

电吸附去除水中 Fe^{3+} 研究

黄成思, 苏 斌, 段小月

(吉林师范大学 环境科学与工程学院, 吉林 四平 136000)

摘要:采用活性炭纤维电极电吸附水中 Fe^{3+} , 研究电压、 Fe^{3+} 初始浓度、pH 值、温度对电吸附去除水中 Fe^{3+} 效果的影响。实验结果表明:随着电压升高, Fe^{3+} 去除率升高; Fe^{3+} 初始浓度越大, Fe^{3+} 去除率降低, 但活性炭纤维的吸附容量增大; 溶液的 pH 值偏碱性时, Fe^{3+} 的去除率较高; 温度越高, Fe^{3+} 去除率也越高, 但是温度高于 40 °C 时, 由于溶液蒸发, Fe^{3+} 浓度降低较慢。此外, 活性炭纤维电极再生实验结果表明, 活性炭纤维电吸附 Fe^{3+} 之后电极具有良好的再生性。

关键词:活性炭纤维; 电吸附; Fe^{3+} ; 再生

中图分类号:O657.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2015)06-0054-03

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2015.06.020

A Study on Electro-adsorption of Fe^{3+} in Water

HUANG Cheng-si, SU Bin, DUAN Xiao-yue

(School of Environmental Science and Engineering, Jilin Normal University, Siping 136000, China)

Abstract: In this study, the activated carbon fiber electrodes are used to remove Fe^{3+} in water by electro-adsorption and the influence of voltage, initial concentration of Fe^{3+} , pH value, and temperature on the removal ratio of Fe^{3+} is investigated. The results show that, with the increasing voltage, the Fe^{3+} removal ratio increases, that the bigger the initial concentration of Fe^{3+} is, the smaller the Fe^{3+} removal ratio is, but the adsorption capacity of the activated carbon fiber increases, that when the pH of the solution is alkaline, Fe^{3+} removal ratio increase with rising temperature, but when the temperature is higher than 40 °C, Fe^{3+} concentration decreases slowly due to the evaporation of the solution. In addition, testing of the regeneration of activated carbon fiber indicates that the activated carbon fiber electrode, after used for electro-adsorption of Fe^{3+} , has good reproducibility.

Key Words: activated carbon fiber; electro-adsorption; Fe^{3+} ; regeneration

电吸附技术是通过在电极表面施加电压,使带电离子向相反的电极运动并储存在电极的双电层中,从而达到去除水中离子的目的^[1-2]。当电极达到饱和后,将电极反接,在电极与吸附离子之间的静电斥力作用下,离子从电极上脱附下来,电极得到再生^[3-4]。因此,电吸附技术除了具有投资少、能耗低、无二次污染的优点外,电极还极易再生,循环寿命长,是一种既经济又有效的去除水中离子的方法^[5-7]。活性炭纤维由于其比表面积大,孔洞结构发达,成为电吸附技术的一种常用电极材料^[8]。本研究即利用活性炭纤维电极电吸附水中 Fe^{3+} , 研究电压、 Fe^{3+} 离子初始浓度、溶液 pH 值、温度对 Fe^{3+} 去除率的影响。

1 实验部分

1.1 活性炭纤维的预处理

将活性炭纤维剪成 3 cm×5 cm 大小,利用超纯水洗净,放入烘箱中 120 °C 下烘干。

1.2 电吸附实验

取 20 mL 一定浓度的 FeCl_3 溶液置于小玻璃槽中,将两个与电源相连的活性炭纤维电极紧贴槽壁置于溶液中,电极上施加一定的电压,每 10 min 测一次溶液中 Fe^{3+} 的浓度,直至浓度不再下降。然后,将电极反接 20 min,电极得到再生。溶液中 Fe^{3+} 的浓度利用溶液的电导率测定。

收稿日期:2015-10-11

基金项目:国家自然科学基金项目(61405071)

作者简介:黄成思(1978-),女,吉林四平人,助理研究员,硕士,主要从事电化学水处理研究。

2 结果与讨论

2.1 电压对电吸附效果的影响

电吸附过程是利用静电引力吸附水中离子, 所以电压是影响电吸附效果的最主要因素。为了考察电压对活性炭纤维电吸附水中 Fe^{3+} 的影响, 在温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, Fe^{3+} 初始浓度为 1 mmol/L , pH 值未调的条件下, 分别施加 0.9 V , 1.2 V , 1.5 V , 1.8 V 的电压进行电吸附研究, 结果如图 1 所示。由图 1 可知, 在施加电压范围内, 随着电压的增大, Fe^{3+} 去除率逐渐升高。当吸附平衡时, 在 0.9 V 的电压下, Fe^{3+} 去除率为 45.1% ; 而电压升到 1.8 V 时, Fe^{3+} 去除率达到 69.0% , 约为 0.9 V 时的 1.5 倍。

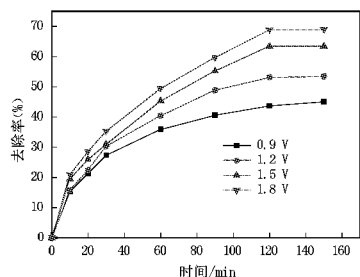


图 1 不同电压下 Fe^{3+} 去除率随时间变化曲线

2.2 Fe^{3+} 初始浓度对电吸附效果的影响

溶液中 Fe^{3+} 的初始浓度也是影响吸附效果的重要因素之一。图 2 为 1.5 V 电压、 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度、pH 值未调条件下, Fe^{3+} 的初始浓度 (0.25 mmol/L , 0.5 mmol/L , 1 mmol/L , 1.5 mmol/L 和 2 mmol/L) 对电吸附 Fe^{3+} 去除率的影响曲线。由图 2 可知, 在不同 Fe^{3+} 初始浓度下, 随着电吸附时间的延长, Fe^{3+} 去除率都逐渐升高, 且 Fe^{3+} 的初始浓度越低, 达到吸附平衡后, Fe^{3+} 最终去除率越高。根据活性炭纤维电极质量与 Fe^{3+} 去除量计算, Fe^{3+} 初始浓度为 0.25 mmol/L , 0.5 mmol/L , 1 mmol/L , 1.5 mmol/L 和 2 mmol/L 时, 活性炭纤维的吸附容量分别为 0.017 mmol/g , 0.030 mmol/g , 0.051 mmol/g , 0.054 mmol/g 和 0.056 mmol/g 。可见, 随着 Fe^{3+} 初始浓度的增加, 虽然 Fe^{3+} 去除率降低, 但活性炭纤维的吸附容量升高。

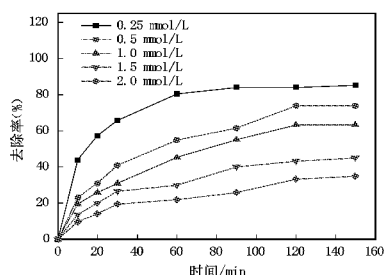


图 2 不同初始浓度下 Fe^{3+} 去除率随时间变化曲线

2.3 pH 值对电吸附效果的影响

pH 值影响离子在溶液中的存在状态, 所以测试了溶液

pH 值分别为 3.0 , 6.0 和 8.0 时, 在电压 1.5 V , 温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, Fe^{3+} 离子初始浓度为 1 mmol/L 的条件下, Fe^{3+} 去除率随时间变化的情况, 结果如图 3 所示。由图 3 可知, 当溶液 pH 值为 3.0 和 6.0 时, 溶液中 Fe^{3+} 去除率无明显区别, 而当溶液 pH 值进一步升高至 8.0 时, Fe^{3+} 去除率迅速升高。这可能是因为, 在高 pH 值下, 部分 Fe^{3+} 形成以胶体形式存在的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, 更有利于 Fe^{3+} 的去除。

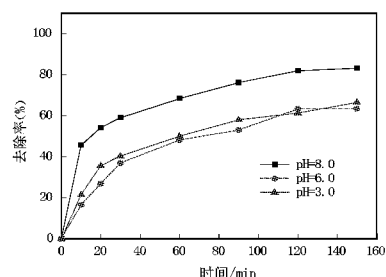


图 3 不同 pH 值下 Fe^{3+} 去除率随时间变化曲线

2.4 温度对电吸附效果的影响

在电压为 1.5 V , Fe^{3+} 初始浓度为 1 mmol/L , pH 值未调的情况下, 研究温度对 Fe^{3+} 去除率的影响, 结果如图 4 所示。由图 4 可知, 随着温度的升高, Fe^{3+} 去除率先升高, 后下降。这可能是因为, 随着温度的升高, 溶液中离子运动速度加快, 有利于在短时间内快速去除离子, 但当温度过高 ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) 时, 可能会使溶液中水蒸发加快, 溶液离子浓度升高, Fe^{3+} 浓度降低较慢。

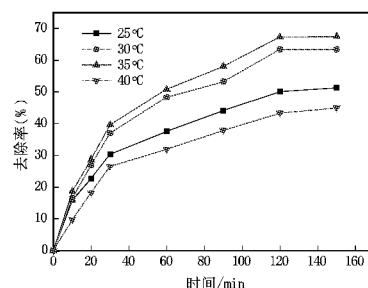


图 4 不同温度下 Fe^{3+} 去除率随时间变化曲线

2.5 电极再生

电吸附过程的一大优点是将电极反接或断电即可实现电极再生。图 5 为活性炭纤维电吸附 Fe^{3+} 四个循环的吸附和脱附情况。由图 5 可知, 与第一个循环相比, 第二个循环中的吸附率略有下降, 而脱附率上升。之后, 吸附率和脱附率均没有明显变化, 说明电吸附 Fe^{3+} 之后的活性炭纤维电极具有良好的再生性。

3 结论

(1) 电压越高, 电吸附 Fe^{3+} 去除率越大。当吸附平衡时, 1.8 V 电压下 Fe^{3+} 去除率约为 0.9 V 时的 1.5 倍。

(2) 随着 Fe^{3+} 初始浓度的增大, Fe^{3+} 去除率逐渐下降, 但 Fe^{3+} 在单位质量活性炭纤维上的吸附容量却逐渐上升。

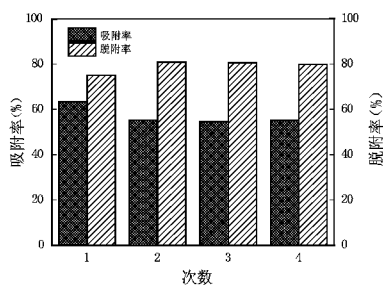


图 5 活性炭纤维电极对 Fe^{3+} 电吸附/脱附循环

(3)溶液的 pH 值偏碱性时, Fe^{3+} 的去除率较高。

(4)随着温度的升高, Fe^{3+} 的去除率升高,但温度过高,由于溶液蒸发严重, Fe^{3+} 浓度降低较慢。

(5)第二个吸附/脱附循环与第一个循环相比 Fe^{3+} 的吸附率和脱附率有变化外,之后的循环均无明显变化,说明活性炭纤维电吸附 Fe^{3+} 具有良好的再生性。

参考文献:

- [1] 林艳华,王毅力. 负载 TiO_2 的活性炭纤维改性电极电吸附除氟[J]. 环境工程学报, 2012, 6(7): 2242 - 2248.
- [2] 周贵忠,王兆丰,王绚,等. 石墨-活性炭纤维复合电极电吸附处理含盐废水的研究[J]. 环境科学, 2014, 35(5): 1832 - 1837.

- [3] 刘玲,李兴超,孟庆函. 掺杂钛碳气凝胶电极的制备及电吸附脱盐性能的研究[J]. 功能材料, 2013, 44(6): 783 - 787.
- [4] 陈榕,胡熙恩. 电吸附技术的应用与研究[J]. 化学进展, 2006, 18(1): 80 - 86.
- [5] Liu Yong, Pan Likun, Chen Taiqing, et al. Porous carbon spheres via microwave-assisted synthesis for capacitive deionization[J]. Electrochim Acta, 2015, 151: 489 - 496.
- [6] Park Kyung-Hee, Kwak Dong-Heui. Electrosorption and electrochemical properties of activated-carbon sheet electrode for capacitive deionization[J]. J. Electro. Chem., 2014, 732: 66 - 73.
- [7] 刘方圆,胡成志,李永峰,等. MnO_2 /CFP 复合电极的制备及电吸附 Pb^{2+} 特性的研究[J]. 环境科学, 2015, 36(2): 552 - 558.
- [8] Wang Gang, Pan Chao, Wang Liuping, et al. Activated carbon nanofiber webs made by electrospinning for capacitive deionization[J]. Electrochim Acta, 2012, 69: 65 - 70.

(责任编辑:李秀荣)

(上接第 36 页)

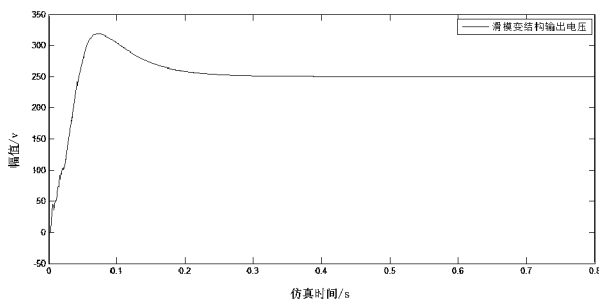


图 5 滑模变结构稳态时无静差输出情况

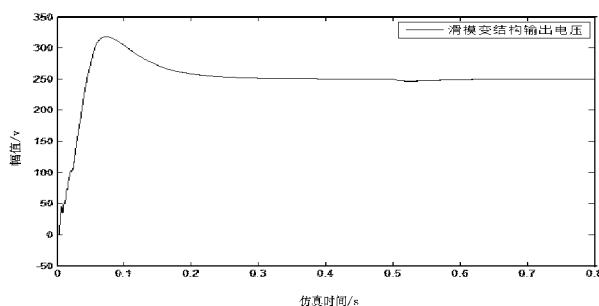


图 6 负载突变时滑模变结构输出情况

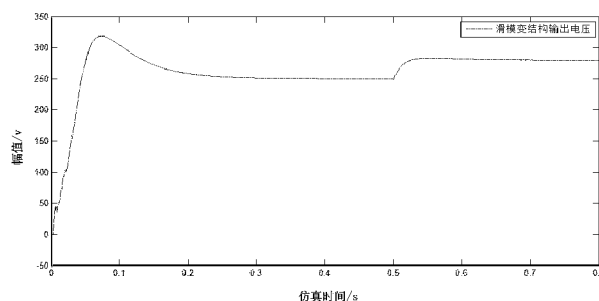


图 7 输入信号发生突变时滑模变结构输出情况

参考文献:

- [1] 刘金琨. 滑模变结构控制 MATLAB 仿真[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社, 2005: 53.
- [2] 张晓华. 控制系统数字仿真与 CAD[M]. 北京:机械工业出版社, 2015: 232.
- [3] 孔凡才. 自动控制原理与系统[M]. 3 版. 北京:机械工业出版社, 2006: 229 - 230.
- [4] 张崇巍. PWM 整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社, 2003: 67.

(责任编辑:夏玉玲)