

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023 年 3 月 16 日 (16.03.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/035339 A1

(51) 国际专利分类号:

C12M 1/42 (2006.01)

C12M 1/02 (2006.01)

C02F 3/00 (2006.01)

C12M 1/00 (2006.01)

C02F 3/34 (2006.01)

C12N 13/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/120951

(22) 国际申请日: 2021 年 9 月 27 日 (27.09.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

202111067737.1 2021年9月13日 (13.09.2021) CN

(71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。

(72) 发明人: 李姗姗 (LI, Shanwei); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。高琦 (GAO, Qi); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。吴智仁 (WU, Zhiren); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。周向同 (ZHOU, Xiangtong); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。刘志刚 (LIU, Zhigang); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。韦静 (WEI, Jing); 中国江苏省镇江市京口区学府路301号, Jiangsu 212013 (CN)。

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR ELECTROCHEMICALLY DOMESTICATING ANAEROBIC AMMONIA OXIDIZING BACTERIA

(54) 发明名称: 一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法及装置

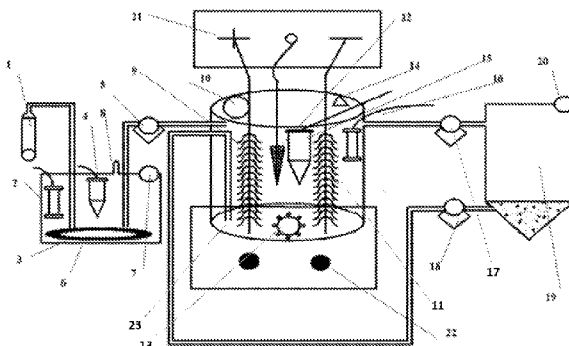


图 1

(57) Abstract: A method and device for electrochemically domesticating anaerobic ammonia oxidizing bacteria, relating to the technical field of water treatment. The device comprises a reactor body, a water inlet system connected to the reactor body by means of a pipeline, and a sludge backflow device connected to the reactor body by means of a pipeline, wherein the reactor body comprises a microbial electrochemical reactor (23), and an anode carbon fiber brush (9), a reference electrode (12), and a cathode carbon fiber brush (11) are provided in the microbial electrochemical reactor (23). Carbon fibers having good electrical conductivity, good biocompatibility, economy and environmental protection are used as a biofilm carrier, and a microbial electrochemical principle is applied, such that the activity of the anaerobic ammonia oxidation bacteria is enhanced, the starting time of an anaerobic ammonia oxidation process is shortened, and long-term stable operation is realized.

(57) 摘要: 一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法及装置, 属于水处理技术领域, 该装置包括反应器主体、与反应器主体管路连接的进水系统和与反应器主体管路连接的污泥回流装置; 其中, 反应器主体包括微生物电化学反应器 (23), 微生物电化学反应器 (23) 内设置有阳极碳纤维刷 (9)、参比电极 (12) 和阴极碳纤维刷 (11); 通过使用导电性好、生物亲和性好、经济环保的碳纤维作为生物膜载体, 运用微生物电化学原理, 强化了厌氧氨氧化细菌的活性, 缩短了厌氧氨氧化工艺启动时间和实现了长期平稳运行。

(74) 代理人: 南京智造力知识产权代理有限公司(NANJING DOYES INTELLECTUAL PROPERTY CO., LTD.); 中国江苏省南京市江宁区芝兰路18号4幢1202室, Jiangsu 211100 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法及装置

技术领域

本发明涉及水处理技术领域，特别是涉及一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法及装置。

背景技术

污水处理方法可以分为物理化学法和生物法，其中生物法因其处理效果好而被广泛应用；同时，传统的生物法需要投加碳源，增加二次污染。因此，新型的生物脱氮技术--厌氧氨氧化技术是解决此问题的新方向。

厌氧氨氧化 (ANAMMOX) 技术作为一种新型生物脱氮技术被广泛地研究，与传统的硝化反硝化技术相比，具有无需外加碳源、无需曝气、污泥产率低等诸多优点。在厌氧条件下，厌氧氨氧化细菌能分别利用亚硝酸盐(NO_2^- -N) 和氨氮 (NH_4^+ -N) 作为电子受体和电子供体，一步转化生成氮气。然而，厌氧氨氧化技术在实际应用中存在一些不足，由于厌氧氨氧化细菌生长缓慢、细胞倍增时间较长，导致厌氧氨氧化工艺启动时间较长；而且厌氧氨氧化细菌对环境条件极其敏感，如污废水中的有机物、溶解氧、盐度和重金属离子等。因此，厌氧氨氧化细菌的快速富集一直是该类工艺首要突破的难题，研究新的富集方法和装置，对推动厌氧氨氧化工艺大规模的应用具有重要的意义。

发明内容

本发明的目的是提供一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法及装置，以解决上述现有技术存在的问题，促进厌氧氨氧化细菌的新陈代谢，加速厌氧氨氧化细菌的增殖和快速富集。

为实现上述目的，本发明提供了如下方案：

本发明提供一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的装置，包括反应器主体、与所述反应器主体管路连接的进水系统和与所述反应器主体管路连接的污泥回流装置；其中，所述反应器主体包括微生物电化学反应器，所述微生物电化学反应器内设置有阳极碳纤维刷、参比电极和阴极碳纤维刷；所述阳极碳纤维刷和阴极碳纤维刷分别与恒电位仪相连接。

进一步地，所述反应器主体还包括磁力搅拌器，所述磁力搅拌器的转子为八角型转子。

进一步地，所述阳极碳纤维刷和阴极碳纤维刷通过钛丝缠绕固定于所述微生物电化学反应器顶部，并通过钛丝与所述恒电位仪相连接。

进一步地，所述参比电极为 Ag/AgCl 电极。

进一步地，所述进水系统包括氮气瓶、DO/pH 监测仪 I、进水泵和贮水箱；所述贮水箱底部设有曝气管，所述曝气管通过管路与所述氮气瓶连接；所述贮水箱上部设有注水口和单向出气阀；所述贮水箱内部设有加热棒。

进一步地，所述污泥回流系统包括出水蠕动泵、回流污泥蠕动泵和二沉池，所述二沉池上设有二沉池上部取水口。

本发明还提供一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法，所述方法采用上述的电化学驯化厌氧氨氧化细菌的装置，包括以下步骤：

- (1) 将接种污泥接种到微生物电化学反应器中；
- (2) 通过加热棒控制贮水箱中含氮污水的水温在 35℃；开启氮气瓶，通过曝气管吹脱除氧 20-30min；

- (3) 将含氮污水通过进水泵注入微生物电化学反应器中；
- (4) 开启磁力搅拌器，转速 100-300r/min；
- (5) 监测微生物电化学反应器内的 pH，使 pH 保持在 7.5-8.2 之间；
- (6) 水力停留时间为 23h，其中包括进水和出水各静置 15min。

进一步地，在步骤(1)中，所述接种污泥为体积比 5:4:1 的厌氧活性污泥、缺氧活性污泥和厌氧氨氧化污泥；所述接种污泥的 MLSS 值为 2000-4000mg/L。

进一步地，在步骤(2)中，所述含氮污水吹脱除氧后，使 DO 值小于 0.5mg/L，通过外加酸碱调节 pH 在 7.5-8.2 之间。

进一步地，在步骤(3)中，进水含氮污水的平均氨氮含量为 50mg/L，平均亚硝态氮含量为 66mg/L。

本发明公开了以下技术效果：

本发明所用的碳纤维刷具有良好的导电性，具有生物截留量大的优点，为厌氧氨氧化细菌提供了附着的场所。电化学技术用于厌氧氨氧化细菌的驯化具有高效性和操作灵活性，可以改变厌氧氨氧化细菌的形态结构、催化厌氧氨氧化细菌细胞内的一些蛋白酶、加速厌氧氨氧化细菌细胞内电子和电极之间的传递，通过三电极微生物电化学装置，促进厌氧氨氧化细菌的增殖，缩短厌氧氨氧化工艺启动时间，最终目的是提高厌氧氨氧化细菌的脱氮能力。此外，在不设置三相分离器的前提下，污泥回流系统避免了生物量的流失。

本发明使用导电性好、生物亲和性好、经济环保的碳纤维作为生物膜载体，运用微生物电化学原理，强化厌氧氨氧化细菌的活性，缩短厌氧氨

氧化工艺启动时间和实现长期平稳运行，为新型生物脱氮技术的广泛运用提供理论基础。

微生物电化学系统能提高功能性细菌的生物活性, 本发明利用微生物电化学技术来驯化厌氧氨氧化细菌，开发了一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的新方法，对解决现有厌氧氨氧化技术的局限性具有现实意义。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为电化学方法驯化厌氧氨氧化细菌的装置的结构示意图；

其中，氮气瓶 1、加热棒 2、曝气管 3、DO/pH 监测仪 I 4、进水泵 5、贮水箱 6、注水孔 7、单向出气阀 8、阳极碳纤维刷 9、留置口 10、阴极碳纤维刷 11、参比电极 12、八角型转子 13、出气单向阀 14、DO/pH 监测仪 II 15、加热棒 16、出水蠕动泵 17、回流污泥蠕动泵 18、二沉池 19、二沉池上部取水口 20、恒电位仪 21、磁力搅拌器 22、微生物电化学反应器 23；

图 2 为驯化过程的氨氮 (NH_4^+-N) 变化图；

图 3 为驯化过程的亚硝酸盐氮 (NO_2^--N) 变化图；

图 4 为驯化过程的硝酸盐氮 (NO_3^--N) 变化图。

具体实施方式

现详细说明本发明的多种示例性实施方式，该详细说明不应认为是对本发明的限制，而应理解为是对本发明的某些方面、特性和实施方案的更

详细的描述。

应理解本发明中所述的术语仅仅是为描述特别的实施方式，并非用于限制本发明。另外，对于本发明中的数值范围，应理解为还具体公开了该范围的上限和下限之间的每个中间值。在任何陈述值或陈述范围内的中间值以及任何其他陈述值或在所述范围内的中间值之间的每个较小的范围也包括在本发明内。这些较小范围的上限和下限可独立地包括或排除在范围内。

除非另有说明，否则本文使用的所有技术和科学术语具有本发明所述领域的常规技术人员通常理解的含义。虽然本发明仅描述了优选的方法和材料，但是在本发明的实施或测试中也可以使用与本文所述相似或等同的任何方法和材料。本说明书中提到的所有文献通过引用并入，用以公开和描述与本文所述文献相关的方法和/或材料。在与任何并入的文献冲突时，以本说明书的内容为准。

在不背离本发明的范围或精神的情况下，可对本发明说明书的具体实施方式做多种改进和变化，这对本领域技术人员而言是显而易见的。由本发明的说明书得到的其他实施方式对技术人员而言是显而易见的。本发明说明书和实施例仅是示例性的。

关于本文中所使用的“包含”、“包括”、“具有”、“含有”等等，均为开放性的用语，即意指包含但不限于。

本发明实施例提供一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的装置，包括反应器主体、与反应器主体管路连接的进水系统和与反应器主体管路连接的污泥回流装置；其中，反应器主体包括微生物电化学反应器 23，微生物电化

学反应器 23 内设置有阳极碳纤维刷 9、参比电极 12 和阴极碳纤维刷 11。

其中，微生物电化学反应器 23 为由亚克力板制成的密闭圆柱体，外部采用遮光布遮光，容器的壁厚为 2cm，有效高度为 10-15cm，优选为 15cm，其内直径为 15-20cm，优选为 15cm，有效容积为 1.5L；在微生物电化学反应器 23 上部设有直径为 3cm 的圆形留置口 10，使用橡胶塞堵塞，用于观察运行时反应器内部的变化和调节运行状况，以及调节污水 DO 或 pH 值；同时，微生物电化学反应器 23 上部设有 DO/pH 监测仪 II 15，用于检测反应过程中污水的 DO 值和 pH 值，以便随时对污水水况进行调整。

作为本发明的优选方案，阳极碳纤维刷 9 和阴极碳纤维刷 11 为圆柱形，直径为 3cm，刷毛长度为 13-15cm，优选为 13cm，通过钛丝缠绕固定于微生物电化学反应器 23 顶部，钛丝伸出微生物电化学反应器 23 5cm，以便钛丝与恒电位仪 21 的鳄鱼夹连接；两个碳纤维刷的体积占微生物电化学反应器 23 的 40%。

作为本发明的优选方案，参比电极 12 为 Ag/AgCl 电极，其电极电势稳定，可在微生物电化学反应器 23 中长时间使用，具有使用寿命长、重现性好的优点；工作电极和对电极则为两个碳纤维刷。

作为本发明进一步的优选方案，恒电位仪 21 为 CHI1030C 多通道恒电位仪，对碳纤维刷提供电极电势，并可用于多反应装置、多工作电极同时运行条件下的电化学测试，提高整体的运行效率。

作为本发明进一步的优选方案，对于阳极碳纤维刷 9 和阴极碳纤维刷 11，其单个碳刷的碳纤维含量为 10g，碳纤维下端通过胶棒粘贴在微生物电化学反应器 23 的底部，碳纤维具有耐高温、导电和导热等多种特性，为

厌氧氨氧化细菌的附着、栖息和新陈代谢提供便利的场所。

作为本发明的优选方案，反应器主体还包括磁力搅拌器 22，磁力搅拌器 22 的转子为八角型转子 13，采用八角型的转子，一方面减小对微生物电化学反应器 23 的压强，保护反应器；另一方面，八角型转子 13 比普通转子旋转更稳定，有利于厌氧氨氧污泥和污水充分均匀混合，加速氮素处理效率和提高反应器的运行效率。

作为本发明的优选方案，进水系统包括氮气瓶 1、DO/pH 监测仪 I 4、进水泵 5 和贮水箱 6；贮水箱 6 底部设有曝气管 3，曝气管 3 通过管路与氮气瓶 1 连接，用于含氮污水的吹脱除氧；贮水箱 6 上部设有注水口 7 和单向出气阀 8；贮水箱 6 内部设有加热棒 2，用于含氮污水的水温调整。曝气管 3 围成圆形置于贮水箱 6 底部，有利于曝气均匀，增加曝气效率，缩短曝气时间。

作为本发明的优选方案，污泥回流系统包括出水蠕动泵 17、回流污泥蠕动泵 18 和二沉池 19，二沉池 19 上设有二沉池上部取水口 20，用于采集进出水样，监测厌氧氨氧化细菌的生长状况。

污泥回流系统与微生物电化学反应器 23 双通路连接，用于污水污泥的回流，避免部分污泥随出水排出微生物电化学反应器 23，该设置有效保证了反应器中的污泥浓度，为厌氧氨氧化长期平稳运行提供了有利保证。

本发明实施例还提供电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法，方法采用上述的电化学驯化厌氧氨氧化细菌的装置，包括以下步骤：

(1) 将江苏省镇江市城市生活污水厂的厌氧活性污泥、缺氧活性污泥和厌氧氨氧化污泥按体积比 5:4:1 接种到微生物电化学反应器 23 内；

(2) 将含氨氮 (NH_4^+-N) 和亚硝酸盐氮 (NO_2^--N) 的模拟含氮污水注入贮水箱 6, 通过加热棒 2 维持温度为 35°C ; 打开氮气瓶 1, 使用纯度 99.5% 的氮气通过曝气管 3 吹脱除氧 20-30min, 优选 25min, 使得贮水箱 6 中含氮污水的 DO 值维持在 0.5mg/L 以下, 并使用 1M 碳酸氢钠溶液或 1M 稀盐酸调节含氮污水 pH 在 7.5-8.2 之间;

(3) 将含氮污水通过进水泵 5 注入微生物电化学反应器 23 中, 接种污泥和含氮污水的总体积为 1.5L, 浸没阳极碳纤维刷 9 和阴极碳纤维刷 11, 参比电极 12 放置在水面以下 3cm 处;

(4) 开启磁力搅拌器 22, 转速 100-300r/min, 优选为 120r/min;

(5) 监测微生物电化学反应器 23 内的 pH, 并通过留置口 10 进行调节 (用 1M 碳酸氢钠溶液或 1M 稀盐酸进行调节), 使 pH 保持在 7.5-8.2 之间;

(6) 设置水力停留时间为 23h, 其中静置 30min, 包括进水和出水各 15min。

作为本发明进一步的优选方案, 接种污泥的 MLSS 值为 2000-4000mg/L, 优选为 3500mg/L。

作为本发明进一步的优选方案, 在步骤 (3) 中, 进水含氮污水的平均氨氮含量为 50mg/L, 平均亚硝态氮含量为 66mg/L。

实施例 1

(1) 构建 4 个相同的微生物电化学反应器, 分别命名为 R1、R2、R3、R4, 其中 R1 未施加电势 (作为对照组), 即开路 (OC) 模式。R2、R3、R4 分别施加 0.003V、-0.197V、-0.397V (vs. Ag/AgCl) 的电极电势 (三个实

验组)。上海辰华的 CHI1030C 多通道恒电位仪为各反应器施加相应的电极电势。

(2) 各反应器分别接种江苏省镇江市城市污水厂的缺氧池污泥、厌氧池污泥和厌氧氨氧化污泥, 缺氧池污泥、厌氧池污泥和厌氧氨氧化污泥的接种体积分别为 50ml、40ml 和 10ml。

(3) 贮水箱注入模拟污水。

模拟污水的组成如下: 2 mg/L KH_2PO_4 、110 mg/L KHCO_3 、20 mg/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、20 mg/L $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、1.5 mL/L 微量元素 I 和 1.5 mL/L 微量元素 II。

微量元素 I 为 5 g/L $\text{EDTA} \cdot 2\text{Na}$ 和 5 g/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 微量元素 II 为 15 g/L EDTA 、0.25 g/L $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、0.99 g/L $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、0.43 g/L $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、0.24 g/L $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、0.19 g/L $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 0.22 g/L $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为 50mg/L, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 为 66mg/L。

底物 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 由 NH_4Cl 和 NaNO_2 提供。

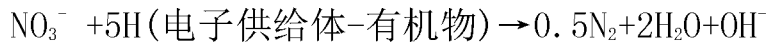
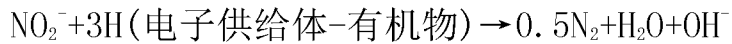
(4) 脱氮效果评价: 在整个驯化过程中, 每日监测 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度变化情况。

实验结果

1) 菌体水解期: R2 和 R3 为第 1-3 天, R1 和 R4 为第 1-6 天,

平均进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和平均进水 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 为 50mg/L 和 66mg/L。刚接种到微生物电化学反应器的污泥, 未能适应新的环境, 导致细菌裂解自溶, 出水的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度高于进水。此阶段未检测到出水中 $\text{NO}_2^-\text{-N}$, 其原因在于,

反硝化细菌利用进水中的 NO_2^- -N 发生强烈的反硝化反应。此外，厌氧氨氧化反应是产硝酸盐氮的，通过监测出水硝酸盐氮的含量，可以推算出厌氧氨氧化的活性。在菌体水解期，未检测到硝酸盐氮的含量，可能发生了硝酸盐氮作为基质的反硝化反应或者厌氧氨氧化活性未显现。



2) 活性提高期: R2、R3、R4 第 7-28 天, R1 第 11-28 天。

随着驯化天数的增加,出水 NH_4^+ -N 浓度逐渐降低,由于 R1 反应器未施加电势,进入厌氧氨氧化活性提高期的时间慢于施加三种不同电极电势的 R2、R3、R4 反应器。从图 2 中可以看出, NH_4^+ -N 去除率不断递增, NH_4^+ -N 去除率顺序是 $\text{R1} < \text{R2} < \text{R3} < \text{R4}$ 。在第 20d-27d, R1、R2、R3、R4 反应器的平均 NH_4^+ -N 去除率分别是 71.43%、93.36%、94.76%和 96.73%。由此可见,施加电势的三个反应器 NH_4^+ -N 去除率高于未施加电势的反应器。其中在最佳电势-0.397V 下, NH_4^+ -N 去除率高达 96.73%。比未施加电势的 R1 反应器去除率高 25.3%。

如图 3 所示, R1、R2、R3、R4 反应器中 NO_2^- -N 去除率逐渐降低由本阶段起始的 98%、94%、99%、92%下降至第 22d 的 17%、第 19d 的 16%、第 19d 的 28%、第 19d 的 39%。在本实验中 R1 第 22d, R2、R3、R4 第 19d 的 NO_2^- -N 去除率最低。R1 在第 19d 后、R2、R3、R4 在第 22d 后, NO_2^- -N 去除率反升。 NO_2^- -N 去除率骤降的原因在于,反硝化细菌的减少和自溶现象消失,促使 NO_2^- -N 出现了剩余积累;之后又出现去除率回升的原因在于,随着驯化时间的增加,厌氧氨氧化细菌的丰度和活性提高,回升的速度顺序为

$R1 < R2 < R3 < R4$, 说明施加的电极电势可以加速 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 去除。促使底物 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 被厌氧氨氧化细菌当做电子受体而被消耗, 转折点也代表了厌氧氨氧化细菌活性的提高。有研究表明, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 去除率从 100% 逐渐降低, 说明反硝化作用减弱, 所以 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的去除率先升高后降低、再由低升高, 表明厌氧氨氧化反应活性增强。

如图 4 所示, $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 、 $R4$ 中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的产生量是逐渐增加的, 并且上升速度的顺序是 $R4 > R3 > R2 > R1$ 。通过厌氧氨氧化反应式推断, 当施加 -0.397V 的电极电势时, 厌氧氨氧化细菌活性最高。第 24d-28d, $R1$ 、 $R2$ 、 $R3$ 、 $R4$ 平均出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度分别为 6 mg/L 、 9 mg/L 、 10 mg/L 和 15 mg/L , 可以看出 $R4$ 硝酸盐氮的出水浓度最高。再次证实了当施加 -0.397V 电势时, 厌氧氨氧化细菌活性最高。

由此可见施加电势对厌氧氨氧化脱氮能力有明显的促进作用。这说明微生物电化学系统对生物新陈代谢起到促进作用, 加速厌氧氨氧化细菌的增殖, 说明了本发明技术方案的可行性。

以上所述的实施例仅是对本发明的优选方式进行描述, 并非对本发明的范围进行限定, 在不脱离本发明设计精神的前提下, 本领域普通技术人员对本发明的技术方案做出的各种变形和改进, 均应落入本发明权利要求书确定的保护范围内。

1. 一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的装置，其特征在于，包括反应器主体、与所述反应器主体管路连接的进水系统和与所述反应器主体管路连接的污泥回流装置；其中，所述反应器主体包括微生物电化学反应器(23)，所述微生物电化学反应器(23)内设置有阳极碳纤维刷(9)、参比电极(12)和阴极碳纤维刷(11)；所述阳极碳纤维刷(9)和阴极碳纤维刷(11)分别与恒电位仪(21)相连接。

2. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述反应器主体还包括磁力搅拌器(22)，所述磁力搅拌器(22)的转子为八角型转子(13)。

3. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述阳极碳纤维刷(9)和阴极碳纤维刷(11)通过钛丝缠绕固定于所述微生物电化学反应器(23)顶部，并通过钛丝与所述恒电位仪(21)相连接。

4. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述参比电极(12)为Ag/AgCl电极。

5. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述进水系统包括氮气瓶(1)、DO/pH检测仪I(4)、进水泵(5)和贮水箱(6)；所述贮水箱(6)底部设有曝气管(3)，所述曝气管(3)通过管路与所述氮气瓶(1)连接；所述贮水箱(6)上部设有注水口(7)和单向出气阀(8)；所述贮水箱(6)内部设有加热棒(2)。

6. 根据权利要求1所述的装置，其特征在于，所述污泥回流系统包括出水蠕动泵(17)、回流污泥蠕动泵(18)和二沉池(19)，所述二沉池(19)上设有二沉池上部取水口(20)。

7. 一种电化学驯化厌氧氨氧化细菌的方法，其特征在于，所述方法采

用权利要求 1-6 任一项所述的电化学驯化厌氧氨氧化细菌的装置，包括以下步骤：

- 1) 将接种污泥接种到微生物电化学反应器 (23) 中；
- 2) 通过加热棒 (2) 控制贮水箱 (6) 中含氮污水的水温在 35℃；开启氮气瓶 (1)，通过曝气管 (3) 吹脱除氧 20-30min；
- 3) 将含氮污水通过进水泵 (5) 注入微生物电化学反应器 (23) 中；
- 4) 开启磁力搅拌器 (22)，转速 100-300r/min；
- 5) 监测微生物电化学反应器 (23) 内的 pH，使 pH 保持在 7.5-8.2 之间；
- 6) 水力停留时间为 23h，其中包括进水和出水各静置 15min。
8. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，在步骤 1) 中，所述接种污泥为体积比 5:4:1 的厌氧活性污泥、缺氧活性污泥和厌氧氨氧化污泥；所述接种污泥的 MLSS 值为 2000-4000mg/L。
9. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，在步骤 2) 中，所述含氮污水吹脱除氧后，使 DO 值小于 0.5mg/L，通过外加酸碱调节 pH 在 7.5-8.2 之间。
10. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，在步骤 3) 中，进水管含氮污水的平均氨氮含量为 50mg/L，平均亚硝态氮含量为 66mg/L。

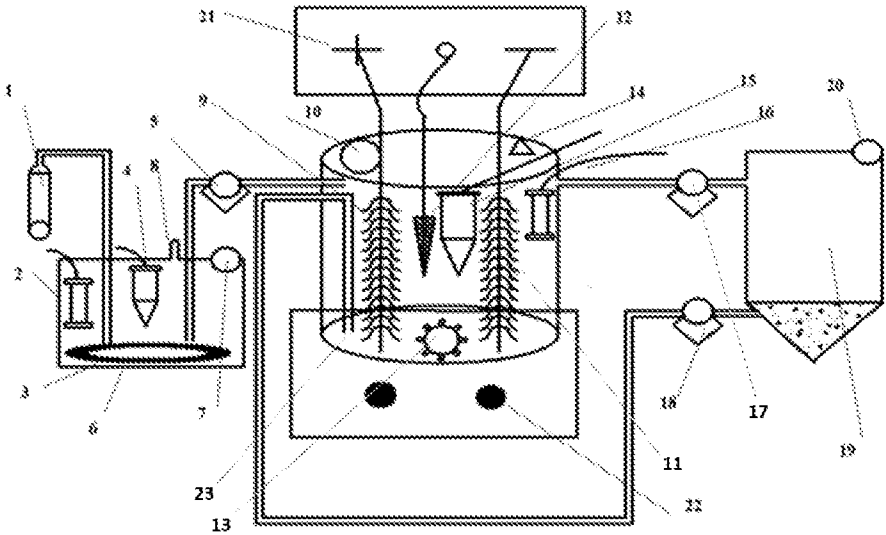


图 1

■ R1进水 □ R1出水 ▲ R2进水 △ R2出水 ◆ R3进水 ◇ R3出水 ► R4进水 ▷ R4出水
+ R1去除率 × R2去除率 * R3去除率 ☆ R4去除率

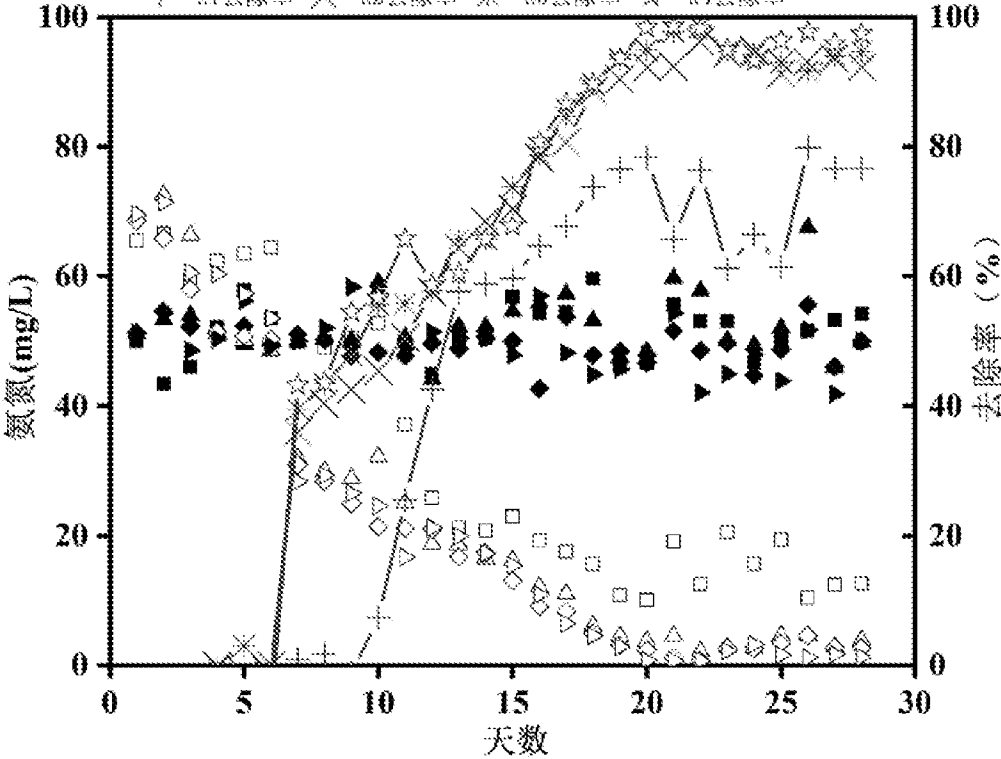


图 2

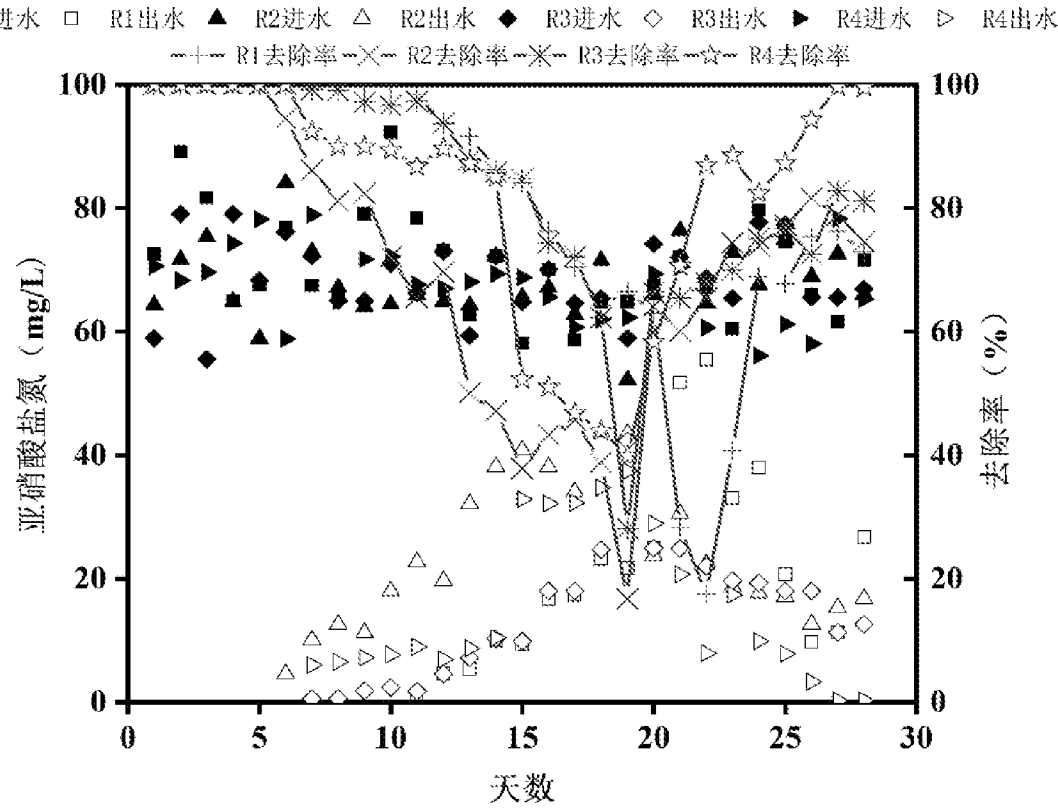


图 3

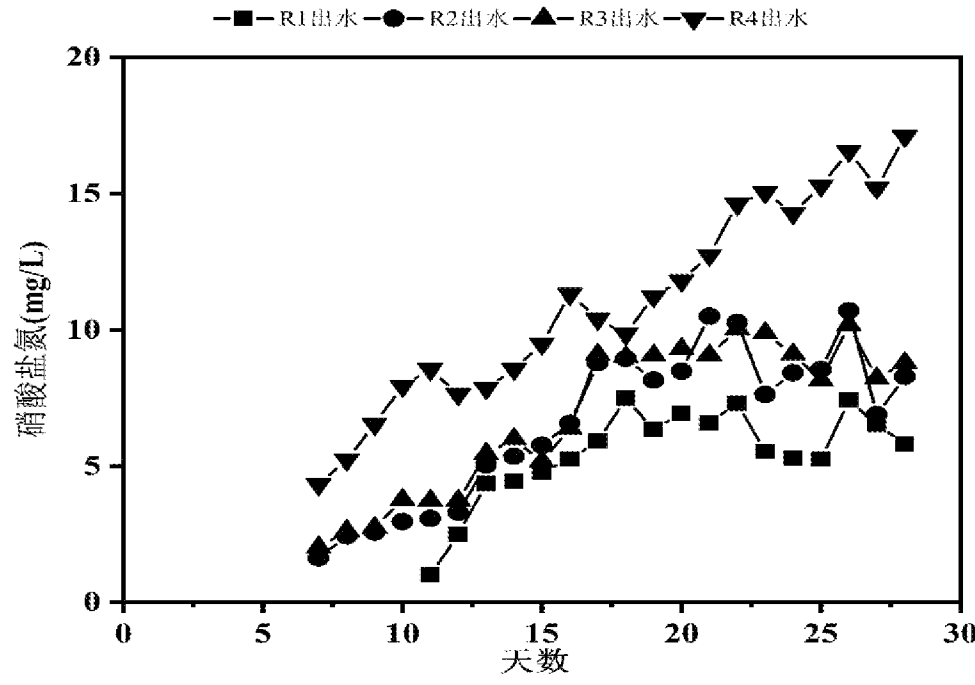


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/120951

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER C12M 1/42(2006.01)i; C02F 3/00(2006.01)i; C02F 3/34(2006.01)i; C12M 1/02(2006.01)i; C12M 1/00(2006.01)i; C12N 13/00(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C12M; C02F; C12N Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC, Web of Science: 江苏大学, 李姗姗, 高琦, 吴智仁, 周向同, 刘志刚, 韦静, 厌氧, 氨氧化, 污水, 阳极, 阴极, 工作电极, 三电极, 参比电极, 启动, 碳纤维刷, 碳刷, wastewater, cultur+, ANAMMOX, Anaerobic ammonia oxidation, sewage, nitrogen, electrode, anode, cathode, working electrode, carbon, fiber, brush		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	钟小娟 (ZHONG, Xiaojuan). "电活性氨氧化生物膜的形成及影响因素研究 (Study on Formation and Factors of Electroactive Ammonium Oxidation Biofilm)" 中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 工程科技I辑 (Engineering Science and Technology I, China Doctoral Dissertations/Master's Theses full-text database (Master)), Vol. 2019, No. 01, 15 January 2019 (2019-01-15), ISSN: 1674-0246, B027-1165	1-10
Y	CN 104528946 A (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 22 April 2015 (2015-04-22) description, paragraphs [0009]-[0010] and [0039]-[0043]	1-10
A	CN 109638327 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 16 April 2019 (2019-04-16) entire document	1-10
A	CN 113277613 A (YE YIN et al.) 20 August 2021 (2021-08-20) entire document	1-10
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 06 May 2022		Date of mailing of the international search report 26 May 2022
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/120951

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105810984 A (BEIJING UNIVERSITY OF CHEMICAL TECHNOLOGY) 27 July 2016 (2016-07-27) entire document	1-10
A	CN 112551680 A (FOSHAN NANHAI SUKEDA ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE) 26 March 2021 (2021-03-26) entire document	1-10
A	CN 209210810 U (XU TINGZHEN) 06 August 2019 (2019-08-06) entire document	1-10
A	WO 2020041894 A1 (WANGER, Greg et al.) 05 March 2020 (2020-03-05) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/120951

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	104528946	A	22 April 2015	None			
CN	109638327	A	16 April 2019	None			
CN	113277613	A	20 August 2021	None			
CN	105810984	A	27 July 2016	None			
CN	112551680	A	26 March 2021	None			
CN	209210810	U	06 August 2019	None			
WO	2020041894	A1	05 March 2020	CA	3110893	A1	05 March 2020
				US	2021317018	A1	14 October 2021

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/120951

A. 主题的分类 C12M 1/42(2006.01)i; C02F 3/00(2006.01)i; C02F 3/34(2006.01)i; C12M 1/02(2006.01)i; C12M 1/00(2006.01)i; C12N 13/00(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) C12M; C02F; C12N 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EP0D0C, Web of Science: 江苏大学, 李姗姗, 高琦, 吴智仁, 周向同, 刘志刚, 韦静, 厌氧, 氨氧化, 污水, 阳极, 阴极, 工作电极, 三电极, 参比电极, 启动, 碳纤维刷, 碳刷, wastewater, cultur+, ANA-MMOX, Anaerobic ammonia oxidation, sewage, nitrogen, electrode, anode, cathode, working electrode, carbon, fiber, brush		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	钟小娟. “电话性氨氧化生物膜的形成及影响因素研究” 《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士) 工程科技 I 辑》, 第2019年卷, 第01期, 2019年1月15日 (2019 - 01 - 15), ISSN: 1674-0246, B027-1165	1-10
Y	CN 104528946 A (北京工业大学) 2015年4月22日 (2015 - 04 - 22) 说明书第[0009]-[0010]、[0039]-[0043]段	1-10
A	CN 109638327 A (大连理工大学) 2019年4月16日 (2019 - 04 - 16) 全文	1-10
A	CN 113277613 A (叶闯 等) 2021年8月20日 (2021 - 08 - 20) 全文	1-10
A	CN 105810984 A (北京化工大学) 2016年7月27日 (2016 - 07 - 27) 全文	1-10
A	CN 112551680 A (佛山市南海区苏科大环境研究院) 2021年3月26日 (2021 - 03 - 26) 全文	1-10
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期
2022年5月6日		2022年5月26日
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		刘倩 电话号码 86-(10)-53962596

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 209210810 U (徐廷桢) 2019年8月6日 (2019 - 08 - 06) 全文	1-10
A	WO 2020041894 A1 (WANGER, Greg 等) 2020年3月5日 (2020 - 03 - 05) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/120951

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	104528946	A	2015年4月22日	无			
CN	109638327	A	2019年4月16日	无			
CN	113277613	A	2021年8月20日	无			
CN	105810984	A	2016年7月27日	无			
CN	112551680	A	2021年3月26日	无			
CN	209210810	U	2019年8月6日	无			
WO	2020041894	A1	2020年3月5日	CA	3110893	A1	2020年3月5日
				US	2021317018	A1	2021年10月14日