

活性污泥吸附结晶紫的研究

王宏杰¹, 董文艺^{2*}, 李伟光¹, 尹文超², 陶鑫²

(1. 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2. 哈尔滨工业大学深圳研究生院, 深圳 518055)

摘要:通过批量实验对比了活性污泥和粉末活性炭对结晶紫的吸附性能,进行了活性污泥吸附结晶紫的动力学研究,考察了搅拌速度和活性污泥/结晶紫比例对活性污泥吸附结晶紫的影响.结果表明,活性污泥对结晶紫的吸附等温方程同时符合 Langmuir 和 Freundlich 方程,而粉末活性炭对结晶紫的吸附更符合 Freundlich 方程;活性污泥对结晶紫具有很好地吸附性能,最大吸附量达到 $571.26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,远高于粉末活性炭的 $131.09 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$.应用假一级和假二级反应动力学模型对实验数据进行验证,表明活性污泥吸附结晶紫更符合假二级反应动力学模型.搅拌速度仅对转速低于 $500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时的污泥吸附速度有影响,吸附速度随着搅拌速度的增加而加快,但并不影响活性污泥对结晶紫的最终吸附平衡.当活性污泥/结晶紫比例较低时(10:1, 质量比),出水中结晶紫的浓度随着初始结晶紫浓度的增加而增加,而当初始比例为 20:1 和 50:1 时,初始结晶紫的浓度对出水几乎没有影响.

关键词:活性污泥;粉末活性炭;结晶紫;吸附

中图分类号:X705 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2008)10-2856-06

Adsorption of Crystal Violet on Activated Sludge

WANG Hong-jie¹, DONG Wen-yi², LI Wei-guang¹, YIN Wen-chao², TAO Xin²

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Crystal violet (CV) adsorption from aqueous solution on activated sludge (AS) and powdered activated carbon (PAC) was comparatively studied through batch jar tests. It was found that the adsorption isotherm of CV on AS satisfied both Langmuir and Freundlich models, while the adsorption of CV on PAC satisfied Freundlich model more than Langmuir model. The maximum adsorption capacity of CV on AS was $571.26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, much higher than that on PAC, which was only $131.09 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. The adsorption of CV on AS was analyzed using pseudo first-order and pseudo second-order adsorption kinetic models, and the pseudo second-order kinetic model could better describe the adsorption. The impacts of stir speed and the ratio of AS/CV on CV adsorption were also investigated. Stir speed showed no effect on equilibrium CV concentration. At the AS/CV ratio of 10:1, the equilibrium CV concentration increased with increasing initial CV concentration, while the initial CV concentration showed no influence on equilibrium CV concentration at the AS/CV ratio of 20:1 or 50:1.

Key words: activated sludge; adsorption; crystal violet; powdered activated carbon

印染废水中所含的染料大部分是复杂的芳香烃化合物,这些染料化学性质比较稳定,难以被生物降解^[1],因此传统的生物法对印染废水的处理效果不佳.目前处理印染废水的方法主要为化学法和物理法,而物理法中的吸附法^[2~4]尤其是活性炭法由于比表面积大、去除效果好而在污水处理领域中广泛应用,其对染料的吸附效果也非常好,但由于其价格、运行费用、再生费用较高,且再生过程中活性炭损失等问题,使其难以大规模广泛应用.因此,目前许多研究者正努力寻找便宜替代品,如残炭^[1]、浮石粉^[5]、粉煤灰^[6]、膨润土^[7]等,但这些物质存在吸附量小、产区的局限性等缺陷,使其得不到广泛应用.

活性污泥(activated sludge, AS)作为污水处理厂的副产物,具有量大、来源稳定、分布广泛、廉价等特点,有研究表明,活性污泥对重金属离子、有机物等具有良好的吸附性能^[8,9].有学者^[10]把活性污泥经

化学活化、高温分解等过程,使剩余污泥成为多孔、高比面积的颗粒物质,试验表明其对染料具有很好的吸附性能.其他类似的研究^[11,12]也表明,经过一定处理的活性污泥,对染料具有较好的吸附性能.但这些研究中,污泥需经干化、质子化、高温分解或气化等处理,需消耗大量的能量,如能把未经处理的活性污泥作为吸附剂,用于印染废水的吸附处理,将能节省大量的能量,而且剩余污泥将得到有效的利用,能起到“以废治废”的作用,同时,由于现在的污泥处理趋向于采用焚烧处理,不会存在二次污染的问题.

本试验主要对比了活性污泥和粉末活性炭(powdered activated carbon, PAC)对结晶紫(crystal

收稿日期:2007-10-16; 修订日期:2007-12-09

基金项目:广东省水利厅科技计划项目(粤水科[2006]122号-2006-12);“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB17B06)

作者简介:王宏杰(1983~),男,博士研究生,主要研究方向为污水资源化技术, E-mail: whj1533@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: dwy1967@yahoo.com.cn

violate, CV)的吸附性能,考察了活性污泥吸附结晶紫的动力学行为,并研究了搅拌速度和 AS/CV 的比例对活性污泥吸附结晶紫的影响.

1 材料与方法

1.1 材料

粉末活性炭(分析纯)购自科密欧公司,为木质粉末活性炭,过 200 目筛,比表面积为 $850\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$. 活性污泥取自深圳罗芳污水处理厂脱水后的污泥,曝气 24 h 后,进行吸附实验.污泥的主要参数为: $\text{SVI} = 60$, $\text{MLVSS/MLSS} = 0.74$.

结晶紫(分析纯)购自广州化学试剂厂,相对分子质量为 407.99,将其配成 $2\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的溶液,作为后续实验的母液.

1.2 取样分析

实验过程中所取得的混合液,先经离心机(德国, Sigma: 3K15)在 $8\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 5 min, 然后经 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 微孔滤膜(德国, Satororius)过滤,最后在结晶紫最大吸收波长 580 nm 下测定(美国热电: Thermo Helios γ).

1.3 实验过程

吸附实验在室温($25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$)条件下进行,加入一定量的活性污泥或者粉末活性炭和染料母液于六联搅拌机(武汉恒岭科技有限公司, TA6-4 程控混凝

实验搅拌机)的烧杯中,加水至 $1\,000\text{ mL}$, 在一定的搅拌速度下反应,隔一定的时间取样分析.活性污泥、粉末活性炭的吸附量的计算如下:

$$q_t = (c_0 - c_t)/\rho \tag{1}$$

式中, q_t 为 t 时刻吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); c_0 为初始结晶紫浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); c_t 为 t 时刻结晶紫浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); ρ 为活性污泥或粉末活性炭质量浓度($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).

2 结果与讨论

2.1 吸附时间的确定

为了确定活性污泥和粉末活性炭吸附结晶紫达到平衡的时间,分别取 250、3 000 mg 活性污泥或粉末活性炭与 12.5、50、100 mL 的结晶紫母液加入至烧杯中,加水稀释至 1 L,在搅拌强度为 $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 条件下进行吸附实验,分别于反应 1、3、5、10、20、30、60、120 min 时取样测定混合液中的结晶紫浓度,其实验结果如图 1 所示.可以看出,活性污泥和粉末活性炭吸附结晶紫的规律较为类似,在不同的吸附质/吸附剂比例下,达到吸附平衡的时间均较快,在 10 min 内其吸附量基本达到 90% 以上,30 min 基本上达到吸附平衡.从图 1 中还可以看出,当吸附剂/吸附质比值较大时,其达到吸附平衡的时间较短,反之则较长.在后续的实验中,吸附时间定为 30 min.

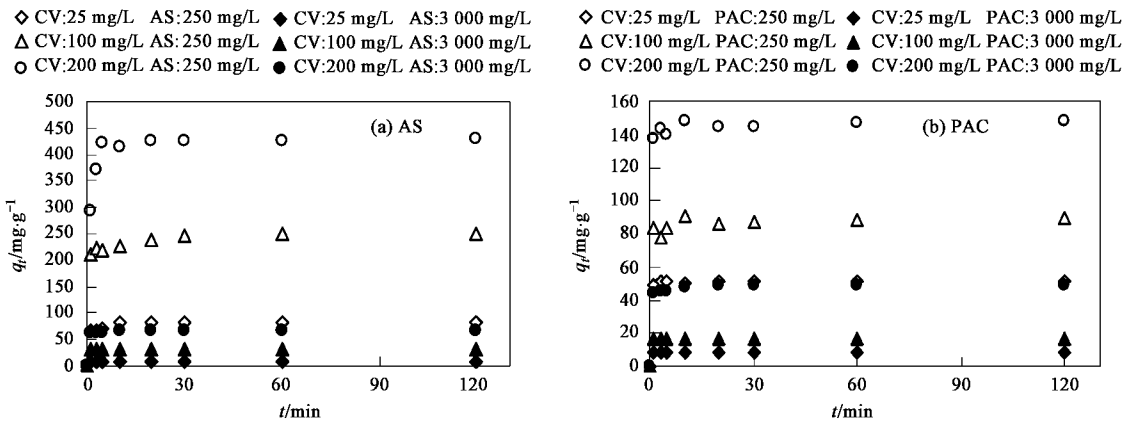


图 1 吸附平衡时间的确定
Fig.1 Confirmation of the adsorption equilibrium time

2.2 吸附等温线

许多数学模型用于描述吸附等温线,一些是理论推导公式,另一些是经验方程,应用较多的是 Langmuir 和 Freundlich 方程.

Langmuir 方程为理论推导公式,方程形式如式

(2):

$$q_e = \frac{q_m K_L c_e}{1 + K_L c_e} \tag{2}$$

式中, q_e 为平衡吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); q_m 为最大吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); K_L 为吸附常数($\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$); c_e 为平衡浓度

($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Freundlich 方程为经验公式, 方程形式如式(3):
$$q_e = K_F c_e^{1/n} \quad (3)$$

式中, K_F 、 n 为吸附常数, q_e 、 c_e 意义如上.

本实验在 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的结晶紫溶液中, 投加一定量的活性污泥或粉末活性炭($250\sim3\,000\text{ mg}$), 在 $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的搅拌速度下吸附 30 min 后取样测定, 实验结果如图 2, 其拟合结果见图 2 和表 1.

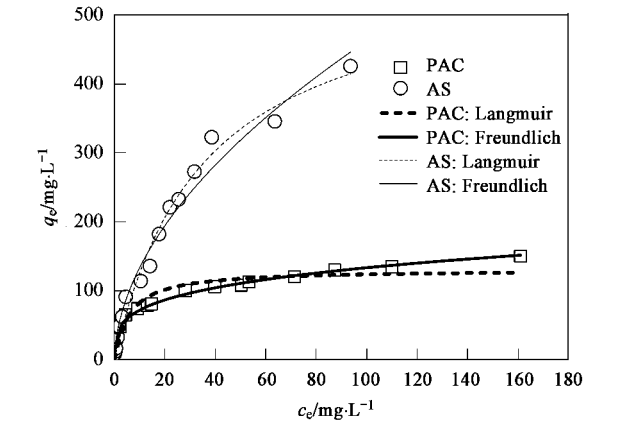


图 2 活性污泥和粉末活性炭的吸附等温线

Fig.2 Adsorption isotherms for AS and PAC

表 1 活性污泥和粉末活性炭吸附等温线常数

Table 1 Parameters of the Langmuir and Freundlich adsorption models

吸附剂	Langmuir			Freundlich		
	$K_L/\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$	$q_m/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	R^2	K_F	n	R^2
AS	0.03	571.26	0.982 0	38.68	1.85	0.980 6
PAC	0.17	131.09	0.924 8	38.81	3.70	0.992 9

从图 2 可以看出, 活性污泥对结晶紫的吸附性能要高于粉末活性炭, 表 1 的拟合结果也说明了这一问题, 活性污泥对结晶紫的理论最大吸附量为 $571.26\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 远高于粉末活性炭的 $131.09\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 与其他文献所得的结果相比(如表 2 所述), 也具有一定的优势. 粉末活性炭对结晶紫的吸附主要依靠其表面众多的微孔和巨大的比表面积, 但由于结晶紫分子量较大, 因此其无法附着于粉末活性炭表面许多孔径过小的微孔, 使粉末活性炭的吸附效果有所降低; 而活性污泥虽然比表面积较粉末活性炭小, 但由于细胞膜主要成分为多糖、蛋白质、脂类等, 它们以及细胞膜表面的胞外聚合物含有很多官能团, 如羧基、羟基、硫酸基、磷酸基、氨基等, 可以为吸附提供吸附位点^[13, 14], 因此其具有更大的吸附性能.

从表 1 中可以看出, 活性污泥对结晶紫的吸附对 2 种方程都吻合的较好($R^2 > 0.98$), 而对于粉末活性炭, 其更好地满足于 Freundlich 方程.

Langmuir 方程的实质可以表示为一无量纲的参数 R_L ^[15].

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L c_0} \quad (4)$$

式中, R_L 表征吸附性能, 当 $0 < R_L < 1$ 时表征其有利于吸附.

将表 1 所得的值代入式(4)得活性污泥和粉末活性炭的 R_L 分别为 0.14 和 0.029, 介于 $0\sim1$ 之间, 说明 2 种吸附剂都有利于结晶紫的吸附.

此外, 当 Freundlich 吸附常数 n 介于 $1\sim10$ 之间时也表明其具有良好的吸附性能^[16], 在本实验中, 活性污泥和粉末活性炭的 n 值分别为 1.85 和 3.70, 同样也表明它们是良好的吸附剂.

表 2 其他文献中结晶紫的吸附量

Table 2 Adsorption capacity of CV by other studies

吸附剂	$q_m/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	文献
残炭	170.14	[1]
锯末	341	[4]
活性污泥	270.88	[10]
热解污泥	184.68	[10]
活性污泥	113.6	[11]
中孔活性炭纤维	734.38	[17]
活性炭纤维	897.58	[17]
再生漂白土	69.93	[18]
活性炭	247	[19]
磷酸化活性炭	60.42	[20]
硫酸化活性炭	85.84	[20]
钙硅石	0.83	[21]
粉煤灰	3.76	[21]
磁化木炭	10	[22]

2.3 吸附动力学

本实验在结晶紫浓度为 $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 活性污泥量为 250、1 000、2 000、3 000 mg, 搅拌速度为 $100\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的条件下进行.

2.3.1 假一级反应动力学

假一级反应动力学方程的微分形式如式(5)所示:

$$dq_t/dt = k_1(q_e - q_t) \quad (5)$$

式中, k_1 为假一级反应动力学吸附速率常数

(min^{-1}).

通过积分式(5)可以转化为式(6)和式(7):

$$\lg(q_e - q_t) = \lg q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \tag{6}$$
$$q_t = q_e(1 - e^{\frac{-k_1 t}{2.303}}) \tag{7}$$

许多文献采用式(6)的直线形式对数据进行拟合^[5,16],但是其主要问题是必须先根据实验结果预测一个 q_e ,才能得到上述直线,这与真实的 q_e 值存在一定的差距^[23],因此在本研究中,将采用式(7)的形式,进行非线性拟合,以避免上述问题.其拟合结果见图 3, q_e 和 k_1 值见表 3.

2.3.2 假二级反应动力学

假二级反应动力学方程的微分形式如式(8)

所示:

$$dq/dt = k_2(q_e - q_t)^2 \tag{8}$$

式中, k_2 为假二级反应动力学吸附速率常数(min^{-1}).

通过积分式(8)可以转化为式(9)和式(10):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \tag{9}$$
$$q_t = q_e \times \frac{q_e \cdot k_2 \cdot t}{1 + q_e \cdot k_2 \cdot t} \tag{10}$$

在此仍采用式(10)非线性拟合,其拟合结果见图 4, q_e 和 k_2 值见表 3.

从表 3 可以看出,结晶紫在活性污泥上的吸附动力学都较好满足假一级反应动力学和假二级反应动力学($R^2 > 0.98$),但假二级反应动力学的相关系数

表 3 假一级与假二级反应动力学参数比较¹⁾

Table 3 Comparison of pseudo first-and second-order kinetic rate constants

活性污泥 /mg·L ⁻¹	$q_{e \text{ exp}}$ /mg·g ⁻¹	假一级反应动力学模型				假二级反应动力学模型			
		$q_{e \text{ cal}}$ /mg·g ⁻¹	$\varepsilon_1/\%$	k_1/min^{-1}	R^2	$q_{e \text{ cal}}$ /mg·g ⁻¹	$\varepsilon_2/\%$	k_2 /g·(mg·min) ⁻¹	R^2
250	249.28	235.83	5.40	0.96	0.981 7	240.85	3.38	0.02	0.990 0
1 000	90.31	88.09	2.46	1.05	0.995 6	89.66	0.72	0.07	0.998 3
2 000	49.28	48.91	0.76	1.59	0.999 5	49.10	0.37	0.61	0.999 8
3 000	32.91	32.78	0.40	2.03	0.999 9	32.83	0.24	2.38	0.999 9

1) $q_{e \text{ exp}}$ 为实验所得平衡吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); $q_{e \text{ cal}}$ 为计算所得平衡吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$); ε_1 和 ε_2 分别为假一级和假二级反应动力学中实验所得平衡吸附量与计算所得平衡吸附量的相对误差

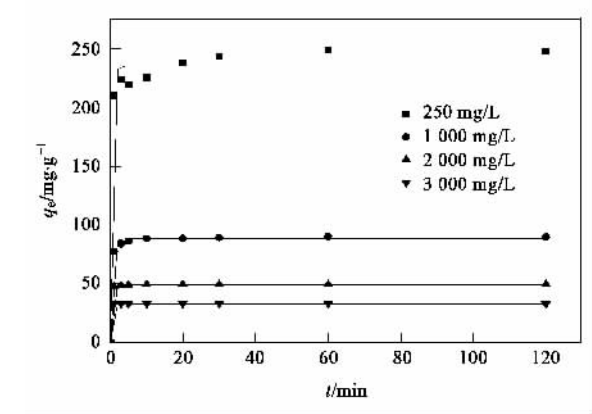


图 3 假一级反应动力学
Fig.3 Pseudo first-order sorption kinetics

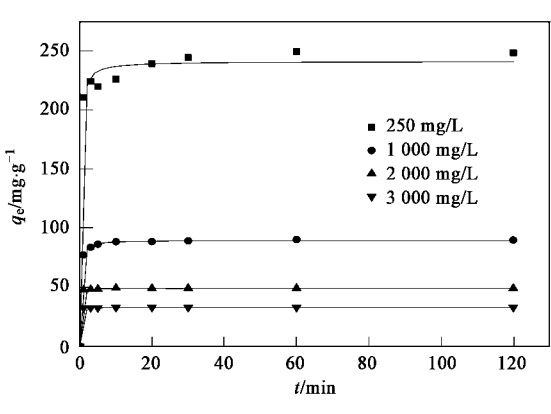


图 4 假二级反应动力学
Fig.4 Pseudo second-order sorption kinetics

更大,且根据假二级反应动力学所得的 $q_{e \text{ cal}}$ 与实验值 $q_{e \text{ exp}}$ 更加接近($\varepsilon_2 < \varepsilon_1$),因此活性污泥吸附结晶紫的行为更符合假二级反应动力学.

从表 3 还可以看出,平衡吸附量 $q_{e \text{ exp}}$ 随着污泥量的增加而减少,可见对于较高投量的活性污泥其

仍有一定的吸附能力; k_1 和 k_2 的值随着污泥量的增加而增加,可见随着活性污泥量的增加,活性污泥对结晶紫的吸附速度加快了.

2.4 搅拌速度去吸附的影响

为了研究搅拌速度对活性污泥吸附结晶紫的影

响,进行了如下实验:结晶紫初始浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,活性污泥量为 1000 mg ,分别在搅拌速度为 100 、 200 、 300 、 500 、 700 和 $1000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的条件下进行,于反应 1 、 3 、 5 、 10 、 20 、 30 、 60 、 120 min 时取样测定混合液中的结晶紫浓度,实验结果如图 5 所示。

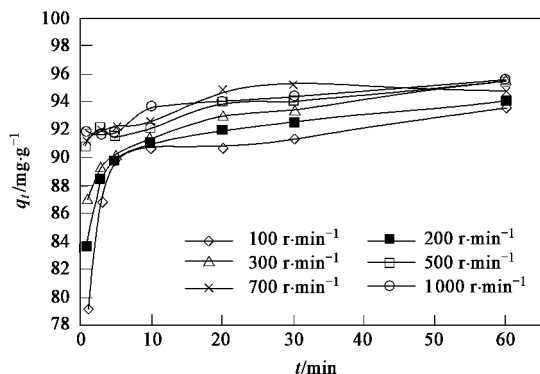


图 5 搅拌速度对吸附的影响

Fig. 5 Effect of stir speed on adsorption of CV on AS

从图 5 中可以看出,当搅拌速度在 $500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 以下时,搅拌速度对污泥吸附结晶紫在初期(前 5 min)有明显的影响,吸附速度随着搅拌速度的加快而明显加快,在 5 min 以后则没有明显区别.而当搅拌速度 $> 500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,继续增加搅拌速度对吸附几乎没有影响.从图 5 中还可以看出,在各搅拌速度下,活性污泥的平衡吸附量,也就是溶液的最终平衡浓度几乎没有变化,这说明搅拌速度对活性污泥吸附结晶紫的吸附量没有影响,加快搅拌速度仅能加快活性污泥的吸附速度,而不能提高活性污泥对结晶紫的吸附量。

2.5 活性污泥/结晶紫对出水水质的影响

为考察不同 AS/CV 对出水效果的影响,进行了如下实验:取 250 、 500 、 750 、 1000 、 2000 、 3000 mg 活性污泥,加入 1 L 烧杯中,按 AS/CV 质量比 $10:1$ 加入结晶紫母液,加水至 1 L ,在 $100 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 搅拌强度下反应 30 min ,取样分析水中的结晶紫浓度.按上述步骤进行了 AS/CV 为 $20:1$ 和 $50:1$ 的实验(活性污泥量跟上述实验一致),实验结果如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,当 AS/CV 为 $10:1$ 时,出水结晶紫的浓度随初始结晶紫浓度的提高而提高,而对于 AS/CV 为 $20:1$ 和 $50:1$ 时,其出水中结晶紫浓度基本不变,分别维持在 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右.通过图 6 还可知,当原水中结晶紫含量很高时,通过多极吸附,可以在节约污泥量的基础上对结晶紫能达到很好去除效果。

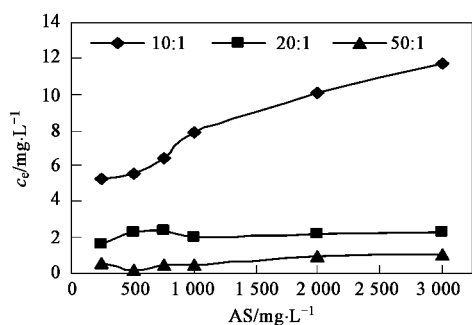


图 6 不同比例 AS/CV 对出水的影响

Fig. 6 Effect of AS/CV ratio on adsorption

3 结论

(1)活性污泥和粉末活性炭对结晶紫的吸附是一个快速的过程,在 30 min 内即能达到吸附平衡.活性污泥对结晶紫的吸附等温式同时符合 Langmuir 和 Freundlich 方程,而粉末活性炭对结晶紫的吸附更符合 Freundlich 方程,活性污泥对结晶紫具有很好的吸附性能,最大吸附量达到 $571.26 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,远高于粉末活性炭的 $131.09 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(2)考察了活性污泥对结晶紫的吸附动力学,通过实验结果与假一级反应动力学和假二级反应动力学模型的拟合,发现其吸附行为更符合假二级反应动力学。

(3)搅拌速度并不影响活性污泥对结晶紫的最终吸附平衡,但当搅拌速度 $< 500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,在反应前 5 min 吸附速度随着搅拌强度的增加而增加,当搅拌速度 $> 500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,继续增加搅拌速度对吸附速度影响不显著。

(4)AS/CV 对出水有一定的影响,当两者比例为 $10:1$ 时,出水中结晶紫的浓度随着初始结晶紫浓度的增加而增加,而当初始比例为 $20:1$ 和 $50:1$ 时,初始结晶紫的浓度对出水几乎没有影响。

参考文献:

- [1] Wang S B, Li H T. Kinetic modelling and mechanism of dye adsorption on unburned carbon [J]. Dyes and Pigments, 2007, 72: 308-314.
- [2] Muhammad J I, Muhammad N A. Adsorption of dyes from aqueous solutions on activated charcoal [J]. Journal of Hazardous Materials B, 2007, 139: 57-66.
- [3] Weng H H, Pan Y F. Adsorption characteristics of methylene blue from aqueous solution by sludge ash [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects, 2006, 274: 154-162.
- [4] Sourja C, Sirshendu D, Sunando D G, et al. Adsorption study for the removal of a basic dye: experimental and modeling [J].

- Chemosphere, 2005, **58**: 1079-1086.
- [5] Feryal A. Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2005, **286**: 455-458.
- [6] Wang S B, Boyjoo Y, Choueib A. A comparative study of dye removal using fly ash treated by different methods [J]. Chemosphere, 2005, **60**: 1401-1407.
- [7] Eren E, Afsin B. Investigation of a basic dye adsorption from aqueous solution onto raw and pre-treated bentonite surfaces [J]. Dyes and Pigments, 2007, **73**: 162-167.
- [8] Suntud S, Ongorn U. Removal of Pb^{2+} and Ni^{2+} by bio-sludge in sequencing batch reactor (SBR) and granular activated carbon-SBR (GAC-SBR) systems [J]. Bioresource Technology, 2007, **98**: 2749-2757.
- [9] 林文雄, 李冬梅. 活化污泥强化工艺对重金属的去除效果研究[J]. 广州化学, 2007, **32**: 28-31.
- [10] Otero M, Rozada F, Calvo L F, *et al.* Elimination of organic water pollutants using adsorbents obtained from sewage sludge [J]. Dyes and Pigments, 2003, **57**: 55-65.
- [11] Chu H C, Chen K M. Reuse of activated sludge biomass: I. Removal of basic dyes from wastewater by biomass [J]. Process Biochemistry, 2002, **37**: 595-600.
- [12] Charothon J, Vissanu M, Boonyarach K, *et al.* Surface characterization and dye adsorptive capacities of char obtained from pyrolysis/gasification of sewage sludge [J]. Chemical Engineering Journal, 2007, **133**: 239-246.
- [13] Aksu Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants a review [J]. Process Biochemistry, 2005, **40**: 997-1026.
- [14] Veglio F, Beolchini F. Removal of metals by biosorption: a review [J]. Hydrometallurgy, 1997, **44**: 301-316.
- [15] Ho Y S, McKay G. Sorption of dye from aqueous solution by peat [J]. Chemical Engineering Journal, 1998, **70**: 115-124.
- [16] Zeynep E, Filiz N A. Adsorption of Reactive Black 5 from an aqueous solution: equilibrium and kinetic studies [J]. Desalination, 2006, **194**: 1-10.
- [17] Hisashi T, Takeshi Y, Masahiko S, *et al.* Dye adsorption on mesoporous activated carbon fiber obtained from pitch containing yttrium complex [J]. Carbon, 1999, **37**: 983-989.
- [18] Tsai W T, Chang Y M, Lai C W, *et al.* Adsorption of basic dyes in aqueous solution by clay adsorbent from regenerated bleaching earth [J]. Applied Clay Science, 2005, **29**: 149-154.
- [19] Vasanth K K, Sivanesan S. Isotherm parameters for basic dyes onto activated carbon: Comparison of linear and non-linear method [J]. Journal of Hazardous Materials B, 2006, **129**: 147-150.
- [20] Senthilkumaar S, Kalaamani P, Subburaam C V. Liquid phase adsorption of Crystal violet onto activated carbons derived from male flowers of coconut tree [J]. Journal of Hazardous Materials B, 2006, **136**: 800-808.
- [21] Khare S K, Srivastava R M, Panday K K, *et al.* Removal of Basic dye from water using wollastonite as adsorbent [J]. Environmental Technology, 1988, **9**: 1163.
- [22] Safarik, Nymburska K, Safarikova M. Adsorption of water soluble organic dyes on magnetic charcoal [J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 1997, **69**: 1-4.
- [23] Wang Y, Mu Y, Zhao Q B, *et al.* Isotherms, kinetics and thermodynamics of dye biosorption by anaerobic sludge [J]. Separation and Purification Technology, 2006, **50**: 1-7.