

四池三坝工艺在养殖尾水处理中的应用

汪兵

(中交一航局武汉建设投资有限公司)

摘 要:为解决农业养殖尾水污染区域水生态环境及流域生态环境问题,以洪湖市某养殖渔场应用主要沟渠结合四池三坝工艺技术处理养殖尾水的实例。对传统的四池三坝工艺技术进行改进:将过滤坝改成生物刷,实现了过滤功能的改进和维修保养;在生物净化池中采用立体生态浮床,提升水质改善效果;将沟渠体系分类整合并纳入水质净化体系,实现了养殖尾水的达标排放及回收利用。经监测对比发现,采用改进后的四池三坝工艺技术,实现了养殖尾水从Ⅴ类、劣Ⅴ类到Ⅲ类甚至Ⅱ类水质的改变,充分展现了改进后的四池三坝工艺技术的科学性、可操作性及实用性,对区域内其他大面积、大流量的养殖区尾水治理具有指导借鉴意义。

关键词:四池三坝;生态沟渠;立体生态浮床;人工水草;循环利用;梯级治理

1 工程概况

洪湖市某养殖渔场占地面积约为 587 万 m^2 ,净养殖面积约 520 万 m^2 ,区域内大小沟渠约 24 条,沟渠年久失修,且大部分互不相通。养殖尾水排放和外侵物种水葫芦等肆意泛滥导致水环境污染问题日益突出^[1],主要包括以下方面:

- 1) 从污染源种类来看,主要是连片池塘内的养殖尾水以及农业面源污染物。
- 2) 从污染源强度来看,主要是周期性集中排水,排水量大,污染负荷较高。
- 3) 从污染源产生的周期来看,长期进行水产养殖导致养殖过程中所产生的污染加剧和累积,区域内部分水体黑臭、沟渠淤积,严重影响区域及周边水环境。

2 养殖区域水系统现状

2.1 沟渠现状

1) 沟渠淤积严重

本区域内养殖尾水排放通道以中小沟渠为主,沟渠淤积严重致使其过水能力锐减,养殖尾水无法及时汇入主沟渠外排,导致沟渠污水经常发生漫溢现象。

2) 部分水系未连通

本区域内水系控制节点构筑物(如涵、闸等)老旧破损,不能充分发挥截流、泄流等功能,严重阻碍本区域内整体水系的自由畅通;区域近一半的沟渠之间彼此互不连通,导致沟渠水体自我净化能力降低,水质进一步恶化。

2.2 养殖尾水的排放现状

本区域沟渠养殖尾水排向两处:1) 养殖塘尾水通过沟渠排入洪湖大湖水域;2) 养殖塘尾水通过沟渠排入城区内荆河。未经治理而排放的养殖尾水不仅污染了养殖区域的水域生态环境,更污染了洪湖大湖水域生态环境,影响恶劣。因此,养殖尾水需治理达标后再排放,并不得直排入大湖水域。

3 养殖尾水污染现状

3.1 养殖尾水污染源

养殖尾水主要污染来源为:1) 养殖生产投入品,主要为饵料、渔药和越冬期肥料等以溶解态和非溶解态直接进入水体;溶解态导致水体中某些环境因子含量的增加,非溶解态则以池塘底泥沉积下来,再通过底泥的释放再次进入水体,导致水体的营养成分氮(N)、磷(P)等环境因子含量大大增加,造成水体污染^[2];2) 养殖生物的排泄物、残饵和死亡的养殖生物的沉积,日积月累,造成底泥污染。养殖塘不定期的换水,使养殖塘的底泥污染物释放至沟渠内,造成尾水与沟渠水交叉污染,进而污染区域内整个水系环境。

3.2 养殖尾水污染物各指标现状

养殖区域尾水污染物指标检测主要是在典型区域定期取水样及土样,检测水中的 PH、高锰酸盐指数、总氮、总磷污染源等指标含量。从检测结果看出:1) 用水需求量大,池塘投药频繁的时段养殖池塘水质整体呈现劣Ⅴ类;反之,用水需

求量小且无投药时段水质可达到Ⅳ类。2) 沟渠总磷和高锰酸盐指数明显优于养殖池塘,水质达到Ⅳ类,养殖池塘水质稳定在劣Ⅴ类。

4 养殖尾水治理整体思路

本区域养殖尾水采用生态沟渠初步处理及尾水净化区深度处理的梯级处理模式,具体治理思路是:养殖尾水通过沟渠水系连通汇集后,经主要沟渠进行初步处理后进入尾水净化区;尾水净化区采用四池三坝工艺技术对尾水进行深度处理,达标后经新建的闸站排入生态沟渠。达标排放后的尾水可供养殖池塘生产使用,达到内部水源动态平衡、循环使用的目的;同时可防止养殖尾水未经处理直排入湖、入渠污染区域及下游水环境。

5 主要沟渠尾水初步治理

5.1 现状沟渠整治

根据本区域养殖尾水整体治理思路,将现状沟渠进行功能区分:其中3条沟渠纳入主要沟渠,种植沉水植物,主要进行养殖尾水初处理;剩余的21条沟渠纳入生态沟渠,收集达标排放的尾水,作为养殖塘取水来源。

确定功能区分后,需对不符合要求的现状沟渠进行修整,主要是淤泥疏挖及边坡修整,必要时采取杉木桩加固,务必使其满足使用功能。

根据沟渠使用功能,将区域内的沟渠通过设置埋管闸、节制闸等闸站及局部明挖的方式对整个水系进行连通或者截流,确保养殖尾水能达标排放和动态循环使用。

5.2 主要沟渠对养殖尾水的初处理

养殖尾水排入主要沟渠后,沟渠内种植的沉水植物对尾水进行初步处理后汇入尾水净化区。沟渠沉水植物主要是种植苦草、马来眼子菜和轮叶黑藻。苦草和马来眼子菜可吸附尾水中的底泥,吸收氮磷^[3];轮叶黑藻不仅可以吸收氮磷,还可以通过光合作用释放溶解氧,为水中的其它生物生存和分解处理污染物创造条件。三者初步处理养殖尾水的功能如下:

1) 苦草

苦草叶面较长,根系比较发达,附着水底的能力比较好,吸收水底物质的能力比较强。苦草对尾水中的污染物进行吸收、挥发、根滤、降解、稳定等,达到初步净化水质的作用。

2) 轮叶黑藻

养殖尾水中主要含高锰酸盐指数、总氮、总

磷污染源,轮叶黑藻的脉部毛孔可吸收水质中富余氮磷;过滤悬浮于水中的有机杂质;通过光合作用,为其它水生生物提供一定溶解氧(DO);根部吸收沉底的动物排泄物作为肥料,在养殖尾水初处理中发挥重要的净化作用。

3) 马来眼子菜

马来眼子菜主要通过吸附水质中的氮磷和水体底泥碳对养殖尾水进行净化作用,对养殖尾水的初处理效果非常好。

6 尾水净化区治理工艺

6.1 四池三坝工艺流程

在尾水净化区设置四池三坝,主要是由沉淀池、曝气池、生物净化池、清水池及3道过滤坝组成,占地面积22万m²。

四池三坝工艺技术养殖尾水治理路线图见图1。

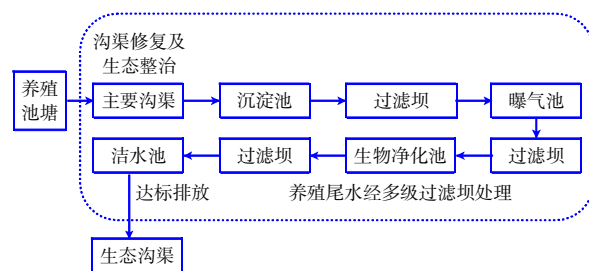


图1 四池三坝工艺技术路线图

6.2 四池三坝及尾水处理措施

6.2.1 沉淀池

1) 沉淀池构造

沉淀池长度317m,宽度296m,深度2.5m,占地面积为120000m²,占尾水净化区总面积的45.1%。沉淀池内部开挖的土方除用于在池体中间部位设置树枝状的生态岛之外,其余土方都用于沉淀池四周池埂的加高培厚。沉淀池常水位以下边坡坡比为1:3,常水位以上边坡坡比为1:3~1:5。树枝状生态岛主枝长度为180m,宽度为40m,主枝四周设置5条分枝,分枝长度为80m,宽度为20m,坡比均为1:3。生态岛及四周池埂在常水位以下0.5m的边坡部位种植挺水植物,种植宽度为1m,挺水植物种类为黄花鸢尾、水生美人蕉、芦苇、梭鱼草、香蒲、茭白、芦笛等;沉淀池水流进水口至出水口行进方向上,间隔15~20m种植苦草、轮叶黑藻及眼子菜,种植宽度为6~8m。沉水植物种植总面积28000m²,挺水植物种植总面积为1800m²。

2) 沉淀池尾水处理

养殖尾水从进水口进入沉淀池后,通过生态岛挡水设施,水流流速下降,水流流程加长,在沉淀池中停留的时间也相应延长,使水中悬浮的部分固体颗粒逐步下沉至池底;同时经过苦草、轮叶黑藻及眼子菜等沉水植物的吸收过滤作用,使水中的大颗粒有机质混凝沉淀至池底,氮、磷元素及高锰酸盐可得到初步处理。当梅雨季节及汛期强降雨,导致浑浊的养殖尾水短时间内大量涌入沉淀池时,仅依靠挡水设施及沉水植物沉淀、吸收及过滤无法得到有效处理时,可以适当在水中添加絮凝剂,使水中大颗粒悬浮物的加速沉淀,使氮、磷元素及高锰酸盐可以与沉水植物充分接触,达到吸收过滤的目的;水中大颗粒悬浮物的及早沉淀,可避免水流携带大颗粒悬浮物通过过滤坝时,堵塞过水通道。

沉淀池的沉淀、絮凝和初步吸收作用,使养殖尾水初步净化后通过过滤坝流入曝气池。

6.2.2 曝气池

1) 曝气池的构造

曝气池长度为 155 m,宽度为 68 m,面积 10 540 m²,深度 2 m,占尾水净化区总面积 5.3%。曝气池主管从风机房引入,主管为热镀锌钢管,规格为 DN200×6.5,长度为 164 m;曝气支管有 2 种规格,分别为 DN160×11.8 和 DN50×3.7,均为 PE 管。主管和支管均间隔 6 m 设置一个直径 80 cm 的曝气盘,共设置 312 个曝气盘。风机房配备功率为 22 kW 的罗茨鼓风机 2 台,一备一用。

2) 曝气池尾水处理

养殖尾水经沉淀池沉淀处理后通过第 1 道过滤坝进入曝气池,通过曝气设备作用,增加水体溶解氧含量,加快水中的有机污染物氧化分解成 CO₂ 和 N₂ 后进入空气中。曝气池中可适当添加微生物制剂,培育有益细菌,分解水体中的有机物。通过沉淀池及曝气池的作用,进一步去除水中的有机物含量,使水质得以净化。

6.2.3 生物净化池

1) 生物净化池的构造

生物净化池长度 250 m,宽度为 180 m,深度 2 m,占地面积为 45 000 m²,占尾水治理设施总面积 13%。

生态浮床与人工水草是 2 种常用的水生态修复技术,本区域创造性地将这 2 种技术进行耦合,

形成了一种新产品与新技术——立体生态浮床。其中生态浮床由 11 组单组生态浮床面积为 200 m² 组成,构成一个总面积为 2 200 m² 的大生态浮床;人工水草主要是种植水芹、水葱及水生鸢尾,种植面积分别为 1 100 m²、660 m² 及 440 m²。

2) 生物净化池尾水处理

养殖尾水经沉淀及曝气处理后,通过第 2 道过滤坝进入生物净化池,可通过池内悬挂的生物过滤毛刷定期添加芽孢杆菌、光合细菌等微生物制剂,经过立体生态浮床及微生物的双重作用,加速分解水中的有机物,去除水中的氨氮、亚硝酸盐、硫化氢等物质,从而达到进一步净化水质的目的。

6.2.4 洁水池

1) 洁水池的构造

洁水池长度 500 m,宽度为 150 m,深度 2 m,占地面积为 75 000 m²,占尾水治理设施总面积 30%。

洁水池内水生态系统构建主要包括种植挺水植物群落、沉水植物群落、浮叶植物以及放养合适的鱼类和底栖动物^[4]。通过在洁水池内水下部分构建微地形,以适应不同种类水生动植物的生长需求。洁水池内部安装 10 台提水式曝气机,为内部动植物生存提供充足的氧气。池内种植苦草、铜钱草、空心菜、狐尾藻等沉水植物,水面种植睡莲、荇菜等浮叶植物;同时在池内放养鲢鳙鱼、河蚌、螺蛳等滤食性水生动物。水生植物种植面积 20 000 m²。

2) 洁水池尾水净化处理

生物净化池水流经第 3 道过滤坝进入洁水池,池内挺水植物、浮叶植物、沉水植物及滤食性水生动物形成的立体水生态处理系统,可以很好吸收水体中的富营养物及有毒有害物质。通过提水式曝气机的增氧作用,可为池内沉水植物的生长繁殖及浮游动物的成长带来积极作用。其中,浮叶植物、沉水植物生长旺盛,不仅可以形成良好生态景观,而且对氮、磷等污染物具有较强吸收能力。水生动物选择对浮游动植物及生态链具有控制作用的关键种,池水中可放养鲢鳙、螺蛳等不影响本地生态系统的物种。

经过生态沟渠、沉淀池、曝气池、生物净化池、洁水池及过滤坝等四池三坝的层层净化过滤吸收作用,不仅将尾水中的大颗粒有机质进行沉

淀，同时也对沉降的有机颗粒物进行分解，对水中的氮、磷等元素及高锰酸盐进行吸收处理，实现水的最终净化，达到尾水排放标准。

6.2.5 生态隔断

1) 生态隔断的构造

经综合考量，过滤坝采用生态隔断的形式。在沉淀池、曝气池、生物净化池及洁水池等池体两者之间设置生态隔断，既能对尾水区进行功能分区，也能确保水流通畅性。生态隔断利用钢结构固定支架，主体为人工水草(生物刷)，每根刷子的中心间距为 0.3 m。生态隔断长度为 15 m，宽度 2 m，深度 2.0 m，设置在水面以下，且略低于常水位。

2) 生态隔断尾水净化功能

养殖尾水流经生态隔断后，生物刷之间的小间距不仅可以拦阻体积较大的废弃物及杂物，防止堵塞过水通道，而且生物刷自身的过滤和吸附能力可对水体杂质进行处理，去除水中悬浮颗粒，如浑水中土颗粒、死亡的外侵物种(如水葫芦、水花生等)、养殖饲料残留和微生物菌类等，增加水体的透明度并净化水质。

6.2.6 配套工程

1) 疏挖清表工程。主要包括 2 部分：①尾水

净化区淤泥土方开挖，围埂加高培厚形成四池三坝养殖尾水净化区；②本区域内所有沟渠的驳岸清理及护坡、沟渠内淤泥疏挖工程。

2) 管闸工程。主要沟渠间连通的明挖沟渠或者埋设管道及闸门启闭机安装工程、水系连通及调配、新建节制闸工程、提升泵站等。

3) 景观工程。景观工程主要是尾水净化区围埂整形完成后，种植乔灌木及地被植物，用以点缀尾水净化区的景观。

7 尾水治理成果

尾水治理前养殖池塘水质整体呈现劣 V 类，沟渠总磷和高锰酸盐指数明显优于养殖池塘，主要为Ⅳ类。养殖尾水水质检测指标参照淡水养殖废水排放标准指标，如表 1 所示，主要检测高锰酸盐指数、生化需氧量、悬浮物、总氮、总磷的含量及排放量。淡水池塘养殖水水质监测取样采集地应设在排水口处，储存、运输和预处理应按 HJ 495—2009《水质 采样方案设计技术规定》、HJ 494—2009《水质 采样技术指导》、HJ 493—2009《水质采样 样品的保存和管理技术规定》的有关规定执行。

养殖尾水治理前后检测结果分别如表 2、表 3 所示。

表 1 水质测定标准表

序号	项目	检测标准/(mg·L ⁻¹)	依据标准
1	化学需氧量(CODMn)	≤0.5	GB/T 118925—1989《水质 高锰酸盐指数的测定》
2	生化需氧量(BOD ₅)	≤2	HJ 505—2009《水质 五日生化需氧量(BOD ₅)的测定 稀释与接种法》
3	悬浮物(SS)	≤2	GB/T 119015—1989《水质 悬浮物的测定 重量法》
4	总磷(TP)	≤0.05	HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》
5	总氮(TN)	≤0.01	GB/T 118935—1989《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》

表 2 尾水治理前水质测定数据表

							mg/L
序号	水质监测点名称	化学需氧量(CODMn)	生化需氧量(BOD ₅)	悬浮物(SS)	总磷(TP)	总氮(TN)	水质类别(地表水)
1	入湖口外	7.9	19.8	4.9	0.084	1.03	Ⅳ
2	入湖口内	9.5	38.4	4.7	0.103	1.73	V
3	生态沟渠 1	7.3	27.2	6.7	0.077	1.43	Ⅳ
4	生态沟渠 2	6.5	20.9	7.2	0.065	1.04	Ⅳ
5	生态沟渠 3	6.8	20.8	6.9	0.087	0.91	Ⅳ
6	养殖池塘 1	10.3	39.2	11.3	0.441	1.88	劣 V
7	养殖池塘 2	16.9	55.9	12.2	0.254	2.04	劣 V

表 3 净化区末端水质监测情况

检测日期	检测指标					mg/L
	化学需氧量(CODMn)	生化需氧量(BOD ₅)	悬浮物(SS)	总磷(TP)	总氮(TN)	
2023-06-12	0.45	1.87	1.76	0.045	0.0091	
2023-09-25	0.39	1.76	1.85	0.046	0.0089	
2023-12-10	0.47	1.91	1.64	0.039	0.0087	
2024-03-09	0.39	1.88	1.63	0.042	0.0077	

通过表 2、表 3 的数据对比分析可以看出,经治理后的尾水中化学需氧量、生化需氧量、悬浮物、总氮、总磷的含量及排放量大幅度减少 90% 以上,且各指标远优于 SC/T 9101—2007《淡水池塘养殖水排放要求》二级标准。因此,优化后的四池三坝工艺技术具有科学性、可操作性、实用性,对养殖尾水的治理有显著的净化作用,预计可削减化学需氧量 57.38 t/a、总氮 11.47 t/a、总磷 2.3 t/a。养殖尾水治理的目的,不仅能改善区域的水质环境,而且水质达标后优先用于养殖池塘回灌用水,实现区域水资源动态循环,提高整体经济效益。

8 结语

为了更好改善区域水生态环境,本区域优化了传统做法,将尾水净化区四池三坝工艺技术与生态沟渠治理相结合,形成尾水梯级治理方式;在生物净化池中将生态浮床与人工水草 2 种水生态修复技术进行耦合,形成一种新产品与新技术——立体生态浮床;在沉淀池中改造生态岛等。沉淀池的改造不仅能显著的增加养殖尾水混凝沉

淀效果,同时提升了尾水净化区整体的造型及景观,降低了造价;立体生态浮床的构建,加速水中的有机物的分解,对水质的净化产生良好的效果;沟渠与尾水净化区形成的梯级治理方式将整个区域的水生态环境纳入治理,显著的改善了区域的水生态环境,达到了尾水治理的目的和效果。

养殖尾水治理达标排放后,可形成区域水资源动态平衡,不仅有效解决了养殖尾水随意排放导致的环境污染问题,也间接节约了养殖户的投资,提高了水产品的养殖品质。

参考文献:

- [1] 徐嘉波,刘永士,施永海,等.淡水集中连片池塘与养殖尾水处理系统的综合水质评价[J].上海海洋大学学报,2022,31(1):170-180.
- [2] 吴志江,稻森隆平,稻森悠平,等.关于各种沉水植物及水生动物的水质净化功能的分析——于生态工学角度的考察[C]//2010 中国环境科学学会学术年会.2010.
- [3] 高敏,刘鑫,邓建才,等.不同水质对沉水植物马来眼子菜主要生理指标的影响研究[J].生态环境学报.2015,24(11):1886-1892.
- [4] 樊恒亮.沉水植物对不同营养条件和水深梯度的响应研究[D].安徽:安徽理工大学,2017.