

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.015

# 高效沉淀池 + 浅层高效滤池用于污水厂深度处理

刘天顺<sup>1</sup>, 杨淑霞<sup>2</sup>, 魏 迅<sup>2</sup>, 郭淑琴<sup>1</sup>

(1. 天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300384; 2. 国美 <天津> 水技术工程有限公司, 天津 300381)

**摘 要:** 某市政污水处理厂为满足天津市地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015) A 标准(其中出水 TP $\leq$ 0.3 mg/L, SS $\leq$ 5 mg/L), 在占地紧张、出水水质标准高的情况下, 主工艺采用 A<sup>2</sup>/O, 深度处理工段采用适量投加 PAC、PAM 的高效沉淀池, 以满足出水 TP $\leq$ 0.3 mg/L, 后接 Hydro-Clear 浅层高效滤池工艺, 以满足出水 SS $\leq$ 5 mg/L。该项目自 2020 年 1 月正式投运, 平均出水 SS 为 2.7 mg/L, 稳定满足出水 SS $\leq$ 5 mg/L 的设计标准。浅层高效滤池运行期间反洗自用水量 <2%, 包含电、药耗的直接运行费用为 0.004 5 元/m<sup>3</sup>。

**关键词:** 浅层高效滤池; 非满流; 变水位; 脉冲搅拌

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0082-05

## Application of High-efficiency Sedimentation Tank and Hydro-Clear Shallow Media Rapid Filter for Advanced Treatment in a Wastewater Treatment Plant

LIU Tian-shun<sup>1</sup>, YANG Shu-xia<sup>2</sup>, WEI Xun<sup>2</sup>, GUO Shu-qin<sup>1</sup>

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300384, China;  
2. USF <Tianjin> Water Technologies and Engineering Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** To meet the A limitation (TP and SS in the effluent are no more than 0.3 mg/L and 5 mg/L, respectively) of Tianjin local standard in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (DB 12/599-2015), the main process of A<sup>2</sup>/O and the advanced treatment process of high-efficiency sedimentation tank with adequate dosage of PAC and PAM were adopted based on limited footprint and strict effluent quality requirement, and the process was followed by a Hydro-Clear shallow media rapid filter, which achieved the goal that the TP and SS in the effluent were no more than 0.3 mg/L and 5 mg/L, respectively. The project was operated formally in January 2020. The average SS in the effluent was 2.7 mg/L, which stably met the design standard of SS no more than 5 mg/L. During the operation of shallow media rapid filter, the proportion of backwash water was less than 2%, and the direct operating cost including consumption of electricity and chemicals was 0.004 5 yuan/m<sup>3</sup>.

**Key words:** shallow media rapid filter; partial filled flow; water level fluctuation; pulse mixing

某市政污水处理厂 2015 年立项, 出水水质需满足天津市地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB 12/599—2015) A 标准, 出水 TP $\leq$ 0.3 mg/L, SS $\leq$ 5 mg/L。

结合 Hydro-Clear 浅层高效滤池在国外市政项

目深度处理和国内石化项目处理出水作为炼油装置循环冷却水补水的应用经验<sup>[1]</sup>, 并经某市政污水处理厂中试验证成功, 最终确定选择高效沉淀池和 Hydro-Clear 浅层高效滤池作为该项目的组合深度处理工艺。

## 1 项目概况

为改善海河河口环境现状,减少进入渤海的污染物数量,防止河口地区湿地生态景观的持续退化,决定实施某污水厂地区污染控制与生态恢复项目。为确保本新建项目的处理效果,在进行工艺比选时,优先选用能够耐受冲击负荷且出水效果稳定可靠的工艺技术。同时为缓解水资源紧缺,满足水资源回收利用的需要,本工程建设内容包括污水处理及再生水回用两部分,其中污水处理部分土建规模  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (设备分两期安装,近期规模为  $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ );再生水回用部分出水规模  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

## 2 设计进、出水水质

该工程设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>						
项目	BOD <sub>5</sub>	COD	TN	NH <sub>3</sub> - N	TP	SS
进水	200	450	50	40	5	240
出水	6	30	10	1.5 (3)	0.3	5

表 1 中的前四项指标均可在二级生物处理系统中降解, TP 指标中无机磷主要以磷酸盐形式存在<sup>[2]</sup>, 大部分在生物系统中降解, 在进水水质波动, 生物单元去除效果也产生波动时, 最终靠高效沉淀池深度处理保障出水 TP 达标。出水 SS 指标最终由深度处理组合工艺保障达标。

### 3 设计工艺流程

### 3.1 浅层高效滤池生产性中试验证

由于浅层高效滤池国内的工程经验主要集中在

工业水处理,为验证其对市政污水的效果,特选择在某污水厂进行了 20 多天的生产性验证试验。为了增加单格中试装置流量适应范围,中试装置的进水泵采用变频控制。试验规模:最大流量  $480 \text{ m}^3/\text{d}$  (模拟实际工程中 1 格反洗时的运行流量),峰值流量  $363 \text{ m}^3/\text{d}$ ,平均流量  $250 \text{ m}^3/\text{d}$ ;最大滤速  $11.4 \text{ m/h}$ ,峰值滤速  $8.6 \text{ m/h}$ ,平均滤速  $6 \text{ m/h}^{[3]}$ 。试验进、出水水质见图 1。

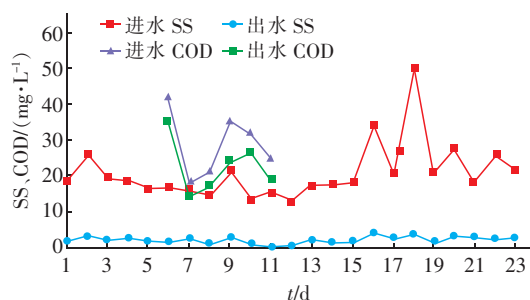


图1 浅层高效滤池进、出水 SS 和 COD

Fig. 1 Influent and effluent SS and COD of Hydro-Clear shallow media rapid filter

由图 1 可见,在进水 SS 为 20 ~ 50 mg/L 的范围内,仍能保证出水 SS  $\leq 5$  mg/L,且能同步去除部分以 SS 形式存在的 COD。

结合浅层滤池在已实施工程项目中表现出来的占地小、土建工程量小、施工难度低、运行费用低等特点,本项目深度处理最终采用高效沉淀池和浅层高效滤池组合工艺。

### 3.2 工艺流程

该项目工艺流程见图 2。

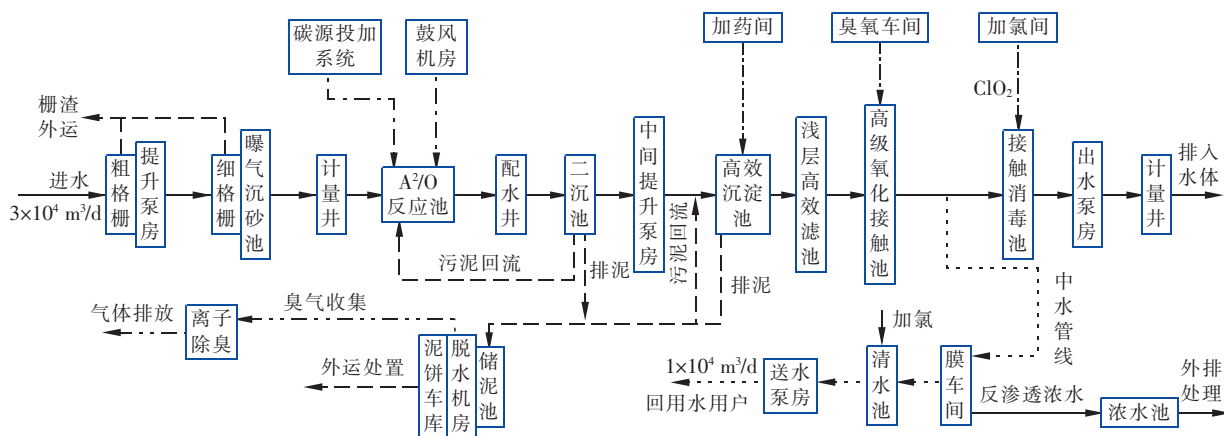


图2 污水处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of wastewater treatment process

污水经预处理后进入 A<sup>2</sup>/O 工艺,完成对 BOD<sub>5</sub>、COD、NH<sub>3</sub>-N、TN 的降解,及绝大部分 TP 的降解。为控制 TP 达标,深度处理采用高效沉淀池技术。为满足 SS≤5 mg/L 的要求,后续选用浅层高效滤池。再生水回用部分的膜车间内包括超滤膜和 RO 反渗透膜(双膜工艺)。

#### 4 浅层高效过滤系统及基本设计参数

##### ① Hydro-Clear 浅层高效滤池简介

Hydro-Clear 浅层高效滤池为非满流的重力下向流过滤,进水过滤过程与 V 型滤池恒水位过滤<sup>[4]</sup>有所不同,滤层上是一个变水位过滤过程,出水是恒水位,由出水堰控制。整个系统的设定水头损失约 2.4 m。

反洗过程整体上是水力擦洗式反洗,需先关闭进水,启动一个预脉冲搅拌,使更多的滤池内进水经过脉冲搅拌更新的砂层后快速进入清水井,降低自用水量。接着正式启动反洗泵,反洗泵运行的 3.5 min 的过程中约 2.5 min 内辅助以空气搅拌,使反洗擦洗下来的悬浮物更容易排走。无常规滤池的单纯气洗过程,总反洗历时 3.5 min,反洗水强度 8.05 L/(m<sup>2</sup>·s)。

##### ② 设计参数

平均设计水量:3×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d;峰值设计水量:4.35×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d;共设 1 座浅层高效滤池,分为 8 格(含近远期,近期为 4 格),单格面积:27.89 m<sup>2</sup>(单格宽 3.66 m、长 7.62 m);设计滤速:8.1 m/h;近期强制滤速 10.8 m/h,远期强制滤速 9.3 m/h;滤料粒径:0.45 mm;滤料层厚度:254 mm。

##### ③ 核心系统设计

浅层高效滤池设计参数如下:

空气搅拌系统:设置鼓风机 2 台(1 用 1 备), $Q=7.3$  m<sup>3</sup>/min, $P=20$  kPa。搅拌空气由主管通过 DN80 自动阀门分配到每格过滤单元,滤池沿池长 7.62 m 方向两侧各布置 5 根 DN25 的竖管连到池底过滤介质砂层上方,最终沿池长方向对称布置穿孔释放器。按滤池内液位高低情况自动启停,间歇运行。当滤池内液位高于空气/脉冲搅拌设定液位时,空气搅拌系统运行;当同步也运行了脉冲搅拌,使滤池内液位降低到低于空气/脉冲搅拌设定液位时,空气搅拌系统停止。本项目空气搅拌系统每天运行 1~3 h。

脉冲搅拌系统:在每格滤池单元沿池长方向各

设置 4 根 DN80 的空气外逸连通管。此连通管与专用的池底集配水系统、反洗泵等联合工作,使表层被污染的砂层翻新,减小砂层表面的局部水头损失,使过滤介质再生<sup>[1]</sup>。再生后的砂层更新了滤料表面的局部阻力,更易于滤水,这就使得脉冲搅拌后滤池内进水液位得以降低。但脉冲搅拌的数量也不可以随意增加,需以整个空气/脉冲搅拌期间截留的污染物均能在下一次反洗过程中排净为原则,通常市政项目两次反洗周期期间设置 6 次脉冲搅拌过程。

化学清洗系统:化学清洗的目的就是将常规反洗清洗不掉的黏附在滤料上的小泥丸、小油丸通过一定的化学清洗药剂的反复浸泡摩擦清洗,使滤料彻底恢复洁净。

化学清洗所用的药剂是 12.5% 的次氯酸钠溶液。具体设计如下:化学清洗系统包括两台化学药剂投加泵,一个 1 500 L 的药剂储存罐,每个过滤单元配一个 DN40 的自动阀门。化学清洗泵 2 台(1 用 1 备), $Q=12$  m<sup>3</sup>/h, $H=350$  kPa, $N=5.5$  kW;通常化学清洗系统约每 2 个月运行 1 次。由于系统反冲洗效果好,自 2020 年 1 月运行以来仅进行过 2 次化学清洗。

##### ④ 平、剖面布置

滤池长 32 m,宽 14.6 m,过滤主体单元高 2.95 m,总占地面积 467 m<sup>2</sup>。

具体布置形式见图 3。

由图 3 可见,系统布局紧凑,土建设计简单。浅层高效滤池总体可比普通 V 型滤池节省 30%~40% 的占地面积。原因如下:

a. 与 V 型滤池相比,节省了反洗外排渠的无效占地空间,浅层高效滤池反洗外排渠采用集约的钢渠设计,渠下方仍满布滤料,为滤池的有效过滤面积。

b. 浅层高效滤池强制滤速为 9.3~10.8 m/h,设计滤速为 8.1 m/h 或以上,比《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)要求的采用均匀级配石英砂滤料的 V 型滤池的设计滤速 5~8 m/h 略高。

c. 进水总渠与清水井叠建,省略单独管廊空间。进水总渠下部为清水井,采用潜水泵形式反洗泵,进水管及阀门、清水出水管及阀门、反洗进水管及阀门均综合布置在清水井内。

d. 系统配套设备数量少、规格小,所需附属设备间占地面积也就相对较小。

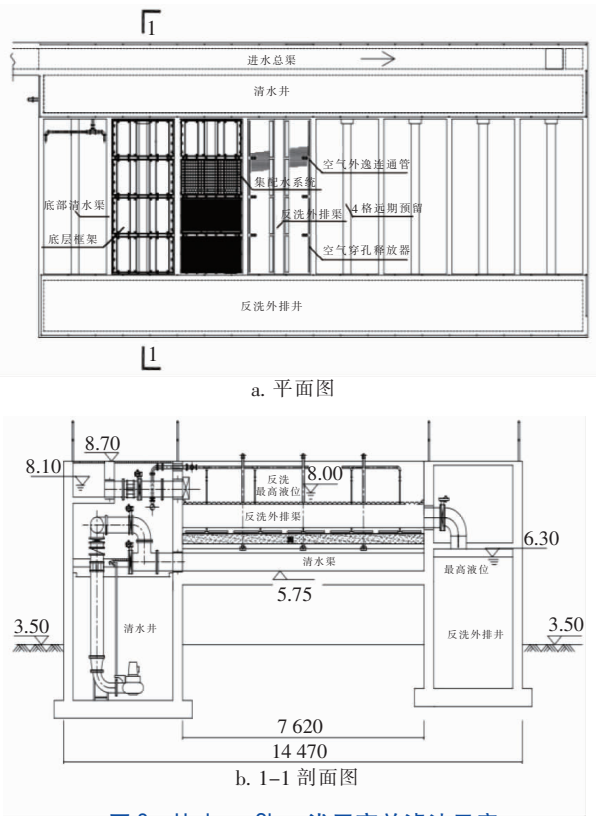


图 3 Hydro - Clear 浅层高效滤池示意  
Fig.3 Schematic diagram of Hydro-Clear shallow media rapid filter

5 浅层高效滤池工艺设计特点

① 采用单一粒径的 0.45 mm 的细砂滤料,辅  
以专有的空气搅拌、脉冲搅拌,将过滤介质上方的水  
层也作为纳污空间,解决了细砂易污堵的问题,并保  
障生产高品质的出水。

② 浅层滤料,滤料层高度≤260 mm;浅池设  
计,过滤单元主体池深为 2.95 m,池内均为模块化  
设备,土建池体结构简单便于施工,滤池池壁砂滤层  
段无需拉毛处理<sup>[5]</sup>,降低了土建工程量及土建费用  
(比 V 型滤池节省约 40%~50% 的土建工程量)。

③ 创新的池底集配水系统设计,配合专有的  
自控系统,在过滤过程仍在进行的情况下,通过 6 次  
空气搅拌和 6 次脉冲搅拌不断赢得过滤水头,反洗  
周期仅为 1 次/(1~2) d。滤料损失小,运行 1 年  
多,发现滤料层厚度没明显变化,降低了更换滤料的  
费用。系统自动化程度高,在节假日可以做到无人  
值守。

6 运行效果及运行管理

① 运行效果

本项目深度处理工段于 2019 年 12 月开始正式

进水调试运行,2020 年 1 月开始正式投运,2020 年  
6 月顺利通过联合竣工验收。从投运到竣工验收 6  
个月期间持续稳定运行,浅层高效滤池实际运行数  
据见表 2。

表 2 浅层高效滤池实际运行进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality of Hydro-Clear  
shallow media rapid filter mg·L<sup>-1</sup>

时间	进水 SS	出水 SS	进水 COD	出水 COD	进水 TP	出水 TP
1 月 10 日	10	4	27.3	15.8	0.10	0.09
1 月 20 日	10	2	29.0	16.4	0.15	0.13
1 月 30 日	8	4	24.7	18.2	0.13	0.12
2 月 10 日	12	2	28.6	12.9	0.12	0.10
2 月 20 日	10	2	31.7	18.4	0.12	0.10
3 月 10 日	9	1	12.2	14.8	0.09	0.08
3 月 20 日	9	3	21.1	13.3	0.08	0.06
3 月 30 日	8	4	29.2	20.0	0.12	0.11
4 月 10 日	9	3	28.1	22.7	0.13	0.12
4 月 20 日	9	3	29.7	24.7	0.18	0.16
4 月 30 日	8	2	26.5	21.4	0.15	0.14
5 月 10 日	9	2	22.5	21.8	0.13	0.12
5 月 20 日	8	3	23.0	22.9	0.13	0.12
5 月 30 日	11	3	21.6	18.2	0.09	0.08
6 月 10 日	7	3	20.4	19.2	0.14	0.12
6 月 20 日	9	3	22.9	21.3	0.10	0.12
6 月 30 日	12	2	32.0	27.6	0.17	0.14
平均值	9.3	2.7	25.3	19.4	0.13	0.11

从表 2 可见,浅层高效滤池对 SS 的去除率为  
71%,SS 指标稳定达到排放要求。在去除 SS 的同  
时,协同去除约 23% 以 SS 形式存在的 COD,去除约  
10% 以 SS 形式存在的磷。

② 运行管理

浅层高效滤池为全自动运行,无需过多的人工  
关注。按照高低液位自动运行,在进行 6 次空气搅  
拌和 6 次脉冲搅拌后,待滤池内液位再达高液位时  
会自动进行水力擦洗式反洗。

单格反洗 1 次的自用水量 为 52.5 m<sup>3</sup>。目前污  
水处理厂实际运行水量为 12 000 m<sup>3</sup>/d,反洗周期为  
1 次/(1~2) d,即滤池自用水量为 0.8%~1.8%。

运行人员需关注高效沉淀池投药量及投药种类  
对滤池反洗效果的影响,由于浅层高效滤池可截留  
粒径>3 μm 的颗粒,故可适当降低高效沉淀池的  
PAM 投药量,减少黏性较大的 PAM 对滤池的影响。

在近 2 个月连续运行周期后,运行人员需抽检  
记录滤池反洗后滤料洁净程度,评估反洗效果,判断



是否需要适时启动化学清洗。如需进行化学清洗,操作时需注意所投加的化学药剂药量应充分考虑化学药剂储罐与化学药剂投加点之间管路系统的填充容积需求,保障药剂先足以充满管路系统,再按照滤池内需投加药量进行投加,确保化学清洗效果。

## 7 运行费用

浅层高效滤池吨水运行电耗约  $0.0044 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ,吨水电耗运行费用约  $0.0035 \text{ 元}/\text{m}^3$  [电价  $0.8 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ];考虑约2个月1次的化学清洗频次,化学清洗药剂费用为  $0.001 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,Hydro-Clear 浅层高效滤池电、药耗费用合计约  $0.0045 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。目前,污水处理厂每6个月进行1次化学清洗,药耗更小。通常滤池运行还需要考虑更换滤料的费用,从该项目运行1年多的实际效果来看,滤料层厚度无变化,因此暂无需考虑补充滤料的费用。

## 8 结语

① 在深度处理需要兼顾  $\text{TP} \leq 0.3 \text{ mg/L}$  和  $\text{SS} \leq 5 \text{ mg/L}$  指标时采用高效沉淀池和浅层高效滤池相结合的工艺路线是可行的,出水水质稳定满足天津地标A标准。

② 在进水  $\text{SS} \leq 15 \text{ mg/L}$  的前提下稳定满足出水要求,浅层高效滤池对以SS形式存在的COD的去除率约为23%,对以SS形式存在的TP的去除率约为10%。

③ 与V型滤池相比,浅层高效滤池更节省占地面积和土建工程量,尤其适用于占地相对紧张的新建、改扩建项目。

## 参考文献:

[1] 梁际青. Hydro-Clear 快速过滤器的设计和安装调试

[J]. 通用机械,2016(8):66-70.

LIANG Jiqing. Design, installation and commissioning of Hydro-Clear rapid filter [J]. General Machinery, 2016(8):66-70(in Chinese).

[2] 黄霞. 论污水处理技术的未来发展——从处理到资源回收[J]. 给水排水,2013,39(9):1-3.

HUANG Xia. Future development of wastewater treatment technology—from the processing to the resource recovery [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(9):1-3(in Chinese).

[3] 杨淑霞. Hydro-Clear 浅层高效滤池对市政污水的处理效果[J]. 中国给水排水,2019,35(11):77-80.

YANG Shuxia. Effect of Hydro-Clear shallow media rapid filter for municipal wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(11):77-80(in Chinese).

[4] 吴建平,张莉娜. V型滤池设计中应注意问题[J]. 河南化工,2010,27(12):35-37.

WU Jianping, ZHANG Lina. Some problems should be paid attention to in the design of V-type filter [J]. Henan Chemical Industry, 2010, 27(12):35-37(in Chinese).

[5] 王富春. V型滤池设计与施工中应注意的一些细节问题[J]. 给水排水, 2011, 37(6):101-103.

WANG Fuchun. Some detailed problems should be paid attention to in the design and construction of V-type filter [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(6):101-103(in Chinese).

作者简介:刘天顺(1975-),男,天津人,硕士,教授级高级工程师,从事城市给排水工程和环境工程的设计工作。

E-mail:liutianshun1975@126.com

收稿日期:2021-06-02

修回日期:2021-08-05

(编辑:孔红春)

加强地下水管理保护,防止地下水超采