

气 相 色 譜

北京分析仪器厂

1972.7.

气相色谱法

这个讲义是给科技大学学生讲课的讲义基础上整理出来的。其中包括气相色谱的基本概念和实际应用。由于讲课和编写的时间有限，所以是个提纲式的讲义。全讲义分六章，前三章偏重于应用，后三章是有关的基本理论。而重点则是运用理论来解决实际问题。

第一章

§ 1 气相色谱的定义和简介

首先介绍一下气相色谱的流程，用图 1 示意如下：

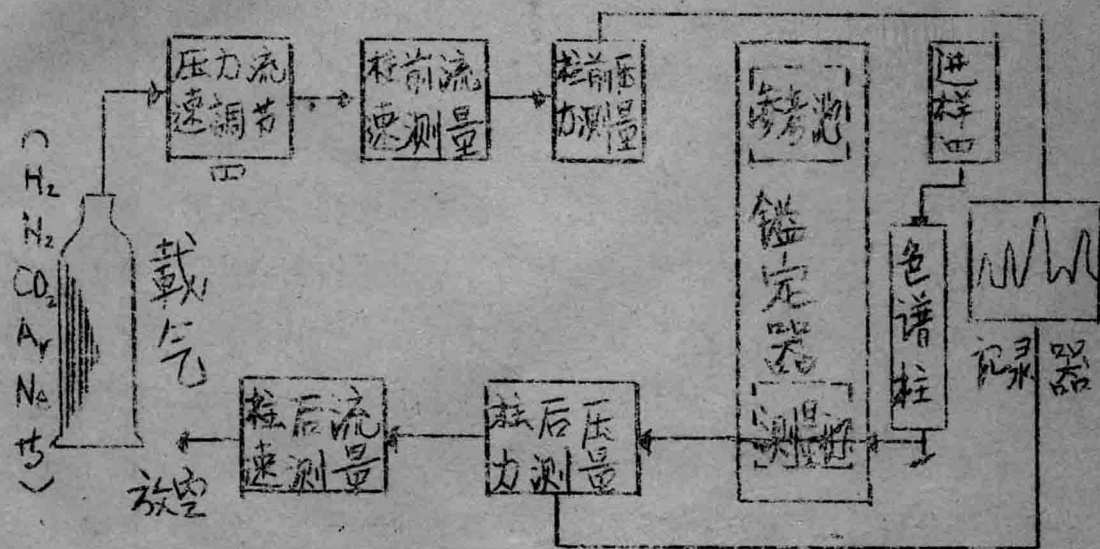


图 1 气相色谱流程示意图

载气一般选择为不与研究组分作用的气体， N_2 、 H_2 、 CO_2 、 Ar 、 Ne 等，载气有两个作用，一是借助贮气瓶内的高压，携带欲研究物质向前移动，二是它可以作为测量时的参考因素。控制一定的

载气流速和压力，并使它通过鉴定器的参考池，然后在进样器上加入被分析的混合物，这样组分物质就和载气一起进入色谱柱。由于色谱柱中预先装有吸附剂或涂有固定液的担体，所以当混合物通过它时，由于色谱柱对各组分有不同的吸附或吸收能力，因此各组分被载气带着向前移动的速度不同，经过一定柱长后便彼此分离，并先后从色谱柱后流出（吸附能力或溶解度大的组分出来的迟，小的出来的早）。在鉴定器的测量池中，使得物质组分浓度的变化转变为电压、电流等其它易于测量的信号，通过放大系统，在记录器上描绘出该混合物的色谱曲线图。从测量池出来的气体，在测定流速、压力之后让其放空。由气相色谱法的流程可以看出，色谱柱和鉴定器是它的两个心脏部件。

气相色谱是色谱法中的一种。色谱法的定义描述为：它是利用被研究的物质组分在两相中分配系数有微小的差别，当两相作相对对流运动时，使得要研究的物质在两相之间进行反复多次的分配（可达2000~100万次），这样就使得原来那种微小的性质差别，产生了很大的效果，从而使各组分分离，以达到分离、分析及测定一些物理化学常数的目的。

色谱法中有两相：流动相和固定相，其中流动相是气相时，即为“气相色谱”。不要把气相色谱理解为分析气体的色谱法而称为“气相色谱”实际上，气相色谱不仅能分析气体物质，也能分析液体、固体物质，只是在色谱操作中，流动相是气相罢了。

色谱法是1906年由俄国植物学家M. C. Явеп首先提出的，最初用来分离了用一般化学方法很难分离的叶绿素的各组分。1936年M. H. Pothurbelur就应用了迎头法气固吸附色谱来分析丙烷、戊烷、己烷及丙烷、己烷、空气的混合物。1942年On. mW也采用了迎头法气固吸附色谱，并用不同的柱温来分析水煤气合成产品中丙烷、丁烷、戊烷、己烷、庚烷、辛烷等含量。到了1949年H.M. Tyndall就提出用冲洗法进行气相滴定吸附色谱分析空气中微量

烃类气体。

提出了用冲洗法气相吸附色谱分析稀有气体。

此后气相吸附色谱的发展极为迅速。而主要集中在冲洗法。1951年 Edremey 采用了热导池作鉴定器分析了许多气体组成，并研究了某些操作变数对分离的影响。特别应当提出的是在1952年 MartihAJP 和 James A.T. 提出的气液色谱法得到了迅速发展，气液色谱法用高沸点液体，承担在惰性担体上作为固定相，以代替吸附色谱中的吸附剂作为固定相，并且用吸收原理代替吸附原理，这样就大大的扩大了气相色谱法的应用范围，弥补了吸附剂数目不多的缺陷。到了1958年 G I a y M . J . E . 又提出了分离效能极高的毛细管色谱柱。后来 M C W i l l j a m l G 提出了氢火焰离子化鉴定器，Z O V e l o o k t E 提出了氦离子化鉴定器。从而大大的提高了气相色谱法的灵敏度。气相色谱法最迅速的发展主要是在最近。也可从最近十一年来所发表的有关气相色谱的文献篇数看出：

年 代：	1952年前	1952	1953	1954	1955	1956	1957
论文篇数：	25	10	25	29	50	170	380
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	
	720	717	875	1000约	1500约	1500	

截至目前国外出版的气相色谱学专著达12册，发表的论文选集有13册。

随着气相色谱学仪器不断改进，大量的新方法的采用，以及色谱理论的逐步完善，气相色谱的应用范围越来越广。目前人们大量的应用气相色谱来分离分析复杂的混合物，利用它来测定有关的物理化学常数。

气相色谱法在分离分析方面的应用，可以通过它的几个特点来说明。总起来说气相色谱法的特点，是高选择性，高效能，高灵敏度，速度，设备和操作比较简单，价格也比较便宜（同光谱、质谱相比较），应用范围较广。

高选择性表现在它对各种同位素和异构体有较强的分离能力。例如：在氢气中，由H，D，T三个同位素构成的六种氢分子，以及由于正氢和仲氢所形成的十多种异构体；烷烃类物质中由于碳链形状不同，而形成的正构体和异构体；由于分子中各基团在空间的排列不同，而形成的异构体如顺式和反式的异构体、旋 构体等。这些同位素和异构体的分离都可以用气相色谱法来解决。

高效能是指气相色谱能使多组复杂混合物分离，气相色谱柱常用的有几千个塔片，最高的塔片数可在100万以上。到目前为至，用毛细管气相色谱可以解决含有150个组分的混合物的分离问题。另外在氟化学，元素有机化学，天然有机化合物，烃类燃烧产物（烃类燃烧产物中，除了大量的CO₂和H₂O之外，还有极微量的醇酸醛 等产物）的分析方面也常用气相色谱。

高灵敏度表现在气相色谱法可以分析出 $10^{-1} \sim 10^{-11}$ 克的物质或 $0.2 \sim 0.002$ 微升(μL)的气体，故为了分析含有0.1%物质只需采用 $0.1 \mu\text{g} \sim 1\text{mg}$ 物质或 $2 \mu\text{L} \sim 2\text{mL}$ 气体，也可以鉴定出超纯气体高分子单体和有机物中含有PPM或0.1PPb的杂质，可以利用气相色谱法分析空气中的微量毒物（ $1 \sim 100\text{PPM}$ ）。在农业上用来分析农药中有效药份，种子土壤中所有毒物，通过分析，预防农付产品的腐败等。在医药上可以解决药物，氨基酸和血液中的有百万分之几的养分等的分析问题。

气相色谱法的分析速度也是很快的，每次的分析时间一般只需两小时，最少的可用几秒钟，一秒钟可以分析12个组份。如果采用低温分鉴法，最少也得一天时间。

气相色谱法不仅用来分析气体，也可用来分析液体及固体中的气体。气相色谱适用的温度范围一般为 $-190^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ ，所以只要在这个温度范围内，有不小于 $2 \sim 10\text{mmHg}$ 柱蒸汽压力，并且在所分

析的温度下稳定性能好的液体或固体，均可用气相色谱法进行研究分析。

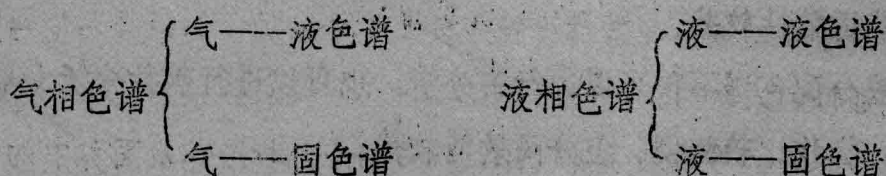
因为气相色谱是一个分配过程，因此我们可以用此种方法测定有关的一些热力学常数，如吸附容量，溶解度，吸附热，吸附熵，溶解热，溶解熵，吸附等温线等。与其它测定物化常度的方法相比较，气相色谱有两个特点：一是不需要预先分离杂质，直接就可以测定；二是由于它的分离效力，所以即使两种物质的某一物化性质相差极小，也可以顺利的测定。例如 C_2H_{12} 中一个 H 被 D 取代之，它在另一液中的溶解度就要产生微小的变化，这种变化，可以用气相色谱法测定。当我们把色谱柱作为一个反应容器时，又可以测定一些反应动力学常数。由于可利用色谱柱的分离效能，将反应产物及时除去，以便使逆反应不再进行。这样就有可能测定绝对反应速率。当我们选择适当的操作条件时，又可能抑制某一反应的付反应，而让这个化学反应朝着我们所需要的方向单向进行。

§ 2 色谱法的分类和特点

鉴于色谱法的命名比较混乱，所以我们有必要在这里澄清一下，从不同的角度出发，给以比较恰当的名称，并对各种方法作一评价。

1. 按流动相与固定相处的状态来分类

由于流动相只可能是气体和液体，所以有气相色谱和液相色谱之分，若在考虑到固定相也只能有两种（固体和液体），所以总的可分为四种：



气相色谱和液相色谱比较它的优点是由于物质，在气相运输速度快，又可以采用长柱子，所以分离效率高，分析速度快，而且容易自动化极

有利用单个组分的分离。缺点是气相色谱总需要让组分分子以固定相（液体或固体）上向流动的相（气相）移动，即由周围有分子吸引力的状态，转移周围几乎无分子的吸引力的状态，因此组分分子的大小，沸点的高低就会影响分配系数，因此气相色谱适用于单组分分析。而不适用于族分析（如烃类、醇类等同系物总含量分析），此外同液相色谱相比它所用设备是最简单的。

2 按所利用的物理化学原理分：

① 吸附色谱——包括气固吸附色谱和液固吸附色谱。其作用原理是固体表面对物质的物理吸附。

② 分配色谱——如液——液分配色谱。它是利用不同的组分在两个不相混合的液相中，有不同的分配系数而达到彼此分离的目的。

③ 吸收色谱——如气——液吸收色谱。它是借助于气体在一个高沸点的液体中有不同的溶解度而使它互相分离。

④ 按其它作用原理还可以分为离子交换色谱，络合色谱，沉淀色谱等许多种，不过这些多半应用在无机物分析分离上。

许多永久性气体的分析和分离，还只能定相用吸附色谱来解决。例如 H_2 、 O_2 、 N_2 、 CO 、 CH_4 等气体可以用分子筛来分离， H 、 Ne 、 Ar 等惰性气体可用活性碳或分子筛分离，截至目前分析烃类气体最好的方法还是用吸附色谱，对烷烃、稀烃、芳烃含量化合的被分离时，采用液体吸附色谱，对沸点高的物质，由于吸附能力太强，不宜采用气相色谱法。吸附色谱最主要的缺陷是吸附剂种类不多，而且不同批制各的吸附剂的性能适效性较差。

液——液分配色谱不仅可以进行族分析，也可以进行碳数分析（单组分分析），操作比较简便。但分离效能较差。

气——液色谱的优点，前面已经谈过了，分离效能高，选择性好，同时固定液种类又多，后果易于重复。不太满意的就是实验湿度不能过

高，当湿度太高时，会引起固液的挥发及性能的变化，从而造成实际工作中的困难。

3. 按固定相的形状分：

① 柱色谱——固定相装在一根管子中。如果固定相装满色谱柱，则为填充柱色谱，若固定相是附着在管的内表面，则称为空心柱色谱，毛细管色谱，是后者内的一种类型，它的固定液是直接涂在毛细管的内表面上的。

② 纸色谱——利用滤纸作为载体。

③ 薄层色谱——将吸附剂研成粉末，再压成薄膜，然后和纸色谱操作的一样。

柱色谱的最大好处是柱效能高。而后二者的设备和操作较简单。

4. 按色谱动力学过程分类：

① 冲洗法——这是最常用的一种。先把试样加入色谱柱中，然后再用一冲洗液或冲洗气去冲洗柱子，由于各组分在固定相上的吸附（或溶解）能力不同，于是被冲洗剂带出来的先后次序也不同。这种方法，分离效能高，同时得到多种高纯度（99.9%以上）的物性。

② 顶替法——当试样加入色谱柱后，再将一种吸附（或溶解）能力比所有组分都强的物质加入柱子中。这时依次顶替流出，而吸附能力最弱的组分将首先流出色谱柱。这样方法利用族分析，而可以得到比较大量的纯物质，但方法的局限性较大并且不能用于单组分析。

③ 迎头法——如果将要分析的气体混合物（如甲乙丙烷）连续通过色谱柱，在柱后则得到如图2所示的台阶形的浓度变化曲线。根据各台阶的高度进行组分定量。这种方法很简单，但在分析复杂组成时，不易获得准确的结果。

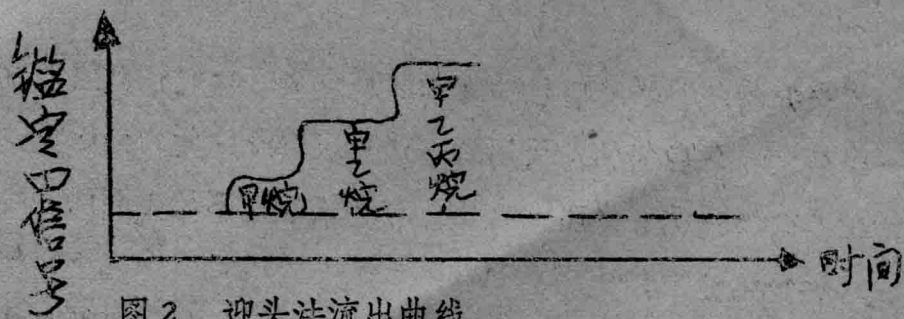


图2 迎头法流出曲线

§3 气相色谱法和其它一些方法的比较

1. 与经典的化学分析方法比较：

化学分析方法都是根据某物质具有某种独特的化学性质来进行分析的。而气相色谱法则不受这个限制，所以它能够使许多化学性质相同的复杂组成相互分离（烯烃体各种烃类异构体等）这是化学分析达不到，也不可能相比的。气相色谱法只能用于单组分分析。如果只需进行某一族的复合量测定时，则应采用化学方法。同其他物理方法一样，在建立某一气相色谱分析法时，需要用已知物作定量校正曲线工作量较大，只分析一个样品也要作标准曲线很费事。

2. 和光谱质谱方法比较

气相色谱法的最大优越性，在于它最善于分离分析多组份的复杂体系，这是和光谱质谱相比较时最突出的优越性。而且色谱仪的价格一般只有光（或质）谱仪的 $1/10 \sim 1/20$ 。一般来说色谱法的灵敏度比光谱要高。

当然在解决一系列分离分析问题，各有千秋，可以取长补短。例如光谱对于间位和对位的苯的二元取代物，容易分析。但色谱法很难分析。丙二烯和丙炔在质谱图上几乎完全重合，而在色谱图上却有相当距离。气相色谱法的应用很广，但并不是万能的，它的最大缺点是

不能分析未知物，要是没有已知纯物质的色谱图和它相对照，就无法判定某一个色谱峰代表何物。而用质谱法可求得未知物的分子量，用光谱测可推测其含有哪些官能团，这用气相色谱法是不易办到的。

3. 和低温分溜作比较：

色谱分离所得到的纯物质其纯度比低温分溜所得纯物质高得多。但是处理量小是色谱法的一个缺点。

4. 和经典的测定物理化学常数方法比较：

前面已经提到两种物质当它们的某一物化性质相差极微的时候用气相色谱法测定是最合适的。不用于分离杂质，即可达到测定的目的。也有可能测定绝对反应速率。但是气相色谱测定这些常数也有一些缺点，例如计算结果时，需要做一些简化的假设。如假定载气与固定相没有作用，担体没有吸附作用，担体没有吸附性能等。并且在作理论运算时，需要解决一系列复杂的到现在还未完全解决的偏微分方程。

第二章 定性定量方法

§ 1 单柱和双柱定性法

对于化学分析，常可根据对特 反应的颜色变化的来进行定性，但是对气相色谱只能得到一系列载气中物质浓度变化的流出峰。应如何来进行定性是气相色谱分析首先需要解决的问题。

1. 利用保留时间 t_r 来进行定性

设从进样开始到柱后出现某组分的浓度极大值所需的时间称为“保留时间” (t_r) (图3)。从大量实验可以证明，当色谱柱的长度、柱内径、柱温和载气流速等操作变较都保持不变时，任何一种物质都具有确定不变的保留时间。在一般情况下也不受混合物中其它组份的影响，因而可用它来定性。而更确切的说

应采用所谓的“显示保留时间”

(t_r') 其定义为：

$$t_r' = t_r - t^0_r \quad (2-1)$$

其中 t^0_r 称为“死时间”，它表示在样品中含有在色谱柱中既不被溶解也不被吸附的物质在色谱柱后出现浓度极大值的时间。

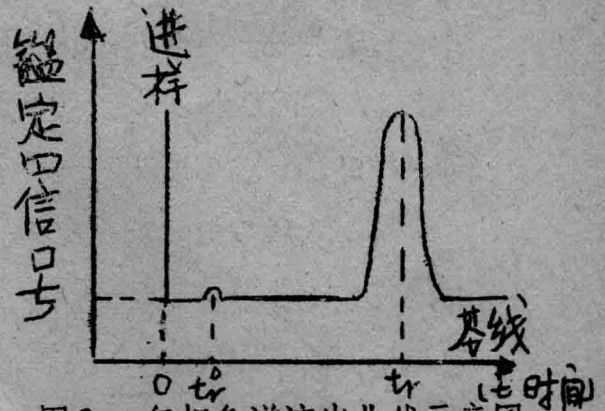


图3 气相色谱流出曲线示意图

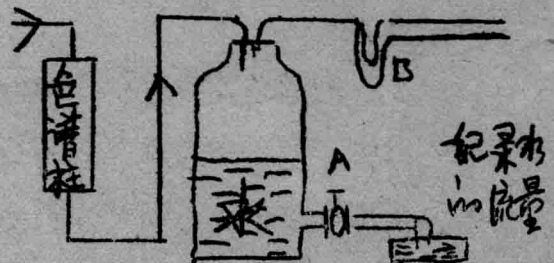
2. 利用保留体积 (V_R) 定性。

当载气流速度变化时，同一组份的“ t_r ”就要变小，故此时不能用它来定性。但是保留时间和载气流速的乘积仍保持为一常数。我们定义

$$V_R = F^0 C t_r \quad (2-2)$$

V_R 称为保留体积， $F^0 C$ 为色谱柱内载气平均流速 (m/分)，应当

~ 10 ~



注意 $F^{\circ}C$ 不同于柱后测定的流速 ($F^{\circ}C$)，后者一般是用如图 4 所示的方法测定的。即调节活塞 A，以保持压力计 (B) 恒定不变，测定单位时间流出的水量，即可得 $F^{\circ}C$ 。

设死体积 $V^{\circ}R = F^{\circ}C \cdot t^{\circ}R$ 则显示保留体积 ($V^{\circ}R$) 可用下式定义：

$$V^{\circ}R' = V^{\circ}R - V^{\circ}R^{\circ} \quad (2-3)$$

当色谱柱和柱温不变时， $V^{\circ}R'$ 不随载气流速的变化而变化，故可以用它来定性。

3. 利用单位柱体积保留值定性

当需要改变柱长，柱内径等时， $V^{\circ}R'$ 也并非定值，此时不能用它来定性。如将 $V^{\circ}R$ 被色谱柱的总体积除之，就得到单位柱体积的保留值 (\bar{v}°)，即

$$\bar{v}^{\circ} = \frac{V^{\circ}R'}{Lg} \quad (2-4)$$

式中 L 为柱长， g 为柱的横截面积。如采用同一色谱柱但柱长、柱内径变时， \bar{v}° 可保持不变，故可用 \bar{v}° 来定性。但当色谱柱填充的松紧程度不一样时， \bar{v}° 就会改变。这时需用下法来定性。

4. 利用单位体积固定相的保留值定性

$q_1 (cm^2)$ 设色谱柱中单位横截面积上气相所占的面积为 s ，即当柱截面积为 $g_1 (cm^2)$ 时，气相所占的截面积为 $g_1 s (cm^2)$ ，气相体积为 $L g_1 s$ ； $g_1 (1-K)$ 为固定相占据的截面积，占据的体积为 $L g_1 (1-K)$ ，单位体积固定相的保留值应用下式表示：

$$\bar{u} = \frac{V^{\circ}R'}{L V (1-S)} \quad (2-5)$$

\bar{u} 不受 $F^{\circ}C$ 、 L 、 g 填充的松紧程度的影响，因此可以用 \bar{u} 值来定性。

5. 利用单位重量固定液的保留值定性

对吸附色谱，采用 \bar{u} 已可最有效的用来定性，但是对气—液色谱担体上固定液含量不同时 \bar{u} 仍要发生变化，它是随着固定液含量减少的，

因而对气—液色谱法可采用单位固定液重量的保留体积 v_y 来进行定性，此时

$$v_y = \frac{v_R}{y} \quad (2-6)$$

式中 y 为柱中所含固定液的总重量。大量试验证明在所用的操作条件下 v_y 仅是温度的函数，而与柱长、柱内径、流速等无关。将 (2-1) (2-2)、(2-3) 代入 (2-6) 式得

$$v_y = \frac{v_R}{y} = \frac{t_r - t_{r0}}{y} \cdot F \cdot C \quad (2-7)$$

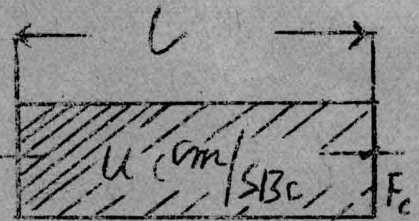
要求得 v 值，必先知道柱内平均流速 $F \cdot C$ ，为此要对实验测及的柱后流速 F 进行压力和温度的校正，以便得到准确的柱内流速。

因为柱内的平均压力为

$$\bar{P} = \frac{\int_0^L P dx}{L} \quad (2-8)$$

线速度 u 的大小和单位柱长的压力 $(\frac{dP}{dx})$ 成比例，与气体的粘度 (η) 成反比，令 K 为比例常数（一般可代表柱的渗透性），则有

$$u = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{dP}{dx} \quad (2-9)$$



$P_0 \rightarrow \bar{P} \text{ (m/s)}$
图5 \bar{P} 的推导

当色谱柱和流速测量是在同一温度下时，不同截面处的流速和压力之积应为一常数，即

$$F \cdot P_0 = F \cdot P \quad (2-10)$$

式中 P_0 为柱后压力， P 、 F 为任一处的压力和流速。将 $F =$ 代

入 (2-10) 式得

$$u = \frac{F P_0}{P f x} \quad (2-11)$$

联合(2-9)和(2-11)式得

$$dx = \frac{x}{q_{Fc} P_0} PdP \quad (2-12)$$

将(2-12)式代入(2-8)式,即可求得P。

$$P = \frac{\int_0^L \rho dx}{\int_0^L dx} = \frac{\int_{P_0}^{P_i} \rho dP}{\int_{P_0}^{P_i} \rho dP} = \frac{2 P_i^2 - P_0^2}{3 P_i^2 - P_0^2} = \frac{2}{3 P_0} \left\{ \frac{(P_i/P_0)^3 - 1}{(P_i/P_0)^2 - 1} \right\} \quad (2-13)$$

经压力、湿度校正后可得柱内平均载气流速为:

$$F^*c = Fc \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{T_{柱温}}{T_{室温}} \cdot \frac{P_0 - P_w}{P_0} \quad (2-14)$$

式中T为绝对温度, P_w 为室温下饱和水蒸汽分压力, P_0 为当时的大气压。将Fc代入(2-7)式得:

$$V_g = Fc \cdot \frac{T_{柱温}}{T_{室温}} \cdot \frac{P_0 - P_w}{P_0} \cdot \frac{3}{2} \left\{ \frac{(P_i/P_0)^3 - 1}{(P_i/P_0)^2 - 1} \right\} \quad (2-15)$$

在由上式计算 V_g 值时,必须要准确的测量载气流速等一系列数据,并且要严格控制所有的操作条件,否则将会使测得的 V_g 值不正确。除此之外要正确测定任何保留值,必须要使担体没有吸附性能。如果进样时间过长,进样量超过了柱子的负荷,色谱将会出现“平头”

现象。如果在分析液体或固体样品时汽化温度过低，所得色谱峰有“伸舌头”现象。如果吸附剂的吸附等温线不是线性的，也会出现伸舌头（当吸附等温线为凹型时）和“拖尾巴”（当曲线为凸型时）现象（图6示）。这些情况都可使得保留值数据不准确。以上所谈到的这些实验规律还要在第四章进一步从理论上证明。

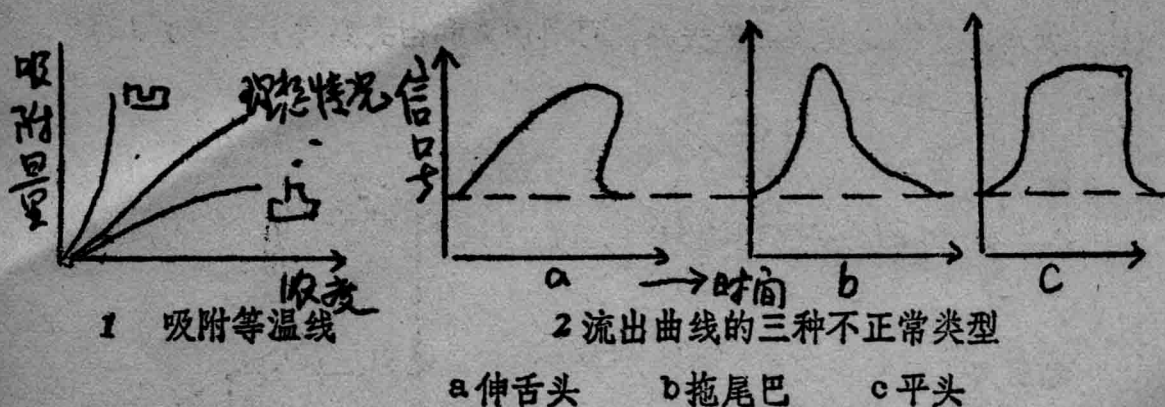


图6

6. 利用相对保留值定性

由上述可见，要准确的测定 V_g 的绝对值是比较困难的，因为此时要严格控制载气流速等一系列操作条件，并进行精确的测量，因此实际工作中常常采用相对 V_g 值定性，即求组分 i 的保留值与某一标准物质 S 的保留值之比，即

$$V_g = \frac{V_g(i)}{V_g(S)} = \frac{\bar{w}_i}{\bar{w}_S} = \frac{\bar{w}'_i}{\bar{w}'_S} = \frac{V_R(i)}{V_R(S)} = \frac{t_r(i)}{t_r(S)} \quad (2-16)$$

应当注意， V_g 不由保留时间 (t_r) 而应当由显示保留时间 (t) 得出，因为

$$V_g = \frac{t_r(i)}{t_r(S)} \quad (2-17)$$

7. 利用加入已知纯物使峰高增加的方法来定性。

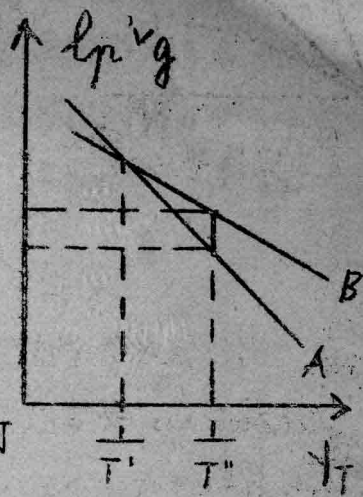
当分析时间较长，各峰出现的时间相差又很小时，采用上述方法在实际中还会遇到困难，所以可在样品中加入某种纯物质，某一个峰的峰高增加则表示原样品中含有所加入的这一种物质。

8. 利用柱温的变化来定性。

从实验证明，当柱温变 保留值随 温增加而降低，但它的对数和绝对温度的倒数成线性关系，可用图7和由关系式(2-17)来表示：

$$\ln v_g = \frac{\Delta H}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S}{R}$$

(2-17)



在第五章中，可以从热力学推知

(2-17) 中 率与溶解热(或吸附热) (ΔH) 有关，截距与溶解(或吸附) (ΔS) 有关。对于不同族的两个化合物，有时可能在某一温度时有相同的保留值，而在另一温度下则不同，即两条

$$\ln v_g - \frac{1}{T}$$

曲线有相交现象，选择适当的温度(如图7中的 T') 则可将二物质分开并且可以定性。

9. 双(多)柱定性法

有时候几种化合物在同一色谱柱上有相同的 v_g 值，这样就不能对它们进行定性分析。但是我们可以选用两根(或多根)由不同性能(具有不同极性或氢结合能力)的固定液作成的色谱柱进行分离，通过核对可以定性。设有一同系列在1号固定液上有一组 v_g 值

($V_g(i)$) 在 2 号固定液上有另一组 V_g 值 ($V_g^I(i)$) (i 表示该同系列中不同的同系物)。实验表明两者有如下的关系:

$$\ln V_g^I(i) = A_3 \ln V_g(i) + C_3 \quad (2-18)$$

图 8 表示五种同系物在用邻苯二甲酸二萘酯 (2 号柱) 和三醇 (1 号柱) 作为固定液的两根柱子上 V_g 值的关系曲线。由图可见在邻苯二甲酸二萘酯的固定液上, 如未知峰的 $\lg V_g$ 为 2.0 时可能是烷烃、叔醇、仲醇三种化合物, 单用一根柱子是无法定性的, 但如再测定在三醇上的保留值时, 则可根据它的 $\lg V_g^I$ 为 1.34, 2.14 还是 2.25 来确定其为何物。同样例如在三醇上有一未知峰保留值对数为 1.95 时, 则可根据在邻苯二甲酸二萘酯上 $\lg V_g^I$ 值为 1.5, 1.6 还是 2.1 来确定它是伯醇、仲醇还是酮。

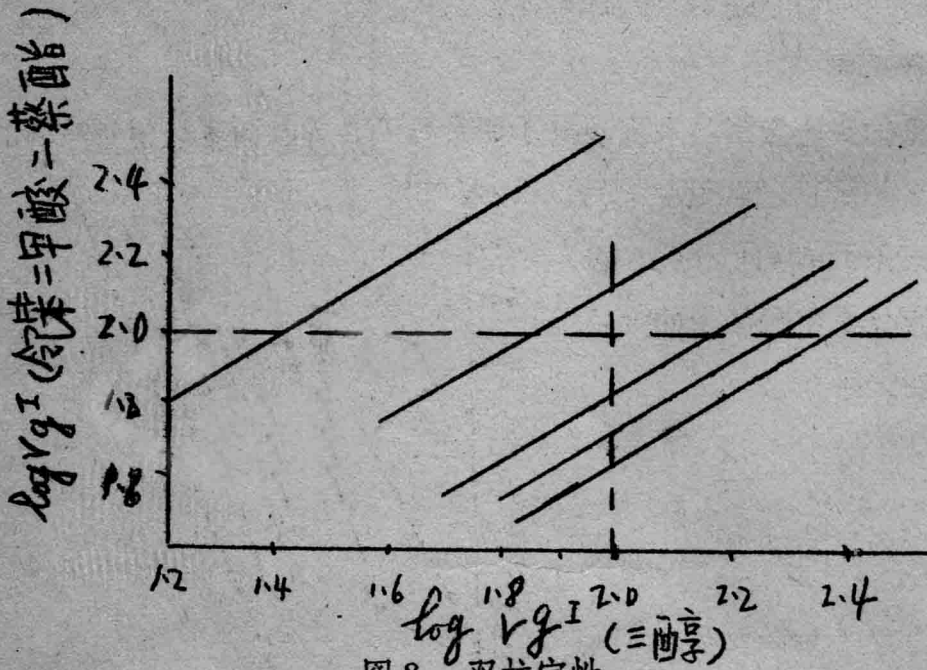


图 8 双柱定性

生物体内的脂 酸当分子中含有数目不等的饱和键时, 利用这种方法可以分析它们的双键数目 (图 9)