

滤料颗粒的表面性质对其截污能力的影响

邓慧萍 严煦世

(同济大学环境工程学院 上海, 200092)

摘要 本文从理论上分析了滤料的电位对滤层截污能力的影响, 比较了几种不同滤料在不同介质中的电位值以及电位与滤层对水中杂质颗粒粘附性能的关系; 比较了几种滤料对水中杂质颗粒的吸附能力, 分析了滤料的吸附容量与粘附性能的关系。

关键词 滤料 电位 粘附性能 吸附容量 截污能力

在过滤过程中, 去除悬浮物有几个过程。首先是杂质颗粒顺着水流流线移动并穿越流线而与滤料表面接触, 称为迁移过程。其次是颗粒与滤料接触相互粘附结合的粘附过程。当滤层孔隙中积污增加, 孔隙率减小, 水流剪力随之增加, 当剪力大于粘附力时, 已粘附的杂质颗粒会脱落下来, 随着水流向滤层深处移动, 这一过程在过滤时并不重要, 但在滤料反冲洗时起很大作用, 水流剪力使得粘附在滤料上的悬浮物颗粒清洗下来。滤池去除悬浮物的机理是复杂的, 主要取决于悬浮物和滤料的物理化学性质、滤速以及水的化学性质。颗粒的迁移与滤层中水流的运动状态有关, 取决于滤层的水力条件(滤料的结构特性和滤速)以及被去除颗粒的性质。粘附过程是物理化学过程, 取决于滤料和被去除颗粒的分子力和双电层的相互作用力。

根据现代过滤理论的概念, 悬浮颗粒所以能沉积在滤料层中, 最终是受表面力的影响, 这种表面力是在悬浮颗粒和滤料表面紧密接触时产生的, 所以改善滤料颗粒和杂质颗粒表面的性质, 可以创造出有利于杂质颗

粒粘附的较好条件。变性滤料就是基于这一原理来改善滤料表面性能, 增加滤料层的截污能力的。滤料的电位和吸附容量反映了滤料的表面性质, 与滤层的截污能力有一定的关系。本文将对这一问题进行探讨和研究。

1. 滤料颗粒的电位对滤层截污能力的影响

在过滤过程中, 水中杂质颗粒和滤料颗粒的粘附是范德华力作用的结果。同时, 被去除颗粒的沉积过程取决于它们的稳定性, 而颗粒的稳定性与 ζ 电位有关。

滤料的 ζ 电位对其截污能力的影响是在用聚电解质、铝盐或铁盐对滤料进行处理时观察到的。用铝盐或铁盐化合物对石英砂滤料进行处理时发现, 其负的 ζ 电位值减小, 甚至有可能改变滤料表面的带电性。在这种情况下, 增大了滤料层对天然水体中悬浮物的截留能力。在用阳离子聚合电解质对石英砂进行处理后, 改变了石英砂的 ζ 电位和截留悬浮物的能力。类似的情况在对硅藻土滤池进行试验时也观察到。

Кульский Л.А. Ярожевская Н.В对滤料的 ζ 电位和滤层截污能力的关系问题进行了深入的研究。分别对石英砂、多孔烧结料、陶粒滤料、用HCl处理过的陶粒滤料、用NaHCO₃和CaCl₂处理过的陶粒滤料进行了试验研究, 在不同的条件下分别测定了它们的 ζ 电位。实验结果见表1。

表1 不同滤料的 电位值

滤料	电位值(mv)	
	在0.001M KCl 溶液中	在模拟矿井水 成份的溶液中
石英砂	-25.408	-40.945
多孔烧结料	-20.733	-21.044
陶粒滤料	-25.513	-40.385
用HCl处理过的 陶粒滤料	-33.272	-42.492
用NaHCO ₃ 和 CaCl ₂ 处理过的 陶粒滤料	-21.160	-36.223

从表1可见, 这些滤料的特点都是都带负电荷, 其中多孔烧结料最接近于等电点状态, 石英砂和陶粒滤料的 电位基本相同, 这几种滤料的 电位负值大小依次为: 经HCl处理过的陶粒滤料>陶粒滤料(石英砂)>经NaHCO₃和CaCl₂处理过的陶粒滤料>多孔烧结料。另外, 在0.001m的KCl溶液中, 这些滤料的 电位比在人工配制的含盐量较高的矿井水中测得的 电位值弱。

明茨的过滤理论, 用过滤过程的基本参数方程表述了滤料颗粒所有性质对过滤效果的综合影响。

$$b = \beta \frac{1}{v^{0.7} d^{1.7}} \quad (1)$$

$$a = \alpha \frac{v}{d} \quad (2)$$

$$\frac{h/t}{i_0} = \gamma d^{0.6} \quad (3)$$

式中: b ——反映粘附强度的参数;

a ——反映脱落强度的参数;

h/t ——滤层中水头损失的增长速度;

v ——滤速;

d ——滤料粒径;

i_0 ——干净滤层的比阻;

α, β, γ ——考虑了滤料颗粒和被过滤悬浮液的物理和物理化学性质综合影响的系数。

但是这些方程不能单独评价滤料的各种性能对过滤效果的影响, 为了确定滤料性质对过滤参数的影响, 需建立下列关系式:

$$\beta = f_\beta(m_0, \alpha_*, k_\beta) \quad (4)$$

$$\alpha = f_\alpha(m_0, \alpha_*, k_\alpha) \quad (5)$$

$$\gamma = f_\gamma(m_0, \alpha_*, K_\gamma) \quad (6)$$

式中: m_0 ——干净滤料的孔隙率;

α_* ——滤料颗粒的形状系数;

$k_\alpha, k_\beta, k_\gamma$ ——不取决于滤料结构特性的比例系数

滤料的比表面积为

$$w_0 = \frac{6\alpha_*(1-m_0)}{d} \quad (7)$$

滤料颗粒孔隙间水流的平均速度为

$$\bar{v} = \frac{v}{m_0} \quad (8)$$

将式(7)、(8)分别代入式(1)~(3), 得

$$b = \beta \frac{1}{m_0^{0.7} [\alpha_*(1-m_0)]^{1.7}} \frac{d^{1.7}}{6^{1.7} v^{0.7}} \quad (9)$$

$$a = \alpha \frac{v}{m_0} \frac{6}{\alpha_*(1-m_0)} \quad (10)$$

$$\frac{h/t}{i_0} = \gamma \left[\frac{6\alpha_*(1-m_0)}{w_0} \right]^{0.6} \quad (11)$$

将式(9)~(11)中与滤料结构特性无关的参数分别用比例参数 $K_\beta, K_\alpha, K_\gamma$ 代替, 得到

$$K_\beta = \frac{\beta}{m_0^{0.7} [\alpha_*(1-m_0)]^{1.7}} \quad (12)$$

$$K_\alpha = \frac{\alpha m_0}{\alpha_*(1-m_0)} \quad (13)$$

$$K_\gamma = \gamma [\alpha_*(1-m_0)]^{0.6} \quad (14)$$

根据实验数据和上述公式, 可以计算出所研究滤料的 K_α, K_β 和 K_γ 值, 见表(2)

表2 不同滤料在不同介质中的 K_β 、 K_α 、 K_γ 值

滤料	矿 井 水			硫酸纤维素工业废水		
	K_β	$K_\alpha \times 10^3$	K_γ	K_β	K_α	K_γ
石英砂	2.87	4.57	4.40	0.99	0.92	43.85
多孔烧结料	2.58	2.72	8.98	1.14	1.32	39.37
陶粒滤料	2.58	4.05	5.78	1.03	1.16	42.10
用HCl处理过的陶粒	2.34	5.42	5.18	1.03	0.60	68.12
用NaHCO ₃ 和CaCl ₂ 处理过的陶粒	2.52	2.16	8.64			

从表2的数据中可以看到, K_β 只反映了被过滤悬浮液的性质, 而与滤料种类无关。参数 K_α 、 K_γ 则反映了滤料颗粒表面与杂质颗粒表面的粘附性能, 粘附作用越大, K_γ 值越大, K_α 值越小。

在不加药剂处理矿井水(去除带负电荷的杂质), 粘附活性的大小依次为: 石英砂 < 陶粒滤料 < 多孔烧结料。而在处理经硫酸铝混凝后的硫酸纤维素工业废水时, 情况正好相反, 这时去除的是带正电荷的颗粒, 因为硫酸铝在PH值为4.2~4.5时带正电荷。比较这几种滤料的 K_α 、 K_γ 和 ζ 电位的变化趋势, 可以看出, 随着 ζ 电位负值的增加, 对带负电荷杂质颗粒的粘附活性减小, 而对带正电荷的杂质颗粒的粘附活性增大。所以, ζ 电位是影响粘附性能的因素之一, 而粘附性能的大小是由系数 K_α 、 K_γ 确定的。

对滤料进行化学处理对参数 K_α 、 K_γ 、 α 、 γ 有影响, 而不改变 K_β 、 β 的值, 并且处理后滤料层的结构特性不改变。

滤料经HCl处理后, 提高了滤料的电位负值, 使它对带负电荷的杂质颗粒的粘附性能降低, 而经NaHCO₃和CaCl₂处理过的陶粒滤料, 电位的负值降低, 提高了它对带负电荷的杂质颗粒的粘附性能。

所以在过滤净水的过程中, 滤料颗粒的电位影响到滤层的截污能力, 这就为使用变性滤料提供了理论基础。可以根据所处理的水质特点, 对滤料进行变性处理, 使电位向所需要的方向变化, 以增加其截污能力和处理效率。研究表明, 使用变性滤料可以降低

药剂用量, 延长过滤周期, 减少冲洗水量。

2. 滤料的吸附特性和其粘附活性的关系

滤料的吸附容量是比较和评价滤料性能的又一指标。

在静态条件下陶粒滤料, 多孔烧结料和石英砂从水溶液中吸附高分子化合物: 阳离子的亚甲蓝和阴离子腐殖质的吸附等温线见图1、2。滤料粒径为1.00~1.25mm。

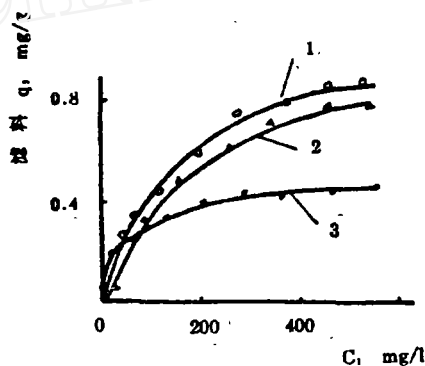


图1 石英砂(1)、陶粒(2)和多孔烧结料(3)对亚甲蓝的吸附等温线

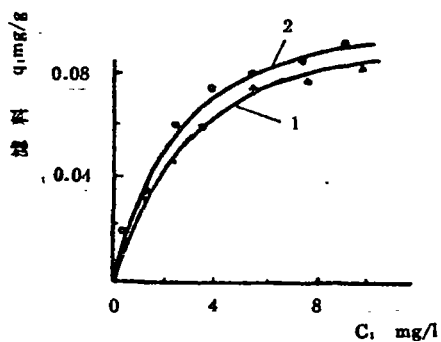


图2 陶粒滤料(1)和多孔烧结料(2)对腐殖质的吸附等温线

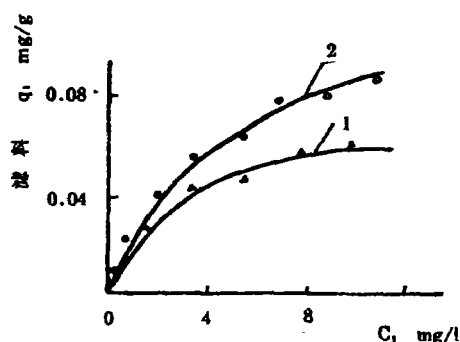


图3 陶粒(1)和多孔烧结料(2)对胡敏酸的吸附等温线

从图1中可以看出,三种滤料对亚甲蓝的吸附容量依次为:多孔烧结料<陶粒滤料<石英砂,陶粒滤料和石英砂的吸附容量相差很小。从这些滤料的 ζ 电位相比较(表1)可以看到,这些滤料对亚甲蓝的吸附性能与电位是一致的,电位负值较小的滤料对亚甲蓝的吸附容量也较小。

虽然陶粒滤料和多孔烧结料的表面都带有负电荷,但对腐殖质化合物也有一定的吸附活性。腐殖质化合物(腐殖酸、胡敏酸和它们的盐类)是天然地面水中常含有的化合物,并由此而产生色度,它们可以离解为有机阴离子和无机阳离子等,具有酸性。陶粒滤料和多孔烧结料对腐殖酸和胡敏酸的吸附性能可能与它们的表面不一致性有关,在其表面上存在着带正电荷的部分。而石英砂对腐殖质化合物没有吸附活性。

陶粒滤料和多孔烧结料对腐殖质化合

物的吸附等温线接近于反映单分子吸附过程的Langmair方程。这几种滤料对腐殖质化合物的吸附容量依次为:石英砂<陶粒滤料<多孔烧结料。多孔烧结料具有较低的电位负值,对阴离子型的物质——腐殖酸和胡敏酸具有较大的活性,并且电位对吸附胡敏酸时的影响较大,这大概与其离解程度较高有关。

比较上述粘附活性与吸附容量的实验结果,可以看到,滤料对水中带有同性电荷(负电荷)的杂质颗粒的粘附活性与其对阴离子型化合物(腐殖质)的吸附容量大小是一致的,滤料对经混凝脱稳后的异性电荷(正电荷)的杂质颗粒的吸附活性与之相反,而与对亚甲蓝(阳离子型化合物)的吸附容量相一致。

3. 结语

滤料颗粒的表面性质对滤层的截污能力有较大的影响,滤料颗粒的电位和吸附容量是评价滤料颗粒表面性质的指标。新出现的滤料(陶粒滤料、焦炭、各科矿渣)的表面性能参数优于传统的石英砂滤料,这是它们具有较高截污能力的原因之一。变性滤料可以根据需要来改善滤料颗粒的表面性能,包括电位和吸附容量,使滤料层的截污能力显著提高。

参考文献

1. Baumann ER., Oulman Ch. S Polyelectrolyte coatings for filter media Filter and sepal 1990 7 682-690

沉痛悼念《净水技术》编辑部名誉主编许景文先生

寿终德望犹在 人去学文永存

《净水技术》编辑部全体同仁挽

1996.6.5