



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101514053 B

(45) 授权公告日 2011.03.09

(21) 申请号 200910047797.X

C02F 3/34(2006.01)

(22) 申请日 2009.03.19

审查员 殷晶

(73) 专利权人 同济大学

地址 200092 上海市四平路 1239 号

专利权人 上海宝田新型建材有限公司

(72) 发明人 杨长明 李建华 刘建生 顾文飞  
马锐

(74) 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司  
31200

代理人 张磊

(51) Int. Cl.

C02F 3/32(2006.01)

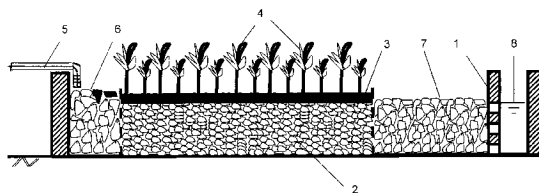
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统

(57) 摘要

本发明属于环境保护技术领域,具体涉及一种以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统。采用水平潜流人工湿地模式,由人工湿地池体、基质层、湿地植物系统和布水系统组成,布水系统由配水管、碎石配水区、碎石出水区和出水渠组成,基质层位于人工湿地池体内,基质层两侧分别为碎石配水区和碎石出水区,基质层上部铺设覆盖层,覆盖层的表面是湿地植物系统;碎石配水区一侧设有配水管,碎石出水区连接出水渠;基质层的基质材料采用钢渣和干渣混合物,钢渣和干渣体积比为 4 : 1 ~ 6 : 1。本发明特别适合村镇高浊度、高 N、P 富营养化水体的净化和修复。实验表明,受污染养殖和景观水体经过本发明处理后,出水水质基本满足国家地表水 III 类水标准,有些月份出水水质甚至符合国家地表水 II 类水标准,TP 和 SS 的去除率均在 90% 以上,  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  去除率也达到 80% 以上。



1. 一种以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统,采用水平潜流人工湿地模式,由人工湿地池体(1)、基质层(2)、湿地植物系统(4)和布水系统组成,其特征在于布水系统由配水管(5)、碎石配水区(6)、碎石出水区(7)和出水渠(8)组成,基质层(2)位于人工湿地池体(1)内,基质层(2)的两侧分别为碎石配水区(6)和碎石出水区(7),基质层(2)上部铺设覆盖层(3),覆盖层(3)的表面是湿地植物系统(4);碎石配水区(6)一侧设有配水管(5),碎石出水区(7)连接出水渠(8);基质层(2)的基质材料采用钢渣和干渣混合物,钢渣和干渣的体积比为4:1~6:1。

2. 根据权利要求1所述的以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统,其特征在于基质层(2)的厚度为800~1500mm,覆盖层(3)的厚度为100~150mm。

3. 根据权利要求1所述的以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统,其特征在于覆盖层(3)采用土壤或者粒径为5~15mm的碎石。

4. 根据权利要求1所述的以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统,其特征在于所述人工湿地池体(1)采用高强度PVC板或混凝土结构,人工湿地池体(1)的长宽比为4:1~8:1。

5. 根据权利要求1所述的以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统,其特征在于基质层(2)的基质材料采用炼钢炉渣钢渣和干渣混合物,钢渣在使用前要进行冲洗处理,钢渣和干渣粒径为5~15mm。

6. 根据权利要求1所述的以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统,其特征在于湿地植物系统(4)采用芦苇、灯心草、菖蒲、美人蕉或旱伞草中一至几种。

## 一种以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于水处理技术领域,具体涉及一种以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统。

### 背景技术

[0002] 人工湿地 (Constructed Wetlands, CWs) 因具有处理效果好、建设和运行费用低、易于维护管理等优点,因而受到世界各国的普遍重视,成为近年来发展较快的一种污水处理新技术。作为一种新型的污染水体生态修复技术,目前在富营养化水体治理中得到广泛应用。在处理工艺方面也日趋成熟,目前这方面已有大量的专利申请和授权。基质(填料)是人工湿地的重要组成部分,为湿地植物、微生物提供了生长环境,自身也参与人工湿地净化污水的物理化学过程,特别是对磷的吸附发挥着重要作用,而磷又是自然水体富营养化的限制性因子。所以,选择何种材料作为人工湿地基质,直接决定处理系统的除磷脱氮效率,从而影响其对养殖水体的修复效果,因此具有十分重要的意义。

[0003] 目前人工湿地基质多以传统的土壤、砂、砾石等为主,但由于这些材料吸附性能较差,人工湿地在运行若干年后,基质对磷的吸附逐渐达到饱和,其去除效率开始下降,有时甚至出现基质向水体中释放磷的现象,从而影响到整个人工湿地系统的持续稳定的处理效果。虽然,目前在实验室和小试研究中,利用高效人工吸附基质,如陶粒、改性沸石、活性炭等,来替代传统的人工湿地基质,进行净化试验,并取得了较好的处理效果。但是,由于这些基质材料成本较高,也很难在实际工程中进行大面积的推广和应用,特别是在我国经济比较落后的农村地区,更加难以推广和应用。

[0004] 钢渣和干渣为钢铁厂炼钢炉废渣,主要作为建筑材料和道路路基,但是,钢铁厂每天产生的炉渣,特别是钢渣量大、有效利用率不高,而且传统利用方式附加值也较低,所以急需开辟新的利用途径。我们目前对 6 种常用的人工湿地基质进行了吸附性能比较试验,研究发现 6 种基质吸磷能力依次为:钢渣>干渣>沸石>页岩陶粒>砾石白云石>钢渣,钢渣对磷的理论饱和吸附量为  $3.55 \times 10^4 \text{mg/kg}$ ,是普通砾石的 310 倍。这主要是由于钢渣和干渣具有高氧化钙、氧化铝和氧化铁的化学组成特性。有关近年来,国内外已开始将钢渣作为人工湿地基质进行污水处理研究,并取得了较好的研究成果。但是,目前的相关研究还是停留在实验室的模拟试验,而将钢渣和干渣应用到实际污染水体修复工程的案例目前尚未见报道。另外,根据我们目前在崇明岛前卫实验基地的研究表明,由于钢渣材料碱性较强 ( $\text{pH} = 9 \sim 12$ ),完全用钢渣作用人工湿地基质,会导致出水  $\text{pH}$  升高,而且还会抑制湿地系统内植物和微生物的生长。为了克服这一缺陷,在人工湿地构建过程中,我们创新性将炼钢过程两种主要炉渣—钢渣和干渣进行混合填充(干渣  $\text{pH} = 8 \sim 10$ )。同时,在人工湿地水流方式和湿地植物选配上进行优化调整,这样不但能够可以提高系统的单位处理负荷、维持一个稳定的湿地生态系统和持续的净化效果,同时还可以大大降低人工湿地构建成本。

## 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统。

[0006] 本发明提出的以炼钢废渣作为基质的富营养化水体人工湿地处理系统,采用水平潜流人工湿地模式,由人工湿地池体 1、基质层 2、湿地植物系统 4 和布水系统组成,其结构如图 1 所示。布水系统由配水管 5、碎石配水区 6、碎石出水区 7 和出水渠 8 组成,基质层 2 位于人工湿地池体 1 内,基质层 2 的两侧分别为碎石配水区 6 和碎石出水区 7,基质层 2 上部铺设覆盖层 3,覆盖层 3 的表面是湿地植物系统 4;碎石配水区 6 一侧设有配水管 5,碎石出水区 7 连接出水渠 8;基质层 2 的基质材料采用钢渣和干渣混合物,钢渣和干渣的体积比为 4 : 1 ~ 6 : 1。

[0007] 本发明中,基质层 2 的厚度一般为 800 ~ 1500mm,具体厚度要取决于湿地池体的大小以及处理污染负荷。为了有利于湿地植物的成活和根系的生长发育,覆盖层 3 的厚度为 100 ~ 150mm,其材料可以是一般土壤或者粒径为 5 ~ 15mm 的碎石。

[0008] 本发明中,所述人工湿地池体 1 可采用高强度 PVC 板或混凝土结构,人工湿地池体 1 的长宽比为 4 : 1 ~ 8 : 1,其面积大小取决于处理污染负荷以及可利用的土地面积。

[0009] 本发明中,基质层 2 的基质材料采用炼钢炉渣钢渣和干渣混合物,钢渣在使用前要进行适当冲洗处理,以降低其 pH。钢渣和干渣粒径一般以 5 ~ 15mm 为宜。

[0010] 考虑到本发明中所采用的钢渣材料,其碱性较传统基质材料要强,所以在选择湿地植物时,除了满足作为人工湿地植物基本要求之外,还应该对碱性环境具有一定适应性。在前期盆栽实验的基础上,本发明中,遴选出适合我国南方生长,同时对较强碱性环境具有一定抗性的 5 种湿地植物。本发明中选择的湿地植物分别是芦苇、灯心草、菖蒲、美人蕉和旱伞草。另外,为了提高整个湿地处理系统的高效性和稳定性,本发明中,将两种及两种以上湿地植物进行混栽,以构建丰富度和生物多样性高的人工湿地植物系统 4。

[0011] 本发明中,人工湿地布水系统分为配水管 5、碎石配水区 6、碎石出水区 7、出水花墙以及出水渠 8。考虑到人工湿地出水 pH 值可能会偏高,所以本发明中,碎石出水区 7 可适当增加过水路径,进而对 pH 值偏高的人工湿地系统出水起到一个缓冲作用。

[0012] 进一步,具体处理系统表述为:

[0013] 将村镇受污染的水体(如养殖鱼塘,富营养化河道等),通过布水系统以水平潜流的方式进入以上构建的由钢渣和干渣基质构成的人工湿地系统,污水在人工湿地系统水平流动,并利用所构建的人工湿地系统中钢渣和干渣基质的吸附作用以及微生物降解和植物吸收等一系列生物化学过程,实现对污染水体中 N、P 和有机物的去除。经过人工湿地系统处理后,出水回排到受污染的水体或者回用,从而达到对污染水体的修复目的。整个人工湿地系统设置阀门和流量计,以控制流量,保持系统进、出水稳定。

[0014] 由于采用了上述技术方案,本发明具有以下优点:

[0015] 1、基于钢渣和干渣的化学组成特征和多孔结构,本发明中,采用炼钢废渣(钢渣和干渣)作为人工湿地填料,可以明显增强基质对污水中磷、 $\text{NH}_4^+-\text{N}$  以及悬浮物的吸附固定作用,加上多孔的结构也有利于微生物的附着和生长,有利于有机物的降解作用。所以,以炼钢废渣代替传统材料作为人工湿地基质,可以大大增强人工湿地系统对污染水体的净化和修复效率。

[0016] 2、由于采用吸附能力较强的钢渣和干渣作为人工湿地基质材料,加上本方案中采用水平潜流人工湿地的设计模式,可以大大单位面积处理负荷,从而降低了构建人工湿地所占用的土地面积,这对于我国土地资源紧缺的南方地区村镇更具有推广和应用价值。同时,由于采用了炼钢废渣材料,也大大节省了人工湿地的构建成本,并实现了钢铁企业固体废弃物的高效资源化利用。

[0017] 3、本发明中,遴选出根系分泌能力强、抗逆性好的植物作为人工湿地植物,这样可以利用植物根系分泌的有机酸大大减缓因钢渣引起的系统内环境 pH 升高问题。同时,采用多种湿地植物混栽模式,这样不但可以增强人工湿地系统的抗冲击能力,提高处理系统的高效性和稳定性,同时还可以提升人工湿地的景观效果。

[0018] 4、由于采用以上方法,所构建的人工湿地处理系统将会运行稳定,运行管理简便。由于人工湿地本省运行成本较低,加上钢渣基质吸附饱和量大、周期长,所以,较普通基质湿地,稳定运行时间长,无需频繁更换基质,所以也大大降低了人工湿地处理系统的运行和管理成本。

#### 附图说明

[0019] 图 1 为钢渣和干渣基质人工湿地处理系统构建示意图。

[0020] 图中标号:1 为人工湿地池体;2 为基质层;3 为覆盖层;4 为湿地植物系统;5 为配水管;6 为碎石配水区;7 为碎石出水区;8 为出水渠。

[0021] 具体实施方式

[0022] 下面通过实施例对本发明作进一步详细说明:

[0023] 实施例 1:

[0024] 试验装置由 A、B 两套水平潜流湿地系统组成,人工湿地池体 1 由 PVC 塑料板焊接而成。人工湿地池体 1 容积为  $0.64\text{m}^3$  ( $2.0\text{m}\times 0.4\text{m}\times 0.8\text{m}$ ),两端各有一个分别长 15cm 和 25cm 的碎石配水区 5 和碎石出水区 7,同时在装置侧面布设 9 个采样口。基质层 2 采用粒径 5~15mm 的钢渣和干渣混合材料,钢渣和干渣两者体积比为 4:1,填充厚度为 55cm。上层覆盖 5~8mm 的碎石作为覆盖层 3。人工湿地系统 A 种植单一湿地植物香蒲 (*Typha angustifolia*) 作为湿地植物系统 4;人工湿地系统 B 采用香蒲 (*Typha angustifolia*) 与风车草 (*Cyperous alternifolius*) 混合种植模式作为湿地植物系统 4。两套人工湿地系统植物种植密度为 20 株/ $\text{m}^2$ ,间距为 20cm。统一使用蠕动泵进水,水在其中水平流动,常水位 60cm。处理负荷为 0.10m/d,理论停留时间为 72h。

[0025] 本实例供试的进水取自某水环境实验基地附近的养殖鱼塘,各指标平均值: $\text{COD}_{\text{cr}}$ :  $123.6\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $4.65\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ :  $0.54\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{TP}$ :  $1.15\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $\text{Chla}$ :  $156.8\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,其水质基本上处于中(重)富营养化状态。2 套钢渣人工湿地系统稳定运行后,出水水质稳定达到地表 III 类水的标准,其平均去除率分别为: $\text{COD}_{\text{cr}}$  89.6% (A) 和 91.7% (B),  $\text{TN}$  81.9% (A) 和 83.7% (B),  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  81.6% (A) 和 86.8% (B);  $\text{TP}$  95.4% (A) 和 92.8% (B)。通过 2 套钢渣人工湿地处理效果相比较,香蒲 (*Typha angustifolia*) 与风车草 (*Cyperous alternifolius*) 混栽的人工湿地系统 (B) 处理效果略高于单种植物人工湿地系统 (A)。2 套人工湿地系统出水 pH 皆有所升高,但都属于可接受的范围。相比较,人工湿地系统 B 出水 pH 明显低于人工湿地系统 A,说明不同人工湿地混栽对钢渣引起的 pH 升高具有较好的缓冲效应。

[0026] 实施例 2 :

[0027] 实验地点 :某县前卫村水环境修复实验基地。

[0028] 处理对象 :前卫村景观水体 (中心湖),由于当地农家乐旅游业发展迅速,而有无污水处理设施,所以大量生活污水未经处理直接排到水体中,导致中心湖水体呈现重营养状态。特别是水体中有机质和总磷含量较高。

[0029] 人工湿地处理系统的构建 :人工湿地池体 1 是由废弃的温室水产养鱼池 (砖混结构) 改造而成。人工湿地池体 1 的长和宽分别为 50m×8.5m。采用水平潜流人工湿地 (HF<sub>s</sub>) 构建模式。将粒径为 5~15mm 钢渣和干渣经清水浸泡冲洗后,以 6:1 的体积比进行均匀混合,然后填入人工湿地池体 1 中,基质层 2 填充厚度为 800mm,表层再覆盖 3~5mm 的碎石层作为覆盖层 3。人工湿地前端设置 1.2m 长、粒径 40~80 为碎石配水区 6,后端则设置 2.0m 长、粒径为 15~30 的碎石出水区 7。植物采用抗逆性强、景观效果好的旱伞草、菖蒲、灯心草作为湿地植物系统 4,并进行混栽,以提高湿地系统的生物多样性和稳定性。整个钢渣水平流湿地系统负荷 0.3m<sup>3</sup>/d,处理水量约 150m<sup>3</sup>/d,停留时间约 25.5h ;

[0030] 自建成后,经过近两个月 (2007.03.18-2007.4.30) 的试运行后,出水水质稳定。以 2007 年 5 月至 2007 年 12 月实验数据为例,对整个处理工艺进行了去除效果评估。在该阶段,进水水质 :COD<sub>Cr</sub> 30.2~65.4mg/L ;TN 1.26~5.81mg/L ;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 0.38~1.24mg/L ;TP 0.14~0.31mg/L。从进水水质可以看出,按照国家《地表水环境质量标准 (GB3838-2002)》,供试的景观湖水基本属于 V 类,而在 5-10 月份,属于劣 V 类水体,特别是 COD 和氨氮超标严重,水体污染严重,2007 年 6 月份和 10 月份皆发生了较为严重的水华现象。经过处理后出水水质 :pH 7.9~8.6 ;COD<sub>Cr</sub> 9.5~21.4mg/L ;TN 0.15~0.92mg/L ;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 0.08~0.85mg/L ;TP 0.02~0.08mg/L。其平均去除率分别为 :COD<sub>Cr</sub> 71-85%,平均为 76.2% ;TN 62-78%,平均为 71.4% ;NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 69-83%,平均为 80.4% ;TP 91-97%,平均为 91.7%。出水 pH 较进水有所上升,但仍处在正常范围。总体来说,所构建的钢渣人工湿地处理系统出水水质基本满足国家地表水 III 类水标准 (除 7 月份外),有些月份出水水质甚至符合国家地表水 II 类水标准。

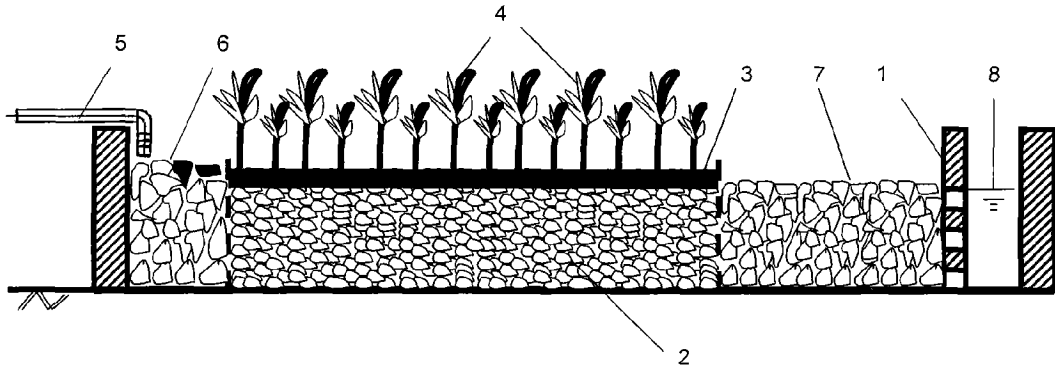


图 1