

## 目录 tables of contents

<b>1. GC毛细管柱</b> .....	<b>2</b>
1.1. 气相色谱毛细管柱的选择.....	2
1.1.1. 固定相.....	2
1 常规应用中柱的选择.....	2
2 新方法开发中柱的选择.....	2
3 分子间作用力.....	3
4 化合物的极性.....	4
5 相的键合或交联.....	4
1.1.2. 柱内径.....	5
1 柱效.....	5
2 样品容量.....	5
3 首选 30m, 0.25mm I.D.柱.....	5
4 0.53mm I.D. 大口径毛细管柱的特点.....	6
5 固定相极性不同, 柱外径略有差异.....	7
1.1.3. 膜厚.....	7
1 相比 ( $\beta$ ).....	8
1.1.4. 柱长.....	9
<b>2. 2</b> .....	<b>12</b>
2.1. 2.1.....	12
<b>3. 3</b> .....	<b>14</b>
3.1. 2.1.....	14

# 1. GC 毛细管柱

## 1.1. 气相色谱毛细管柱的选择

气相色谱分析工作者在开发一个具体的应用 (application) 方法时, 其中色谱分离 (chromatographic separation) 的优化从毛细管柱 (Capillary Column) 的选择开始, 而毛细管柱的选择大体上要满足两个要求: 1) 目标物能否充分保留; 2) 目标物的峰型能否尽量完美。

选择 GC 毛细管柱时, 需要按照以下优先顺序考虑四个基本因素: <sup>[1: 2: 3: 4: 5: 6: 7: 8]</sup>

- I 固定相 (stationary phase): 决定目标分析物的保留是否充分。
  - I 柱内径 (column I.D.): 对峰型和柱容量有较大影响。
  - I 膜厚 (film thickness): 膜厚对峰型的影响小于内径, 对柱流失影响较大。
  - I 柱长 (column length): 对相邻峰的分辨率 (resolution) 有一定影响。
- 请注意, 以下讨论的指导原则只适用一般情况, 对于特定的应用可能会有例外。

### 1.1.1. 固定相

对一般的样品, 由于毛细管色谱柱柱效很高, 备用三种极性的柱子就能解决大部分问题, 但对同分异构体要严格选用专用毛细管色谱柱。

针对特定应用, 选择 GC 毛细管柱主要是根据目标分析物的极性, 选择相对应的固定相(stationary phase)。

固定相以膜 (film) 的形式涂布 (coated) 在毛细管柱 (capillary column) 的内壁 (inner wall) 表面。目标有机化合物在进样口汽化后, 被载气带到毛细管柱中, 化合物自身化学和物理性能的差异以及其与固定相的交互作用的差异是混合物能分离的基本原因。当两种目标化合物各自的“相-物交互作用力” (the strength of the analyte-phase interactions) 差异较大时, 其中“相-物交互作用力”强的物质在色谱柱中滞留的时间较长, 保留时间(retention time)就较大, 因此可以用保留时间 ( $T_r$ ) 衡量固定相与该化合物的“相-物交互作用力”的强弱。

在复杂样品分析中 (比如植物提取液), 经常出现的一种情况是: 某两种化合物 (样品中的干扰物和某目标农药) 在一根毛细管柱上没有分开, 出一个峰、或峰叠加, 导致无法定性定量。这种情况称为“共流出 (co-elute)”。此时如果更换一根极性差异较大的毛细管柱, 这两种化合物就有可能得到分离。

用两根不同极性的毛细管柱分离同一份样品, 还可以对样品中的阳性物质进行双重确认, 既两根色谱柱都能得到目标物的阳性结果, 这样的做法也叫“双柱定性”。

因此气相色谱毛细管柱具有种类丰富的固定相, 为不同的目标分析物提供各种不同的“相-物交互作用力”。

#### 1 常规应用中柱的选择

起始于 1950's 的气相色谱法是一种已经非常成熟的分析技术 (analytical technique), 无论在书籍或期刊中都具有海量的应用实例, 其中介绍了针对具体化合物使用何种固定相的色谱柱具有最好的分离效果, 这些资料都可以供你作为特定应用时柱选择的参考资料。

另外色谱柱供应商一般也会提供基于固定相的柱分类表, 详列了各种柱对应的基本应用领域, 对于初学者可以参考这些表格选择适合自己的毛细管柱。

#### 2 新方法开发中柱的选择

对于有经验的色谱工作者, 经常要针对特殊化合物开发新方法, 此时一般很少或没有对应的参考资料。

遇到这种“方法开发 (method development)”的工作时，技术人员必须对目标化合物的化学性质 (极性) 有所了解，根据最基本的化学原则“相似相容 (likes dissolves like)”选择毛细管柱的固定相，即根据化合物的极性选择固定相的极性

表 1.1-1 毛细管柱固定相与分析物极性关系表

compound Polarity 化合物极性	目标化合物实例	Phase Polarity 固定相极性	
non-polar compounds 非极性化合物  含C和 H 原子， 仅有 C-C 键	烷烃 ( alkanes )	non-polar column  非极性柱	*-1, *-5ms, *-5,
polar compounds 极性化合物  以 C和 H原子为基础， 含有电负性强的原子 Br, Cl, F, N, O, P, S	醇类 ( alcohols ) ， 胺类 ( amines ) ， 羧酸 ( carboxylic acids ) ， 二元醇 ( diols ) ， 酯 ( esters ) ， 醚 ( ethers ) ， 酮 ( ketones ) ， 硫醇 ( thiols )	polar columns 极性柱	*-624, *-1701, *-35 , *-50, *-225,*WAX
Polarizable 可极化化合物  含C和 H 原子， 仅有 C=C 或 C≡C 键	烯烃 ( alkenes ) ， 炔烃 ( alkynes ) ， 芳香 ( aromatic ) ， 碳氢化合物 ( hydrocarbons )		SP-2330, SP-2331, SP-2380, SP-2560, SP-2340, TCEP

### 3 分子间作用力

分子间作用力指存在于分子与分子之间或高分子化合物分子内官能团之间的作用力，属于静电相互作用，简称分子间力。它主要包括范德华力：起初为了修正范德华方程而提出。普遍存在于固、液、气态任何微粒之间，与距离六次方成反比。

根据来源不同又可分为：

- I 色散力 (en:London dispersion force)：瞬时偶极之间的电性引力；
- I 取向力：固有偶极之间的电性引力；
- I 诱导力：诱导偶极与固有偶极之间的电性引力；
- I 氢键：X-H...Y 类型的作用力。
- I 此外，新型的分子间作用力也不断有报道，包括双氢键和金键等。

色散力 (dispersion force 也称“伦敦力 London dispersion force”) 是所有分子或原子间都存在的力。是分子的瞬时偶极间的作用力，即由于电子的运动，瞬间电子的位置对原子核是不对称的，也就是说正电荷重心和负电荷重心发生瞬时的不重合，从而产生瞬时偶极。色散力和相互作用分子的变形性有关，变形性越大 (一般分子量愈大，变形性愈大) 色散力越大。色散力和相互作用分子的电离势有关，分子的电离势越低 (分子内所含的电子数愈多)，色散力越大。

取向力 (orientation force) 取向力发生在极性分子与极性分子之间。由于极性分子的电性分布不均匀，一端带正电，一端带负电，形成偶极。因此，当两个极性分子相互接近时，由于它们偶极的同极相斥，异极相吸，两个分子必将发生相对转动。这种偶极子的互相转动，就使偶极子的相反的极相对，叫做“取向”。这时由于相反的极相距较近，同极相距较远，结果引力大于斥力，两个分子靠近，当接近到一定距离之后，斥力与引力达到相对平衡。这种由于极性分子的取向而产生的分子间的作用力，叫做取向力。取向力与分子

的偶极矩平方成正比，即分子的极性越大，取向力越大。取向力与绝对温度成反比，温度越高，取向力就越弱，相互作用随着  $1/r^6$  而变化。

诱导力 (induction force) 在极性分子和非极性分子之间以及极性分子和极性分子之间都存在诱导力。

由于极性分子偶极所产生的电场对非极性分子发生影响，使非极性分子电子云变形(即电子云被吸向极性分子偶极的正电的一极)，结果使非极性分子的电子云与原子核发生相对位移，本来非极性分子中的正、负电荷重心是重合的，相对位移后就不再重合，使非极性分子产生了偶极。这种电荷重心的相对位移叫做“变形”，因变形而产生的偶极，叫做诱导偶极，以区别于极性分子中原有的固有偶极。诱导偶极和固有偶极就相互吸引，这种由于诱导偶极而产生的作用力，叫做诱导力。

在极性分子和极性分子之间，除了取向力外，由于极性分子的相互影响，每个分子也会发生变形，产生诱导偶极。其结果使分子的偶极距增大，既具有取向力又具有诱导力。在阳离子和阴离子之间也会出现诱导力。

#### 4 化合物的极性

非极性化合物 (non-polar compounds) 通常仅含有 C 和 H 原子 (carbon and hydrogen atoms)，化学键仅有 C-C 单键 (carbon-carbon single bonds)。

此类化合物的典型代表为直链烷烃 (n-alkanes, Normal hydrocarbons)。

使用非极性毛细管柱 (Non-polar capillary columns) 分析此类化合物可以得到非常好的分离结果。

发生在非极性毛细管柱和非极性化合物之间的交互作用 (Interaction) 主要有色散力，随着分子体积的增大而增大。因此分子量较大的直链烷烃具有较高的沸点，同时也具有较大的保留时间。直链烷烃在色谱柱中的流出顺序 (elution order) 与该化合物的沸点 (boiling points) 成正比 (沸点越高，流出越晚)。

极性化合物 (polar compounds) 通常以 C 和 H 原子为基础，但是含有电负性强的原子 Br, Cl, F, N, O, P, S (bromine, chlorine, fluorine, nitrogen, oxygen, phosphorus, sulfur)。

此类化合物的典型代表为醇类 (alcohols)，胺类 (amines)，羧酸 (carboxylic acids)，二元醇 (diols)，酯 (esters)，醚 (ethers)，酮 (ketones)，硫醇 (thiols)。

使用中等极性或极性毛细管柱 (intermediate polar or polar capillary columns) 分析此类化合物可以得到非常好的分离结果。

发生在毛细管柱极性固定相和极性化合物之间的交互作用 (Interaction) 主要有偶极取向力 (dipole orientation force)， $\pi - \pi$  和/或酸-碱交互作用力 (acid-base interactions)。分离效果由各种交互作用力的总和决定。

可极化化合物 (Polarizable) 通常以 C 和 H 原子为基础，但是含有 C=C 或 C≡C 键 (double or triple carbon-carbon bonds)。

此类化合物的典型代表为烯烃 (alkenes)，炔烃 (alkynes)，芳香碳氢化合物 (aromatic hydrocarbons)，芳香的含义是有苯环 (benzene-ring) 的化合物。

通常使用高极性毛细管柱 (highly polar capillary columns) 分析此类化合物。

#### 5 相的键合或交联

非键合相 (non-bonded phase) 是指固定相仅简单涂布到柱内壁表面上。由于涂布层与柱内壁无固定作用力，在使用中具有较高的流失率，而且不能用溶剂灌注。

键合相 (Bonded phase) 是指固定相被固定或被化学法粘结 (immobilized /chemically bonded) 到柱内壁表面上。

一般来说首选键合相毛细管柱，因为其在使用中其有较少的流失 (bleed)，可以耐受更高的温度，必要时可以用溶剂冲洗 (rinsed with solvents) 积累在色谱柱中的非挥发性物质 (non-volatile materials) 沉淀。一般高极性毛细管柱无法提供键合固定相时，要尽量选择稳定的固定相。某些应用中只能使用非键合相毛细管柱，此时要特别注意柱箱温度不能超过柱的最高温度限制 (maximum temperature limit)。

### 1.1.2. 柱内径

目前商品化 GC 毛细管柱的内径 (internal diameters) 取值范围由两个互成反比关系的因素平衡决定：柱效和样品容量。理想的柱内径还要考虑具体分析的需要。

窄口径柱 (narrow bore columns)，比如 0.10 或 0.18mm I.D.。

大口径柱 (wide bore columns)，比如 0.53 mm I.D.。

0.53mm 具有近似填充柱的负荷量，总柱效则远远超过填充柱。达到同样的分离度时，0.53mm 大口径柱的分析时间显著快于填充柱。可方便的采用柱上进样或直接进样技术，适合于分析不太复杂的样品，是填充柱理想的替代柱。

0.32mm 柱效稍低于 0.25mm 常规柱，负荷量大于常规柱的 60%，用特制注射针可做柱上进样。

0.25mm 最常用的内径规格。有较高的柱效，负荷量较低，必须分流进样或无分流进样。用于复杂多组份样品分析。

0.20mm 柱效高，负荷量低，流失较小，适合与质谱等灵敏检测器联用。

## 1 柱效

柱效是指理论塔板数(number of theoretical plates)。

毛细管柱的效率 (efficiency) 以总塔板数 (plates , N) 或每米塔板数 (plates per meter , N/m) 衡量，塔板数与柱内径成反比。

如果样品中含有较多的目标分析物 (analytes)、或者分析物流出时间很靠近，为了使目标物间隔远些，就需要提高柱效，要选择更细的柱子。

需要注意，应用于快速气相色谱 (Fast GC) 的窄口径柱需要色谱仪配套特殊设备，比如增加压力调节器 (pressure regulator) 以获得更高的柱头压 (column head pressure)。

## 2 样品容量

样品容量 (sample capacity) 亦称“负荷量”是指可以施加到柱上的样品组分 (sample component) 的最大量，超过此量会导致希望中的尖锐目标峰 (desired sharp peak) 变成过载 (overload)。

样品容量随柱内径增加而增加，0.53 mm 内径的宽口径毛细管柱具有最大的样品容量。进样量超过毛细管柱的样品容量会导致斜峰(skewed peak)和降低分辨率 (decreased resolution)。因此如果待分析的样品 (samples to be analyzed) 内含高浓度的化合物，或浓度范围较大，就需要使用大口径柱。负荷量近似填充柱，总柱效远远超过填充柱，分析速度快

合适的内径不仅可以使样品中含量最少的成分也能得到足够的灵敏度，而且不会导致样品中的主成分过载。针对特定的应用，分析者必须决定由于使用较大口径毛细管柱导致的柱效下降是否可以接受。需要注意的是样品化合物的化学性质和固定相的极性都会影响样品容量。一般来说，非极性固定相对非极性分析物有更高的样品容量，极性固定相对极性分析物有更高的样品容量。

## 3 首选 30m, 0.25mm I.D.柱

以 30m 长的色谱柱为例，0.25mm I.D. 柱可以提供足够数量的塔板数，柱效可以满足大多数应用需要，而且提供了满意的样品容量。因为 0.25mm I.D. 柱在柱效和容量之间达成最有利的妥协，适用分析物范围最大，成本效益最好，所以 30m, 0.25mm 内径的 GC 毛细管柱是最通用的首选色谱柱。分析者可以在 0.25mm 内径柱的数据基础上，进一步选择内径不同的色谱柱来进行特定分析物的细致优化。

表 1.1-2 柱内径与柱效和分析物容量的关系

Internal Diameter 内径 I.D.(mm)	Efficiency: Plates/Meter 单位长度柱效 (N/m)	Efficiency: Total Plates 30m总柱效 (N)	Capacity Each Analyte 各分析物容量(ng)
0.53	1,300	39,000	1000-2000
0.32	2,300	69,000	400-500
0.25	2,925	87,750	50-100
0.20	3,650	109,500	<50
0.18	4,050	121,500	<50
0.10	7,300	219,000	<10
30m 长毛细管柱的理论值，计算条件： $k' = 6.00$ 和 85%涂布效率 ( coating efficiency ) ； 进样量以 $\mu\text{L}$ 为单位时， $\text{ng}/\mu\text{L}=\mu\text{g}/\text{mL}=\text{mg}/\text{L}=\text{ppm}$ 级。			

#### 4 0.53mm I.D. 大口径毛细管柱的特点

1983 年美国 HP 公司首先推出内径为 0.53mm 的大口径毛细柱，0.53mm 内径的设计，巧妙地兼顾了样品容量、柱效以及普通注射针柱上进样等优点，与填充柱相比，0.53mm I.D. 大口径柱有以下特点：

1. 和填充柱一样，用普通微升注射针，在任何型号的色谱仪上，都可以方便地改装成适合做大口径柱柱上进样或直接进样的仪器。
2. 具有优异的惰性，对于厚液膜（膜厚大于  $0.5\mu\text{m}$ ）柱来说，既无填充柱中担体引起的活性，也不存在管壁残留硅醇基，很有利于微量极性化合物的分析。
3. 具有较高的总柱效。当采用最佳流速时，一根 10 米 长的非极性柱的总柱效可达 2.2 万理论板。这个数字一般可以满足数个至十多个组份的分析，况且在大多常规分析中，并非都是很复杂样品。这时可加大载气流速适当牺牲一些柱效，也完全可达到或优于填充柱的分离度。且分析时间比填充柱短得多。
4. 具有近似填充柱的负荷量。液膜厚度为  $1.0\mu\text{m}$  的大口径柱的样品负荷量，接近配比为 5% 内径为 2.16mm 的填充柱。只要解决好进样口和检测器的死体积，0.53mm I.D. 大口径柱完全可以不采用分流进样方式。可以通过调节液膜厚度，来适应于轻组份（厚液膜）或重组份（薄液膜）的分析。
5. 大口径毛细管柱可以与高灵敏度微型热导池检测器实现最佳配合，使毛细柱的优点和热导检测器的优点综合在一起，具有高效快速、定量方便又准确、样品不破坏、对任何组份均有响应，组份讯息全、操作使用简单、安全并维修方便等特点。
6. 用大口径毛细管柱来替代填充色谱柱这将是发展必然趋势。

## 5 固定相极性不同，柱外径略有差异

## Fused Silica Tubing Inner/Outer Diameters

Tubing I.D.	Tubing I.D. Range	Tubing O.D. Range
0.10 mm ▲	0.094 – 0.106 mm	0.349 – 0.369 mm
0.10 mm ▼	0.094 – 0.106 mm	0.290 – 0.310 mm
0.18 mm ▲	0.174 – 0.186 mm	0.349 – 0.369 mm
0.18 mm ▼	0.174 – 0.186 mm	0.330 – 0.350 mm
0.20 mm ◆	0.194 – 0.206 mm	0.349 – 0.370 mm
0.25 mm ◆	0.244 – 0.256 mm	0.349 – 0.370 mm
0.32 mm ◆	0.314 – 0.326 mm	0.425 – 0.450 mm
0.53 mm ◆	0.526 – 0.546 mm	0.640 – 0.680 mm
0.75 mm ◆	0.737 – 0.758 mm	0.875 – 0.925 mm

- ▲ Analytical columns with non-polar or intermediate polarity stationary phases.
- ▼ Analytical columns with polar stationary phases. Guard columns regardless of deactivation.
- ◆ Analytical columns regardless of polarity. Guard columns regardless of deactivation.

## 1.1.3. 膜厚

降低膜厚的好处是可以得到更尖锐的峰型，降低柱流失从而降低检测器的噪音与基线水平高度，综合结果就是提高信噪比。另外膜厚较薄柱的极限温度上限可以提高。

降低膜厚的缺点是，分析物和柱中没有涂布到固定相的柱内表面的交互作用增强，样品容量也下降，样品分析物的浓度不能太高。

降低膜厚的另一个后果是分析物在更低的温度或更短的时间流出。

增加膜厚的效果与降低膜厚相反，具体优化方向要结合实际应用考虑。

特厚液膜柱对于挥发性有机化合物和气体具有较强的保留能力，可以减少对低温柱箱（subambient oven conditions）的需要。

表 1.1-3 膜厚（Film Thickness）分类

膜厚级别	数值范围	应用领域
薄液膜（thinner film）	0.1~0.20 $\mu$ m	高温下流失较小，低负荷量的痕量分析（trace analyses） 高沸点化合物（>300 $^{\circ}$ C），比如农药，PCBs，FAMES，增塑剂， 半挥发性化合物
标准液膜	0.25~0.33 $\mu$ m	一般标准毛细柱分析
厚液膜	0.5~1 $\mu$ m	负荷量较大，低沸点样品
特厚液膜（thick film）	1~5 $\mu$ m	取代填充柱，分析沸点 200 $^{\circ}$ C 以下复杂样品，比如低沸点挥发性有机化合物和气体。在高温下流失较大。

表 1.1-4 膜厚对色谱行为的影响（Effects of Film Thickness）

	薄液膜 0.10 to 0.25 $\mu$ m film	特厚液膜 1 to 5 $\mu$ m film

优点 Benefits	Sharper peak shape May increase resolution Decreased column bleed Increased signal-to-noise Increased max. temp.	Reduced interaction with tubing Increased analyte capacity
缺点 Drawbacks	Increased interaction with tubing Decreased analyte capacity	Increased peak width May decrease resolution Increased column bleed Decreased max. temp.
其它 Other	Decreased retention Decreased elution temp.	Increased retention May increase resolution Increased elution temperature
用户体验 Uses	High boiling point analytes Semivolatiles Trace analyses	Low boiling point analytes Volatiles, gases High analyte concentrations

### 1 相比 (β)

柱内径和固定相膜厚对色谱行为的影响是互相依存 (interdependent) 的关系。

相比 (Phase Ratio) (β, beta), 以一维角度对柱横截面中载气体积和固定相体积的比值做出了定义。

相比是毛细管柱内半径与 2 倍膜厚的比值。

$$\beta = \frac{\text{column radius } (\mu\text{m})}{2 \times \text{film thickness } (\mu\text{m})}$$

相比值实际上是从空间占用比值的角度衡量毛细管中固定相膜的厚度, 即膜是厚还是薄与柱内空间大小是相对的。与“薄液膜”、“厚液膜”这种较为模糊的术语相对, 相比值为毛细管柱选择中衡量膜厚的适宜度提供了一个独特的视角。

相比 β	柱的应用范围
<100	高度挥发的 (highly volatile), 低分子量的化合物 (low molecular weight)
100-400	通用分析, 适用化合物范围较广。
>400	高分子量化合物 (high molecular weight), 痕量分析 (trace analyses)

相比的另外一个用途是更换内径和膜厚不同的色谱柱时, 新色谱柱的相比值与原色谱柱接近时可以得到类似的分析结果。相比值接近的色谱柱在同样的分析条件 (same analytical conditions) 下分析同一批化合物时, 保留时间接近, 流出顺序也接近。

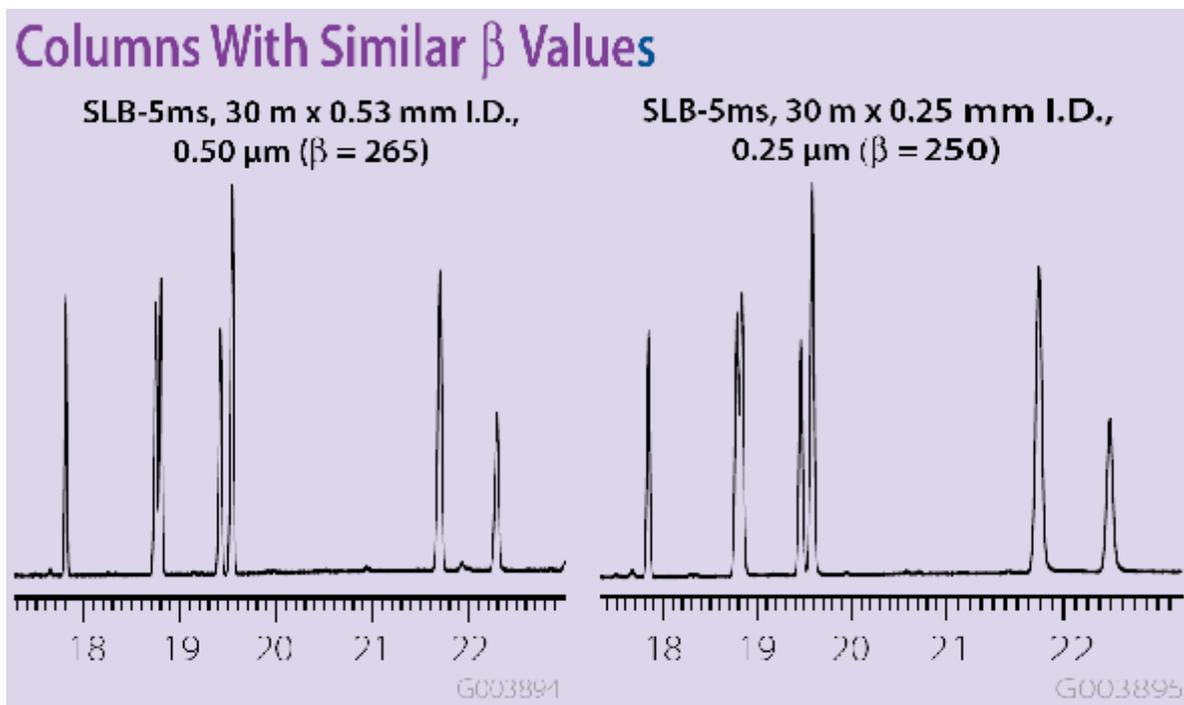
图 1.1-1 相比值接近的色谱柱 (Columns With Similar  $\beta$  Values)

表 1.1-5 常见规格色谱柱的相比值对照表

内径 diameter (mm)	膜厚 $\mu\text{m}$ 柱半径( $\mu\text{m}$ )	0.10	0.20	0.25	0.5	1.00	1.50	3.00	5.00
		0.10	50						
0.18	90								
0.20	100								
0.25	125			<b>250</b>					
0.32	160								
0.53	265				265				

#### 1.1.4. 柱长

选择色谱柱主要考虑因素的最后一项是柱长 (column length)。

一般来说, 更长的色谱柱可以提供更高的分离度 (resolution)。但是色谱柱的增长是受到限制的: 仪器柱头压有限、分析时间有限, 财务成本因素。

举例来说, 在恒温分析 (isothermal analysis) 条件下, 相对于 30m 柱, 60m 柱可以提高分离度 40%, 但是分析时间大大延长, 柱购买财务成本翻倍。

单纯从技术角度看, 色谱柱长度的选择一方面是分析速度与仪器柱头压 (head pressure) 的折衷 (compromise); 另一方面是分析速度与分离度 (resolution) 的折衷。下表以通用的 0.25 mm I.D. 柱举例分析。

表 1.1-6 柱长对柱头压和分离度的影响 (Effects of Column Length)

Column Length	Inlet Pressure	Peak 1 Retention	Peak 1/2 Resolution	Efficiency: Total Plates
(m)	(psi)	(min)	(R)	(N)

15	5.9	8.33	0.8	43,875
30	12.0	16.68	1.2	87,750
60	24.9	33.37	1.7	175,500
以上为理论值 (theoretical values), 条件为: 0.25 mm I.D. 柱, 85%涂布效率 (coating efficiency), 145 °C 恒温模式 (isothermal analyses), 载气为氦气 (helium), 线速度 21 cm/sec, $k'(\text{peak } 1) = 6.00$				

从上面的例子看出, 柱长增加时, 分离度与长度的增加并不是正比, 实际上分离度与长度的平方根成正比。因此, 如果一对难分离的化合物 (a critical pair), 其分离度小于 1 ( $\text{resolution} < 1$ ), 增加一倍的柱长并不能导致基线分离 ( $\text{resolution} > 1.5$ )。因此靠增加柱长使化合物分离是分析者的最后一招 (a last resort), 更有效的方法应该是缩小内径。

柱长级别	数值范围	应用领域
短柱	10~15 米	对分离度要求不高的应用, 筛查性实验, 或样品中各个组分的化学性质 (chemical nature) 差异较大 (dissimilar)。分离少于 10 个组份的样品
中长柱	20~30 米	分离 10~15 个组份的样品
长柱	50 米以上	分离 50 个组份以上的样品

从通用性角度看, 30m 柱可以在分离度 (resolution)、分析时间 (analysis time), 柱头压 (column head pressure) 之间提供最好的平衡。

60m 柱可以提供更高的分离度, 适用于成分较复杂或含挥发性化合物的样品。

100m 以上的柱适用于对分离度要求非常高的应用, 样品复杂并需要提供各个分析物的细节信息 (detailed analysis of very complex samples), 例如汽油的分析。为了维持柱流量, 这样的毛细管柱对仪器柱头压的要求也更高, 载气线速度 (linear velocity) 的选择范围也受限制。

### 1.1.5. 毛细管柱选择的其它思路

按样品极性选择:

- I 弱极性样品, 可选 OV-1, SE-30, OV-101, SE-52, SE-54。
- I 中极性样品, 可选 OV-17, OV-1701, XE-60, OV-225, OV-210。
- I 极性样品, 可选 PEG-20M, FFAP, OV-275, DEGS。

按酸碱性选择:

- I 碱性样品: 弱碱性可选 OV-1, SE-30 等;
- I 强碱性可选碱性 PEGB
- I 酸性样品: FFAP

按沸点选择:

- I 高沸点物质可选 OV-1, SE-30, SE-54 等交联柱, 薄液膜

表 1.1-7

图 1.1-2

参考资料（尾注，节的结尾）

[\[9\]](#) [\[10\]](#) [\[11\]](#) [\[12\]](#) [\[13\]](#) [\[14\]](#) [\[15\]](#) [\[16\]](#)

---

[1]Grant D. Capillary Gas Chromatography[M]. Wiley, 1996.

[2]Grob K. On-Column Injection in Capillary Gas Chromatography[M]. Hüthig, 1991.

[3]Grob K. Split and Splitless Injection in Capillary GC[M]. Hüthig, 1993.

[4]Mc M. Master and Christopher McMaster GC/MS: A Practical User's Guide[M]. Wiley-VCH, 1998.

[5]McFadden W. Techniques of Combined Gas Chromatography/Mass Spectrometry: Applications in Organic Analysis[M]. Robert E. Krieger Publishing Company, 1988.

[6]McNair H., Miller J. Basic Gas Chromatography[M]. Wiley, 1997.

[7]Pawliszyn J. Solid Phase Microextraction: Theory and Practice[M]. Wiley-VCH, 1997.

[8]Rood D. A Practical Guide to the Care Maintenance and Troubleshooting of Capillary Gas Chromatographic Systems[M]. Hüthig, 1991.

[\[9\]](#)

[\[10\]](#)

[\[11\]](#)

[\[12\]](#)

[\[13\]](#)

[\[14\]](#)

[\[15\]](#)

[\[16\]](#)