

# 利用电泳萃取技术从有机溶液中回收染料<sup>1)</sup>

吕阳成 骆广生<sup>2)</sup> 江伟斌 翟素玲

(清华大学化工系, 北京, 100084)

## 摘 要

本文以正丁醇作为有机溶剂, 水作为萃取剂, 依据染料在两相体系中的分配关系, 选择了几种油溶性较好的染料, 实验研究了电泳萃取过程所能达到的萃取效果及电压、两相流速变化对萃取率及传质通量的影响。实验结果表明, 萃取率和传质通量随电压的增大而增大, 在施加足够大的电压的情况下, 萃取率可达 90% 以上。有机相流速改变对萃取效果有显著影响, 有机相流速增大萃取率减小, 传质通量可能存在极大值。水相流速改变对萃取效果影响不大。

关键词: 电泳萃取, 染料。

染料是一种基本化工原料, 许多染料能够很好地溶于有机溶剂。在生产过程或水处理过程中它们会大量进入有机相, 使有机溶液受到污染。与染料废水相比, 这些有机废液甚至具有更大的危害。因此, 从有机溶液中将染色物质脱除的方法亟待研究。

电泳萃取技术是电泳与液液萃取技术的耦合, 是一类外场强化分离过程<sup>[1,2]</sup>。电场的引入破坏了原有的化学平衡<sup>[3]</sup>, 使染料从有机相返回水相成为可能。另外, 该过程改变了传统萃取过程必须存在分散相的观念, 减少了返混并使操作易于进行。已有的研究表明<sup>[4,5]</sup>, 电泳萃取技术在生物化工及染料水处理等方面可望得到有效应用。

本文以正丁醇为有机溶剂, 利用自行设计的电泳萃取设备对几种油溶性较好的染料的电泳萃取效果进行了考察。

## 1 实验部分

实验装置如图 1 所示。主体实验设备用有机玻璃加工而成。电极材料由直径 0.5mm 的铂丝制成。实验中传质方向均为有机相到水相, 电场方向依据显色基团而定, 如果染料显色基团是荷负电, 则有机相接负极。相反, 则有机相接正极。实验以前将水相和有机相充分混合, 使两相达到平衡, 即水相饱和正丁醇, 而有机相也饱和水。

实验开始时启动两台恒流泵, 分别输送水相和有机相并调节有机相流速到预定值。调节液位使有机相的高度为 1.3cm, 水相高度 1.3cm。待系统稳定以后打开电泳仪, 施加一定的电压。待出口浓度稳定时, 收集出口料液并用分光光度法分析其浓度。进而计

1) 本课题得到国家自然科学基金和清华大学基础研究基金的资助。2) 通讯联系人。

算得出萃取率和传质通量随时间的变化。所有的实验在室温下进行。

本文选用中性红、碱性品红及专利蓝 A 三种染料进行实验。

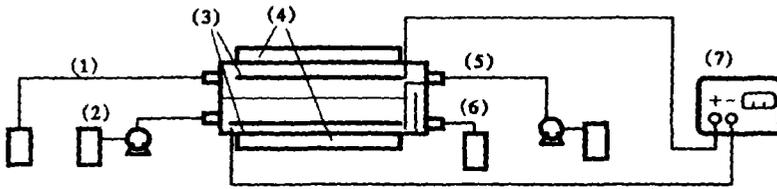


图 1 连续实验装置图

(1) 有机相出口, (2) 水相出口, (3) 电极, (4) 水夹套, (5) 有机相出口, (6) 水相出口, (7) 电泳仪

Fig. 1 Schematic diagram of the continuous experimental apparatus

## 2 结果与讨论

### 2.1 正丁醇萃取染料

在室温条件下, 三种染料均具有较好的水溶性。实验中将所选用染料的水溶液与正丁醇相接触, 在分液漏斗中充分接触后分相, 然后测定染料在两相中的分配, 得到染料在两相的分配系数为: 中性红  $> 100$ , 碱性品红  $> 20$ , 专利蓝 A  $= 7$ 。由此可见, 在无电场加入的情况下, 这几种染料主要在有机相中富集, 是很难甚至不能用水萃取的。

### 2.2 电泳萃取回收染料

由三种染料的分子结构式可知, 它们均可解离生成荷电的显色基团, 所以在电场作用下会向某一个方向迁移。实验中, 我们选择正丁醇为有机溶剂。正丁醇本身具有较强的极性, 且水在其中的溶解度达到 7.08% (W), 因此, 可以保证染料分子充分解离, 在提供了足够导电能力的同时, 使得电泳过程能够进行下去。

实验中, 我们通过改变电场强度、两相流量, 测试了不同实验条件下所能达到的萃取效果, 进而研究了各种因素对电泳萃取过程的影响情况。

#### 2.2.1 改变电场强度

在两相流速不变、界面稳定、电极位置固定的情况下, 我们通过调节电泳仪输出电压来改变体系中的电场强度, 并测定了不同电压下的萃取率。

图 2 为含有碱性品红, 中性红, 专利蓝 A 等染料的两相体系在电泳萃取过程中萃取率随外加电压变化的结果。在本文的所有附图中,  $C_0$  代表有机相的初始浓度  $g \cdot ml^{-1}$ ,  $V_w$  代表水相流动的线速度 ( $cm \cdot min^{-1}$ ),  $V_o$  代表有机相流动的线速度 ( $cm \cdot min^{-1}$ )。

很显然, 对于这三种用普通萃取方法难以萃取回收的染料, 采用电泳萃取技术均可以达到很好的萃取效果。随着电泳萃取电压的增大, 萃取率明显增大, 这是根据库仑定律:  $F = Uq$ , 电场强度增大导致带电粒子所受的电场力增大, 在电场中的迁移速度加快, 在同样停留时间的情况下, 可实现更高的萃取率。实验结果表明, 在电压足够大的情况下萃取率均可接近甚至超过 90%。在电泳萃取分离过程中, 水相溶质浓度可以达

到很高的水平，从而可较好地使有机溶液中富集染料。由此可知，对于溶于具有一定极性的有机溶剂中的染料，可以利用电泳萃取技术加以回收。这一过程具有较高的效率。

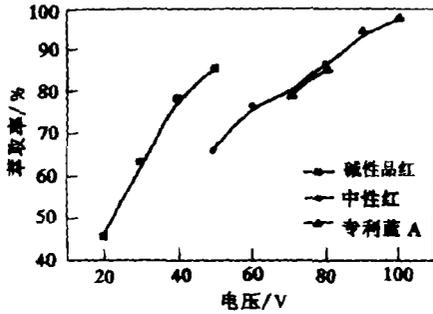


图 2 萃取率随外加电压的变化曲线  
 正丁醇-碱性品红-水体系:  $C_0 = 8.62 \times 10^{-7} \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  
 $V_a = 0.483 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $V_o = 0.293 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  
 正丁醇-中性红-水体系:  $C_0 = 1.21 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  
 $V_a = 0.178 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $V_o = 0.367 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  
 正丁醇-专利蓝 A-水体系:  $C_0 = 1.75 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  
 $V_a = 0.260 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $V_o = 0.223 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$

Fig. 2 Influence of voltage on recovery of dyes

### 2.2.2 改变有机相流速

在电压和水相流速不变，界面及电极位置固定的情况下，调节有机相输送泵的流量，改变有机相流速，实验研究了有机相流速改变对萃取效果的影响。图 3 显示了三种不同体系的实验结果。可以看到，随着有机相流速的增加，有机相在实验装置中停留时间缩短，萃取率均呈单调下降。另外，传质通量随流速的变化曲线有一个先增大，而后斜率变小，甚至转为下降的趋势。这是因为传质通量受萃取率和进料流量两方面影响的缘故。在流量较小时，流量增大起主要作用，传质通量上升；流量较大时，萃取率下降起主要作用，传质通量可能下降。要获得较高的萃取率，有机相流速必须控制在一定数值以下。

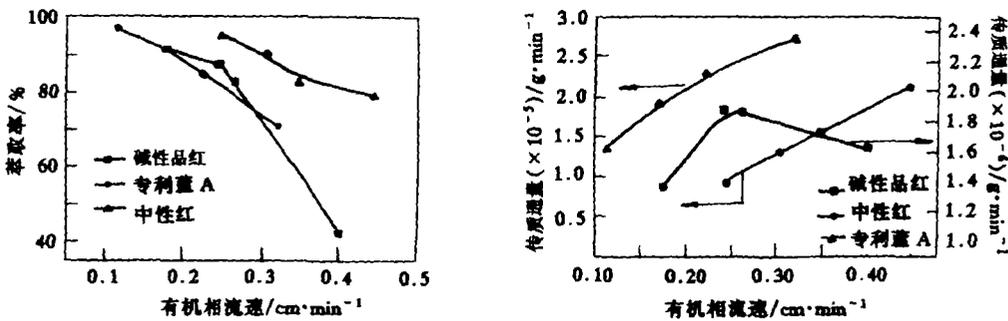


图 3 萃取率 (左) 和传质通量 (右) 随有机相流速的变化曲线

正丁醇-碱性品红-水体系:  $C_0 = 1.61 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  $V_a = 0.26 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  
 正丁醇-中性红-水体系:  $C_0 = 1.21 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  $V_a = 0.184 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ;  
 正丁醇-专利蓝 A-水体系:  $C_0 = 1.72 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ,  $V_a = 0.260 \text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$

Fig. 3 Influence of organic velocity on recovery (left) and mass flux (right) of dyes

### 2.2.3 改变水相流速

在电压及有机相流速不变，电极及界面位置固定的情况下，调节水相输送泵，改变

水相流速, 测定不同条件下的萃取率和传质通量, 结果如图 4 所示. 从图中可以看到, 对于三种体系, 水相流速的改变对萃取率的影响均很小. 由于萃取过程的传质方向是由有机相到水相, 所以传质通量仅受萃取率和有机相流速的影响. 传质通量随水相流速的变化趋势与萃取率是一致的. 基于电泳萃取的这一特点, 可以采用很小的相比获得很高的萃取率. 将稀有机溶液中的染料回收并浓缩到少量水溶液中是可能的. 这样, 尽管一些有机溶剂在水中有相当的溶解度, 但由于相比的关系, 水中溶解的有机溶剂的总量会非常小, 与传统液液萃取过程相比, 溶剂损失能够控制在很小的限度内.

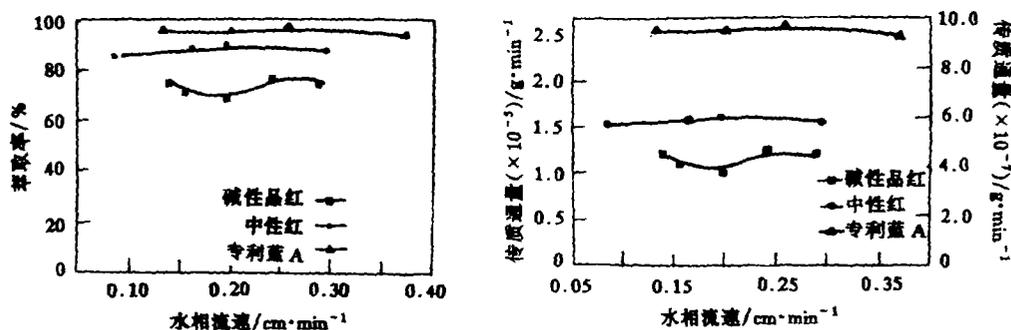


图 4 萃取率(左)和传质通量(右)随水相流速的变化曲线

正丁醇-碱性品红-水体系:  $C_0 = 8.22 \times 10^{-7} \text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ,  $V_0 = 0.219 \text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;

正丁醇-中性红-水体系:  $C_0 = 1.21 \times 10^{-5} \text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ,  $V_0 = 0.271 \text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;

正丁醇-专利蓝 A-水体系:  $C_0 = 1.72 \times 10^{-5} \text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ,  $V_0 = 0.223 \text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$

Fig. 4 Influence of aqueous velocity on recovery (left) and mass flux (right) of dyes

### 2.3 有机溶剂的回收

在电泳萃取过程结束后, 将有机相和水相再次振荡混合均匀, 待静置分相后, 发现染料从水相回到有机相中, 分配关系回复到实验前的状态. 说明电场的引入促进了分离过程的实现, 但不致引起体系物理化学性质的根本变化, 处理后得到的有机溶剂和少量富含染料的水溶液均可收集并重复使用.

## 3 结论

电泳萃取技术通过不同分离技术间的交叉耦合, 拓展了普通萃取过程的应用范围. 该技术应用于从有机溶液中回收染料, 在适宜的工艺条件下, 萃取率可达 90% 以上. 其效率高、物耗少、有利于资源的二次利用等优点是显而易见的, 是治理染料废液污染和清洁生产的一条有效途径.

### 参 考 文 献

- [1] 骆广生, 周双杰, 汪家鼎, 溶剂萃取与电泳技术的耦合——电泳萃取技术. 化工进展, 1996 (2): 9—12

- [ 2 ] Stichelmir I, Electro-extraction: A Novel Separation Technique. *Chem. Eng. Sci.*, 1992, 47 (12) :3015—3022
- [ 3 ] Plasinski K J, Kerkhof P J A M. Electric Field Driven Separations: Phenomena and Applications. *Sep. Sci. & Tech.*, 1992, 27 (8—9) :995—1021
- [ 4 ] Cheng Yufei, Schiffrin D J, A Study of 2-Heptanone and 2-octanone as Solvents for Two-Phase Electrochemistry. *J. of Electroanal. Chem.*, 1997, 429:37—45
- [ 5 ] Muralidhara H S, Enhance Separations with Electricity. *Chemtech*, 1994, (5) :36—41

1998年7月23日收到.

## RECLAIMING DYESTUFFS FROM ORGANIC SOLVENT WITH ELECTRO-EXTRACTION

Lu Yangcheng    Luo Guangsheng    Jiang Weibin    Zhai Suling

(Department of Chemical Engineering, Tsingua University, Beijing, 100084)

### ABSTRACT

A technique of electro-extraction was suggested for recovery of dyestuffs from organic solvent. According to the distribution coefficients in two-phase system (*n*-butanol/water/water/dyestuffs), several dyestuffs were selected, and effect of electric field strength and two phase velocity on mass transfer was studied in an eletro-extraction equipment. The experimental results show that recovery of 90% could be reached under sufficiently high voltage. Mass flux and recovery are increased significantly by increasing electric field strength. With an increase of organic velocity recovery is decreased, while maximum mass flux may exist. The effect of changing aqueous velocity on recovery and mass flux is un conspicuous. Electro-extraction is a promising technique in treatment of organic waste.

**Keywords:** electro-extraction, dyestuffs.