

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2021.10.012

## 不同织物结构的活性炭纤维对电镀废水处理的研究

张条兰\*, 杨伟杰, 王花丽

(河南质量工程职业学院, 河南 平顶山 467000)

**摘要:** 采用不同织物的活性炭纤维吸附法处理含铬、镍、铜电镀废水。本文研究了单轴向、双轴向、多轴向活性炭纤维对电镀废水的渗透率及对金属离子的去除率。结果表明:当电解时间为 30 min 时,不同织物结构的活性炭纤维对铬离子、铜离子、镍离子去除率效果最好。双轴向活性炭纤维对电镀废水中的金属离子去除率最高,去除率达到 95.92 %。

**关键词:** 电镀废水; 织物结构; 去除率; 活性炭纤维

**中图分类号:** X781.1

**文献标识码:** A

## Study on the Treatment of Electroplating Wastewater by Activated Carbon Fibers with Different Fabric Structures

ZHANG Tiaolan\*, YANG Weijie, WANG Huali

(He'nan Quality Polytechnic, Pingdingshan 467000, China)

**Abstract:** The electroplating wastewater containing chromium, nickel and copper was treated by adsorption of activated carbon fiber (ACF) with different fabrics. The permeability of uniaxial, biaxial and multi-axial activated carbon fibers to electroplating wastewater and the removal rate of metal ions were studied in this paper. The results showed that when the electrolysis time was 30 min, the ACF with different fabric structures had the best removal efficiency of chromium ions, copper ions and nickel ions. The removal rate of metal ions in electroplating wastewater by biaxial ACF was the highest, and the removal rate could reach 95.92 %.

**Keywords:** electroplating waste water; fabric structures; removal rate; activated carbon fiber

近年来,随着经济的发展,电镀行业也随之突飞猛进,但由于电镀废水的成分复杂,含有不同的重金属离子和有机物,给人类的的生活和环境造成了严重的污染,因此电镀废水的处理成为电镀行业发展中的当务之急。目前,电镀废水的处理方法主要有化学法、物理法、生化法、电絮凝法、离子交换法、膜分离技术等方法。但这些方法都存在着不同的局限性,传统的物化法处理效果一般,而且会产生无法消除的二次污染;膜分离法电絮凝法和离子交换法是新型的高效处理电镀废水的方法,但在实际操作中

经济成本很高,而且运行管理困难,在实际的应用中难以实现;而吸附法设备简单,操作简方便,各方面的成本低,并且在实际运行中取得了较好的处理效果。吸附法主要有生物吸附法、物理吸附法和植物吸附法<sup>[1]</sup>。本文主要研究了不同织物结构的活性炭纤维吸附法对电镀废水的处理,并研究了不同织物结构的活性炭纤维对电镀废水中重金属离子的处理效果。活性炭纤维具有大的吸附容量、快的吸附速率、较强的吸附能力、好的吸附效果等优点。不同织

收稿日期: 2020-06-06

修回日期: 2020-09-11

通信作者: 张条兰(1978-),女,硕士研究生,讲师,主要从事电镀废水的研究。email: 764136228@qq.com

物结构的活性碳纤维对电镀废水的渗透率不同,对金属离子去除率及去除效果也是不同的<sup>[2]</sup>。

## 1 实验

### 1.1 仪器与试剂

主要仪器:PHS-2F型酸度计,上海第二分析仪器厂;722型可见分光光度计,上海精密科学仪器有限公司;DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器,郑州长城科工贸有限公司;电感耦合等离子体ICP光谱仪。

主要试剂和材料:电镀废水来源于郑州某电镀厂(含有铬离子、铜离子、镍离子等金属离子);碳纤维购买于常州中简科技股份有限公司,其规格如表1所示。

表1 织物规格

Tab.1 The specifications of fabric

织物结构	面密度/ (g·m <sup>-2</sup> )	经密根/ cm	纬密根/ cm
多轴向碳纤维织物	420	18	20
单轴向碳纤维织物(T700)	200	27	—
双轴向碳纤维织物(T700)	360	22	26

### 1.2 实验原理

#### 1.2.1 单向法

在单向流动试验中,测定渗透率大小的理论依据为达西定律,其原理为:在一定压力作用下,将一定体积流量的均匀流体通过某一固定长度和截面积的纤维增强材料,当流动达到稳定时,测量流体在该长度范围内的压力差。利用达西定律公式变形即可以求得测试材料的渗透率,如公式(1)所示。

$$K = \frac{x^2 \mu \varepsilon}{2Pt} \quad (1)$$

式中: $x$ 为液体流动的前沿位置,m; $t$ 为液体流动时间,s; $\varepsilon$ 为织物的孔隙率,%; $P$ 为注射压力,Pa; $K$ 为渗透率,m<sup>2</sup>, $\mu$ 为树脂的黏度,Pa·s。

#### 1.2.2 径向流动法

通过透明的上模(注入树脂时纤维体是用模具密封的,模具上层为透明的,即为透明的上模),观察和记录注射口在中心时流体在恒定压力下对纤维体的浸润过程,从流体前沿的瞬时形状得出主渗透率的比值和主方向;同时用压力传感器测量注射口压力,代入达西定律,经过换算求出渗透率,如公式(2)所示。

$$\begin{aligned} K_x &= \frac{\mu(1-\Phi_f)x_1^2}{4(P_0-P_n)t} \left[ 2\ln\left(\frac{x_1}{R_0}\right) - 1 \right] \\ K_y &= \frac{\mu(1-\Phi_f)y_1^2}{4(P_0-P_n)t} \left[ 2\ln\left(\frac{y_1}{R_0}\right) - 1 \right] \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $t$ 为注射时间,s; $x_1$ 、 $y_1$ 分别为 $t$ 时间树脂前沿在 $x$ 和 $y$ 方向与注射口的距离,m; $R_0$ 为注射口的半径,m; $\Phi_f$ 为纤维体积分,%; $P_0$ 、 $P_n$ 分别为注射口和出口的压力,Pa; $\mu$ 为树脂黏度,Pa·s; $K_x$ 和 $K_y$ 分别为 $x$ 方向和 $y$ 方向上的渗透率,m<sup>2</sup>。

### 1.3 实验过程

分别取2.0 g单轴向活性碳纤维、双轴向活性碳纤维、多轴向活性碳纤维于自制的容器内(规格为L×B×H=250 mm×120 mm×150 mm,有效容积5 L,厚度为0.5 cm)。电镀废水的流向是自上而下,流速为3 mL/min,缓慢流过不同织物结构的活性碳纤维,并充分吸附直到碳纤维被完全穿透即达到饱和的吸附容量为止。以流体入口作为流体的起点(即零点),实验中记录流体的充模时间( $t$ )和流体流动的前沿位置( $x$ ),求出 $x^2$ 的值。结合公式(1)、(2),就可计算出渗透率的值。

采用电感耦合等离子体ICP光谱仪测定Ni<sup>2+</sup>、Cr<sup>6+</sup>、Cu<sup>2+</sup>的质量浓度,然后计算出重金属离子的去除率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同织物结构对电镀废水的渗透率

单向法所测不同织物结构渗透率值如表2所示。从表2可以看出,单轴向碳纤维的织物结构方向单一,纱线的方向和织物的纤维排布方向一致,由此产生的流动阻力小,所以其渗透率最大;双轴向碳纤维在其纤维排布的机构中一般有两个区域:第一种区域纤维束内纤维丝之间的孔隙,第二种区域是纤维束与纤维束之间的孔隙。相对于第二种区域来讲,第一种区域的渗透率要小得多,流体在流动过程中通过纤维的阻力较大,纤维的浸透较困难,第二种区域内流动阻力小,流体的渗透率较大。在多轴向织物中,相邻两束纤维之间形成了相对孔隙较大的区域,而在纵横相交处,不同方向的纤维束重叠在一起,产生了较大的流动阻力,形成了纤维增强材料中孔隙最小的区域。也就是说,该区域对流体流动的阻力最大,使流体很难浸透纤维,因此多轴向织物渗

透率最小<sup>[3-4]</sup>。

径向法所测不同织物结构渗透率值如表 3 所示。可以看出,单轴向碳纤维织物结构沿着纤维方向的流动阻力小,渗透率大,垂直与纤维方向的流动阻力大,所以其方向上渗透率较小。双轴向碳纤维无纱线捆绑,两个方向上都有同样的增强纤维束,流动阻力相同,因此两个方向上流体的渗透率是相同的。多轴向碳纤维其本身纤维含量较高,不同方向的纤维重叠在一起,使得织物结构的孔隙率低,其对流体的渗透率较小。同样的织物结构,用单向法与径向法所测的渗透率值是有差别的,径向法所测得的织物的渗透率大一些<sup>[5-6]</sup>。

表 2 单向法所测不同织物结构渗透率

Tab.2 The permeability of different fabric structure with one-dimensional method

纤维组织结构	层数	渗透率值/( $10^{-10}\text{m}^2$ )
单向碳纤维织物	1	1.40
双轴向碳纤维织物	1	0.86
多轴向碳纤维织物	1	0.69

表 3 径向法所测不同织物结构渗透率

Tab.3 The permeability of different fabric structure with radial method

纤维组织结构	层数	X方向渗透率值/ ( $10^{-10}\text{m}^2$ )	Y方向渗透率值/ ( $10^{-10}\text{m}^2$ )
单向碳纤维织物	1	1.45	0.48
双轴向碳纤维织物	1	0.92	0.92
多轴向碳纤维织物	1	0.72	0.68

## 2.2 不同织物结构对电镀废水金属离子的去除率

在温度为 25 °C,电镀废水 pH=8 的条件下,不同织物结构的活性炭纤维吸附对金属离子去除率的影响,如图 1、2 和图 3 所示。由图 1~3 可以看出,当时间从 5 min 增加到 30 min 时,不同织物结构的活性炭纤维对金属离子的去除率在递增。当处理时间达到 30 min 左右的时候,金属离子的去除效果达到最佳状态。当去除时间超过 30 min 后,随着处理时间的进一步延长,去除率的提升并不明显,去除效果趋于稳定。这主要是因为,在一定时间内去除效果达到饱和临界点之后,去除率就趋于一个稳定的状态。因此合理的处理时间为 30 min 为宜<sup>[7-8]</sup>。

在 30 min 时,金属离子的去除率达到最佳值,同时双轴向活性炭纤维去除率最大,多轴向碳纤维对金属离子的去除率最小。双轴向碳纤维无纱线捆绑,纤维束之间的空隙较大,两个方向上都有同样的活性纤维束,流动阻力相同,能在两个方向同时对重金属离子进行吸附,且能更有效快速地对金属离子进行吸附,且两个方向上渗透率是相同的,使电镀废水达到最佳渗透率的同时,并以最好的去除率对重金属离子进行处理。多轴向碳纤维其本身纤维含量较高,而且纤维束的分布是多向的,致使纤维束的孔隙率低,其渗透率较小,对流体的阻力大,对金属离子的吸附作用相对来说小,所以去除率低。

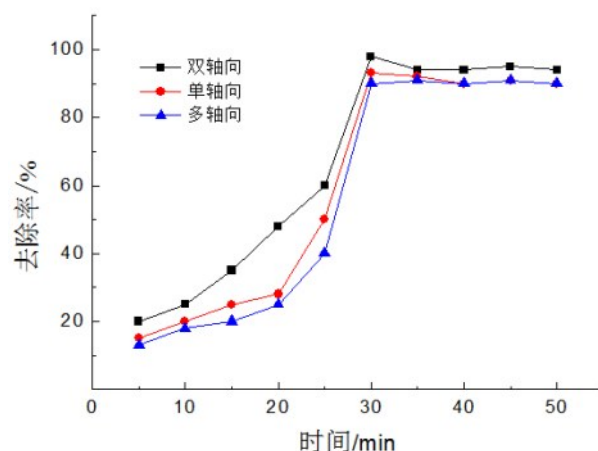


图 1 不同织物结构的活性炭纤维对铬离子的去除  
Fig.1 The removal rate of  $\text{Cr}^{3+}$  by different fabric structure of ACF absorption

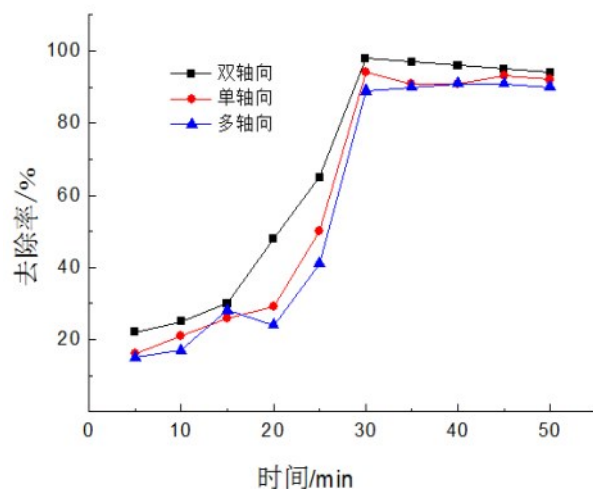


图 2 不同织物结构的活性炭纤维对铜离子的去除  
Fig.2 The removal rate of  $\text{Cu}^{2+}$  by different fabric structure of ACF absorption

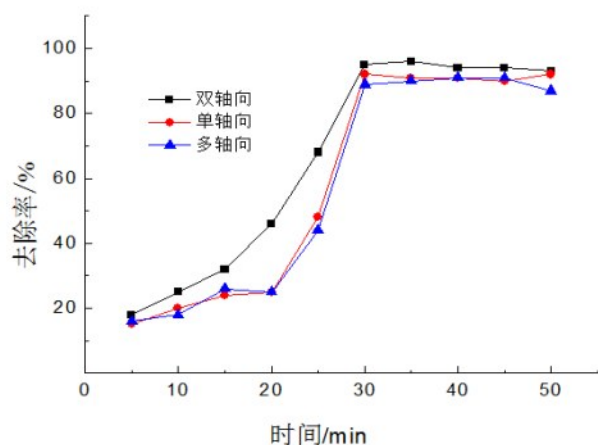


图3 不同织物结构的活性碳纤维对镍离子的去除

Fig.3 The removal rate of  $\text{Ni}^{2+}$  by different fabric structure of ACF absorption

### 3 结论

研究表明,不同织物结构的活性碳纤维对电镀废水中的金属离子进行吸附,30 min左右时去除率达到最大值;不同织物结构的活性碳纤维对金属离子的去除率,双轴向的活性碳纤维径向注入渗透率最大,对金属离子的去除率最高,达到最佳值,能达到较理想的去除效果,金属离子去除率均达到95.92%,且达到电镀废水排放标准。

### 参考文献

- [1] 张乾,迟占秋,段丽丽,等. 活性炭吸附处理电镀废水的研究[J]. 电镀与环保, 2018, 38(2): 55-58.  
Zhang Q, Chi Z Q, Duan L L, et al. Activated carbon adsorption treatment of electroplating wastewater [J]. Electroplating and Environmental Protection, 2018, 38(2): 55-58 (in Chinese).
- [2] 邱敬贤,刘君,黄献. 电化学法处理电镀废水的研究进

展[J]. 电镀与精饰, 2019, 41(10): 17-21.

- Qiu J X, Liu J, Huang X. Research progress of electrochemical treatment of electroplating wastewater[J]. Plating and Finishing, 2019, 41(10): 17-21 (in Chinese).
- [3] Chen F Y. Enhanced destruction of  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$  by  $\text{H}_2\text{O}_2$  under alkaline conditions in the presence of EDTA/pyrophosphate[J]. Chemical Engineering, 2014, (253): 478-485.
- [4] Nidá M S, Akl M A. Biosorption of Ni(II) from electroplating wastewater by modified (*Eriobotrya japonica*) loquat bark[J]. Journal of Saudi Chemical Society, 2014, 18: 379-386.
- [5] 于志达. 电镀废水零排放技术的应用 [J]. 生态与环境工程, 2019, 7: 106-107.  
Yu Z D. Application of zero discharge technology of electroplating wastewater [J]. Ecological and Environmental Engineering, 2019, 7: 106-107 (in Chinese).
- [6] 丁建东,王云丽,沈洋,等. 电絮凝处理含铬废水的研究 [J]. 电镀与环保, 2018, 38(6): 73-75.  
Ding J D, Wang Y L, Shen Y, et al. Study on the treatment of chromium-containing wastewater by electrocoagulation [J]. Electroplating and Environmental Protection, 2018, 38(6): 73-75 (in Chinese).
- [7] 李景杰. 电镀废水化学法综合处理及回用工程 [J]. 水处理技术, 2013, 39(12): 132-135.  
Li J J. Comprehensive chemical treatment and reuse engineering of electroplating wastewater [J]. Water Treatment Technology, 2013, 39(12): 132-135 (in Chinese).
- [8] 王天行,刘晓东,学敏,等. 电镀废水处理技术研究现状及评述 [J]. 电镀与涂饰, 2017, 36(9): 493-500.  
Wang T X, Liu X D, Xue M, et al. Research status and review of electroplating wastewater treatment technology [J]. Electroplating and Finishing, 2017, 36(9): 493-500 (in Chinese).