

Synthesis and Pb²⁺ Adsorption Properties of Aerogel Supported Brucite and Mg-Al Hydrotalcite

Zhiyu Yao¹, Faxing Jiang²

¹Xinchang High School, Xinchang Zhejiang

²Nano Tech Co., Ltd, Shaoxing Zhejiang

Email: aerogel@qq.com

Received: Nov. 4th, 2017; accepted: Nov. 19th, 2017; published: Nov. 24th, 2017

Abstract

Low-cost and high surface area commercial silica aerogel supported brucite and Mg-Al hydrotalcite were synthesized as adsorbents for Pb²⁺ removal. The textural properties of the supported brucite and Mg-Al hydrotalcite were characterized by TEM, SEM, XRD and ICP, and the results showed supported brucite and Mg-Al hydrotalcite with small size, weak crystallization and thin thickness. In the adsorption experiments, the adsorption rates were fast in the first 60 min, then slowed down and finally reached equilibrium for both the adsorbent. The adsorption data fitted well with pseudo-second-order kinetic model and Langmuir isotherm model, indicating monolayer chemisorption process. The saturated adsorption capacities of the supported brucite and Mg-Al hydrotalcite are 442.5 mg/g and 246 mg/g, respectively, higher than that of reported hydrotalcite-based adsorbents.

Keywords

Brucite, Hydrotalcite, Adsorption, Pb²⁺

气凝胶负载水镁石和镁铝水滑石纳米粒子的制备及对铅离子吸附性能研究

姚之予¹, 姜法兴²

¹浙江省新昌中学, 浙江 新昌

²纳诺科技有限公司, 浙江 绍兴

Email: aerogel@qq.com

收稿日期: 2017年11月4日; 录用日期: 2017年11月19日; 发布日期: 2017年11月24日

摘要

本文以低成本高比表面的商用SiO₂气凝胶为负载基底, 通过一步(共)沉淀法制备了负载水镁石及负载水滑石, 用作高效的Pb²⁺吸附剂。采用TEM, SEM, XRD及ICP等对制备的负载水镁石及负载水滑石的织构性能进行表征, 结果显示制备的负载型水滑石和负载水镁石具有小的粒径、薄的厚度, 弱的结晶。对Pb²⁺的吸附性能研究表明, 两吸附剂对Pb²⁺的吸附与假二次动力学模型和Langmuir等温线模型拟合良好(R² ≥ 99.0%), 表明负载水镁石和负载水滑石对Pb²⁺的吸附是一个表面化学吸附过程。通过Langmuir等温线模型计算的饱和吸附容量为442.5 mg/g和246 mg/g, 与实验测得的值相一致, 高于文献报道的水滑石基Pb²⁺吸附剂。

关键词

水镁石, 水滑石, 吸附, Pb²⁺

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水体中游离 Pb(II)有高的生物毒性, 对生物体和人体均有很大危害[1]。水体铅污染与经济活动密切相关, 铅矿开采, 各种工业生产均可造成铅的污染。我国许多地区的水体均存在铅超标的问题, 血铅中毒及群体的铅中毒时有发生, 因此去除水体中 Pb(II)的危害, 是当前亟待解决的问题。去除水体中铅的方法主要有: 沉淀法, 氧化还原法, 离子交换法, 吸附法, 膜分离法, 电解法等[2]。其中, 吸附法因操作简单, 环境污染小且处理效果好等优点得到了广泛的研究[3] [4] [5] [6]。

近年来的研究发现, 氢氧化物及混合氢氧化物具有良好的 Pb²⁺吸附性能[7] [8] [9] [10], 其吸附机理主要基于表面沉淀及表面络合[11] [12]。与块体氢氧化物相比, 纳米尺度的氢氧化物具有高的比表面积及更多的表面吸附位点, 近年来得到了广泛的研究。但纳米尺度的吸附剂在制备和使用过程中因粒度较小难以从液相中分离, 且颗粒之间易发生团聚, 降低比表面积及相应的活性吸附位点[13]。为解决这一问题, 本文以高比表面积和大孔径的二氧化硅气凝胶为负载载体, 通过(共)沉淀法在气凝胶颗粒的内外面沉积水镁石和镁铝水滑石。借助于二氧化硅气凝胶表面大量的硅羟基基团作为成核位点, 负载的水镁石和镁铝水滑石在其表面大量成核, 利于获得小粒径的水镁石及水滑石。采用透射电子显微镜(TEM), 扫描电子显微镜(SEM), X射线衍射分析(XRD), 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)等表征水滑石的织构性能, 通过对 Pb²⁺的系列吸附实验, 考察了负载水镁石和负载镁铝水滑石对 Pb²⁺的吸附动力学与吸附等温线, 并采用假一次动力学模型和二次动力学模型及 Langmuir 和 Freundlich 等温线模型进行拟合, 揭示可能的吸附机理。

2. 实验部分

2.1. 材料与试剂

六水硝酸镁(AR, 上海阿拉丁试剂有限公司)、九水硝酸铝(AR, 上海阿拉丁试剂有限公司)、硝酸铅(AR, 上海阿拉丁试剂有限公司)、氢氧化钠(AR, 国药集团化学试剂有限公司)、碳酸氢钠(AR, 国药集

团化学试剂有限公司)、盐酸(AR, 36%~38%, 国药集团上海化学试剂公司)、二氧化硅气凝胶(纳诺科技有限公司)。

2.2. 负载水镁石及镁铝水滑石的制备

取气凝胶 200 mg 分散在 200 mL 的去离子水中, 超声分散 30 min, 制得均匀的 SiO_2 气凝胶悬浮液, 然后加入 0.774 g 硝酸镁(或 0.581 g 硝酸镁和 0.284 g 硝酸铝), 标记为溶液 A。0.5 g 氢氧化钠和 1.2 g 碳酸氢钠溶液溶解于 25 mL 去离子水中, 标记为溶液 B。将溶液 A 和溶液 B 交替逐滴加入 100 mL 去离子水中, 保证溶液 pH 在 9.0~9.5 之间, 溶液 A 滴完以后, 用溶液 B 调节 pH 至 9.5。将获得的溶液装入水热釜, 80℃ 水热 24 h, 制得负载水镁石(镁铝水滑石)。

2.3. 样品表征

透射电子显微镜(TEM)照片在 JEM-1011 型透射电镜上获得, 加速电压 80 kV。扫描电子显微镜(SEM)照片及相应能谱图在 JSM-6360LV 型扫描电镜上获得。X 射线衍射(XRD)在帕纳科衍射仪上进行。 N_2 吸附-脱附等温曲线在 ASAP TriStar II 3020 型比表面仪上测得, 采用 BET 和 BJH 方法分别计算样品的比表面积和孔容。吸附剂的元素含量在利曼 Prodigy XP 电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)上获得。溶液中 $\text{Pb}(\text{II})$ 离子含量采用岛津 AA-6300 火焰原子吸收分光光度计(FAAS)测得。

2.4. Pb^{2+} 吸附实验

2.4.1. 吸附动力学测定

取制备的负载水镁石和负载水滑石各 50 mg, 分别加入到装有 100 mL Pb^{2+} 溶液(400 mg/L)的锥形瓶中, 密封后, 置于恒温摇床(25℃, 150 rpm)进行震荡, 每隔一段时间, 取样, 用亲水性针筒滤膜(国产, 0.22 μm)过滤, 滤液用稀硝酸稀释(稀释 40 倍, 硝酸浓度 1%)并用岛津 AA-6300 火焰原子吸收分光光度计(FAAS)进行 Pb 含量的测定。

2.4.2. 吸附等温线测定

取制备的负载水镁石和负载水滑石各 50 mg, 分别加入到 100 mL 不同浓度的 Pb^{2+} 溶液中(50 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L 和 400 mg/L), 置于恒温摇床(25℃, 150 rpm)进行震荡, 24 h 后, 取样, 用亲水性针筒滤膜(国产, 0.22 μm)过滤, 滤液用稀硝酸稀释(稀释 40 倍, 硝酸浓度 1%)并用岛津 AA-6300 火焰原子吸收分光光度计(FAAS)进行 Pb 含量的测定。

3 结果与讨论

3.1. 负载水镁石和镁铝水滑石的织构性能表征

采用高倍透射电镜对负载水镁石、负载水滑石及负载基底 SiO_2 气凝胶进行了微观结构分析。结果如图 1(a)所示, 负载基底二氧化硅气凝胶的孔道呈三维无序状, 孔道的直径在 30 nm 左右。负载水镁石后, 得到材料的 TEM 照片衬度增加, 无法看到负载基底气凝胶的孔道(图 1(b)), 这主要是由于水镁石的负载增加了气凝胶的密度, 同时部分的水镁石沉积在大孔气凝胶的孔道内部, 因而透射电子数目减小。负载的水滑石呈片状的结构, 厚度小于 5 nm, 径向直径分布范围较广, 大约在 30 nm~150 nm 之间, 均匀的分布在负载基底上(图 1(c)和图 1(d))。在 TEM 照片中无法观察到水镁石的粒径大小, 表明晶粒粒径较小, 均匀地分散在负载基底的内部孔道及外表面。此外, 采用了低倍的 SEM 照片对负载水镁石和负载水滑石颗粒表面进行了观察(图 2), 结果显示颗粒整体上呈微米级尺寸, 这样大的尺寸有利于在制备过程中及吸附过程中的分离, 小粒径的片状水镁石和水滑石颗粒分散在颗粒表面, 有利于提供大量的表面吸附位点。

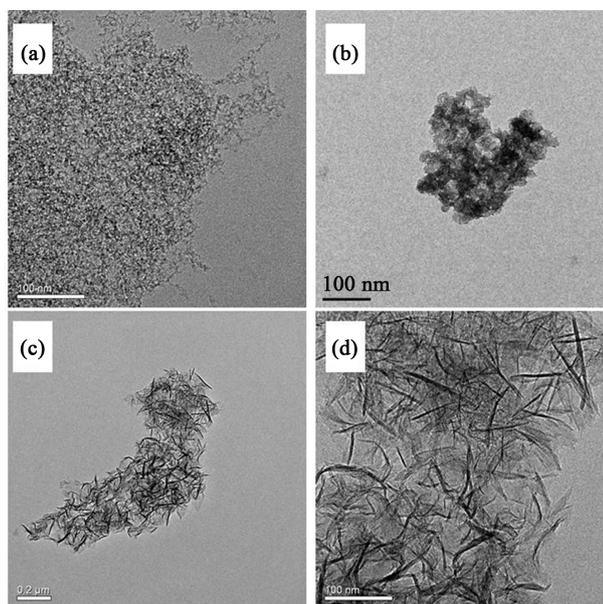


Figure 1. Transmission electron microscopy of SiO₂ aerogel (a), supported brucite (b) and Mg-Al hydrotalcite ((c), (d))
图 1. 负载基底 SiO₂ 气凝胶(a)、负载水镁石(b)和负载水滑石((c), (d))的透射电子显微镜照片

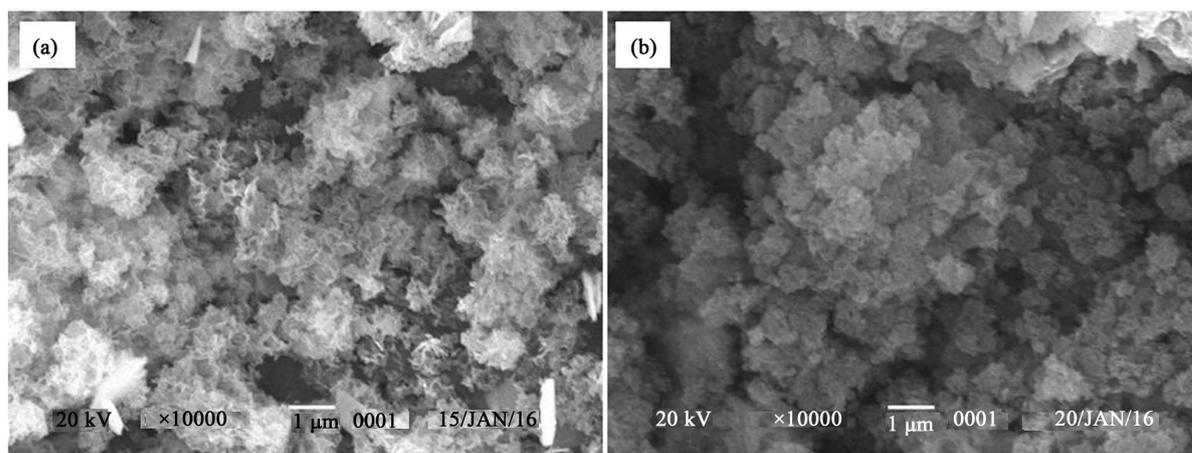


Figure 2. Scanning electron microscopy images of supported brucite (a) and Mg-Al hydrotalcite (b)
图 2. 负载水镁石(a)和负载水滑石(b)的扫描电子显微镜照片

XRD 图谱(图 3)结果显示, 负载水镁石具有水镁石晶体(PDF 卡: 82~2454)的(001)、(100)和(110)面衍射峰, 负载水滑石具有水滑石晶体(PDF 卡: 51~1525)的(006)、(222)和(600)面衍射峰。在两种材料中, 结晶峰的强度均较弱, 且水滑石晶体的最强衍射面(003)面对应的衍射峰缺失, 主要是由于负载的水镁石和水滑石粒径较小且厚度薄导致表面缺陷较多, 结晶性差。

由 N₂ 吸附脱附等温线(图 4)计算出负载水镁石和负载水滑石的比表面积, 孔容和平均孔径如表 1 所示, 可以看出负载水镁石的比表面积为 654.9 m²·g⁻¹, 远大于负载水滑石的比表面积 257.8 m²·g⁻¹, 可能是由于较大的片状水滑石纳米颗粒堵塞了负载基底气凝胶的孔道。两吸附剂的比表面、孔容及平均孔径与负载基底相比均有所减小, 表明相当部分的水镁石和水滑石沉积在水滑石的孔道内部。负载水镁石、负载水滑石及负载基底 SiO₂ 气凝胶的相对元素含量通过 ICP-OES 测得(表 1), 负载水镁石中 Mg/Al/Si 元素摩尔比为 0.40:1, 负载水滑石中 Mg/Al/Si 元素摩尔比为 0.53:0.32:1。

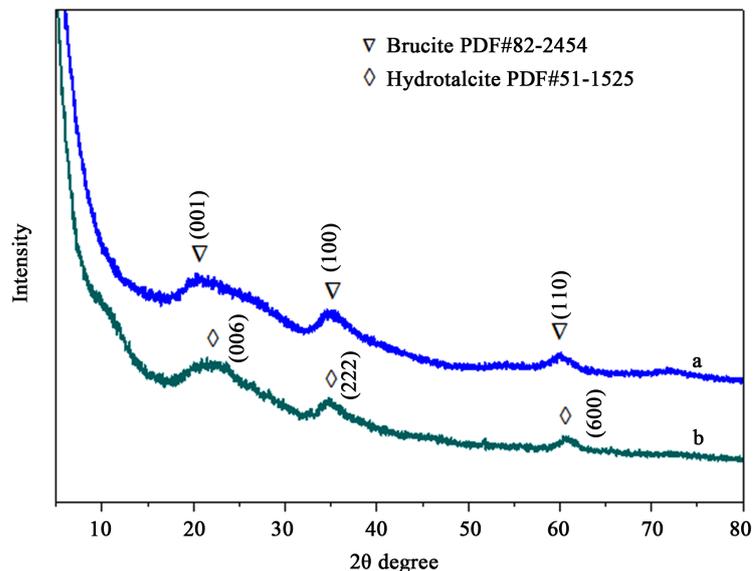


Figure 3. XRD profile of supported brucite and Mg-Al hydrotalcite

图3. 负载水镁石和负载水滑石的 XRD 图谱

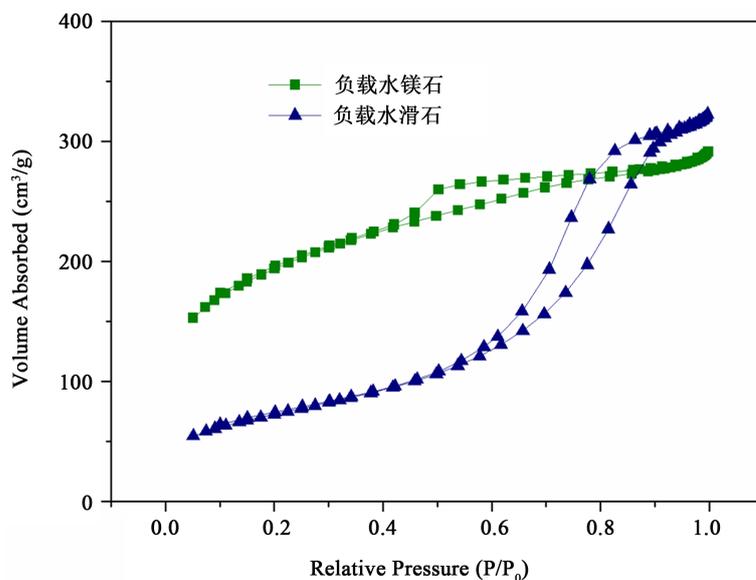


Figure 4. The N₂ adsorption isotherm of supported brucite and Mg-Al hydrotalcite

图4. 负载水镁石和负载水滑石的 N₂ 吸附脱附等温线

Table 1. Texture parameters of supported brucite, Mg-Al hydrotalcite and load base SiO₂ aerogel

表1. 负载水镁石、负载水滑石及负载基底 SiO₂ 气凝胶的组织参数

样品	Mg ^a 相对含量	Al ^a 相对含量	Si ^a 相对含量	比表面积	孔容 cm ³ ·g ⁻¹	平均孔径 nm
负载水镁石	28.70%	0	71.30%	654.9	0.36	3.6
负载水滑石	28.60%	17.2%	54.20%	257.8	0.54	8.5
气凝胶 ^b	0	0	100%	803.8	3.43	38.6

^a 相对摩尔含量($n/n_{(Mg+Al+Si)}$); ^b 数据由厂家提供。注: 孔容和孔径由气体吸附法计算所得

3.2. 吸附性能

吸附动力学研究

在 25℃, Pb^{2+} 浓度为 $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 吸附剂用量为 $0.5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 条件下, 负载水镁石和水滑石对 Pb^{2+} 的吸附量随时间的变化曲线如图 5 所示。在前 60 min 内, 两吸附剂对 Pb^{2+} 吸附速率较快, 随后吸附速率变慢, 大概在 600 min 达到饱和。前期的快速吸附主要是由于吸附初期表面吸附位点较多。而后期吸附速度较慢可能是由于吸附的 Pb 物种覆盖在吸附剂的表面, 减少了表面吸附位点。在达到吸附平衡时, 负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的饱和吸附量(q_e)分别为 434.7 mg/g 和 253.8 mg/g 。饱和和吸附后样品 EDS 面扫描照片如图 6 所示, Si, Mg, Al 和 O 元素的元素分布图相重叠, 表明吸附的 Pb 物种均匀的分散在吸附剂材料中。为考察负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附动力学, 采用假一级动力学和假二级动力学模型对时间吸附曲线进行线性拟合。假一级动力学吸附方程和假二级动力学吸附方程如公式(1)和公式(2)所示 [14]。

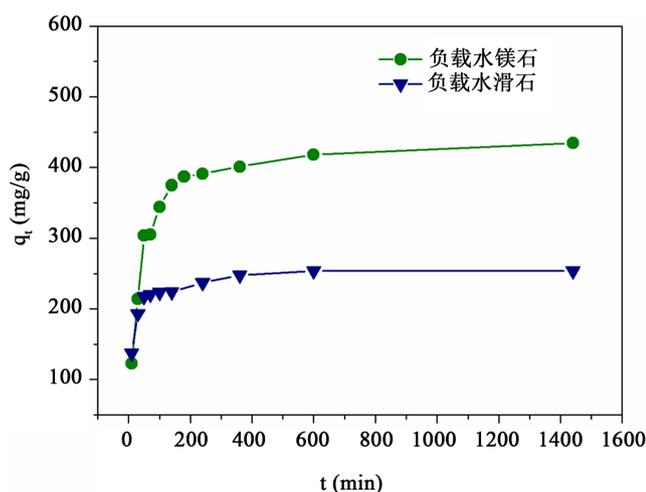


Figure 5. The adsorption of Pb^{2+} with supported brucite and Mg-Al hydrotalcite at different time
图 5. 不同时间负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附量

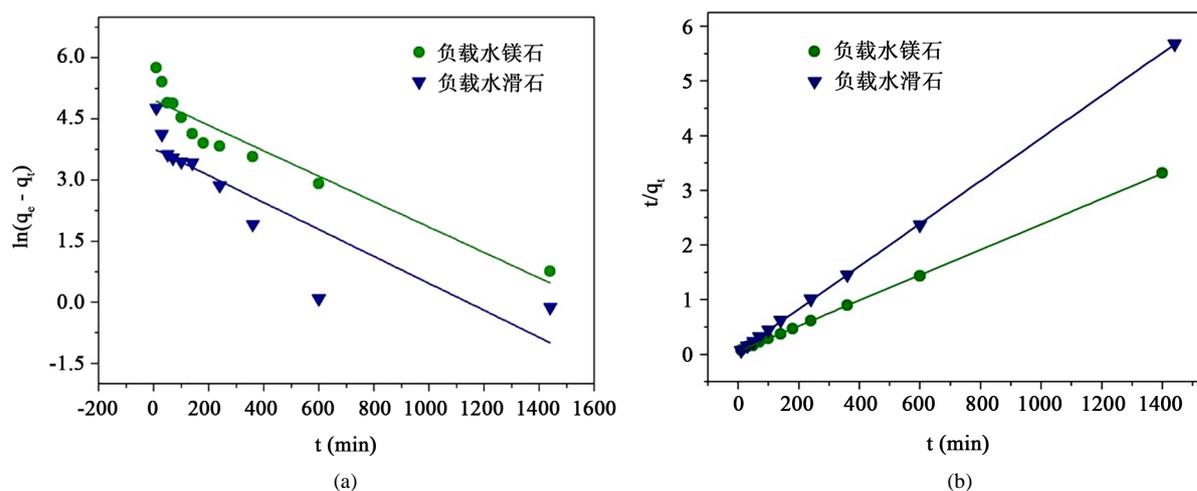


Figure 6. Pseudo-stage adsorption kinetics model (a) and pseudo-secondary adsorption kinetics model (b) fitting for supported brucite and Mg-Al hydrotalcite

图 6. 负载水镁石和负载水滑石的假一级吸附动力学模型拟合(a)和假二级吸附动力学模型(b)拟合

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (1)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2)$$

其中 q_e 为吸附剂达到吸附平衡时的吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), q_t 为时间 t 时吸附剂的吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), k_1 和 k_2 分别为假一级动力学和假二级动力学吸附速率常数。负载水镁石和负载水滑石的吸附动力学拟合曲线如图 7 所示, 可以看出假二级动力学模型与吸附实验数据具有良好的线性关系。相应的拟合参数如表 2 所示, 假二级动力学模型与负载水镁石和负载水滑石的吸附数据线性相关系数(R^2)均高达 99.9%, 而假一级动力学模型与实验数据的线性相关系数分别为 89.7%和 75.2%, 表明了负载水镁石与负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附符合二级动力学模型, 表明该吸附过程是一个化学吸附为主的吸附过程。

3.3. 吸附等温线

在 25°C , 吸附剂用量为 $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 吸附时间为 24 h 条件下, 考察了不同 Pb^{2+} 浓度对负载水镁石和负载水滑石吸附性能的影响。结果如图 8 所示, 负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附量随 Pb^{2+} 浓度的增加而增加。由于负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附量较小, 在 Pb^{2+} 浓度为 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 吸附量接近饱和, 增大 Pb^{2+} 浓度到 $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 吸附量增加不明显。Langmuir 和 Freundlich 吸附等温线模型常被用来拟合重金属离子及有机污染物的吸附。两等温线方程如公式(3)和公式(4)所示[15]:

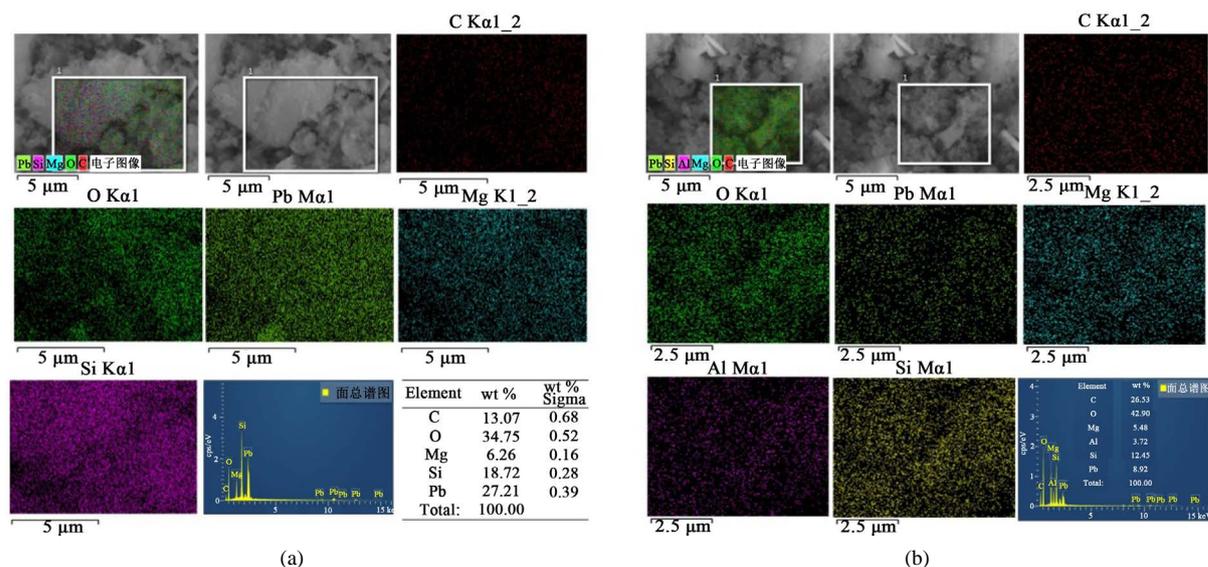


Figure 7. Results of EDS surface scanning and corresponding element analysis results of supported brucite and Mg-Al hydrotalcite after saturation adsorption Pb^{2+}

图 7. 负载水镁石和负载水滑石饱和吸附 Pb^{2+} 后的 EDS 面扫描图谱及相应的元素分析结果

Table 2. Pseudo-level adsorption kinetics model fitting and pseudo-level adsorption kinetics model fitting parameters for supported brucite and Mg-Al hydrotalcite

表 2. 负载水镁石和负载水滑石的假一级吸附动力学模型拟合和假二级吸附动力学模型拟合参数

吸附剂	q_e^{Exp} (mg/g)	假一级动力学模型			假二级动力学模型		
		$k_1 \times 10^3$ (min^{-1})	q_e (mg/g)	R^2	$k_2 \times 10^3$ ($\text{g}/\text{mg}\cdot\text{min}$)	q_e (mg/g)	R^2
负载水镁石	434.7	3.12	143.2	89.7%	0.098	431.0	99.9%
负载水滑石	253.8	3.31	43.5	75.2%	0.314	256.4	99.9%

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m k_L} + \frac{c_e}{q_m} \quad (3)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln c_e \quad (4)$$

其中 C_e 为溶液中重金属离子的浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), q_e 为吸附剂的饱和吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), q_m 为理论饱和吸附量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), K_L 和 K_F 分别为 Langmuir 和 Freundlich 吸附等温线常数。 n 为吸附热相关的常数($\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$)。负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附数据拟合 Langmuir 和 Freundlich 等温线方程的结果如图 9 和表 3 所示, 可以看到, 对于两种吸附剂, Langmuir 等温线模型与吸附实验数据均拟合较好。对于负载水镁石和负载水滑石, Langmuir 等温线模型拟合的相关系数为 99.2% 和 99.9%, 优于 Freundlich 等温线模型拟合的相关系数 98.4% 和 86.7%, 表明负载水滑石和负载水镁石对 Pb^{2+} 的吸附过程主要是表面的单层吸附过程。通过 Langmuir 吸附等温线拟合计算出负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的饱和吸附量分别为 442.5 mg/g 和 246 mg/g , 与实验测定的饱和和吸附量相当, 高于文献报道的水滑石基的吸附剂(表 4)。

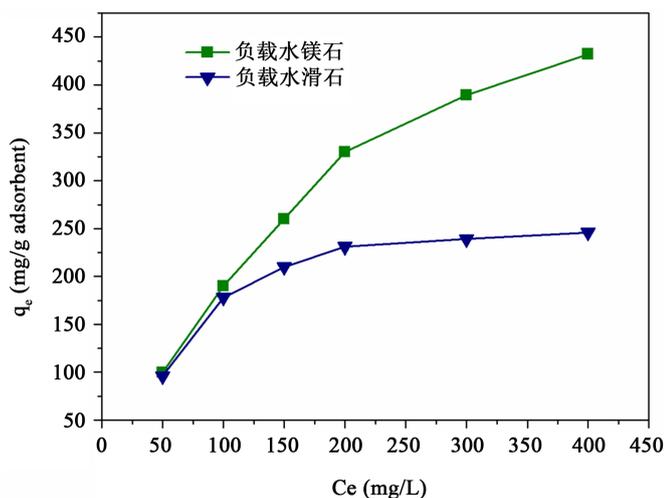


Figure 8. The adsorption of Pb^{2+} with supported brucite and Mg-Al hydrotalcite at different Pb^{2+} concentration
图 8. 不同 Pb^{2+} 浓度下, 负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附量

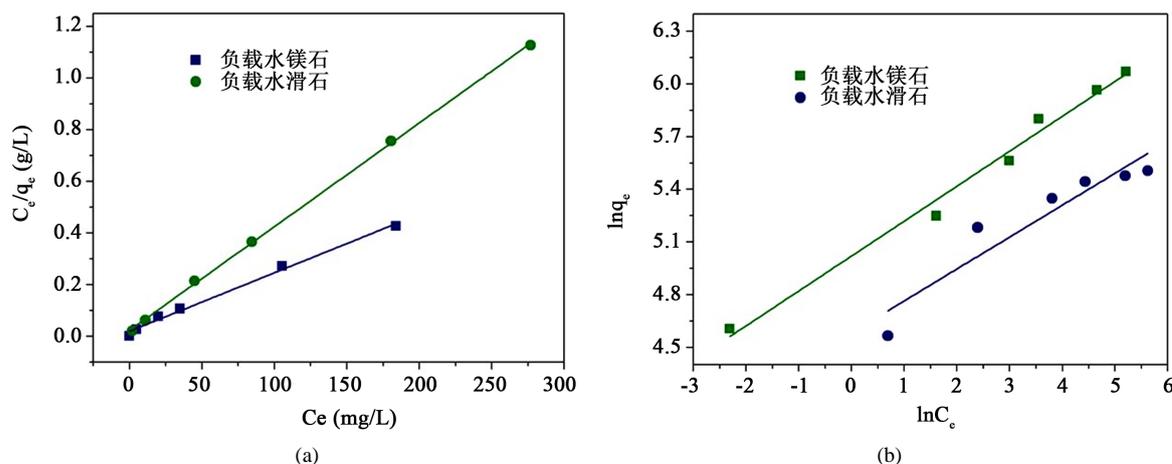


Figure 9. The Langmuir adsorption isotherm model (a) and Freundlich adsorption isotherm model (b) fitting for supported brucite and Mg-Al hydrotalcite

图 9. 负载水镁石和负载水滑石的 Langmuir 吸附等温线模型(a)和 Freundlich 吸附等温线模型(b)拟合

Table 3. Parameters of the Langmuir adsorption isotherm model and Freundlich adsorption isotherm model of supported brucite and Mg-Al hydrotalcite**表 3.** 负载水镁石和负载水滑石的 Langmuir 吸附等温线模型和 Freundlich 吸附等温线模型拟合参数

吸附剂	q_e^{Exp} ($mg \cdot g^{-1}$)	Langmuir 等温线			Freundlich 等温线		
		q_m ($mg \cdot g^{-1}$)	k_L ($L \cdot mg^{-1}$)	R^2	n	k_F ($(mg \cdot g^{-1})(L \cdot mg^{-1})^{1/n}$)	R^2
负载水镁石	432.2	442.5	0.108	99.2%	5.02	151.2	98.4%
负载水滑石	246.0	249.4	0.099	99.9%	5.50	97.7	86.7%

Table 4. The maximum adsorption of Pb^{2+} for different hydrotalcite base adsorbents**表 4.** 不同的水滑石基吸附剂对 Pb^{2+} 的最大吸附量

吸附剂	最大吸附量 Q_{max} ($mg \cdot g^{-1}$)	参考文献
负载水镁石	432.2	-
负载镁铝水滑石	246.0	-
EDTA 插层镁(锌)铝水滑石	183.5	[16]
谷氨酸插层镁铝水滑石	68.49	[17]
镁铝水滑石	224.0	[3]

4. 结论

1) 以大孔径高比表面的商用 SiO_2 气凝胶为模板, 制备了负载水镁石和负载水滑石。制备的负载水镁石和负载水滑石具有高的比表面积, 小的粒径及弱的结晶强度。

2) 负载水镁石和负载水滑石对 Pb^{2+} 的吸附符合假二级动力学模型和 Langmuir 等温线模型。表明了吸附过程是一个表面单层化学吸附。

3) 由 Langmuir 等温线模型计算出的负载水镁石和水滑石对 Pb^{2+} 饱和吸附容量分别为 442.5 mg/g 和 246 mg/g , 与实验值相当, 高于目前文献报道的水滑石基吸附剂的饱和吸附量。

参考文献 (References)

- [1] 乐金东, 于少明. 实时合成含铅类水滑石处理含铅废水的研究[J]. 安徽化工, 2010, 36(1): 35-37.
- [2] 金娜, 印万忠. 铅的危害及国内外除铅的研究现状[J]. 有色矿冶, 2006, 22: 114-115.
- [3] 张辉, 陆嘉炜, 余剑清, 郭亚平. 镁铝水滑石的制备及其对铅离子的吸附性能[J]. 2017, 45(8): 69-72.
- [4] 张帆, 李菁, 谭建华, 王波, 黄福. 吸附法处理重金属废水的研究进展[J]. 2013, 32(11): 2749-2754.
- [5] 朱洪涛, 马玉晶. 水滑石类材料在重金属废水治理中的应用进展[J]. 水处理技术, 2011, 37(8): 11-14.
- [6] 李保花, 刘福强, 李兰娟, 凌盼盼, 李爱民, 白志平. 分离与回收重金属的典型树脂研究进展[J]. 离子交换与吸附, 2011, 27(3): 279-288.
- [7] 张凤荣. 层状双氢氧化物基吸附剂制备及性能研究[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2015.
- [8] 郝建文, 柴多里, 杨保俊. 片状纳米氢氧化镁吸附铅离子吸附平衡与动力学[J]. 硅酸盐通报, 2012, 31(5): 1127-1132.
- [9] 陈峻杰. 磁性水滑石对水中典型金属离子吸附能力的研究[J]. 广州化工, 2017, 45(13): 100-101.
- [10] 王军涛, 陈兰萍, 詹正坤. CuZnMgAl 水滑石衍生金属氧化物对废水中 $Pb(II)$ 的吸附[J]. 化学研究, 2012, 23(1): 39-42.
- [11] 臧运波. 重金属 Cr(VI)、Cu(II)在类水滑石和皂土上的吸附行为[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2007.
- [12] Park, M., Choi, C.L., Seo, Y.J., Yeo, S.K., Choi, J., Komarneni, S. and Lee, J.H. (2007) Reactions of Cu^{2+} and Pb^{2+} with Mg/Al layered double hydroxide. *Applied Clay Science*, **37**, 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.12.006>

-
- [13] 张春梅. 担载型纳米复合材料深度净化水中重金属研究进展[J]. 水处理技术, 2017, 43(8): 22-26.
- [14] 李江山, 薛强, 王平, 刘磊. 市政污泥生物碳对重金属的吸附特性[J]. 环境科学研究, 2013, 26(11): 1246-1251.
- [15] 高乐乐, 李秋荣, 韩璐, 胡晓辉, 王馨培, 宋河儒, 燕丽. 生物遗态氧化锰基镁铝水滑石的制备及铅吸附性能[J]. 环境化学, 2016, 35(9): 1961-1967.
- [16] 王军涛, 徐芳. MgZnAl-EDTA 柱撑水滑石的制备及其对 Pb(II)的吸附[J]. 化学研究与应用, 2014, 26(4): 581-585.
- [17] 王蕾, 肖鹏. 谷氨酸插层水滑石吸附水中铅离子[J]. 离子交换与吸附, 2013, 29(3): 253-261.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ms@hanspub.org