



电磁净水的设计报告及可行性分析

——电磁学小论文答辩

韩兆阳 PB14206045
化学与材料科学学院



2

论文推进思路

How I got this viewpoint and why I try this way?

设计初衷：在一年的无机实验中，我切身了解到了无机实验室的废液处理现状：废液含有不同金属离子和酸根离子，部分还含浊液和沉淀；目前的处理方法是，将含有不同物质的废液分别收集，回收或进一步处理。这样做的弊端是，操作较为麻烦，而且废液利用率并不高。

提出问题：如何用简便的方法，高效绿色地处理废液，分类回收，并提高利用率？

改进措施：利用电磁学知识，根据不同离子比荷的差异，在磁场中将不同运动半径的离子分别收集——“电磁阀”的设计；

可行性分析暨具体操作；

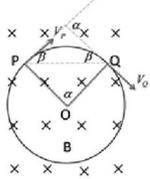
该方法的合理推广：家用“电磁阀”处理生活污水。

WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

3

电磁净水的原理说明

How does the electromagnetic water purifier work?



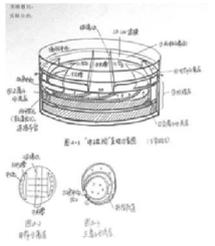
不同金属离子和酸根粒子有不同的荷质比，在某一磁场强度下受洛伦兹力做匀速圆周运动的半径不同。根据这一原理设计的“电磁阀”，通过不同轨迹半径区分并分别收集各种离子。此法简便高效地分离不同离子，提高了废液的利用率。

WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

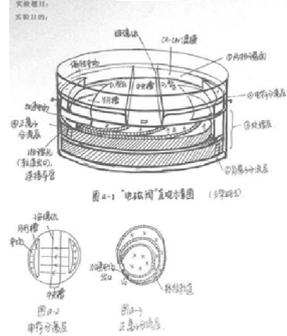
构造设计和功能分析

材料使用说明：

整个装置由筒状主体和支架部分组成，其中筒状主体是净水的关键装置。由于废液中可能含有过酸或过碱的离子、有机分子等，故主体部分采用聚四氟乙烯（PTFE）构架，如各层之间的分离面板、分流层中的标准轨道等都使用聚四氟乙烯制作。



WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY



WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

6

关键装置结构介绍

两相分离面

滤除沉淀和浊液
将溶液与沉淀或浊液分离开，滤渣残留在分离面板以上，含有不同电荷离子的溶液进入下面的电荷分离层中

电荷分离层

分别收集正负电荷离子

在电场作用下，不同电性的粒子被分别收集在两个月形槽中；中性分子和大分子则留在中央区中。为之后的离子分流做好准备

处理层

（正负离子分流层）

不同荷质比区分

被加速电场加速的离子在垂直磁场的的作用下偏转，沿不同运动半径的离子在设定好的标准轨道中被引向各连接口

连接口

连接到收集容器

各分流层的轨道出口处开有向外突出的连接口，可连接橡胶管等，方便将分离的溶液收集

WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

7

电荷分离层

How to distinguish different electrical properties?

这一层由中央槽、D₁区和D₂区三部分组成。中央槽与两侧D型区通过玻璃纸(赛璐玢)隔开,故中央槽与D型区之间只能交换离子和小分子,大分子如蔗糖则会被留在中央槽中。两D型区外侧边沿处加有匀强电场E₁。从两相分离面流下的滤液先汇入中央槽中,其中的离子在电场力的作用下再分别汇集到两个D型区内。这就通过离子电性的不同完成了对金属离子(带正电荷)和酸根离子(带负电荷)的分离。



WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

需要说明的是,待处理废液当中的小分子物质如乙醇、丙酮等,如果没有事先分离进有机废液中,而是随着无机废液倒进了电磁阀,则基本会被留在中央槽中,部分由于布朗运动而进入D型区的中性小分子,则会随着带电离子被进一步处理,无需将其与带电离子彻底分离,因为在之后的处理中,由于这些小分子呈电中性,也不会被大量收集,对最终离子纯度影响完全可忽略。被分离的正负离子分别由两D型区上的收集槽口进入下一层处理层中。

9

处理层——正离子分流层

How to deal with different kinds of cation?

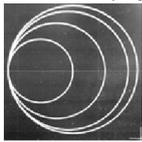
这一层是整个“电磁阀”装置的工作核心,由正离子分流层和负离子分流层构成,通过不同离子比荷($\frac{q}{m}$)的差异将其非别收集。

正离子分流层:由D₁区收集槽口汇入下方长方体加速区中的正电荷离子,在强度为E₂的加速电场的作用下,获得初速 v_0 由 $qE_2 = \frac{1}{2}mv_0^2$ (1) 得:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2qE_2}{m}} \quad (2)$$

离子由加速电场射入垂直方向大小为B₂的圆形磁场区域,做半径为R₁的匀速圆周运动,

由 $F_2 = qv_0B_2 = m\frac{v_0^2}{R_1}$ 得:

$$R_1 = \frac{mv_0}{qB_2}$$


WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

10

即对不同 $\frac{q}{m}$ 的正离子,可确定宽度为 $d = (1 \pm 5\%) R_1$ 的圆弧运动范围。在分流层的设计中,事先设定有n个标准半径R₁~R_n,则可在同一批次中分离n种不同正离子。每条路径下方的分流面内有宽度为d的螺旋下降的凹槽,将该运动轨迹上的离子引入标准轨道中,待离子完成一个圆周的绕行之后,在柱形电磁阀侧壁上的轨道出口处被收集。

WWW.COMPANY.SITE.COM | INFO@COMPANY.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

负离子分流层

分流道收集由D₂型区汇入长方体加速区的负离子,与正离子分流层工作原理完全一致,结构基本类似。加速电场强度为E₂,偏转磁场B₂,类比(2)式得,对比荷为 $\frac{q}{m}$ 的负离子,可确定宽度为 $d = (1 \pm 5\%) \frac{mv_0}{qB}$ 的圆弧运动范围。通过螺旋凹槽将负离子液引入标准轨道中,待离子完成一个圆周的绕行之后,在轨道出口处被分别收集。

在正离子分流层中,使用者向电磁阀芯片输入需要同一批次处理的离子的比荷值,芯片会自动生成垂直方向合适大小的磁场,这在程序编写上是容易实现的。不能同一批次处理的离子将循环加速,再次分流,确保各种比荷的离子都会分离开。

辅助结构

连接口: 2n个轨道出口处各有一段喇叭状导管,将分流的正负离子液体分别引入不同容器中回收;

三脚架: 支架部分,用于固定住电磁阀的筒状主体。

装置的可行性分析

Why it can work well?

适用条件：对一般无机实验废液均适用，需要注意的是，为了防止正负电荷离子在分流层中被电场电离，本装置只能处理电位序排在H⁺之后的离子；在离子分流时，需要同一批次被分流出的几种离子电荷相差较大，以确保一定的分离纯度；过酸过碱的废液（pH<3或pH>10），应先稀释再处理；同时，对于较易挥发或沉淀的物质，如弱酸溶液中的NH₄⁺和CaSO₄(aq)等，应在倒入电磁阀处理前就除去气体和沉淀，这点利用物质的物理化学性质是可行的。

WWW.QZHFAN.SITE.COM | FQ@QZHFAN.SITE.COM | +12 34 567 890 | LONG STREET 12345, CITY, COUNTRY

使用材料的相关参数：

(1) 两相分离面对固液分离的程度：本装置中采用自然过滤，故两相分离面由两层组成，下层为由孔径可见的陶瓷，上层垫有定性滤纸。定性滤纸可采用孔径为2 μm-5 μm的混合纤维滤膜（CA-CN），而胶体及沉淀的粒子孔径Φ>1nm，溶液中离子和分子的直径Φ<<1nm，故溶液可透过滤纸流入电荷分离层的中央槽。定性滤纸可替换，以便及时收集沉淀或胶体。



(2) 电荷分离层对大分子物质的拦截效率：在中央槽与两侧D型区隔开处，采用再生纤维材料玻璃纸（赛璐玢），它的渗透孔径在零点几纳米到十几纳米，可以拦截溶液中的大分子如蛋白质、蔗糖等，而离子半径（r）在皮米（pm）量级，故带电离子在电场作用下会穿过玻璃纸向D型区两侧移动。电荷分离层能够有效地将中性分子与带电离子分离开。



装置结构的相关参数：

(1) 电荷分离层和处理层中的电容器：电荷分离层中的偏转电场由电容器 C₁ 提供，处理层中的加速电场由电容器 C₂ 提供。在本装置中，考虑到实验室样品口径一般小于100mm，取装置上口 d=100mm 为直，考虑到 PTFE 筒壁和电容器极板的厚度，以及电荷分离层的高度 h，取电荷分离层直径 d=98mm，h=4.00cm，则（如图 3-4）取偏转距离 d₁=31.5mm，则取两极板正对面积 S=234.72mm²。查阅资料得：一般（非陶瓷）溶液的相对介电常数 ε_r≈1.8-3.5。采用 1.5V 碱性锌锰纽扣电池提供两极板电压，即 U=1.5V。

$$C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d_1} \quad (3)$$

$$C = \frac{Q}{U} \quad (4) \text{ 及 } E = \frac{U}{d_1} \quad (5) \text{ 得：}$$

$$C = \frac{3.5 * 0.23472}{4 * 3.14 * 9.0 * 10^{-12} * 3.15} \quad F \approx 2.31 * 10^{-12} F = 2.31 pF, \text{ 则电容器极板带电荷量为：}$$

$$Q = 2.31 * 1.5 * 10^{-12} C \approx 3.46 * 10^{-12} C, \text{ 基本符合溶液中离子带电量情况，即分流液为保持电中性而混入的 H⁺ 和 OH⁻ 的量很少，不影响分离结果。}$$

而在正离子分流层中，利用 S3C2440 产生微伏级电压 E=4.7*10⁴V，正离子分流层直径要比电荷分离层小，取 d₂=78.00mm，加速电场板间距 d₂=5.00mm，最大圆周半径取 R=37mm，设其中一种离子的比荷为 $\frac{q}{m} = a$ 。

下面以 Na⁺ 为例验证装置可操作性，则比荷为 $\frac{q}{m} = \frac{1}{23}$ 。

由 F=qvB (6)，

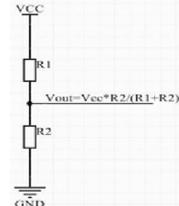
$$a = \frac{F}{mv} = \frac{q}{m} \quad (7) \text{ 及 } qEd_2 = \frac{1}{2}mv^2 \quad (8) \text{ 得：}$$

$$R = \frac{mv}{qB} = \frac{1}{qB} \sqrt{\frac{2mEd_2}{q}} \quad (9), \text{ 则可求出 } v(\text{Na}^+) = \sqrt{\frac{2 * 4.7 * 10^4}{23}} \approx 0.00064 \text{ m/s} = 0.64 \text{ mm/s}^2,$$

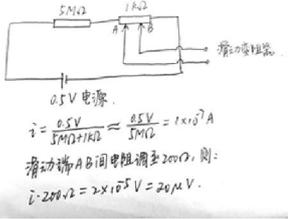
$$\text{则 } B = \frac{mv}{qR} = \frac{23 * 0.00064}{0.037} \approx 0.40T, \text{ 可以通过磁体产生或利用导体产生。}$$

这说明装置的设计规格取值合理。

注：基于S3C2440产生微伏级电压的方法：编写程序产生16位以上PWM波形（16位还不够，再用两个适当阻值的电阻分压），然后经D/A转换（两电容加一电阻），利用电阻分压进行衰减，将电压降至微伏级：



或可这样产生微伏级电压:



离子分馏层上各轨道不干扰的证明:
在离子分馏层中, 不同比荷的离子以不同轨道半径做匀速圆周运动, 由(9)式可知:

$$R \propto \sqrt{\frac{m}{q}}$$

则对第i种离子, 分馏层上的标准轨道宽度为:

$$d_i = (1 \pm 5\%) R_i = (1 \pm 5\%) \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_i U}{q_i}} \quad (10)$$

防止离子分离后纯度降低, 要使各轨道独立、互不干扰, 即要求轨道无重叠, 对一般的无机废液, 同一批次可分离三种阳离子、三种阴离子, 则要求参数满足以下条件:

$$1.05R \leq 0.95R_{i+1} \quad (R_i < R_{i+1}) \quad (11)$$

$$2 \times 1.05R_n \leq d_n \quad (12)$$

$$2 \times (0.95R_i + \sum_{j=i+1}^n d_j) \leq d_i \quad (13)$$

联立式(11)(12)(13)得:

$$R_i \leq 0.91R_{i+1}$$

$$R_n \leq 37.14mm$$

可以看出, 同一批次分流的离子中, 两两之间的比荷之比需要满足:

$$\frac{q_{i+1}}{m_{i+1}} \leq 0.82 \frac{q_i}{m_i} \quad (14)$$

装置净水效率的计算:

(1) 考虑到无机实验之中常用的盛装废液的容器以烧杯口径为最大, 其中常见的是500mL及以下规格烧杯, 500mL烧杯的口径为90mm 故设计电磁阀的入口形状为直径中=100mm的圆。如果遇到更大口径的容器, 可用玻璃棒引流或用塑料漏斗引流, 足以保证液体不流至电磁阀外。

(2) 假设500mL烧杯盛有 $\frac{4}{5}$ 容积的废液, 电磁阀每层需要容纳400mL的溶液, 则包括入口处在内的每层高度 $h \geq 5.10cm$ 。整个装置的净水速率由容积最小的长方体加速区决定, 该区域的容积为 $V = v \times 51.0 \times 5.00 \times 7.50mm^3 = 1912.5mm^3 = 1.9125mL$, 即每批次可同时处理3.825mL的污水。

实例计算

经总结, 在科大化学院学生的无机实验(包括无机物的制备与提纯、元素的性质和鉴定、理化参数的测定、化学原理实验及一些综合实验)中, 常见废液中涉及的沉淀有:

BaSO₄, CaCO₃, Mg(OH)₂CO₃, BaCO₃, S, AgCl, Cu(OH)₂, CuO, ZnSO₄, Mg(OH)₂, CaC₂O₄, BaCrO₄, AgBr, AgI 等;

常见的废弃离子有:

Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, NO₃⁻, K⁺, NH₄⁺, Fe³⁺, SO₃²⁻, Cu²⁺, H⁺, OH⁻等。

以Mg²⁺和Cl⁻混合废液为例, Mg²⁺的比荷为 $\frac{1}{12}$, Cl⁻比荷为 $\frac{1}{35.5}$, 分别进入电磁阀处理层的正离子分馏区和负离子分馏区, 在分馏区控制器输入二者的比荷, 根据比荷, 分馏区出现垂直方向的大小分别为0.2T和0.61T的磁场, 可通过收集管收集这两种离子基本分离的废液。

电磁净水在家用方面的推广

Let's protect our environment every day!



电磁净水不仅可用于实验室或工业废水回收, 还可用于家庭生活。如将洗衣废水倒入家用电磁阀中处理, 除去PO34-等离子, 可将净化过的洗衣废水浇花或直接排放, 都可以对环境起到改善作用。因而, 家用电磁阀可采取扣合式分段组装, 制作特定的离子处理层, 不需要特意调节处理层磁感应强度B, 如需要净化洗衣废水时直接安装上去磷处理层即可, 这样便捷易使用。

参考文献

- [1]赵凯华、陈熙远.《新概念物理教程——电磁学(第二版)》[M]高等教育出版社.2006
- [2]理查德·菲利普·费曼.《费曼物理学讲义(第二卷)》[M]上海科学技术出版社.1989
- [3]童诗白、华成英.《模拟电子技术基础(第二版)》[M]高等教育出版社.1988
- [4]刘金英等.《电磁学与电动力学》[M]科学出版社.2005



Thanks for listening.
Please make questions!

Glad to share with you!

我觉得这种用电磁学知识解决环境问题的做法有建设性意义，鉴于一个月的时间仓促，我未能想到更完美的设计方案，例如对于如何将装置改得更小巧便携、如何简化衰减电路的设计等方面，我会将它改善得更高更实用。

2015年6月