果。这样就避免了使用低于环境温度的起始温度并且在一次运行过程就获得两张色谱图。

实验部分

表 2 中列出了此分析所需的全部仪器条件。

分析效果

分析的成功与否很大程度上取决于少数几个关键色谱峰是否分开。

图 17 和 18 为关键分离组分的概要图，图中将几组需要重点分离的组分列为 A、B、C、D、E 五组。

图 19 为 A 组分离情况。这组关键物质为异丁烯，异丁烯浓度非常低，而相邻组分浓度比较高。它是由 Nafion 干燥引起的副产物，因此要求具备低的检出限。

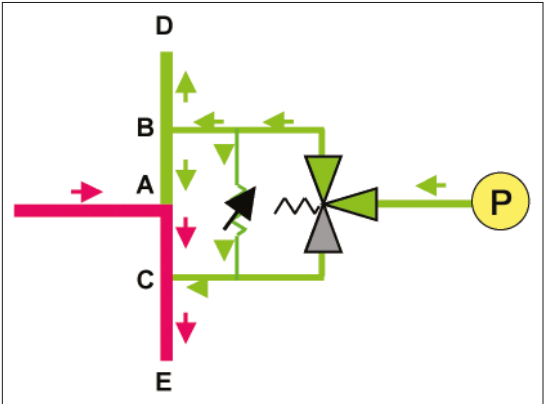


图 13. 中心切割装置将色谱流出物由 A 点切换至 E 点 PLOT 柱。

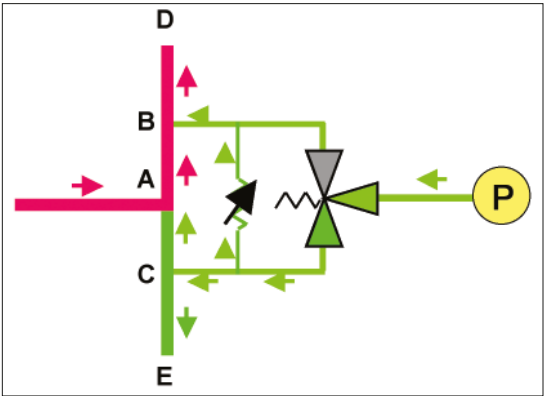


图 14. 中心切割装置将色谱流出物由 A 点切换至 D 点 FID1。

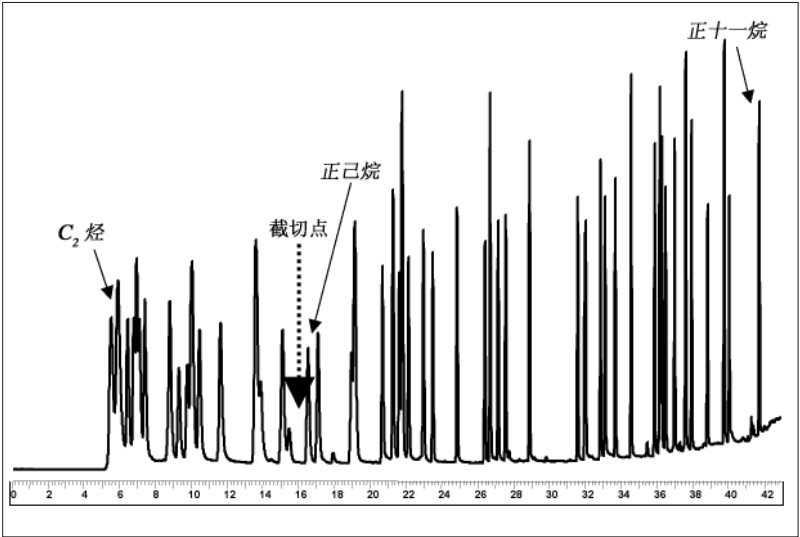


图 15. 对从甲基硅柱流入 FID1 的 10-ppb 标准混合物进行色谱分析。

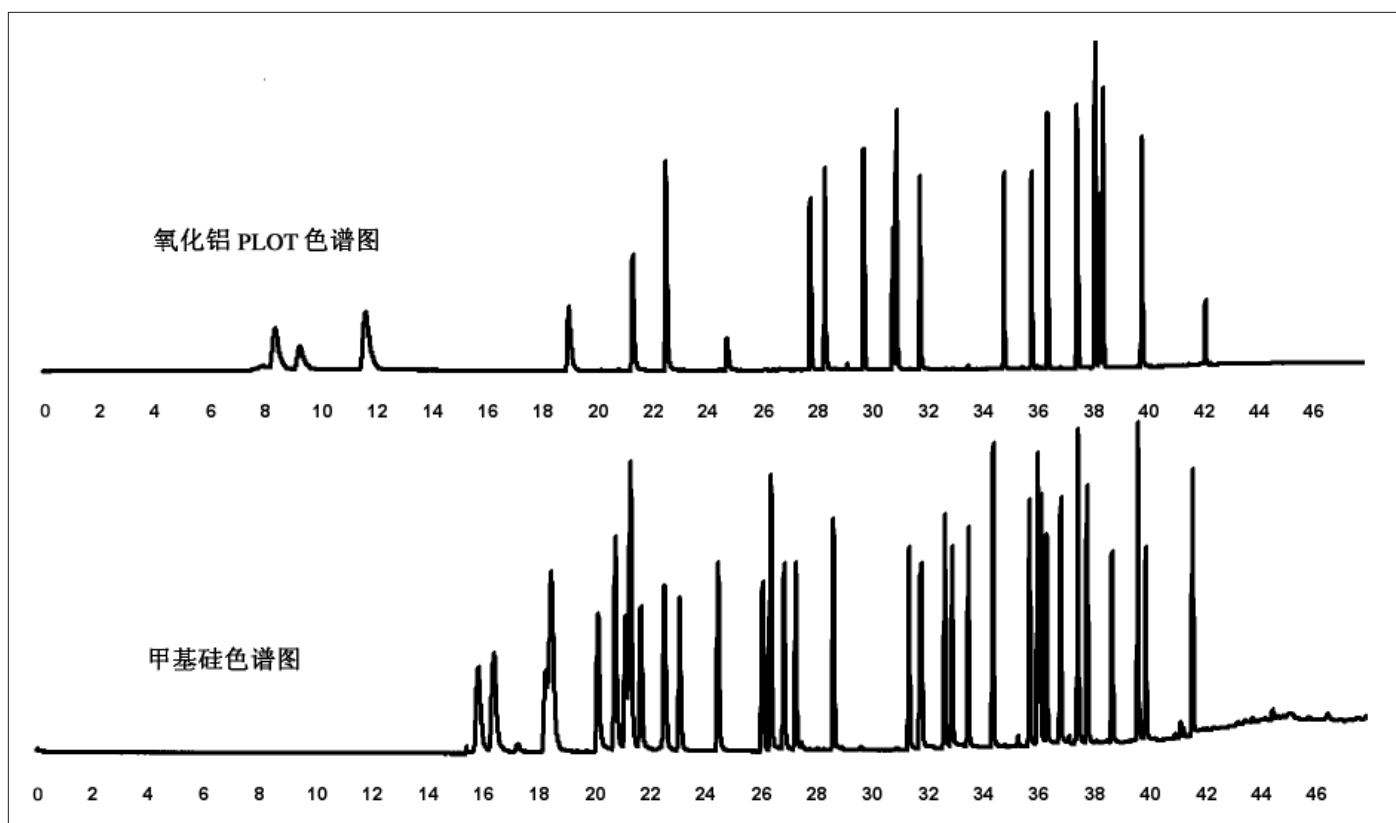


图 16. 甲基硅和 PLOT 色谱柱上两个样品分段的并行色谱。

表 2. 臭氧前体物分析的系统要求。

色谱仪	带有中心切割设备和 Integral LINK 的 Clarus 500/AutoSystem XL
色谱柱	臭氧前体物色谱柱设置: <ul style="list-style-type: none"> • 50 m x 0.22 mm x 1 μm 甲基硅柱和 • 50 m x 0.32 mm 氧化铝/KC1 PLOT 色谱柱
柱温箱	45 °C 15 分钟, 接着以 5 °C/分钟的速度上升到 170 °C, 然后以 15 °C/分钟的速度上升到 200 °C 并保持 6 分钟 (48 分钟色谱)
检测器	双火焰离子化检测器, 250 °C
载气	前色谱柱进口 48 psig (约) 氮 中心切割设备 17 psig (约) 氮
热脱附仪	配有联机进样附件的 TurboMatrix TD
捕集阱	填充了碳吸附剂的空气监测捕集阱
捕集阱低温	-30 °C
捕集阱高温	400 °C
传输线	200 °C
操作模式	联机
进样口分流	关
出样口分流	2 mL/分钟 (~1:1 的分流比例)
数据处理系统	TotalChrom 和 TurboMatrix 远程控制软件
空气进样	15 mL/分钟, 持续 40 分钟 (共 600 mL)

图 20 为 B 组异戊烷和环戊烷的分离情况。可以看到这两个非常相似的化合物分离效果很好。

图 21 为 C 组三个典型组分 2,3-二甲基丁烷、2-甲基戊烷和 3-甲基戊烷的分离情况，这三种组分被称为“三姐妹”。在环境空气中，2-甲基戊烷色谱峰通常是最强的，在标准混合物里，2,3-二甲基丁烷峰是最高的。

图 22 为 D 组组分分离情况。中心切割后从甲基硅氧烷色谱柱中流出到达 FID1 的第一个组分为正己烷，图中可见此时的基线波动非常小。

图 23 为 E 组组分分离情况。在这个分析中，甲苯是一个非常重要的参考峰，需要得到良好的分析结果。

图 24 和 25 为甲基硅氧烷和 PLOT 柱上各自色谱图，所有化合物都被确认标示。

除了定量准确，在偏远地区运行的整个分析方法还必须是稳定的、精确的、可重复操作的。表 3 和表 4 分别列出了 14 次运行结果中各组峰面积和保留时间的相对标准偏差 (% RSD)，表 3 为 PLOT 分析组分结果，表 4 为甲基硅氧烷色谱柱分析组分结果。其中各组分浓度范围在 20-50 ppb 之间不等。

任何致力于此分析的新仪器系统应该具备与现有系统分析结果相匹配的能力。图 26 和图 27 即为这套系统与其他已经经过验证并已应用于常规运转的分析系统的比较数据。

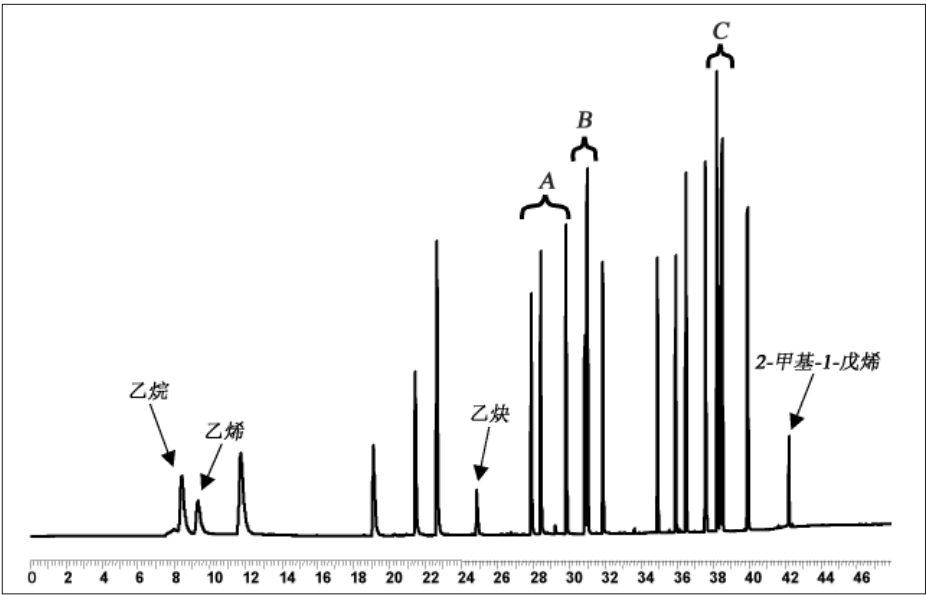


图 17. 氧化铝 PLOT 色谱柱上的重要分离。

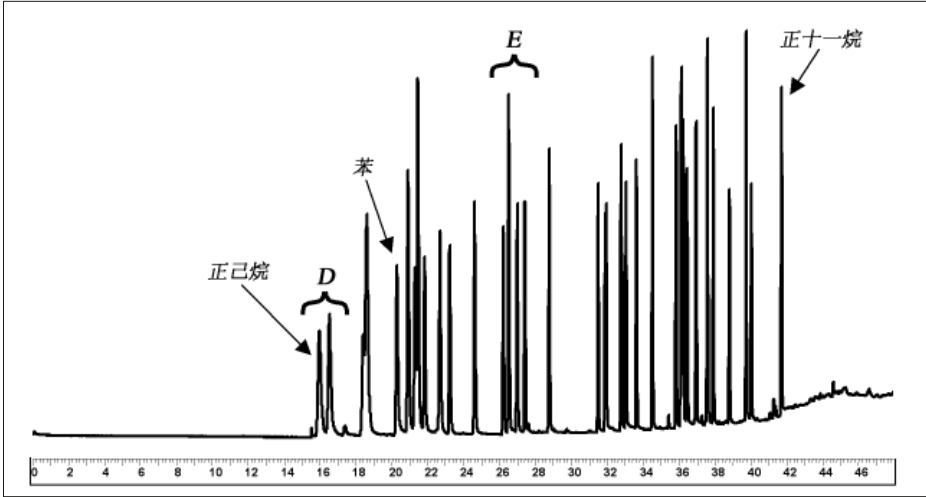


图 18. 甲基硅柱上的重要分离。

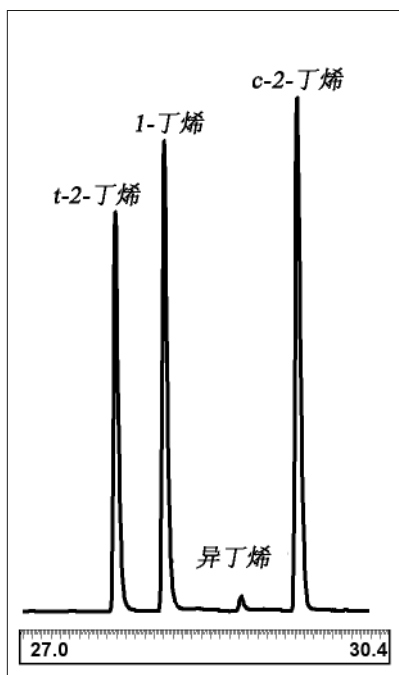


图 19. 重要分离“A” – 显示低浓度的异丁烯。

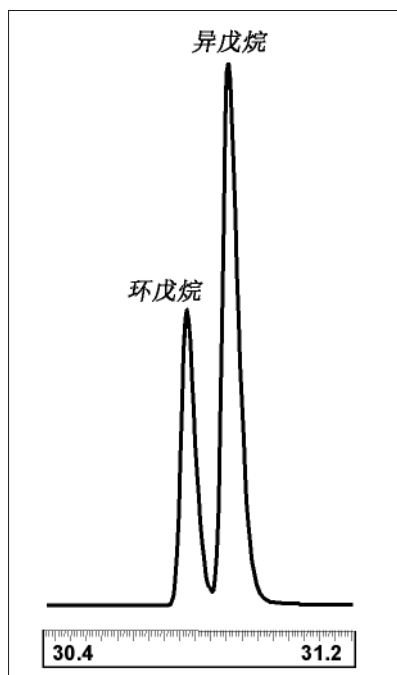


图 20. 重要分离“B” – 完全分离这两种化合物非常重要。

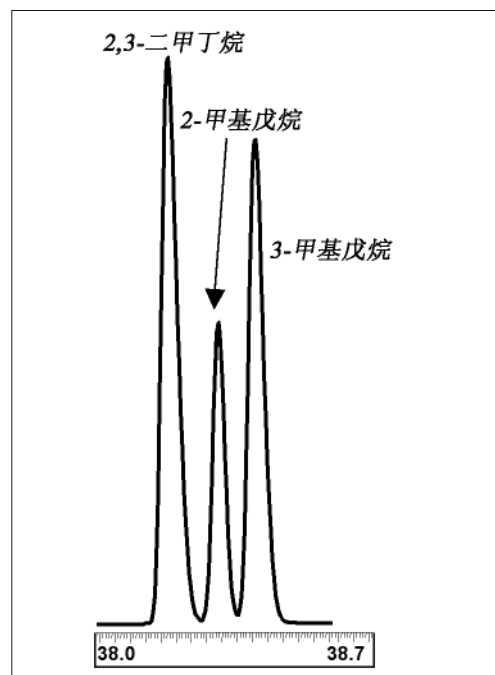


图 21. 重要分离“C” – 需要完全分离“三姐妹”。

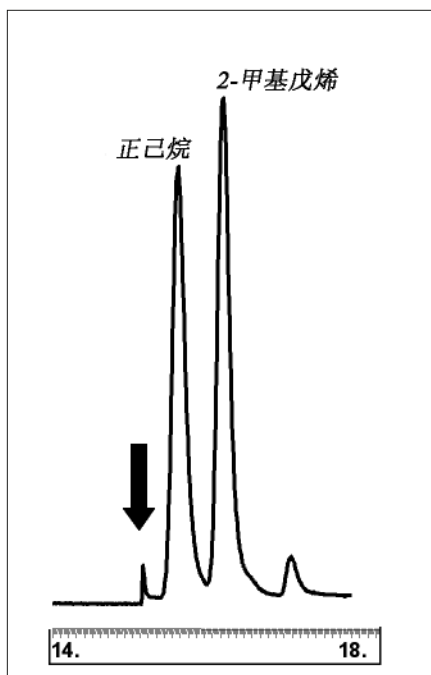


图 22. 重要分离“D” – 最小的基线干扰。

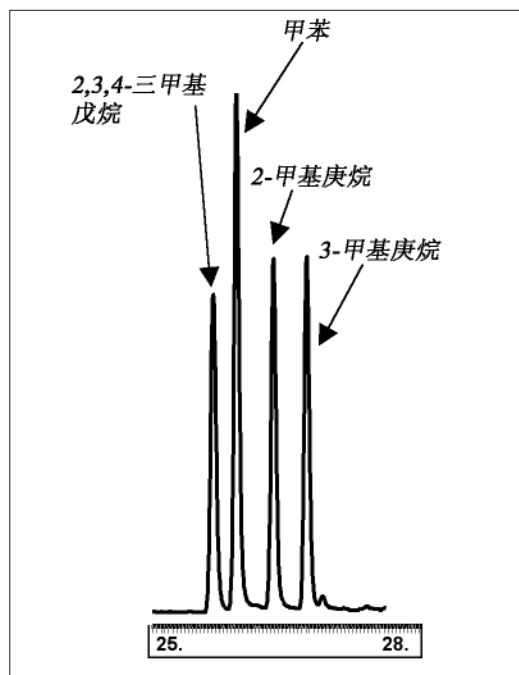


图 23. 重要分离“E” – 准确分辨甲苯参考峰。

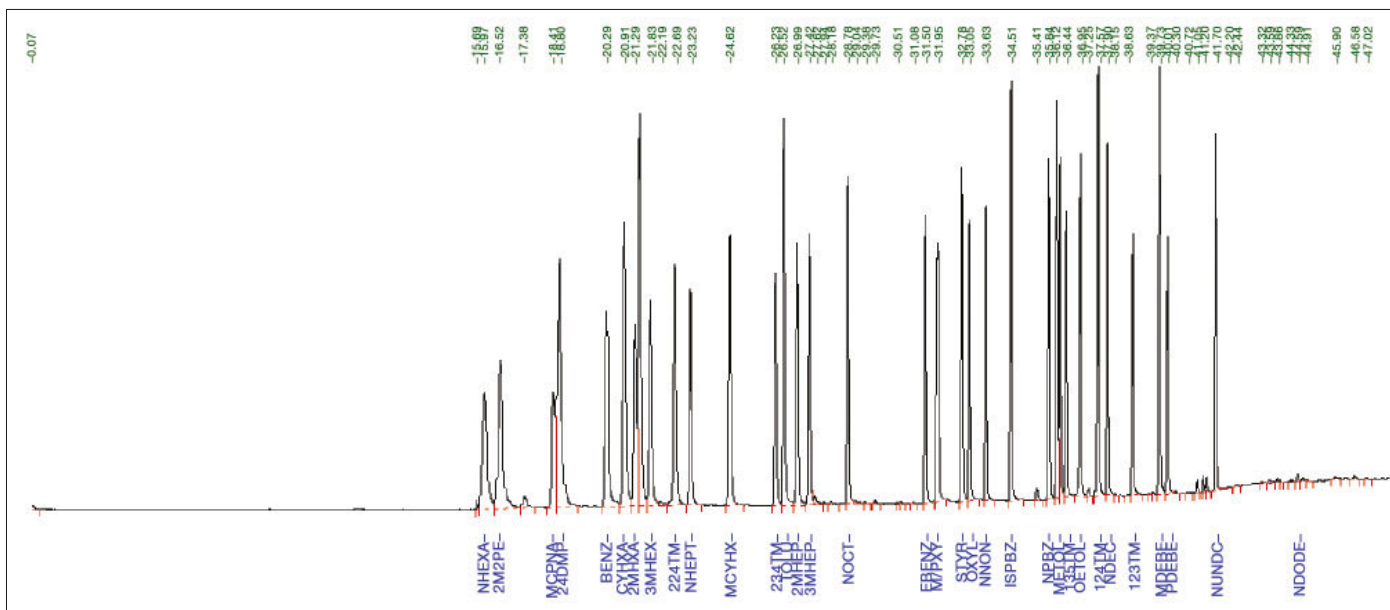


图 24. 所有成分均已标识的氧化铝 PLOT 色谱柱色谱。

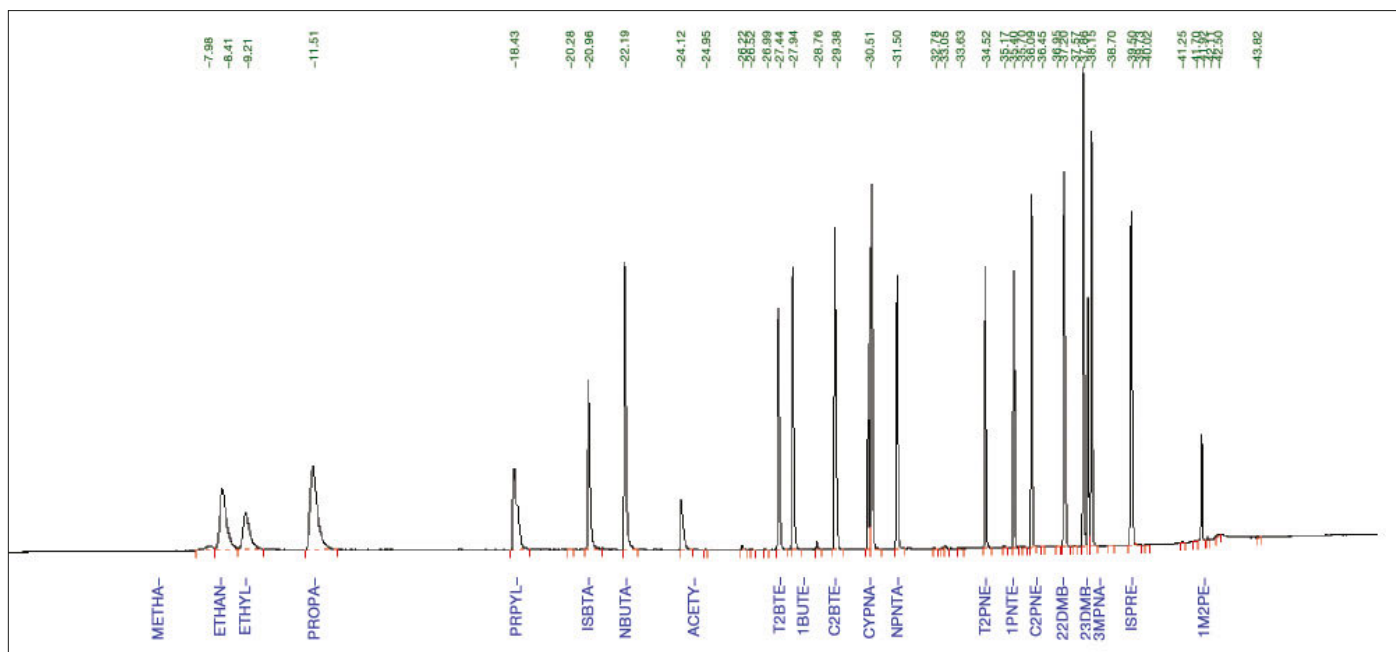


图 25. 所有成分均已标识的甲基硅柱色谱。

表 3. 在氧化铝 PLOT 柱上运行 14 次所得的峰面积和保留时间的再现性。

化合物	面积平均数 (计数)	面积 (%RSD)	时间 (%RSD)
乙烷 (ETHAN)	214638	1.5	0.06
乙烯 (ETHYL)	124128	1.5	0.18
丙烷 (PROPA)	312707	1.0	0.26
丙烯 (PRPYL)	174052	1.0	0.46
异丁烷 (ISBTA)	195506	1.6	0.29
正丁烷 (NBUTA)	312147	1.4	0.26
乙炔 (ACETY)	66870	2.2	0.32
反-2-丁烯 (T2BTE)	203689	1.4	0.20
1-丁烯 (1BUTE)	231206	1.5	0.20
顺-2-丁烯 (C2BTE)	275002	1.3	0.18
环戊烷 (CYPNA)	146311	1.5	0.15
异戊烷 (ISPNA)	306789	1.2	0.16
正戊烷 (NPNTA)	195473	1.3	0.15
反-2-戊烯 (T2PNE)	194509	1.3	0.14
1-戊烯 (1PNTE)	189573	1.5	0.15
顺-2-戊烯 (C2PNE)	260427	1.3	0.14
2,2-二甲丁烷 (22DMB)	315273	1.3	0.14
2,3-二甲丁烷 (23DMB)	385742	1.4	0.13
2-甲基戊烷 (2MPNA)	156987	1.5	0.13
3-甲基戊烷 (3MPNA)	312026	1.4	0.13
异戊二烯 (ISPPE)	273503	1.4	0.14
2-甲基-1-戊烯 (2M1PE)*	60621	1.5	0.10

* 不在目标列表上的化合物。

“EPA”数据为在一根色谱柱（柱温降温至低于环境温度）上运行的原始标准混合物结果。在这个系统上，2-甲基-1-戊烯和 2-甲基-2-戊烯没有完全分离，所以这套系统上的数据不同于其他系统测得结果。其他系统都是基于 PerkinElmer ATD-400 — ATD-400 是 TurboMatrix 系列早期的型号。

显而易见，新系统与参考系统测得数据有很好的相关性。

表 4. 在甲基硅柱上运行 14 次所得的峰面积和保留时间的再现性。

化合物	面积平均数 (计数)	面积 (%RSD)	时间 (%RSD)
正己烷 (nHEXA)	230493	1.3	0.19
2-甲基-2-戊烯 (2M2PEN)*	273184	2.0	0.18
甲基环戊烷 (MCPNA)	144872	0.9	0.14
2,4-二甲基戊烷 (24DMP)	452231	1.6	0.14
苯 (BENZ)	233810	1.7	0.09
环己烷 (CYHXA)	314890	1.6	0.08
2-甲基己烷 (2MHXA)	181874	1.4	0.07
2,3-二甲基戊烷 (23DMP)	416641	1.7	0.07
3-甲基己烷 (3MHEX)	208749	2.6	0.07
2,2,4-三甲基戊烷 (224TMP)	241903	1.9	0.05
正庚烷 (nHEPT)	190584	1.4	0.05
环己基甲烷 (MCYHX)	225975	1.3	0.04
2,3,4-三甲基戊烷 (234TMP)	187354	1.4	0.03
甲苯 (TOLU)	287696	2.6	0.03
2-甲基庚烷 (2MHEP)	192927	2.3	0.03
3-甲基庚烷 (3MHEP)	193685	1.5	0.03
正辛烷 (nOCT)	223686	1.4	0.03
乙苯 (EBENZ)	182455	1.2	0.03
间,对-二甲苯 (M/PXY)	276820	1.3	0.02
苯乙烯 (STYR)	207815	0.7	0.03
邻二甲苯 (oXYL)	179952	1.4	0.03
正壬烷 (NNON)	179411	1.5	0.03
异丙基苯 (ISPZ)	259197	1.3	0.03
正丙基苯 (nPBZ)	203292	1.5	0.03
间乙基甲苯 (mETOL)	234665	2.1	0.03
对乙基甲苯 (pETOL)	201955	2.8	0.03
1,3,5-三甲基苯 (135TMB)	174842	1.5	0.03
邻乙基甲苯 (oETOL)	209463	1.8	0.03
1,2,4-三甲基苯 (124TMB)	263891	1.4	0.03
正癸烷 (NDEC)	204677	1.8	0.03
1,2,3-三甲基苯 (123TMB)	162110	1.9	0.03
间二乙基苯 (mDEBEN)	258986	1.9	0.04
对二乙基苯 (pDEBEN)	155525	2.3	0.04
正十一烷 (nUNDC)	185384	1.4	0.03

* 不在目标列表上的化合物。

软件控制

PerkinElmer 的 TotalChrom 软件用来进行数据处理和气相色谱仪分析条件控制。如果有热脱附远程控制软件可安装在同一台电脑上对仪器进行控制。有了这两套软件就可以做到对臭氧前体物的目标化合物进行完全自动化无人操作，每小时产生一个数据结果。在事先定义好样品运行序列的情况下，系统可自动进行标准物校准。样品采集和分析信息都被记录在日志里。

PerkinElmer 还有一套远程控制软件 pcAnywhere™，虽然不作为产品的标准配置，但是在进行野外站点仪器的控制上非常方便，使用这套软件可以通过电话线、因特网或局部网络检查仪器系统状态、数据传输、调整分析条件等。

结论

空气污染是全球性问题。地面臭氧问题在发达国家日益突出，因为人们越来越清楚地了解到烟雾对健康的不良影响。在未来的十年，VOC 臭氧前体物化合物监测在确定和减轻发达和发展中国家空气污染问题方面将继续扮演着重要的角色。

珀金埃尔默联机臭氧前体物分析仪已获得了成百上千小时的分析记录，足以证明该设备现场操作的可靠性。鉴于低于 0.1 ppb (FID) 的量化限制和各小时内 40 分钟的进样能力，此系统可满足该方法的苛刻要求。复杂的调制解调器通信可确保联机臭氧前体物分析仪提供强大的 24 小时监测解决方案，它是现场操作的理想选择。

新型 TurboMatrix TD 系统已证明其可按照方法要求的规范执行美国 EPA 臭氧前体物分析。此外，全新的珀金埃尔默联机臭氧前体物系统更小、更易于安装，而且完全实现了对系统的远程控制。

参考文献

1. EPA Press Release, EPA Report Stresses Need for Continued Air Quality Improvement, August 7, 2000. 请访问网址：
<http://www.epa.gov>
2. U.S. EPA "Technical Assistance Document for Sampling and Analysis of Ozone Precursors", EPA/600-R-98/161, September 1998, issued by National Exposure, Research Laboratory, Research Triangle Park, NC 27711. 美国 EPA 网站提供本文档，网址为：
<http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/pams/newtad.pdf>
3. PerkinElmer 热脱附系统应用资料 29。
4. Piell, J.D., Oliver, K.D., McClenny, W.A. JAPCA, 37 (1987) 244-248。

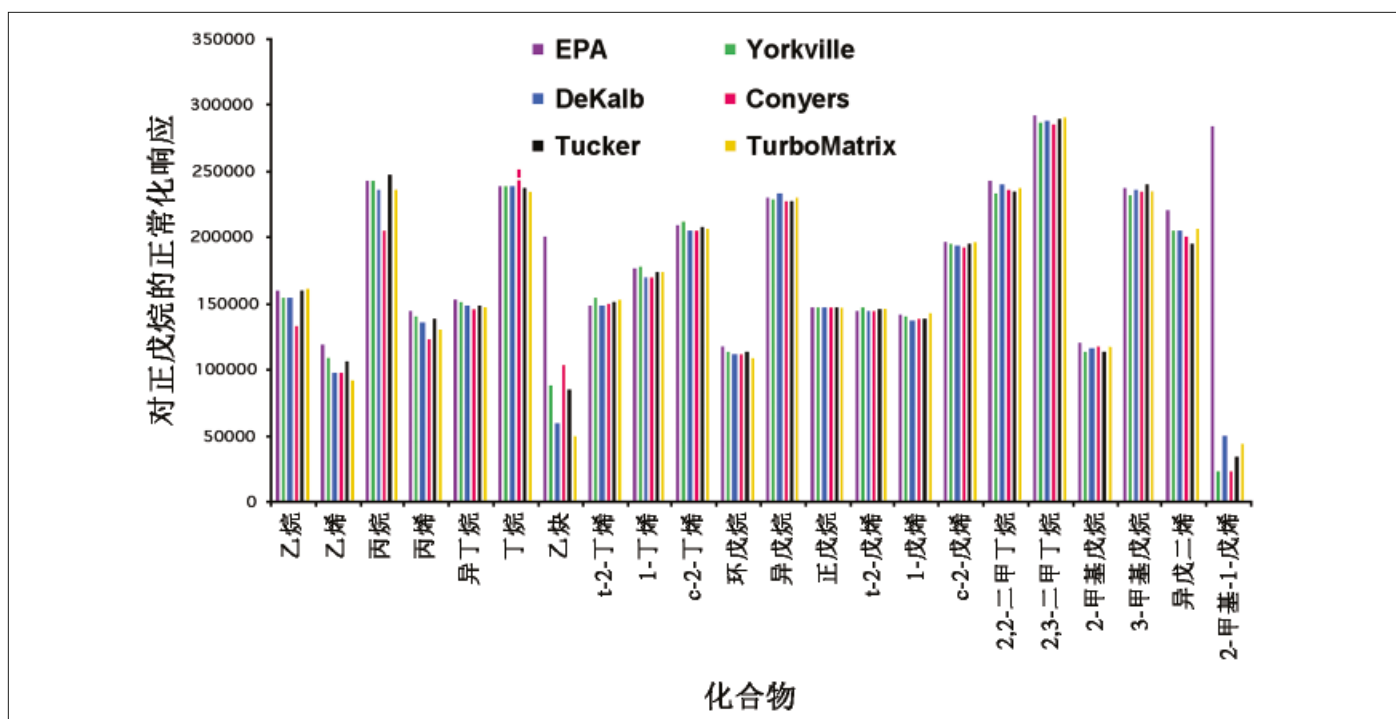


图 26. TurboMatrix PLOT 柱分析结果与已有操作系统测得数据对比情况

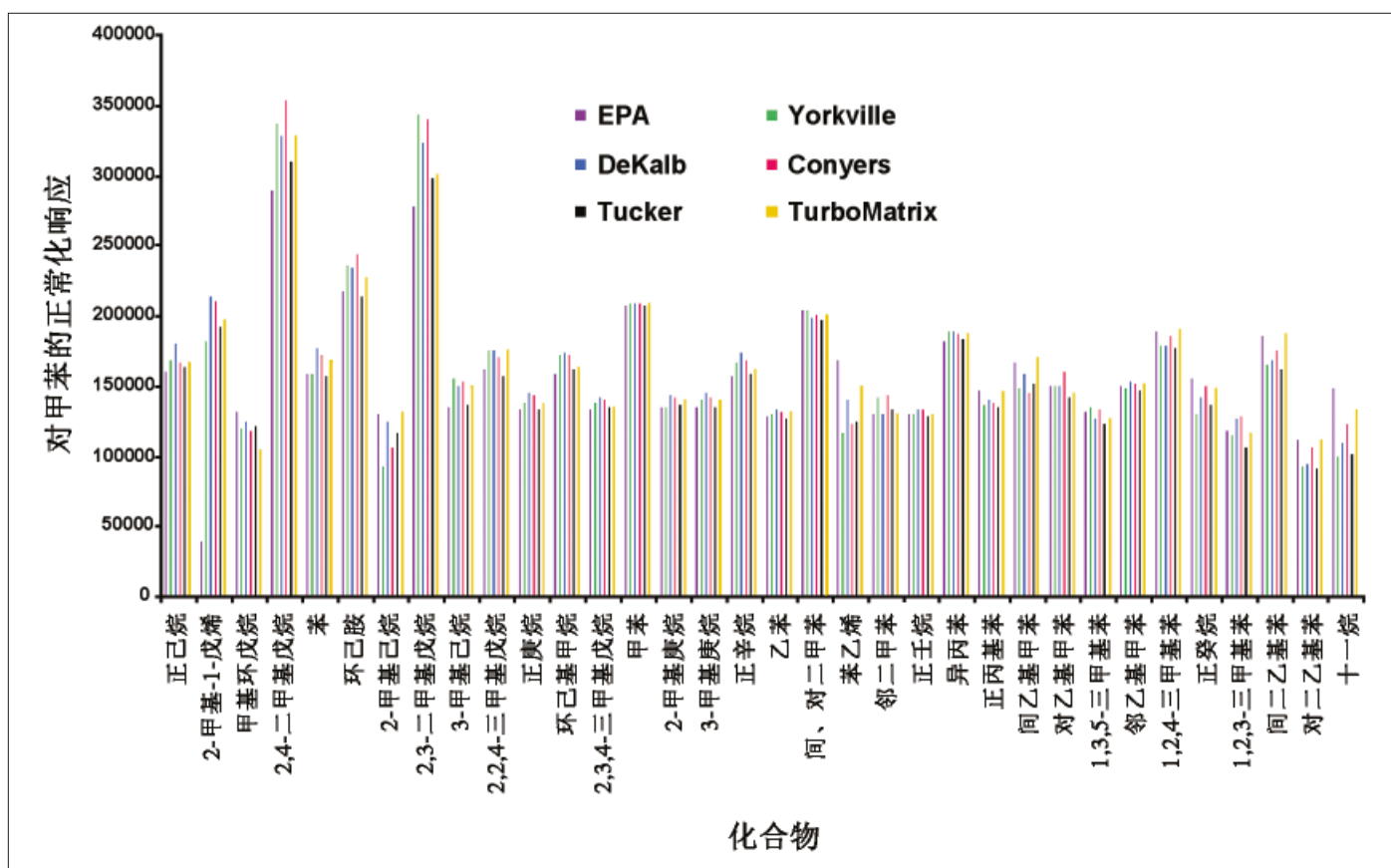


图 27. TurboMatrix 甲基硅氧烷色谱柱分析结果与已有操作系统测得数据对比情况。

5. Broadway, G.M., Trewern, T.,
Proc.13th Intl. Symp. on
Capillary Chrom., Vol. 1, 310-
320。
6. Kristensson, J., Schrier, (Ed.),
Proc.Analysis of Volatiles,
International Workshop,
Worzburg, Germany, 28-30 Sept.
1983, 375-378。
7. Broadway, G.M., Proc.9th
Australian Symp. on Anal.
Chem., Sydney 1987, Vol. 1.,
375-378。
8. Deans, D.R., Chromatographia 1
(1968) 18。
9. Johnson, G.L., Tipler, A., Proc.
8th Intl. Symp. on Capillary
Chrom., Vol. 1., 540-549。
10. Johnson, G.L., Tipler, A.,
Crowshaw, D., Proc.10th Intl.
Symp. on Capillary Chrom., Vol.
2, 971-985。

珀金埃尔默生命与
分析科学部
710 Bridgeport Avenue
Shelton, CT 06484-4794 USA
电话: (800) 762-4000 或
(+1) 203-925-4602
www.perkinelmer.com



要获取全球办事处的完整列表, 请访问 www.perkinelmer.com/lasoffices

©2005 PerkinElmer, Inc. 保留所有权利。珀金埃尔默徽标和外观设计是珀金埃尔默有限公司的注册商标。TurboMatrix 是珀金埃尔默有限公司及其子公司在美国或其它国家和地区的商标, Clarus、PerkinElmer 和 TotalChrom 是珀金埃尔默有限公司及其子公司在美国或其它国家和地区的注册商标。Nafion 是 DuPont 的商标。pcAnywhere 是 Symantec 的商标。文中提及的其它非珀金埃尔默有限公司及其子公司所有的其它商标均为其各自所有者的财产。珀金埃尔默保留随时更改此文档的权利, 恕不另行通知。对于编辑、图片或排版错误概不承担任何责任。