

张卫民, 马文洁, 戴 强, 等. 人工快速地下渗滤系统渗滤介质对磷的吸附特性[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 350–352.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.114

人工快速地下渗滤系统渗滤介质对磷的吸附特性

张卫民¹, 马文洁^{2,3}, 戴 强⁴, 陈井影¹

(1. 东华理工大学省部共建核资源与环境国家重点实验室培育基地, 江西南昌 330013; 2. 核技术应用教育部工程研究中心 (东华理工大学), 江西南昌 330013; 3. 东华理工大学放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室, 江西南昌 330013; 4. 江西省南昌市青云谱区环境监测站, 江西南昌 330001)

摘要:选取河沙、钢渣、粉煤灰、煤渣、砾石、活性炭为渗滤介质, 通过静态吸附试验, 系统开展了对磷吸附特性研究。研究结果表明, 不同介质的理论吸附容量为钢渣 > 活性炭 > 粉煤灰 > 煤渣 > 河沙 > 砾石, 河沙、钢渣更符合 Langmuir 等温方程描述, 其他 4 种都比较适合 Freundlich 等温方程描述; 各种介质除磷速率 V_{\max} 依次为钢渣 > 煤渣 > 河沙 > 活性炭 > 粉煤灰 > 砾石, 钢渣在达到吸附饱和后的解吸率最小, 其次是河沙、活性炭、煤渣、粉煤灰、砾石; 钢渣、活性炭、河沙、粉煤灰、煤渣、砾石对磷达到吸附平衡的时间分别为 8、8、16、16、24、24 h。

关键词:地下渗滤系统; 渗滤介质; 总磷; 吸附

中图分类号:X523 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)06-0350-03

随着乡村城镇化和人民生活水平的提高, 生活污水排放量随之增加, 几乎是没有经过任何处理就直接排放, 导致河流发黑发臭, 水体富营养化严重, 自然环境、生态环境以及饮用水安全遭到严重的破坏, 严重威胁公众健康^[1-4]。人工快速地下渗滤系统是一种适用于农村地区处理分散式生活污水的方法, 可有效处理和回用生活污水, 以达到节约用水的目的^[5]。人工快速地下渗滤系统去除污染物的机制主要依靠渗滤介质。渗滤介质对污水的净化起着物理化学吸附、络合及离子交换等作用, 同时还为微生物生存提供必要的生存环境^[6-7]。选择合适的渗滤介质是地下渗滤系统成功的关键^[8]。本研究选择河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣、砾石、活性炭 6 种介质, 其中主介质是易大量得到的河沙, 而辅助介质粉煤灰、钢渣、煤渣是工业废料, 可以达到以废治废、绿色环保、降低成本的目的。通过 6 种介质对磷的静态吸附试验, 研究各渗滤介质对磷的吸附特性, 以期筛选出适合人工快速地下渗滤系统的介质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用河沙、砾石取自江西抚河; 粉煤灰、煤渣取自江西抚州医学院; 钢渣取自江西钢铁安源分公司转炉渣; 活性炭 (含碳 95%) 购自苏州佳联活性炭有限公司。选取去除杂物后通过 0.25 mm 的尼龙筛的样品进行试验, 5 种介质的化学

组分见表 1。

表 1 5 种介质的化学组分

介质种类	化学组分 (%)				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	其他
河沙	97.5	1.1	0.3	0.1	1.0
粉煤灰	47.8	22.6	13.7	2.9	13.0
钢渣	16.4	2.1	26.5	49.7	5.3
煤渣	46.6	33.5	8.7	3.5	7.7
砾石	95.2	0.8	0.4	2.1	1.5

1.2 试验方法

1.2.1 渗滤介质投加量对磷吸附的影响试验 取浓度为 10 mg/L (以磷计) 磷酸二氢钾溶液 100 mL 放置于已分别装有 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 g 河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣、砾石、活性炭的容量为 250 mL 的锥形瓶中, 并加入 3 滴氯仿以抑制微生物活动, 放入恒温振荡器中振荡吸附 36 h。在 4 000 r/min 速度下离心 30 min 后, 取上清液, 使用钼酸铵分光光度法测定磷浓度。

1.2.2 磷初始浓度对磷吸附的影响试验 取浓度为 2、4、6、8、10 mg/L (以磷计) 磷酸二氢钾溶液 100 mL 分别放置于容量为 250 mL 的锥形瓶中, 再分别取试验“1.2.1”节确定的河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣、砾石、活性炭的投加量放置于锥形瓶中, 加入 3 滴氯仿抑制微生物活动, 放入恒温振荡器中振荡吸附 36 h。在 4 000 r/min 速度下离心 30 min 后, 取上清液测定磷浓度。

1.2.3 介质类型对磷吸附平衡时间的影响试验 取浓度为 10 mg/L (以磷计) 磷酸二氢钾溶液 100 mL 分别置于容量为 250 mL 的锥形瓶中, 再分别取对应试验“1.2.1”节确定的河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣、砾石和活性炭的投加量放置于锥形瓶中, 加入 3 滴氯仿抑制微生物活动, 放入恒温振荡器中振荡吸附 36 h, 每隔一定时间取样分析 1 次。在 4 000 r/min 速度下离心 30 min 后, 取上清液测定磷浓度。

1.2.4 介质对磷的解吸效果试验 地下渗滤系统对磷的去

收稿日期: 2015-02-10
基金项目: 江西省教育厅科技计划 (编号: GJJ13451); 核技术应用教育部工程研究中心 (东华理工大学) 开放基金 (编号: HJSJYB2011-16); 东华理工大学放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室开放基金 (编号: RGET1408)。
作者简介: 张卫民 (1965—), 男, 浙江仙居人, 博士, 教授, 主要从事地下水污染控制与修复研究。E-mail: wmzhang@ecit.cn。
通信作者: 马文洁, 硕士研究生, 助教, 主要从事地下水污染控制研究。Tel: (0791) 83897260; E-mail: wenjiema@ecit.cn。

除能力很强,研究结果,地下渗滤系统去除的磷绝大部分都残留于渗滤系统内部,数年乃至数十年的长期运行磷便在系统内部得以大量积累,当介质对磷的吸附作用达到饱和后便会解吸到出水中,致使出水磷的含量超标造成 2 次污染^[9-12]。本研究选择河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣这 4 种介质进行解吸试验,用以研究介质对磷的解吸效果。

称取一定量已经达到饱和的河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣 4 种介质,加入 1 mol/L 的氯化钾溶液 100 mL 于锥形瓶中,加入 3 滴氯仿以抑制微生物活动,恒温振荡 48 h,在 4 000 r/min 速度下离心 30 min 后,取上清液测定磷浓度。

2 结果与分析

2.1 渗滤介质投加量对磷吸附的影响

不同渗滤介质投加量对吸附磷能力的影响试验结果见图 1。从图 1 可以看出,6 种介质在投加量增加初期,均较明显地出现了对磷的吸附量随着投加量的增加而增加的现象,但当投加量继续增加时,介质对磷的吸附增速开始减缓并逐渐趋于稳定。

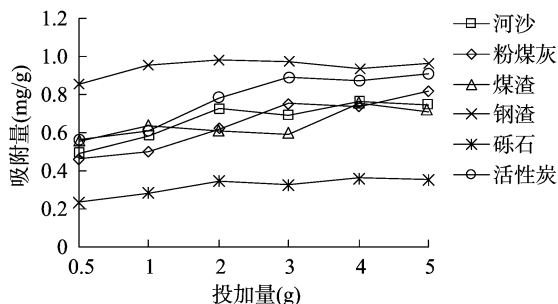


图1 介质投加量与磷吸附量的关系

在污染物与介质接触的短时间内,污染物便吸附到介质颗粒表面较易吸附的点位上,吸附量迅速增加,随着投加量的不断增加,提供较易吸附的点位增多,吸附量便随着投加量增加有较为明显的升高。但随着介质投加量的不断增加,污水中的磷浓度迅速降低,且由于在介质表面的吸附属于无机矿物吸附,它是一个可逆过程,因此,原来吸附在介质表面点位上的磷就容易被解吸出来,重新回到水中,进而达到动态吸附平衡,随着介质投加量的增加,介质对磷的吸附量增速开始减缓并趋于稳定。

从图 1 可以看出,当介质投加量为 2 g 时,6 种介质中除了砾石外其他的去除率都达到了 60% 以上,此时大部分介质对磷的吸附量维持在较高水平。综合经济性、去除率、吸附效率以及便于比较的条件下,选定 2 g 的投加量作为后续试验中 6 种介质的统一投加量。

2.2 磷初始浓度对磷吸附的影响

不同磷初始浓度对介质吸附磷能力的影响试验结果见图 2。从图 2 可以看出,6 种介质对磷的吸附能力随着初始磷浓度的提高而提高。

当磷初始浓度越高时,溶液与介质表面液膜之间的浓度差越大,那么驱使磷向介质表面迁移的动力也会增大^[13],因此,增大磷初始浓度有利于提高介质对磷的吸附量。但在磷低浓度条件下,介质的吸附量较大,因为溶液中的磷几乎都能与介质的吸附点位相接触,在磷高浓度下,溶液中的磷只有一

部分能与吸附介质的吸附点位相接触,吸附能力低于初始浓度低的溶液。

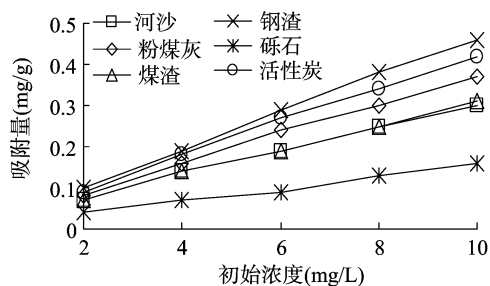


图2 磷初始浓度与吸附量的关系

2.3 介质类型对磷吸附平衡时间的影响

在相同磷初始浓度、相同介质投加量的条件下,介质类型对磷吸附平衡时间的影响结果见图 3。从图 3 可以看出,不同介质在相同时间内对磷的吸附量差异很大,达到吸附平衡的时间也不同,钢渣、活性炭、河沙、粉煤灰、煤渣、砾石达到吸附平衡的时间分别为 8、8、16、16、24、24 h。

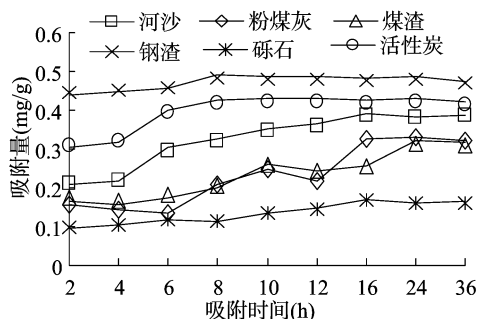


图3 介质类型与吸附平衡时间的关系

磷在各介质条件下总体的吸附平衡曲线形状相似,吸附初期吸附速率较快,随着反应时间的延长,吸附量增加逐渐变缓且趋于吸附平衡,与相关研究结果^[14-19]一致。由于介质不同,尤其是介质中有机碳含量的不同,介质对磷的吸附能力有所差异,研究表明,有机碳含量高的介质达到吸附平衡所需的时间更长^[14]。

2.4 吸附等温曲线拟合

根据“2.3”节试验结果,将河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣、砾石、活性炭的等温吸附曲线分别与非线性模型 Langmuir 和 Freundlich 进行拟合,根据相关系数得出最佳拟合模型,具体拟合参数见表 2。

从表 2 可以看出,不同介质的理论吸附容量为钢渣 > 活性炭 > 粉煤灰 > 煤渣 > 河沙 > 砾石。从 Freundlich 和 Langmuir 等温方程的相关系数可知,河沙、钢渣更符合 Langmuir 等温方程描述,其他 4 种介质都比较适合 Freundlich 等温方程描述。钢渣对磷的去除效果最好,因为钢渣中钙、铁氧化物的含量很高,与磷溶液混合容易形成磷酸盐沉淀,从而发生不可逆的化学吸附,而其他几种介质的去除作用主要是可逆的物理吸附。

2.5 动力学模型分析

为探讨吸附动力学特征,根据“2.3”节试验结果,将河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣、砾石、活性炭对磷的吸附数据与准二级动力学方程进行拟合,拟合结果见表 3。从表 3 可以看出,各种介质的除磷速率 V_{max} 依次为钢渣 > 煤渣 > 河沙 > 活

表 2 吸附等温线拟合方程

等温方程	河沙	粉煤灰	煤渣	钢渣	砾石	活性炭
Langmuir 模型最大吸附量 (mg/g)	0.654	0.800	0.749	1.477	0.564	0.868
吸附常数(K_L)	0.167	0.312	0.171	1.525	0.127	1.462
线性相关系数(r)	0.998	0.994	0.990	0.998	0.939	0.991
Freundlich 模型吸附常数 (mg/g)	1.559	0.818	1.564	1.295	1.335	2.420
量度吸附强度常数 (n)	1.267	1.319	1.242	1.187	1.216	1.184
线性相关系数(r)	0.994	0.995	0.994	0.998	0.994	0.991

表 3 准二级动力学方程拟合参数

准二级动力学方程参数	河沙	粉煤灰	煤渣	钢渣	砾石	活性炭
V_{\max} [mg/(g·h)]	0.069	0.031	0.071	0.505	0.001	0.041
准二级动力学速率常数 [g/(mg·min)]	0.486	0.179	0.539	2.178	0.002	0.105
复相关系数 (R)	0.991	0.998	0.989	0.999	0.995	0.998

炭>粉煤灰>砾石。

2.6 介质对磷的解吸效果

各介质对磷的解吸效果试验结果见表 4。从表 4 可以看出,钢渣在达到吸附饱和后的解吸率最小,这是由于钢渣对污染物的去除以非可逆的化学吸附和离子交换作用为主^[20],介质与磷分子形成单分子层,因此当介质达到吸附饱和后的解吸作用也就相应很小。其次是河沙、活性炭、煤渣、粉煤灰、砾石,这 5 种介质对污染物的去除是以可逆的物理作用为主,被吸附的磷分子既能在固-液两界面上形成单分子吸附层,又可形成多分子吸附层并能自由移动,故介质在达到吸附平衡后解吸率会比钢渣更大。

表 4 饱和介质的解吸效果

介质种类	初始磷含量 (mg/g)	平衡磷浓度 (mg/L)	解吸量 (mg/g)	解吸率 (%)
河沙	0.322	0.368	0.018	5.72
粉煤灰	0.389	0.882	0.044	11.33
煤渣	0.317	0.614	0.031	9.69
钢渣	0.476	0.032	0.002	0.33
砾石	0.163	0.552	0.028	16.99
活性炭	0.427	0.566	0.028	6.63

3 结论

通过河沙、粉煤灰、煤渣、钢渣、砾石、活性炭 6 种介质对农村生活水中磷的吸附特性研究,可以得出以下的结论:(1)各介质的理论吸附容量为钢渣>活性炭>粉煤灰>煤渣>河沙>砾石,河沙与钢渣更符合 Langmuir 等温方程描述,其他 4 种都比较适合 Freundlich 等温方程描述。(2)各种介质的除磷速率 V_{\max} 依次为钢渣>煤渣>河沙>活性炭>粉煤灰>砾石,钢渣在达到吸附饱和后的解吸率最小,其次是河沙、活性炭、煤渣、粉煤灰、砾石。(3)钢渣、活性炭、河沙、粉煤灰、煤渣、砾石对磷达到吸附平衡的时间分别为 8、8、16、16、24、24 h。

参考文献:

[1]顾润南. 我国城市生活污水处理方法评述[J]. 环境保护,2001(9):46-47.
[2]宋志文,毕学军,曹 军. 人工湿地及其在我国小城市污水处理中的应用[J]. 生态学杂志,2003,22(3):74-78.
[3]国家环保总局. 中国环境状况公报[J]. 环境保护,2010(7):

3-9.
[4]陈 娟. 人工湿地基质去除污水中氮磷效果的试验研究[D]. 南京:南京农业大学,2008.
[5]黄丽华,张卫民. 地下渗滤系统处理生活污水的研究进展[J]. 江苏环境科技,2008,21(增刊):105-107.
[6]Hylander L D, Simón G. Plant availability of Phosphorus sorbed to potential wastewater treatment materials[J]. Biology and Fertility of Soils,2001,34(1):42-48.
[7]Johansson L. Industrial by-products and natural substrata as Phosphorus sorbents[J]. Environmental Technology,1999,20(3):309-316.
[8]王祚雯,刘康怀,司圣飞,等. 人工快渗系统优化填料组合试验研究[J]. 安全与环境工程,2013,20(6):81-84,89.
[9]Ozacar M. Equilibrium and kinetic modeling of adsorption of Phosphorus on calcined alunite[J]. Adsorption,2003,9(2):125-132.
[10]Mansell R S. Experimental and simulated P transport in soil using a multireaction model[J]. Soil Science,1993,153(3):185-194.
[11]赵桂瑜. 人工湿地除磷基质筛选及其吸附机理研究[D]. 上海:同济大学,2007.
[12]朱文涛,司马小峰,方 涛. 几种基质对水中磷的吸附特征[J]. 中国环境科学,2011,31(7):1186-1191.
[13]戴 强,张卫民,艾林芳. 几种基质对铵态氮静态吸附特性的影响[J]. 江苏农业科学,2012,40(4):353-355.
[14]马文洁,何江涛,金爱芳,等. 蔡和 p,p' -DDE 在典型包气带介质上的吸附动力学及吸附-解吸特征[J]. 农业环境科学学报,2010,29(7):1275-1282.
[15]Baveye P, Vandevivere P, Hoyle B L, et al. Environmental impact and mechanisms of the biological clogging of saturated soils and aquifer materials[J]. Environmental Science and Technology,1998,282:123-191.
[16]Sharma S K, Hussen M, Amy G. Soil aquifer treatment using advanced primary effluent[J]. Water Science & Technology,2011,64(3):640-646.
[17]戴 强,张卫民,艾林芳. 地下渗滤系统基质的筛选[J]. 安徽农业科学,2012,40(9):5446-5447,5458.
[18]袁东海,景丽洁,高士祥,等. 几种人工湿地基质净化磷素污染性能的分析[J]. 环境科学,2005,26(1):51-55.
[19]李倩因,张建强,谢 江,等. 人工湿地基质吸附磷素性能及动力学研究[J]. 水处理技术,2011,37(9):64-67.
[20]赵桂瑜,周 琪. 钢渣吸附除磷机理研究[J]. 水处理技术,2009,35(11):45-47.