



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101511451 B

(45) 授权公告日 2013. 02. 06

(21) 申请号 200780032475. 7

代理人 樊云飞

(22) 申请日 2007. 06. 22

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

B01D 61/00 (2006. 01)

11/516, 843 2006. 09. 07 US

C02F 1/44 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2009. 03. 02

US 5346627 A, 1994. 09. 13, 说明书第 2 栏以及实施例.

(86) PCT申请的申请数据

CN 1212898 A, 1999. 04. 07, 权利要求 1.

PCT/US2007/071855 2007. 06. 22

US 20060160226 A1, 2006. 07. 20, 说明书第 4 — 6 页.

(87) PCT申请的公布数据

W02008/030652 EN 2008. 03. 13

审查员 王东升

(73) 专利权人 纳尔科公司

地址 美国伊利诺斯

(72) 发明人 迪帕克·A·穆萨尔

布赖恩·S·约翰逊

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

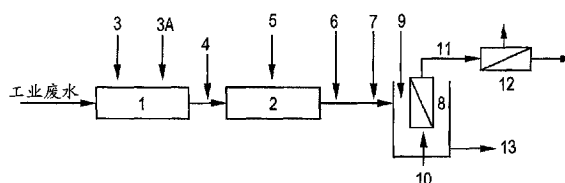
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

使用浸没式超滤膜或微滤膜从工业废水中除去重金属的方法

(57) 摘要

一种通过所公开的膜分离工艺从工业废水中除去一种或多种重金属的方法。具体为以下步骤：(a) 将含有重金属的工业废水收集在容器中；(b) 调整所述系统的 pH 以实现所述工业废水中的所述重金属的氢氧化物沉淀；(c) 添加有效量的水溶性二氯乙烷-氨聚合物以与所述工业废水系统中的所述重金属反应，所述水溶性二氯乙烷-氨聚合物具有从 500 道尔顿到 10,000 道尔顿的分子量、含有从 5 摩尔百分比到 50 摩尔百分比的二取代氨基甲酸盐盐基；(d) 使所述经处理的工业废水穿过浸没式膜，其中所述浸没式膜是超滤膜或微滤膜；及 (e) 任选地反冲洗所述膜以从膜表面除去固体。



1. 一种通过使用膜分离工艺从工业废水中除去一种或多种重金属的方法,其包括以下步骤:

- a. 将含有重金属的工业废水收集在适于容纳所述工业废水的容器中;
- b. 调整所述系统的 pH,以实现所述工业废水中的所述重金属的氢氧化物沉淀;
- c. 添加有效量的水溶性二氯乙烷氨聚合物以与所述工业废水系统中的所述重金属反应,所述水溶性二氯乙烷氨聚合物具有从约 500 道尔顿到约 10,000 道尔顿的分子量、含有从约 5 摩尔百分比到约 50 摩尔百分比的二硫代氨基甲酸盐盐基;
- d. 使所述经处理的工业废水穿过浸没式膜,其中所述浸没式膜为超滤膜或微滤膜;以及
- e. 反冲洗所述膜以从膜表面除去固体。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述水溶性二氯乙烷氨聚合物的所述有效量为从 10ppm 到约 10,000ppm。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其进一步包括以下步骤:在步骤 a 之后及在步骤 b 之前调整所述工业废水系统的 pH 以在所述废水系统中使金属与如果存在的螯合剂解络,且随后或同时添加一种或多种螯合剂清除剂。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中用于使所述经处理的工业废水穿过所述浸没式膜的驱动力为正压或负压。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其进一步包括在步骤 c 之后及在穿过所述浸没式膜之前用一种或多种水溶性聚合物处理所述工业废水。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述水溶性二氯乙烷氨聚合物具有约 2,000 道尔顿到约 2,000,000 道尔顿的分子量。

7. 根据权利要求 5 所述的方法,其中所述水溶性聚合物选自由两性聚合物、阳离子聚合物、或两性离子聚合物、阴离子聚合物及其组合组成的组。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述浸没式膜分离工艺选自由错流膜分离工艺、半死端流膜分离工艺及死端流膜分离工艺组成的组。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其进一步包括:使来自所述膜的滤液穿过附加膜。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述附加膜为反渗透膜。

11. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述附加膜为纳滤膜。

12. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述浸没式膜具有选自由中空纤维式构型、平板式构型或其组合组成的组的构型。

13. 根据权利要求 5 所述的方法,其中所述水溶性聚合物具有从 100,000 道尔顿到约 2,000,000 道尔顿的分子量。

14. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述工业废水中的所述重金属选自由 Pb、Cu、Zn、Cd、Ni、Hg、Ag、Co、Pd、Sn、及 Sb 或其组合组成的组。

15. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述工业废水来自选自由半导体制造、电路板工业、金属精整、镀金属、电力工业、精炼、汽车组成的组的工业过程。

16. 根据权利要求 3 所述的方法,其中在步骤之后及在步骤 b 之前将所述 pH 调整为小于 4。

17. 根据权利要求 3 所述的方法,其中所述螯合剂清除剂含有 Ca 或 Mg 或 Al 或 Fe。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其中含有 Fe 的所述螯合剂清除剂选自由氯化亚铁、硫酸亚铁、氯化铁、硫酸铁、或其组合组成的组。

使用浸没式超滤膜或微滤膜从工业废水中除去重金属的方法

发明领域

[0001] 本发明涉及通过使用浸没式超滤膜或微滤膜系统从工业废水中除去重金属的方法。

[0002] 背景

[0003] 由于严格的环境管制和 / 或缺水,各工业不得不在排放或回用他们的废水之前从他们的废水中除去重金属。大多数废水被通用 DTC/TTC 化学品 (chemistry) 或专用聚合 DTC 化合物处理且随后沉淀的金属在净化器中被分离。近年来,超滤 (UF) 膜或微滤 (MF) 膜代替净化器日益被用于固 - 液分离,这是因为 UF/MF 膜工艺更加紧密且比净化器产生具有更佳质量的水;特别是几乎没有悬浮固体并具有可忽略的浊度。取决于回用的目的,UF 或 MF 渗透物可通过或不通过任何进一步处理被回用。因此,当用高分子螯合剂处理并随后通过 UF 膜或 MF 膜过滤时,工业废水产生高的金属去除,且还产生比用通用 DTC/TTC/TMT 化学品处理的那些工业废水更高的膜通量。

[0004] 虽然错流 UF 或 MF 工艺已经被用于此应用,但是由于需要高的错流能量以最小化膜污染,这些工艺的运行成本通常是高的。在最近十年左右,浸没式 UF 膜和 MF 膜已经成功地用于高悬浮固体分离应用如在膜生物反应器 (MBR) 中或用于低悬浮固体应用如在原水处理和三级处理中。因为膜在较高通量时会被污染,所以在这些应用中浸没式膜以低通量 (10-60LMH) 运行。为了最小化膜污染,连续地 (如在 MBR 中) 或间歇地 (如在 MBR、原水处理和三级处理中) 使用吹气以冲洗膜表面。因此,使这些相对低运行成本的浸没式膜系统适应其它高固体应用如结合功能为金属络合剂及膜通量增强剂的高分子螯合剂除去重金属是感兴趣的。在美国专利第 5,346,627 和 6,258,277 号 (其通过引用被并入本文) 中讨论了高分子螯合剂在过滤系统中的应用。

[0005] 发明概述

[0006] 本发明提供一种通过使用膜分离工艺从工业废水中除去一种或多种重金属的方法,该方法包括以下步骤:(a) 将含有重金属的工业废水收集在适于容纳所述工业废水的容器中;(b) 调整所述系统的 pH 以实现所述工业废水中的所述重金属的氢氧化物沉淀;(c) 添加有效量的水溶性二氯乙烷氨聚合物以与所述工业废水系统中的所述重金属反应,所述水溶性二氯乙烷氨聚合物具有从约 500 道尔顿到约 10,000 道尔顿的分子量、含有从约 5 摩尔百分比到约 50 摩尔百分比的二硫代氨基甲酸盐盐基;(d) 使所述经处理的工业废水穿过浸没式膜,其中所述浸没式膜为超滤膜或微滤膜;(e) 且任选地反冲洗所述膜以从膜表面除去固体。

[0007] 附图简述

[0008] 图 1 阐述了用于加工含有重金属的工业废水的一般工艺流程图,其包括浸没式微滤膜 / 超滤膜及用于进一步加工来自所述浸没式微滤膜 / 超滤膜的渗透物的附加膜。

[0009] 图 2 显示了对于含有 15ppm Cu^{++} 的经处理的工业废水, TMP 作为通量的函数。

[0010] 图 3 显示了对于含有 773ppm Cu^{++} 的经处理的工业废水, TMP 作为通量的函数。

- [0011] 图4显示了对于模拟的含有100ppm Cu^{++} 的废水,TMP作为时间和体积浓度的函数。
- [0012] 发明详述
- [0013] 术语的定义:
- [0014] “UF”指超滤。
- [0015] “MF”指微滤。
- [0016] “DTC”指二甲基二硫代氨基甲酸盐。
- [0017] “TTC”指三硫代碳酸盐。
- [0018] “TMT”指三巯基三嗪。
- [0019] “TMP”指跨膜压力。
- [0020] “LMH”指升每平方米每小时。
- [0021] “螯合剂清除剂(chelant scavenger)”指能够与螯合剂络合的化合物。这些清除剂通常但不限于盐形式。
- [0022] “浸没式膜”指完全浸没在将被过滤的液体实体下的膜。
- [0023] “高分子螯合剂”指与重金属反应和/或络合的聚合物分子。
- [0024] “两性聚合物”指由阳离子单体和阴离子单体两者以及可能地其它非离子单体衍生的聚合物。两性聚合物可具有净正电荷或净负电荷。两性聚合物也可衍生自两性离子单体和阳离子或阴离子单体及可能地非离子单体。两性聚合物为水溶性的。
- [0025] “阳离子聚合物”指具有总正电荷的聚合物。本发明的阳离子聚合物通过使一种或多种阳离子单体聚合、通过使一种或多种非离子单体和一种或多种阳离子单体共聚、通过使环氧氯丙烷和二胺或多元胺(polyamine)缩合或使二氯乙烷和氨缩合或使甲醛和胺盐缩合来制备。阳离子聚合物为水溶性的。
- [0026] “两性离子聚合物”指主要由两性离子单体和,可能地,其它非离子单体构成的聚合物。在两性离子聚合物中,所有聚合物链和在那些链中的链段为严格的电中性。因此,两性离子聚合物代表两性聚合物的子集,因为阴离子电荷和阳离子电荷皆被引入在同一两性离子单体中,所以必需在所有聚合物链和链段中维持电荷中性。两性离子聚合物为水溶性的。
- [0027] “阴离子聚合物”指具有总负电荷的聚合物。本发明的阴离子聚合物通过使一种或多种阴离子单体聚合或通过使一种或多种非离子单体与一种或多种阴离子单体共聚来制备。阴离子聚合物是水溶性的。
- [0028] 优选实施方式
- [0029] 如上所述,本发明提供一种通过使用浸没式微滤膜或浸没式超滤膜从工业废水中除去一种或多种重金属的方法。
- [0030] 如果螯合剂存在于工业废水中,那么需要调整pH以使金属与工业废水中的螯合剂解络,且需要随后或同时添加一种或多种螯合剂清除剂。当pH小于4,优选地pH被调整为在从约3到约4的范围内时,螯合剂将通常与金属解络。
- [0031] 在一个实施方式中,螯合剂清除剂含有Ca或Mg或Al或Fe。
- [0032] 在另一个实施方式中,含有Fe的螯合剂清除剂选自由氯化亚铁、硫酸亚铁、氯化铁、硫酸铁、或其组合组成的组。
- [0033] 各种类型和各种量的酸和碱可用于调整工业废水的pH。在一个实施方式中,碱可

选自由镁盐和钙盐例如氯化物和氢氧化物组成的组。在另一个实施方式中,碱选自由钠、钾、铵的氢氧化物及类似物组成的组。各种铁化合物和各种剂量可用于进一步处理已调整了 pH 的工业废水。在又一个实施方式中,取决于工业废水中存在的螯合剂的水平,所用的铁化合物的剂量可为从约 100ppm 到约 10,000ppm。

[0034] 从工业废水系统中除去重金属的一个步骤为以下步骤:调整系统的 pH 以实现所述工业废水中的所述重金属的氢氧化物沉淀。当废水的 pH 为使得金属氢氧化物具有最小溶解度时,发生氢氧化物沉淀。

[0035] 在一个优选实施方式中,工业废水的 pH 被升高到 pH 为约 7 到约 10。工业废水的 pH 水平取决于存在的金属。可设想可用于将 pH 调整到期望范围的任何碱。例如,被选择来调整 pH 的碱选自由钠、钾、镁、钙、铵的氢氧化物及类似物组成的组。

[0036] 在一个实施方式中,含有重金属的工业废水来自选自由半导体制造、电路板制造、金属精整、镀金属、电力工业、精炼、汽车组成的组的工业过程。

[0037] 在另一个实施方式中,从工业废水中被除去的重金属选自由 Pb、Cu、Zn、Cd、Ni、Hg、Ag、Co、Pd、Sn、Sb 及其组合组成的组。

[0038] 二氯乙烷氨聚合物通过使二氯乙烷和氨反应来制备。起始二氯乙烷氨聚合物通常具有 500-100,000 的分子量范围。在一个优选实施方式中,分子量为 1,500 到 10,000,且最优选的分子量范围为 1,500-5,000。用于生产这些聚合物的典型反应在美国专利第 5,346,627 号中被描述,其通过引用被并入本文。聚合物也可从 Nalco Company, 1601 West Diehl Road, Naperville, IL 获得。

[0039] 在一个实施方式中,添加到工业废水的水溶性二氯乙烷-氨聚合物的有效量为从 10ppm 到约 10,000ppm 活性固体。

[0040] 在另一个实施方式中,添加到工业废水的水溶性二氯乙烷氨聚合物具有约 2,000 道尔顿到约 2,000,000 道尔顿的分子量。

[0041] 在另一个实施方式中,用于使经处理的工业废水穿过浸没式膜的驱动力为正压或负压。

[0042] 在另一个实施方式中,穿过浸没式微滤膜或超滤膜的经处理的工业废水可进一步通过一种或多种膜处理。在又一个实施方式中,附加膜为反渗透膜或纳滤膜。

[0043] 用于加工含有重金属的工业废水的浸没式膜可具有各种类型的物理参数和化学参数。关于物理参数,在一个实施方式中,超滤膜具有在 0.003 μm 到 0.1 μm 范围内的孔径。在另一个实施方式中,微滤膜具有在 0.1 μm 到 10 μm 范围内的孔径。在另一个实施方式中,浸没式膜具有选自由中空纤维式构型、平板式构型或其组合组成的组的构型。在另一个实施方式中,膜具有螺旋卷式构型。在另一个实施方式中,浸没式膜具有毛细管式构型。

[0044] 关于化学参数,在一个实施方式中,浸没式膜为聚合的。在另一个实施方式中,膜为无机的。在又一个实施方式中,膜为不锈钢的。

[0045] 存在可实现要求保护的发明的其它物理的和化学的膜参数。

[0046] 在用水溶性二氯乙烷氨聚合物处理工业废水之后,可用一种或多种水溶性聚合物进一步处理废水以进一步增加粒径并提高膜通量。

[0047] 在一个实施方式中,水溶性聚合物选自由两性聚合物、阳离子聚合物、阴离子聚合物和两性离子聚合物组成的组。

[0048] 在另一个实施方式中,水溶性聚合物具有从 100,000 道尔顿到约 2,000,000 道尔顿的分子量。

[0049] 在另一个实施方式中,两性聚合物选自由丙烯酸二甲氨基乙酯氯甲烷季盐(DMAEA. MCQ)/ 丙烯酸共聚物、二烯丙基二甲基氯化铵 / 丙烯酸共聚物、丙烯酸二甲氨基乙酯氯甲烷盐 /N,N- 二甲基 -N- 甲基丙烯酰胺基丙基 -N-(3- 磺丙基)- 铵甜菜碱(N,N-dimethyl-N-methacrylamidopropyl-N-(3-sulfopropyl)-ammonium betaine) 共聚物、丙烯酸 /N,N- 二甲基 -N- 甲基丙烯酰胺基丙基 -N-(3- 磺丙基)- 铵甜菜碱共聚物和 DMAEA. MCQ/ 丙烯酸 /N,N- 二甲基 -N- 甲基丙烯酰胺基丙基 -N-(3- 磺丙基)- 铵甜菜碱三元共聚物组成的组。

[0050] 在另一个实施方式中,两性聚合物的剂量为从约 1ppm 到约 2000ppm 的活性固体。

[0051] 在另一个实施方式中,两性聚合物具有约 5,000 道尔顿到约 2,000,000 道尔顿的分子量。

[0052] 在另一个实施方式中,两性聚合物具有约 3.0 : 7.0 到约 9.8 : 0.2 的阳离子电荷当量与阴离子摩尔电荷当量的比。

[0053] 在另一个实施方式中,阳离子聚合物选自由聚二烯丙基二甲基氯化铵(聚 DADMAC)、聚乙烯亚胺、聚表胺、与氨或乙二胺交联的聚表胺、二氯乙烷和氨的缩聚物、三乙醇胺和妥尔油脂肪酸的缩聚物、聚(甲基丙烯酸二甲氨基乙酯硫酸盐)及聚(丙烯酸二甲氨基乙酯氯甲烷季盐)组成的组。

[0054] 在另一个实施方式中,阳离子聚合物为丙烯酰胺(AcAm)和选自由二烯丙基二甲基氯化铵、丙烯酸二甲氨基乙酯氯甲烷季盐、甲基丙烯酸二甲氨基乙酯氯甲烷季盐及丙烯酸二甲氨基乙酯苄基氯季盐(DMAEA. BCQ)组成的组的一种或多种阳离子单体的共聚物。

[0055] 在另一个实施方式中,阳离子聚合物的剂量为从约 0.1ppm 到约 1000ppm 活性固体。

[0056] 在另一个实施方式中,阳离子聚合物具有至少 2 摩尔百分比的阳离子电荷。

[0057] 在另一个实施方式中,阳离子聚合物具有 100 摩尔百分比的阳离子电荷。

[0058] 在另一个实施方式中,阳离子聚合物具有约 2,000 道尔顿到约 10,000,000 道尔顿的分子量。

[0059] 在另一个实施方式中,阳离子聚合物具有约 20,000 道尔顿到约 2,000,000 道尔顿的分子量。

[0060] 在另一个实施方式中,两性离子聚合物主要由约 1 摩尔百分比到约 99 摩尔百分比的 N,N- 二甲基 -N- 甲基丙烯酰胺基丙基 -N-(3- 磺丙基)- 铵甜菜碱和约 99 摩尔百分比到约 1 摩尔百分比的一种或多种非离子单体构成。

[0061] 在另一个实施方式中,膜分离工艺选自由错流膜分离工艺,即伴有用于膜冲洗的连续吹气;半死端流(semi-dead end flow)膜分离工艺,即伴有用于膜冲洗的间歇吹气、以及死端流(dead end flow)膜分离工艺,即没有用于膜冲洗的吹气组成的组。

[0062] 潜在的工业废水处理流程图在图 1 中显示。

[0063] 参考图 1,含有重金属的工业废水被收集在容器(1)中,其中酸或碱通过路线(3)被添加以将 pH 调整到 3-4。螯合剂清除剂如铁化合物随后通过路线(3A)被添加。此水随后流入到容器(2)中,其中通过在线(4)或直接(5)将碱添加在容器(2)中,将 pH 调整到

8-10。水随后从容器 (2) 流入容器 (8), 在容器 (8) 中浸没了超滤膜或微滤膜 (10)。可将吹气应用到超滤膜或微滤膜上。可将高分子螯合剂如二氯乙烷-氨聚合物在线 (6) 或直接 (9) 添加到膜储罐 (8) 中。在添加二氯乙烷氨聚合物之后, 一种或多种水溶性聚合物可在水流入到膜储罐 (8) 中之前任选地在线 (7) 添加。来自浸没式超滤膜或微滤膜工艺的渗透物 (11) 可任选地通过使渗透物穿过附加膜 (12) 来处理且废弃物 (浓缩物) (13) 可被发送以进一步脱水或处置。

[0064] 以下实施例不是用来限制要求保护的本发明的范围的。

[0065] 实施例

[0066] 通过用具有 $0.4\mu\text{m}$ 孔径及 0.1m^2 膜面积的浸没式平板式微滤膜和工业废水进行实验来测试本发明。通过进行临界通量研究来测定膜性能, 在所述临界通量研究中在不同通量下测量跨膜压力 TMP 随时间改变的速率。在 TMP 突然增加处的通量被定义为临界通量。临界通量越高, 对于指定容量所需要的膜面积越低且因此基本投资越低。使用 Perkin Elmer 原子吸收光谱仪 (型号 AA200, Boston, MA) 测量进料及渗透物中的金属浓度。使用对 0.06NTU (比浊测量法的浊度单位) 敏感的 Hach 浊度计 (Hach, Ames, IA) 测量渗透物浊度。

[0067] 实施例 1

[0068] 从电路板制造公司获得含有 15ppm 铜、表面活性剂及螯合剂的工业废水并将其置于配备有高架的混合器 (overhead mixer) 的储罐中。用硫酸将 pH 调整到 3.0。随后, 添加 190ppm 硫酸铁并混合 2 分钟。随后用 25% 氢氧化钠将 pH 调整到 8.0, 并添加 180ppm 的二硫化碳官能化且可从 Nalco Company, 1601 West Diehl Road, Naperville, IL 得到的二氯乙烷-氨聚合物并混合 3 分钟。此经处理的废水随后被置于膜储罐中。最初, 在监控 TMP 时应用 30LMH 的较低通量。10 分钟之后, 将通量增加到 59LMH 并再次测量 TMP。继续此过程, 直到 300LMH 的通量。在这些测量过程中, 渗透物被循环回到进料储罐中且不清除出浓缩物, 这意味着膜储罐中的金属和固体浓度是恒定的。在每个通量下还测量渗透物金属浓度和浊度。通量-TMP 数据在图 2 中显示。在所有通量下, 渗透物的浊度为 0.09-0.12NTU。贯穿此实验, 渗透物 Cu^{++} 浓度保持在 0.1ppm-1ppm 之间。这些金属浓度是如期望的或比排放到水体中所要求的浓度低。

[0069] 如从图 2 中所见, 甚至在 320LMH 的最高通量下, TMP 低于 1psi。其次, 在任何通量下, TMP 不随时间显著增加。作为参考, 对于高固体应用如在膜生物反应器中, 浸没式膜仅在 10-40LMH 下运行, 且允许的最大 TMP 4-5psi, 高于 4-5psi 膜必须被清洁。因此, 此实施例说明所述二氯乙烷-氨聚合物处理允许浸没式膜在较高通量下运行, 同时产生具有非常低的金属水平和浊度的渗透物。这样的高水质对于有或没有进一步处理的水回用选择来说都是合格的。

[0070] 实施例 2

[0071] 使用与在实施例 1 中相似的方案, 但用含有 773ppm Cu 及还含有表面活性剂和螯合剂的工业废水。此废水也从电路板制造公司获得。在此实施例中所用的硫酸铁和所述二氯乙烷-氨聚合物的剂量分别为 3000ppm 和 2100ppm。TMP-通量数据在图 3 中显示。即使在更高水平金属、其它起垢物和处理化学品的存在下, 甚至在 300LMH 通量运行之后, 也检测不到临界通量。渗透物浊度再次为 0.09-0.12NTU 且渗透物 Cu^{++} 在 0.09ppm 到 14ppm 之

间变化。 Cu^{++} 从 773ppm 减少到甚至 14ppm, 减少超过了 98% (这是显著的), 同时允许稳定运行, 即在较高通量下无膜污染。

[0072] 实施例 3

[0073] 在此实施例中, 以与实施例 1 中相同的方式处理含有 100ppm Cu^{++} 和 590ppm EDTA- Na_4 (乙二胺四乙酸的四钠盐) 的 24L 模拟的废水。硫酸铁和所述二氯乙烷-氨聚合物分别为 1300ppm 和 300ppm。在 50 摩尔% 阳离子电荷的 5ppm DMAEA-MCQ-AcAm 共聚物也被添加并混合 2 分钟。此时, 排放渗透物和废弃物/浓缩物, 同时持续将经处理的进料添加到膜储罐中以保持 7L 的水平。在图 4 中的最终浓度系数指起始进料体积 (24L)/最终滞留物体积 (7L) 的比, 即在所研究的两个通量中的每一个下, 在实验结束时进料中的固体被浓缩了 3.4 倍。

[0074] 如从图 4 所见, 甚至在 3.4 倍浓缩之后, 在 266LMH 和 317LMH 两种通量下, TMP 保持低水平且随时间 (或体积浓度) 几乎恒定。也在此实施例中, 浊度为 $< 0.1 \text{ NTU}$ 且在渗透物中的 Cu^{++} 水平为 20-24ppm。通过优化化学处理, 可进一步减少此 Cu^{++} 水平, 而不影响膜性能。

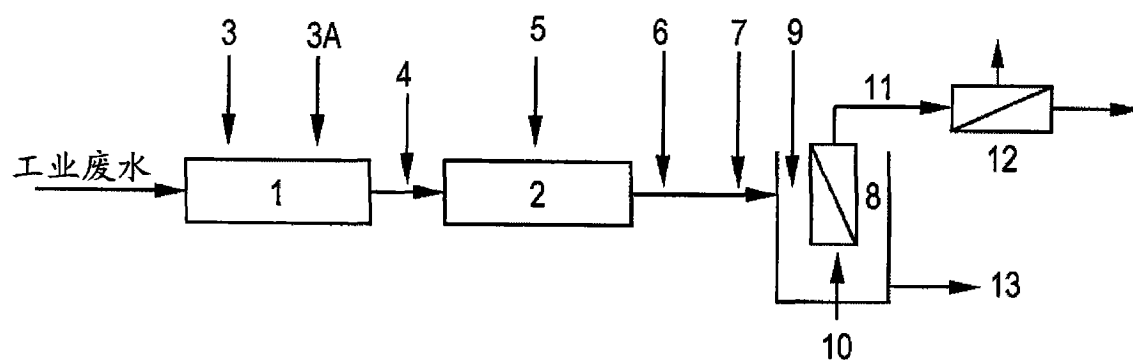


图 1

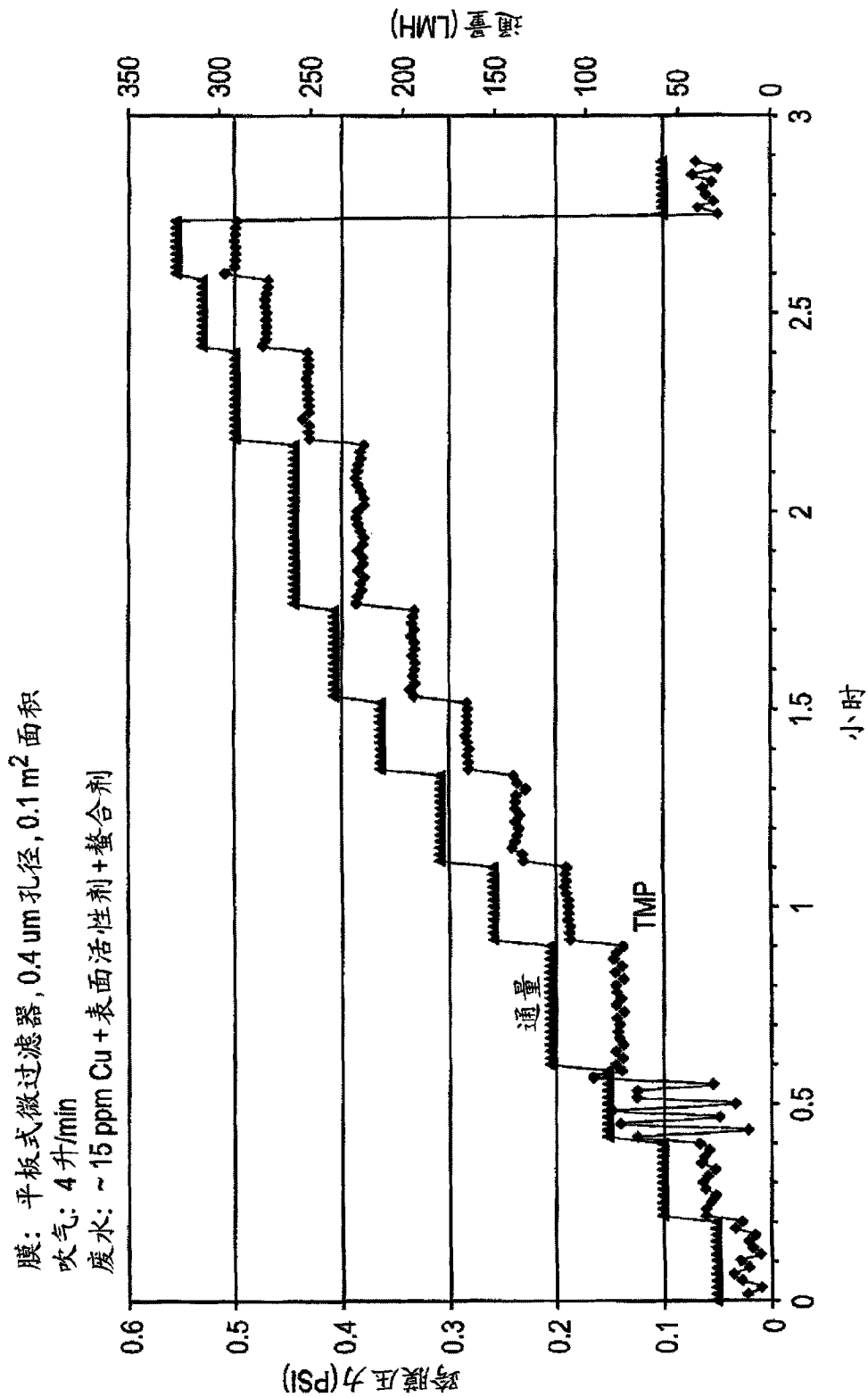


图 2

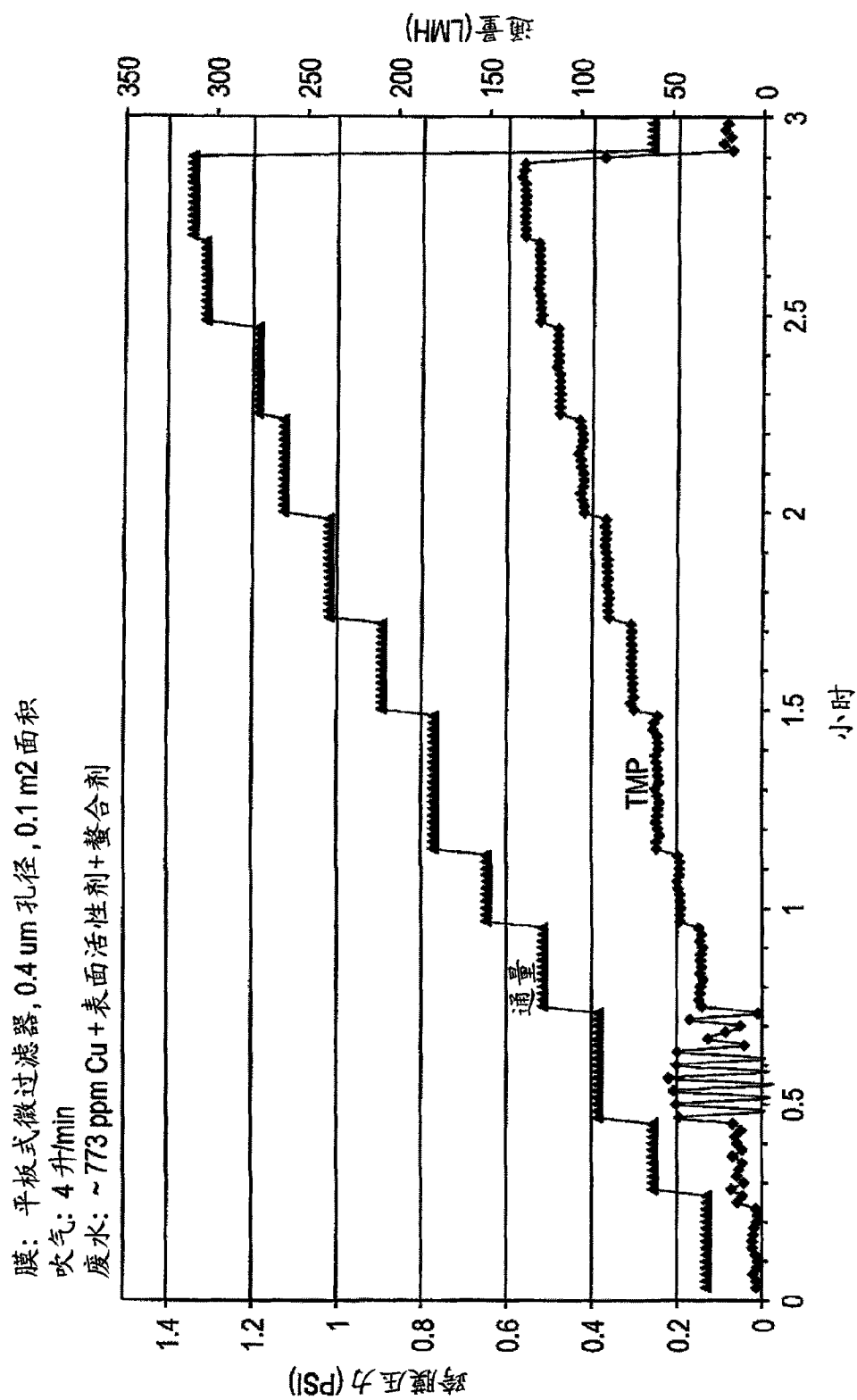


图 3

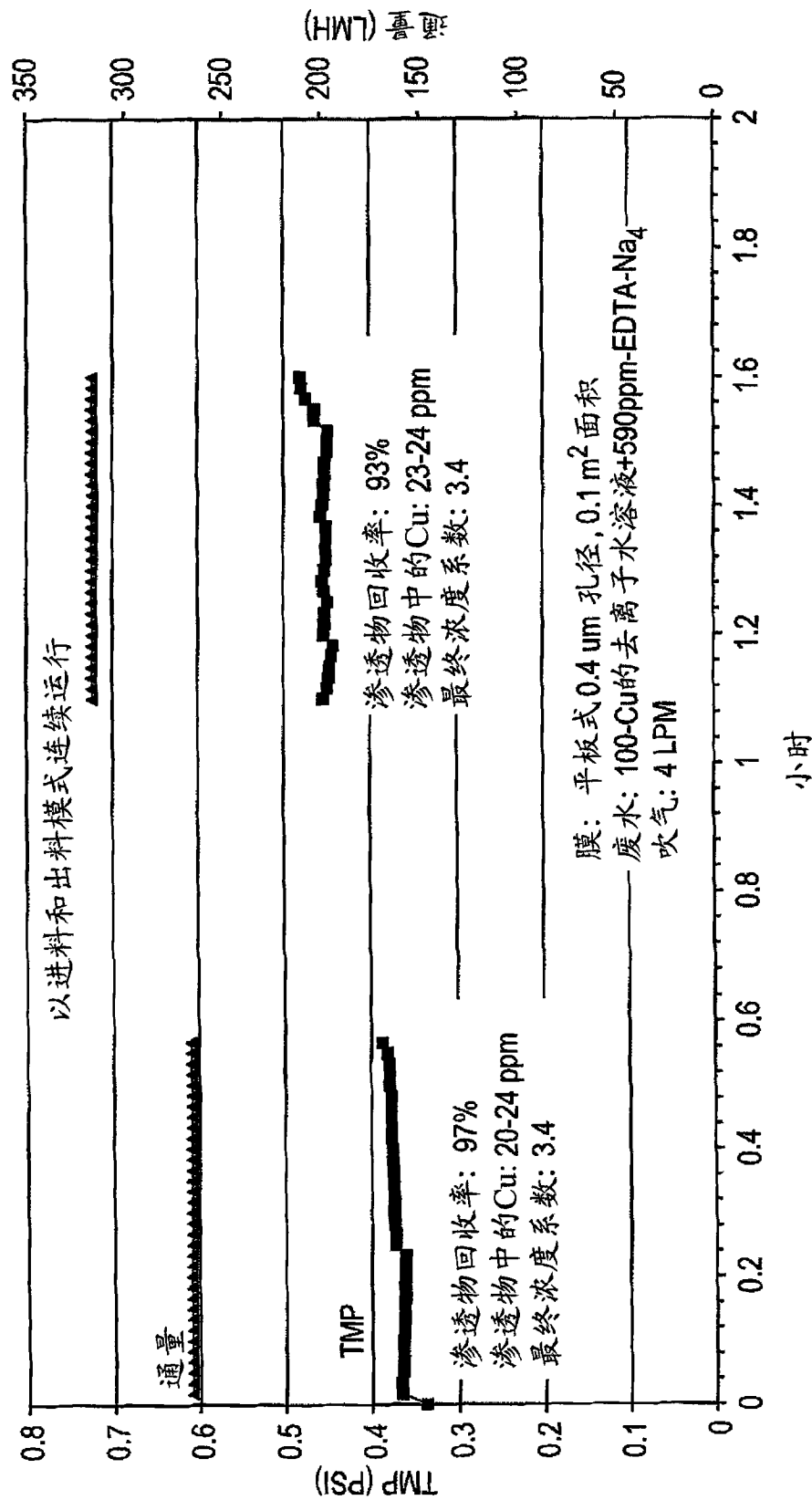


图4