

# 生态沟 + 厌氧 + 人工湿地用于农业面源污染综合治理

朱泽民

(中煤科工集团武汉设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430064)

**摘 要:** 农村污水收集处理的技术模式主要有集中式、分散式或集中与分散相结合模式三种,选择技术模式时,需综合考虑村庄布局、人口规模、地形条件、现有治理设施等。选择处理工艺时,需综合考虑工艺技术水平、地形地貌、居住特点、动力费及电费支出、技术管理人才等。S 镇 18 个自然湾农业面源污染综合治理工程的技术模式选取以村组为单位,通过小型管网收集并处理的方式(简称村组处理),处理工艺采用生态沟 + 厌氧 + 潜流人工湿地,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准,且具有环境融合性好、无动力费用支出、维护简单等优点。

**关键词:** 生态沟; 人工湿地; 农业面源污染; 农村污水; 连片整治

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0096-04

## Application Research on Ecological Ditch, Anaerobic Treatment and Constructed Wetland in Comprehensive Control of Agricultural Non-point Source Pollution

ZHU Ze-min

(Wuhan Design & Research Institute Co. Ltd. of China Coal Technology & Engineering Group, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** Centralization, decentralization and combined centralization and decentralization are three main technical modes for rural sewage collection and treatment. When choosing the technical mode, the village layout, population size, topographic conditions and existing treatment facilities should be considered comprehensively. When choosing the treatment technology, the technological level, topography, living characteristics, power and electricity expenditure, technical management personnel and so on should be taken into account. The technical mode of agricultural non-point source pollution comprehensive treatment project in 18 natural villages of S town was using small-scale pipe network for collection and treatment in village group as the unit, which was referred to as village group treatment. The treatment process adopted the process of ecological ditch, anaerobic treatment and subsurface flow constructed wetland. The effluent quality had reached the level 1 - B criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). It had the advantages of good environmental integration, no power costs, simple maintenance, etc.

**Key words:** ecological ditch; constructed wetland; agricultural non-point source pollution; rural sewage; continuous improvement

农村生活污染、农业面源污染、畜禽养殖污染等 排入地表径流,会严重影响农村河道生态环境,威胁

地下水水质。如果污染物随地表径流输移,还将进一步影响当地河流、湖泊以及水源地水质,诱发全流域水环境生态危机。

2014年,中法双方在两国元首见证下签署了《关于在武汉建设中法武汉生态示范城意向书》。武汉市某区S镇,位于中法生态城120 km<sup>2</sup>规划范围内,同时紧邻占地达32 km<sup>2</sup>的集中建设区。S镇区范围内村庄现状排水为散排,没有完善的排水设施,生活污水未经处理而直接排放至附近水体,同时,农药和化肥的大量使用形成农业面源污染,使流域内水体水质富营养化。为了减轻生活污水及农业面源污染对水体的污染,改善流域内生态状况,武汉市某区政府实施了区域农业面源污染综合治理工程。该工程也是建设绿色、低碳的中法生态城的迫切需要,同时也为武汉市创建全国环保模范城市提供有力支撑。

以该区域农业面源污染综合治理工程为例,对农村污水连片整治的技术模式选取、处理工艺选择进行了分析研究,并简要介绍了该工程的建设情况,以期对农业面源污染综合治理、农村污水连片整治等提供工程示范和技术参考。

## 1 技术模式选择

按照《县(市)域城乡污水统筹治理导则(试行)》,在常规水冲式用水设施和污水处理的卫生排水模式下,农村污水收集处理的方式按照集中处理程度由高到低划分为三种:纳入城镇污水处理(简称城镇处理);以村组为单位,通过小型管网收集并处理(简称村组处理);对1户或相邻几户出户污水就地处理(简称就地处理)。村组处理和就地处理即通常所说的污水分散处理方式。

农村环境连片整治用于解决区域性农村环境问题,按照《农村环境连片整治技术指南》(HJ 2031—2013),可采取集中式、分散式或集中与分散相结合的技术模式,遵循“源头控制、资源化利用优先”的思路,按照工艺成熟、经济实用、易于管理、运行投入低的原则,综合考虑项目区域的自然气候、地形地貌、经济发展、人口规模等因素,因地制宜地选取适用技术模式。农村生活污水连片处理技术模式选取需综合考虑村庄布局、人口规模、地形条件、现有治理设施等,结合新农村建设和村容村貌整治,参照《农村生活污染防治技术政策》(环发[2010]20号)、《农村生活污染控制技术规范》(HJ 574—

2010)等规范性文件执行。

按服务人口计,发达国家1/4的污水处理设施和1/3的新建污水处理设施采用分散处理方式。众所周知,更分散的污水处理方式有利于通过分散排放降低尾水对环境的冲击,并且有利于再生水回用<sup>[1]</sup>。合理地选择农村污水收集处理方式对于降低农村污水治理成本十分关键<sup>[2]</sup>。

S镇地处垄岗滨湖地带,人口分布较分散。经多次实地走访调查,全面地掌握了18个自然湾(涉及3个行政村)的村民组数、户数、户籍人数、排水设施现状等情况,并通过Google Earth卫星地图进行了初步验证。统计数据见表1。

表1 户数和人口调查

Tab.1 Questionnaire of households and population

| 行政村 | 村民组数/组 | 户数/户 | 户籍人口/人 | 外出人口/人 |
|-----|--------|------|--------|--------|
| 金*  | 6      | 248  | 866    | 214    |
| 和*  | 11     | 376  | 1 136  | 269    |
| 丁*  | 6      | 197  | 712    | 192    |

综合考虑村庄布局、人口规模、地形条件、现有治理设施等情况,最终确定采用以村组为单位通过小型管网收集并处理的方式(简称村组处理),即污水分散处理方式。

## 2 处理工艺选择

《农村环境连片整治技术指南》(HJ 2031—2013)中,根据村庄布局紧凑与分散程度、服务人口规模、地势情况(平原、丘陵或山区)等,列举了4种不同的污水处理建设模式,并指出布局分散且单村人口规模较大的地区,适宜以单村为单位建设氧化塘、中型人工湿地等处理设施。目前国内已经建成的农村污水处理工程中,大部分采用水解酸化+曝气充氧+人工湿地工艺<sup>[3]</sup>,但由于大部分农村常无法保证动力费及电费预算稳定支出,因此近年来以厌氧+人工湿地+氧化塘为代表的无动力污水处理工艺受到越来越多的重视。另外,农村和小城镇的水处理技术人员缺乏,技术水平要求高的污水处理工程即使建成,也缺少维持长期稳定运行所需的技术管理人才。

以厌氧+人工湿地为核心的无动力污水处理工艺,具有处理效果好、氮磷去除能力强、运转维护管理方便、工程基建和运转费用低以及对负荷变化适应能力强等特点,比较适合于技术管理水平不高、规

模较小的城镇或乡村的污水处理。该工艺在河南农村<sup>[3]</sup>、昆明地区<sup>[1]</sup>,尤其是华南农村地区<sup>[4]</sup>得到了广泛应用,在武汉市某远城区也已有成功的应用案例。

该项目涉及3个行政大村共23个村民小组,由于长期历史沿革,共形成18个自然湾,根据其地处丘陵的地形地貌、布局分散的居住特点,且无法保证动力费及电费等预算稳定支出,缺少维持长期稳定运行所需的水处理技术管理人才,经与当地环保局多次探讨论证,最终工艺选择为生态沟+厌氧+潜流人工湿地。

### 3 工程设计

#### 3.1 设计进水水质及工艺流程

进水主要为生活污水。设计进水水质及处理效率见表2。

表2 设计进水水质及污染物去除率

Tab.2 Design influent quality and efficiency of pollutant removal

| 项目                         | BOD <sub>5</sub> | COD | SS  | NH <sub>3</sub> -N | TN | TP |
|----------------------------|------------------|-----|-----|--------------------|----|----|
| 设计进水/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 70               | 200 | 120 | 25                 | 30 | 3  |
| 生态沟去除率/%                   | 30               | 40  | 45  | 2                  | 45 | 60 |
| 厌氧去除率/%                    | 37               | 36  | 39  | 0                  | 0  | 10 |
| 人工湿地去除率/%                  | 50               | 50  | 70  | 70                 | 60 | 50 |
| 总削减率/%                     | 78               | 81  | 90  | 70                 | 78 | 83 |

工艺流程见图1。

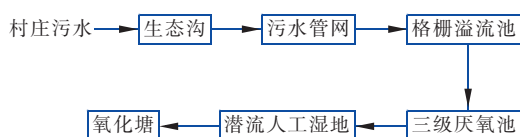


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of sewage treatment process

#### 3.2 主要工程内容

共设计污水处理站20座,其中新建40 m<sup>3</sup>/d处理站4座,新建20 m<sup>3</sup>/d处理站14座,利用已建处理站提档升级2座。

##### 3.2.1 清淤

对现有沟渠进行清淤,清淤厚度约0.3~0.5 m,污泥产生量约771 m<sup>3</sup>。

##### 3.2.2 主体工程

###### ① 污水收集管网

污水收集以敷设污水管网为主。共敷设DN300污水干管5 420 m、Ø1 000 mm污水检查井558座、DN200污水支管8 170 m。

###### ② 生态沟

生态沟,区别于传统排水沟,是在沟底及沟壁采用植物措施或植物措施结合工程措施防护的地面排水通道。污水流经生态沟时,先由附着在鹅卵石上的微生物进行净化,再通过植物根系吸收氮、磷等营养物质。同时,沟中砂石填料构成滤床,对污水中颗粒杂物进行过滤处理。这样,通过生态沟的物理、化学和生物的协同作用实现污水的前处理。

生态沟主要依据原有沟渠进行施工,除水力原因必须进行适当整治外,一般情况下不改变现有沟渠的宽度。支生态沟宽度一般为0.6 m,主生态沟宽度一般为0.8 m。底沟铺设0.2 m厚的碎石,上覆土工膜,按15株/m<sup>2</sup>栽种以美人蕉、梭鱼草、鸢尾为主的水生植物。两侧沟壁的坡度控制在1:2.5左右,种植草皮,保证沟壁全覆盖。

###### ③ 格栅溢流池

格栅溢流池为全地下式,采用砖混结构,内置格栅。格栅采用碳钢格栅,栅条间距为20 mm。溢流池用于控制进入污水处理单元的水量,暴雨情况下通过溢流保护后续处理单元。

###### ④ 三级厌氧池

厌氧池分为3级,设计HRT为22 h,容积负荷为0.1 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d),全地埋式,采用钢混结构。厌氧池内部设置Ø215 mm组合填料。40 m<sup>3</sup>/d处理站厌氧池尺寸为6.5 m×5.0 m×3.0 m,20 m<sup>3</sup>/d处理站厌氧池尺寸为6.5 m×2.8 m×3.0 m。

###### ⑤ 人工湿地

采用潜流人工湿地,设计HRT为48 h,水力负荷为0.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>3</sup>滤料·d)。人工湿地由布水沟、湿地床、排水沟组成,湿地床内部采用20~40 mm瓜米石作为填料层,按15株/m<sup>2</sup>栽种以美人蕉、梭鱼草、鸢尾为主的水生植物。40 m<sup>3</sup>/d处理站人工湿地尺寸为10.3 m×6.5 m×1.7 m,20 m<sup>3</sup>/d处理站人工湿地尺寸为5.8 m×6.5 m×1.7 m。

##### 3.2.3 后期维护

定期对栅渣进行外运清理,人工湿地和生态沟内的植物定期进行杀虫、修剪、清理等。

### 4 技术经济分析

主体工程投资为936.16万元,投资成本(含管网)为1.80万元/m<sup>3</sup>。运行费用主要包括栅渣外运、污水处理设施维护等,栅渣外运每年4次,每次1 000元,安排1位兼职人员,人工费为1 500



元/月,运行费用为2.2万元/a(0.12元/m<sup>3</sup>)。

## 5 实际运行数据和问题分析

目前S镇3个行政村共20座污水处理站已经建成,调试完成后通过了环保局验收。各主要指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准。其中1座处理量为40 m<sup>3</sup>/d的处理站出水检测结果见表3。

表3 污水处理站出水检测结果

Tab.3 Test results of a sewage treatment station

mg · L<sup>-1</sup>

| 项目 |         | BOD <sub>5</sub> | COD | SS  | NH <sub>3</sub> -N | TP  |
|----|---------|------------------|-----|-----|--------------------|-----|
| 进水 | 2017年6月 | 72               | 204 | 118 | 25                 | 3.1 |
|    | 2017年8月 | 69               | 198 | 122 | 24                 | 2.8 |
| 出水 | 2017年6月 | 16               | 39  | 12  | 8                  | 0.5 |
|    | 2017年8月 | 15               | 38  | 12  | 7                  | 0.5 |

水量和水质波动较大是农村污水处理中遇到的普遍问题,暑假期间水量增加明显,但进水BOD<sub>5</sub>和COD变化不大,基本处于全年平均值,处理站出水水质基本稳定;冬季尤其是春节期间,水量偏小,进水BOD<sub>5</sub>和COD增加较为明显,动植物油脂较多,通过在生态沟增加临时截水设施、出户化粪池前设置隔油池等措施能基本解决水质冲击负荷大的问题,出水各项指标仍能达到一级B标准。

在雨季暴雨情况下,通过溢流格栅池的溢流功能控制进入污水处理单元的水量,以保护后续处理单元。由于三级厌氧池、人工湿地等处理单元均有覆土保温,且该工程位于南方地区,出现极端低温情况的频次很低,因此低温期对该工程的影响有限。

## 6 结论

① 综合考虑村庄布局、人口规模、地形条件、现有治理设施等,S镇18个自然湾选择村组处理即污水分散处理的技术模式是合适的。

② 综合考虑工艺技术水平、地形地貌、居住特点、动力费及电费支出、技术管理人才等,S镇18个自然湾选择“生态沟+厌氧+潜流人工湿地”的处理工艺是合适可行的。

③ 采用生态沟+厌氧+潜流人工湿地处理农村污水,其出水水质能达到一级B标准,对其他地方的农村污水处理具有一定的借鉴意义。

## 参考文献:

[1] 范彬,武洁玮,刘超,等. 美国和日本乡村污水治理的组织管理与启示[J]. 中国给水排水,2009,25(10):

6-10.

Fan Bin, Wu Jiewei, Liu Chao, et al. Organization, administration and illumination of rural sewage treatment in USA and Japan [J]. China Water & Wastewater, 2009,25(10):6-10(in Chinese).

[2] 范彬,胡明,顾俊,等. 不同农村污水收集处理方式的经济性比较[J]. 中国给水排水,2015,31(14):20-25.

Fan Bin, Hu Ming, Gu Jun, et al. Economic comparison of different rural sewage treatment patterns [J]. China Water & Wastewater, 2015,31(14):20-25(in Chinese).

[3] 余海静,杨连生,尹聪颖. 某镇环境连片综合整治中污水处理工程设计[J]. 中国给水排水,2012,28(20):87-89.

Yu Haijing, Yang Liansheng, Yin Congying. Design of sewage treatment project in coiltiguous comprehensive improvement of a town environment [J]. China Water & Wastewater, 2012,28(20):87-89(in Chinese).

[4] 张佳琳,林方敏,罗隽,等. 厌氧—人工湿地—氧化塘用于华南农村污水连片整治[J]. 中国给水排水,2016,32(12):106-109.

Zhang Jialin, Lin Fangmin, Luo Jun, et al. Application of unpowered system of anaerobic treatment, constructed wetland and oxidation pond to integrated treatment of rural sewage in south China region [J]. China Water & Wastewater, 2016,32(12):106-109(in Chinese).



作者简介:朱泽民(1980—),男,湖南双峰人,大学本科,高级工程师,副所长,注册公用设备工程师、注册咨询工程师、环境影响评价师,主要从事水污染治理与资源化、环境工程方面的技术和管理工作。

E-mail:zhuzemin100@163.com

收稿日期:2018-10-15