

**SAMYANG**

**TRILITE**  
삼양 트리라이트

Ion Exchange Resin



## 活性炭的吸附等温线试验



**三养社**离子树脂销售组

首尔市钟路区钟路33街31 电话)02-740-7732~7 传真)02-740-7790 <http://samyangtrilite.com>

Samyang Corporation Ion exchange resin

31, Jongno 33-gil, Jongno-gu, Seoul, Korea TEL) 82-2-740-7732~7 FAX) 82-2-740-7709 <http://samyangtrilite.com>

## 活性炭的吸附等温线试验

SY\_IER\_OPL\_1.6

### 1. 平衡吸附和吸附速率

在水处理中应用活性炭吸附法时的试验方法应优先遵循针对实际处理水的一般吸附试验方法的流程。在活性炭-待处理水系中实施吸附平衡和吸附速率的测定，选择适合的活性炭并设定最佳处理条件。然而，和生产工艺不同，水处理的处理水量非常大，溶质浓度极低，或者分析上的预处理法和确认都很困难，实施试验时必须注意这些事项。

活性炭的液相吸附用吸附平衡和吸附速率两个因素来说明。这两个因素都会受到吸附质的浓度、液体浓度、接触时间、pH 值、活性炭的粒径等所有因素的影响（参见表 1）。

表1. 影响活性炭-水溶液界面中吸附的因素

- 1) 活性炭对溶质的吸引力
- 2) 活性炭对水的吸引力（大多忽略）
- 3) 溶质在水中的溶解度
- 4) 化合
- 5) 电离
- 6) 水对界面中取向的影响
- 7) 各种溶质在界面中表现出来的竞争作用
- 8) 各种溶质间的相互作用
- 9) 共吸附
- 10) 系统内各种分子的大小
- 11) 活性炭的孔隙分布
- 12) 活性炭的比表面积

#### 1.1 平衡吸附测定

关于水处理以外的液相吸附，容易被吸附的溶质在溶解度不是很高的溶剂中被吸附时应用BET法。然而，在水处理中弗罗因德利希公式通常近似成立，因此经常使用等温吸附线。

**BET公式：**  $\{C/C_0\} \text{ over } \{q[1-(C/C_0)]\} = \{1\} \text{ over } \{q_m K\} + \{(K-1)\} \text{ over } \{q_m K\} \cdot \{C\} \text{ over } \{C_0\}$  (1)

C	: 平衡浓度	$K \approx \exp (E_1 - E_s) / RT$
C <sub>0</sub>	: 溶解度	E <sub>1</sub> : 第一层平衡吸附热
q	: 浓度C中的平衡吸附量	E <sub>s</sub> : 溶解度 R: 气体常数
m	: 完成单分子层所需的吸附量	T: 绝对温度

**弗罗因德利希公式：**  $q = \kappa C^{1/n}$  (2) 或  $\log q = \log \kappa + 1/n \log C$  (3)

Q	: 活性炭单位重量吸附量
C	: 活性炭处理后的平衡浓度（残存浓度）

$\kappa, 1/n$  : 根据吸附系统确定的常数  
 基于弗罗因德利希公式的等温吸附线通常大体呈直线状,但由于废水等中含有许多组分元素,因此如图1所示,可能会呈曲线或者存在弯曲。

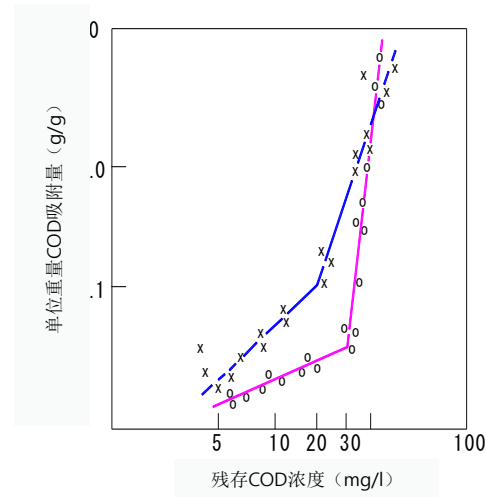


图1. COD等温吸附线

根据弗罗因德利希公式,  $\kappa$  的值越大, 活性炭的吸附能力越大,  $1/n$  的值在 0.1~0.5 之间时容易被吸附,  $1/n > 2$  时吸附量明显减少, 因此没有效果。并且, 弗罗因德利希公式可以估算粉末活性炭中的活性炭使用量和粒状活性炭中的处理倍数。另外, 活性炭的相对有效性 (Relative Efficiency, RE) 可以确定待处理水所需的标准炭和试验炭量。假设在含有一定浓度溶质的水溶液中以某种比例去除溶质所需的标准炭重量是  $M$ 、试验炭重量是  $M_1$ , 试验炭的 RE 可以用下面的公式 (4) 计算得出:

$$RE = (M_1/M) \times 100 \quad (4)$$

### 1.1.1 等温吸附线的绘制

#### 1) 器具类

恒温槽、搅拌机、带盖锥形烧瓶、离心机、粉碎机和筛分析仪

#### 2) 绘制顺序

##### A) 活性炭试样

粉末活性炭以其本来状态, 粒状 (粉碎状) 活性炭粉碎到可以通过 325 mesh ( $44\mu\text{m}$ ) 标准筛的程度后在  $105\sim 110^\circ\text{C}$  条件下干燥 3 小时后称重。这有助于在短时间内达到平衡。在一些情况下, 粒状活性炭最好调整到所定粒度后进行。干燥最好也提前测定含水量并使用无水换算法。

##### B) 试液

关于被处理液, 可以使用认为适合的标准液, 但最合理的办法是使用实际的待处理水。然而, 使用标准液时, 可以调整 pH 值、杂质和吸附质的浓度等, 并制备尽可能符合实际使用目的的溶液。

##### C) 活性炭添加量

在未干燥的状态下称取活性炭的重量至 1mg, 连续测定水分含量, 计算出未干燥重量和干燥重量换

算量。在水处理中应用时，活性炭添加量通常以ppm为单位。在那里，活性炭悬浮在水中，取一定量的悬浮液并添加。活性炭和吸附质的浓度比以0.05~5为宜。

D) 活性炭和待处理水的接触

对于活性炭和待处理水的接触，通过搅拌使活性炭悬浮在水中，直至达到吸附平衡。水处理工艺中，达到吸附平衡通常需要10~16小时。倘若短间接接触不可行，应尽量选择接近于实际使用条件的条件。

E) 过滤分离操作

关于过滤分离操作，得到没有漏掉活性炭微粒的透明液体，并立即分析滤液或分离液。分离最好使用离心分离法，但活性炭上浮时，最好使用微孔过滤器（Milli-pore filter）等。

F) 等温吸附线的绘制

对于至少一种活性炭，通过适当的炭量得到4个以上的点后绘制等温吸附线。

1.1.2 数值计算和吸附模式的判断

基于实施步骤A)~F)的试验结果，依据弗罗因德利希公式绘制等温吸附线。

此时，假设公式（2）和公式（3）的q为X/M、C为C0或Cf，

X: 被吸附的吸附质（g、mg、ppm）

M: 活性炭重量（g、mg、ppm）

C0: 未处理水中的吸附质浓度

Cr: 活性炭处理后的吸附质浓度

例如，基于从表2中得到的数据，将log Cf对应的log X/M画到双对数坐标纸上，即可得到近似于直线的等温吸附线。计算图2中利用粉末活性炭去除待处理水中90%吸附质所需的活性炭量M时，由于C0=0.955、Cr=0.0955，由和0.0955线交叉的等温吸附线可以求出X/M，得出活性炭A的值为2.23、活性炭B的值为1.48，由这些值可以计算出所需的活性炭量。

表2. 试验数值的记录和计算

试验 序号	活性炭	活性炭重量（mg）		吸附质浓度		X/M	
		未干燥重 量	干燥重量	Cf	X	未干燥重量	干燥重量
1	C0(blank)	-	-	0.958	-	-	-
2	C0(blank)	-	-	0.952	-	-	-
	平均	-		0.955	-	-	-
3	--+   B  （吸湿水 --+ 9.94%）	0.440	0.396	0.248	0.707	1608	1784
4		0.560	0.504	0.147	0.808	1443	1602
5		0.670	0.603	0.085	0.870	1300	1442
6		0.780	0.703	0.048	0.907	1163	1291
7	--+   A  （吸湿水 --+ 5.00%）	0.210	0.200	0.321	0.634	3018	3170
8		0.337	0.320	0.146	0.809	2401	2528
9		0.442	0.420	0.075	0.880	1992	2095
10		0.569	0.540	0.037	0.918	1614	1700

关于活性炭 A,

$$X/M = (C_0 - C_r)/M = (0.955 - 0.0955)/M = 2.23 \quad \therefore M = 0.385$$

用同样的方法计算活性炭B,

$$X/M = 0.8595/M = 1.48 \quad \therefore M = 0.580$$

现在将 $X/M = [g/g]$ 、 $C_f = [g/g]$ 、 $C_f[g/l]$ 的单位代入上面记录的值中, 可以得出吸附去除90%后0.955g/l的溶质含量变成0.0955g/l, 分别需要0.385g和0.580g的活性炭A和B。须使用活性炭A约1.5倍

的量, 活性炭B才能达到处理目标。

由公式(2) 求出k的1/n值后, 可以得出活性炭A中 $k=3.89$ 、 $1/n=0.246$ , 活性炭B中 $k=2.46$ 、 $1/n=0.212$ 的值。

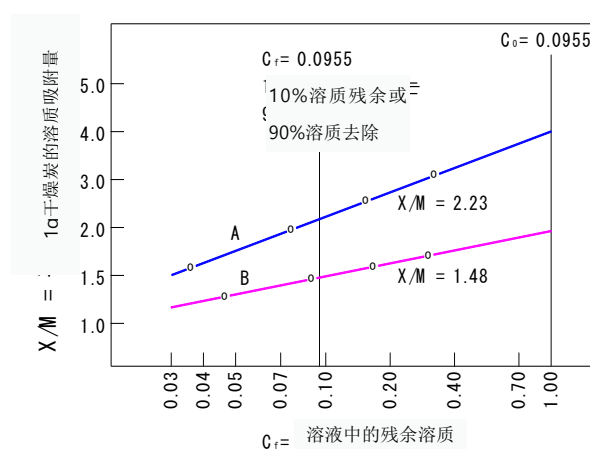


图2. 等温吸附线的实践

$1/n$ 表示等温吸附线的斜率,  $1/n > 2$ 时斜率变大, 即使添加活性炭量, 水中的残余溶质量也不减少。因此,  $1/n = 0.1 \sim 0.5$ 时有效, 可以用于粒状活性炭的通液处理法。此时有效吸附量最好设为 $(0.4 \sim 0.8) q$ 。即, 处理1000l溶液需要385g的粉末活性炭A, 如果忽略使用粒状活性炭的固定床装置中填料层的高度、填料塔的内径、流速等, 可以估计出需要481~962g的活性炭A。活性炭的相对有效性(RE)通常用以下方法计算: 利用从上述记录中得到的数值, 将标准炭重量 $M_1 = 0.385$ 、试验炭重量 $M = 0.582$ 代入公式(4)中求出结果:

$$RE = M_1/M \times 100 = 0.395/0.580 \times 100 \approx 66$$

因此, 使用超出活性炭B约一半量的活性炭A即可达到处理目标。实际上, 粒状活性炭的通水法中应该基于该值进行柱试验。

## 1.2. 吸附速率的测定

用活性炭吸附溶液中的吸附质时, 最好仅需少量活性炭就能快速去除。吸附的原理是吸附质从流体中移动到活性炭颗粒表面后通过扩散到达内表面并被吸附。即,

(1) 吸附质移动到活性炭表面的速度

(2) 向活性炭颗粒内孔隙扩散的速度

(3) 活性炭内表面的吸附反应速率都有关系，总体吸附速率由这些速率中速率最慢的过程决定。尤其是(3)内表面的吸附反应速率快，(1)和(2)不是比较的问题。由于粉末活性炭是细粉状的，往往由(1)决定吸附速率，所以应当注意确保活性炭和待处理水的接触良好、接触时间充足。另外，粒状活性炭还需要考虑待处理水向粒子内扩散的速率(2)。

## 2. 固定吸附塔的连续通液法

对于液相吸附，以等温吸附线决定、吸附速率测定等基础研究为主，通常用少量试液在比较短的时间内测定活性炭的性能，但为了明确更实用的性能，需要用装填有大量活性炭的塔实施通液试验，由其结果可以判断出以下几点：

- 1) 可以比较活性炭在动态流动条件下的能力，此外还可以确定活性炭的寿命。
- 2) 确定应对处理水并获得目标水质所需要的最少接触时间。
- 3) 可以确定运行所需的各种预处理的必要性和效果。
- 4) 可以决定采用升流式还是降流式通液方法。
- 5) 为了达到清洁目的，可以确定让反洗炭层膨胀所需的流速。

在柱(Column)内进行连续通液试验时，应当让活性炭粒子和待处理水充分接触。为防止沟流(Channeling)现象，最好采用加大柱半径、增大填料层的高度。通液装置用柱在一定速度下通液，根据需要对各个流出水进行采样，每当这时都实施处理水分析试验，长时间连续通液以获得足够的数据。由此获得放大(Scale-up)时基础设计数据的过程至关重要。