

湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目申报表

项目名称: 立体弹性生态草在城市臭黑水体修复中的实验研究				
学校名称	长沙理工大学			
学生姓名	学号	专业	性别	入学年份
陈笑	201513040111	给排水科学与工程	女	2015年
宋赞	201513040206	给排水科学与工程	女	2015年
甘心悦	201613040204	给排水科学与工程	女	2016年
杨恩喆	201613040214	给排水科学与工程	男	2016年
水钰麒	201613040210	给排水科学与工程	女	2016年
指导教师	吴方同	职称	副教授	
项目所属一级学科	土木工程	项目科类(理科/文科)	理科	
<p>学生曾经参与科研的情况</p> <p>陈笑: 2015年科技立项《电絮凝法处理含磷废水实验研究》，结题；创新实验《电絮凝—环保酵素联合法处理含镉废水试验研究》，2016年底结题；2015水工模型大赛三等奖。</p> <p>宋赞: 参与创新实验《渗流作用下露天矿边坡力学性能变化规律及其稳定性研究》的申报。</p>				

指导教师承担科研课题情况

吴方同老师多年来一直从事环境修复理论与技术、环境中污染物迁移转化规律等方面的科学研究工作。主持完成湖南省教育厅研究项目 1 项（题目：高氨氮污水的生物滤塔高效吹脱处理试验研究）、湖南省科技厅研究项目 1 项（题目：湘江长沙段沉积物中重金属的污染特征及吸附与释放规律研究）、水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室开放基金项目 1 项（题目：东洞庭湖沉积物中重金属吸附与释放规律研究），参与国家自然科学基金项目 1 项（题目：波浪场中有机磷在多相微界面迁移转化过程与关键控制因子），主持横向项目 2 项，参与其他纵横向项目 10 余项。参编教材及专业书籍 4 部，发表学术论文 12 篇。

项目研究和实验的目的、内容和要解决的主要问题

1、研究和实验目的

2015 年国务院颁布的《水污染防治行动计划》（简称“水十条”）中明确提出“到 2020 年，地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在 10%以内，到 2030 年，城市建成区黑臭水体总体得到消除”。城镇黑臭水体就是“水十条”中“抓好差两头”中“差”的代表。城市黑臭水体整治已经成为地方各级人民政府改善城市人居环境工作的重要内容，然而，由于城市水体黑臭成因复杂、影响因素多，整治任务十分艰巨，治理比较难，“水十条”中目标任务中难度最大的就是城镇黑臭水体的治理。

黑臭水体的生态净化主要采用人工湿地、生态浮岛、水生植物种植等技术方法，利用土壤-微生物-植物生态系统有效去除水体中的有机物、氮、磷等污染物。国内将生态草应用于城市黑臭水体的修复应用上的研究不多，本研究拟采用立体弹性生态草为载体，旨在研究探讨利用立体弹性生态草技术对城市黑臭水体进行修复的可行性。通过研究生态草在黑臭河水中的挂膜特征，黑臭水体中的铺设密度、水力停留时间、铺设排列方式、曝气强度等运行参数，探究生态草修复黑臭水体工艺。以期为实际工程应用积累数据及经验，为后续研究人员及工程实践人员提供参考。

2、研究内容和要解决的主要问题

（1）研究的主要内容

本实验研究主要对立体弹性生态草这种材料对城市黑臭污水的处理效果开展研究，主要有以下几个方面：

- ①立体弹性生态草在黑臭污水中的挂膜时间、挂膜量及污染物的去除特征；
- ②立体弹性生态草的铺设密度、不同铺设排列方式对水质净化效果的影响；
- ③不同水力停留时间、曝气量对立体弹性生态草水质净化效果的影响；
- ④对比立体弹性生态草、碳素纤维生态草、阿科蔓生态基三种填料单独铺设以及不同基材组合铺设对黑臭河水的有机物、氮、磷等污染物的去除效果以及水体透明度的改善效果。

(2) 拟解决的主要问题

①曝气强度为生态草修复效果的核心参数，但同时也决定修复设施的运行费用。根据黑臭水体的不同黑臭程度，在保证修复效果，特别是氨氮控制指标的前提下，优化实验方案，将曝气强度降到最低；

②为保证生物持有量、物质传递和水流扰动强度等，生态草的铺设密度控制、横向和纵向铺设排列方式尤为重要，另外采用不同生态基材组合铺设，则不同基材的分配比例、空间排列方式对修复的效果好坏也很关键。

国内外研究现状和发展动态

对于黑臭水体的治理，总体思路是控制外源污染，削减内源污染，其中具体措施包括：截污、清淤、底泥覆盖、调水等。这些方法的优点是见效快，但这些方法属于市政工程措施，其缺点是花费高，耗时长等，且存在各自的弊端。由于工程方法的种种限制，若要从根本上解决水体黑臭的问题，必须从水体污染物自然降解过程的本质入手。国内外对生态法修复受损水体进行大量的相关研究。

1、生物浮岛

生物浮岛技术是一种典型的营造良性营养循环链的水体生态修复技术。早期的生态浮岛技术大都采用单一的水生植物或多种水生植物组合来营造良好景观及为鸟类提供栖息场所，也称为人工浮岛。1979 年德国 BESTMAN 公司建造了世界上最早的用于水处理的生物浮岛；20 世纪 80 年代，美国开始利用多种鱼类养殖废水水培产生菜、西红柿、草莓和黄瓜等蔬菜及风信子等花卉；Nathalie 等用商业化深液流(NTF) 水培系统飘浮栽培毛曼佗罗(*D. innoxia*) 净化修复生活污水，取得了较好的效果；90 年代中期人工浮岛被日本学者广泛认识，并应用于湖泊治理；我国的一些学者从 20 世纪 80 年代起也对植物浮床技术开展了一些相关研究和应用。

生物浮岛技术主要问题对于越冬浮岛植物的研究不够充分，常常因植物断季而影响生态修复的效果。再就是生物浮岛的种植和收割基本都是纯手工操作，这种操作难度较大，并且劳动输入比较密集，限制了生物浮岛的大面积推广应用。

2、微生物修复

微生物修复是通过选择对特定水体污染物具有优异吸收转化性能的细菌加以培养、驯化、富集，并创造合适的降解条件去消除污染物。其中包括投加微生物菌剂，生物促生剂等。而采用微生物菌剂及生物促生剂投加法时，根据治理效果来决定是否需要连续投加，如投加量大时成本较高。

3、生态草技术

生态草技术是一种新兴的生物膜载体净化技术，是由生物膜技术发展而来，本质上是利用微生物的新陈代谢来分解污染物。生态草技术主要是将具有耐性高，柔性好，对环境无污染的材料模仿天然水体中的水草设计而成的仿生水草投放到受污染水体中，以人工投加菌群或土著菌群为种源，利用微生物在载体上的大量繁殖来降低水体有机污染物浓度，是一种基于污染物自然降解原理的生物强化修复技术，在一些发达国家如美国、日本均有工程应用且效果较好。

3.1 细绳状生态填料的应用研究

细绳状生态填料在 20 世纪 90 年代诞生于日本，填料主体是由聚氯乙烯、聚丙烯和维尼纶等人工合成材料制成的环状小丝体群，以细绳为中心，其丝条呈立体状态向四周辐射的细绳状构造。细绳状生态填料在日本各地有较为广泛的应用，在 1991 年 5 月，在日本爱知县武丰镇六贯山河段治理工程中，将细绳状生态填料缠绕固定在 10 m 的铁条上，将铁条按照河流横断面的方向铺设，每间隔 10cm 铺设一条，并用螺栓将铁条固定在河道底部，工程总长 100m。经过 4 年(1991.5—1995.2)的治理，BOD 和 SS 的平均去除率为 31.8%和 18.5%。该填料在污染严重且流量小的河流中净化效率较高。

3.2、仿生态草的应用研究

吴永红等通过对现有多孔高分子材料进行改良，研制出一种新型生态水草，该材料外形为多环串联，上端有浮球，下端为固定配重物，中间为直径 8cm 的圆形载体，两端由一根绳连接，分别用该材料与软性填料处理富营养化水体，CODMn 分别降低 92.9%、86.9%，TN 分别降低 95.0%、93.5%，NH₃-N 分别降低 70.2%、65.1%，生态

草实验组的透明度要比软性填料的高 25cm 左右，实验结果表明生态草效果要优于软性填料。

田伟君等人研制的生态草由支杆，扣环以及填料丝组成，该种填料模仿的是臭轮藻的茎的柔性和初性，枝和叶的可附着性。将该生态草铺设到宜兴市大浦镇林庄港河道中，在生态草挂膜后实验共运行了半年，实验结果显示：系统对高锰酸钾指数的平均净去除率为 5.4%，其中最高为 9.9%，并且去除率与填料上的异养菌数量呈正比；氨氮净去除率在 5.4%~39.9%，总磷的净去除率最高也达到了 28.6%。

3.3、阿科蔓生态基

阿科蔓生态基是一种新型无纺布填料，是一种用于生态水处理系统的高科技生态材料。阿科蔓生态基的主要特点有高比表面积，达到 $250\text{m}^2/\text{m}^2$ ；适宜的孔结构，为微生物群落提供理想的生存环境；超级编织技术，可以形成理想的微 A/O 处理微环境；纯惰性材质亲和于生态环境，在水中不会分解，对自然环境无任何污染。

童敏等以阿科蔓材料为载体，用光合细菌球形红细菌 (*Rhodobacter sphaeroides*)、枯草杆菌(*Bacillus subtilis*)和氧化硫硫杆菌(*Thiobacillus thiooxidans*)三种菌种为种源，联合组建生态草生物膜系统净化黑臭水体，结果表明，对 COD、BOD₅、NH₃-N 和 TP 的平均去除率分别达到了 64.1%、67.2%、96.0%和 32.1%，在设定的 HRT 内，时间越久，处理效果越好，并且对 Fe²⁺及硫化物的去除率均达到 100%。

3.4 碳素纤维生态草

碳素纤维主要是由碳元素组成的一种特种纤维。将碳素纤维进行高温碳化、活化与表面改性就得到活性炭纤维 (Activated Carbon Fiber, ACF)，ACF 再经过微生物固着化得到生物活性炭纤维 (Biological Activated Carbon Fiber, BACF)。活性炭素纤维可以改变其表面孔结构以及表面化学性质来改善吸附性能。Kaneko K 对 ACF 进行了大量研究，通过各种改性处理方法来改善 ACF 的吸附性能。ACF 表面有不同的官能团，对某些特殊的吸附质除了吸附能力还有催化特性和氧化还原能力。因此，碳素纤维作为水处理填料与载体，应用于生物膜修复水体和模拟人工水草进行生态修复与水环境改善具有许多优势。

日本小岛研制成功的碳素纤维生态草在日本 240 多个治理案例中，河流 BOD₅、SS、TN、TP 去除率分别为：50~70、50~70、10~30、10~50%；湖泊、池 BOD₅、SS、TN、

TP 去除率分别为：20~90、20~90、10~30、30~90%；污水 BOD₅、SS、TN、TP 去除率分别为 90~95、90~95、30~70、30~50%。

北京京阳环保公司在苏州沧浪区桂花新村水体修复工程中，安装碳素纤维生态草三个月后，河水 BOD₅、SS、TP、TN、NH₃-N 分别由 12.5、81、1.13、10.4、8.7 (mg/L) 下降到 3.6、48、0.376、5.84、4.34 (mg/L) 水质改善效果明显。

李兰在武汉东湖开展了碳素纤维生态草大型示范工程实验，结果显示碳素纤维生态草材料能迅速吸附水体中的氮磷，在 4d 内把实验区域水体的水质从 V 类提升至 IV 类，4 个月后 TN、TP 和 CODMn 的平均去除率达 69.4%、84%和 72.3%。

4、小结

采用生态草为微生物提供附着及繁殖场所，形成较高的生物量对水体有机物进行分解，是目前受损水体生态修复中有效的工程手段。相比于传统载体（卵石、瓦砾、软性悬挂填料等），生态草可以提供巨大的比表面积，高的生物负载量，高的生物亲和性，因此可以大幅提高水体净化效率。

本课题所采用的立体弹性生态材料筛选了聚烯烃类和聚酰胺中的几种耐腐、耐温、耐老化的优质品种，混合以亲水、吸附、抗热氧等助剂，采用特殊的拉丝，丝条制毛工艺，将丝条穿插固着在耐腐、高强度的中心绳上，由于选材和工艺配方精良，刚柔适度，使丝条呈立体均匀排列辐射状态，制成了悬挂式立体弹性材料的单体，基材在有效区域内能立体全方位均匀舒展满布，使气、水、生物膜得到充分混渗接触交换，生物膜不仅能均匀的着床在每一根丝条上，保持良好的活性和空隙可变性，而且能在运行过程中获得愈来愈大的比表面积，又能进行良好的新陈代谢，这一特征与现象是其他生态材料不可比拟的。

在国内立体弹性生态材料多用于市政和工业废水处理厂，而对用于修复城市黑臭水体的研究较少，该生态材料对黑臭水体污染物的去除特性、生物膜特点、铺设方式、运行参数等问题有待进一步研究。

本项目学生有关的研究积累和已取得的成绩

项目组成员为给排水科学与工程专业学生，通过大一基础课程和部分专业基础课程的学习，掌握比较扎实的理论基础和实验技能，储备了一定的分析能力和运用数据分析工具的能力，普通化学、有机化学等课程使我们具备了一定的化学反应理论和较强的实

验动手能力。项目组成员英语能力较强，能够熟练查阅外文文献，并且掌握多种软件的运用，能熟练应用计算机进行文档编辑和分析工作。

本项目组成员已经查阅了大量关于城市黑臭水体的现状，相关的处理技术，微生物修复、生态草技术和立体弹性生态材料的应用等相关文献，对该项目背景已有较深入的了解。

项目组成员兴趣浓厚，积极投入，并且组员们参加了科技立项以及水工模型比赛，具备了良好的科研功底和能力，而且实验场地、实验设备、理论基础都为项目的顺利实施提供了有力的保障。相信在指导老师指导下，能够圆满完成研究任务，取得预期的成果。

项目的创新点和特色

(1) 本装置抓住社会的热点问题——黑臭水体的综合治理；

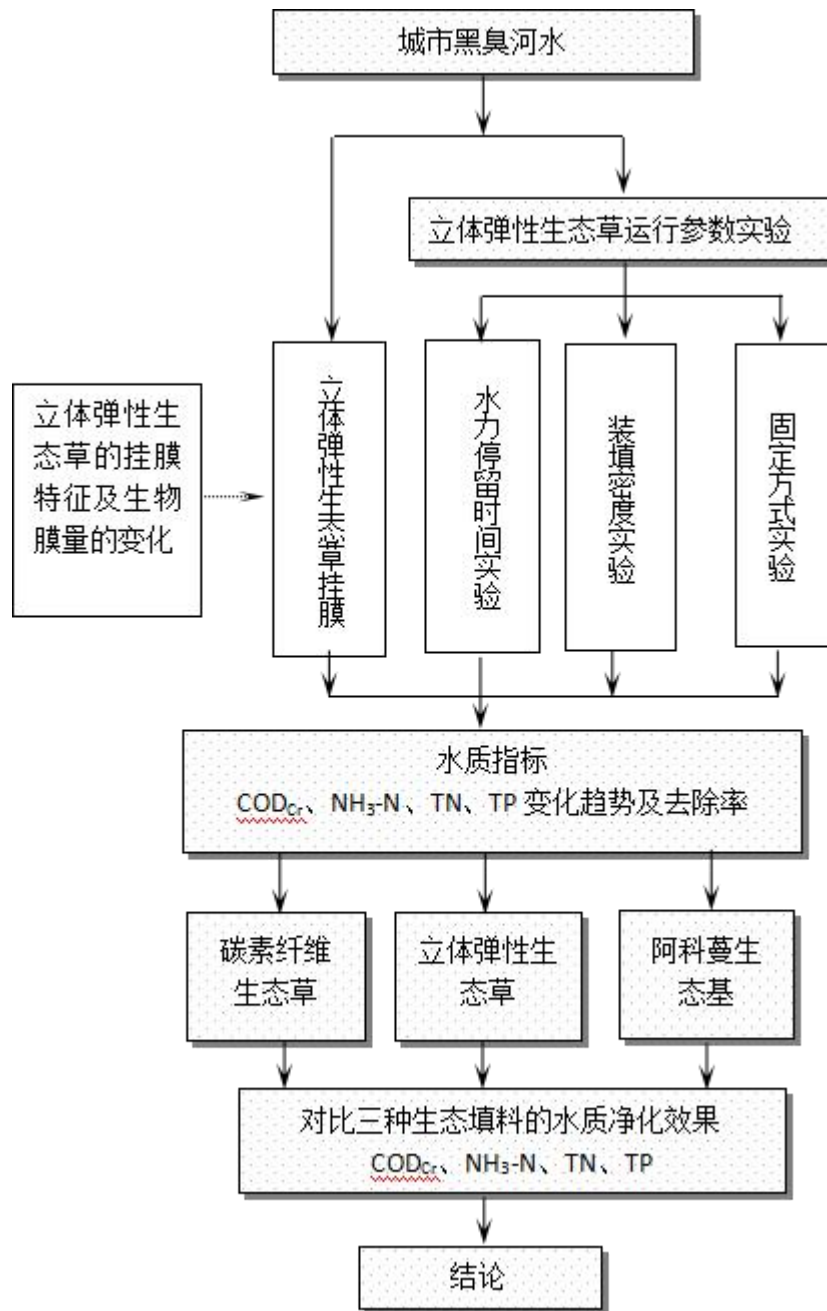
(2) 将生态草引入到黑臭水体的生态修复中。利用改性、活化的碳素材料或塑料纤维基材模仿天然水体中的水草设计加工而成的仿生水草，能强化微生物的栖息、富集，提高有机物、氮磷的处理效果。

(3) 将生态草和人工浮岛结合成复合生态草处理系统。可以发挥根系植物的吸附、吸收、降解和生物协同作用来强化单一生态草的脱氮除磷和降解有机物的处理效果。另外，复合型的生态草又解决了单一生物浮岛在冬季处理效果差的弊病，在冬季主要靠生态草上栖息细菌、微型动物降解目标污染物。

(4) 采用微曝气，根据水质和运行状况调节曝气量，可以少曝气或不曝气，节约能耗。三个单元的曝气系统独立控制，装置可以按全好氧、A/O（好氧/缺氧）、A/O/A（厌氧/好氧/缺氧）、O/A/O（好氧/缺氧/好氧）等方式灵活运行，强化目标污染物的减排效果。

(5) 在河道一侧设旁侧处理池。河道水质差时，河道长橡胶坝充气，抬高河道上游水深，旁侧短橡胶坝放气，一部分溢流进入旁侧处理池，利用生态草上的微生物减排河水中的目标污染物，经净化后的河水重力流入河道下游，利用抬高的河道水位，旁侧处理池无需水泵提升。当河道水质较好时，河道长橡胶坝放气，旁侧短橡胶坝充气，河水不进入旁侧处理池，仅利用河道中的生态草+生物浮岛进行原位处理河水。

技术路线图:



项目的技术路线及预期成果

预期成果:

- (1) 获得立体弹性生态草修复黑臭水体的关键技术;
- (2) 立体弹性生态草在城市黑臭水体修复中的实验研究报告一份;
- (3) 在国内外期刊或者学术会议上发表 1 篇学术论文;
- (4) 力求形成自己的知识产权成果, 申请专利 1 项。

年度目标和工作内容 (分年度写)

第一年度:

目标: 调研和收集资料, 制定研究方案, 设计加工实验装置, 熟悉准备检测指标的测量, 生态草挂膜。

内容: (1) 广泛查阅相关文献, 制定详细可行的研究方案;

(2) 设计实验装置, 定制实验装置;

(3) 采购所需相关药剂, 按国标方法熟悉准备 CODCr、NH₃-N、TN、TP、DO、pH 值、生物量等参数的检测;

(4) 在长沙市内选择一处黑臭水体, 取实验用水, 确定黑臭等级, 进行生态草的挂膜实验。

第二年度:

目标: 立体弹性生态草修复黑臭水体系统实验研究, 撰写结题报告, 申请专利。

内容: (1) 立体弹性生态草的铺设密度、不同铺设排列方式、不同水力停留时间、曝气量对水质净化效果影响的实验研究;

(2) 立体弹性生态草、碳素纤维生态草、阿科蔓生态基、复合生态基对黑臭河水的有机物、氮、磷等污染物的去除效果以及水体透明度的改善效果的实验研究;

(3) 撰写学术论文和结题报告;

(4) 申请专利。

指导教师意见

本大学生研究性学习和创新性实验计划项目以“立体弹性生态草修复城市黑臭水体”为核心进行实验研究, 项目抓住热点问题, 采用先进技术, 课题创新性显著, 具有较强的理论价值和现实意义。且项目的目的明确、内容适中、方案可行、特色鲜明、进度合理。项目成员成绩优良、动手能力强, 具备开展本项目的能力与水平。本项目中所需实验设备、分析仪器我校给排水专业实验室均可提供, 能保证项目研究所需的实验条件。

作为该项目的指导教师, 我承诺将给予本研究有力的支持和指导, 保障项目高质量完成预期目标。

签字:



日期: 2017年4月15日

