

两性修饰膨润土对苯酚吸附的动力学研究

张斌¹, 孟昭福^{2*}, 李婷¹, 李彬², 杨勤¹, 齐彦杰¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以两性表面活性剂十八烷基二甲基甜菜碱(BS-18)为修饰剂,制得两性修饰膨润土,研究了不同修饰比例、温度及pH值等条件下,两性修饰土对苯酚的吸附反应和动力学特征,并对吸附机制进行探讨。结果表明,不同修饰比例的两性修饰土对苯酚的吸附速度参数均大于未修饰膨润土,且均随着修饰比例的增加而增大,表明修饰可以显著加快膨润土对苯酚的吸附速率;低温有利于吸附;吸附量在pH 4~8的范围内较稳定,pH大于8后,吸附量迅速降低。两性修饰土对苯酚的吸附动力学曲线符合伪二级动力学模型。

关键词:两性修饰;膨润土;苯酚;吸附;动力学特征

中图分类号: R124 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0200-05

随着人类社会的生产和生活需水量的迅速增长,水资源短缺的矛盾愈发突出,尤其是在干旱半干旱地区缺水现象较为严重^[1]。近年来环境污染事件在干旱半干旱地区时有发生,更加剧了该地区的环境恶化。因此,寻求治理干旱半干旱地区环境污染,尤其是在土壤污染和水污染方面的有效的方法对于保护干旱半干旱地区生态环境,保持可持续发展具有重要意义。

近年来,利用表面活性剂修饰粘土,使其成为有机粘土矿物,用于土壤污染和水体污染修复方面得到了较多的关注。粘土矿物中存在着大量可交换的亲水性无机阳离子,使其表面形成一层水膜,不能有效吸附疏水性有机污染物。而通过对粘土矿物进行有机修饰,可以增强其表面的疏水性,进而提高对有机污染物吸附固定能力。有研究表明,粘土矿物经阳离子表面活性剂(CTMAB、CPC等)有机修饰后,对非离子型有机污染物的吸附能力增强了几倍至几十倍,效果十分显著^[2-3]。除此之外,采用阳离子型、阴离子型及非离子型表面活性剂进行复配修饰膨润土,也可以提高其对有机污染物的吸附能力^[4-6]。

在实际环境中,重金属和有机物往往同时存在。上述修饰方法在提高疏水有机污染物吸附能力的同时,会导致其对重金属阳离子的吸附能力下降^[7]。因此,寻求能同时提高对重金属和有机污染物吸附能力的修饰方法,就显得尤为重要。Meng^[8-9]首次提出运用两性表面修饰剂对土壤进行修饰,利用两性修饰剂的双亲性质,以起到对土壤中有机物和重金属同时吸附的作用,结果表明两性修饰剂(甜菜碱

型两性表面活性剂)修饰后土壤对镉离子、苯酚的吸附能力均显著提高,可同时达到固定土壤中有有机物和重金属污染物的目的。迄今为止,用两性表面活性剂修饰粘土矿物作为吸附材料进行有机物吸附研究还鲜见报道。

苯酚由于来源多而成为环境中较为常见的有机污染物之一,其存在形态以分子态为主,虽然其水溶性较大,但在一定程度上具有疏水性有机污染物吸附的特征。为此,本研究以两性表面活性剂BS-18修饰膨润土,从动力学角度探讨其对苯酚的吸附特征,以期能为两性修饰膨润土在污染环境的治理中提供理论依据,为干旱半干旱地区环境污染的治理提供可行方法。

1 材料和方法

1.1 材料

供试土为钠基膨润土(购于信阳同创膨润土公司),基本理化分析表明,pH 10.3、粘粒($< 0.01\text{mm}$) $\geq 280\text{ nm}$ 、CEC 670 mmol/kg、有机质 4.98 g/kg、CaCO₃ 2.70 g/kg;供试修饰剂为两性表面修饰剂十八烷基二甲基甜菜碱(BS-18, AR, 天津兴光助剂厂)。

采用湿法制备两性修饰膨润土(两性修饰土)。按钠基膨润土CEC以一定比例称取BS-18,加去离子水(水土比=4:1),加热至60℃,搅拌使BS-18充分溶解,边搅拌边加入钠基膨润土,水浴保持温度反应3 h,静置使其充分沉降,弃去上清液后,用去离子水(水土比=1:1)洗涤残渣数遍,至淋出液中无泡沫出现,然后于90℃烘干后,研磨过100目筛,备用。

收稿日期:2011-12-19

基金项目:国家自然科学基金(40301021);西北农林科技大学青年学术骨干支持计划

作者简介:张斌(1986—),男,陕西商洛人,在读硕士,主要研究方向为环境生物修复。E-mail:zhangxiaoyuer1986@163.com。

*通讯作者:孟昭福,教授,研究方向为环境生物修复。E-mail:zfmeng1996@263.net。

其中 BS-18 用量以下列公式确定:

$$W = m \times \text{CEC} \times M \times 10^{-6} \times R$$

式中, W 为 BS-18 的质量(g); m 为钠基膨润土质量(g); CEC 为被修饰钠基膨润土的阳离子交换容量(mmol/kg); M 为修饰剂的摩尔质量, 354.1 g/mol ; R 为修饰比例。

有机污染物采用苯酚, AR 试剂。

1.2 BS-18 修饰膨润土表征

有机碳含量测定, 采用 LECO CS-344 碳硫测定仪测定, 680°C 催化燃烧氧化/非色散红外检测, 进样时间约 6~7 min, 测试温度为室温(约 25°C);

XRD 测定, 采用日本理学 D/max-3C 型 X-射线衍射仪连续记谱扫描, $\text{Cu K}\alpha$ 辐射, 管电压 40 kV , 管电流 300 mA , 2θ 扫描范围 $0.5^\circ \sim 30^\circ$, 扫描速度

$(2\theta)4^\circ/\text{min}$, DS/SS 可变狭缝, 样品测试温度为室温(约 25°C), 相对湿度为 50%~60%。

1.3 实验方法

以批处理方法进行。准确称取 0.5000 g 修饰膨润土于 50 mL 聚乙烯离心管中, 加入 20.00 mL 的苯酚溶液, 于不同温度下水浴恒温振荡 10、20、30、60、120、240、360 min 和 480 min, 离心分离, 上清液过 $0.45 \mu\text{m}$ 滤膜, 然后采用 4-氨基安替比林法测定苯酚浓度。重复 3 次。

2 结果分析

2.1 修饰土的表征

原土和不同修饰比例修饰土的有机碳含量(TOC)和层间距(d_{001})变化见表 1。

表 1 两性修饰膨润土的特征数据

Table 1 The characteristic data of amphoteric modified bentonites

修饰膨润土 Modified bentonite	CK	25% CEC	50% CEC	100% CEC	150% CEC
有机碳含量 Content of OC(%)	0.05	2.66	7.41	15.91	22.25
层间距 Interlayer spacing d_{001} (nm)	1.22	1.34	1.58	1.98	2.05

由表 1 知, 两性修饰土的 TOC 含量与修饰比例呈正相关, 即 BS-18 用量从 25% CEC 增大到 150% CEC, TOC 含量从 2.66% 增加到 22.25%, 相关系数 r 为 0.9931。两性修饰土中 TOC 含量增大, 说明两性表面活性剂 BS-18 已被吸附在膨润土中, 这与苏玉红等^[10]用长碳链表面活性剂混合改性能够增大有机膨润土中有机碳含量的研究结果相似, 即修饰后膨润土的有机碳含量增加。

XRD 结果反映经修饰后膨润土层间距的变化情况。钠基膨润土的层间距 d_{001} 通常在 $1.2 \sim 1.3 \text{ nm}$ ^[11]。本研究中原土的 d_{001} 值为 1.22 nm (见表 1), 证实了供试土为钠基膨润土。经 BS-18 修饰后膨润土的 d_{001} 值均大于原土, 并在修饰比例小于 100% CEC 时, d_{001} 值随着修饰比例的增加而不断增加, 这表明了 BS-18 以不同程度地通过插层方式进入到膨润土的 d_{001} 层面间, 导致膨润土层间膨胀。但在修饰比例为 150% CEC 时的 d_{001} 值较 100% CEC 时变化不大, 这说明超出最大阳离子交换容量的 BS-18 已经不是通过插层方式进入到膨润土的 d_{001} 层间, 而可能是通过疏水键形式吸附在外表面^[12], 该结果证实其修饰机制在 100% CEC 比例前后发生变化。这一点和前期采用 CTMAB 对壤土修饰的研究结果类似^[12]。

2.2 两性修饰土对苯酚的吸附动力学模型描述

在固-液吸附体系中, 固体吸附剂表面物理和

化学性质并不完全相同^[13], 用一级或二级吸附速率方程来描述的固-液吸附体系中吸附有时误差较大^[14], 因此常用伪一级或伪二级动力学模型分析。伪一级动力学方程 $(\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t)$, 式中 q_e 、 q_t 分别是平衡和任意时刻的吸附量(mg/g); k_1 是伪一级反应速率常数(min^{-1})和伪二级动力学方程 $(t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + (1/q_e)t)$, 式中 k_2 是伪二级反应速率常数($\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$); $h = k_2 q_e^2$ 为初始吸附速率($\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$)基本上包含了吸附的所有过程, 如外部液膜扩散、吸附和内部颗粒扩散等^[15]。通过用这两种动力学方程对实验数据进行模拟分析, 能够较为真实地揭示苯酚在两性修饰土上的吸附动力学机理。

用伪一级和伪二级动力学方程对数据拟合得出, 伪一级动力学模型的相关系数 r 均小于 0.7, 相关不显著。而伪二级动力学的 r 均在 0.999~1 范围内, 总体上具有较大相关系数和较小标准差, 证实吸附过程遵循伪二级动力学模型。

2.3 两性修饰土对苯酚的吸附动力学特征

在不同影响因素中, 苯酚的吸附量随时间变化的动力学曲线见图 1、图 2 和图 3。图 1~图 3 显示, 苯酚在不同条件下吸附量 q_e 随时间 t 的变化趋势十分类似, 均呈现起始阶段吸附速度相当快, 在 10 min 即达平衡吸附量的 80%~90%。当 $t > 60 \text{ min}$ 时, 各曲线已趋于平坦, 120 min 后吸附量稳定, 吸附

基本达到平衡。因此,可将该吸附过程分为刚开始的快反应阶段和随后的慢反应阶段。

2.3.1 修饰比例对苯酚吸附的影响 在 20℃下,离子强度为 0.1 mol/L、pH 为 6 的苯酚溶液中,不同修饰比例的两性修饰土对苯酚的吸附量 q_t 与反应时间 t 之间的关系见图 1。不同修饰比例下吸附动力学数据按照伪二级动力学速率方程式进行拟合,结果见表 2。

由表 2 看出,原土的平衡吸附量和动力学速率参数均远低于修饰土。以 25% CEC 为例,修饰后的吸附量 q_e 是原土的 3.7 倍,25% CEC 的初始速率常数 h 为 2.38 mg/(g·min),明显高于原土的 0.001 mg/(g·min)。修饰比例从 25% CEC 升高至 150% CEC 时,平衡吸附量 q_e 从 1.27 mg/g 增大到 4.39 mg/g;速率常数 k_2 从 1.45 g/(mg·min) 增长至 349.08 g/(mg·min);初始吸附速率 h 由 2.38 mg/(g·min) 增大到 6 738.85 mg/(g·min)。可见,修饰比例和 q_e 、 k_2 、 h 均呈正相关,相关系数 r 分别为 0.9701、0.8981 和 0.8343。

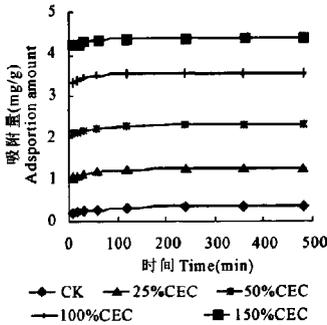


图 1 修饰比例不同时苯酚的吸附量随时间的变化趋势
Fig.1 Plot of adsorbed amount versus time for phenol at various modified proportion

表 2 不同修饰比例的两性修饰土对苯酚吸附的伪二级动力学参数

Table 2 The kinetic parameters of the effect of modified proportion on phenol adsorption of pseudo-second-order

处理 Treatment	伪二级动力学 Pseudo-second-order kinetics			
	q_e (mg/g)	k_2 [g/(mg·min)]	r	h [mg/(g·min)]
CK	0.35	0.009	0.9995	0.001
25% CEC	1.28	1.46	0.9999	2.38
50% CEC	2.33	8.70	1	47.11
100% CEC	3.55	103.80	1	1308.08
150% CEC	4.39	349.43	1	6738.85

注:温度: 290 K; pH: 6; 离子强度: 0.1 mol/L。

Note: Temperature: 290 K; pH: 6; Ionic strength: 0.1 mol/L.

2.3.2 温度对苯酚吸附的影响 不同温度下,在离子强度为 0.1 mol/L、pH 为 6 的苯酚溶液中,两性修

饰土对苯酚吸附的动力学曲线见图 2,由三个不同温度下所得的动力学拟合参数列于表 3。

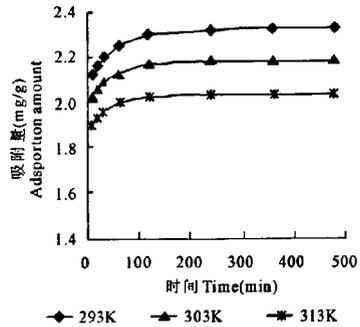


图 2 温度不同时苯酚的吸附量随时间的变化趋势
Fig.2 Plot of sorbed amount versus time for phenol at various temperature

从表 3 可看出,温度从 293 K 升高到 313 K, k_2 从 8.70 g/(mg·min) 增大到 9.60 g/(mg·min),初始吸附速率从 47.11 mg/(g·min) 减小到 39.91 mg/(g·min),同时平衡吸附量也从 2.33 mg/g 减小到 2.04 mg/g。这说明两性修饰土对苯酚的吸附反应,总体上呈温度负效应。这是因为吸附反应为放热过程^[16],随着温度的升高,对吸附不利,因此吸附量下降。

根据 Arrhenius 公式: $\ln k_2 = -Ea/RT + c$, 式中 k_2 为反应速率常数 [g/(mg·min)], Ea 为活化能 (kJ/mol), R 为理想气体常数 8.314 J/(mol·K), c 为常数,以 $\ln k_2$ 对 $1/T$ 作图,得线性方程 $y = -457.2x + 3.738$,由方程的斜率可得吸附过程的活化能为 3.85 kJ/mol。较小的活化能导致了吸附速率较大,达到平衡所需的时间较短。

表 3 不同温度下两性修饰土对苯酚吸附的伪二级动力学参数

Table 3 The effect of temperature on phenol adsorption pseudo-second-order kinetics parameters

温度 (K) Temperature	伪二级动力学 Pseudo-second-order kinetics			
	q_e (mg/g)	k_2 [g/(mg·min)]	r	h [mg/(g·min)]
293	2.33	8.70	1	47.11
303	2.19	9.57	1	45.78
313	2.04	9.60	0.9999	39.91

注:修饰比例: 50% CEC; pH: 6; 离子强度: 0.1 mol/L。

Note: Modification rate: 50% CEC; pH: 6; Ionic strength: 0.1 mol/L.

2.3.3 溶液起始 pH 对苯酚吸附的影响 在 20℃,苯酚背景液浓度为 0.1 mol/L 条件下,初始 pH 不同的苯酚溶液吸附动力学曲线见图 3,参数拟合见表 4。

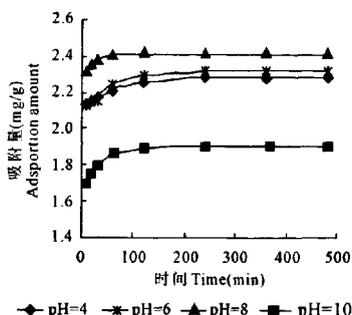


图3 pH不同时苯酚的吸附量随时间的变化趋势

Fig.3 Plot of adsorbed amount versus time for phenol at various pH

从图3可看出,两性修饰膨润土对苯酚吸附量在pH 4~8范围内略有增加,从2.28 mg/g上升到2.54 mg/g,差异不显著,但均高于pH为10时的吸附量。从表4看出,通过对比苯酚溶液起始pH和达吸附平衡后的pH,发现起始pH在4~8范围内,平衡后的pH基本都趋于中性,而起始pH为10的溶液,吸附平衡后与原始pH相差不远。吸附速率大小顺序为:pH8 > pH4 > pH6 > pH10。

表4 不同pH下两性修饰土对苯酚吸附的伪二级动力学参数

Table 4 The effect of temperature on phenol sorption pseudo-second-order kinetics parameters

初始 pH Initial pH	伪二级动力学 Pseudo-second-order kinetics				终止 pH Terminal pH
pH	q_e (mg/g)	k_2 [g/(mg·min)]	r	h [mg/(g·min)]	
4	2.28	23.65	1	123.22	7.3
6	2.32	8.70	1	47.11	7.5
8	2.54	45.81	1	269.29	7.5
10	1.90	4.83	0.999 9	17.49	9.5

注:修饰比例:50%CEC;温度:290 K;离子强度:0.1 mol/L。

Note: Modification rate: 50% CEC; Temperature: 290 K; Ionic strength: 0.1 mol/L.

3 讨论

钠基膨润土表面带净的负电荷,在水溶液中表面通常存在一层薄的水膜,从而不能有效地吸附疏水性有机污染物苯酚。两性表面修饰剂BS-18结构中具有一个C18的烷基疏水碳链,并同时具有分别带正、负电荷的亲水基团。用两性表面修饰剂BS-18对钠基膨润土进行修饰后,由于BS-18通过正电荷亲水基团与膨润土表面的负电荷点位结合,BS-18的疏水碳链在膨润土表面上形成有机相,通过疏水吸附作用将苯酚吸附在两性修饰土有机相上,从而增强了对苯酚的吸附能力,这种吸附方式称为分配作用。已有的研究结果表明^[7,17],有机修饰

剂CTMAB对于壤土土样表面的修饰是非均匀的修饰形式,修饰土表面同时存在着被表面修饰剂CTMAB覆盖的有机相区域和未被表面修饰剂覆盖的原土表面。同时,根据XRD和TOC的测定结果可看出BS-18修饰并不能完全占据膨润土的所有插层和表面。因此修饰膨润土对苯酚的吸附就同时存在着以下吸附作用:BS-18有机相中的疏水吸附(物理吸附)作用和未覆盖区域原土表面的化学吸附作用。由于物理吸附作用需要能量小,易于发生,因此具有较快的吸附反应速度,而化学吸附作用则由于需能大,发生较难,因此吸附反应的速度较慢,故此苯酚在两性修饰土表面的吸附呈现快速反应和慢速反应两阶段的形式。同时由于两性修饰土对于苯酚吸附以有机相疏水吸附作用为主,因此总的吸附以快速吸附反应为主。苯酚在各修饰土样中的吸附反应速率远远大于未修饰土样快速吸附反应速率的结果也有力地支持这一结论。TOC含量表明有机相的含量,修饰比例越大的BS-18修饰膨润土表面形成的有机相量越多,对苯酚吸附的强度和能力就越大。

污染物的吸附反应是一个动态反应过程,是吸附过程和解吸过程的统一。净吸附过程的发生表明吸附过程的反应速率高于解吸过程的反应速率,反之则相反。当吸附速率等于解吸速率时,就达到了吸附平衡。苯酚在两性修饰土中的吸附反应以放热过程为主,即吸附反应发生需要的能量低于解吸反应发生的能量。因此,随温度的升高,吸附反应速度的加快显然高于解吸反应速度的增加,这也就解释了随温度上升,苯酚在修饰土样中净吸附反应速度上升的合理性。同时有研究表明^[18],随着温度的升高,苯酚的热运动能力自然增强,导致有机膨润土上的有机基团与苯酚间的分子间作用力下降。

由于吸附在膨润土表面上水的解离作用或离子化作用使其表面能形成质子酸^[19],因此,原土或修饰后的膨润土在一定pH范围内有缓冲性,使溶液pH趋于中性。在中性条件下,苯酚主要以中性分子C₆H₅OH的形式存在,容易被两性修饰土的烷基有机相以疏水键方式吸附。但当溶液pH值超过苯酚的酸解离常数(pK_a)9.95时,苯酚主要以阴离子C₆H₅O⁻的形式存在,在水中的溶解度增加,但与有机相结合的能力减弱,同时负电荷的C₆H₅O⁻与两性膨润土层间的负电荷相斥,使两性修饰土对它的吸附能力减弱,吸附速度减慢。杨柳艳等^[19]的研究表明,中性条件下,有机蒙脱土对苯酚具有比较高的吸附能力。当pH值达到11时,除1.0CEC有机蒙脱

土外,其它改性量的有机蒙脱土对苯酚的吸附率已下降到 10% 以下。而当 pH 值达到 12 时,1.0CEC 有机蒙脱土对苯酚的吸附率也迅速降低,只有 10% 左右。因此,水溶液中 pH 值上升,有机蒙脱土对苯酚的吸附能力下降。

4 结 论

1) 两性修饰土对苯酚的吸附速度很快,在 120 min 内达到平衡。伪二级动力学模型能很好地拟合实验数据,拟合所得平衡吸附量与实验结果非常接近。较小的活化能使得反应速率较快,反应达到平衡的时间较短。

2) 吸附量随着修饰比例的增加而增大,吸附速率也加快;两性修饰土对苯酚的吸附是放热反应过程;在 pH4~8 的范围内,两性修饰土对苯酚的吸附能力较强,而后随着 pH 值继续增大,吸附量迅速降低。

3) 两性修饰土对苯酚的吸附以分配作用为主。

参 考 文 献:

- [1] 李佩成,冯国章.论干旱半干旱地区水资源可持续供给原则及节水型社会的建立[J].干旱地区农业研究,1997,15(2):1-7.
- [2] Redding A Z, Burns S E. Organoclay sorption of benzene as a function of total organic carbon content[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2002, 250(1):261-264.
- [3] Koh S M, Dixon J B. Preparation and application of organo-minerals as sorbents of phenol, benzene and toluene[J]. Applied Clay Science, 2001, 18(3-4):111-122.
- [4] 朱利中,陈宝梁,李铭霞,等.双阳离子有机膨润土吸附水中有机物的特征及机理研究[J].环境科学学报,1999,19(6):597-603.
- [5] 朱利中,苏玉红,沈学优,等.阴阳离子有机膨润土协同吸附作用及其机理研究[J].中国环境科学,2001,21(5):408-411.
- [6] 罗 瑜,朱利中.阴-阳离子有机膨润土吸附水中范的性能及机理研究[J].环境污染与防治,2005,27(4):251-254.
- [7] 孟昭福,张一平.有机修饰改性土对镉离子的吸附及温度效应[J].土壤学报,2005,42(2):238-246.
- [8] Meng Z F, Zhang Y P, Wang G D. Sorption of heavy metal and organic pollutants on modified soils[J]. Pedosphere, 2007, 17(2): 235-245.
- [9] Meng Z F, Zhang Y P, Zhang Z Q. Simultaneous adsorption of phenol and cadmium on amphoteric modified soil[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 159(2-3):492-498.
- [10] 苏玉红,朱利中,陈苏晓.有机膨润土多次吸附模拟废水中苯酚的性能及机理[J].环境科学,2001,22(5):55-59.
- [11] 栾文楼,李明路.膨润土的开发利用[M].北京:地质出版社,1998.
- [12] 孟昭福,杨亚提,龚 宁,等.CTMA对 壤土表面的修饰机制[J].土壤通报,2008,39(5):1003-1006.
- [13] Ho Y S, Mc K G. The sorption of lead ions on peat[J]. Water Research, 1998, 33(2):578-584.
- [14] Akau, Z. Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge: Equilibrium and kinetic modeling[J]. Biochemical Engineering Journal, 2001, 7(1):79-84.
- [15] Chang M Y, Juang R S. Adsorption of tannic acid, humic acid, and dyes from water using the composite of chitosan and activated clay[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2004, 278(1):18-25.
- [16] Smith J A, Jaffe P R, Chiou C T. Effect of ten quaternary ammonium cations on tetrachloromethane sorption to clay from water[J]. Environmental Science and Technology, 1990, 24(8):1167-1172.
- [17] 孟昭福,张一平,李荣华.有机修饰壤土对苯酚的吸附及其热力学特征[J].环境科学学报,2005,25(10):1365-1372.
- [18] 杨 维,杨军锋,王立东,等.阴/阳离子有机膨润土制备及其对苯酚吸附性能的实验研究[J].环境污染与防治,2007, 29(10):725-730.
- [19] 杨柳燕,肖 琳,周 治,等.pH 值对有机蒙脱土吸附苯酚的影响[J].环境化学,2004,23(2):183-187.

Adsorption kinetics of phenol on bentonite modified with BS - 18

ZHANG Bin¹, MENG Zhao-fu^{2*}, LI Ting¹, LI Bin², YANG Qin¹, QI Yan-jie¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The characteristics of adsorption kinetics of phenol on Octadecane - Betaine (BS - 18) modified bentonite along with the adsorption mechanism were investigated at different conditions of modification ratio, temperature and pH. The results showed that the adsorption velocity parameter of phenol on modified bentonite was greater than that on unmodified bentonite, and increased with the increase of modification ratio, indicating that the adsorption velocity of the bentonite to phenol could be accelerated significantly by BS - 18 modification. Phenol adsorption was faster at low temperature, and varied little in pH 4 ~ 8, while it declined rapidly beyond pH 8. Pseudo-second-order kinetic model was the best to describe phenol adsorption kinetic curve on BS - 18 modified bentonite.

Keywords: amphoteric modification; bentonite; phenol; adsorption; characteristics of kinetics