(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101293708 B
(45)授权公告日 2011.11.23

(21)申请号 200710039983.X

(22)申请日 2007.04.25

(73)专利权人 宝山钢铁股份有限公司
地址 201900 上海市宝山区富锦路果园
专利权人 同济大学

(72)发明人 朱荣健 张宜莓 叶正 徐竟成 黄翔峰 李光明 范海青 付兴振 闻岳

(74)专利代理机构 上海三和万国知识产权代理事务所 31230
代理人 刘立平

(51)Int.Cl.
C02F 3/32(2006.01)
C02F 3/34(2006.01)
C02F 103/16(2006.01)

(56)对比文件
US 6893570 B1,2005.05.17, 全文.
CN 2661680 Y,2004.12.08, 全文.
US 5893975 A,1999.04.13, 全文.

审查员 苗小郁

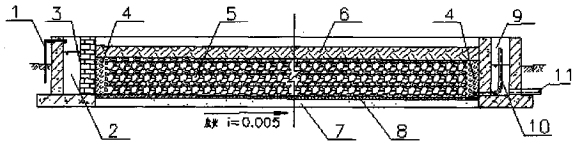
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54)发明名称

一种人工湿地及其应用

(57)摘要

本发明提供一种人工湿地及其应用。所述的人工湿地以砾石和锰砂为组合填料，能用于钢铁等行业废水的处理，在降低水体中有机物、氮、磷等营养元素含量的同时去除Fe、Mn、Cd、Pb等金属离子，特别是降低钢铁工业废水中含量较高的Fe、Mn离子，使指标达到《污水再生利用工程设计规范》再生水用作冷却用水的水质标准和反渗透脱盐工艺进水水质要求。本发明工程投资省、管理简单、运行维护费用低、处理效果稳定，具有较好的环境效益、经济效益和社会效益。本发明废水处理效果较好，处理能力较大，抗冲击负荷能力较强，能够很好地解决钢铁等工业废水回用中Fe、Mn离子浓度过高的问题。



CN 101293708 B

1. 一种人工湿地，是一种潜流人工湿地，包括碎石层、砂垫层、防渗层、组合填料层、原地土壤层，其特征在于，所述的人工湿地组合填料层组成包括不同粒径的砾石和锰砂。

2. 如权利要求 1 所述的人工湿地，其特征在于，所述的砾石粒径范围为 5 ～ 40mm ；所述的锰砂粒径范围为 6 ～ 30mm。

3. 如上述任何一项权利要求所述的人工湿地，其特征在于，所述的组合填料层的砾石和锰砂配比为 ：50 ～ 90％ ： 10 ～ 50％。

4. 如权利要求 1 所述的人工湿地，其特征在于，所述的人工湿地长宽比为 5 ： 1 ～ 10 ： 1，砂垫层厚度为 50 ～ 80mm，组合填料层厚度为 550 ～ 600mm，原地土壤层厚度为 100 ～ 200mm，水平潜流水头标高位于湿地表面下 100 ～ 150mm，湿地表面标高略高于周围地面标高。

5. 如权利要求 1 所述的人工湿地，其特征在于，所述的人工湿地有效面积分格后，每格的起端和末端都用卵石规格为 50 ～ 100mm 的卵石段进行布水和集水，人工湿地每格的沿程分别用 25 ～ 40mm 砾石、6 ～ 30mm 锰砂、10 ～ 25mm 砾石和 5 ～ 15mm 砾石填充。

6. 如权利要求 1 所述的人工湿地，其特征在于，人工湿地植物采用香蒲、芦苇、风车草、千屈菜、再力花及蔗草的一种以上进行分区种植。

7. 一种如上述任何一项权利要求所述的人工湿地的应用，其特征在于，所述的人工湿地用于钢铁等行业废水回用处理。

8. 如权利要求 7 所述的人工湿地的应用，其特征在于，所述的人工湿地用于钢铁等行业废水回用处理的具体步骤如下 ：

(1) 收集钢铁等行业的企业达标排放的生产废水 ；

(2) 通过配水系统使生产废水水平潜流进入由砾石和锰砂为组合填料的人工湿地 ；

(3) 污水在潜流人工湿地内停留 1 ～ 3 天。

9. 如权利要求 7 或 8 所述的人工湿地的应用，其特征在于，所述的来自人工湿地处理后的废水中的有机物、氮、磷等营养元素的含量及 Fe、Mn、Cd、Pb 等金属离子的含量指标达到《污水再生利用工程设计规范》，即 GB50335-2002 版，再生水用作冷却用水的水质标准和反渗透脱盐工艺进水水质要求。

一种人工湿地及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及环保技术领域，具体地，本发明涉及一种以砾石和锰砂为组合填料的人工湿地及其在钢铁等行业废水回用处理中的应用。

背景技术

[0002] 人工湿地 (Constructed wetland) 是近三十年来发展起来的一种废水处理新技术。1974 年，自前西德首先建造人工湿地以来，该技术在美国、加拿大及欧洲一些发达国家得到迅速发展。我国人工湿地的研究起步较晚，于 1990 年 7 月在深圳建起我国第一个人工湿地污水处理工程 - 白泥坑人工湿地污水处理系统。

[0003] 人工湿地是为处理污水而人为地在有一定长宽比和底面坡度的洼地上用土壤和填料（如砾石等）混合组成填料床，使污水在床体的填料缝隙中流动或在床体表面流动，经沙石、土壤过滤、及植物根际的多种微生物活动，使污水得到处理，水质得到净化。所述的人工湿地可在床体表面种植具有性能好、成活率高、抗水性强、生长周期长、美观及具有经济价值的水生植物（如芦苇，蒲草等），以便在对污水进行处理的同时，形成一个独特的动植物生态体系，增强环保效果。所述人工湿地也可形成独特的绿化景观。

[0004] 人工湿地生态系统水质净化技术的基本原理是：在一定区域和具有底面坡度的洼地上，用土壤和填料（如砾石等）混合组成填料床，所述填料床的沙石土壤具有过滤作用，在填料上种植如美人蕉、富贵竹、芦苇等特定的植物，所述植物根际形成多种微生物活动。将污水投放到上述人工建造的类似于沼泽的湿地上，当富营养化水流过人工湿地时，经沙石、土壤过滤，植物根际的多种微生物活动，使水质得到净化。

[0005] 根据湿地中所种植的植物的主要形式，人工湿地可分为下述三类：

[0006] 1、浮游植物系统；

[0007] 2、挺水植物系统；

[0008] 3、沉水植物系统。

[0009] 其中沉水植物系统还处于实验室研究阶段，其主要应用领域在于初级处理和二级处理后的精处理。浮游植物主要用于 N,P 等元素的去除和提高传统稳定塘效率。目前一般所指人工湿地系统都是指挺水植物系统。

[0010] 挺水植物系统根据废水流经的方式，可分为表面流湿地 (SFW)、潜流湿地 (SSFW)、立式流湿地 (VFW)。表面流湿地和立式流湿地因环境条件差（易孳生蚊虫），处理效果受气温影响较大以及对基建要求较高，现多不再采用。故人工湿地大部分采用潜流式湿地系统。

[0011] 目前，可以利用人工湿地处理各种类型的废水 (Moshiri,1993 ;Kadlec and Knight,1996 ;Vymazal et al.,1998)，例如日常生活污水 (Cooper et al.,1997 ; Schreijer et al.,1997)、采矿废水 (Kleinmann and Girts,1987 ;Brodie et al.,1989 ; Howard et al.,1989 ;Wenericket al.,1989)、农业污水 (Dubowry and Reaves,1994 ; Rivera et al.,1997)、垃圾渗出液 (Dombush,1989 ;Trantman et al.,1989)、富营养水体 (DAngelo and Reddy,1994)。而人工湿地之所以被广泛地应用于废水处理，主要有以下三

个原因：

[0012] (1) 人工湿地能够利用基质－微生物一植物这个复合生态系统的物理、化学和生物的三重协调作用，通过过滤、吸附、沉淀、离子交换、微生物同化分解和植物吸收等途径去除废水中的悬浮物、有机物、氮、磷和重金属等，来实现对污水的高效净化。同时通过营养物质和水分的生物地球化学循环，人工湿地可促进绿色植物生长并使其增产，实现废水的资源化与无害化。

[0013] (2) 人工湿地具有投资低（150 ～ 800 元 / 吨）、耗能少、操作简单、运行成本低廉（0.1 ～ 0.2 元 / 吨）的特点，因此有较高的经济效益（其基建和运行费用仅为传统二级处理的 1/10 ～ 1/2，胡康萍等，1991）。

[0014] (3) 人工湿地作为一个生态系统，能维持生物多样性及构成景观的一部分，在去除污染物的同时，具有美化环境的功能，因此有较高的生态效益。

[0015] 综上所述，人工湿地污水处理系统是一种较好的废水处理方式，特别是它充分发挥资源的生产潜力，防止环境的再污染，获得污水处理与资源化的最佳效益，因此具有较高的环境效益、经济效益及社会效益。

[0016] 近几年来，人工湿地废水处理技术在工业废水领域推广的脚步加快，已经在矿山、油田采出水、造纸、制糖工业、食品加工、奶制品加工等领域得到应用。随着技术的不断成熟、完善，人工湿地处理废水的浓度极限范围不断被突破，美国、加拿大等国在近年来开始将研究和应用领域转向石油化工等特殊行业的工业废水，甚至能处理 COD 高达数千的工业废水。人工湿地出水水质因处理负荷、植物和填料的不同而可达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) Ⅰ类至 IV 类标准，处理后的水可用作景观用水和农田灌溉用水，也可用于城市杂用水回用和工业水回用。

[0017] 自西德首次建造人工湿地以来，各种不同的湿地在世界各地已被用来处理大量不同的废水。钢铁工业是高水耗产业，是水资源消耗和废水排放的大户。目前，各大中型钢铁企业在进行节水技术研究开发的同时，亦在加强废水治理和废水资源化利用的探索，不断开发废水处理回用的工艺设备和工艺流程。尽管人工湿地技术已经开始被应用于工业废水的治理，但在钢铁等行业废水回用处理中，因钢铁工业废水回用中 Fe、Mn 离子浓度过高，迄今为止的人工湿地尚不能有效解决 Fe、Mn 离子浓度较高的问题。

[0018] 鉴于上述，本发明人经反复研究和实践，发现：选用锰砂作为人工湿地的新型填料，能够很好地解决钢铁工业废水回用中 Fe、Mn 离子浓度过高的问题，同时，配以适当的工艺处理，可使钢铁工业废水经人工湿地处理的出水的 Fe、Mn 离子浓度达到 0.1mg/L 以下，满足钢铁工业回用水要求和反渗透脱盐处理进水要求。

[0019] 因此，本发明的目的在于：提供一种人工湿地，所述的人工湿地以砾石和锰砂为组合填料，所述人工湿地能够很好地解决钢铁工业废水回用中 Fe、Mn 离子浓度过高的问题。

[0020] 本发明的目的还在于：提供一种人工湿地在钢铁等行业废水回用处理中的应用。所述的人工湿地以砾石和锰砂为组合填料，所述人工湿地能够使钢铁工业废水经人工湿地处理的出水的 Fe、Mn 离子浓度达到 0.1mg/L 以下，满足钢铁工业回用水要求和反渗透脱盐处理进水要求。

[0021] 本发明的人工湿地结合自然生态、工程投资省、管理简单、运行维护费用低、污水的处理效果稳定。

发明内容

[0022] 本发明首先提供了一种人工湿地，所述的人工湿地选用不同粒径的砾石和锰砂来构建湿地基质床。

[0023] 砾石是人工湿地技术中应用比较成熟的湿地填料，在有机物、氮、磷等营养元素的去除方面效果较好。锰砂对水体中的 Fe、Mn 离子去除效果较好，能将水体中浓度在 1mg/L 以上的 Fe、Mn 离子浓度降至 0.1mg/L 以下，满足钢铁工业用水要求和反渗透脱盐技术进水水质要求。另外，锰砂填料还具有较强的有机物和磷去除能力。

[0024] 根据本发明的上述选用不同粒径的砾石和锰砂来构建湿地基质床的人工湿地，能够很好地解决钢铁工业废水回用中 Fe、Mn 离子浓度过高的问题，使人工湿地出水 Fe、Mn 离子浓度达到 0.1mg/L 以下，满足钢铁工业用水要求和反渗透脱盐处理进水要求。

[0025] 较好的是，在本发明中，所述人工湿地的构成单元结构自下而上依次为碎石层、砂垫层（厚度 50 ～ 80mm）、防渗层（防渗膜）、砾石和锰砂组合填料层（厚度为 550 ～ 600mm）、原地土壤层（厚度为 100 ～ 200mm）。

[0026] 较好的是，在本发明中，水平潜流水头标高位于湿地表面下 100 ～ 150mm。湿地表面标高略高于周围地面标高，防止雨期湿地内积水漫流。

[0027] 较好的是，在本发明中，所述人工湿地长宽比为 5 ： 1 ～ 10 ： 1。

[0028] 较好的是，在本发明中，所述砾石粒径为 5 ～ 40mm；所述锰砂粒径为 6 ～ 30mm。

[0029] 较好的是，本发明中，所述的组合填料层的砾石和锰砂配比为：50 ～ 90％ ： 10 ～ 50％。

[0030] 人工湿地的选用不同粒径的砾石和锰砂来构建湿地基质床。砾石是人工湿地技术中应用比较成熟的湿地填料，在有机物、氮、磷等营养元素的去除方面效果较好。锰砂对水体中的 Fe、Mn 离子去除效果较好，能将水体中浓度在 1mg/LL 以上的 Fe、Mn 离子浓度降至 0.1mg/L 以下，满足钢铁工业用水要求和反渗透脱盐技术进水水质要求。另外，锰砂填料还具有较强的有机物和磷去除能力。

[0031] 较好的是，在本发明中，人工湿地有效面积分格，每格的起端和末端都用规格为 50 ～ 100mm 的卵石段进行布水和集水。由此，保证潜流湿地进水均匀和集水充分。

[0032] 较好的是，在本发明中，所述人工湿地每格沿程分别用 25 ～ 40mm 砾石、6 ～ 30mm 锰砂、10 ～ 25mm 砾石和 5 ～ 15mm 砾石填充。由此，能够在防止污堵，减少水头损失的同时，还可以增加填料间隙充氧，为植物根系和微生物提供更好的生长环境。

[0033] 较好的是，在本发明中，人工湿地植物采用香蒲、芦苇、风车草、千屈菜、再力花及蔗草的一种以上进行分区种植。

[0034] 香蒲生物量较大，在去除有机污染物的同时，能吸收 Mn、Cu、Co、Ni 及氯化烃，根部能分泌天然抗生物质，降低污水中的细菌浓度，去除病原体；芦苇根系发达，耐盐碱、水质净化能力强；风车草冬季生物量大，株形秀丽，观赏价值高，重金属富集效果好；再力花生长旺盛而稳定，全年均可开花，氮、磷的去除效果好，抗病虫害能力强；千屈菜和蔗草较耐盐碱，能在增加湿地系统处理能力的同时给湿地带来优美的景观效应。

[0035] 本发明还提出一种以砾石和锰砂为组合填料的人工湿地在钢铁等行业废水回用处理中的应用。

[0036] 根据本发明，人工湿地用于钢铁等行业废水回用处理的具体步骤如下：

[0037] (1) 收集钢铁等行业的企业达标排放的生产废水；

[0038] (2) 通过配水系统使生产废水水平潜流进入上述由砾石和锰砂为组合填料的人工湿地；

[0039] (3) 污水在潜流人工湿地内停留 1 ～ 3 天。

[0040] 放出上述在潜流人工湿地内停留 1 ～ 3 天的潜流废水，所述废水水体中的有机物、氮、磷等营养元素的含量及 Fe、Mn、Cd、Pb 等金属离子的含量指标达到《污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2002) 再生水用作冷却用水的水质标准和反渗透脱盐工艺进水水质要求。

[0041] 根据本发明的上述步骤，利用湿地内的填料、植物和微生物之间的相互作用，通过过滤、吸附、共沉、离子交换、植物吸收和微生物降解等过程，降低水体中的有机物、氮、磷等营养元素的含量，并同时去除 Fe、Mn、Cd、Pb 等金属离子，特别是降低钢铁等工业废水中含量较高的 Fe、Mn 离子，使指标达到《污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2002) 再生水用作冷却用水的水质标准和反渗透脱盐工艺进水水质要求。

[0042] 较好的是，上述人工湿地的出水 SDI 值稳定在 5 以下，Fe、Mn 离子浓度在 0.1mg/L 以下。

[0043] 由此，根据本发明的以砾石和锰砂为组合填料的人工湿地在钢铁等行业废水回用处理中的应用，上述人工湿地的出水可直接进入反渗透脱盐处理工艺系统。

[0044] 本发明具有的有益效果：

[0045] (1) 本发明建设费用低，可以大幅度节省投资，运行管理方便，处理成本低；

[0046] (2) 本发明选用锰砂作为人工湿地的新型填料，能够很好地解决钢铁工业废水回用中 Fe、Mn 离子浓度过高的问题，使人工湿地出水 Fe、Mn 离子浓度达到 0.1mg/L 以下，满足钢铁工业用水要求和反渗透脱盐处理进水要求。

[0047] (3) 本发明中根据钢铁工业废水特点进行湿地植物选择，选用的植物耐盐碱，有机物、氮磷去除效果好，并有较佳的重金属吸附性能。

[0048] (4) 本发明废水处理效果较好，处理能力较大，抗冲击负荷能力较强，能使处理出水大部分指标达到《污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2002) 再生水用作冷却用水的水质控制标准，并能使出水 SDI 值稳定在 5 以下，Fe、Mn 离子浓度在 0.1mg/L 以下，可直接进入反渗透脱盐处理工艺系统。

附图说明

[0049] 图 1 为本发明一种以砾石和锰砂为组合填料的人工湿地示意图。

[0050] 图 2 为本发明人工湿地对 COD 处理效果图。

[0051] 图 3 为本发明人工湿地对氨氮处理效果图。

[0052] 图 4 为本发明人工湿地对总磷处理效果图。

[0053] 图 5 为本发明人工湿地对 Fe 处理效果图。

[0054] 图 6 为本发明人工湿地对 Mn 处理效果图。

[0055] 图 7 为本发明人工湿地出水 SDI 值图。

[0056] 图中：1 为进水管；2 为进水槽；3 为进水花墙；4 为卵石整流区；5 为砾石和锰砂组

合填料 ;6 为覆土 ;7 为底部砂垫层 ;8 为防渗层 ;9 为出水集水槽 ;10 为可调出水液位的出水管 ;11 为湿地出水管。

具体实施方式

[0057] 下面，参照附图，以实施例更具体地说明本发明。实施例用于说明本发明内容，而不是限定本发明内容。

[0058] 实施例 1

[0059] 如图 1 所示，构造水平潜流湿地尺寸为 15×8m，有效面积 93.8m^2。分为三个格，每格尺寸都为 15×2.3m，坡度为 5‰，湿地填料层厚度 60cm，覆土 15cm，为防止渗漏，湿地底部铺设防渗膜。

[0060] 湿地运行中，由带有三角计量堰配水箱对三个廊道进行配水和计量。配水箱出水经过格前端的花墙后水平潜流进入湿地。花墙后设置 500mm 长的卵石（规格为 50 ～ 100mm）布水区。湿地进水经过均匀布水后通过由 20 ～ 30mm 砾石、10 ～ 20mm 砾石、5 ～ 15mm 砾石和 8 ～ 16mm 锰砂组成的组合填料区，不同粒径的砾石填料和锰砂填料按 70 ： 30 配比，锰砂填料布置在填料床中段。不同粒径砾石间以及砾石与锰砂区间都设置 300mm 长的卵石布水区以再次进行均匀布水，防止短流发生。

[0061] 湿地尾端设置 500mm 长的卵石（规格为 50 ～ 100mm）集水区，集水区内布置底部打孔的集水管进行收水，集水管连通可调出水液位高度的出水管，最终经过人工湿地处理后的出水由出水管溢流至集水槽，集水槽进行蓄水后由湿地出水管输入至回用单位或反渗透脱盐处理系统。

[0062] 湿地植物采用香蒲、芦苇、风车草、千屈菜、再力花及蔗草中几种进行分区混配种植。

[0063] 湿地运行采用 24h 连续进水方式，收集钢铁企业处理达标排放的生产废水，通过配水系统使生产废水水平潜流进入由砾石和锰砂为组合填料的人工湿地。

[0064] 在启动运行期，取水力停留时间 3 日，水力负荷为 0.2m^3/(m^2 • 日）。在运行过程中，污水在潜流人工湿地内停留 1 ～ 3 日，湿地内的填料、植物和微生物之间相互作用，通过过滤、吸附、共沉、离子交换、植物吸收和微生物降解等过程，降低水体中的有机物、氮、磷等营养元素的含量，并同时去除 Fe、Mn、Cd、Pb 等金属离子，特别是钢铁工业废水中含量较高的 Fe、Mn 离子。根据出水水质情况逐步增加水力负荷，最终能使该人工湿地的水力停留时间达到 1.5 日，水力负荷为 0.4m^3/(m^2 • 日）。

[0065] 经过连续 5 个多月的运行结果表明，这种以砾石和锰砂为组合填料的人工湿地对钢铁企业废水具有良好的适应性，对 COD、氨氮、总磷、Fe、Mn 等都有稳定而较好的去除率。

[0066] 以一号廊道为例，具体处理效果见图 2、图 3、图 4、图 5 和图 6。同时，湿地出水 SDI 值能够稳定地维持在 5 以下（见图 7），表明这种以砾石和锰砂为组合填料的人工湿地出水水质符合反渗透进水水质要求。

[0067] 实施例 2

[0068] 其它同实施例 1，不同之处在于 ：

[0069] 湿地进水经过均匀布水后通过由 30 ～ 40mm 砾石、20 ～ 30mm 砾石、10 ～ 15mm 砾石和 10 ～ 20mm 锰砂组成的组合填料区，不同粒径的砾石填料和锰砂填料按 60 ： 40 配比，

锰砂填料布置在填料床前段。

[0070] 实施例 3

[0071] 其它同实施例 1，不同之处在于：

[0072] 湿地进水经过均匀布水后通过由 15 ～ 25mm 砾石、10 ～ 15mm 砾石、5 ～ 10mm 砾石和 6 ～ 8mm 锰砂组成的组合填料区，不同粒径的砾石填料和锰砂填料按 80 ： 20 配比，锰砂填料布置在填料床尾段。

[0073] 根据本发明的人工湿地，建设费用低，可以大幅度节省投资，运行管理方便，处理成本低；本发明选用锰砂作为人工湿地的新型填料，能够很好地解决钢铁工业废水回用中 Fe、Mn 离子浓度过高的问题；本发明废水处理效果较好，处理能力较大，抗冲击负荷能力较强，能使处理出水大部分指标达到《污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2002) 再生水用作冷却用水的水质控制标准，并能使出水 SDI 值稳定在 5 以下，Fe、Mn 离子浓度在 0.1mg/L 以下，可直接进入反渗透脱盐处理工艺系统。

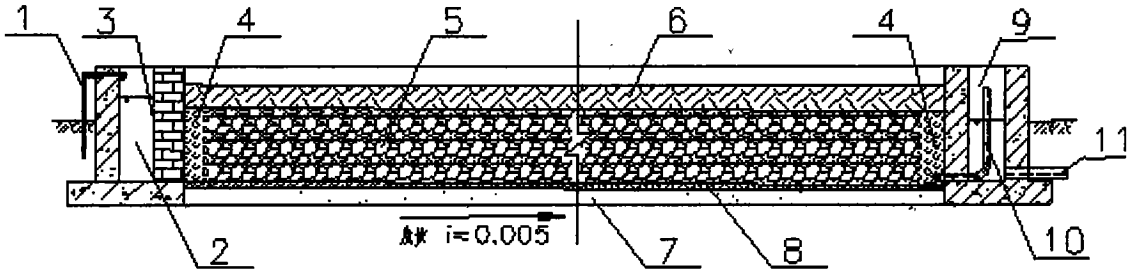

1
3
4
5
6
4
9
11
2
i=0.005
7
8
10

图 1

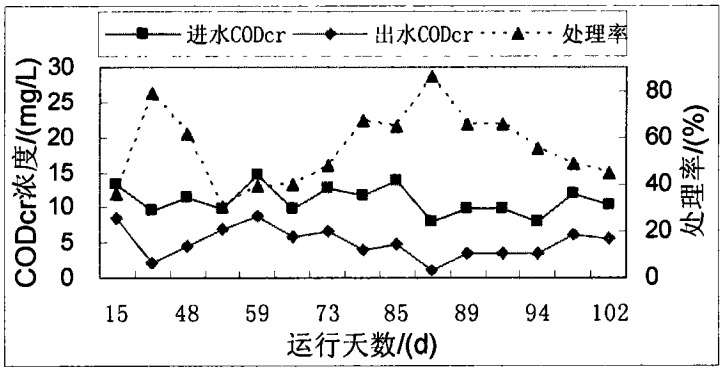

进水CODcr
出水CODcr
处理率
CODcr浓度/(mg/L)
处理率/(%)
30
25
20
15
10
5
0
80
60
40
20
0
15
48
59
73
85
89
94
102
运行天数/(d)

图 2

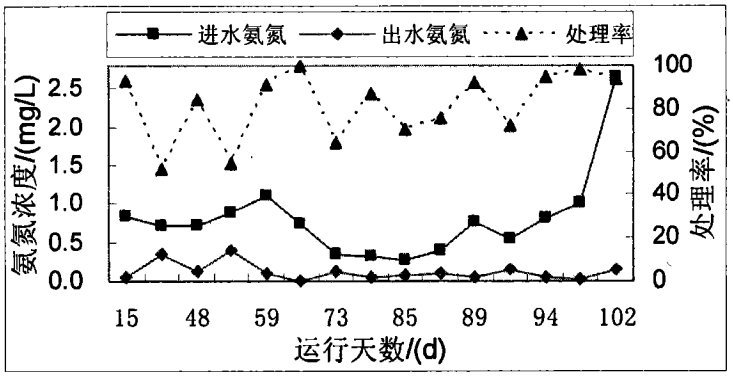

进水氨氮
出水氨氮
处理率
氨氮浓度/(mg/L)
处理率/(%)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
100
80
60
40
20
0
15
48
59
73
85
89
94
102
运行天数/(d)

图 3

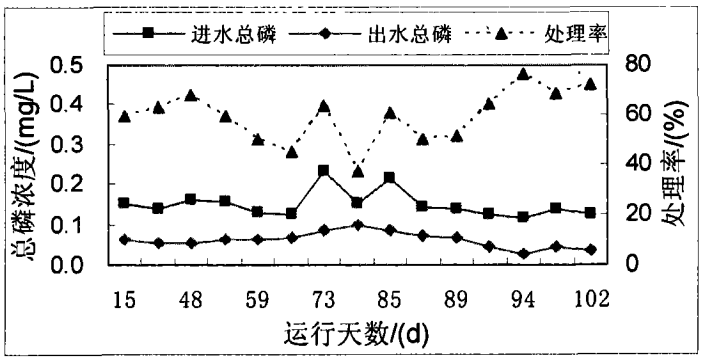

进水总磷
出水总磷
处理率
总磷浓度/(mg/L)
处理率/(%)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
80
60
40
20
0
15 48 59 73 85 89 94 102
运行天数/(d)

图 4

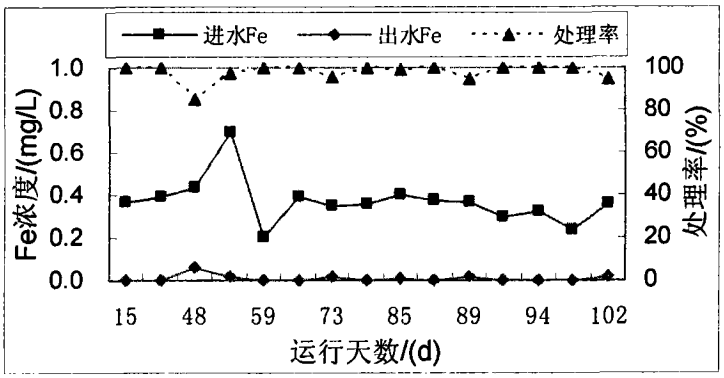

进水Fe
出水Fe
处理率
Fe浓度/(mg/L)
处理率/(%)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
100
80
60
40
20
0
15 48 59 73 85 89 94 102
运行天数/(d)

图 5

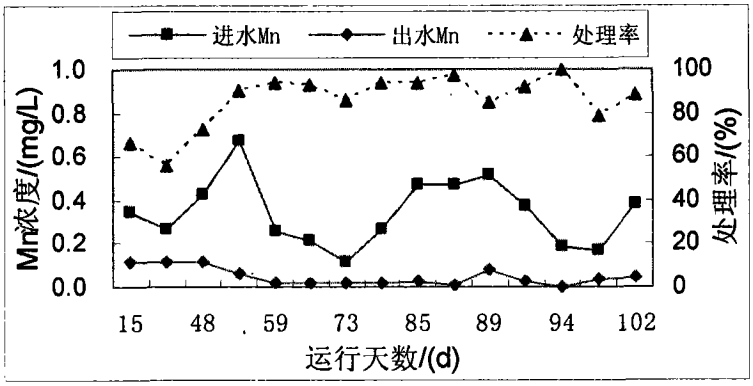

进水Mn
出水Mn
处理率
Mn浓度/(mg/L)
处理率/(%)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
100
80
60
40
20
0
15 48 59 73 85 89 94 102
运行天数/(d)

图 6

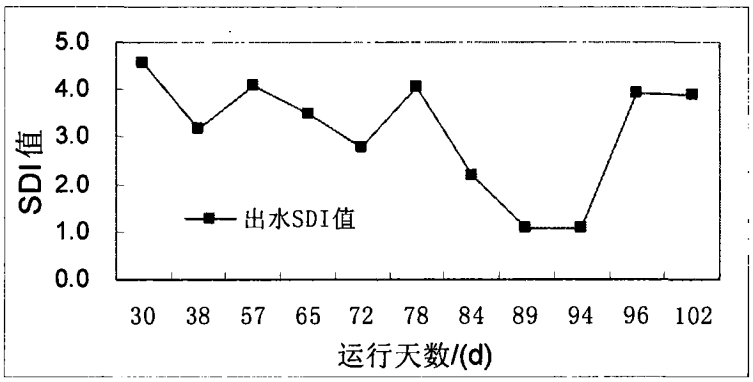

5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
SDI值
出水SDI值
30 38 57 65 72 78 84 89 94 96 102
运行天数/(d)

图 7