

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510112117. X

[51] Int. Cl.

C02F 3/28 (2006.01)

C02F 3/30 (2006.01)

C02F 3/10 (2006.01)

C02F 3/02 (2006.01)

C02F 9/14 (2006.01)

[45] 授权公告日 2010 年 2 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 100586877C

[22] 申请日 2005.12.27

[21] 申请号 200510112117. X

[73] 专利权人 同济大学

地址 200092 上海市四平路 1239 号

[72] 发明人 赵由才 黄仁华 石磊 牛冬杰
徐勤 王林 柴晓利

[56] 参考文献

CN1445176A 2003.10.1

CN1351969A 2002.6.5

矿化垃圾生物反应床在废水处理中的应用
及其存在的问题. 王罗春等. 城市环境与城市
生态, 第 16 卷第增刊期. 2003

生活垃圾填埋场中矿化垃圾的综合利用.
张华等. 山东建筑工程学院学报, 第 19 卷第 3
期. 2004

审查员 王海才

[74] 专利代理机构 上海德昭知识产权代理有限公司

代理人 陈龙梅

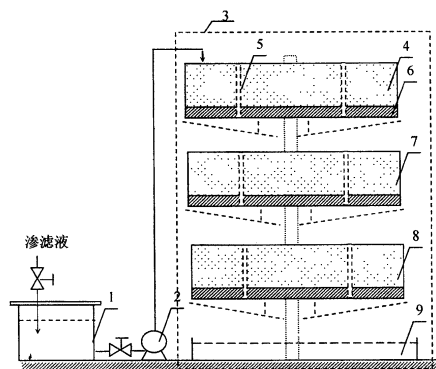
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称

一种塔式矿化垃圾生物反应床处理生活垃圾
填埋场渗滤液的方法

[57] 摘要

一种塔式矿化垃圾生物反应床处理生活垃圾填埋场渗滤液的方法, 涉及一种生活垃圾填埋场渗滤液的净化处理工艺。先构建矿化垃圾生物多级反应床(3): 将多个反应床依垂直或水平方向串联, 或两者交叉组合而成, 每个反应床内有矿化垃圾(4)和通风管(5), 床表面有布水管系。然后待处理渗滤液先经厌氧处理, 去除部分有机负荷, 然后间歇喷洒至一级反应床表面, 经矿化垃圾的吸附和生物降解, 从单元底部碎石垫层(6)聚滴渗出, 在下落过程中自然复氧, 并依次进入下一级反应床继续处理, 最终主要污染物的去除率达到 90~99% 以上。本工艺基建和运行费用低、操作维护方便、耐负荷冲击、使用寿命长, 应用前景广泛。



1. 一种塔式矿化垃圾生物反应床处理生活垃圾填埋场渗滤液的方法，其特征在于：

一. 先构建多级生物反应床（3）：由 1~50 个圆形或矩形反应床，依垂直或者水平方向串联；或者垂直和水平交叉组合而成；垂直串联时各个反应床的垂直间隔为 1~200cm，由支柱（8）串联形成多级塔形结构，塔底设有集水池（9）；水平串联时，每个反应床的底部设有一个集水池（9）；反应床由床壁（7）和镂空的预制板（13）构成，床内自下而上装有碎石垫层（6）、矿化垃圾（4）和配水和排水系统；碎石垫层（6）由网砂布、碎石层、土工格栅构成；矿化垃圾（4）为填埋龄为 5~100 年的稳定化垃圾，经开挖、晾晒后，剔除其中颗粒较大的石子、碎玻璃、未降解的塑料、橡胶、木块等惰性物质，粒径小于 100mm 的矿化垃圾筛分细料；配水采用高压泵管式大阻力布水系统进行喷灌；排水采用沿承重用的预制板（13）的镂空处自然渗落，直接进入下一级反应床或集水池；

二. 进行渗滤液的厌氧预处理：新鲜渗滤液在厌氧池（1）停留 15~70 天，除去部分 COD、BOD₅、NH₃-N、TSS 等污染物，使进水污染负荷降低，其中 COD 降至 4200~6000mg/L，改善其可生化性；

三. 进行驯化：各级反应床采取低有机负荷或低水力负荷梯度升高的驯化方式启动，各梯度驯化期不小于 7 天，驯化结束，启动正常的运行；

四. 正常运行操作：一级反应床采用管式大阻力输配系统间歇喷洒布水，水力负荷为 5~200 L 渗滤液 /m³ 矿化垃圾 · 天，运行周期为 1~6 小时/次，频率为 4~24 次/天、配水的持续时间为 1~20min；配水后一级反应床进水经 10~500cm 厚的矿化垃圾填料层、10~50cm 厚的底部垫层，1~200cm 高的自然复氧垂直距离，直接滴落至下一级床层表面，或经集水池收集后泵送至下一级床层表面继续加以处理，使最终出水达标排放；

五. 工艺维护和管理：（A）控制反应床进水水质为 COD: 6500~9000mg/L，避免有毒有害物质严重超标，影响的出水达标排放；（B）及时对床体堵塞或致密层进行铲除、翻挖或更新，使其呈松散土状，恢复床体的渗透性能；（C）对

反应床长期运行过程中出现的自然沉降，添加新鲜矿化垃圾定期补充；(D) 确保合理的运行参数，随时疏通配水支管小孔，及时校正或更换计量水表，定期检查或维修管道输配系统。

一种塔式矿化垃圾生物反应床处理生活垃圾填埋场渗滤液的方法

技术领域

本发明涉及生活垃圾填埋场渗滤液的净化处理技术，属于废水处理技术领域。

背景技术

目前，我国城市生活垃圾的产量正以 5~8% 的速度逐年递增，2004 年垃圾清运量已超过 1.58 亿 t，其中 90% 以上均采取填埋处理。我国现有的近千座填埋场日产渗滤液 4~8 万 t，因其水质复杂、水量波动大、有机物和氨氮浓度高、营养元素比例失调等污染特性，它的处理至今尚无十分完善的工艺。据城建院对全国 292 座大中型填埋场的调查结果：12% 的填埋场渗滤液进行了达标处理（进入市政管网）；49% 的填埋场进行了处理，但未达标；而剩下 39% 的填埋场根本就没有进行任何处理而直接排放，对周围环境造成了严重污染。

国内外填埋场渗滤液的处理方案，大致可分为回灌处理、预处理后与城市污水合并处理，以及生物—物化组合工艺场内处理：（1）回灌方案属自然强化过程，操作简单、处理成本低，可同时加速填埋场的稳定化进程，但实际应用缺乏成熟的工艺设计和运行经验，操作存在环卫和安全问题，且处理效果欠佳，部分浓缩液需外排处理；（2）合并处理可利用城市污水对渗滤液的缓冲、稀释和营养均衡作用，实现两者的同时处理，节省基建和运行费用，但该方案受到填埋场与污水厂的位置、距离和输送成本等因素的限制，而渗滤液的复杂水质也会对污水厂的正常运行产生负面影响；（3）场内方案适应了大型填埋场渗滤液单独处理的要求，目前大都采取“物化预处理(混凝沉淀、氨氮吹脱、化学氧化、汽提等)+生物主体处理(厌氧、缺氧、好氧等)+物化深度处理(吸附、反渗透、催化氧化、蒸发等)”的组合工艺，如上海老港填埋场的“厌氧塘+兼性塘+曝气塘+芦苇湿地+化学氧化”、广州兴丰填埋场的“UASB+SBR+反渗透”、深圳下坪填埋场的“混凝沉淀+氨氮吹脱+厌氧滤池+SBR”、佛山白石坳填埋场的“厌氧+氨氮吹脱+A/O+混凝沉淀”等，但在实际应用中，这些工艺往往因流程过长、占地较多、

维护管理难度大、基建和运行费用较高、水质水量适应差等限制，使既有的渗滤液处理设施难以正常运行，工艺出水很难达到 GB16889-1997 二级排放标准。

实践表明，要使渗滤液达标排放，处理成本一般为 50~100 元/m³，而国内绝大多数填埋场可接受的处理成本是小于 15~20 元/m³。因此，突破传统工艺，寻求技术可靠、经济可行的渗滤液处理工艺已是当务之急。

同济大学在对填埋场稳定化的数十年研究中发现，封场三年后，填埋垃圾即由快速降解阶段转入相对稳定的厌氧降解阶段，期间渗滤液 COD、BOD₅、垃圾中可生物降解物质（BDM）等稳定化进程指标随填埋时间的推移而下降；大约填埋 8~10 年后，其中的腐熟垃圾臭味低、易自然晾晒，渗滤液产生极少，已基本达到稳定化和无害化，此时的垃圾在本文中称之为矿化垃圾。其中的细料物质（ $\Phi \leq 100\text{mm}$ ）外观类似腐殖质、呈微团聚体状、质地疏松、具有无数极微孔隙和巨大的表面积，且富含有机质、通透性好、阳离子交换容量高，加之其上因特殊形成过程而附着生长的种类繁多、数量庞大、适应性强的微生物群落和各种活性酶，对纤维素、木质素、多环芳烃等难降解有机物有与生俱来的亲合性和降解能力，因此非常适于用作优良高效的污水净化基质。

已有的研究表明，相对于其它生存因子（如水、碳源、能源、氮源、无机盐等），溶解氧不仅影响床体浅层的氧化还原电位，决定其中好氧、兼氧和厌氧微生物的活性与分布；还可作为微生物好氧呼吸的电子受体，参与部分物质（如甾醇类和不饱和脂肪酸等）的生物合成；而且具有污染物净化性能的大多数细菌、放线菌、真菌、霉菌、原生动物等都属于好氧微生物，因此渗滤液和矿化垃圾填料的复氧状况，将直接影响渗滤液的生物处理效果。

发明内容

本发明旨在提供一种基建和运行费用低、工艺流程简单、操作维护方便、耐负荷冲击、使用寿命长、出水可满足 GB16889-1997 二级排放标准的新型工艺。

为了达到上述目的，本发明采用如下工艺：

一、先进行多级生物反应床的构建：由 1~50 个优选 3~6 个圆形或矩形反应床，依垂直或者水平方向串联；或者垂直和水平交叉串联组合而成，垂直串联时各个反应床的垂直间隔为 1~200cm，由支柱串联形成多级塔形结构，塔底设有

集水池；水平串联时，每个反应床的底部设有一个集水池。反应床由自下而上的底部垫层、填料层、配水和排水系统构成。垫层由网砂布、碎石层、土工格栅等构成；填料层为粒径小于 100mm，优选 40~60mm 的矿化垃圾筛分细料；配水采用高压泵管式大阻力布水系统进行喷灌；排水采用沿承重预制板镂空处自然渗落方式，直接进入下一级反应床或集水池。

二. 进行渗滤液的厌氧预处理：新鲜渗滤液在厌氧池停留 15~70 天，除去部分 COD、BOD₅、NH₃-N、TSS 等污染物，使进水污染负荷降低，其中 COD 降至 4200~6000mg/L，改善其可生化性。

三. 进行驯化：各级反应床采取低有机负荷或低水力负荷梯度升高的驯化方式启动，各梯度驯化期不小于 7 天，30~60 天后驯化结束，启动正常的运行。

四. 正常运行操作：一级反应床采用管式大阻力输配系统间歇喷洒布水，水力负荷为 5~200 L 渗滤液 /m³ 矿化垃圾细料 · d (天)，运行周期为 1~6 小时/次，频率为 4~24 次/天、配渗滤液的持续时间为 1~20min。配渗滤液后一级反应床出水经 10~500cm 厚的填料层、10~50cm 厚的底部垫层，1~200cm 高的自然复氧垂直距离，直接滴落至（或经储水池收集后泵送至）下一级床层表面，继续加以处理，使最终出水达标排放。

五. 工艺维护和管理：(A) 控制反应床进水水质为 COD: 6500~9000mg/L，优选 4200~6000mg/L，避免有毒有害物质严重超标，影响本发明的出水达标排放；(B) 及时对床体堵塞或致密层进行铲除、翻挖或更新，使其呈松散土状，恢复床体的渗透性能；(C) 对反应床长期运行过程中出现的自然沉降，添加新鲜矿化垃圾定期补充；(D) 确保合理的运行参数，随时疏通配水支管小孔，及时校正或更换计量水表，定期检查或维修管道输配系统。

本发明的优点：

1. 矿化垃圾细料 ($\Phi \leq 100\text{mm}$) 富含有机质、吸附能力强、阳离子交换容量大、渗透性好，其上附着有稳定高效、种类繁多的微生物、活性酶和完备的有机-无机生态系统，利用其自身独有的亲合性和净化能力，各类污染物在物理过滤与吸附、化学分解与沉淀、离子交换与螯合等非生物作用下，在配水期为矿化垃圾填料所截留，并逐渐在其上形成生物膜。生物膜以其特殊结构，在落干期可

有效利用自然复氧过程吸收净化污染物，在合成自身基质、释放能量的同时，将代谢产物排出系统之外，并使自身不断更新，从而长期保持对污染物的净化作用。

2. 工艺流程简单、受外界条件影响较小，抗冲击能力强，出水水质稳定。前置厌氧预处理工序，易于实现，能大幅降低后续处理的有机负荷，一级反应床对可生化性较好、污染负荷较高的渗滤液具有很强的缓冲性和预处理能力，COD 的去除率可达 85~90% 以上；后续反应床因其良好的复氧进程强化了对污染物的深度处理效果，仅经三级处理后，渗滤液的 COD、BOD₅、NH₃-N 和 TSS 即可从 3000~20000mg/L、1500~10000mg/L、300~2500mg/L 和 4000~15000mg/L 分别降至 100~300mg/L、30~150mg/L、0~25mg/L 和 200~600mg/L，出水符合国家二级排放标准。

3. 反应床易于构建、通风结构合理，各级之间根据实际情况可采取灵活方式进行水平或垂直串联组合。其中短周期干湿交替、多频率喷洒配水的运行方式，内置通风管、底部碎石垫层的结构型式，床体表面填料更新、翻挖等维护管理措施，可加快床层和渗滤液的复氧频率，使床体形成良好的好氧-兼氧-厌氧环境，有利于不同类群微生物的生存和繁殖。特别是床体之间因尾水液滴跌落而实现的自然复氧，可有效补充床内污染物降解引起的氧分消耗，促进难降解物质在后续床层中的进一步转化。

4. 本工艺基建费用低（2~3 万元/t）、设备购置少（仅需数台高压泵和渗滤液输配管道）、运行灵活、维护管理方便，处理成本仅为常规处理方法的 10%~30%（4~6 元/t），使用寿命长达 10 年以上。

因此，本发明非常适合我国国情，在高效低耗处理渗滤液的同时，还为大量弃置矿化垃圾的资源化利用开辟了一条崭新道路。

附图说明

图 1 为本发明的塔式三级反应床处理渗滤液的工艺流程示意图

图 2 为反应床表面管式大阻力配水系统结构示意图

图 3 为反应床底部镂空结构示意图

图 4 为本发明的水平串联三级反应床处理渗滤液的工艺流程示意图

图 5 为三种新鲜渗滤液 COD 浓度随厌氧预处理时间的变化曲线

附图中的标号说明如下：

1-厌氧池；2-高压泵；3-多级反应床；4-矿化垃圾；5-通风管；6-碎石垫层；7-床壁；8-支柱；9-集水池；10-配水口；11-干管；12-支管；13-预制板。

请参阅附图 1、2、3，采用垂直串联成塔式反应床处理渗滤液的过程是：保存在调节池中的新鲜渗滤液泵入厌氧池 1，在其中停留 15~30 天时间后，通过高压泵 2 抽提至一级反应床表面，经如附图 3 所示的由与高压泵 2 连接的配水口 10，及与配水口 10 连接的干管 11，与干管 11 连接的支管 12 组成的管式大阻力配水系统的均匀喷洒，渗滤液在床内被矿化垃圾 4 所吸附、降解，经反应床喷洒布水、干湿交替运行方式以及通风管 5 和碎石垫层 6 等结构型式实现自然复氧，简称为尾水的渗滤液从如附图 4 所示的预制板 13 底部镂空处依次滴落至二级、三级反应床表面，经三级串联处理后，最终出水储于集水池 9 中达标排放。

参阅附图 4，采用三级水平串联反应床处理渗滤液的过程是：存在调节池中的新鲜渗滤液经厌氧处理后，用高压泵 2 抽提至一级反应床表面，经大阻力配水系统均匀喷洒，出水储于一级集水池 9 中；再通过高压泵 2 将一级集水池 9 中经过一级反应床处理过的尾水抽提至二级反应床表面布水，出水滴落至二级集水池 9，然后再将二级尾水泵入三级反应床表面布水，三级尾水基本可达标排放。该方法的基建费用比较低，但是需增加两台提升泵、占地较大。

参阅附图 5，三种渗滤液（A、B、C）的 COD 初始浓度分别为 13500mg/L、8680mg/L 和 6950mg/L，经 30 天的 HDPE 膜压盖密封厌氧处理，其 COD 浓度分别降为 7200mg/L、4700mg/L 和 4050mg/L，去除率分别为 46.7%、45.8%和 41.7%；从三者 COD 的变化曲线上看，厌氧处理效果明显，但随着时间的延长，COD 浓度的下降趋势趋缓。从技术经济性考虑，渗滤液的停留时间推荐为 30d 左右。

具体实施方式

实施例 1

上海市某滩涂型填埋场采用如附图 1 所示的三级垂直串联矿化垃圾生物反应床工艺流程，进行 1~5 t/d 的渗滤液处理中试实验。矿化垃圾细料的基本性质如表 1 所示，待处理渗滤液（COD: 8200~12000mg/L）取自调节池，经厌氧池 1 处理 30d 后（COD 降至 4200~6000mg/L），采用高压泵 2 抽提至第一级反应床

表面布水，配水系统设计参数如表 2 所示。三级反应床横截面均为矩形结构(10m×3m)，一、二、三级床矿化垃圾填料有效高度分别为 0.4m、0.6m 和 1m，相邻床垂直间距均为 0.3m。

系统经 30d 驯化期，按照配水频率 6 次/d、运行周期 4h、配水持续时间 5min 的运行方式，在一年之内按阶段投配以不同的水力负荷和有机负荷，工艺对渗滤液 COD 和 NH₃-N 的去除效果如表 3 所示。

由表 3 可知，本工艺对渗滤液具有优良的缓冲性和净化能力。从感观上看，进水由伴有恶臭的黑灰色，逐渐变为黄色、淡黄色，最终出水接近无色无味。通过测定反应床表层（0~20cm）的细菌总数，发现较之基础原样，增加了 2~3 个数量级，细菌总数稳定在（2~5）×10⁸ 个/（g 干垃圾）的水平上，这些种类繁多、数量巨大的微生物群落为渗滤液的稳态净化奠定了良好基础。

表 1 矿化垃圾的基本性质（填埋龄 12 年，筛分粒径≤40mm）

性质	容重	孔隙度	渗透系数	阳离子交换量	有机质	细菌总数
	(g/cm ³)	(%)	(cm/min)	(毫克当量/g 干垃圾)	(g/kg)	(10 ⁶ 个/g 干垃圾)
数值	0.75	37.25	2.152	65.4	102.5	7.2

表 2 管式大阻力配水系统设计参数（mm）

干管管径	支管管径	支管间距	配水孔间距	配水孔径	开孔比
100	20	500	75	2	0.25%

表 3 三级垂直串联反应床工艺对渗滤液 COD 和 NH₃-N 的去除效果

水力负荷 L/(m ³ 垃圾·d)	有机负荷 gCOD/(m ³ 垃圾·d)	COD (mg/L)		去除率 (%)	NH ₃ -N (mg/L)		去除率 (%)
		进水	出水		进水	出水	
16.7	72.65	4350	156.1	96.49	1220	10.5	99.14
16.7	77.66	4650	160.2	96.55	1250	15.5	98.76
33.3	141.5	4250	176.1	95.86	1090	12.3	98.87
33.3	143.8	4320	179.0	95.88	1130	15.6	98.62
50.0	239.0	4780	190.5	96.01	820	8.2	99.00
50.0	260.5	5210	203.2	96.10	885	9.5	98.93
66.7	368.2	5520	213.5	96.13	825	12.4	98.50

66.7	326.2	4890	205.8	95.79	995	18.5	98.14
83.3	424.8	5100	234.5	95.40	945	16.0	98.30
83.3	445.6	5350	240.6	95.50	1020	21.5	97.89

实施例 2

山东省青岛市某山谷型填埋场采用如附图 4 所示的三级水平串联矿化垃圾生物反应床工艺流程，进行 70 t/d 的渗滤液处理工程化应用。矿化垃圾填埋龄为 9 年，筛分粒径小于 60mm，仅拣除了其中颗粒较大的石块、塑料、玻璃、木棒等惰性物料。待处理渗滤液（COD: 6500~9000mg/L）取自调节池，厌氧池为兼氧塘加 HDPE 膜盖改造而成，渗滤液在其中停留约为 60d 以后（COD 降至 3000~4500mg/L），采用三台高压泵和三套大阻力管道输配系统分别向三级反应床表面抽提布水，配水系统设计参数与表 2 类似。三级反应床均为矩形截面结构（50m×20m），床内矿化垃圾填料的有效高度均为 2m，底部垫层垂直悬空 0.25m。

系统经 36d 驯化期，按照配水频率 8 次/d、运行周期 3h、配水持续时间 10min 的运行方式，在两年之内，工艺对渗滤液主要污染物的平均去除效果如表 4 所示。

由表 4 可知，本工艺对渗滤液的处理效果因季节不同而异，夏季最好，冬季最差，这是因为雨雪霜冻、光照、蒸发、风速等气候条件，特别是气温对床层微生物群落的生命活动和床体的渗透性能有重要影响。从工艺的全年运行状况来看，COD、NH₃-N、BOD₅、TSS、TP、色度、重金属等主要污染物的去除率均可达到 90~99% 以上，出水水质始终满足国家二级排放标准。

表 4 三级水平串联反应床工艺对渗滤液主要污染物的去除效果

季节	污染物指标	COD	NH ₃ -N	BOD ₅	TSS	TP	色度	Cr	Pb	As
春季	进水(mg/L)	3450	1080	850	6450	12.2	1000 倍	0.15	0.97	0.36
	出水(mg/L)	230	21.8	35.0	520	0.25	100 倍	0.01	0.11	0.08
	去除率(%)	93.3	97.9	95.9	91.9	97.9	90	93.3	88.7	77.8
夏季	进水(mg/L)	4200	1205	960	6100	18.9	1200 倍	0.19	1.70	0.84
	出水(mg/L)	195	18.2	40.5	300	0.12	80 倍	0.02	0.13	0.07
	去除率(%)	95.4	98.5	95.8	95.1	99.4	93.3	89.5	92.4	91.7

秋季	进水(mg/L)	4100	1120	785	5650	13.5	1200 倍	0.12	0.90	0.55
	出水(mg/L)	225	20.0	33.4	325	0	100 倍	0	0.05	0
	去除率(%)	94.5	98.2	95.7	94.2	100.0	91.7	100	94.4	100
冬季	进水(mg/L)	3560	890	820	5750	14.2	1100 倍	0.18	0.88	0.56
	出水(mg/L)	280	24.0	31.2	345	0.15	100 倍	0.02	0.04	0.05
	去除率(%)	92.1	97.3	96.2	94.0	98.9	90.9	88.9	95.5	91.1

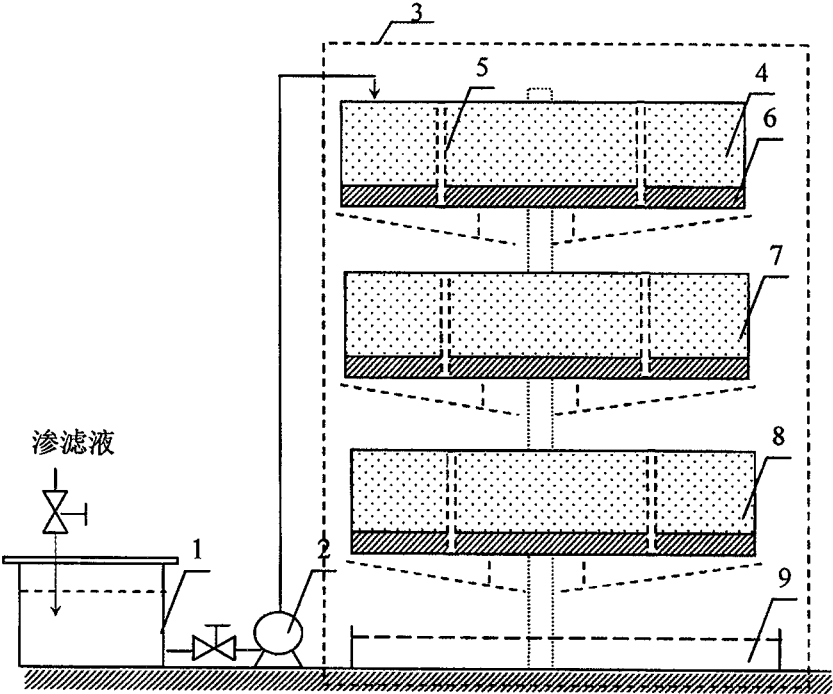


图 1

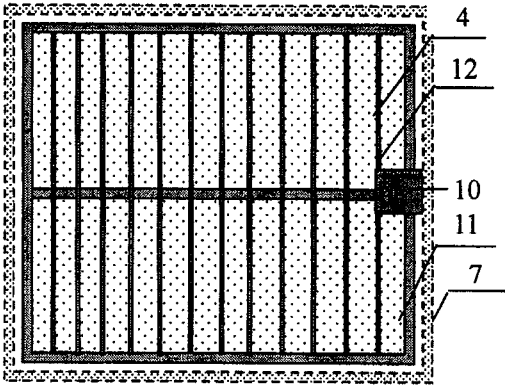


图 2

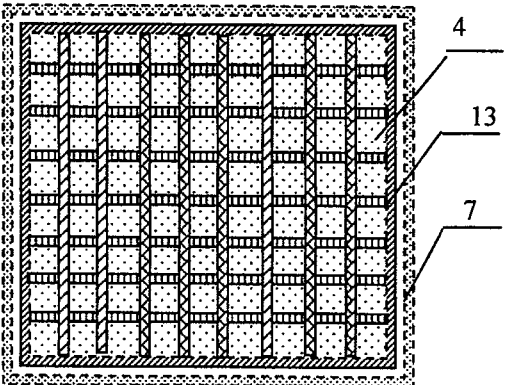


图 3

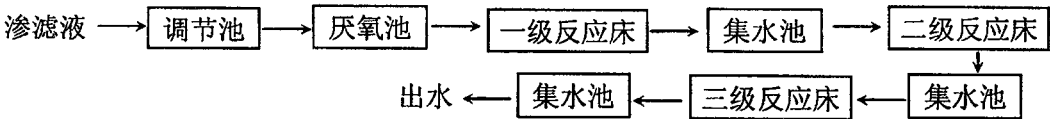


图 4

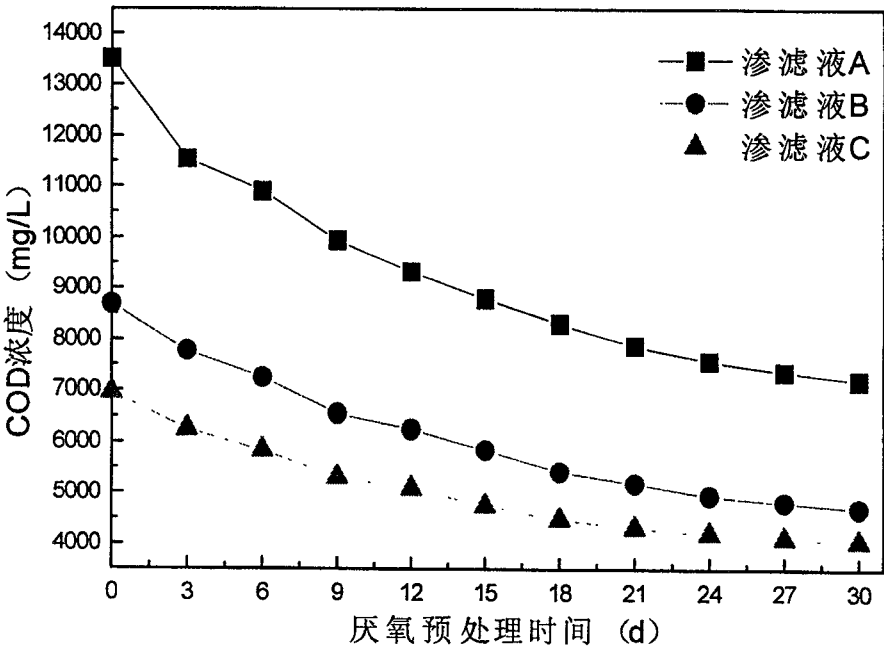


图 5