



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115925112 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 24

(21) 申请号 202310022755.0

(22) 申请日 2023.01.08

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 115925112 A

(43) 申请公布日 2023.04.07

(73) 专利权人 北京工业大学  
地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72) 发明人 王博 王硕 李文杰 戴钰 王露

(74) 专利代理机构 北京知艺互联知识产权代理  
有限公司 16137  
专利代理师 孙一方

(51) Int.Cl.  
C02F 3/28 (2023.01)

(56) 对比文件

CN 108217944 A, 2018.06.29

CN 112897684 A, 2021.06.04

CN 113716697 A, 2021.11.30

审查员 李哲

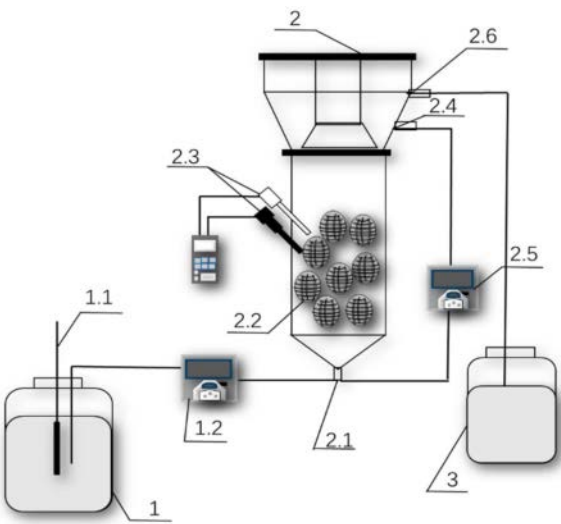
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持  
厌氧氨氧化稳定性的装置与方法

(57) 摘要

一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持  
厌氧氨氧化稳定性的装置与方法属于污水生物  
处理领域。本装置包括进水水箱、厌氧氨氧化反  
应器、出水水箱三部分,厌氧氨氧化反应器内部  
装填有组合沸石填料,并维持在悬浮状态,生活  
污水经蠕动泵进入厌氧氨氧化反应器,出水经溢  
流口进入出水水箱。本装置将沸石吸附氨氮的特  
性与厌氧氨氧化脱氮工艺相结合:在进水氨氮浓  
度过高时,沸石将多余的氨氮吸附暂时存储起  
来;当进水亚硝浓度过高时,沸石又可以通过吸  
附解吸平衡将存储的氨氮释放到液相中,以此在  
波动进水水质下维持厌氧氨氧化稳定性,继而稳  
定整体的脱氮性能。



1. 一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的方法,其特征在于:该方法所用装置包括进水水箱(1)、厌氧氨氧化反应器(2)、出水水箱(3);所述进水水箱(1)设有加热棒(1.1)、蠕动泵(1.2);厌氧氨氧化反应器(2)设有进水口(2.1)、组合沸石填料(2.2)、pH/DO在线检测仪(2.3)、回流口(2.4)、回流泵(2.5)、溢流口(2.6);组合沸石填料(2.2)设有聚丙烯网格球壳(2.2.1)、沸石颗粒(2.2.2)、聚苯乙烯泡沫(2.2.3);

所述进水水箱(1)通过蠕动泵(1.2)与厌氧氨氧化反应器(2)的进水口(2.1)相连接;厌氧氨氧化反应器(2)通过溢流口(2.6)与出水水箱(3)相连接;

具体启动与运行调控步骤如下:

#### 2.1) 启动阶段:

连续流启动厌氧氨氧化反应器,接种污泥为厌氧氨氧化颗粒污泥,控制反应器内污泥浓度在3000-4000mg/L;加热棒控制进水温度在30-35℃范围内;pH在7-8范围内;水力停留时间为10-15h;进水为亚硝态氮的浓度为60-90mg/L,氨氮浓度为50-70mg/L的配水,两者的比例控制在1.32;具体的配水包括:NaNO<sub>2</sub> 60-90 mgN/L、NH<sub>4</sub>Cl 50-70mgN/L、NaHCO<sub>3</sub> 0.5-1.0g/L、KH<sub>2</sub>PO<sub>3</sub> 20-40mg/L、CaCl<sub>2</sub> • 2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、MgSO<sub>4</sub> • 2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、微量元素I溶液0.5-1.0mL/L、微量元素II溶液0.5-1.0mL/L,这里的mL是加入的微量元素I溶液和微量元素II溶液的体积,L是进水的总体积,上述浓度均为进水各物质的最终浓度;微量元素I溶液和微量元素II溶液各自以水为溶剂按照下述基质配比,微量元素I溶液包括:EDTA • 2Na 6-7g/L、FeSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O 5-6g/L;微量元素II溶液包括:EDTA • 2Na 18-20mg/L、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.01-0.02mg/L、ZnSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O 0.4-0.5mg/L、CoCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、CuSO<sub>4</sub> • 5H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、MnCl<sub>2</sub> • 4H<sub>2</sub>O 0.9-1.0mg/L、NiCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O 0.1-0.2mg/L、NaMoO<sub>4</sub> • 2H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L;进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器;反应器内部投加组合沸石填料,投加比为30-40%,由聚丙烯网格状球壳内部装填有直径3-8mm的沸石颗粒与聚苯乙烯泡沫,两者的直径均大于球壳的网格口径,使其不会脱落掉出,两者以1:1-1:2的体积比填充确保能在反应器内部悬浮;回流泵控制回流比为300-500%,防止组合沸石填料沉降;当出水的亚硝态氮与氨氮浓度均小于5mg/L、总氮去除率稳定在70%以上并维持稳定14天以上,表明厌氧氨氧化反应器启动成功;

#### 2.2) 运行阶段:

2.2.1) 模拟水质波动阶段:加热棒控制进水温度在30-35℃范围内;pH在7-8范围内;水力停留时间为10-15h;进水为亚硝态氮和氨氮的浓度均在30-70mg/L波动的配水,每两个水力停留时间为一个循环:第一个水力停留时间内的进水亚硝态氮浓度为30-50mg/L,氨氮的浓度为50-70mg/L,第二个水力停留时间内的进水亚硝态氮浓度为50-70mg/L,氨氮的浓度为30-50mg/L;具体的配水包括:NaNO<sub>2</sub> 30-70mgN/L、NH<sub>4</sub>Cl 30-70mgN/L、NaHCO<sub>3</sub> 0.5-1.0g/L、KH<sub>2</sub>PO<sub>3</sub> 20-40mg/L、CaCl<sub>2</sub> • 2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、MgSO<sub>4</sub> • 2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、微量元素I溶液0.5-1.0mL/L、微量元素II溶液0.5-1.0mL/L,这里的mL是加入的微量元素I溶液和微量元素II溶液的体积,L是进水的总体积,上述浓度均为进水各物质的最终浓度;微量元素I溶液和微量元素II溶液各自以水为溶剂按照下述基质配比,微量元素I溶液包括:EDTA • 2Na 6-7g/L、FeSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O 5-6g/L;微量元素II溶液包括:EDTA • 2Na 18-20mg/L、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.01-0.02mg/L、ZnSO<sub>4</sub> • 7H<sub>2</sub>O 0.4-0.5mg/L、CoCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、CuSO<sub>4</sub> • 5H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、MnCl<sub>2</sub> • 4H<sub>2</sub>O 0.9-1.0mg/L、NiCl<sub>2</sub> • 6H<sub>2</sub>O 0.1-0.2mg/L、NaMoO<sub>4</sub> • 2H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L;进水

经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器；回流泵控制回流比为300-500%，防止组合沸石填料沉降；

2.2.2) 实际水质波动阶段：厌氧氨氧化反应器的进水为生活污水外加亚硝态氮；加热棒控制进水温度在30-35℃范围内；pH在7-8范围内；水力停留时间为10-15h；进水亚硝态氮浓度为30-70mg/L，氨氮浓度为30-70mg/L，两者的比例在0.5-2.3无规则波动；进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器；回流泵控制回流比为300-500%，防止组合沸石填料沉降。

## 一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的装置与方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的装置与方法,属于污水生物处理领域。

### 背景技术

[0002] 厌氧氨氧化作为一种新型的脱氮工艺,能在缺氧的条件下以亚硝态氮为电子受体,将氨氮氧化为氮气,为氮循环开辟了新的途径。厌氧氨氧化是目前最有前景的生物脱氮技术,相比于传统的硝化反硝化工艺,厌氧氨氧化工艺具有降低曝气能耗、减少碳源投加量、温室气体排放量少、污泥产量少等优点。目前厌氧氨氧化工艺多用于处理侧流的高氨氮废水,而实际废水波动的氨氮浓度、变化的环境条件限制了厌氧氨氧化工艺的全规模应用,特别是实际废水通常缺少亚硝态氮底物,因此厌氧氨氧化技术通常需要与短程硝化、短程反硝化工艺结合,从而为厌氧氨氧化细菌提供适宜的底物供应。

[0003] 短程硝化-厌氧氨氧化工艺是氨氧化细菌将氨氮在有氧条件下氧化为亚硝态氮,而厌氧氨氧化菌随后将亚硝态氮与氨氮转化为氮气。由于氨氧化细菌和厌氧氨氧化细菌是自养细菌,短程硝化-厌氧氨氧化不需要有机碳源,与传统的硝化反硝化脱氮相比,节省了60%的曝气成本。在短程硝化-厌氧氨氧化工艺中,短程硝化工艺作为限速步骤,其稳定性对于整体的脱氮效果至关重要。当短程硝化效果好时,大部分的氮以亚硝态氮的形式存在;当短程硝化的效果不好时,大部分的氮以氨氮的形式处在,难以稳定的短程硝化性能导致其难以为厌氧氨氧化反应提供稳定的底物供应。

[0004] 沸石是含水的铝硅酸盐矿物,其晶体构造为硅离子与氧离子组合的四面体。当正四价的铝离子被正三价的硅离子取代,沸石结构中会含有过量的负电荷,为了平衡电荷,沸石会吸附碱金属或者碱土金属离子,这些以钠离子、镁离子、钙离子为主的碱金属与碱土金属离子很容易与周围其他的阳离子进行离子交换,尤其对于氨氮离子具有很强的选择性,同时沸石内部又存在大量的孔隙和通道,这种吸附、离子交换的特性使得沸石作为一种常见的氨氮吸附剂,被广泛用于处理各种浓度的氨氮废水。

[0005] 有研究称沸石可以实现稳定的短程硝化性能,而将沸石与厌氧氨氧化工艺结合,可以平衡不稳定的短程硝化反应对厌氧氨氧化脱氮性能的影响:如果短程硝化没有产生足够的亚硝态氮,大部分氮仍以氨氮的形式存在,那么沸石就可以吸附过量的氨氮;如果短程硝化产生的亚硝态氮过量,那么沸石就可以将之前吸附的氨氮解吸出来。短程硝化性能不稳定导致进水处于波动状态,而沸石基于上述原理可以为厌氧氨氧化细菌维持相对稳定且合适的亚硝态氮与氨氮的比例,进而稳定厌氧氨氧化反应的脱氮性能。

### 发明内容

[0006] 本发明提出了一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的装置与方法,可以在无规律的波动的进水基质下,利用沸石吸附解吸氨氮的特性,维持相对稳

定亚硝态氮与氨氮的比例,从而为厌氧氨氧化反应提供稳定的底物供应,保证系统高效的脱氮效率。

[0007] 本发明的目的是通过以下技术方案来解决的:

[0008] 1.一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的装置,其特征在于:所用装置包括进水水箱(1)、厌氧氨氧化反应器(2)、出水水箱(3);所述进水水箱(1)设有加热棒(1.1)、进水泵(1.2);厌氧氨氧化反应器(2)设有进水口(2.1)、组合沸石填料(2.2)、pH/D0在线检测仪(2.3)、回流口(2.4)、回流泵(2.5)、溢流口(2.6)。组合沸石填料(2.2)设有聚丙烯网格球壳(2.2.1)、沸石颗粒(2.2.2)、聚苯乙烯泡沫(2.2.3);

[0009] 实验装置连接:所述进水水箱(1)通过进水泵(1.2)与厌氧氨氧化反应器(2)的进水口(2.1)相连接;厌氧氨氧化反应器(2)通过溢流口(2.6)与出水水箱(3)相连接。

[0010] 2.一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的方法,其特征在于,具体启动与运行调控步骤如下:

[0011] 2.1)启动阶段:

[0012] 连续流启动厌氧氨氧化反应器,接种污泥为厌氧氨氧化颗粒污泥,控制反应器内污泥浓度在3000-4000mg/L;加热棒控制进水温度在30-35℃范围内;pH在7-8范围内;水力停留时间为10-15h;进水为亚硝态氮的浓度为60-90mg/L,氨氮浓度为50-70mg/L的配水,两者的比例控制在1.32;具体的配水包括:NaNO<sub>2</sub> 60-90mgN/L、NH<sub>4</sub>Cl 50-70mgN/L、NaHCO<sub>3</sub> 0.5-1.0g/L、KH<sub>2</sub>PO<sub>3</sub> 20-40mg/L、CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、MgSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、微量元素I溶液0.5-1.0mL/L、微量元素II溶液0.5-1.0mL/L,这里的mL是加入的微量元素I溶液和微量元素II溶液的体积,L是进水的总体积,上述浓度均为进水各物质的最终浓度;微量元素I溶液和微量元素II溶液各自以水为溶剂按照下述基质配比,微量元素I溶液包括:EDTA·2Na 6-7g/L、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 5-6g/L;微量元素II溶液包括:EDTA·2Na 18-20mg/L、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.01-0.02mg/L、ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.4-0.5mg/L、CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 0.9-1.0mg/L、NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.1-0.2mg/L、NaMoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L;进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器;反应器内部投加组合沸石填料,投加比为30-40%,由聚丙烯网格状球壳内部装填有直径3-8mm的沸石颗粒与聚苯乙烯泡沫,两者的直径均大于球壳的网格口径,使其不会脱落掉出,两者以1:1-1:2的体积比填充确保能在反应器内部悬浮;回流泵控制回流比为300-500%,防止组合沸石填料沉降。当出水的亚硝态氮与氨氮浓度均小于5mg/L、总氮去除率稳定在70%以上并维持稳定14天以上,表明厌氧氨氧化反应器启动成功;

[0013] 2.2)运行阶段:

[0014] 2.2.1)模拟水质波动阶段:加热棒控制进水温度在30-35℃范围内;pH在7-8范围内;水力停留时间为10-15h;进水为亚硝态氮和氨氮的浓度均在30-70mg/L波动的配水,每两个水力停留时间为一个循环:第一个水力停留时间内的进水亚硝态氮浓度为30-50mg/L,氨氮的浓度为50-70mg/L,此时氨氮相对剩余,多余的氨氮会被沸石吸附,第二个水力停留时间内的进水亚硝态氮浓度为50-70mg/L,氨氮的浓度为30-50mg/L,此时亚硝态氮相对剩余,沸石将上一循环吸附的氨氮解吸到液相中,从而为厌氧氨氧化细菌的生长提供底物;具体的配水包括:NaNO<sub>2</sub> 30-70 mgN/L、NH<sub>4</sub>Cl 30-70mgN/L、NaHCO<sub>3</sub> 0.5-1.0g/L、KH<sub>2</sub>PO<sub>3</sub> 20-40mg/L、CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、MgSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 100-300mg/L、微量元素I溶液0.5-1.0mL/L

L、微量元素 II 溶液 0.5-1.0mL/L, 这里的 mL 是加入的微量元素 I 溶液和微量元素 II 溶液的体积, L 是进水的总体积, 上述浓度均为进水各物质的最终浓度; 微量元素 I 溶液和微量元素 II 溶液各自以水为溶剂按照下述基质配比, 微量元素 I 溶液包括: EDTA · 2Na 6-7g/L、FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 5-6g/L; 微量元素 II 溶液包括: EDTA · 2Na 18-20mg/L、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.01-0.02mg/L、ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.4-0.5mg/L、CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L、MnCl<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O 0.9-1.0mg/L、NiCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O 0.1-0.2mg/L、NaMoO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O 0.2-0.3mg/L; 进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器; 回流泵控制回流比为 300-500%, 防止组合沸石填料沉降

[0015] 2.2.2) 实际水质波动阶段: 厌氧氨氧化反应器的进水为生活污水外加亚硝态氮; 加热棒控制进水温度在 30-35℃ 范围内; pH 在 7-8 范围内; 水力停留时间为 10-15h; 进水亚硝态氮浓度为 30-70mg/L, 氨氮浓度为 30-70mg/L, 两者的比例在 0.5-2.3 无规则波动; 进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器; 回流泵控制回流比为 300-500%, 防止组合沸石填料沉降。根据相同的原理, 沸石可以在波动的进水底物比例下维持相对稳定的脱氮效率;

[0016] 技术原理:

[0017] 厌氧氨氧化细菌对于环境及底物要求严格, 基于厌氧氨氧化技术的短程硝化-厌氧氨氧化工艺中又难以维持稳定的短程硝化工艺, 造成亚硝态氮与氨氮的比例出现较大范围的波动, 在这样的底物冲击下, 厌氧氨氧化反应更难以维持稳定的效率。将沸石吸附氨氮的物理特性与厌氧氨氧化工艺结合, 两者协同可以实现稳定的废水脱氮效果, 这一技术操作的灵活性和稳定性可以从两方面解释: 当短程硝化的效果不好, 即对应氮元素主要以氨氮的形式存在, 亚硝态氮与氨氮的比例小于 1.32 时, 沸石可以通过离子交换机制吸附过量的氨氮; 当短程硝化的效果好, 即对应氮元素主要以亚硝态氮的形式存在, 亚硝态氮与氨氮的比例大于 1.32 时, 沸石又可以利用先前吸附的氨氮。在亚硝态氮与氨氮不合适的比例条件下, 沸石的“缓冲剂”作用有助于维持相对稳定且合适的亚硝态氮与氨氮的比例, 从而实现厌氧氨氧化稳定的脱氮效果。

[0018] 本发明具有以下优势:

[0019] 1) 与传统的硝化反硝化工艺相比, 厌氧氨氧化工艺可以节省碳源和能源, 减少温室气体的排放, 具有环境与经济优势;

[0020] 2) 使用沸石这一价格低廉的吸附剂, 且利用沸石的吸附解吸实现沸石的原位再生, 省去化学再生药剂的费用, 大大节约成本;

[0021] 3) 装置运行简便易实现, 无需复杂的操作;

## 附图说明

[0022] 图1为一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的装置结构示意图:

[0023] 图1中: 1-进水水箱、2-厌氧氨氧化反应器、3-出水水箱; 1.1-加热棒; 1.2-进水泵; 2.1-进水口、2.2-组合沸石填料、2.3-pH/DO 在线检测仪、2.4-回流口、2.5-回流泵、2.6-溢流口;

[0024] 图2为组合沸石填料示意图。图2中: 2.2.1-聚丙烯网格球壳、2.2.2-沸石颗粒、

### 2.2.3-聚苯乙烯泡沫。

#### 具体实施方式

[0025] 下面结合附图和实例对本发明做进一步详细说明:

[0026] 1.如图1所示,一种利用组合沸石填料抵抗水质波动维持厌氧氨氧化稳定性的装置:其特征在于,包括进水水箱(1)、厌氧氨氧化反应器(2)、出水水箱(3);所述进水水箱(1)设有加热棒(1.1)、进水泵(1.2);厌氧氨氧化反应器(2)设有进水口(2.1)、组合沸石填料(2.2)、pH/DO在线检测仪(2.3)、回流口(2.4)、回流泵(2.5)、溢流口(2.6)。组合沸石填料(2.2)设有聚丙烯网格球壳(2.2.1)、沸石颗粒(2.2.2)、聚苯乙烯泡沫(2.2.3);

[0027] 实验装置连接:所述进水水箱(1)通过进水泵(1.2)与厌氧氨氧化反应器反应器(2)的进水口(2.1)相连接;厌氧氨氧化反应器(2)通过溢流口(2.6)与出水水箱(3)相连接;

[0028] 2.具体运行操作如下:

[0029] 2.1)启动阶段:

[0030] 连续流启动厌氧氨氧化反应器,接种污泥为厌氧氨氧化颗粒污泥,控制反应器内污泥浓度在 $3000 \pm 300 \text{mg/L}$ ;加热棒控制进水温度在 $32^\circ\text{C}$ ;pH在 $7.5 \pm 0.5$ 范围内;水力停留时间为10h;进水为亚硝态氮的浓度为 $70 \text{mg/L}$ ,氨氮浓度为 $50 \text{mg/L}$ 的配水;具体的配水包括: $\text{NaNO}_2$   $70 \text{mgN/L}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$   $50 \text{mgN/L}$ 、 $\text{NaHCO}_3$   $0.5 \text{g/L}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$   $30 \text{mg/L}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $300 \text{mg/L}$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $300 \text{mg/L}$ 、微量元素I  $1.0 \text{mL/L}$ 、微量元素II  $1.0 \text{mL/L}$ ,这里的mL是加入的微量元素I溶液和微量元素II溶液的体积,L是进水的总体积,上述浓度均为进水各物质的最终浓度;微量元素I溶液和微量元素II溶液各自以水为溶剂按照下述基质配比,微量元素I溶液包括: $\text{EDTA} \cdot 2\text{Na}$   $6.4 \text{g/L}$ 、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   $0.5 \text{g/L}$ ;微量元素II包括: $\text{EDTA} \cdot 2\text{Na}$   $19.11 \text{mg/L}$ 、 $\text{H}_3\text{BO}_3$   $0.014 \text{mg/L}$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   $0.43 \text{mg/L}$ 、 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   $0.24 \text{mg/L}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   $0.25 \text{mg/L}$ 、 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   $0.99 \text{mg/L}$ 、 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   $0.15 \text{mg/L}$ 、 $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $0.22 \text{mg/L}$ ;进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器;反应器内部投加组合沸石填料,投加比为40%,由聚丙烯网格状球壳内部装填有直径4mm的沸石颗粒与聚苯乙烯泡沫,两者的直径均大于球壳的网格口径,使其不会脱落掉出,两者以1:1的体积比填充确保能在反应器内部悬浮;回流泵控制回流比为500%,防止组合沸石填料沉降。运行15天后,当出水的亚硝态氮与氨氮浓度均小于 $5 \text{mg/L}$ 、总氮去除率稳定在70%,表明厌氧氨氧化反应启动成功。

[0031] 2.2)运行阶段:

[0032] 2.2.1)模拟水质波动阶段:加热棒控制进水温度在 $32^\circ\text{C}$ ;pH为 $7.5 \pm 0.5$ ;水力停留时间为10h;进水为亚硝态氮和氨氮的浓度均在30-70mg/L波动的配水,每两个水力停留时间为一个循环:第一个水力停留时间内的进水亚硝态氮浓度为 $30 \text{mg/L}$ ,氨氮的浓度为 $70 \text{mg/L}$ ,此时氨氮相对剩余,多余的氨氮会被沸石吸附,第二个水力停留时间内的进水亚硝态氮浓度为 $70 \text{mg/L}$ ,氨氮的浓度为 $30 \text{mg/L}$ ,此时亚硝态氮相对剩余,沸石将上一循环吸附的氨氮解吸到液相中,从而为厌氧氨氧化细菌的生长提供底物;进水除了氨氮与亚硝浓度按上述变化外,其余底物均保持不变,包括: $\text{NaHCO}_3$   $0.5 \text{g/L}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$   $30 \text{mg/L}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $300 \text{mg/L}$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $300 \text{mg/L}$ 、微量元素I  $1.0 \text{mL/L}$ 、微量元素II  $1.0 \text{mL/L}$ ,这里的mL是加入的微量元素I溶液和微量元素II溶液的体积,L是进水的总体积,上述浓度均为进水各物质的最终浓度;微量元素I溶液和微量元素II溶液各自以水为溶剂按照下述基质配比,微量元素I溶液

包括:EDTA·2Na 6.4g/L、FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 5.0g/L;微量元素Ⅱ包括:EDTA·2Na 19.11mg/L、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.014mg/L、ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 0.43mg/L、CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.24mg/L、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 0.25mg/L、MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 0.99mg/L、NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.15mg/L、NaMoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O 0.22mg/L;进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器;回流泵控制回流比为500%,防止组合沸石填料沉降

[0033] 2.2.2) 实际水质波动阶段:厌氧氨氧化反应器的进水为生活污水外加亚硝态氮,污水取自北京工业大学家属楼生活污水;加热棒控制进水温度在32℃;pH在7.5±0.5;水力停留时间为10h;进水亚硝态氮浓度为30-70mg/L,氨氮浓度为30-70mg/L,两者的比例在0.5-2.3无规则波动;进水经氮气吹脱氧气后通过蠕动泵连续进入厌氧氨氧化反应器;回流泵控制回流比为500%,防止组合沸石填料沉降。根据相同的原理,沸石可以在波动的进水底物比例下维持相对稳定的脱氮效率,出水的氨氮和亚硝仍旧维持在相对较低的浓度,运行39天后系统的脱氮效率达到75%并保持稳定,说明厌氧氨氧化实现了高效的脱氮效果。

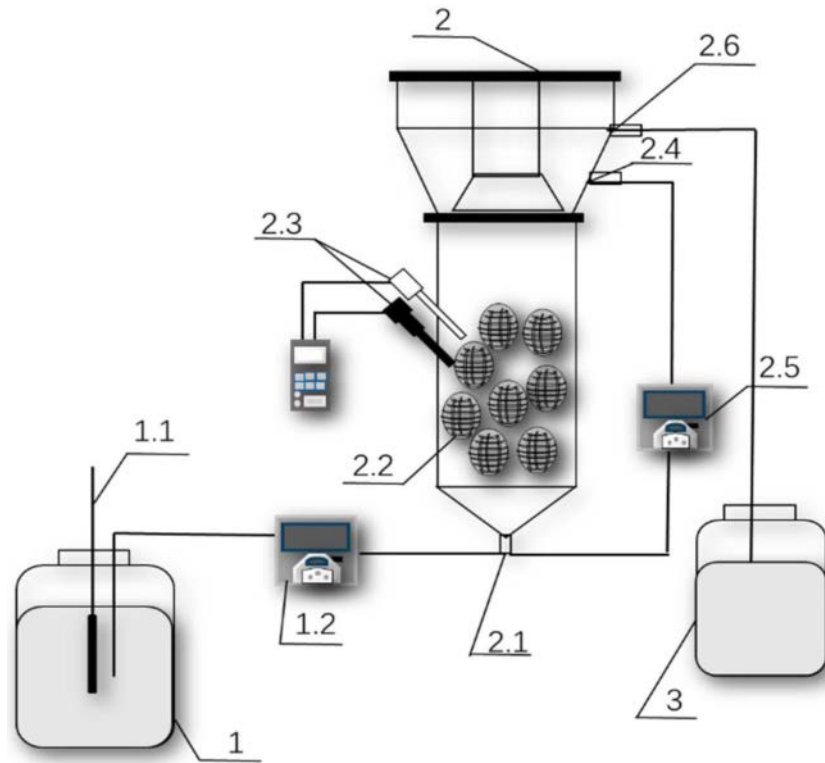


图1

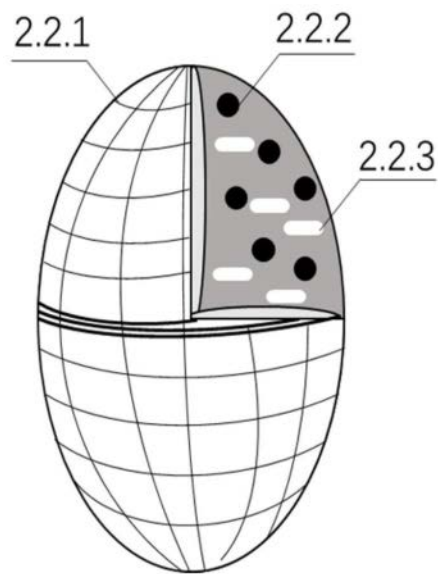


图2