



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113184963 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 15

(21) 申请号 202110494797.5

审查员 张玉云

(22) 申请日 2021.05.07

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113184963 A

(43) 申请公布日 2021.07.30

(73) 专利权人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72) 发明人 梁大为 吴擎昊 卢善富 张劲

相艳

(74) 专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理

有限公司 11369

专利代理师 史霞

(51) Int. Cl.

C02F 1/469 (2006.01)

B01D 61/42 (2006.01)

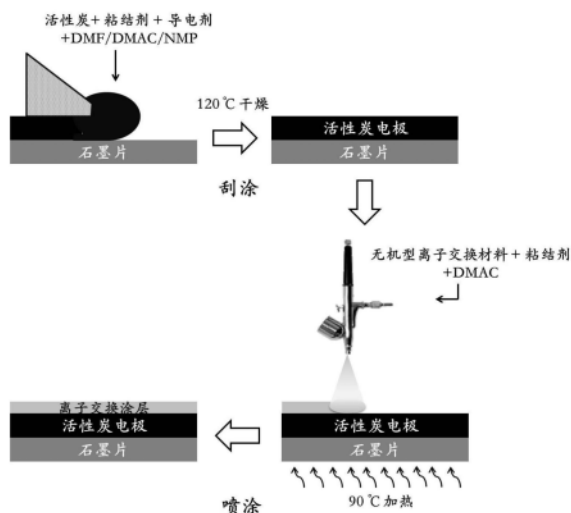
权利要求书1页 说明书6页 附图7页

## (54) 发明名称

电容去离子单元、装置及方法

## (57) 摘要

本发明公开了电容去离子单元,包括间隔设置的阳极集流体和阴极集流体,所述阳极集流体表面和所述阴极集流体表面均设置有多孔碳层,所述阳极集流体的多孔碳层表面覆盖有阴离子交换层,所述阴极集流体的多孔碳层表面覆盖有阳离子交换层,所述阴离子交换层由无机阴离子选择材料制成,所述阳离子交换层由无机阳离子选择材料制成。本发明还提供了电容去离子装置及方法。本发明能够抑制同离子效应,缓解部分法拉第效应,能够提高电容去离子技术中脱盐过程的库仑效率,进而增大脱盐量和降低能耗,提高了脱盐稳定性,延长电极工作寿命,并降低器件成本,同时能够避免有机物对多孔碳层的污染。



1. 电容去离子单元,其特征在于,包括间隔设置的阳极集流体和阴极集流体,所述阳极集流体表面和所述阴极集流体表面均设置有多孔碳层,所述阳极集流体的多孔碳层表面覆盖有阴离子交换层,所述阴极集流体的多孔碳层表面覆盖有阳离子交换层,所述阴离子交换层由无机阴离子选择材料制成,所述阳离子交换层由无机阳离子选择材料制成;

所述无机阳离子选择材料为蒙脱石、锂皂石、累托石中的一种或多种,所述无机阴离子选择材料为水滑石、类水滑石中的一种或两种;

所述阴离子交换层的制备方法包括:将所述无机阴离子选择材料与聚偏氟乙烯混合,并超声喷涂至所述阳极集流体的多孔碳层表面,加热蒸发溶剂,得到所述阴离子交换层;所述阳离子交换层的制备方法包括:将所述无机阳离子选择材料与聚偏氟乙烯混合,分散在N,N-二甲基乙酰胺中,并超声喷涂至所述阴极集流体的多孔碳层表面,加热蒸发溶剂,得到所述阳离子交换层;

无机阳离子交换材料和无机阴离子交换材料的载量为1~4毫克/平方厘米,离子交换层厚度为5~20微米;

多孔碳层的制备方法包括:将活性炭、聚偏氟乙烯、乙炔黑分散至溶剂中,制得碳浆液,将碳浆液刮涂在集流体表面,烘干,即得多孔碳层;所述溶剂选自N,N-二甲基乙酰胺、N,N-二甲基甲酰胺或N-甲基吡咯烷酮;

阳极集流体和阴极集流体为石墨材质或钛材质。

2. 如权利要求1所述的电容去离子单元,其特征在于,还包括:

密封垫片,其设置在所述阴离子交换层的和所述阳离子交换层之间,所述密封垫片为中部有开孔的环状结构,所述阳极集流体上开设有第一通水口,所述阴极集流体上设置有第二通水口,所述第一通水口和所述第二通水口均与所述开孔连通。

3. 电容去离子装置,其特征在于,包括:多个依次堆叠的权利要求2任一所述的电容去离子单元,以及封装多个所述电容去离子单元的密封垫圈和端板,所述密封垫圈和所述端板上与所述第一通水口和所述第二通水口对应的位置设置有通孔。

4. 电容去离子方法,其特征在于,包括:

在权利要求1~2任一所述的电容去离子单元的所述阳极集流体和所述阴极集流体之间施加电压,将待处理水引入阳极集流体和阴极集流体之间。

5. 如权利要求4所述的电容去离子方法,其特征在于,所述待处理水的盐度为50~2000毫克/升,所述阳极集流体和所述阴极集流体之间施加的电压不高于1.2伏,电流密度不大于4毫安/平方厘米。

## 电容去离子单元、装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水资源淡化相关技术领域。更具体地说,本发明涉及一种电容去离子单元、装置及方法。

### 背景技术

[0002] 电容去离子技术是依据双电层原理对离子进行电吸附储存的过程,在阳极和阴极之间施加一定的电位差,阳极吸附阴离子,阴极吸附阳离子,实现水和离子的分离,是一种能耗低、工艺成本低、无二次污染的去离子技术。但是,一些现有技术引入阴离子交换膜,在阴极外侧添加阳离子交换膜,离子交换膜阻隔了同离子排斥,也抑制部分副反应的发生,该方法大幅提高了电容去离子过程的库仑效率,进而增大了脱盐容量、降低了能耗,但存在引入自支撑离子交换膜带来的高膜内阻和接触内阻(由于独立膜需要保持一定的机械强度和自支撑性,离子交换聚合物的用量增加用以维持一定的膜厚度,膜和电极的接触界面存在接触电阻),以及离子交换聚合物的用量增加会带来额外的经济成本等问题。因此,亟需设计一种能够克服上述缺陷的技术方案。

### 发明内容

[0003] 本发明的一个目的是提供一种电容去离子单元、装置及方法,能够抑制同离子效应,缓解部分法拉第效应,能够提高电容去离子技术中脱盐过程的库仑效率,进而增大脱盐量和降低能耗,提高了脱盐稳定性,延长电极工作寿命,并降低器件成本,同时能够避免有机物对多孔碳层的污染。

[0004] 为了实现根据本发明的这些目的和其它优点,根据本发明的一个方面,本发明提供了电容去离子单元,包括间隔设置的阳极集流体和阴极集流体,所述阳极集流体表面和所述阴极集流体表面均设置有多孔碳层,所述阳极集流体的多孔碳层表面覆盖有阴离子交换层,所述阴极集流体的多孔碳层表面覆盖有阳离子交换层,所述阴离子交换层由无机阴离子选择材料制成,所述阳离子交换层由无机阳离子选择材料制成。

[0005] 进一步地,所述无机阳离子选择材料为蒙脱石、锂皂石、累托石中的一种或多种,所述无机阴离子选择材料为水滑石、类水滑石中的一种或两种。

[0006] 进一步地,所述阴离子交换层的制备方法包括:将所述无机阴离子选择材料与聚偏氟乙烯混合,并喷涂至所述阳极集流体的多孔碳层表面,加热蒸发溶剂,得到所述阴离子交换层;所述阳离子交换层的制备方法包括:将所述无机阳离子选择材料与聚偏氟乙烯混合,分散在N,N-二甲基乙酰胺中,并喷涂至所述阴极集流体的多孔碳层表面,加热蒸发溶剂,得到所述阳离子交换层。

[0007] 进一步地,无机阳离子交换材料和无机阴离子交换材料的载量为1~4毫克/平方厘米,离子交换层厚度为5~20微米。

[0008] 进一步地,多孔碳层的制备方法包括:将活性炭、聚偏氟乙烯、乙炔黑分散至溶剂中,制得碳浆液,将碳浆液刮涂在集流体表面,烘干,即得多孔碳层;所述溶剂选自N,N-二甲

基乙酰胺、N,N-二甲基甲酰胺或N-甲基吡咯烷酮。

[0009] 进一步地,阳极集流体和阴极集流体均为石墨片。

[0010] 进一步地,还包括:密封垫片,其设置在所述阴离子交换层的和所述阳离子交换层之间,所述密封垫片为中部有开孔的环状结构,所述阳极集流体上开设有第一通水口,所述阴极集流体上设置有第二通水口,所述第一通水口和所述第二通水口均与所述开孔连通。

[0011] 根据本发明的另一个方面,提供了电容去离子装置,包括:多个依次堆叠的所述的电容去离子单元,以及封装多个所述电容去离子单元的密封垫圈和端板,所述密封垫圈和所述端板上与所述第一通水口和所述第二通水口对应的位置设置有通孔。

[0012] 根据本发明的另一个方面,还提供了电容去离子方法,包括:在所述的电容去离子单元的所述阳极集流体和所述阴极集流体之间施加电压,将待处理水引入阳极集流体和阴极集流体之间。

[0013] 进一步地,所述待处理水的盐度为50~2000毫克/升(mg/L),所述阳极集流体和所述阴极集流体之间施加的电压不高于1.2伏,电流密度不大于4毫安/平方厘米。

[0014] 本发明至少包括以下有益效果:

[0015] 本发明与传统膜电容去离子方法相比,由于使用无机天然矿物类的离子交换材料替换有机离子交换聚合物和离子交换树脂,大幅降低了器件成本,采用无机离子交换材料形成的离子选择层抗有机物污染能力更强,避免了有机物对多孔炭层的直接污染。本发明中离子选择层消除了同离子效应,抑制了部分法拉第反应,提升了脱盐过程库仑效率,进而增大脱盐量和降低能耗,提高了脱盐稳定性,延长电极工作寿命。

[0016] 本发明的其它优点、目标和特征将部分通过下面的说明体现,部分还将通过对本发明的研究和实践而为本领域的技术人员所理解。

## 附图说明

[0017] 图1为本发明的一个实施例中电极的制备方法;

[0018] 图2为本发明的一个实施例中阳极与阴极的电极形貌表征,其中(a)活性炭电极断面SEM图像,(b)活性炭电极表面SEM图像,(c)蒙脱土涂覆活性炭电极断面SEM图像及EDX结果,(d)水滑石涂覆活性炭电极断面SEM图像及EDX结果。

[0019] 图3为本发明的一个实施例中的电容去离子装置,其中,(a)阴极端板,(b)密封垫圈,(c)阴极集流体,(d)阴极多孔炭层,(e)阳离子交换层,(f)密封垫片,(g)阴离子交换层,(h)阳极多孔炭层,(i)阳极集流体,(j)密封垫圈,(k)端板。

[0020] 图4为实施例2处理盐水出水电导率随时间的变化关系。

[0021] 图5为实施例3处理含有机物盐水出水电导率随时间的变化关系,其中,(a)传统电容去离子,(b)本申请。

[0022] 图6为实施例3和对比例2处理有机物盐水时脱盐容量随时间的变化关系。

[0023] 图7为实施例3和对比例2处理有机物盐水时库仑效率随时间的变化关系。

## 具体实施方式

[0024] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0025] 应当理解,本文所使用的诸如“具有”、“包含”以及“包括”术语并不排除一个或多个其它元件或其组合的存在或添加。

[0026] 本申请的实施例提供了电容去离子单元,包括间隔设置的阳极集流体和阴极集流体,所述阳极集流体表面和所述阴极集流体表面均设置有多孔碳层,所述阳极集流体的多孔碳层表面覆盖有阴离子交换层,所述阴极集流体的多孔碳层表面覆盖有阳离子交换层,所述阴离子交换层由无机阴离子选择材料制成,所述阳离子交换层由无机阳离子选择材料制成。

[0027] 在上述实施例中,阳极集流体和阴极集流体间隔设置,供待处理水通过,构成电容去离子单元的基本框架。阳极集流体、阴极集流体的具体材质以及多孔碳层的具体制备方法均可使用现有技术。不同于现有技术的是,上述实施例在多孔碳层外侧设置无机离子交换层,具体在阴极集流体的多孔碳层表面覆盖有阳离子交换层,在阳极集流体的多孔碳层表面覆盖有阴离子交换层。在外接直流电作用下,阳极吸附阴离子,阳离子在阳极受阴离子交换层阻挡无法进出阳极,阴极吸附阳离子,阴离子在阴极受阳离子交换层阻挡无法进出阴极,达到水和离子的分离,实现阳离子和阴离子的同时去除。而且,优于树脂型离子交换膜,本实施例的阳离子交换层和阴离子交换层成本较低,覆盖至多孔碳层表面,无需自支撑,且较为致密,离子交换层形成于多孔碳层表面,不会影响原始多孔碳层的物理结构,不会占据多孔碳层的吸附位点,待处理溶液中的有机分子无法穿透涂层至多孔碳层,离子在涂层中选择性透过。可以看出,本实施例与传统膜电容去离子方法相比,由于使用无机天然矿物类的离子交换材料替换有机离子交换聚合物和离子交换树脂,大幅降低了脱盐成本,不使用独立自支撑的离子交换膜,也不使用高分子离子交换聚合物或树脂,采用无机离子交换材料形成的离子交换层抗有机物污染能力更强,避免了有机物对多孔炭层的直接污染。本实施例中离子选择层消除了同离子效应,抑制了部分法拉第反应,提升了脱盐过程库仑效率,进而增大脱盐量和降低能耗,提高了脱盐稳定性,延长电极工作寿命。

[0028] 在另一些实施例中,所述无机阳离子选择材料为蒙脱石、锂皂石、累托石中的一种或多种,所述无机阴离子选择材料为水滑石、类水滑石中的一种或两种,这些材料均为天然矿物,来源广泛,价格廉价。具体地,阳离子选择材料为蒙脱石 $(\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、锂皂石 $(\text{Na,Li})_x(\text{Mg}_{3-x}\text{Li}_x)_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、累托石 $(\text{K,Na})_x\text{Al}_2(\text{Al}_x\text{Si}_{4-x}\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 等;阴离子选择材料为水滑石 $\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、类水滑石 $[\text{M}_{1-x}^{2+}\text{M}_x^{3+}(\text{OH})_2]^{x+}[(\text{A}^{n-})_x \cdot m\text{H}_2\text{O}]^{x-}$ ;其中 $\text{M}^{2+}$ 为 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 等二价金属阳离子, $\text{M}^{3+}$ 为 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Sc}^{3+}$ 等三价金属阳离子, $\text{A}^{n-}$ 为阴离子如 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COO})_2^{2-}$ 等无机和有机离子以及络合离子)等。

[0029] 在另一些实施例中,所述阴离子交换层的制备方法包括:将所述无机阴离子选择材料与聚偏氟乙烯混合,并喷涂至所述阳极集流体的多孔碳层表面;所述阳离子交换层的制备方法包括:将所述无机阳离子选择材料与聚偏氟乙烯(PVDF)混合,分散在N,N-二甲基乙酰胺中(DMAC),并喷涂至所述阴极集流体的多孔碳层表面。在这些实施例中,阳离子交换材料和阴离子交换材料的粉体经球磨后,通过超声喷涂将含有阳离子交换材料与粘结剂聚偏氟乙烯的N,N-二甲基乙酰胺分散液均匀覆盖在阴极多孔炭层表面,将阴离子交换材料与聚偏氟乙烯的N,N-二甲基乙酰胺分散液均匀覆盖在阳极多孔炭层表面,以分别形成阳离子

交换层和阴离子交换层。

[0030] 优选地,将所述无机阴离子选择材料与聚偏氟乙烯混合,分散在N,N-二甲基乙酰胺中(DMAC),配制成浓度为0.5-1%的分散液,采用超声喷涂至所述阳极集流体的多孔碳层表面,喷涂过程中多孔碳电极底部90℃加热,调控喷涂过程进料流量,保证离子交换分散液喷涂在多孔碳电极表面能快速蒸发溶剂,待喷涂过程结束,复合电极置于80℃加热台上持续加热12小时确保溶剂挥发完全,最终得到阴离子交换涂层复合多孔碳电极;阳离子交换层的制备方法同阴离子交换涂层的制备方法。

[0031] 在另一些实施例中,无机阳离子交换材料和无机阴离子交换材料的载量为1~4毫克/平方厘米,离子交换层厚度为5~20微米( $\mu\text{m}$ ),在该载量和厚度下,对待处理水有较好地处理效果,且无机阳离子交换材料和无机阴离子交换材料的用量少。

[0032] 在另一些实施例中,多孔碳层的制备方法包括:将活性炭、聚偏氟乙烯、乙炔黑分散至溶剂中,制得碳浆液,将碳浆液刮涂在集流体表面,烘干,即得多孔碳层;所述溶剂选自N,N-二甲基乙酰胺、N,N-二甲基甲酰胺或N-甲基吡咯烷酮。可选地,活性炭:聚偏氟乙烯:乙炔黑的比例为8:1:0.5,溶剂为N,N-二甲基乙酰胺,其它溶剂如N,N-二甲基甲酰胺和N-甲基吡咯烷酮(NMP)也适用于本实施例。活性炭的比表面积为 $1800 \pm 100$ 平方米/克( $\text{m}^2/\text{g}$ ),粒径为 $5 \pm 1$ 微米,阳极与阴极多孔炭层组成相同,其它常用的大比表面积和小粒径活性炭均可应用于本实施例。多孔炭层厚度为100-200微米。可选地,在120℃下干燥12小时。

[0033] 在另一些实施例中,阳极集流体和阴极集流体为石墨材质或钛材质,石墨片化学稳定且导电性良好,钛材质也可满足要求。

[0034] 在另一些实施例中,还包括:密封垫片,其设置在所述阴离子交换层的和所述阳离子交换层之间,所述密封垫片为中部有开孔的环状结构,所述阳极集流体上开设有第一通水口,所述阴极集流体上设置有第二通水口,所述第一通水口和所述第二通水口均与所述开孔连通,即阳极与阴极平行放置,其间设置密封垫片密封,垫片为硅胶等耐腐蚀材料,垫片中央裁剪得到的空心体积为水通道(见图3(f)中部),下端和上端分别连通第一通水口和第二通水口(见图3(f)与中部连通的圆孔),第一通水口和第二通水口分别用于进水或出水。

[0035] 本申请的实施例还提供了电容去离子装置,包括:多个依次堆叠的所述的电容去离子单元,以及封装多个所述电容去离子单元的密封垫圈和端板,所述密封垫圈和所述端板上与所述第一通水口和所述第二通水口对应的位置设置有通孔(见图3(a)和(b)上的圆孔)。即本实施例通过将多个电容去离子单元堆叠,提升水处理量,具体地,由端板,密封垫圈,阳极集流体,阳极多孔炭层,阳极离子选择层,密封垫片,阴极离子选择层,阴极多孔炭层,阴极集流体,阴极多孔炭层,阴极离子选择层,密封垫片,阳极离子选择层,阳极多孔炭层,阳极集流体,如此往复构成所需的组数,最后一组集流体外侧无多孔炭层和离子选择层,紧贴密封垫圈,端板。通孔和第一通水口和第二通水口连通,用于水的流入和流出。两侧端板上分别有一个进水口和一个出水口,分别与集流体上的第一通水口和第二通水口相连,连通至阳极与阴极之间的水通道内。进水口在端板对角线下部,出水口在另一侧端板对角线上部。

[0036] 本申请的实施例还提供了电容去离子方法,包括:在所述的电容去离子单元的所述阳极集流体和所述阴极集流体之间施加电压,将待处理水引入阳极集流体和阴极集流体

之间;在外接直流电作用下,阳极吸附阴离子,阳离子在阳极受阴离子选择层阻挡无法进出阳极,阴极吸附阳离子,阴离子在阴极受阳离子选择层阻挡无纺进出阴极,达到水和离子的分离,实现阳离子和阴离子的同时去除。

[0037] 在另一些实施例中,提供了优选地盐度、电压和电流密度,所述待处理水的盐度为50~2000毫克/升,所述阳极集流体和所述阴极集流体之间施加的电压不高于1.2伏,电流密度不大于4毫安/平方厘米。

[0038] 以下以若干具体实施例具体说明:

[0039] 实施例1:采用商业活性炭、导电剂乙炔黑和粘结剂PVDF制备活性炭电极,控制电极厚度在100~200微米之间。采用蒙脱土与PVDF混合以5:1比例通过超声喷涂制备阳离子交换涂层于阴极表面,采用水滑石与PVDF混合以10:1比例通过超声喷涂制备阴离子交换涂层于阳极表面,离子交换剂载量均为1毫克/平方厘米。离子交换涂层的表面表征见图2,相较于原始活性炭电极(4a)的单层均一结构,复合电极(4c和4d)均显示出分层结构,上层为致密层,下层为多孔层。通过元素检测可以发现,在蒙脱土涂覆电极中上层含有丰富的Si、Al、O元素,而下层中几乎不含有,这些元素来源于蒙脱土;相似地,在水滑石涂覆电极中上层富含Mg、Al、O元素,来源于水滑石材料。这证明了功能材料涂层的有效制备,且涂层以致密、均一的方式形成于多孔碳电极表面。

[0040] 选用模拟盐水(其中包括氯化钠)作为脱盐对象,在常温常压下,氯化钠的初始浓度为500毫克/升。给定恒定电压1.2伏充电15分钟进行吸附除盐。采用序批式,通过电导率仪监测系统水池内的电导率。系统盐吸附容量达12毫克/克,库仑效率达74%。

[0041] 实施例2:采用商业活性炭、导电剂乙炔黑和粘结剂PVDF制备活性炭电极,控制电极厚度在100~200微米之间。采用蒙脱土与PVDF混合以3:1比例通过超声喷涂制备阳离子交换涂层于阴极表面,采用水滑石与PVDF混合以5:1比例通过超声喷涂制备阴离子交换涂层于阳极表面,离子交换剂载量均为2毫克/平方厘米。选用模拟盐水(初始浓度为500毫克/升氯化钠溶液)。在常温常压下,给定恒定电压1.2伏充电15分钟进行吸附除盐,给定恒定电压0伏放电15分钟进行脱附释盐,以此为一个完整周期。采用单向连续流,系统持续工作50小时以上,通过电导率仪监测器件出水口的电导率变化,通过pH计检测出水口pH波动。

[0042] 实施例3:采用模拟有机含盐水(包括50~200毫克/升海藻酸钠(SA)和500毫克/升氯化钠)作为脱盐对象,其它参数与实施例2相同。

[0043] 对比例1:采用传统电容去离子技术。将商业活性炭、粘结剂PVDF和导电剂乙炔黑以8:1:0.5的比例分散在DMAC中制备电极浆液,刮涂控制电极厚度在100~200微米,120℃干燥电极使溶剂挥发。选用模拟盐水(初始浓度为500毫克/升氯化钠溶液)作为脱盐对象。在常温常压下,给定恒定电压1.2伏充电15分钟进行吸附除盐,给定恒定电压0伏放电15分钟进行脱附释盐,以此为一个完整周期。采用单向连续流,系统持续工作50小时以上,通过电导率仪监测器件出水口的电导率变化,通过pH计检测出水口pH波动。

[0044] 对比例2:采用模拟有机含盐水(包括50~200毫克/升海藻酸钠(SA)和500毫克/升氯化钠(NaCl))作为脱盐对象,其它参数与对比例1相同。

[0045] 由图3可知,在50小时连续多周期,实施例2相比于对比例1中的传统电容去离子技术有更大的电导率随时间的积分面积的变化,其原因是离子交换涂层抑制了同离子效应,增大了表观脱盐量。在传统电容去离子系统中,电极对盐的吸附和脱附性能逐渐下降,在吸

附阶段出现“脱附峰”，最终“倒置工作”，这归因于阳极氧化等法拉第反应。而本发明由于涂层有效抑制法拉第反应，因此性能稳定。

[0046] 由图6和图7可知，实施例3的盐吸附容量初始为17.0毫克/克，脱盐容量保持稳定，100个周期后仍有15.8毫克/克，pH波动小。实施例3在对含不同浓度(50~200毫克/升)海藻酸钠的盐水处理约50小时后，系统的脱盐容量仍达14.3毫克/克，容量保持率为84%，库仑效率的保持率为89%，库仑效率为82%，其处理过程中电导率变化曲线见图5，盐吸附容量及库仑效率结果见图6~7。这是因为海藻酸钠分子量较大，不易渗透涂层，因此不易沉降在碳电极表面。而由对比例2由于没有涂层的阻挡，脱盐容量和库仑效率下降明显，这是因为活性炭表面携带的羧基、羟基等官能团提供亲水位点，海藻酸钠与活性炭之间因共价键和静电相互作用结合，占据并阻挡活性炭的吸附位点。

[0047] 这里说明的设备数量和处理规模是用来简化本发明的说明的。对本发明电容去离子单元、装置及方法的应用、修改和变化对本领域的技术人员来说是显而易见的。

[0048] 尽管本发明的实施方案已公开如上，但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用，它完全可以被适用于各种适合本发明的领域，对于熟悉本领域的人员而言，可容易地实现另外的修改，因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下，本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。



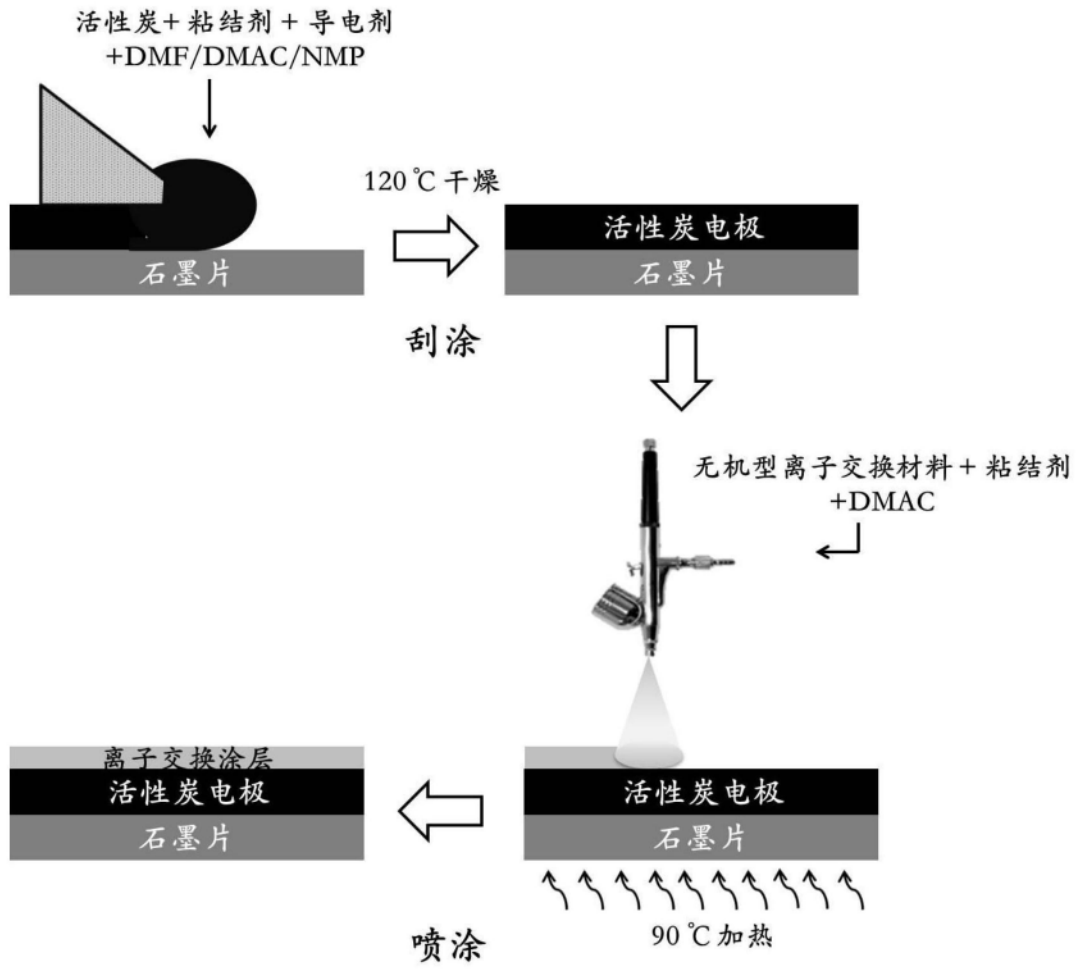


图1

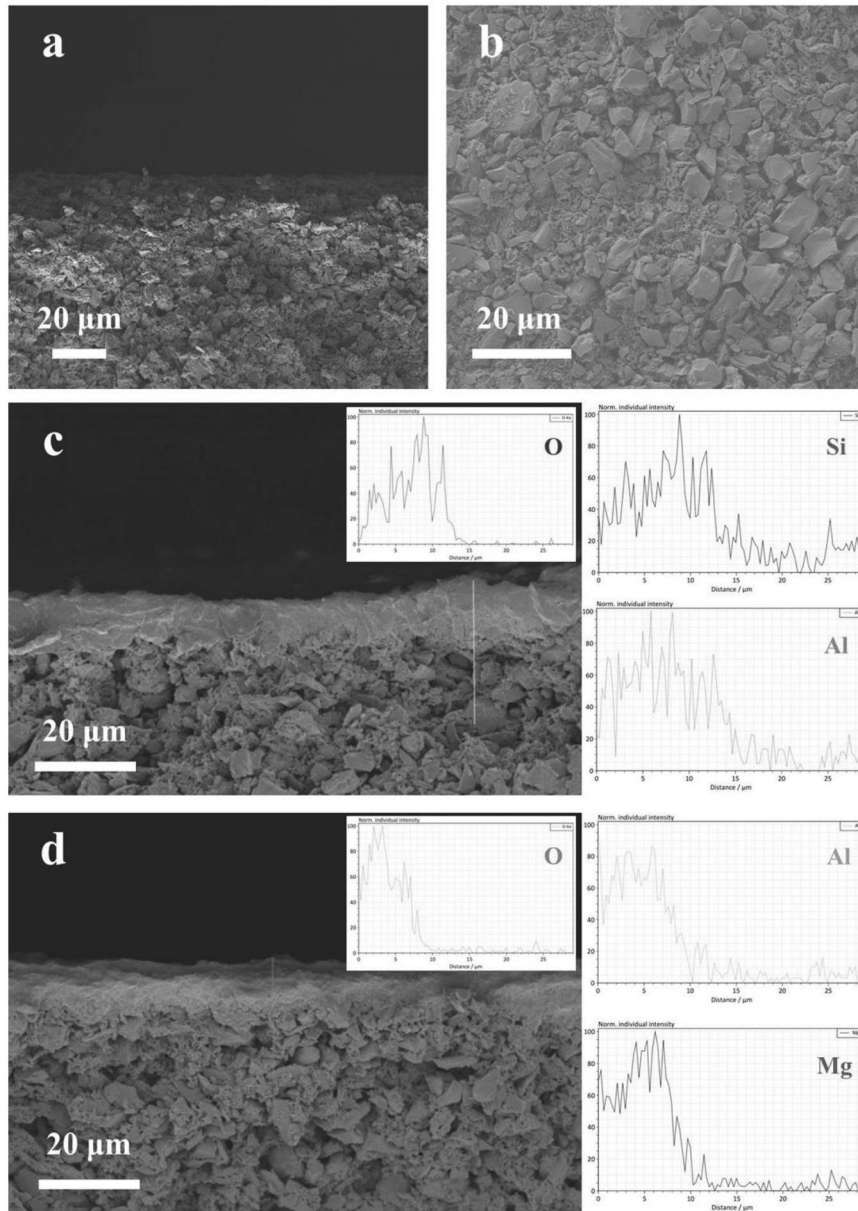


图2

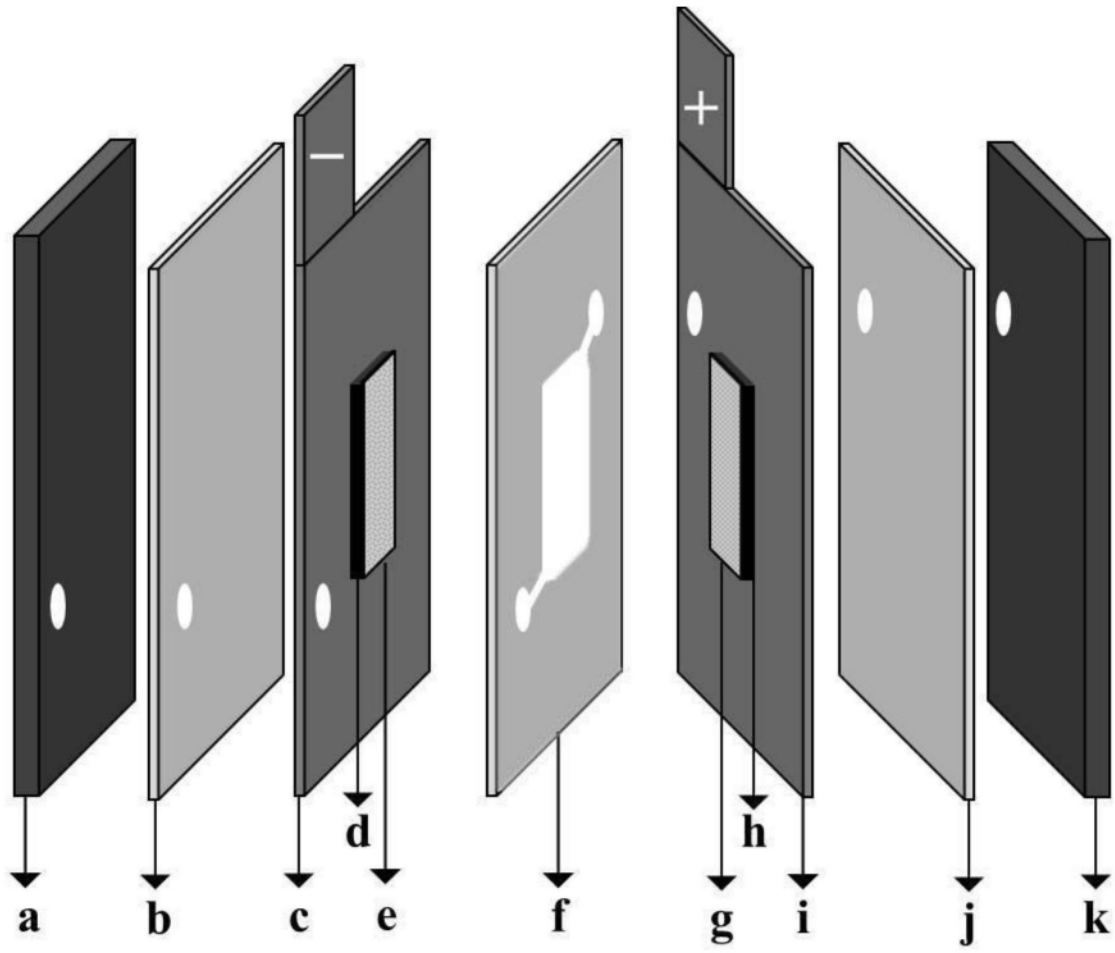


图3

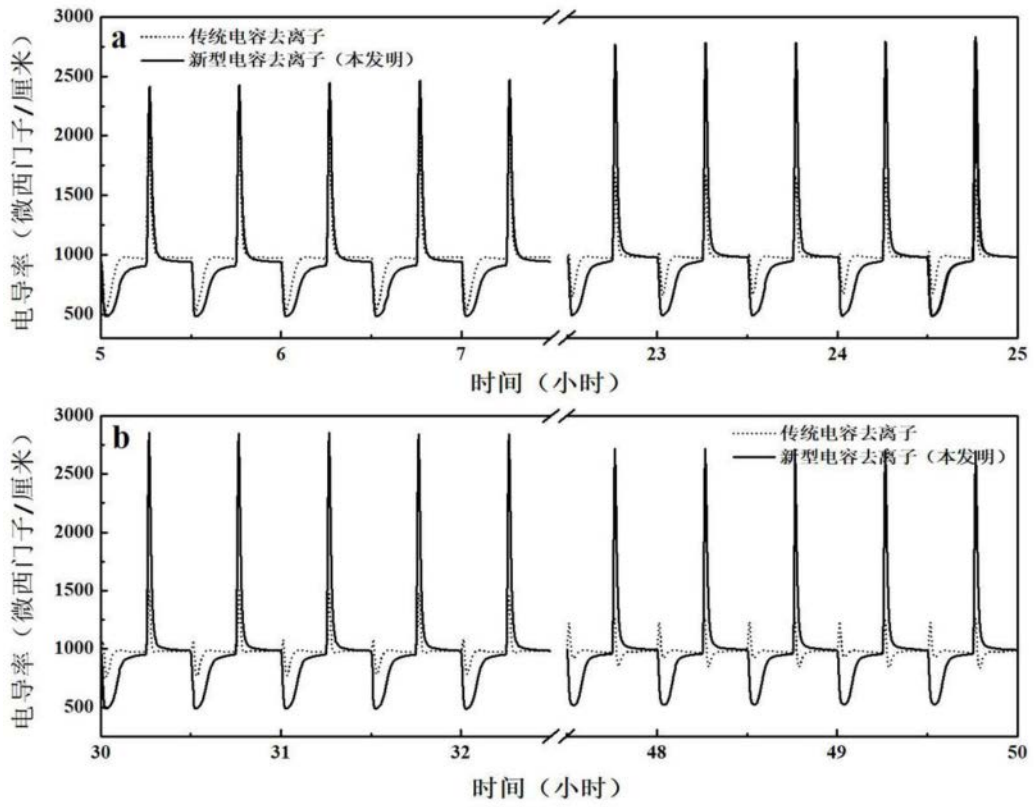


图4

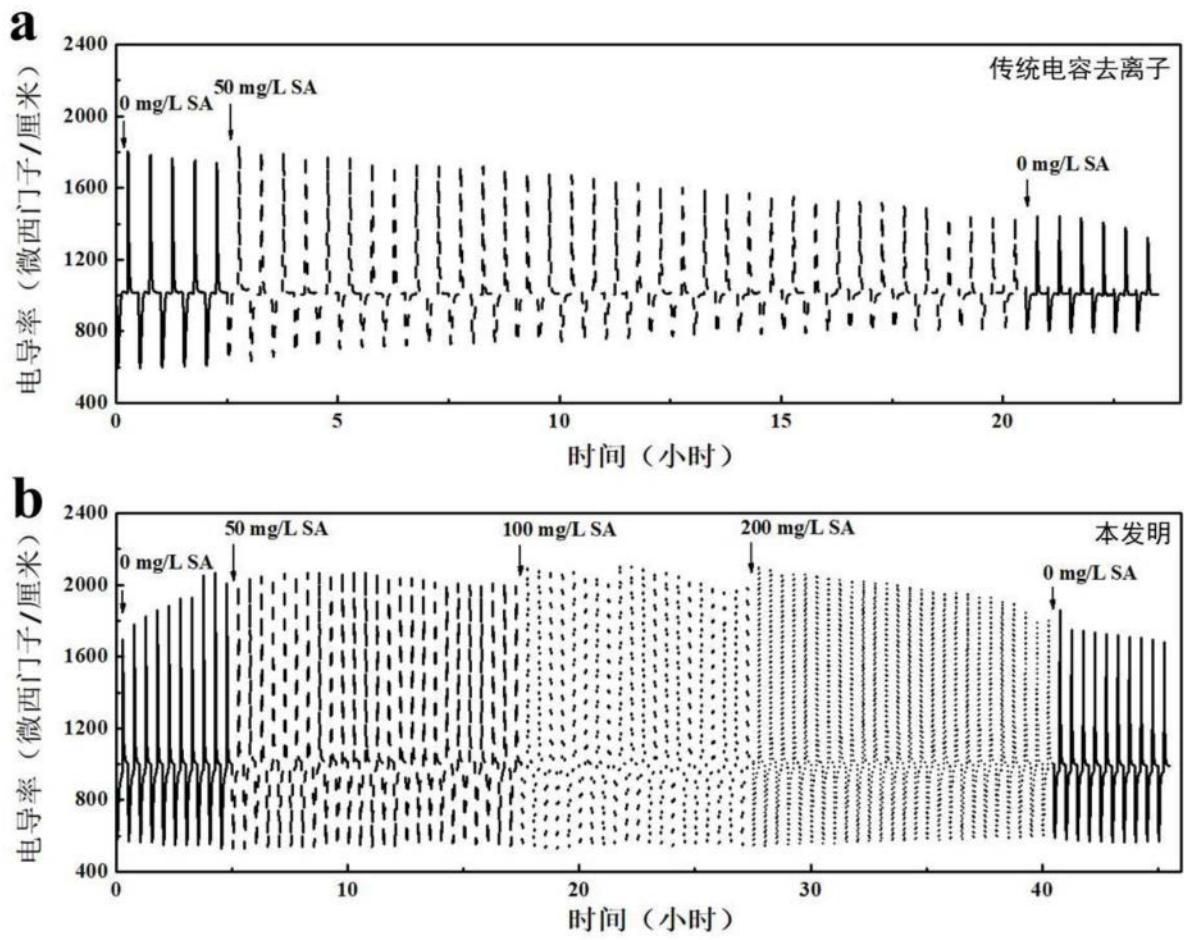


图5

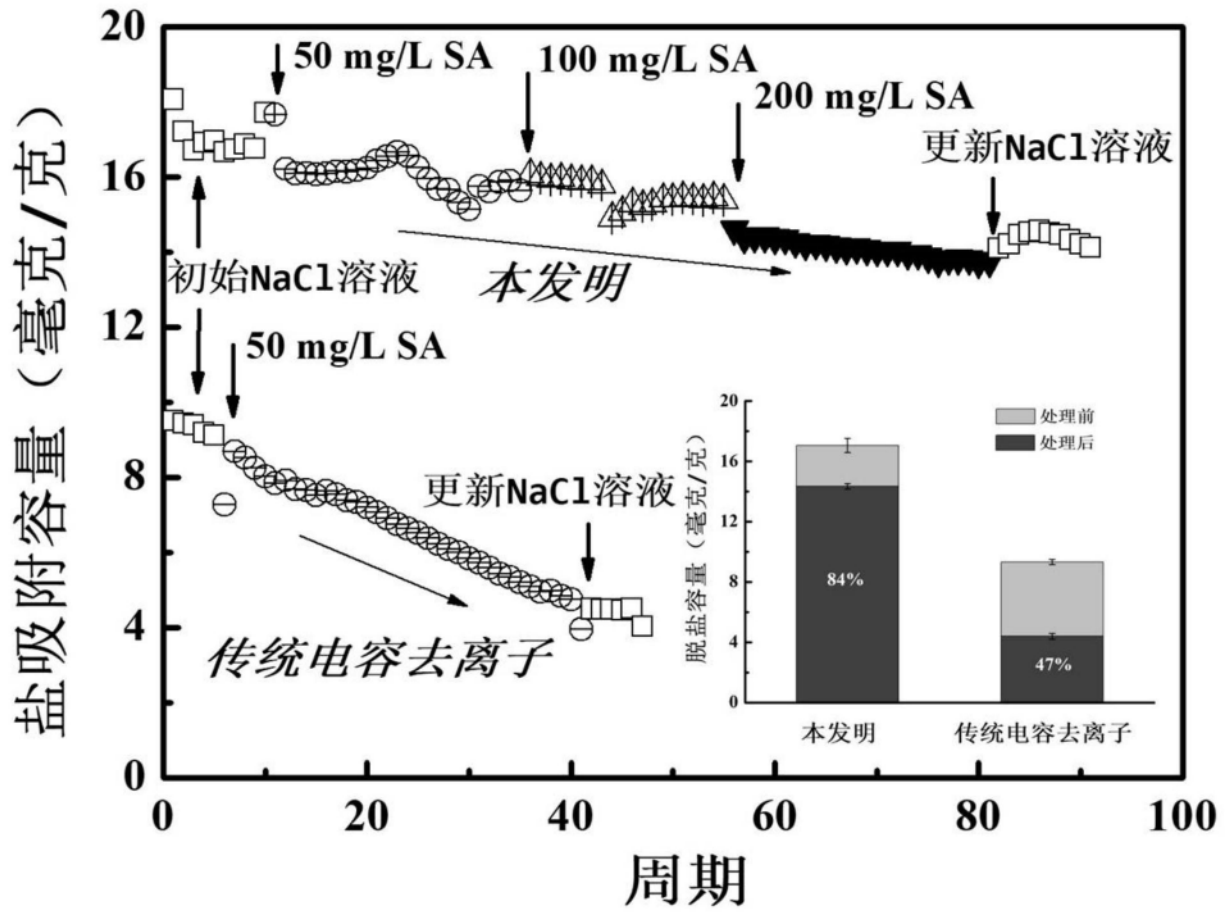


图6

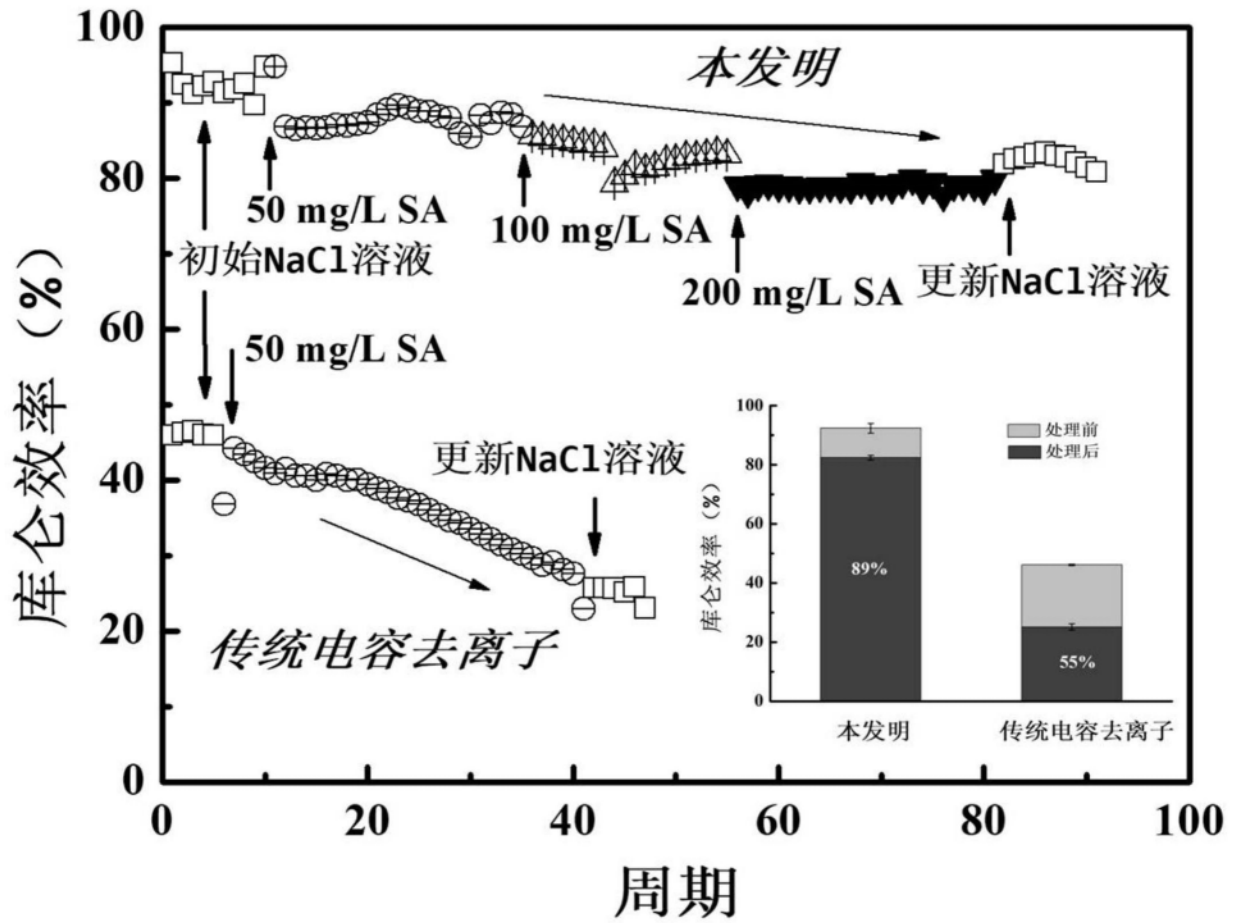


图7