

河口清如许 美景入画来

水专项支撑城市出入湖河口生境改善

北倚长江,南滨太湖,江苏省无锡市由水而生,因水而兴。

石路萦回九龙脊,水光翻动五湖天。不论是“河畔港湾是家园,城中人家尽枕河”的江南风韵,还是“运河绝版地,江南水弄堂”的绝品精华,都饱蘸这座城市与水化不开的缘分。

无锡市地处长江三角洲,境内水网发达,河流纵横交错,出入湖河口众多,是我国南方水网地区水文化的典型代表,也有着许多滨湖城市都面临的难题:出入湖河口物质交换过程强烈,水动力过程复杂,污染物和泥沙堆积,水域生态环境改善难度大。为解决这一问题,2017年国家

水体污染控制与治理科技重大专项(以下简称“水专项”)设置了“梅梁湾滨湖城市水体水环境深度改善和生态功能提升技术与工程示范”项目之课题五“滨湖城市水体出入湖河口水域生境改善技术与工程示范”(2017ZX07203-005),由中国环境科学研究院湖泊生态环境研究所总工程师叶春研究员担任课题负责人,中国环境科学研究院、上海市农业科学院、上海交通大学、南京师范大学、中文(天津)生态环保设计研究院有限公司、中国科学院南京地理与湖泊研究所、无锡市太湖湖泊治理股份有限公司等7家单位携手,为出入湖河口水域生态环境质量改善提供科技支撑。



出入湖河口大型水生植物恢复效果

开展自主创新,破解治理难题

在无锡市的环湖路附近有一座小桥,桥边来往行人可以清楚地看到,河滨与蠡湖相连的一头被闸坝截断了,是条“断头浜”。

而在桥的另一侧,几块太阳能电池板簇拥着一个小型风车,风车叶片正呼呼地转动着,不断有气泡咕嘟咕嘟往水面涌。浮上水面的气泡在阳光的照射下,随着波纹荡漾开去。

这是一台风光互补能源驱动净水装置,可以利用太阳能给河水曝气增氧,是课题组针对出入湖河口治理研发的利器之一。

其实,这并不是课题组在出入湖河口治理工作上迈出的第一步。技术路线的基础,是对河口生态退化驱动因子的识别。

研究区内的贡湖湾和典型城市水体蠡湖分布有34条出入湖河流,与城区的河流水体联通,属于中小型河流,其中31条建有浆砌石坝、混凝土坝、节制闸等各类闸坝,占比91.2%。闸坝控制的出入湖河口生境条件与生态系统的演化,与人类活动、土地利用类型等影响因素密切相关,其水质也受到人为和自然因素的双重影响。

课题组调查了入湖河口形状、土地利用类型历史变化、岸带类型、水深、坡度、河口植被分布及分布、岸边土壤性状、水质、底质等多项指标,运用DPSIR模型和主成分分析法对自然因子和社会因子进行筛选,确定42项指标因子,通过熵权模糊模型、客观赋权法对河口生态环境评价指标进行赋权。

经过分析,闸坝建设、水动力、河口形状和土地利用方式等因素都会影响河口水域生态环境,喇叭型河口生境退化作用尤为严重。

于是,课题组量体裁衣,确定了从水动力改善、水质提升、底质微生态改良、水生植被恢复、岸带修复及生态系统调控六大方面开展关键技术及成套技术研发集成,在外来污染源不断得到有效控制的前提下,协同应用多项技术攻克出入湖河口的环境生态问题。

“划重点”顺利完成,并不意味着问题就能立刻解决。出入湖河口位置特殊,要先通过设备、材料的创新突破限制因素,为治理工作打下坚实基础。

第一个难关,就是空间限制。滨湖城市出入湖河口周边往往存在土地资源紧张、河口水质受闸坝阻控多为厌氧状态、局部蓝藻水华聚集等问题,课题组因地制宜,自主研发了局部水体活性过滤装置、风光互补能源驱动净水装置、可移动式生物反应净水装置。

这3种装置既可以单独使用,也可以组合应用,既能长期使用,也可以临

时应急,是原位处理河口水质的“多面手”。

局部水体活性过滤装置的核心部分是高效悬浮物过滤装置,利用高效滤网进行重力固液分离和污染物去除,同时,辅助自冲洗装置对滤网进行冲洗,及时冲洗掉容易引起堵塞的物质。装置优势十分明显,占地小(6m×2m),适合安放在藻类聚集、漂浮物多的河口岸旁,同时处理效果佳,对悬浮物和浊度的去除率均可达到70%以上,如添加生物絮凝剂,去除率可提高到85%以上。

风光互补能源驱动净水装置是一套能够利用太阳能和风能作为驱动力的纳米曝气设备,可以达到高效充氧同时降低水体氨含量的双重效果。而可移动式生物反应净水装置采用微纳曝气-活性陶粒吸附-微生态调节剂联合技术,快速改善缺氧、厌氧状态,增加生物活性,提高污染物分解速度,改善水质,特别适合于建有闸坝的“死水”型出入湖河口水质快速改善,不仅能有效改善溶解氧低的情况,还能增加好氧微生物的数量及活性,快速降解淤积在河口区的有机污染物。

攻克空间受限问题后,课题组又将目光投向水体扰动。

在出入湖河口,水动力扰动十分常见,而它能够导致底泥氮磷释放增加水体营养盐浓度、淤积淤积形成厌氧污泥,让水质改善的努力付诸东流。

课题组经过扎实研究,研发了高效磷吸附多孔材料、高效有机降解材料、固定化酶生物催化材料等一批活性材料,筛选多功能改性陶粒的活性组分,制备适合微生物或生物酶附着的功能性改性陶粒,取得了诸多成果。

以陶粒为例,二氧化钛陶粒复合体、氧化石墨烯二氧化钛陶粒复合体和钛改性白云石粉体3种重要的泥水界面微生态改良材料先后问世。

课题组用钛改性白云石粉体负载于陶粒表面,在示范现场进行了16个月的实验观测,发现表层底泥有机质与硫元素含量下降,底泥营养盐综合污染程度由重度转为轻/中度污染。与此同时,这种材料不仅降低了上覆水中的磷浓度,还抑制了底泥的磷释放,从而降低泥水界面的磷释放通量和释放速率,水体总磷含量降低60%以上,水体浊度降低70%以上。另外,泥水界面微生物丰度及多样性分析表明,有益菌群的丰度明显提高,脱氮菌数量显著增加。

重金属浸出实验表明这种材料安全可靠,无生态风险,应用成本为60元/m²,远低于市场上类似功能材料的价格,今后可以开发为一种非常有工程应用前景的底泥原位覆盖材料。



示范工程现场研究



小渣河示范工程



衔接岸带土壤下垫面改造技术

为地形“做手术”,改善水体水质

“过去这里的水又浑又臭,味道熏人,路过都要捂鼻子,只想赶紧走。”在小渣河边,市民张女士回忆道。那时候,小渣河全河道为重度污染,氨氮浓度平均为2.90mg/L,总磷浓度平均为0.35mg/L,水体浑浊,夏季藻类聚集,透明度不足0.1m,并时有黑臭现象发生。

“现在不仅不臭了,还有绿油油的水生植物,我们有时会专门放慢脚步,欣赏风景。”张女士说。

老百姓的感受,也印证了小渣河的治理效果。一年多来,小渣河水体透明度长期维持在1.0m以上,部分河段清澈见底,水质长期稳定在地表水Ⅲ类标准或以上,其中氨氮平均浓度降至0.66mg/L,比工程实施前降低77%,总磷平均浓度为0.04mg/L,比工程实施前降低89%。

这样的改变,离不开岸带径流拦截、底质改良、局部滤解带构建等一系列技术的应用。也就是说,课题组成功对河口地形进行了改造,突破了出入湖河口环境治理的一大瓶颈。

针对出入湖河口水文水动力条件复杂、水生植物定植困难、闸坝型河口受相关部门调控限制改建等因素,课题研发了适合于狭窄河口区域的微地形改造技术和柔性导流装置,用于减缓开闸期间高速水流对底泥、底栖生物和大型水生植物的冲击。

改造方案充分考虑了各种可能的情况,尽量选择河口口内段清淤开挖,增大过水断面,开挖范围覆盖全部口内段;若不能全部覆盖,则应尽可能覆盖口内段上游。

柔性导流装置是由柔性浮体和柔性导流帘构成的,适用于水流速过大不利于植物生长,或水流过弱不利于水体交换而引起水质恶化的出入湖河口区域,具有水深适

应性强、景观效果好、可循环利用、施工组装和拆卸方便等特点。

除了缓解开闸期间的河口水动力冲击,课题组还要布局出入湖河口岸带污染物拦截。

由于出入湖河口岸带多受水利条件限制,不能做大规模改建,课题组在识别岸-水衔接的敏感带与关键点及岸带辐射与稳定的重点区域基础上,兼顾城市景观功能要求,从土-水断面联动修复的角度,开展了以生态拦截-生态衔接为目标的岸带修复技术研究,形成了微地形与局部垫面改造拦截技术和滨水滤解带构建技术系统,以恢复稳定健康的河湖连接岸带。

技术以不影响岸带游憩功能为前提,在有条件的区域合理布局拦蓄沟,实现对径流污染物的初步拦截与净化,对夏季径流中总氮和总磷的平均去除率分别为35%和40%以上。

同时,拦蓄沟中的环境条件能使沉水植物具有较为稳定的生态化学计量特征,维持较好的生物稳定性,可以有效提升水体近岸生态功能。

课题组还注意到,当地现有的公园化岸带存在土壤生态拦截与调节功能退化等问题。因此,针对性地研发了衔接岸线基底生态护坡技术,形成了一套下垫面改造工艺。这一技术以不改变现有坡度和主要断面形式为前提,利用三维网垫加生物炭基质或与红壤组合,形成下垫面改造的“两垫一基”组合材料。

试验效果表明,与对照组相比,对总氮和总磷的拦截效率达到25%以上,同时,垫面材料的铺设提高了部分酶活性,说明技术系统有效改善了近岸土壤微生态条件,提升了生态调节功能。

此外,针对硬质驳岸生态功能缺失、生物活性降低等问题,课题组首次提出了河口硬质驳岸滨水滤解带构建技术,研发形成了以滤解带装置为核心的工艺技术,具有径流初步拦截、岸线活性增强、水体水质稳定及岸带景观提升等功能。试验及应用效果表明,短期内滤解带增强了水体中氮的代谢过程,提高了微生物的代谢活性;长期来看,滤解带对水体中总氮和总磷的去除率均可达30%以上,同时可以稳定水体水质。

趋势喜人,同时也说明这项技术不仅促进了水体悬浮颗粒物从水体向沉积物的输移,降低了底栖食性鱼类对沉积物的扰动,还促进了水生植物种群扩张与群落稳定,达到了完善河口水生态系统结构、增强水体自净能力与生态系统稳定性的目的,从而提升河口栖息地生态保育功能的能力。

据统计,课题组自主研发了3套设备,20余项单项技术,其中含3项关键技术,形成了“滨湖城市水体出入湖河口生境改善成套技术”,经过实践验证,成效显著。

在新湖田庄浜河口区,早年间黑臭水体在示范工程实施30天后,透明度由示范前的不足5cm,已经稳定提升到85cm~20cm,居民纷纷感叹:“水清凌凌的,看着就高兴。”

如今,这里的水体总有机质减少75%以上,上覆水磷浓度显著下降,溶解氧水平提升到5mg/L~7mg/L,浊度平均削减76%,叶绿素a水平降低至5μg/L;表层底泥有机质含量削减5.6%,各类重金属潜在生态风险下降。水体透明度从0.38m提高到1.2m。

新湖田庄浜只是一个缩影。课题组研发的关键技术和已有技术的集成成果,已经为无锡当地带来了许多变化。

在无锡市的10处出入湖河口的示范工程中,水体透明度平均较2017年均值提高20%以上,总氮浓度平均降低20%以上,总磷浓度平均降低10%以上,水质、生态状况与景观明显改善。

在总结技术应用成果的基础上,课题组还编制了《出入湖河口生境改善技术指南》,为太湖地区和全国的滨湖城市水体出入湖河口生境修复提供了有力的科技支撑。

李玲玉

恢复水生态,河口现生机

“治太2.0版本启动以来,无锡市的河湖水质都有了明显改善。”在无锡市太湖办“领衔”参与太湖治理的顾岗表示。

太湖无锡水域网是全太湖水质最差的水域,经过十多年治理,如今水质已经好于全太湖,尤其是一直以来“拖后腿”的总氮,已达到了Ⅳ类标准。

成绩背后,也有课题组聚焦生态恢复的不懈努力。课题组深知,河湖治理,仅有丰富的水资源、优美的水环境是不够的,还要有健康的水生态。

针对城市出入湖河口水域水生植物稀少、生物多样性低的现状,课题组采取四重筛选法,层层筛选,分别得到适宜无锡地区的水生植物的初筛种、适应河口水力冲击以及丰水期与枯水期变化的次筛种、对河口水质改善明显的三筛种,现场生境下水生植物群落优胜劣汰的四筛种(终选种)。

通过混合种植,让水生植物自我竞争和淘汰,形成自然混种的群落,以确定出入湖河口沿岸带丰水期与枯水期最适合的植物组合;在低水位时植物配置以较为不耐水淹的慈姑为主;中水位时以再力花为主,高水位时以较为耐水淹的茭草为主。

课题组将这些水生植物种植在出入湖河口区之后,还十分注重对水生植物的生物量进行管理,尤其在初冬时期安排适当收割,防止水生植物腐烂分解对水体产生污染。

在实践的基础上,课题组及时总结经验,使用

适宜生物量评估方法,利用生态模型,按生长期以水质改善为目标和衰亡期植物腐解的二次污染问题,对出入湖河口水生植物进行评估。通过模型运算得出,课题工程示范区的挺水植物、沉水植物在生长期的适宜干重生物量分别是1930g/m²、215g/m²;初冬收割后的挺水植物、沉水植物干重生物量适宜保持在932g/m²、26g/m²左右。

这些研究为实现植物的科学管理、生态修复工程实施及其后续维护提供了重要的科学依据,也为实现我国湖泊智慧管理模式进行了探索。

河口生境改善的最终目的不仅是提高水质,也是为水生生物营造适宜的生活环境。考虑到底栖动物对水体浊度与水质有重要影响,课题组研发了功能摄食类群底栖动物配置技术。

具体来说,基于单位体重滤除率的结果,对于藻华水体,课题组筛选出河蚬和三角帆蚌,投加到河口后水体总悬浮物减少了18%,透明度提高7cm,总磷浓度从0.333mg/L降低到了0.125mg/L,总氮浓度从2.22mg/L降低到了1.51mg/L,效果十分明显。在研究中,课题组还发现,幼蚬数量的减少有利于沉水植物的生长,促进叶片的生长和株高的增加,增加分株数。

在功能摄食类群底栖动物配置技术实施工程中,研究结果表明,底栖动物多样性指数均呈现出逐渐增多的趋势。



河口生态拦截沟中试