

# 三级处理塘与生态沟渠用于农业面源污染治理

王翔<sup>1</sup>, 张伟<sup>1</sup>, 杨文辉<sup>1</sup>, 陈少华<sup>2</sup>, 孙建海<sup>3</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 北京分公司, 北京 100081; 2. 中铁十五局集团有限公司, 上海 200040; 3. 青岛西海岸新区城市管理局 <水务局> 市政公用管理办公室, 山东 青岛 266400)

**摘要:** 针对农业种植中使用化肥、农药等造成的农业面源污染,以宁波市白米湾村为例,通过三级处理塘、生态沟渠等生态修复措施的应用,对农业面源污染进行削减。实际工程运行结果表明,三级处理塘与生态沟渠构成的复合处理系统具有占地小、投入少、效率高的特点,针对进水水质为劣V类的水质条件,处理后出水水质可稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类水质标准,适用于我国南方城市的农业面源污染治理。

**关键词:** 三级处理塘; 农业面源污染; 生态修复

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0094-05

## Application of Tertiary Treatment Ponds and Ecological Ditches in the Treatment of Agricultural Non-point Source Pollution

WANG Xiang<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, YANG Wen-hui<sup>1</sup>, CHEN Shao-hua<sup>2</sup>, SUN Jian-hai<sup>3</sup>

(1. Beijing Branch, North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100081, China; 2. China Railway 15 Bureau Group Co. Ltd., Shanghai 200040, China; 3. Qingdao West Coast New District Urban Authority <Water Bureau> Municipal Public Administration Office, Qingdao 266400, China)

**Abstract:** In view of the non-point source pollution caused by the use of chemical fertilizers and pesticides in agricultural cultivation, taking Baimiwan village of Ningbo as an example, the agricultural non-point source pollution was reduced through the application of tertiary treatment ponds, ecological ditches and other ecological restoration measures. The practical project showed that the composite treatment system consisting of tertiary treatment pond and ecological ditch had the characteristics of small land occupation, low investment and high efficiency. In view of influent water quality which was inferior level V, the treated effluent quality could steadily meet the level III criteria of *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002). This technology is suitable for the treatment of agricultural non-point source pollution in southern cities of China.

**Key words:** tertiary treatment pond; agricultural non-point source pollution; ecological restoration

农业面源污染,是指在雨水的冲刷或径流过程中,农业生产及生活中的污染物随着水流作用,以地下渗漏、农田排水或地表径流的方式进入到受纳水体中,从而造成的污染<sup>[1]</sup>。针对浙江省农业面源污

染的成因与特征,柯紫霞等<sup>[2]</sup>曾提出通过调整农业结构、耕作方式革新、推广循环农业技术、完善农业服务体系和制定补贴政策等途径实现源头控制,但仅通过政策引导及管控,很难在短期内达到农业面

源污染控制的理想效果。

白米湾村位于宁波市海绵城市试点区的西北部,现状用地以种植水稻的农田为主,农田排水未经处理直接排入白米湾河,造成水体污染。由于地处生态区域,为了在近期满足海绵城市建设的各项指标要求,又不破坏自然本底条件,宁波市制定了“修山、修水、控污染”的生态区建设策略。其中,通过建设三级处理塘与生态沟渠的复合系统控制农业面源污染即为一项重要的建设内容。对白米湾村现状农业面源污染评估、处理工艺、运行效果进行阐述,以期对评估农业面源污染现状、合理推广使用三级处理塘与生态沟渠构成的复合系统提供必要的参考依据。

## 1 现状农业面源污染评估

### 1.1 污染源类型

首先,白米湾村已经建设了较为完善的生活污水收集与处理系统,在农田排水中无生活污水混杂的现象。其次,村民主要经济来源为水稻种植,且白米湾村农田上游及周边区域无集中式养殖企业,根据实际调研统计结果,白米湾村的家禽养殖户共37户,家禽共143只,由于家禽粪便未排入农田,故白米湾村农田排水中的污染物来源主要为地表径流造成的面源污染和农药化肥使用造成的农业面源污染。文中所述农业面源污染评估,均指农药化肥使用造成的农业面源污染量计算。

### 1.2 农业面源污染计算

由于农药化肥使用造成的农业面源污染物排放量可根据式(1)进行计算,标准农田源强系数取值如下:COD、NH<sub>3</sub>-N、TP分别为151.5、30.3、9.1 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。根据宁波市各县市区农村能源和农业物资消耗统计结果,江北区单位农田的氮肥施用量为232.6 kg/hm<sup>2</sup>,磷肥为108.5 kg/hm<sup>2</sup>(折纯),以此确定化肥施用量修正系数取值0.9<sup>[3]</sup>,同时,考虑宁波市地势平坦、降雨充沛,坡度流失系数、降雨量修正系数分别取1.0<sup>[3]</sup>、1.2<sup>[3]</sup>。

$$W_{\text{农业污染物排放量}} = M \times \alpha_1 \quad (1)$$

式中  $M$ ——耕地面积, hm<sup>2</sup>

$\alpha_1$ ——农田源强系数, kg/(hm<sup>2</sup>·a)

白米湾村的农田面积共3.2 hm<sup>2</sup>,根据式(1)可计算出现状农业污染物排放量:COD为523.6 kg/a、NH<sub>3</sub>-N为104.7 kg/a、TP为31.45 kg/a。

考虑COD、N、P等污染物在入河前经发酵贮

存、土壤吸附等作用,存在一定衰减,故根据式(2)计算入河污染物量。其中,COD入河系数取0.5<sup>[3]</sup>,N、P入河系数取0.8<sup>[3]</sup>。

$$W_{\text{农业污染物入河量}} = W_{\text{农业污染排放量}} \times \alpha_2 \quad (2)$$

式中  $\alpha_2$ ——入河系数

根据式(2),最终计算得出白米湾村现状农业面源污染物入河量:COD为261.8 kg/a、NH<sub>3</sub>-N为83.76 kg/a、TP为25.16 kg/a。

## 2 处理工艺

### 2.1 工艺选择

由于项目区位的特殊性,选择工艺时需遵循“维护需求低、处理效果好、景观价值高”的原则。综合考虑建设原则及现场实际情况,在将现状排水沟渠改造为生态沟渠的基础上,通过新建由“生物调蓄塘-生态净化塘-生态景观塘”组成的三级处理塘,对农业面源污染物进行削减。三级处理塘与生态沟渠均为无动力运行设施,可省去电费、设备检修等后期维护费用,有效减少成本投入,工艺流程见图1。设计参数:每6.6 hm<sup>2</sup>农田设置0.3 hm<sup>2</sup>三级处理塘,因此,在白米湾村共设置三级处理塘0.16 hm<sup>2</sup>。选取白米湾村北部的三级处理塘A、生态沟渠A为例进行介绍,设施布局及服务范围见图2。

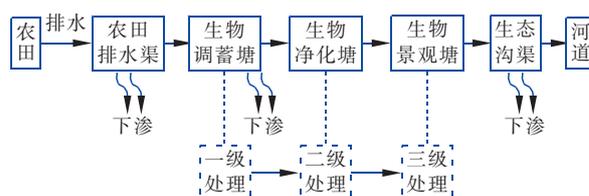


图1 农业面源污染处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of agricultural non-point source pollution treatment process



图2 三级处理塘A及生态沟渠A平面布置

Fig. 2 Layout of tertiary treatment pond A and ecological ditch A

## 2.2 工艺特点

### 2.2.1 三级处理塘

#### ① 生物调蓄塘

生物调蓄塘以种植美人蕉、鸢尾等挺水植物为主,并在进水前端设置格栅,塘底铺设过滤介质,用于拦截、过滤农田排水中的大型垃圾、颗粒物等,同时具有一定的缓冲作用。美人蕉、鸢尾均为根系发达的水生植物,可直接吸收、利用水中的无机磷,促进自身生长。而其通气组织可输送大量的氧气进入水体,有利于水中的好氧微生物大量繁殖并分解污染物。实验表明,美人蕉+鸢尾的植物组合具有显著相关性,在实验持续35 d后,总氮、总磷去除率分别达到64.08%、88.44%<sup>[4]</sup>,具有极强的水质净化效果。

#### ② 生物净化塘

生物净化塘以种植苦草等沉水植物为主,并投放螺、蚌等水生动物,主要作用是吸收水中的有机物。苦草作为常见的沉水植物,在水生生态系统中有着不可替代的作用,不仅可增大水中的溶解氧含量,抑制藻类的繁殖速率,促进根系附近的好氧微生物大量繁殖并分解水中的污染物,使水体表现清澈,形成水下森林的视觉效果,而且其生长需要吸收大量的氮、磷等营养物质,对氨氮、总磷的去除率分别可达到91.94%、90.02%<sup>[5]</sup>。此外,有研究表明,“沉水植物+螺、蚌”的组合对TP的去除效果要优于单独种植沉水植物<sup>[6]</sup>,因此,在生物净

化塘投放螺、蚌等水生动物可进一步促进水质净化。

#### ③ 生物景观塘

生物景观塘以种植伊乐藻为主,并放养鱼、虾、田螺等水生动物,进一步削减有机物含量。伊乐藻具有环境适应能力强、生长速率快的特性,可大量吸收水中的氮、磷等营养物质。伊乐藻的长势越好,释放的氧气越多,并且其可作为水生动物的饵料,从而形成良好的生态循环系统。同时,伊乐藻可向水中分泌某些化学物质,抑制其他藻类的生长,具有一定的克藻效应<sup>[7]</sup>,能确保良好的水质净化效果。

由于三级处理塘中的苦草、美人蕉、鸢尾等均为季节性植物,受季节变化影响,会出现凋落或枯萎的现象,被其吸收的磷可再次释放进入水体,影响水质处理效果。同时,当伊乐藻的数量达到一定程度、进水浓度保持不变时,其处理能力将受到限制,导致处理效率降低。因此,需定期对三级处理塘中的季节性植物、藻类进行收割、打捞,确保整个处理设施运行的稳定性。

此外,三级处理塘除了具有水质净化的功能,在降雨时也能调蓄一定体积的雨水,实现雨水资源利用的目的。但由于设施的容量有限,为了避免在暴雨时三级处理塘遭到破坏,应在生物调蓄塘设置溢流堰,堰的顶点高程比石笼隔离带顶点高程低30~40 cm为宜,将多余的降雨以溢流的方式排除,确保设施运行安全。

三级处理塘的断面如图3所示。

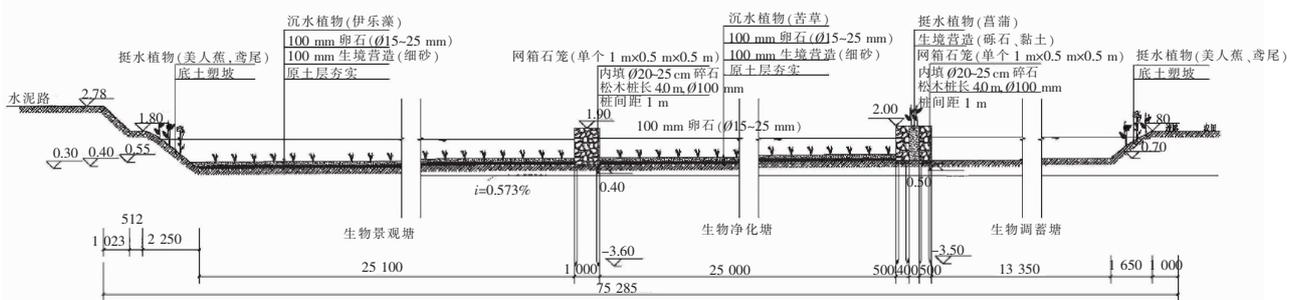


图3 三级处理塘断面

Fig. 3 Cross-section of tertiary treatment ponds

### 2.2.2 生态沟渠

生态沟渠作为三级处理塘的下一级处理设施,通过在生态沟内铺设细砂、粗砂、鹅卵石等砂石填料,两侧种植菖蒲、美人蕉等根系发达的植物,与三级处理塘共同构成复合净化系统。经过三级处理塘处理后的农田排水进入生态沟渠时,先由附着在鹅

卵石上的微生物进行污染物的分解净化,再通过植物根系吸收污水中氮、磷等营养物质。同时,砂石填料构成的滤床,可对污水中的颗粒杂物进行拦截、过滤处理。通过三级处理塘+生态沟渠的四级物理、化学和生物的协同作用,实现高效处理农业面源污染的目的。生态沟渠的断面如图4所示。

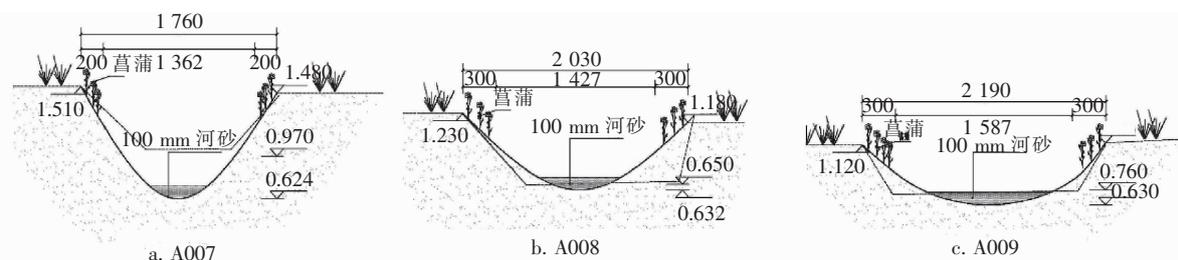


图4 生态沟渠典型断面

Fig. 4 Typical section map of ecological ditch

### 3 工程运行效果分析

白米湾村三级处理塘、生态沟渠投入运行后,对进、出水水质进行了定期检测。现以夏季与冬季的水质检测结果为例,分析在不同情景下,三级处理塘及生态沟渠对农业面源污染的削减效果。水质检测数据分别见表1、2。

表1 夏季处理设施进、出水水质

Tab. 1 Influent and effluent quality of treatment facilities in summer  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 

项目	氨氮	总磷	高锰酸盐指数
三级处理塘 A 进水	3.64	1.478	20.8
三级处理塘 A 出水	1.43	0.327	7.9
生态沟渠 A 进水	1.43	0.327	7.9
生态沟渠 A 出水	0.89	0.112	4.1

表2 冬季处理设施进、出水水质

Tab. 2 Influent and effluent quality of treatment facilities in winter  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 

项目	氨氮	总磷	高锰酸盐指数
三级处理塘 A 进水	1.13	0.843	10.3
三级处理塘 A 出水	0.86	0.239	5.2
生态沟渠 A 进水	0.86	0.239	5.2
生态沟渠 A 出水	0.71	0.095	3.9

由表1可知,夏季三级处理塘对氨氮、总磷、有机物的削减贡献率分别为60.71%、77.88%、60.02%,生态沟渠对氨氮、总磷、有机物的削减贡献率分别为37.76%、65.75%、48.1%,两种设施构成的复合系统对上述污染物的累积去除率分别为75.55%、92.42%、80.29%,最终出水氨氮、总磷、高锰酸盐指数等主要指标均可达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类水质标准。

由表2可知,冬季三级处理塘对氨氮、总磷、有机物的削减贡献率分别达到23.89%、71.65%、49.51%,生态沟渠对氨氮、总磷、有机物的削减贡献率分别为17.44%、60.25%、25%,两种设施构成的

复合系统对上述污染物的累积去除率分别达到37.17%、88.73%、62.14%,最终出水氨氮达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类水质标准,总磷、高锰酸盐指数则可达到Ⅱ类水质标准以上。

对两组数据进行对比分析可知,夏季由于种植水稻投放了大量的化肥、农药,三级处理塘的进水污染物浓度明显高于冬季时的进水浓度,均为劣Ⅴ类水质。从污染物去除能力来看,三级处理塘及生态沟渠对总磷的去除能力最强,其次是有机物,对氨氮的去除能力最差。

根据吴晓霞等<sup>[7]</sup>的研究成果,在合理的污染物浓度范围内,伊乐藻对氮的去除率随污染物浓度增加而增大。三级处理塘对氨氮的去除率在夏季时远高于冬季,极大可能是由于进水氨氮浓度影响了伊乐藻的净化能力,从而导致处理能力的差异,本工程建设效果与实验研究结论相似。从总磷的去除效果来说,污染物中总磷的含量未影响三级处理塘对其去除能力。总磷去除率在不同污染物浓度下均保持较高水平,这也验证了苦草在较低磷浓度的环境中仍能保持较高去除率,低磷浓度对苦草吸附磷能力的抑制效果并不明显的实验结论<sup>[8]</sup>。

综上,由三级处理塘及生态沟渠构成的复合处理系统受温度及农田排水中污染物浓度的影响不大,在任何情况下均可维持较好的处理能力,最终出水水质均能稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类水质标准,对农业面源污染的控制效果极佳。实际工程表明,三级处理塘与生态沟渠对农业生活与生产交汇区的复合有机废水也同样有效,该工程实际出水水质能够达到地表水源地二级保护区的指标要求<sup>[9]</sup>。

### 4 结论

实际工程表明,三级处理塘与生态沟渠的生态

修复技术对农业面源污染具有良好的处理效果,针对进水水质为劣V类的水质条件,可使出水主要指标稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水的指标要求。同时,设施面积与服务面积比例约为1:20,且基本无后期运行维护费用,具有占地小、投入少、效率高的特点,适用于我国南方城市的农业面源污染治理,具有一定的推广价值。

#### 参考文献:

- [1] 李蛟. 治理农村面源污染的对策分析[J]. 农业经济, 2018(1):103-105.  
Li Jiao. Countermeasure analysis of rural non-point source pollution[J]. Agricultural Economy, 2018(1):103-105 (in Chinese).
- [2] 柯紫霞,赵多,汪勇,等. 浙江省农业面源污染源头控制途径与对策[J]. 环境污染与防治, 2009,31(11):104-106.  
Ke Zixia, Zhao Duo, Wang Yong, et al. Methods and countermeasures of agricultural non-point pollution source control in Zhejiang [J]. Environmental Pollution and Prevention, 2009,31(11):104-106 (in Chinese).
- [3] 中国环境规划院. 全国水环境容量核定技术指南[R]. 北京:中国环境规划院,2003.  
Chinese Academy of Environmental Planning. Technical Guidelines for the National Approval of Water Environmental Capacity [R]. Beijing: Chinese Academy of Environmental Planning, 2003 (in Chinese).
- [4] 吴诗杰,陈慧娟,许小桃,等. 美人蕉、鸢尾、黄菖蒲和千屈菜对富营养化水体净化效果研究[J]. 安徽大学学报:自然科学版, 2016,40(1):98-108.  
Wu Shijie, Chen Huijuan, Xu Xiaotao, et al. Analysis of purification effect on eutrophic water by *Canna indica* L., *Iris tectorum*, *Lythrum salicaria* L. and *Iris pseudacorus* [J]. Journal of Anhui University: Natural Science, 2016, 40(1):98-108 (in Chinese).
- [5] 赵迪,徐文娟,李勇,等. 刺苦草对富营养化水体净化作用的研究[J]. 中国农学通报, 2010,26(2):189-192.  
Zhao Di, Xu Wenjuan, Li Yong, et al. Purification of eutrophicated water by *Vallisneria spirulosa* [J]. China Agricultural Bulletin, 2010, 26(2):189-192 (in Chinese).
- [6] 李雪娟,和树庄,常学秀,等. 螺蚌和沉水植物搭配对微污染水体的净化作用[J]. 环境工程学报, 2016,10(1):95-102.  
Li Xuejuan, He Shuzhuang, Chang Xuexiu, et al. Role of snails, mussels and submerged plants in purifying micro-polluted water [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2016,10(1):95-102 (in Chinese).
- [7] 吴晓霞,范长禄,凌辉,等. 伊乐藻对富营养化水体的净化作用分析[J]. 西北植物学报, 2013,33(4):787-791.  
Wu Xiaoxia, Fan Changlu, Ling Hui, et al. Purification efficiency of *Elodea canadensis* on eutrophic water [J]. Acta Botanica Boreali - Occidentalia Sinica, 2013, 33(4):787-791 (in Chinese).
- [8] 林子阳. 苦草净化富营养化水体的作用[J]. 中国高新区, 2018(3):183.  
Lin Ziyang. Purification of eutrophic water by eel grass [J]. China High-tech Zone, 2018(3):183 (in Chinese).
- [9] 杨鹏,张克强,倪喜云,等. 三级净化塘生态修复技术用于处理农业种养废水[J]. 中国给水排水, 2013,29(8):87-90.  
Yang Peng, Zhang Keqiang, Ni Xiyun, et al. Three-stage purification pond ecological restoration technology for treatment of agricultural planting and breeding wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2013,29(8):87-90 (in Chinese).



作者简介:王翔(1991-),男,贵州镇宁人,大学本科,助理工程师,主要从事海绵城市规划设计、水环境治理领域相关工作。

E-mail:494129192@qq.com

收稿日期:2019-03-22