

# 利用扩展的痕量半挥发性有机物方法提升实验室分析效率

高惰性 RMX-5Sil MS 色谱柱可助您在更广泛的化合物范围内实现数据质量目标

By Erica Pack, Chris English, Ramkumar Dhandapani, Colton Myers

- 突破性 TriMax 钝化技术在色谱柱样品流路中实现高度惰性和稳健性，可适用于包括酸性、碱性及中性化合物在内的 150 种化合物。
- 超高惰性显著改善各种半挥发性化合物的色谱峰形，更容易实现方法整合，同时支持皮克级 (pg 级) 检测灵敏度。
- 高度灵活性——实验室可直接采用本方法分析 150 种半挥发性化合物，或通过 Restek 免费提供的 EZGC 色谱图模拟软件，在几秒钟内针对自定义分析物列表和色谱柱尺寸优化分析条件。



半挥发性有机物 (SVOC) 分析是全球环境检测实验室的核心应用。由于 SVOC 化学性质和反应活性差异显著，通常需要在不同色谱柱上进行分析。因此，将多种分析方法整合至单根色谱柱能够显著提高实验室生产效率。然而，方法整合的成功依赖于色谱柱的钝化效果；传统钝化方法通常仅对特定化合物类别有效，对其他类别可能效果有限。Restek 新一代 TriMax 钝化技术应用于所有 RMX 系列色谱柱，并经验证在各种化合物类别中均表现出优异的惰性性能，其综合效果甚至超过部分高端竞品色谱柱 [1]。

近期研究显示，RMX-5Sil MS 色谱柱在更广泛的半挥发性化合物类别中可获得更对称的色谱峰形，从而使更多化合物满足线性和回收率的严格数据要求 [2]。本研究在此基础上进一步优化了分析条件，并将目标化合物列表扩展至 150 种常规分析的半挥发性化合物，包括内标和替代物（图 1）。如图 2 所示，在痕量水平（柱上 0.1-10 pg）下，不同化学类别的半挥发性化合物均获得优异色谱分离，包括反应性较强的酸性化合物（如五氯酚、苯甲酸）和碱性化合物（如吡啶、联苯胺），这些化合物通常对系统适用性具有严格的数据质量要求。此外，RMX-5Sil MS 色谱柱能够有效分离难以分离的中性多环芳烃（如苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽），体现出卓越的分离性能。

这种整合的痕量半挥发性有机物分析方法充分证明了 RMX-5Sil MS 色谱柱在 150 种常规分析半挥发性化合物中的广泛适用性。实验室可进一步利用 Restek 免费提供的 EZGC 色谱图模拟软件，根据自身分析物列表和偏好色谱柱尺寸，快速创建优化方法，实现灵活定制与高通量分析。

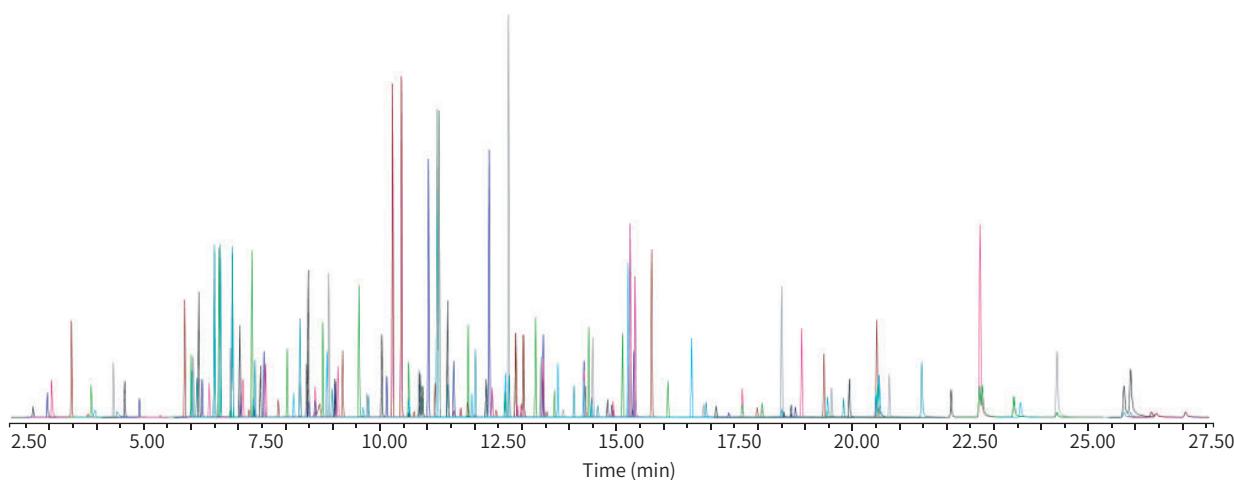
## 想要自定义一个方法吗？

将您的目标分析物输入 Restek 免费的 Pro EZGC 色谱图模拟软件，即可立即为您的特定化合物列表生成优化的方法条件。

现在就试试！



图1：扩展的针对 150 种半挥发性有机物、替代物及内标的痕量分析方法（浓度 100 ppb，柱上量 10 pg）



色谱柱： RMX-5Sil MS, 30 m × 0.25 mm 内径 × 0.25 μm 膜厚 (货号 17323)

色谱柱升温程序：40 °C 保持 1 分钟，以 12 °C/min 升至 280 °C，再以 3 °C/min 升至 310 °C 保持 1 分钟

标准品/样品： SVOC MegaMix 150 套装 (货号 31907)

载气： 氮气，恒流

修订版半挥发性内标混合物 (货号 31886)

1.2 mL/min (在 40 °C 下)

碱性中性替代物混合物 (4/89 SOW) (货号 31024)

SRM/MRM 模式

酸性替代物混合物 (4/89 SOW) (货号 31025)

330 °C

样品浓度： 100 ppb

280 °C

稀释剂： 二氯甲烷

调谐类型： PFTBA

进样： 进样体积：1 μL，分流进样 (分流比 10:1)

调谐发射电流：70 μA

进样衬管： Topaz 精准型衬管，内径 4.0 mm，带石英棉 (货号 23267)

仪器： Thermo Scientific TSQ 8000 三重四极杆 GC-MS

进样温度： 280 °C

样品制备： 将标准品混合并稀释至浓度 100 ppb。

分流口排气流量： 12 mL/min

峰	保留时间 <i>t<sub>r</sub></i> (min)	浓度 (ng/mL)	母离子 <i>m/z</i> 1	产物离子 1	碰撞能量 1	母离子 <i>m/z</i> 2	产物离子 2	碰撞能量 2
1. 1,4-二恶烷	2.71	10	58	28	6	88	28	14
2. N-二甲基亚硝胺	3.02	10	74	44	6	74	42	16
3. 吡啶	3.08	10	79	52	12	52	26	18
4. 甲基丙烯酸乙酯	3.51	10	69	41	6	99	43	14
5. 2-甲基吡啶	3.91	10	93	66	12	93	65	18
6. N-甲基乙基亚硝胺	4	10	88	71	6	88	42	16
7. 甲磺酸甲酯	4.39	10	80	65	8	80	48	28
8. 丙烯胺	4.44	10	71	55	6	71	44	22
9. 2-氟酚	4.62	10	112	92	6	92	63	14
10. N-二乙基亚硝胺	4.94	10	102	85	6	102	44	10
11. 甲磺酸乙酯	5.38	10	109	45	10	109	79	6
12. 苯甲醛	5.88	10	105	77	10	105	51	26
13. 苯酚-d6	6.02	10	99	71	8	71	42	16
14. 苯酚	6.04	10	94	66	10	94	39	30
15. 苯胺	6.07	10	93	66	10	93	65	20
16. 五氯乙烷	6.14	10	167	132	14	167	95	32
17. 叔(2-氯乙基)醚	6.18	10	93	63	6	63	27	10
18. 2-氯酚	6.25	10	128	64	14	128	63	24
19. 呋烷	6.4	10	85	43	6	71	43	6
20. 1,3-二氯苯	6.51	10	146	111	14	146	75	24
21. 1,4-二氯苯-d4	6.61	10	150	115	14	150	76	38
22. 1,4-二氯苯	6.63	10	146	111	14	146	75	24
23. 苄醇	6.85	10	108	79	12	108	77	24
24. 1,2-二氯苯	6.89	10	146	111	12	111	50	36
25. 苄	7.05	10	115	89	16	116	89	28
26. 2-甲基酚	7.06	10	108	80	8	108	77	24
27. 二氯异丙醚	7.11	10	121	45	6	77	51	14
28. N-亚硝基吡咯烷	7.28	10	100	43	8	100	55	6
29. 乙酰苯	7.31	10	105	77	12	105	51	26
30. 3-甲基酚/4-甲基酚	7.33	10	70	43	6	107	77	26
31. N-亚硝基吗啉	7.331	10	116	86	6	116	56	10
32. 邻甲苯胺	7.37	10	106	79	8	107	77	26
33. 六氯乙烷	7.49	10	201	166	12	201	131	30
34. 硝基苯-d5	7.57	10	128	82	12	82	54	12
35. 硝基苯	7.62	10	123	77	10	123	51	30
36. N-亚硝基哌啶	7.88	10	114	84	6	114	97	6
37. 异佛尔酮	8.05	10	138	82	8	82	54	6

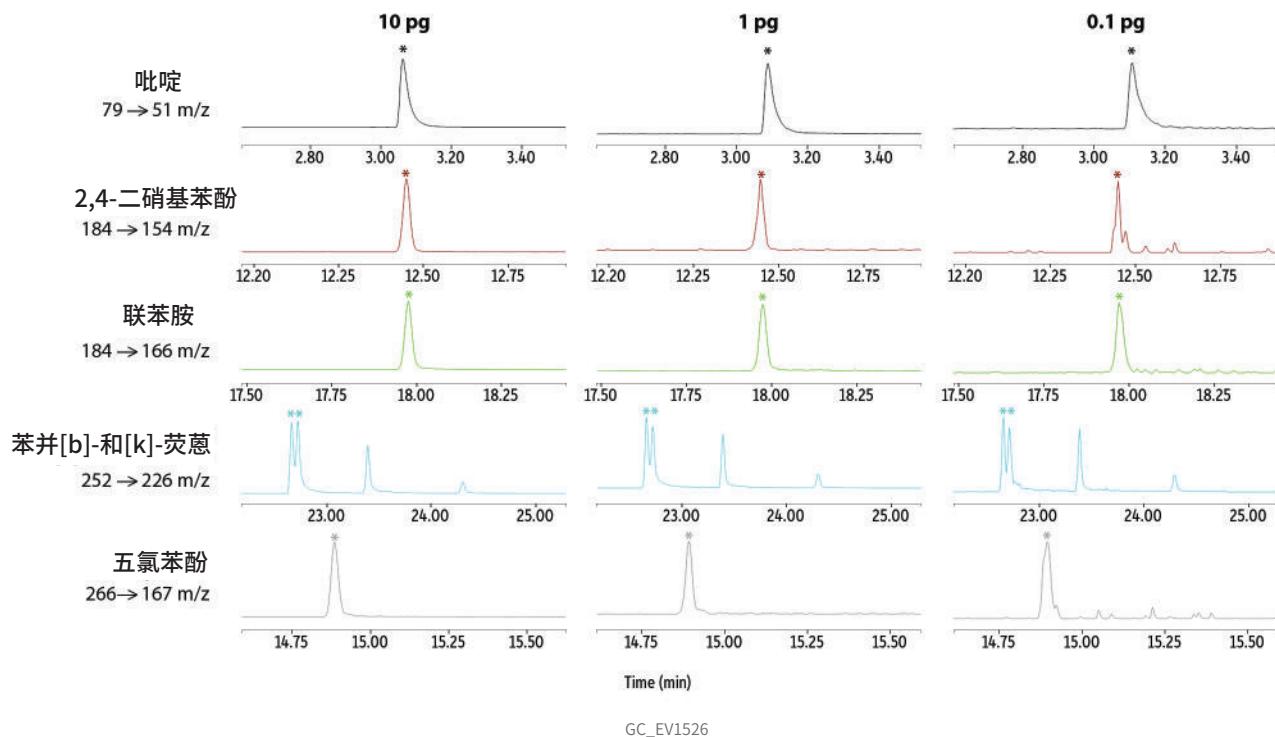
图1: (续)

峰	保留时间 <i>t<sub>R</sub></i> (min)	浓度 (ng/mL)	母离子 <i>m/z</i> 1	产物 离子1	碰撞 能量1	母离子 <i>m/z</i> 2	碰撞 能量2	产物 离子 2
38. 2-硝基酚	8.19	10	139	109	8	139	81	12
39. 苯甲酸	8.31	10	122	77	20	105	77	10
40. 2,4-二甲基酚	8.32	10	122	107	12	122	77	26
41. O,O,O-三乙基硫代磷酸酯	8.46	10	121	65	10	198	114	12
42. 双(2-氯乙氧基)甲烷	8.5	10	63	27	12	93	63	6
43. 2,4-二氯酚	8.64	10	98	63	8	162	98	12
44. 芬特明	8.78	10	58	42	22	134	91	20
45. 1,2,4-三氯苯	8.8	10	180	145	12	180	109	24
46. 萍-d8	8.89	10	136	134	14	136	84	20
47. 萍	8.92	10	128	102	16	129	103	14
48. α-松油醇	9	10	136	121	8	136	93	10
49. 4-氯苯胺	9.06	10	127	100	10	127	65	20
50. 2,6-二氯酚	9.07	10	162	126	8	164	63	26
51. 六氯丙烯	9.12	10	213	119	18	215	119	18
52. 六氯丁二烯	9.21	10	225	190	14	260	190	26
53. 噻啉	9.56	10	129	102	16	129	76	26
54. ε-己内酰胺	9.65	10	113	85	6	113	56	10
55. 1,4-苯二胺	9.73	10	108	81	10	108	80	20
56. N-二丁基亚硝胺	9.76	10	116	99	6	116	74	8
57. 4-氯-3-甲基酚	10.05	10	142	107	12	142	77	26
58. 异黄樟素 I	10.14	10	131	103	8	162	104	12
59. 2-甲基萘	10.27	10	141	115	16	141	89	30
60. 1-甲基萘	10.46	10	141	115	16	141	89	30
61. 1,2,4,5-四氯苯	10.61	10	216	181	14	216	108	36
62. 六氯戊二烯	10.62	10	272	237	12	237	143	22
63. 2,3-二氯苯胺	10.83	10	161	90	16	163	90	18
64. 2,4,6-三氯酚	10.85	10	132	97	10	196	97	24
65. 2,4,5-三氯酚	10.95	10	132	97	10	196	97	24
66. 2-氟联苯	11.03	10	172	171	12	172	170	22
67. 2-氯萘	11.15	10	162	127	16	162	77	30
68. 异黄樟素 II	11.17	10	131	103	10	162	104	12
69. 黄樟素	11.2	10	162	127	16	131	103	10
70. 联苯	11.21	10	154	152	22	153	126	32
71. 1-氯萘	11.25	10	162	127	16	127	77	16
72. 邻硝基苯胺	11.43	10	138	92	12	138	65	22
73. 二苯醚	11.43	10	170	142	10	141	115	14
74. 1,4-奈醌	11.57	10	158	130	8	158	102	14
75. 1,2-二硝基苯	11.86	10	122	75	12	168	75	20
76. 1,3-二硝基苯	11.87	10	168	75	20	76	50	10
77. 邻苯二甲酸二苯酯	11.87	10	163	133	8	163	77	20
78. 1,6-二硝基甲苯	11.95	10	165	148	8	165	63	20
79. 1,4-二硝基苯	12.01	10	168	51	14	76	63	6
80. 萘烯	12.02	10	152	126	24	152	76	36
81. 3-硝基苯胺	12.25	10	92	65	8	138	65	20
82. 萍-d10	12.32	10	164	162	14	164	160	32
83. 萍	12.37	10	153	126	36	153	77	38
84. 2,4-二硝基酚	12.46	10	184	154	6	184	107	10
85. 4-硝基酚	12.65	10	139	109	6	139	81	14
86. 五氯苯	12.66	10	250	215	16	250	142	38
87. 二苯并呋喃	12.73	10	168	139	22	139	63	30
88. 2,4-二硝基甲苯	12.74	10	165	119	6	165	63	22
89. 1-萘胺	12.88	10	143	116	10	143	115	22
90. 2,3,5,6-四氯酚	12.91	10	232	168	12	234	133	26
91. 2,3,4,6-四氯酚	13	10	232	168	12	234	131	24
92. 2-萘胺	13.03	10	143	116	10	143	115	22
93. 邻苯二甲酸二乙酯	13.3	10	177	149	8	149	65	20
94. 十六烷	13.41	10	85	43	6	99	41	14
95. 苄	13.41	10	165	139	26	167	166	14
96. 虫线磷	13.45	10	143	79	10	107	52	20
97. 5-硝基邻甲苯胺	13.45	10	152	106	10	152	77	24
98. 4-硝基苯胺	13.46	10	138	108	8	138	80	18
99. 4-氯苯基苯醚	13.46	10	204	77	22	141	115	14
100. 4,6-二硝基-2-甲基酚	13.54	10	198	168	6	198	121	10
101. 二苯胺	13.7	10	169	66	22	169	77	30
102. 偶氮苯	13.76	10	182	105	6	182	77	12
103. 2,4,6-三溴酚	13.88	10	330	222	20	332	143	34
104. 治螟磷	14.1	10	202	146	10	322	146	24
105. 1,3,5-三硝基苯	14.23	10	213	167	8	213	74	38
106. 燕麦敌 1	14.31	10	86	43	6	234	150	16
107. 甲拌磷	14.32	10	75	47	8	121	47	26
108. 非那西丁	14.35	10	179	137	8	179	109	14
109. 4-溴苯基苯醚	14.41	10	248	141	14	141	115	12
110. 燕麦敌 2	14.48	10	234	150	16	86	43	6
111. 六氯苯	14.5	10	284	249	14	288	216	26
112. 乐果	14.6	10	93	63	8	125	47	14
113. 阿特拉津	14.82	10	200	122	8	215	200	8
114. 五氯酚	14.9	10	266	167	22	270	169	22
115. 4-氨基联苯	14.93	10	168	141	8	168	167	10

图1: (续)

峰	保留时间 <i>t<sub>r</sub></i> (min)	浓度 (ng/ mL)	母离子 m/z 1	产物 离子1	碰撞 能量1	母离子 m/z 2	产物 离子2	碰撞 能量2
116. 五氯硝基苯	14.93	10	295	265	8	237	143	20
117. 戊炔草胺	15.13	10	173	145	14	254	191	16
118. 菲-d10	15.24	10	188	160	20	184	154	32
119. 十八烷	15.27	10	85	43	6	99	41	14
120. 菲	15.29	10	178	152	18	178	151	32
121. 地乐酚	15.34	10	163	116	14	240	117	24
122. 乙拌磷	15.36	10	88	60	6	97	65	16
123. 葱	15.39	10	178	152	18	178	151	32
124. 咪唑	15.741	10	167	166	12	167	139	24
125. 甲基对硫磷	16.08	10	263	109	10	263	79	24
126. 邻苯二甲酸二正丁酯	16.58	10	149	121	12	149	65	20
127. 4-硝基喹啉-N-氧化物	16.83	10	190	160	8	101	75	10
128. 乙基对硫磷	16.89	10	109	81	10	291	81	26
129. 美沙毗林	17.1	10	97	53	16	190	97	14
130. 异艾氏剂	17.36	10	261	226	16	261	191	28
131. 灰恩	17.65	10	202	176	26	184	156	18
132. 芬蒽	17.65	10	202	152	30	200	174	22
133. 联苯胺	17.99	10	184	166	16	200	149	34
134. 芘	18.08	10	200	150	26	212	208	36
135. 对三联苯-d14	18.5	10	244	242	14	244	240	22
136. 阿螨特 1	18.55	10	319	185	6	175	107	14
137. 阿螨特 2	18.7	10	185	63	12	319	185	6
138. 二甲基对苯二胺	18.79	10	225	148	6	120	77	16
139. 丁酰肼	18.93	10	251	139	12	251	111	30
140. 伐灭磷	19.4	10	218	109	14	125	79	6
141. 3,3'-二甲基联苯胺	19.46	10	211	196	8	211	195	16
142. 开蓬	19.47	10	272	237	12	237	143	22
143. 邻苯二甲酸丁苄酯	19.56	10	206	149	8	149	121	10
144. 己二酸二(2-乙基己)酯	19.81	10	129	55	14	129	83	8
145. 2-乙酰氨基芴	19.93	10	223	181	10	181	152	34
146. 苯并[a]蒽	20.5	10	228	202	22	226	200	28
147. 屈-d12	20.51	10	240	238	14	240	236	30
148. 3,3'-二氯联苯胺	20.51	10	252	181	22	252	182	20
149. 4,4'-亚甲基双-2-氯苯胺	20.53	10	231	195	16	266	231	12
150. 屌	20.56	10	228	202	22	228	201	36
151. 邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	20.78	10	167	149	8	149	121	14
152. 6-甲基屈	21.46	10	242	226	28	239	213	26
153. 邻苯二甲酸二正辛酯	22.08	10	149	121	12	149	93	16
154. 苯并[b]荧蒽	22.68	10	252	226	22	250	224	24
155. 7,12-二甲基苯并[a]蒽	22.69	10	256	241	12	241	226	14
156. 苯并[k]荧蒽	22.74	10	252	226	22	250	224	24
157. 苯并[a]比	23.41	10	252	226	22	250	224	26
158. 氮代花	23.55	10	264	262	20	264	260	34
159. 3-甲基胆蒽	24.32	10	268	253	14	252	226	22
160. 二苯并(a,h)杂蒽	25.8	10	279	252	34	278	250	24
161. 二苯并(a,j)杂蒽	25.88	10	279	277	30	278	250	26
162. 苄并(1,2,3-cd)芘	26.32	10	138	125	12	276	250	30
163. 二苯并(a,h)蒽	26.43	10	139	126	8	139	113	14
164. 苯并[ghi]芘	27.05	10	138	125	12	138	124	28

图2：高惰性 RMX-5Sil MS 色谱柱可在极低浓度下，满足对各种复杂半挥发性化合物的严格数据要求



色谱柱 RMX-5Sil MS, 30 m × 0.25 mm 内径, 膜厚 0.25  $\mu$ m (货号 17323)  
 标准品/样品 SVOC MegaMix 150 试剂盒 (货号 31907)  
 修订版 SV 内标混合物 (货号 31886)  
 中性化合物替代物混合物 (4/89 SOW) (货号 31024)  
 酸性化合物替代物混合物 (4/89 SOW) (货号 31025)  
 稀释剂 二氯甲烷  
 浓度范围 1、10、100 ppb  
 进样条件  
 进样体积: 1  $\mu$ L, 分流进样 (分流比 10:1)  
 进样衬管: Topaz 精准型衬管, 内径 4.0 mm, 含玻璃棉 (货号 23267)  
 进样温度: 280 °C  
 分流排气流速: 12 mL/min  
 柱温程序 起始温度 40 °C, 保持 1 分钟  
 以 12 °C/min 升至 280 °C  
 以 3 °C/min 升至 310 °C, 保持 1 分钟  
 载气 氮气, 恒流模式  
 流速: 40 °C 时 1.2 mL/min  
 检测器参数  
 模式: SRM/MRM  
 离子源温度: 330 °C  
 传输线温度: 280 °C  
 分析器类型: 三重四极杆  
 电离方式: 电子轰击 (EI)  
 碰撞气体: 氩气 (Ar)  
 调谐类型: PFTBA  
 调谐发射电流: 70  $\mu$ A  
 仪器型号 Thermo Scientific TSQ 8000 三重四极杆气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS)

## 参考文献

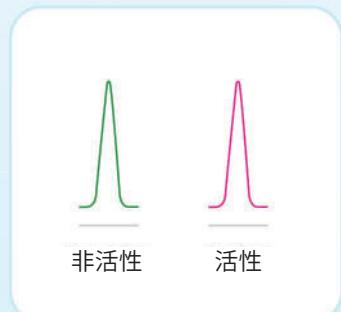
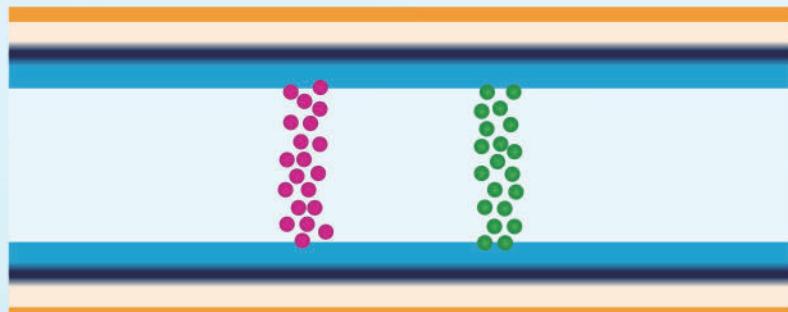
1. RMX GC柱宣传册，编号GNBR4923-UNV, Restek公司, 2026年。
2. E. Pack, C. English, R. Dhandapani, C. Myers, 《通过整合痕量半挥发性化合物方法提高实验室效率》，特色应用笔记，EVFA5253, Restek公司, 2025年。

# RMX 柱为何更加出色？

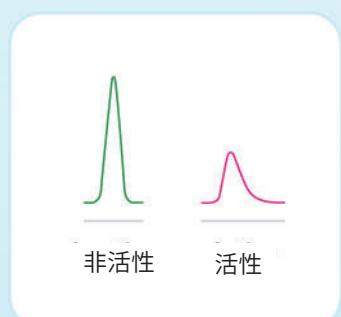
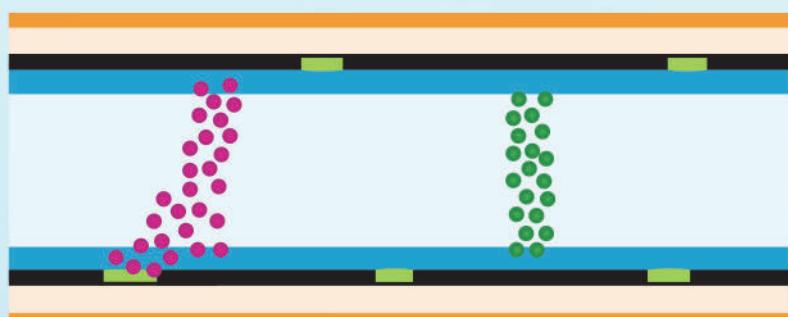
高效的 TriMax 钝化技术可保护分析物不与表面相互作用，改善各种化合物的峰形并提高灵敏度



TriMax 去活



非 TriMax 去活



- 非活性化合物：  
烷烃、烯烃、炔烃等
- 活性化合物：  
酸、碱、醇、酯、醚等
- 残留活性位点

了解更多有关  
RMX 柱的信息！



## 相关产品



### RMX-5Sil MS GC 毛细柱

货号	产品名	规格
17323	RMX-5Sil MS GC 毛细柱, 30 m, 0.25 mm ID, 0.25 $\mu$ m	1个



### Topaz 精准型衬管

货号	产品名	规格
23267	Topaz 精准型衬管, 4.0 mm x 6.3 x 78.5, 适用于 Thermo TRACE 1300/1310, 1600/1610 GCs w/SSL Inlets, 高级去活	5-pk.



### Restek 电子检漏仪

货号	产品名	规格
28500	Restek 电子检漏仪 (包括便携箱; 通用交流电源适配器 (美国、英国、欧洲、澳大利亚、日本); 6 英尺 USB 充电线)	1个

您需要协助选型或报价吗?  
欢迎联系我们!

