

# VFL 工艺在小型再生水厂中的工程应用

李新建

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

**摘 要:** 针对小型再生水厂,介绍了北京市通州区乡镇再生水厂建设运营项目中西集镇中心区再生水厂采用的VFL+混凝沉淀池+转鼓过滤器+次氯酸钠消毒的污水处理工艺,分析该工艺的特点、运行效果、存在的问题及工艺完善。结果显示,此工艺用地面积小,耐冲击性强,运行稳定可靠,各项出水水质指标均稳定达到北京DB11/890—2012中B排放标准,甚至更好的水质,满足再生水水质要求,可以有效缓解北京水资源短缺问题;处理污水过程中产泥量极低,实现了污泥的减量化。

**关键词:** VFL工艺;小型再生水厂;再生水;水质标准;污泥

**中图分类号:** TU992.3

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2021)08-0194-04

## 0 引言

北京市是华北地区超大型缺水城市,年人均水资源量仅为全国人均的八分之一,是资源性缺水地区,水资源紧缺已成为影响首都现代化建设的突出矛盾<sup>[1-2]</sup>。因此,再生水作为重要的可利用水资源,已纳入到北京市水资源统一配置管理中,是重要的战略水源之一<sup>[3-5]</sup>。

随着我国经济持续快速稳定发展,我国城镇污水处理规模日益提升,污泥产量也相应增加。据统计,2019年我国污泥产量已超过6 000万t(以含水率80%计),预计2025年我国污泥年产量将突破9 000万t<sup>[6]</sup>。2015年,北京市全年处理生活污水14.4亿m<sup>3</sup>,污泥产量117.4万t(含水率60%~80%),日产污泥约3 200 t/d<sup>[7]</sup>。

为加快污水治理和再生水利用设施建设、有效改善首都水环境,2013年4月,北京市政府印发了《北京市加快污水处理和再生水利用设施建设三年行动方案(2013—2015年)》,工作目标是在“十二五”末,全市污水处理率达到90%以上,污泥基本实现无害化处理,实现首都水环境的明显好转;全市新建再生水厂47座,所有新建再生水厂主要出水指标一次性达到地表水Ⅳ类标准<sup>[8]</sup>。为实现该目标,保持社会经济的可持续发展,通州区政府实施了通州区乡镇再生水厂建设运营项目,共计新建及改建9个水厂,其中四个小型水厂采用VFL工艺,出水水质

按北京DB 11/890—2012中B排放标准执行。

## 1 工程概况

现主要对西集镇中心区再生水厂进行介绍。该工程位于通州区西集镇中心区以东,望金沟西侧、榆牛沟北侧,服务于整个西集镇中心区。西集镇中心区再生水厂规模5 000 m<sup>3</sup>/d,分期实施,一期规模2 000 m<sup>3</sup>/d,二期3 000 m<sup>3</sup>/d,除生物处理部分外其余设施一次建设成,一期占地6 723 m<sup>2</sup>。处理出水排入榆牛沟。

### 1.1 设计进出水水质

根据《北京市加快污水处理和再生水利用设施建设三年行动方案(2013—2015年)》计划要求,西集镇中心区再生水厂工程出水水质按北京《DB11/890—2012》中B排放标准执行。设计进出水水质见表1所列。

### 1.2 设计工艺流程

西集镇中心区再生水厂工程综合考虑经济、技术、环境、投资等因素,主体工艺采用VFL工艺<sup>[9-11]</sup>,工艺流程见图1所示。

污水经过预处理阶段后,进入VFL(垂直流迷宫Vertical Flow Labyrinth)组合池,VFL生化池在厌氧区、缺氧区内设置竖向导流板,将厌氧区、缺氧区分隔成串联的反应室,每个反应室都是相对独立的上下流式污泥床系统,利用内部良好的水力流态、实现强化系统生物固体截留能力与流径的延长的特点对污染物进行生物降解,然后污水进入VFL生化池的好氧区,好氧区内配有曝气管,污染物进一步进行好氧曝气降解,并通过控制混合液回流实现BOD、总氮等的

收稿日期:2021-01-20

作者简介:李新建(1988—),男,工学硕士,工程师,从事给排水设计工作。

表 1 设计进出水水质一览表

| 项目 | COD <sub>cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | SS/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TN/(mg·L <sup>-1</sup> ) | NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TP/(mg·L <sup>-1</sup> ) | PH  |
|----|------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------------|--------------------------|-----|
| 进水 | 500                                      | 200                                     | 250                      | 55                       | 40                                       | 6                        | 6~9 |
| 出水 | 30                                       | 6                                       | 5                        | 15                       | 1.5(2.5)                                 | 0.3                      | 6~9 |

注:12月1日-3月31日执行括号内的排放限值。

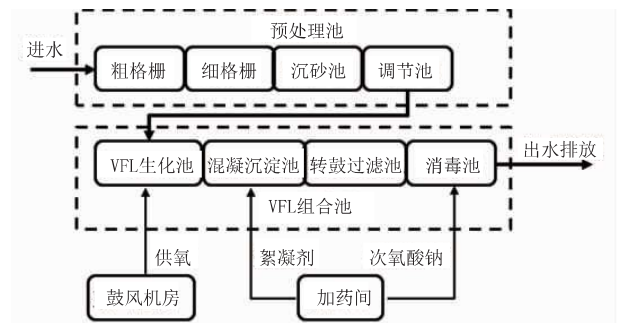


图 1 西集镇中心区再生水厂工艺流程图

高效去除,处理后的污水进入沉淀区沉淀。

VFL生化池出水进入混凝沉淀池,并向其中投加混凝剂与助凝剂,进一步去除水中总磷、SS等污染物,沉淀后出水经过转鼓过滤器后进入消毒池,经消毒后出水,保证出水水质。

1.3 主要设计参数

1.3.1 预处理系统

预处理系统包括粗格栅与提升泵井、预处理池(细格栅井、沉砂池、调节池),设计规模5000 m<sup>3</sup>/d,设计平均流量208 m<sup>3</sup>/h,设计最大流量366 m<sup>3</sup>/h(变化系数K<sub>z</sub>=1.75)。粗格栅与提升泵井尺寸:12.1 m×4.8 m×10.0 m,预处理池尺寸:21.37 m×13.5 m×3.9 m。

1.3.2 VFL 组合池

VFL组合池为VFL工艺的核心部分,包括含厌氧池、缺氧池、好氧池、沉淀池、混凝沉淀池、转鼓过滤器、消毒池及污泥池,各池集约化布置,实现节地目标。设计规模2000 m<sup>3</sup>/d,设计平均流量83 m<sup>3</sup>/h,设计最大流量161 m<sup>3</sup>/h(变化系数K<sub>z</sub>=1.94),该工艺比常规工艺节地约15%。

VFL反应池:(1)污泥浓度(MLSS):厌氧、缺氧池7000~8000 mg/L,好氧池3000~4000 mg/L。(2)总水力停留时间21.5 h,其中,厌氧池3.5 h,缺氧池6.2 h,好氧池11.8 h。(3)外回流比300%~400%。(4)沉淀区平均表面负荷0.55 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

混凝沉淀池:反应时间0.35 h,沉淀时间2.5 h,沉淀区平均表面负荷0.66 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。过滤采用转鼓过滤器成套设备。

VFL组合池尺寸45.3 m×18.5 m×4.5 m。

1.3.3 污泥处理系统

VFL工艺在处理污水的同时兼顾了污泥的减量化,工艺产泥量低,VFL生化反应池的污泥产率按0.1 kgSS/kgBOD<sub>5</sub>计算,同时考虑混凝沉淀池加药量,所需要处理的污泥总量为62.8 kg/d,泥饼按照含水率80%计算,脱水之后的污泥体积为约0.31 m<sup>3</sup>/d。污泥脱水采用带式浓缩脱水机一体机。

2 工艺特点

VFL工艺是可实现剩余污泥排放量少、污水与污泥同步处理、低耗高效的环境友好型工艺。

2.1 工艺原理(见图2)

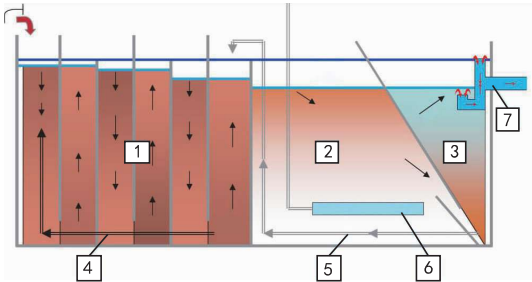


图 2 VFL 工艺原理图

如图2所示:1区域为厌氧、缺氧区,即垂直迷宫结构;2区域为好氧区;3区域为沉淀区;4为内部循环;5为污泥回流;6为管式微孔曝气器;7为排水槽。

(1)在厌氧区和缺氧区结构上采用垂直迷宫式结构,多个下向流和上向流的污泥床间隔串联。其中在向上流的分格内,由于污水的上向流速使活性污泥形成悬浮的污泥床,少部分污泥会随水流进入下一个下向流分格,大部分污泥因重力作用留在该格内,因此这一结构能够使厌氧、缺氧区内保持很高的污泥浓度,一般在7000~10000 mg/L,使单位池容的反应效率大幅度提高。同时,该结构形式在相同池容的条件下能够最大限度地延长厌氧区、缺氧区污水的流程,不仅避免了污水在反应池中发生短流,而且使污水与微生物进行充分接触、混合,延长有效反应时间。这是一种推流式反应器,是反应器中效率最高的。而这种垂直流态的改进,尤其是上升流态的分格消除了回流污泥中硝酸盐对厌氧区、缺氧区环境状态的不利影响,大幅度地提高污水处理效率和抗

冲击能力。

(2)系统设置了不同于传统 A<sup>2</sup>/O 工艺的混合液和污泥回流,其反应流程如图 3 所示。

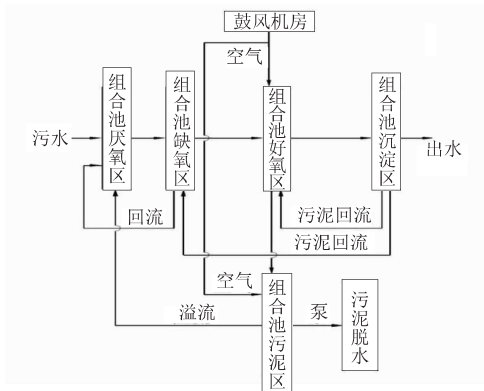


图 3 VFL 污泥循环路线图

组合池沉淀区的活性污泥部分回流到缺氧区前端,回流污泥中带有溶解氧,在垂直流结构中,水流至缺氧区第二、三格,溶解氧浓度可以迅速降低,在较长的缺氧流程中反硝化反应可以进行非常彻底,并充分利用污水中的碳源(BOD<sub>5</sub>),其反硝化速率远高于依靠内源呼吸作用进行的反硝化。因此,需要的反硝化反应充分,停留时间短、容积小。

VFL 工艺具有独特的污泥循环线路。沉淀区泥斗内除了一部分活性污泥用于反硝化外,另一部分活性污泥回流到好氧区。好氧区的混合液排入污泥区,再由污泥区回流至厌氧区。因此可以使污泥保持活性。处于低负荷完全混合式的好氧区,微生物处于活性较低的状态,进入污泥池后逐渐进入内源呼吸状态,污泥部分消解,剩余的微生物是经过自然筛选。这样的微生物再进入高负荷的厌氧区,活性重新被激发,吸附和降解有机物的活性逐步增强,提高了反应效率和处理效果,同时污泥可以长时间保持活性,在自代谢的过程中实现污泥减量化。

2.2 工艺特点

(1)VFL 工艺抗冲击负荷能力强,占地面积小。

VFL 工艺从池型的结构设计和运行管理两方面进行优化,整个系统是在高污泥浓度(厌氧区、缺氧区污泥浓度 7~8 g/L,好氧区污泥浓度 3~4 g/L)下运行的,完全具备抗冲击负荷的能力,同时 VFL 组合池各池间紧凑布置合而为一,减少占地。

(2)VFL 工艺产泥量极低。

VFL 工艺在处理污水的同时兼顾了污泥的减量化,系统产泥量低。能够有效降低污泥的产量及相应的处理成本,为再生水厂的运营带来显著经济效益、环境效益。运用 VFL 工艺的再生水厂正常运行 2~3 a 后才开始第一次排泥,此后约每三个月排泥一次。

(3)VFL 技术系统简单,能耗低,日常维护工作量小。

VFL 技术设备种类和数量已经减到了最少,除了污水进口处的提升设备和除砂设施(根据项目需要设置)外,以生化组合池为核心,配套设备只有鼓风机、转鼓过滤器和消毒加药设备。因此设备的日常维护工作量大幅度减少,能耗最大程度地节约。

3 运行效果

西集镇中心区再生水厂(见图 4)于 2017 年 7 月调试运行,出水水质稳定达到北京《DB 11/890—2012》中 B 排放标准。整个工艺对水量水质的耐冲击性强,运行稳定可靠,处理成本低。



图 4 VFL 工艺再生水厂现场之实景

4 存在的问题及工艺完善内容

(1)根据以往再生水厂 VFL 工艺运行数据(见表 2),当进水 SS 负荷较高时,SS 出水水质不稳定,因此西集镇中心再生水厂在 VFL 工艺出水后增设混凝沉淀池,通过投加药剂,并经过预沉淀后,再通过转鼓过滤器过滤,可以有效降低 SS 与 TP 的出水浓度,使水质稳定达标,同时可以有效避免转鼓过滤器堵塞。

(2)水厂运行初期,由于污水管网覆盖率和收集率较低可能导致实际进厂水量远达不到设计规模且

表 2 某再生水厂进出水水质一览表

| 项目   | COD <sub>cr</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | BOD <sub>5</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> ) | SS/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TN/(mg·L <sup>-1</sup> ) | NH <sub>3</sub> -N/(mg·L <sup>-1</sup> ) | TP/(mg·L <sup>-1</sup> ) | PH  |
|------|------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------------|--------------------------|-----|
| 进水   | 375                                      | 165                                     | 256                      | 52.3                     | 44.2                                     | 5.5                      | 7.3 |
| 出水   | 20                                       | 2.3                                     | 7                        | 12.1                     | 0.52                                     | 0.20                     | 7.5 |
| 水质标准 | 30                                       | 6                                       | 5                        | 15                       | 1.5(2.5)                                 | 0.3                      | 6~9 |

进水水量水质不均匀程度高,因此污水在厂内的停留时间会大幅延长,同时进水低有机负荷率容易导致污泥膨胀现象。针对此种可能出现的情况,设计中,通过设置调节池,并在VFL池进水端采用脉冲进水方式,根据液位的变化控制启停。针对进水量与水质,风机采用变频运行的方式,有效调节向好氧池的供气量,避免低负荷时产生过氧化现象,同时起到节能的作用;VFL工艺具有独特的污泥循环路线,使厌氧区、缺氧区、好氧区中的MLSS维持在一定浓度内,同时厌氧区、缺氧区利用上下水流促进搅拌,不但可以实现工艺的稳定运行和水质达标排放,而且降低了处理能耗。

## 5 结 语

西集镇中心区再生水厂采取VFL+混凝沉淀池+转鼓过滤器+次氯酸钠消毒的污水处理工艺,在应对进水水质水量不稳定的情况时,各项出水水质指标均稳定达到北京DB 11/890—2012中B排放标准,甚至更好的水质,满足再生水水质要求;处理污水的同时兼顾了污泥的减量化,比常规污水处理工艺节地约15%。因此该工艺适用节地要求高、去除氨氮、SS与除磷效果好、易维护、成本低、进水水质水

量不稳定的小型再生水厂。

### 参考文献:

- [1] 崔锦. 基于资源禀赋的北京区域发展定位研究[D].北京:北京大学, 2006.
- [2] 佚名. 北京城市总体规划(2004年—2020年)[J]. 北京规划建设, 2005(2):5-51.
- [3] 马东春,唐瑶影,于宗绪. 北京市再生水利用发展对策研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2020(5).
- [4] 刘乔木,纪玉琨,姜帅,陈俊. 北京市再生水利用现状及问题分析[J]. 分析与研究, 2016(6): 18-21.
- [5] 张炜铃,陈卫平,焦文涛. 北京市再生水相关政策的评估与研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(10):2862-2870.
- [6] 戴晓虎. 我国污泥处理处置现状及发展趋势[J]. 科学, 2020, 72(6): 30-34.
- [7] 韩菲,薛同来,姚虹. 北京市城镇污水处理厂污泥处理处置问题分析与对策研究[J]. 广东化工, 2016(15):170-171.
- [8] 北京市人民政府. 北京市人民政府关于印发北京市加快污水处理和再生水利用设施建设三年行动方案(2013—2015年)的通知[Z]. 北京:北京市人民政府公报, 2013, (12):23-63.
- [9] 北京中斯水灵水处理技术有限公司. 污泥回流控制系统、方法及污水处理系统[P]: 中国, CN201510395147.X. 2015-10-21.
- [10] 崔维涛,王坤,陆伟东. 一种用于污水处理的VFL垂直流迷宫水流结构、装置、系统、方法[P]中国, CN202010659270, 2020-09-18.
- [11] 蒲红杰. 水源水库滨库湿地水质净化技术研究[D]. 大连:大连理工大学, 2016.

~~~~~  
(上接第170页)

(4)托换改造应选择全程对原结构较小的影响,并考虑各种措施减小新建基础的位移,例如:新建桩基预压、桩底注浆消除沉降;新建墩柱或门架尽量采用补偿收缩混凝土,减少新建结构的收缩徐变影响;设置调高支座,在上部荷载完成转移后仍可对位移进行调整。

(5)托换改造工程首先要保证桥梁施工及运营安全,任何其他因素都不应超越此项要求。而减小对现况交通的影响,应结合社会综合效益,在充分调查交通分布规律的基础上,采用分级管控配合局部导行的形式,为改造工程争取工期条件。