



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103332790 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 02

(21) 申请号 201310245862. 6

C02F 3/34 (2006. 01)

(22) 申请日 2013. 06. 20

(71) 申请人 河海大学

地址 211100 江苏省南京市江宁开发区佛城
西路 8 号

(72) 发明人 燕文明 刘凌 邢西刚 栾承梅
谢永玉 王寿辉

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限
公司 32200

代理人 李纪昌

(51) Int. Cl.

C02F 3/32 (2006. 01)

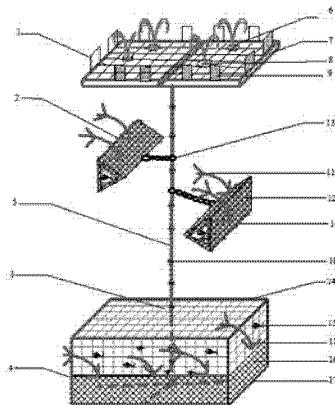
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的
可增光富氧生物组构系统

(57) 摘要

本发明涉及一种富营养化河湖污染水体和沉
积物生态修复的方法，提出了一种利用挺水植物、
沉水植物、底栖动物、鱼类和微生物进行同步、原
位修复污染水体和沉积物的生物组构系统构建方
法。同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的
可增光富氧生物组构系统，具有实现污染水体和
沉积物的同步生态修复，为水生生物、微生物提供
生境的双重效果。该系统包括镜片反射增光表层
水体挺水植物生存区、空心三棱柱体自由滑动中
层水体净化区、沉积物-水界面沉水植物、底栖动
物及鱼类生存区、微生物富集强化沉积物净化区
及富氧固定杆。本发明所述系统可实现水体和表
层沉积物的同步生态修复，具有污染物去除效果
好、治理效果稳定持久等特点，适合于河湖水体与
沉积物的同步、原位生态修复。



1. 同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于包括镜片反射增光表层水体挺水植物生存区(1)、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区(2)、沉积物-水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区(3)、微生物富集强化沉积物净化区(4)及富氧固定杆(5)；由上到下由富氧固定杆(5)依次连接镜片反射增光表层水体挺水植物生存区(1)、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区(2)、沉积物-水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区(3)、微生物富集强化沉积物净化区(4)。

2. 根据权利要求1所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述镜片反射增光表层水体挺水植物生存区(1)由挺水植物(6)、竹排(7)、网孔基质纱包(8)、增光镜片(9)构成，网孔基质纱包(8)在竹排上方。

3. 根据权利要求2所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述竹排(7)材料为毛竹；竹排(7)的顶部设置固定片(17)与富氧固定杆(5)相连接；增光镜片(9)的光面朝向竹排(7)内部，毛面朝向外部。

4. 根据权利要求1所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区(2)由表面设有栽植孔(12)的空心三棱柱体(10)和沉水植物(11)构成。

5. 根据权利要求4所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述空心三棱柱体(10)由生物沸石、生物陶粒及水泥按体积比2:2:1浇筑而成；空心宽度10cm-20cm；所述空心三棱柱体10表面设有栽植孔12，空心三棱柱体10上设有衔接链(13)，衔接链(13)的另外一端与富氧固定杆(5)相连。

6. 根据权利要求1所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述沉积物-水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区(3)和微生物富集强化沉积物净化区(4)所在的外部框架为上疏下密型网箱(14)，网箱(14)内上部区域为沉积物-水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区(3)，网箱(14)内下部区域微生物富集强化沉积物净化区(4)，网箱(14)底部铺设生物陶粒、生物沸石和卵石。

7. 根据权利要求6所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述网箱(14)网孔宽度5cm-8cm；下部网孔宽度0.5cm-1cm；在网箱(14)底部设置固定片(17)与富氧固定杆(5)相连接；所述生物沸石的粒径1-3cm，生物陶粒的粒径为1-2cm，卵石的粒径6-10cm。

8. 根据权利要求1所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述富氧固定杆(5)用不锈钢管穿孔，再用打磨后的生物沸石密封，构建氧气分散孔(18)。

9. 根据权利要求1所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述挺水植物(6)为空心菜、香根草、水芹菜和多花黑麦草中至少一种。

10. 根据权利要求1所述的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于所述沉水植物(11)为狐尾藻、菹草、伊乐藻、金鱼藻、轮叶黑藻、马来眼子菜和苦草中的至少一种。

同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统

一、技术领域

[0001] 本发明通过构建生物组构系统探索了一种污染水体和沉积物原位同步净化及生态系统修复的方法或工艺。

二、背景技术

[0002] 近年来,由于河湖植被大量减少、岸坡浆砌化程度大幅增加以及河湖所接纳污染物量增多,致使河湖水体污染严重,同时也导致了河湖沉积物中污染物的聚集。再加上围网养殖过度投加饵料、肥料和化学药品等的影响,河湖沉积物表面逐渐形成灰黑色淤泥层,富含氮、磷等营养盐和有机污染物,成为河湖富营养化的重要内源。研究表明,许多湖泊沉积物污染惊人,如太湖、滇池等许多水域沉积物中总磷含量高达 $3000 \sim 4000\text{mg/kg}$ 。沉积物中污染物的释放严重影响了河湖上覆水的质量,造成河湖持续的高污染,威胁了河湖的生态安全和水质安全。因此,即使水体得到了彻底治理,水体物质为达到循环平衡,其中的沉积物又会释放污染物到水体中,再次造成水体污染,持续危害着水体生态系统。如何阻止沉积物向上覆水体释放磷素等营养盐和污染物,从而实现富营养化沉积物的原位修复已成为目前研究重点。

[0003] 各种治理污染的修复技术和方法发展很快,很多水体污染的控制和修复技术已经比较成熟,也解决了许多水体污染方面的问题。然而,对于污染面积巨大且污染程度较轻的固体沉积物基本上难以解决。沉积物疏浚、机械捞藻、化学杀藻、生化综合除藻、水产养殖等物理生态工程和生物调控等技术是目前沉积物污染控制的主要技术。这些物理和化学措施通过抑制沉积物中污染物释放的机理使河湖富营养化得到控制,在沉积污染物控制的过程中起了重要作用,但投入较大,有的技术长久放置于水体中,改变沉积物的形状且回收是个问题,且并没有从根本上将污染物进行降解和去除,甚至会造成环境的二次污染,而且大规模实施可能会对生态系统产生负面影响。再则,目前所设计的富营养化河湖生态修复组件主要是单一的针对水体或者沉积物,并没有见到同步修复河湖水体和沉积物的相关组件。当前,全球范围内都面临资源紧张短缺,若能从环境保护、资源节约的角度出发,选择一种合理有效的水体和沉积物同步和原位生态修复方法显得异常重要。

[0004] 本专利所设计的同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统,包含了多种生物、非生物元素,构建了不同空间上的多层次生境。通过微生物、水生植物、底栖动物和鱼类等多种生物的组构,构建生态共生机制和加强食物链环节,既能净化水体又可同步实现沉积物中污染物的去除,从而实现富营养化河湖水体和沉积物的同步、长效生态修复。

三、发明内容

[0005] 本发明需要解决的问题是:

[0006] 本发明旨在提供一种通过生物组构系统的方式构建生态、高效、低成本、可以原位

操作应用的富营养化水体和沉积物同步修复的方法。

[0007] 本发明是通过采用下述技术方案实现的：

[0008] 同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统，其特征在于包括镜片反射增光表层水体挺水植物生存区1、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区2、沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区3、微生物富集强化沉积物净化区4及富氧固定杆5；由上到下由富氧固定杆5依次连接镜片反射增光表层水体挺水植物生存区1、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区2、沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区3、微生物富集强化沉积物净化区4。

[0009] 其中所述镜片反射增光表层水体挺水植物生存区1由挺水植物6、竹排7、网孔基质纱包8构成、增光镜片9构成，竹排7材料为毛竹，竹排7上设有供挺水植物生长的网孔基质纱包8，竹排7处于漂浮状态，可随水位升降、水体波动而沿富氧固定杆5自由升降。

[0010] 所述空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区2由空心三棱柱体10和沉水植物11构成；其中，空心三棱柱体10由生物沸石、生物陶粒及水泥按体积比2:2:1浇筑而成，能够保证空心三棱柱体10在水中处于悬浮状态，空心宽度10cm - 20cm，可保证中层水体主要鱼类自由游动；空心三棱柱体10表面设有栽植孔12，棱上设有衔接链13，衔接链13的直径至少在富氧固定杆5直径的2倍以上，使得带有衔接链13且处于悬浮状态的空心三棱柱体10可沿富氧固定杆5上下自由移动。

[0011] 所述沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区3和微生物富集强化沉积物净化区4的外部框架为上疏下密型网箱14，网箱14内上部区域为沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区3，网箱14内下部区域为微生物富集强化沉积物净化区4，网箱14底部铺有生物沸石、生物陶粒和卵石等基质，基质上种植沉水植物10，为鱼类15和底栖动物16提供生存空间。网箱14上部的网孔宽度5cm - 8cm，可使小鱼、虾类自由穿梭，阻止大鱼通行，保护网箱内沉水植物11和底栖动物16免受大鱼吞食，下部网孔宽度0.5cm - 1cm，保证不漏生物陶粒、生物沸石。在网箱14底部和竹排7的顶部设置固定片17，用螺帽将固定片17与富氧固定杆5相连接。所述富氧固定杆5用不锈钢管穿孔，再用打磨后的生物沸石密封，构建氧气分散孔18，富氧固定杆5，在连接曝气机后，可对全层水体和表层沉积物进行富氧。

[0012] 所述生物沸石粒径为1 - 3cm，生物陶粒粒径为1 - 2cm，卵石粒径为6 - 10cm；所述挺水植物6为空心菜、香根草、水芹菜和多花黑麦草中至少一种；所述沉水植物11为狐尾藻、菹草、伊乐藻、金鱼藻、轮叶黑藻、马来眼子菜和苦草中的至少一种。

[0013] 具体说明如下：

[0014] (1) 镜片反射增光表层水体挺水植物生存区。该区由挺水植物、竹排、网孔基质纱包和增光镜片构成。竹排选用毛竹为材料，制成“日”字形结构。网孔基质纱包的外部结构为穿孔的竹筒，孔的大小为0.5 - 1.0cm，竹筒内填充生物沸石、生物陶粒，竹筒底部和顶部包裹纱布。增光镜片的光面朝向竹排内部，毛面朝向外部。其中，生物沸石的粒径为1 - 3cm，生物陶粒的粒径为1 - 2cm，其主要作用是为顶部挺水植物的生长提供支撑基质。网孔基质纱包用不锈钢丝或尼龙绳呈“十”字形穿孔固定在竹排上。

[0015] 经筛选，顶部挺水植物可以为空心菜、香根草、水芹菜和多花黑麦草中的至少一种，这些植物易于栽种，具有去污能力强、绿化效果好的特点。该区可将水体中的营养物质

吸收转化为植物组织,通过对植物的收割实现水体污染物的转移。网孔基质纱包内的生物沸石上富集的微生物不仅能使生物沸石不断得到生物再生,还能大幅提高脱氮去磷性能。竹排和网孔基质纱包的特殊构造,使镜片反射增光表层水体挺水植物生存区具有透光和反射增光的功能,为空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区、沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区和微生物富集强化沉积物净化区生存的动植物、微生物生长提供适宜光照,保证其新陈代谢等生命活动的健康运转。

[0016] (2) 空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区。所述的空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区由空心三棱柱体及生活在其上的沉水植物和鱼类构成。空心三棱柱体的棱长不小于 20cm, 厚度不小于 3cm, 由生物沸石、生物陶粒和水泥浇筑成。在空心三棱柱体表面布设有栽植孔, 孔径为 2 - 3cm, 栽植孔内布设有用尼龙网包裹的竹纤维, 用来固定沉水植物。浇筑空心三棱柱体的生物沸石粒径为 1 - 3cm, 生物陶粒粒径为 1 - 2cm, 中空的大小设定以水中主要鱼类自由游动和栖息为准。

[0017] 空心三棱柱体为鱼类提供了生存空间和运动场所,也为沉水植物的生长提供生长基体。生物沸石和生物陶粒对污染物有较好的吸附净化效果,生物沸石对氨氮具有选择性吸附功能,快速吸附水中的氨氮;同时,系统可通过硝化细菌等生物作用实现生物沸石再生,使其保持持续的吸附能力。生物陶粒具有密度小、质轻,比表面积大等优点,适合微生物附着而形成生物膜,是良好的生物挂膜载体。多孔材料上附着的微生物在微粒表面以菌斑或菌群的形式存在,可降解有机污染物;同时有效修复和改善鱼类及其他生物的生存环境。

[0018] (3)沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区和微生物富集强化沉积物净化区。利用毛竹构建网箱的框架,框架外围有不锈钢丝网,不锈钢丝网上疏下密,上部的稀疏程度以身宽小于 5cm 的鱼类自由游动为基准,可使小鱼、虾类自由穿梭,阻止大鱼通行,保护网箱内沉水植物和底栖动物免受大鱼吞食,下部密集程度以不漏生物陶粒、生物沸石为基准,网箱底部铺有生物沸石、生物陶粒和卵石等基质,基质上种植沉水植物。网箱内的上部区域为沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区,网箱内的下部区域为微生物富集强化沉积物净化区。经筛选,沉水植物为狐尾藻、菹草、伊乐藻、金鱼藻、轮叶黑藻、马来眼子菜和苦草中的至少一种。

[0019] 多数底栖动物长期生活在沉积物中,以滤食细小的浮游生物为生,同时是鱼类喜食的天然活饵料,具有区域性强,迁移能力弱等特点,对于环境污染及变化通常少有回避能力,其群落的破坏和重建需要相对较长的时间。因此,本发明构建沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区为底栖动物尤其是为固着型、底栖型和自由移动型的底栖动物提供适宜的生存环境。此外,鱼类和底栖动物的运动以及生物组构系统构件的浮动又可扰动水体起到增氧作用,系统内有氧环境可加强基质内硝化作用的进行,消耗水体中有机碳,提高系统对有机污染物的去除。本发明中基质填料所选用的生物沸石中含有多种常量元素和微量元素,较易被鱼、虾吸收利用,并可促进其快速健康生长;其微孔结构适合微生物生长繁殖,可加速微生物生长着床、刺激其活性的发挥以及水中氮、磷等营养盐富集,为水生植物和其他生物的生长和繁殖提供充足的养料集。本发明,微生物富集强化沉积物净化区直接与沉积物接触,吸附沉积物释放出的污染物,并通过基质填料和沉水植物植物根际间微生物的降解作用以及水生动植物的同化作用达到水体和沉积物中污染物同步原位去除的目的。

[0020] (4) 富氧固定杆的顶部和底部有“十”字的固定片，各固定片长度分别根据竹排的长宽和网箱的长宽设定，宽度为5cm，用以固定镜片反射增光表层水体挺水植物生存区、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区、沉积物-水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区及微生物富集强化沉积物净化区。富氧固定杆用不锈钢管穿孔，再用打磨后的生物沸石密封，构建氧气分散孔，富氧固定杆在连接曝气机后，可对全层水体和表层沉积物进行富氧。

[0021] 本发明所述的生物组构系统囊括了挺水植物、沉水植物、浮游动物、浮游植物、底栖动物、鱼类和微生物等多种生物。水生植物在生长过程中吸收利用水中N、P等营养元素；植物发达的根系和生物沸石、生物陶粒组成的人工基质，吸附和过滤悬浮物质，且为硝化菌反硝化菌等微生物的附着生长提供了巨大的表面；表层水生植物输送至根的氧气、沉水植物新陈代谢释放的氧气，使根区形成了氧化态的微环境，这种局部共存的有氧和缺氧环境，为根系的好氧兼性厌氧和厌氧微生物提供了适宜生境；同时，竹排、空心三棱柱体随被扰动水体上下浮动富氧，再加上连接曝气机后，富氧固定杆可对全层水体和沉积物表面进行富氧，有利于各种微生物的大量繁殖生长，可大大提高对氨氮、有机物和重金属离子等污染物的降解能力，水体和沉积物中污染物最终在生物组构系统各组件的协同作用下得到有效去除。

[0022] 本发明的工作原理：

[0023] “生物共生机制、生物多样性及食物链原理”是河湖生态系统修复中遵循的重要原理，本发明集结挺水植物、沉水植物、底栖动物、鱼类以及微生物多种生物要素及环境介质来构建生物组构系统，通过增光和富氧作用来加强食物链环节来提高生态修复的效果，通过生物要素间的互惠共生作用机制、基质填料的吸附作用以及微生物的硝化、反硝化作用实现污染物的去除，既能净化水体又可同步实现沉积物中污染物的去除，从而实现富营养化河湖水体和沉积物的同步、长效生态修复。

[0024] 本发明的有益效果

[0025] 与传统的物理和化学方法相比，本发明所述的生物组构系统既能保证水体和沉积物中污染物的同步去除，又不会破坏原始的生态环境，实现了富营养化水体和沉积物的同步原位生态修复。本发明所述系统具有氮磷去除效果好、安装管理方便、抗水流冲击能力强、运行费用低等特点，极大地提高了对富营养化水体和沉积物中污染物的去除能力，非常适合于自然河道、湖库水体和沉积物的原位净化处理及生态系统的修复。

[0026] 本发明运用增光镜片可增加中下层水体的光照强度，为沉水植物的生长提供充分的光照条件；同时本发明构建了可沿富氧固定杆上下自由移动的空心三棱柱体，可净化较大范围的污染水体。本发明集成了吸附作用、氧化还原作用以及生物降解作用等，一方面能去除水体中和沉积物释放出的氮、磷等营养盐，阻挡藻类生物上浮繁殖，另一方面通过生物的同化作用对降解后的产物加以吸收和利用，实现富营养化河湖水体和沉积物同步治理的目的。本发明的有益效果可概括为以下四点：

[0027] 1、可实现水体和沉积物中污染物的同步去除。

[0028] 2、将微生物、挺水植物、沉水植物、底栖动物和鱼类等多种生物要素组构在一起，形成小型生态系统，通过生物共生机制实现从根本上降解和去除污染物质。

[0029] 3、基质填料在吸附污染物的同时还可为生物提供生存环境。

[0030] 4、采用生态学的手段,不会破坏生态系统。

四、附图说明

[0031] 图 1 为同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统示意图;

[0032] 图 2 为空心三棱柱体与富氧固定杆的连接示意图;

[0033] 图 3 为网箱底部的固定片和富氧固定杆的连接示意图;

[0034] 其中:1、表层水体挺水植物及浮游生物生存区;2、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区;3、沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区;4、微生物富集强化处理区;5、富氧固定杆;6、挺水植物;7、竹排;8、网孔基质纱包;9、增光镜片;10、空心三棱柱体;11、沉水植物;12、栽植孔;13、衔接链;14、网箱;15、鱼类;16、底栖动物;17、固定片;18、氧气分散孔。

五、具体实施方式

[0035] 上述实施例为本发明的一种实施方式,但本发明的实施方式并不受实施例的限制,其他遵循本发明精神和工作原理的发明均属于本发明的保护范围之内。

[0036] 实施例 1

[0037] 以下结合附图 1、2、3 和实施例对本发明作进一步说明。

[0038] 同步原位修复富营养化河湖水体和沉积物的可增光富氧生物组构系统包括:表层水体挺水植物及浮游生物生存区 1、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区 2、沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及鱼类生存区 3、微生物富集强化处理区 4,由富氧固定杆 5 从上到下依次连接。

[0039] 由毛竹制成“日”字形竹排 7,其上设有网孔基质纱包 8 和增光镜片 9。增光镜片 9 的光面朝向竹排 7 内部,毛面朝向竹排 7 外部。网孔基质纱包 8 用不锈钢丝或尼龙绳呈“十”字形穿孔固定在竹排 7 上,内部填充生物沸石、生物陶粒等基质,底部和顶部用纱布包裹,防止基质材料泄露,其上种植挺水植物 6;用生物沸石、生物陶粒和水泥浇筑空心三棱柱体 10,表面留有栽植孔 12,栽植孔 12 内填有用尼龙网包裹的竹纤维,种植沉水植物 11;用毛竹构成网箱 14 的框架,框架外用尼龙网或不锈钢丝网包裹,网箱内底部铺设生物沸石、生物陶粒和卵石,在其上种植沉水植物 11;用富氧固定杆 5 连接竹排 7、空心三棱柱体 10 和网箱 14,使网箱底部与沉积物表面接触,竹排 7 和空心三棱柱体 10 可根据水体的扰动而沿富氧固定杆 5 上下自由浮动。具体步骤如下:

[0040] (1)用毛竹制作竹排 7,如图 1 所示,用直径 5mm 的尼龙绳将 5 根直径为 0.1m 左右的毛竹制成 3m×5m 大小的“日”字形竹排,中心穿孔衔接套在富氧固定杆上,孔径略大于富氧固定杆直径,竹排可沿富氧固定杆上下浮动。在竹排上,根据植物栽种密度要求,用不锈钢丝或尼龙绳呈“十”字形穿孔将网孔基质纱包 8 固定在竹排上,用强力胶将增光镜片 9 粘在毛竹上,增光镜片 9 的光面朝向竹排 7 内部,毛面朝向竹排 7 外部。网孔基质纱包 8 内部填设生物陶粒和生物沸石,底部和顶部由纱布包裹。在网孔基质纱包上种植筛选后的对氮磷等营养物质具有较强吸收能力的挺水植物,其中春夏季节栽种空心菜或香根草,秋冬季节栽种水芹菜或多花黑麦草,栽种密度为 50 - 120 株 /m²。由挺水植物 6、竹排 7、网孔基质纱

包 8 共同构成了表层水体水生植物生存区。

[0041] (2) 用生物沸石、生物陶粒和水泥浇筑空心三棱柱体, 棱长 30cm, 厚度 5cm, 生物沸石、生物陶粒、水泥的体积比 2:2:1; 在空心三棱柱体的两个侧面交接处的中间位置浇筑不锈钢衔接链 13, 如图 2 所示; 在空心三棱柱体上留有栽植孔 12, 栽植孔 12 内固定有竹纤维, 其内种植沉水植物 11。

[0042] (3) 用毛竹和尼龙网或不锈钢丝网制作网箱 14, 如图 1 所示, 网箱的特征为长 × 宽 × 高 = 5m × 3m × 0.8m, 毛竹之间采用螺丝连接固定, 毛竹与尼龙网或不锈钢丝网之间用丝径为 0.5mm 不锈钢丝连接固定。在网箱 14 的上半部包裹一层尼龙网, 丝径为 2mm, 网眼尺寸为 50mm × 50mm, 可使小鱼、虾类自由穿梭, 保护网箱内沉水植物和底栖动物免受大鱼吞食, 在网箱 14 的下半部包裹一层不锈钢丝网, 丝径为 1mm, 网眼尺寸为 8mm × 8mm。

[0043] (4) 在网箱内底部铺设生物陶粒、生物沸石、卵石等基质, 铺设厚度为 20cm, 在基质上种植金鱼藻、菹草、黑藻、马来眼子菜等沉水植物 11, 生物沸石的粒径为 1 - 3cm, 生物陶粒的粒径为 1 - 2cm, 卵石的粒径 6 - 10cm, 生物沸石、生物陶粒、卵石的体积比 1:3:1。在网箱内的顶部区域形成沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区 3, 在网箱内的底部区域形成微生物富集强化沉积物净化区 4。

[0044] (5) 用富氧固定杆 5 连接镜片反射增光表层水体挺水植物生存区 1、空心三棱柱体自由滑动中层水体净化区 2、沉积物 - 水界面沉水植物、底栖动物及底层鱼类生存区 3 及微生物富集强化沉积物净化区 4。主要是用富氧固定杆 5 连接竹排 7、空心三棱柱体 10、网箱 14。富氧固定杆 5 采用空心不锈钢管, 不锈钢管穿孔后, 再用打磨后的生物沸石密封, 构建氧气分散孔 18, 富氧固定杆 5 在连接曝气机后, 可对全层水体和表层沉积物进行富氧。为保证生物组构系统整体的稳定, 富氧固定杆 5 的顶部和底部分别焊接“十”字形的固定片 17, 宽度为 5cm, 固定片 17 的材质为不锈钢, 可保证生物组构系统的整体性, 如图 3 所示。

[0045] 对比例 1:

[0046] 在浅水湖泊附近设计试验水池 2 个, 水池的特征为长 × 宽 × 深 = 3m × 2m × 2m。试验除了生物组构系统池外, 还设置了空白对照池, 两个试验处理进行同步实验。从浅水湖泊取沉积物, 晒干后碾碎, 铺设在两个试验水池的池底, 铺设厚度为 20cm, 再沿池壁缓慢注入湖水, 静置 10 天。构建生物组构系统, 将生物组构系统放入其中一个试验水池, 开始生物组构系统池和空白对照池的试验。空白对照是对池中的原水静置不作任何处理。生物组构系统的特征为竹排长 × 宽 = 1m × 1m, 网孔基质纱包内径 0.1m; 空心三棱柱体的棱长为 0.5m, 厚度为 0.1m; 网箱的长 × 宽 × 高 = 1m × 1m × 0.5m。在网孔基质纱包内种植空心菜, 种植密度为 50 - 120 株 / m², 在栽植孔内种植金鱼藻, 每个种植孔种植 1 蓣; 在网箱内生物沸石和生物陶粒的上面交叉种植地下茎发达的马来眼子菜和可为鱼类提供食物的金鱼藻。2012 年 4 月开始水生动物驯养、植物移栽和基质微生物自然挂膜, 同年 6 月开始相关试验研究。试验期间空心菜、金鱼藻和马来眼子菜在生物组构系统上已经生长良好。在生物组构系统池中放养规格为 100 - 150g / 尾的草鱼种 6 尾, 放养前称其准确重量为 785g, 鱼种放养前经消毒处理。在生物组构系统的空心三棱柱体和网箱里放养小螺丝 150g。试验历时 50 天。试验结束时, 生物组构系统池和空白池中的水体 TN、TP 净化率, 表层沉积物的 TN、NO₃⁻、NH₄⁺、PO₄³⁻、生物有效磷浓度的净化率见表 1。另外, 试验结束后, 生物组构系统池中 6 尾草鱼总计 864g, 增加了 79g; 螺丝 172g, 增加了 22g。生物组构系统对水体和沉积物中的 N、P 污染

物的去除效果显著，明显优于空白池。

[0047] 表 1 生物组构系统池和空白池对水体和表层底泥净化率对比表

[0048]

	水体 TN	水体 TP	底泥 TN	底泥 NO_3^-	底泥 NH_4^+	底泥 PO_4^{3-}	底泥生物有效磷
生物组构 系统池	87.4%	85.7%	52.5%	70.9%	65.9%	50.8%	76.1%
空白池	36.5%	42.6%	12.9%	24.2%	27.9%	32.8%	29.2%

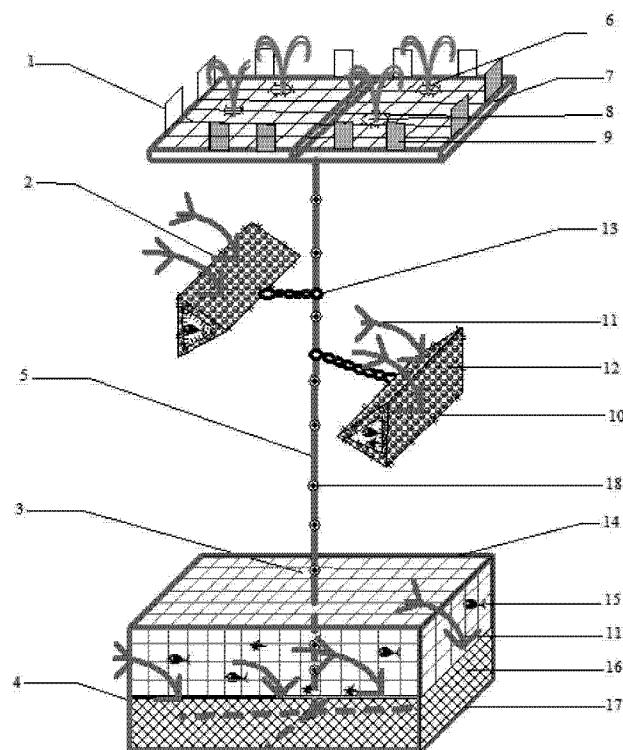


图 1

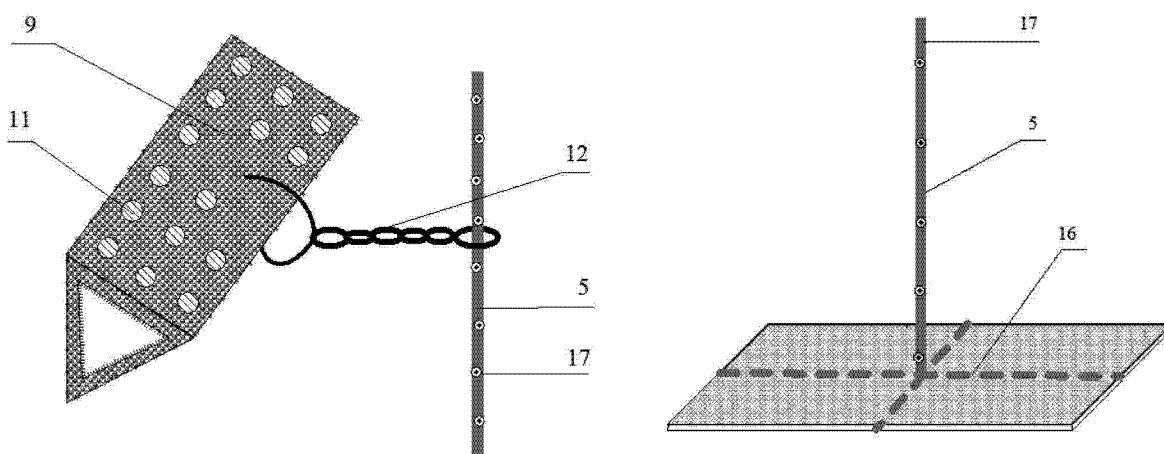


图 2

图 3