



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102527261 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201110254107. 5

审查员 王文娟

(22) 申请日 2011. 08. 31

(73) 专利权人 天津工业大学

地址 300160 天津市河东区成林道 63 号

(72) 发明人 赵义平 张桂芳 李培欣 陈莉

申向 张强

(51) Int. Cl.

B01D 71/34 (2006. 01)

B01D 67/00 (2006. 01)

B01D 69/08 (2006. 01)

B01J 20/28 (2006. 01)

B01J 20/26 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101417211 A, 2009. 04. 29,

CN 101619310 A, 2010. 01. 06,

JP 2005255737 A, 2005. 09. 22,

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜

(57) 摘要

本发明公开了一种重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜;本发明属于膜技术领域,特别涉及一种有机-无机杂化中空纤维膜的制备技术。一种重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜,所述重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜中含有改性凹凸棒土,所述 PVDF 与改性凹凸棒土的质量比为 1 : 0.01 ~ 1 : 0.1。本发明产品为中空纤维分离膜,具有耐压性能好、无需支撑体、膜组件可做成任意大小和形状、膜组件内装填密度大、单位体积膜面积和通量大等优点。另外,本发明杂化膜纺丝性能良好,纺丝成膜过程工艺简单、成本低。

1. 一种重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜,其特征在于所述重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜中含有改性凹凸棒土,所述 PVDF 与改性凹凸棒土的质量比为 1 : 0.01 ~ 1 : 0.1 ;所述重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜用下述方法得到:

(1) 纺丝料液的配制:称取 PVDF 加入放有 DMF 的容器中,加入 PEG,将上述容器置于 50℃ ~ 70℃ 水浴中,搅拌溶解得到铸膜料液;向料液中加入改性凹凸棒土,使 PVDF 与改性凹凸棒土的质量比为 1 :0.01 ~ 1 :0.1,充分搅拌和超声振荡使凹凸棒土均匀分散得到纺丝料液;

(2). PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜的制备:将纺丝料液倒入干-湿法纺丝机机釜内,密封纺丝机釜,加热纺丝机釜,使纺丝料液温度在 25℃ ~ 50℃,抽真空脱泡处理 20 ~ 60 分钟;纺丝料液脱泡处理完毕后,打开釜出口开关,向釜内通入氮气加压,打开计量泵开关,调整转速 8 ~ 20 转 / 分钟,开始纺丝;将从喷丝板中挤出的中空纤维通过 20℃ ~ 30℃ 的凝固浴后卷绕到卷绕辊上,控制卷绕辊转速为 10 ~ 25 转 / 分钟;纺丝结束后,卷绕装置停机,取下纤维,将纺制出的中空纤维膜在蒸馏水中浸泡一周;将中空纤维膜浸泡甘油水溶液中 1 ~ 2 天,取出晾干,即得 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维分离膜。

2. 如权利要求 1 所述重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜,其特征在于所述 PVDF 在 DMF 中的质量比为 15% ~ 20%。

3. 如权利要求 1 所述重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜,其特征在于所述 PEG 在 DMF 中的质量比为 5% ~ 10%。

4. 如权利要求 1 所述重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜,其特征在于所述甘油水溶液中甘油与水体积比为 1 :1。

一种重金属离子吸附型 PVDF 中空纤维膜

技术领域

[0001] 本发明属于膜技术领域,特别涉及一种有机-无机杂化中空纤维膜的制备技术。具体为一种以聚偏氟乙烯膜材料和凹凸棒土复合杂化制备的对重金属离子具有吸附功能的中空纤维超滤膜。

背景技术

[0002] 随着化学工业和冶金工业的快速发展,来自电解液、电镀液以及采矿、金属冶炼过程中产生的含有铅、铜、镉、铬、汞等重金属离子的废水污染正日趋严重,重金属废水污染已成为严重的环境和社会问题,是目前迫切需要解决的经济发展与环境健康、饮水安全方面的关键难题。

[0003] 近年来,无机材料对重金属离子的吸附性能越来越受到研究学者的关注。部分无机矿物质材料造价低并且对重金属离子的吸附性能明显,在重金属离子吸附方面尤为引人注目,其中凹凸棒土是最具典型的一种。

[0004] 凹凸棒土又称坡缕石(或称坡缕缟石)是一种天然非金属矿物质材料,是一种具有链层状结构的含水富镁硅酸盐粘土矿物,典型化学式为 $\text{Si}_8\text{Mg}_6\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{OH}_2)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,结构属 2:1 型粘土矿物,在每个 2:1 单位结构层中,四面体晶片角顶隔一定距离方向颠倒,形成层链状。在四面体条带间形成与链平行的通道,通道中充填沸石水和结晶水。其纤维结构一般包括三个层次:①基本结构单元为微棒状或纤维状单晶体,简称棒晶。②由单晶平行聚集而成的单晶束。③由晶束(包括棒晶)相互堆积而成的聚集体。凹凸棒土的特殊结构使其具有很大的比表面积,物理吸附能力很强。另一方面,凹凸棒土带有层面负电荷,在层间吸附了具有可交换性的阳离子以使电荷平衡,这样凹凸棒土就具有了较强的离子吸附交换能力。改性凹凸棒土具有很强的重金属离子吸附能力,可以应用在含重金属废水的处理应用中,并且凹凸棒土应用在含重金属废水处理中具有吸附处理效果好、成本低、应用广泛、再生简单等优点,具有很好的发展前景。

[0005] 膜分离技术作为一种高新技术在工业废水处理领域已有广泛的研究和探索,由于其分离效率高、无相变、节能环保、设备简单、操作简便、无二次污染、分离产物易于回收、自动化程度高等优点,使其在水处理领域具有相当大的技术优势,已成为水处理领域中不可缺少的技术之一。目前,聚偏氟乙烯(PVDF)是一种综合性能优良的分离膜材料,其力学性能优良,具有良好的耐冲击性、耐磨性和耐切割性能,还具有压电性、介电性和热电性等特殊性能。PVDF 的化学稳定性良好,在室温下不被酸、碱、强氧化剂和卤素所腐蚀,对脂肪烃、芳香烃、醇和醛等有机溶剂很稳定,在盐酸、硝酸、硫酸和稀、浓碱液(质量分数 40%)中以及高达 100℃ 温度下,其性能基本不变。另外,PVDF 具有优异的抗 γ 射线、紫外线辐射和耐老化性能,其薄膜长期置于室外不变脆,不龟裂。

[0006] 但是,PVDF 分离膜对重金属离子没有吸附效果。目前在 PVDF 改性方面以及 PVDF 与无机物杂化分离膜研究和生产领域,用于重金属离子吸附型的分离膜研究鲜见报道,尤其利用无机矿物质凹凸棒土对重金属离子的吸附性,制备对重金属离子具有吸附功能的

PVDF-凹凸棒土杂化分离膜的研究尚未见报道。

发明内容

[0007] 针对现有 PVDF 分离膜应用于重金属离子吸附方面的不足,本发明拟解决的技术问题是提供一种对铅、镉、镍、钼等重金属离子具有吸附功能的杂化中空纤维分离膜。

[0008] 本发明通过对无机矿物质凹凸棒土进行改性,然后均匀分散在纺丝料液中,采用干-湿法纺丝工艺,纺制出对重金属离子具有吸附功能的杂化中空纤维分离膜。

[0009] 所述对重金属离子具有吸附功能的 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维分离膜中含有改性凹凸棒土,所述 PVDF 与改性凹凸棒土的质量比为 1 : 0.01 ~ 1 : 0.1 ;

[0010] 本发明产品可用下述方法得到 :

[0011] 1. 纺丝料液的配制。称取 PVDF 加入放有 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF) 的容器中,加入聚乙二醇 (PEG)。将上述容器置于 50℃ ~ 70℃ 水浴中,搅拌溶解得到铸膜料液 ;向料液中加入改性凹凸棒土,使 PVDF 与改性凹凸棒土的质量比为 1 : 0.01 ~ 1 : 0.1,充分搅拌和超声振荡使凹凸棒土均匀分散得到纺丝料液。

[0012] 2. PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜的制备。将纺丝料液倒入干-湿法纺丝机机釜内,密封纺丝机釜,加热纺丝机釜,使纺丝料液温度在 25℃ ~ 50℃,抽真空脱泡处理 20 ~ 60 分钟。纺丝料液脱泡处理完毕后,打开釜出口开关,向釜内通入氮气加压,打开计量泵开关,调整转速 8 ~ 20 转 / 分钟,开始纺丝。

[0013] 将从喷丝板中挤出的中空纤维通过 20℃ ~ 30℃ 的凝固浴后卷绕到卷绕辊上,控制卷绕辊转速为 10 ~ 25 转 / 分钟。纺丝结束后,卷绕装置停机,取下纤维,将纺制出的中空纤维膜在蒸馏水中浸泡一周 ;将中空纤维膜浸泡甘油水溶液中 1 ~ 2 天,取出晾干,即得 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维分离膜。

[0014] 所述 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜 PVDF 在 DMF 中的质量比为 15% ~ 20% ;

[0015] 所述 PEG 在 DMF 中的质量比为 5% ~ 10%。

[0016] 凝固浴水槽和芯液罐内注入蒸馏水,凝固浴水槽起到中空纤维膜外壁的凝固作用,芯液罐内的芯液通到中空纤维膜内管中,对膜内壁起到凝固作用。

[0017] 所述甘油水溶液中甘油与水体积比为 1 : 1。

[0018] 纺丝前将干-湿法纺丝机及其附属凝固浴水槽和芯液罐、氮气罐、牵伸装置等连接好。

[0019] 所述步骤 1 中改性凹凸棒土的制备方法如下。称取 10g ~ 20g 粒径 300 目 ~ 1000 目的凹凸棒土,用 1L 蒸馏水洗涤,沉淀取其上层清液,500rpm 离心 1min 后取其上层清液,上层清液中加少量蒸馏水混合均匀后继续 500rpm 离心 1min,然后取其上层清液,如此反复洗涤上层清液 3 ~ 5 次后,最后用 4000rpm 进行离心分离,取其沉淀,90℃ 下真空干燥 24h,研磨后按粒径大小选择 300 目 ~ 1000 目筛子过筛,得纯化凹凸棒土。

[0020] 配置浓度为 2.5mol/L ~ 3mol/L 的盐酸溶液,取 10g ~ 20g 纯化凹凸棒土与 150mL ~ 200mL 盐酸溶液加入到小烧杯中搅拌混合,5min 后,将混合物加热到 70 ~ 80℃,搅拌 1h ~ 2h,然后超声振荡 30min ~ 40min,抽滤,用蒸馏水洗涤至 pH 约为 6 左右,90℃ 下真空干燥 24h,研磨过 300 目 ~ 1000 目筛得改性凹凸棒土。

[0021] 本发明产品利用凹凸棒土优越的重金属吸附性能,可有效地吸附废水中铅、镉、

镍、钼等重金属离子,而且凹凸棒土在体系中用量少,对 PVDF 中空纤维膜的力学强度、渗透性等基本性能影响不大。另外,我国江苏、安徽具有储量丰富的凹凸棒土资源,凹凸棒土价格较为低廉,相对于 PVDF 中空纤维膜,本发明产品成本影响不大。

[0022] 有益效果:

[0023] 本发明产品制备不需要特殊设备、工业化实施容易,总体而言工艺简单,而且膜的成本变化不大。该中空纤维分离膜产品对分离电解液、电镀液等废水中的铅、镉、镍、钼等重金属离子具有很好的作用。另外,本发明制备的是有机-无机杂化膜,集中了 PVDF 分离膜的优点以及凹凸棒土的吸附性能,膜物理性能稳定,纯水通量和亲水性有一定程度的提高。

[0024] 本发明产品为中空纤维分离膜,具有耐压性能好、无需支撑体、膜组件可做成任意大小和形状、膜组件内装填密度大、单位体积膜面积和通量大等优点。另外,本发明杂化膜纺丝性能良好,纺丝成膜过程工艺简单、成本低。

具体实施方式:

[0025] 下面的实施例可以使本专业技术人员更全面地理解本发明,但不以任何方式限制本发明

[0026] 实施例 1:对重金属离子具有吸附功能的 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维分离膜中含有改性凹凸棒土,所述 PVDF 与改性凹凸棒土的质量比为 1 : 0.01 ;由以下方法制备:

[0027] (1) 纺丝液的配制。称取 PVDF 加入盛有 500mL 的 DMF 的烧杯中,PVDF 在 DMF 中质量百分比为 18%。加入分子量为 10000 的致孔剂 PEG, PEG 添加量为在 DMF 中质量百分比为 8%。将烧杯放于 60℃ 水浴中,并在电磁搅拌下使固体溶解得到铸膜料液。向料液中加入一定量改性凹凸棒土,使 PVDF 与凹凸棒土的质量比为 1 : 0.01,充分搅拌和超声振荡使其分散均匀得到纺丝液。

[0028] (2) PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜的制备。将纺丝料液倒入干-湿法纺丝机机釜内,密封纺丝机釜,加热纺丝机釜,使纺丝料液温度在 25℃,抽真空脱泡处理 30 分钟。纺丝料液脱泡处理完毕后,打开釜出口开关,向釜内通入氮气加压,打开计量泵开关,调整转速 10 转 / 分钟,开始纺丝。

[0029] 将从喷丝板中挤出的中空纤维通过 20℃ 的凝固浴后卷绕到卷绕辊上,控制卷绕辊转速为 10 转 / 分钟。纺丝结束后,卷绕装置停机,取下纤维,将纺制出的中空纤维膜在蒸馏水中浸泡一周,2-3 天换水一次; ;将中空纤维膜浸泡甘油水溶液中 1 天,取出晾干,即得 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜。

[0030] 凹凸棒土的改性。称取 10g 粒径 300 目的凹凸棒土,用 1L 蒸馏水洗涤,沉淀取其上层清液,然后反复洗涤 3 次后,500rpm 离心 1min 后取其上层清液,用 4000rpm 进行离心分离,取其沉淀,90℃ 下真空干燥 24h,研磨过筛得纯化凹凸棒土。

[0031] 配置浓度为 2.5mol/L 的盐酸溶液,取 10g 纯化凹凸棒土与 150mL 盐酸溶液加入到小烧杯中搅拌混合,5min 后将混合物加热到 70℃ 下搅拌 1h,然后超声振荡 30min,抽滤,用蒸馏水洗涤至 pH 约为 6 左右,90℃ 下真空干燥 24h,研磨过筛得改性凹凸棒土。

[0032] 实施例 2:基本同例 1

[0033] (1) 纺丝液的配制。称取 PVDF 加入盛有 500mL 的 DMF 的烧杯中,PVDF 在 DMF 中质量百分比为 16%。加入分子量为 10000 的致孔剂 PEG, PEG 添加量为在 DMF 中质量百分比

为 8%。将烧杯放于 60℃ 水浴中,并在电磁搅拌下使固体溶解得到铸膜料液。向料液中加入一定量改性凹凸棒土,使 PVDF 与凹凸棒土的质量比为 1 : 0.05,充分搅拌和超声振荡使其分散均匀得到铸膜液。

[0034] (2)PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜的制备。将纺丝料液倒入干-湿法纺丝机机釜内,密封纺丝机釜,加热纺丝机釜,使纺丝料液温度在 30℃,抽真空脱泡处理 40 分钟。纺丝料液脱泡处理完毕后,打开釜出口开关,向釜内通入氮气加压,打开计量泵开关,调整转速 10 转 / 分钟,开始纺丝。

[0035] 将从喷丝板中挤出的中空纤维通过 30℃ 的凝固浴后卷绕到卷绕辊上,控制卷绕辊转速为 10 转 / 分钟。纺丝结束后,卷绕装置停机,取下纤维,将纺制出的中空纤维膜在蒸馏水中浸泡一周,2-3 天换水一次;将中空纤维膜浸泡甘油水溶液中 2 天,取出晾干,即得 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜。

[0036] (1)凹凸棒土的改性。称取 15g 粒径 300 目的凹凸棒土,用 1L 蒸馏水洗涤,沉淀取其上层清液,然后反复洗涤 4 次后,500rpm 离心 1min 后取其上层清液,用 4000rpm 进行离心分离,取其沉淀,90℃ 下真空干燥 24h,研磨过筛得纯化凹凸棒土。

[0037] 配置浓度为 3mol/L 的盐酸溶液,取 10g 纯化凹凸棒土与 150mL 盐酸溶液加入到小烧杯中搅拌混合,5min 后将混合物移入圆底烧瓶内,加热到 70℃ 下搅拌 1h,然后超声振荡 30min,抽滤,用蒸馏水洗涤至 pH 约为 6 左右,90℃ 下真空干燥 24h,研磨过筛得改性凹凸棒土。

[0038] 实施例 3 :

[0039] (1) 纺丝液的配制。称取 PVDF 加入盛有 500mL 的 DMF 的烧杯中,PVDF 在 DMF 中质量百分比为 17%。加入分子量为 10000 的致孔剂 PEG,PEG 添加量为在 DMF 中质量百分比为 10%。将烧杯放于 60℃ 水浴中,并在电磁搅拌下使固体溶解得到铸膜料液。向料液中加入一定量改性凹凸棒土,使 PVDF 与凹凸棒土的质量比为 1 : 0.05,充分搅拌和超声振荡使其分散均匀得到铸膜液。

[0040] (2)PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜的制备。将纺丝料液倒入干-湿法纺丝机机釜内,密封纺丝机釜,加热纺丝机釜,使纺丝料液温度在 40℃,抽真空脱泡处理 30 分钟。纺丝料液脱泡处理完毕后,打开釜出口开关,向釜内通入氮气加压,打开计量泵开关,调整转速 15 转 / 分钟,开始纺丝。

[0041] 将从喷丝板中挤出的中空纤维通过 30℃ 的凝固浴后卷绕到卷绕辊上,控制卷绕辊转速为 20 转 / 分钟。纺丝结束后,卷绕装置停机,取下纤维,将纺制出的中空纤维膜在蒸馏水中浸泡一周,2-3 天换水;将中空纤维膜浸泡甘油水溶液中 1 天,取出晾干,即得 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜。

[0042] 凹凸棒土的改性。称取 20g 粒径 500 目的凹凸棒土,用 1L 蒸馏水洗涤,沉淀取其上层清液,然后反复洗涤 4 次后,500rpm 离心 1min 后取其上层清液,用 4000rpm 进行离心分离,取其沉淀,90℃ 下真空干燥 24h,研磨过筛得纯化凹凸棒土。

[0043] 配置浓度为 3mol/L 的盐酸溶液,取 10g 纯化凹凸棒土与 200mL 盐酸溶液加入到小烧杯中搅拌混合,5min 后将混合物移入圆底烧瓶内,加热到 70℃ 下搅拌 2h,然后超声振荡 30min,抽滤,用蒸馏水洗涤至 pH 约为 6 左右,90℃ 下真空干燥 24h,研磨过筛得改性凹凸棒土。

[0044] 实施例 4：

[0045] (1) 纺丝液的配制。称取 PVDF 加入盛有 500mL 的 DMF 的烧杯中, PVDF 在 DMF 中质量百分比为 20%。加入分子量为 10000 的致孔剂 PEG, PEG 添加量为在 DMF 中质量百分比为 9%。将烧杯放于 60℃ 水浴中, 并在电磁搅拌下使固体溶解得到铸膜料液。向料液中加入一定量改性凹凸棒土, 使 PVDF 与凹凸棒土的质量比为 1 : 0.1, 充分搅拌和超声振荡使其分散均匀得到铸膜液。

[0046] (2) PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜的制备。将纺丝料液倒入干-湿法纺丝机机釜内, 密封纺丝机釜, 加热纺丝机釜, 使纺丝料液温度在 50℃, 抽真空脱泡处理 30 分钟。纺丝料液脱泡处理完毕后, 打开釜出口开关, 向釜内通入氮气加压, 打开计量泵开关, 调整转速 20 转 / 分钟, 开始纺丝。

[0047] 将从喷丝板中挤出的中空纤维通过 30℃ 的凝固浴后卷绕到卷绕辊上, 控制卷绕辊转速为 25 转 / 分钟。纺丝结束后, 卷绕装置停机, 取下纤维, 将纺制出的中空纤维膜在蒸馏水中浸泡一周, 2-3 天换水; 将中空纤维膜浸泡甘油水溶液中 2 天, 取出晾干, 即得 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜。

[0048] 凹凸棒土的改性。称取 15g 粒径 1000 目的凹凸棒土, 用 1L 蒸馏水洗涤, 沉淀取其上层清液, 然后反复洗涤 5 次后, 500rpm 离心 1min 后取其上层清液, 用 4000rpm 进行离心分离, 取其沉淀, 90℃ 下真空干燥 24h, 研磨过筛得纯化凹凸棒土。

[0049] 配置浓度为 3mol/L 的盐酸溶液, 取 20g 纯化凹凸棒土与 200mL 盐酸溶液加入到小烧杯中搅拌混合, 5min 后将混合物移入圆底烧瓶内, 加热到 80℃ 下搅拌 2h, 然后超声振荡 40min, 抽滤, 用蒸馏水洗涤至 pH 约为 6 左右, 90℃ 下真空干燥 24h, 研磨过筛得改性凹凸棒土。

[0050] 实施例 5：

[0051] (1) 纺丝液的配制。称取 PVDF 加入盛有 500mL 的 DMF 的烧杯中, PVDF 在 DMF 中质量百分比为 18%。加入分子量为 10000 的致孔剂 PEG, PEG 添加量为在 DMF 中质量百分比为 7%。将烧杯放于 60℃ 水浴中, 并在电磁搅拌下使固体溶解得到铸膜料液。向料液中加入一定量改性凹凸棒土, 使 PVDF 与凹凸棒土的质量比为 1 : 0.08, 充分搅拌和超声振荡使其分散均匀得到铸膜液。

[0052] (2) PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜的制备。将纺丝料液倒入干-湿法纺丝机机釜内, 密封纺丝机釜, 加热纺丝机釜, 使纺丝料液温度在 35℃, 抽真空脱泡处理 60 分钟。纺丝料液脱泡处理完毕后, 打开釜出口开关, 向釜内通入氮气加压, 打开计量泵开关, 调整转速 20 转 / 分钟, 开始纺丝。

[0053] 将从喷丝板中挤出的中空纤维通过 20℃ 的凝固浴后卷绕到卷绕辊上, 控制卷绕辊转速为 25 转 / 分钟。纺丝结束后, 卷绕装置停机, 取下纤维, 将纺制出的中空纤维膜在蒸馏水中浸泡一周, 定期换水; 将中空纤维膜浸泡甘油水溶液中 2 天, 取出晾干, 即得 PVDF-凹凸棒土杂化中空纤维膜。

[0054] 凹凸棒土的改性。称取 18g 粒径 800 目的凹凸棒土, 用 1L 蒸馏水洗涤, 沉淀取其上层清液, 然后反复洗涤 5 次后, 500rpm 离心 1min 后取其上层清液, 用 4000rpm 进行离心分离, 取其沉淀, 90℃ 下真空干燥 24h, 研磨过筛得纯化凹凸棒土。

[0055] 配置浓度为 2.8mol/L 的盐酸溶液, 取 16g 纯化凹凸棒土与 200mL 盐酸溶液加入到

小烧杯中搅拌混合,5min 后将混合物移入圆底烧瓶内,加热到 75℃下搅拌 1.5h,然后超声振荡 40min,抽滤,用蒸馏水洗涤至 pH 约为 6 左右,90℃下真空干燥 24h,研磨过筛得改性凹凸棒土。

[0056] 例 5 中膜产品对含有铅、镉、镍、钼等重金属离子废水进行吸附 1 小时试验,结果表明本发明产品对镍离子的吸附率为 20%,对铅离子的吸附率为 19%,对钼离子的吸附率为 21%,对镉离子的吸附率为 20%。