

Research Status of Purification Technology for Fluoride Removal from Groundwater

Lue Xiong, Kai Huang*

School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing
Email: *khuang@metall.ustb.edu.cn

Received: Nov. 30th, 2018; accepted: Dec. 18th, 2018; published: Dec. 27th, 2018

Abstract

Due to natural reasons and the increase in the production of fluorine industry in China in recent years, the fluoride content of groundwater in some areas exceeds the standard, leading to frequent occurrence of endemic fluorosis, which is harmful to people's health, especially in remote rural areas. At present, some of the main methods for treating fluoride ions in water include coagulation sedimentation, lime precipitation, ion exchange, electrocoagulation, reverse osmosis, and adsorption. Compared with other methods, the adsorption method has advantages in terms of industrial cost, fluorine removal efficiency, and process operation. This paper emphatically introduces the defluorination by biosorption and briefly discusses its mechanism, which shows the feasibility of biosorption for defluorination. Several suggestions for the treatment of high-fluorine groundwater are proposed, and the further development of biosorption in the future is expected.

Keywords

High Concentration of Fluoride Groundwater, Methods of Purification, Biosorption, Mechanism of Defluorination

地下水除氟的净化技术研究现状

熊 略, 黄 凯*

北京科技大学, 冶金与生态环境工程学院, 北京
Email: *khuang@metall.ustb.edu.cn

收稿日期: 2018年11月30日; 录用日期: 2018年12月18日; 发布日期: 2018年12月27日

*通讯作者。

摘要

由于自然原因和近年来我国氟工业生产的增多, 一些地区地下水氟含量超标, 导致地方性氟病频发, 对人们的身体健康造成危害, 偏远农村地区尤为严重。目前处理水中氟离子的主要方法有混凝沉淀法、石灰沉淀法、离子交换法、电凝聚法、反渗透法、吸附法。相比其他方法, 吸附法在工业成本、除氟效率、工艺操作等方面具有优势。着重介绍生物吸附法除氟, 并对除氟机理进行简要探讨, 说明生物吸附除氟具有可行性。针对高氟地下水的处理问题提出几点建议, 展望生物吸附在未来的进一步发展。

关键词

高氟地下水, 净化方法, 生物吸附, 除氟机理

Copyright © 2019 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

氟是自然界中广泛分布的元素之一, 在自然界中主要以萤石(CaF_2)、冰晶石(Na_3AlF_6)及氟磷灰石($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$)存在[1]。我国在有火成岩和变质岩的地方经常发现含氟矿物。这些矿物质可能会溶解, 从而导致地下水氟化物含量显著增加。同时氟也是人体必需的微量元素之一, 饮用水中低浓度氟化物(0.5~1 mg/L)有助于维持人体的钙、磷代谢稳定, 预防龋齿和加强骨骼。相反, 如果长期暴露于高氟浓度下, 不仅会导致硬组织畸形, 即牙齿和骨骼氟中毒, 造成氟斑牙与氟骨症, 而且还会损伤软组织, 如肝、肾、肺等。高氟化物浓度也可能诱发骨骼癌和神经毒理作用[2] [3] [4] [5] [6]。我国《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)规定: 饮用水中氟化物的含量 $\leq 1.0 \text{ mg-F/L}$ 。工业上, 开采含氟矿石、冶炼金属、电镀、玻璃、农药等行业排放的大量废水中常带有高浓度的氟化物, 造成过多的氟元素进入土壤和地下水中, 并可能通过食物、饮用水等摄入人体中[7] [8]。目前中国饮用高氟水的人口有 5 千万人左右, 占饮用水不安全人口的 16%, 占饮用水水质超标不安全人口的 22%。分布范围也比较广泛, 主要分布在华北、东北及西北地区的部分省、自治区[9] [10] [11]。

2. 含氟水处理的常用方法

目前国内外主要除氟方法有: 混凝沉淀法、石灰沉淀法、离子交换法、电凝聚法、反渗透法、吸附法等[12] [13] [14]。一般都是从脱氟效果、处理成本、处理安全性及长久维护使用的便利性等诸多方面来进行综合比较, 从而筛选出最佳的脱氟技术方法。

2.1. 混凝沉淀法

混凝过程是工业用水和生活污水处理中最基本也是极为重要的处理过程, 通过向水中投加一些药剂(通常称为混凝剂及助凝剂), 使水中难以沉降的微细颗粒物能互相聚合而形成胶体, 然后与水体中的可溶性或不可溶的各种杂质结合形成更大的絮凝体。絮凝体具有强大吸附力, 不仅能吸附悬浮物, 还能吸附部分细菌和溶解性物质。絮凝体通过吸附, 体积增大而下沉。

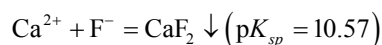
利用混凝沉淀法除去水中氟化物就是基于混凝剂(主要采用铝盐和铁盐)在水中会快速水解, 形成大量

的带正电荷的胶体粒子。这种胶粒可吸附水中的氟离子, 并且可以相互碰撞结成大块的絮状物沉淀。

现在应用较为广泛的混凝剂是铝盐, 包括明矾、氯化铝、硫酸铝、聚合氯化铝。混凝沉淀工艺在水处理上有工艺运行稳定可靠、经济实用、操作简便等优点。但也存在缺陷, 即除氟效果受搅拌条件、沉降时间等操作因素及水中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 等共存阴离子浓度的影响较大, 出水水质不够稳定[15]。另外, 残留在水中的铝离子可能会对饮用者的记忆力等造成伤害。铝盐混凝法成熟、可靠, 铝离子遇水水解会导致水呈酸性, 添加量越大, 酸性越强, 因此需要添加合适的碱调节水的 pH 值。

2.2. 石灰沉淀法

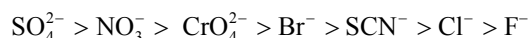
石灰沉淀法是通过向水中投加一定量的石灰与可溶性钙盐(氯化钙和硫酸钙), 使得 Ca^{2+} 和 F^- 生成沉淀而达到除氟目的[16]。



常用的钙盐有石灰、氯化钙、氧化钙、硫酸钙、氢氧化钙、碳酸钙等。其中石灰和硫酸钙价格低廉, 但它们的溶解度较小, 只能以乳状液投加。而生成的 CaF_2 沉淀会将 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 CaSO_4 颗粒表面包裹, 如果水中含有一定数量的盐类, 例如 NaCl 、 NaSO_4 时, 将会增大 CaF_2 的溶解度, 从而使石灰用量很大。另外, 石灰沉淀法除氟往往受氟化钙溶解度的影响, 导致处理后水中氟离子浓度达不到饮用水标准, 因此该方法主要用于含氟较高的工业水处理或者作为前级预处理用。

2.3. 离子交换法

离子交换法是利用离子交换剂中的可交换基团与溶液中各种离子间的离子交换能力的不同来进行分离的一种方法[17]。离子交换法除氟是先将离子交换剂装在柱状装置中, 然后让含氟水流经该柱装置, 在此过程中氟离子会与交换剂上的阴离子或原子团发生交换, 氟离子得以去除。离子交换法常用的交换剂是阴离子交换树脂, 因为含氟水由柱装置自上而下流动, 相当于进行了多次吸附, 所以可将氟降至 1 mg/L 以下。但由于地下水含有其他阴离子, 常常会干扰影响到脱氟效果。阴离子交换树脂对地下水中主要阴离子的吸附交换能力优先序为:



由于地下水含有其他阴离子, 不可避免会对脱氟效果产生一定影响。因此, 对于地下水而言, 阴离子交换树脂对氟的选择吸附交换能力较低, 一般 1 kg 树脂的交换容量约为 1 g 氟。

2.4. 电凝聚法

电凝聚法是利用电解铝过程中生成羟基铝络合物和 $[\text{Al}(\text{OH})_3]_m$ 凝胶的络合凝聚作用除氟的方法。电凝聚法对饮用水进水除氟, 其处理水质中氟含量达到饮用水标准。但电凝聚法除氟存在着电极钝化问题, 导致除氟能力降低[18]。

2.5. 反渗透法

反渗透法是在膜组件的原水一侧施加比溶液渗透压高的外界压力, 原水透过半透膜时, 只允许水透过, 其他物质不能透过而被截留在膜表面的过程[19]。采用反渗透法对地下水中氟进行去除研究, 结果表明: 因氟离子直径为 0.266 nm, 反渗透膜的处理范围在 0.1 nm 左右, 所以该法可有效去除地下水中氟离子, 当水中含盐量超过 5 g/L 时, 反渗透除氟效率明显降低。反渗透技术可高效除氟, 但其膜组件费用昂贵, 维护麻烦, 不适合在我国偏远农村地区推广。

2.6. 吸附法

吸附法主要是将含氟地下水通过装有氟吸附剂的设备, 氟与吸附剂上的其他离子或基团交换或发生配位结合作用而留在吸附剂上被除去, 吸附剂则通过再生来恢复交换能力[20]-[25]。此种方法主要用于处理含氟量较低的地下水的深度净化处理, 考虑到我国大部分地区的地下水中氟的含量大约都在几个 mg/L 左右, 因此吸附法在地下水的氟脱除净化方面属于很合适的技术选择之一。吸附法除氟中应用较多的吸附剂有骨炭、粉煤灰、活化铝、天然沸石、聚合铝盐、氢氧化铝、活性氧化铝、活性氧化镁、层状铝镁化合物等。利用上述吸附剂可以将 10 mg/L 以下的含氟天然水处理至 1.0 mg/L 以下, 达到饮用水标准。

3. 生物吸附法

3.1. 背景

生物吸附现象在自然界中普遍存在, 在环境地球化学、废水生物处理工艺中具有重要意义[26]。由于人们认识到生物吸附的物理化学机制, 死亡生物体表现出良好的生物吸附性能, 因此, 从以废治废、节约吸附剂制造成本等方面考虑, 早在 20 世纪 70~80 年代, 甚至更早, 人们已经明确提出可以使用工、农业废弃物, 如活性污泥、微生物发酵工厂废弃菌丝体(如啤酒厂废弃酵母、柠檬酸厂产生的黑曲霉等)、虾贝壳类的提纯产品壳聚糖等作为生物吸附剂的来源。

生物吸附剂是指以生物为主体材料、对水体中污染物(如重金属、有害阴离子、放射性核素以及有机污染物等)具有吸附(去除)能力的材料。生物吸附机制包括离子交换、配合、螯合、吸附、静电相互作用、微沉淀等。用于生物吸附的各种材料种类繁多, 主要包括细菌、酵母、丝状真菌、藻类、工业废弃物、农业废弃物、多糖类物质等[27] [28]。目前, 人们在研究中利用的生物吸附剂主要包括: ① 易于获得的生物质种类; ② 利用生物学方法鉴定的品种; ③ 对原始生物材料进行改性以便获得更优良的吸附性能材料。

3.2. 生物质金属负载高价金属制备吸附脱氟材料

生物质金属负载吸附材料的制备主要是通过将金属离子或者金属氧化物与生物质表面的羧基、羟基或其他官能团反应, 从而将其负载于生物质表面。目前应用较多的主要是 Zr(IV)、Fe(III)、Al(III)、Ti(IV) 以及 Sn(IV) 等金属离子[29] [30]。除此之外, 利用稀土金属离子包括 Ce(III)、Sm(III)、Ho(III)、Sc(III)、Lu(III), Nd(III) 等制备金属负载生物质也有较多的报到[31] [32]。不同的生物质材料, 对这些高价金属离子的负载能力(负载容量、负载结合强度、吸附选择性等)各有差异。

3.3. 生物吸附法除去地下水中氟的机理

一些生物质材料富含 -COOH、多酚-OH、-SH 等功能团, 经皂化反应后可与各种金属离子发生螯合反应。目前应用较为广泛的生物质吸附材料有小麦、水稻、玉米的秸秆, 以及大蒜皮等。与其他生物质材料相比, 这些材料价格低廉、来源广泛、可实现资源二次利用等优势。比如, 可让合适的农业废弃物负载一定量的铝, 则如此改性制备得到的生物吸附剂能够对溶液中 F^- 进行有效去除, 主要原因是 F^- 能够与负载的金属离子形成较为稳定的配位键。

利用 MEDUSA 软件分析一定总物质浓度、pH 范围下 $F-H_2O$ 体系与 $Al-F-H_2O$ 体系下不同存在形态所占的百分比(图 1、图 2)。图 1 显示了氟离子在不同 pH 条件下的赋存形态分布情况, 在极稀浓度下主要以 HF 或 F^- 形式存在; 而在铝离子存在的情况下, 则可从图 2 看出氟与铝离子在一定 pH 范围内具有较强的配合作用。因此, 若将 Al^{3+} 负载到生物质材料上, 再对含氟水进行吸附, 则可使溶液中的氟通过良

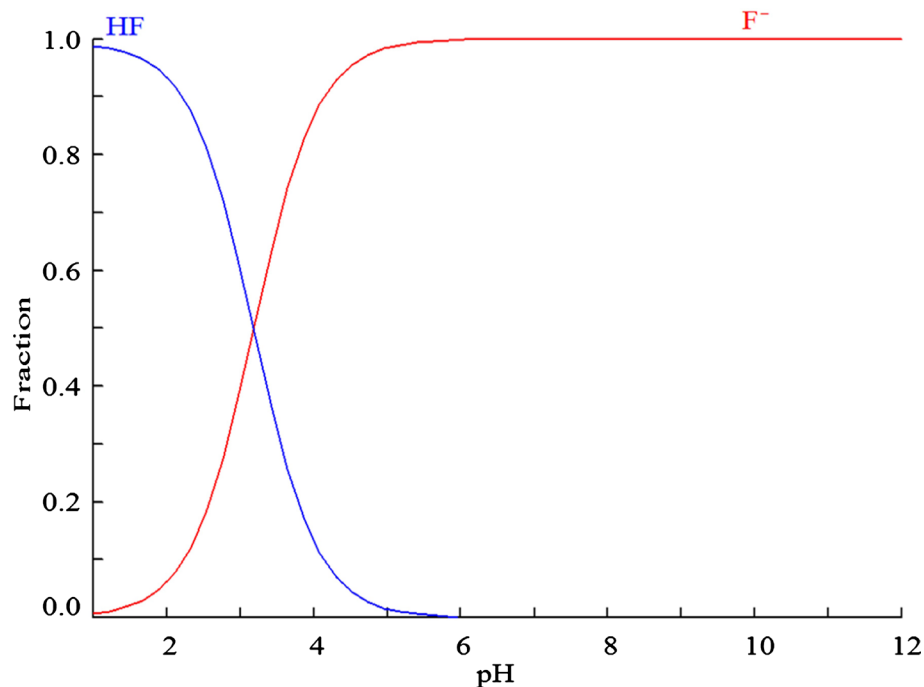


Figure 1. Distribution of various forms of fluorine in aqueous solution at different pH values (total fluoride concentration 1 mM)

图 1. 氟在水溶液中不同 pH 值下各种形式的分布(总氟浓度 1 mM)

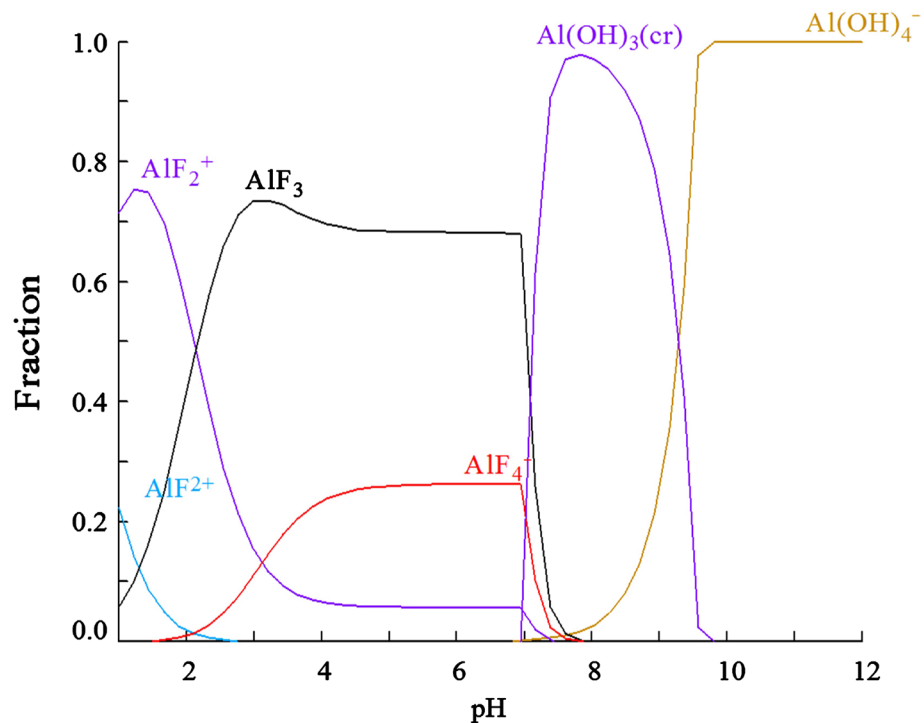


Figure 2. The effect of the intercalation of aluminum ions immobilized on the biosorbent material on the morphological distribution of fluorine in the fluorine-containing solution at different pH values (total fluoride concentration 1 mM, total aluminum concentration 10 mM)

图 2. 生物吸附材料上固载的铝离子的介入对含氟溶液中氟在不同 pH 值下存在形态分布的影响(总氟浓度 1 mM, 总铝浓度 10 mM)

好的配合作用与吸附材料上负载的铝形成 AlF_2^{2+} 、 AlF_2^+ 、 AlF_3 、 AlF_4^- 等形式而转移到吸附材料上(图 2), 经固液分离, 可达到除氟的目的。

基于以上的思路, 若能够制备出对氟具有良好吸附脱除能力的生物质材料, 则可望为我国广大农村、偏远地区以地下水为主要饮用水源的人们群众提供一种高效、安全、便宜、简便的新型除氟办法。

4. 研究展望

高氟地下水除氟的众多方法中, 混凝沉淀法、石灰沉淀法、离子交换法、电凝聚法、反渗透法等发展的关键在于如何在现有的基础上优化设备、流程, 做到成本有较大幅度地降低, 这样才能有效除氟以及工艺流程的长时间运行。吸附法因为吸附剂众多, 还需要不断地探索。其中生物吸附法具有原材料丰富、成本低廉、工艺流程简单等特点, 相信以后会出现越来越多的生物吸附剂, 并逐渐实现工业化, 让偏远地区的人们远离高氟地下水带来的严重伤害。

5. 结语与建议

高氟地下水的处理问题关系到我国人民的健康, 特别是一些地下水氟含量超标的农村偏远地区, 应持续对各种处理方法进行优化, 在此提出几点建议:

- 1) 目前针对地下水氟处理研究多处于实验室阶段, 距离在高氟地区的实用化净水推广还有一定的距离, 需要对处理设备、条件不断改善;
- 2) 一些氟处理方法在进行过程中会引入新的有害杂质, 须对处理原料、工艺流程进行调整;
- 3) 生物吸附的生物质材料选择多样, 需要在产量、经济性、方便性、安全性、净化效果、能否实现大规模推广等方面进行综合考虑;
- 4) 生物质材料改性过程中的条件控制要通过大量的对比试验找到安全、绿色、对环境友好的改性技术;
- 5) 生物质吸附剂吸附条件控制, 比如 pH、温度、固液比、共存离子等测定的基础上, 如何进一步与实际应用结合, 也是一个需要考虑的方面。

致 谢

本论文研究工作得到了北京市教委联合共建基金项目支持(No.00012245)。

参考文献

- [1] Xiao, J., Jin, Z. and Zhang, F. (2015) Geochemical Controls on Fluoride Concentrations in Natural Waters from the Middle Loess Plateau, China. *Journal of Geochemical Exploration*, **59**, 52-261. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.09.018>
- [2] Zhang, L.E., Huang, D., Yang, J., Wei, X., Qin, J., Ou, S., Zhang, Z. and Zou, Y. (2017) Probabilistic Risk Assessment of Chinese Residents' Exposure to Fluoride in Improved Drinking Water in Endemic Fluorosis Areas. *Environmental Pollution*, **22**, 18-125. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.074>
- [3] Guissouma, W., Hakami, O., Al-Rajab, A.J. and Tarhouni, J. (2017) Risk Assessment of Fluoride Exposure in Drinking Water of Tunisia. *Chemosphere*, **177**, 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.011>
- [4] Abouleish, M.Y. (2016) Evaluation of Fluoride Levels in Bottled Water and Their Contribution to Health and Teeth Problems in the United Arab Emirates. *The Saudi Dental Journal*, **28**, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2016.08.002>
- [5] Rango, T., Vengosh, A., Jeuland, M., Whitford, G.M. and Tekle-Haimanot, R. (2017) Biomarkers of Chronic Fluoride Exposure in Groundwater in a Highly Exposed Population. *The Science of the Total Environment*, **596-597**, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.021>
- [6] Baouia, K. and Messaitfa, A. (2015) Distribution and Removal of Fluoride Ions in the Drinking Waters in the Algerian South (Ouargla as a Showcase). *Energy Procedia*, **74**, 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.610>

- [7] Huang, C.J. and Liu, J.C. (1999) Precipitate Flotation of Fluoride—Containing Waste Water from a Semiconductor Manufacturer. *Water Research*, **33**, 3403-3412. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00065-2)
- [8] 李水艳. 国内外含氟水处理方法及技术应用[J]. 科技情报开发与经济, 2002(6): 127-128.
- [9] He, J., An, Y. and Zhang, F. (2013) Geochemical Characteristics and Fluoride Distribution in the Groundwater of the Zhangye Basin in Northwestern China. *Journal of Geochemical Exploration*, **135**, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.12.012>
- [10] 朱其顺, 许光泉. 中国地下水氟污染的现状及其研究进展[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(1): 42-44.
- [11] 何锦, 张福存, 韩双宝, 李旭峰, 姚秀菊, 张徽. 中国北方高氟地下水分布特征和成因分析[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 621-626.
- [12] Singh, J., Singh, P. and Singh, A. (2016) Fluoride Ions vs Removal Technologies: A Study. *Arabian Journal of Chemistry*, **9**, 815-824. <https://doi.org/10.1016/j.arabj.2014.06.005>
- [13] Mohapatra, M., Anand, S., Mishra, B.K., Giles, D.E. and Singh, P. (2009) Review of Fluoride Removal from Drinking Water. *Journal of Environmental Management*, **91**, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.015>
- [14] Meenakshi and Maheshwari, R.C. (2006) Fluoride in Drinking Water and Its Removal. *Journal of Hazardous Materials*, **37**, 456-463. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.024>
- [15] 薛英文, 杨开, 梅健. 混凝沉淀法除氟影响因素试验研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2010, 43(4): 477-480.
- [16] Liu, C.-C. and Liu, J.C. (2016) Coupled Precipitation-Ultrafiltration for Treatment of High Fluoride-Content Wastewater. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **58**, 259-263. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.05.038>
- [17] 李华, 孔令东. 改性阳离子交换树脂的制备及其除氟性能研究[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2008, 29(4): 352-355.
- [18] Behbahani, M., Moghaddam, M.R.A. and Arami, M. (2011) Techno-Economical Evaluation of Fluoride Removal by Electrocoagulation Process: Optimization through Response Surface Methodology. *Desalination*, **271**, 209-218. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.033>
- [19] Shen, J., Richards, B.S. and Schäfer, A.I. (2016) Renewable Energy Powered Membrane Technology: Case Study of St. Dorcas Borehole in Tanzania Demonstrating Fluoride Removal via Nanofiltration/Reverse Osmosis. *Separation and Purification Technology*, **170**, 445-452. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.06.042>
- [20] Bhatnagar, A., Kumar, E. and Sillanpää, M. (2011) Fluoride Removal from Water by Adsorption—A Review. *Chemical Engineering Journal*, **171**, 811-840. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.028>
- [21] Xu, L., Chen, G., Peng, C., Qiao, H., Ke, F., Hou, R., Li, D., Cai, H. and Wan, X. (2017) Adsorptive Removal of Fluoride from Drinking Water Using Porous Starch Loaded with Common Metal Ions. *Carbohydrate Polymers*, **160**, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.052>
- [22] García-Sánchez, J.J., Solache-Ríos, M., Martínez-Gutiérrez, J.M., Arteaga-Larios, N.V., Ojeda-Escamilla, M.C. and Rodríguez-Torres, I. (2016) Modified Natural Magnetite with Al and La Ions for the Adsorption of Fluoride Ions from Aqueous Solutions. *Journal of Fluorine Chemistry*, **186**, 115-124. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2016.05.004>
- [23] Teutli-Sequeira, A., Solache-Rios, M., Martinez-Miranda, V. and Linares-Hernandez, I. (2014) Comparison of Aluminum Modified Natural Materials in the Removal of Fluoride Ions. *Journal of Colloid and Interface Science*, **418**, 254-260. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.12.020>
- [24] Mondal, N.K., Bhaumik, R. and Datta, J.K. (2015) Removal of Fluoride by Aluminum Impregnated Coconut Fiber from Synthetic Fluoride Solution and Natural Water. *Alexandria Engineering Journal*, **54**, 1273-1284. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.08.006>
- [25] Sepehr, M.N., Kazemian, H., Ghahramani, E., Amrane, A., Sivasankar, V. and Zarrabi, M. (2014) Defluoridation of Water via Light Weight Expanded Clay Aggregate (LECA): Adsorbent Characterization, Competing Ions, Chemical Regeneration, Equilibrium and Kinetic Modeling. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **45**, 1821-1834. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.02.009>
- [26] Fomina, M. and Gadd, G.M. (2014) Biosorption: Current Perspectives on Concept, Definition and Application. *Biore-source Technology*, **160**, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>
- [27] Vendruscolo, F., da Rocha Ferreira, G.L. and Antoniosi Filho, N.R. (2017) Biosorption of Hexavalent Chromium by Microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **119**, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.008>
- [28] Vijayaraghavan, K. and Yun, Y.S. (2008) Bacterial Biosorbents and Biosorption. *Biotechnology Advances*, **26**, 266-291. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.02.002>
- [29] Wang, M., Yu, X.L., Yang, C.L., Yang, X.Q., Lin, M.Y., Guan, L.T. and Ge, M.F. (2017) Removal of Fluoride from Aqueous Solution by Mg-Al-Zr Triple-Metal Composite. *Chemical Engineering Journal*, **322**, 246-253.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.03.155>

- [30] Kuang, L., Liu, Y., Fu, D. and Zhao, Y. (2017) FeOOH-Graphene Oxide Nanocomposites for Fluoride Removal from Water: Acetate Mediated Nano FeOOH Growth and Adsorption Mechanism, *Journal of Colloid and Interface Science*, **490**, 259-269. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.11.071>
- [31] Abo Markeb, A., Alonso, A., Sánchez, A. and Font, X. (2017) Adsorption Process of Fluoride from Drinking Water with Magnetic Core-Shell Ce-Ti@Fe₃O₄ and Ce-Ti Oxide Nanoparticles. *Science of the Total Environment*, **598**, 949-958. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.191>
- [32] Paudyal, H., Pangeni, B., Ghimire, K.N., Inoue, K., Ohto, K., Kawakita, H. and Alam, S. (2012) Adsorption Behavior of Orange Waste Gel for Some Rare Earth Ions and Its Application to the Removal of Fluoride from Water. *Chemical Engineering Journal*, **195-196**, 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.04.061>

Hans 汉斯

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: 2160-7540, 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: sd@hanspub.org