

# 上海市石洞口污水处理厂提标改造工程设计

胡维杰, 周友飞

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 对上海市石洞口污水处理厂进行提标改造设计,主要解决日常污水溢流、生物反应池浑水排放及出水水质一级A提标三大核心问题。其中溢流污水及生物反应池浑水问题通过新建综合池得到有效解决;通过新增“高效沉淀池+反硝化深床滤池”深度处理组合工艺实现出水TP、TN、SS等达标。同时,通过增设污泥杂质分离设备及对现状储泥池的原位改造解决了剩余污泥杂质含量高的问题,并通过切换闸门井设计优化、现状加氯消毒池和出水箱涵的改造而成功实现了污水厂不停水施工。

**关键词:** 提标改造; 综合池; 高效沉淀池+反硝化深床滤池; 不停水施工

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)10-0043-05

## Process Design for Upgrading and Reconstruction of Shanghai Shidongkou WWTP

HU Wei-jie, ZHOU You-fei

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Shanghai Shidongkou WWTP has been upgraded and reconstructed mainly to solve three problems: the daily wastewater overflow, the backflow from the biological reaction tank and the upgrading requirement of effluent to first level A criteria of GB 18918-2002. The integrated tank was designed with the function of both storage of overflow wastewater and purification of the backflow from the biological reaction tank. Effluent quality indexes of TP, TN and SS were upgraded through the combined tertiary treatment process of “high-efficiency sedimentation tank + denitrification filter”. Besides, the problem of high content of impurities in excess sludge was solved by adopting separation equipment and in situ reconstruction of the sludge storage tank. And then, project measures like optimizing the design of the switching gate shaft, retrofitting the existing chlorine disinfection tank and the sewage box culvert ensured the non-stop construction of the WWTP.

**Key words:** upgrading and reconstruction; integrated tank; high-efficiency sedimentation tank + denitrification filter; non-stop construction

上海市石洞口污水处理厂于1999年底动工,2002年底调试运行,建设规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。污水厂采用一体化活性污泥法工艺。建成至今,该厂为片区水环境改善作出了重大贡献,然而在后期运行中存在几点问题<sup>[1]</sup>:①新建污水总管新西干线输送能力增加,污水厂旱季存在污水溢流;②一体化生物反应池运行中间歇排放的浑水降低了预处理段的

运行效率;③污水厂出水TP、TN、SS等已不能满足日趋严格的排放标准。故需进行提标改造。

### 1 设计水质及工艺流程

提标改造工程措施:溢流污水通过新建调蓄池及综合池中的C池进行调蓄处理;一体化生物反应池(以下简称“生反池”)浑水通过新建综合池中的B池(双层沉淀池)进行沉淀处理;出水TP、TN、SS

等通过新增“高效沉淀池+反硝化深床滤池”深度处理组合工艺实现达标。提标改造工艺流程见图1。

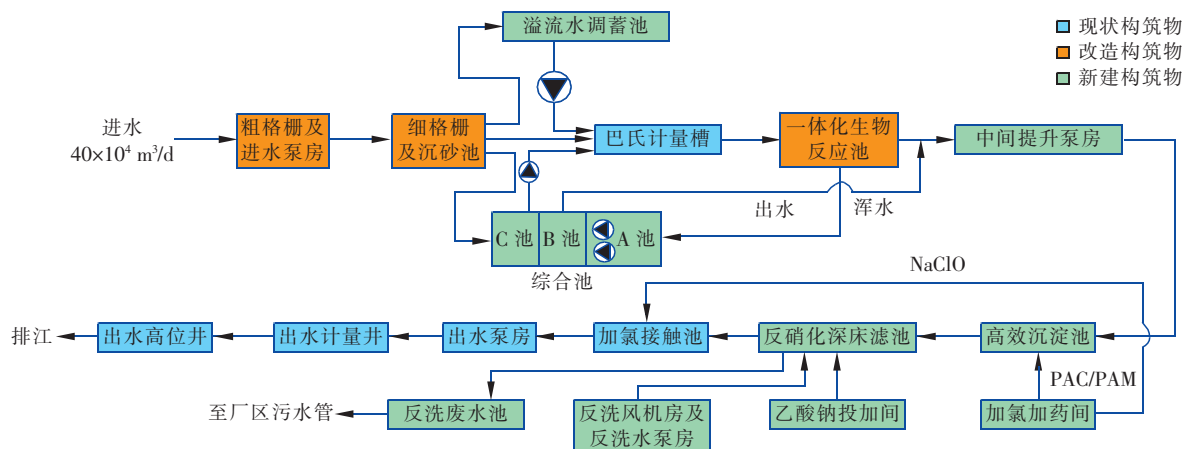


图1 提标改造工程工艺流程

Fig. 1 Flow chart of upgrading and reconstruction project

提标改造工程设计进、出水水质见表 1。出水水质执行 GB 18918—2002 一级 A 标准。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项 目	进水/(mg · L <sup>-1</sup> )	出水/(mg · L <sup>-1</sup> )	去除率/%
COD	410	50	87.8
BOD <sub>5</sub>	210	10	95.2
SS	290	10	96.6
NH <sub>3</sub> - N	38	5( T > 12 ℃ ) 8( T ≤ 12 ℃ )	78.9 ~ 86.8
TN	55	15	72.7
TP	5.5	0.5	90.9

## 2 综合池工艺设计

综合池采用集约化布置形式,节省占地,主要由 A、B、C 三池组合而成,其中 A 池为浑水泵房,存储和提升生反池浑水;B 池为双层沉淀池,净化生反池浑水;C 池为调蓄池,进行旱季溢流污水调蓄。

## 2.1 A 池设计

本项目一体化生反池共设 4 组,每组分 3 条,每条由 3 格方形水池(Ⅰ池、Ⅱ池、Ⅲ池)组成(见图 2),三格水池通过池底设置的 DN1 000 钢管水力连通。生反池周期运行,每周运行过程主要包含两个主运行段和两个过渡段。污水首先进入Ⅰ池,从连通管至中间曝气池,再经连通管到右侧沉淀池,处理水由固定堰排出;经短暂的中间过渡段后,进水改由Ⅲ池进入,经中间曝气池后至左侧Ⅰ池,原本进水的Ⅰ池改为沉淀池,处理水由固定堰排出,如此周而复始,完成污水净化功能。

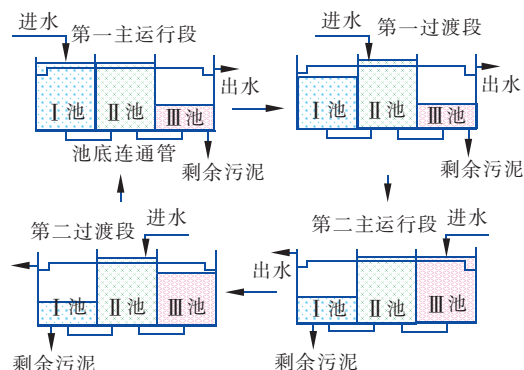


图2 一体化生反池运行模式示意

Fig. 2 Schematic diagram of run mode of integrated biological reaction tank

由于水池之间通过底部钢管连通,运行过程中沿水流方向存在一定的水位差,其中进水边池水位最高,并淹没了出水固定堰,出水槽中集聚一定量的泥水混合液。当该边池由曝气池过渡到沉淀池时,残留在出水槽中的混合液需先排除后方可排放清水,清水排放前的该部分混合液称为浑水。本项目一体化生反池运行周期为 6 h,由运行模式可知,每周期排浑水 2 次,即每隔 3 h 排浑水一次,每次排浑水时间约 20 min。

提标改造将一体化生反池浑水经 A 池存储提升后至 B 池进行沉淀处理。正常情况下一组生反池排放浑水,极端情况两组同时排放,A 池进水按极端两组生反池同时排放浑水考虑,设计进水流量为  $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。A 池出水按 3 h 内轮番排完 4 组生反池浑水考虑,即每组生反池浑水在 0.75 h 内排完,A

池出水流量为  $0.67 \text{ m}^3/\text{s}$ , 设计取值为  $0.70 \text{ m}^3/\text{s}$ 。最不利情况下, 两组生反池同时排浑水期间, A 池进出水流量之间存在较大差值, A 池具有足够的容积缓冲水量差值。设计 A 池有效容积约  $4\,233 \text{ m}^3$ , 大于两组池子单批次 (20 min) 同时排浑水总量 ( $3\,600 \text{ m}^3$ )。池内配备 4 台变频潜水泵, 每台  $Q = 350 \text{ L/s}$ ,  $H = 54 \sim 159 \text{ kPa}$ , 2 用 2 备。

## 2.2 B 池设计

《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016 年版)规定: 平流式沉淀池设计每格长度与宽度之比不宜小于 4, 长度与有效水深之比不宜小于 8, 池长不宜大于 60 m。为了在有限的用地范围内实现生反池浑水水质净化目标, 同时考虑综合池整体布置, B 池设计采用双层平流式沉淀池。将平流式沉淀池上下叠加, 中间隔板既是上层沉淀池的底板也是下层沉淀池的顶板。此工艺在国内应用实例不多, 从仅建成运营的几座污水厂来看, 双层平流式沉淀池具有处理效率高、占地面积少、布置紧凑等优点, 且沉淀池运行状况良好, 出水水质稳定<sup>[2]</sup>。

B 池设计流量为  $0.70 \text{ m}^3/\text{s}$ , 分三组, 每组上下两层, 共 6 格, 每格沉淀池设计流量约  $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ 。上层沉淀池每格有效池长为 57 m, 宽为 6.6 m, 有效面积为  $376.2 \text{ m}^2$ , 实际水力负荷为  $1.15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ; 下层沉淀池每格有效池长为 52.6 m, 宽为 7.5 m, 有效面积为  $394.5 \text{ m}^2$ , 实际水力负荷为  $1.06 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 均满足规范要求。上层沉淀池有效水深为 4.2 m, 下层沉淀池有效水深为 3.75 m, 沉淀时间分别为 3.7 h 和 3.4 h。

沉淀池出水采用三角形出口堰, 上层池体的上清液通过池体两侧出口堰流入出水槽; 下层池体的上清液通过池体两边的预留孔洞流向出口堰, 然后进入出水槽。单格沉淀池上层出口堰负荷为  $1.67 \text{ L}/(\text{m} \cdot \text{s})$ ; 单格沉淀池下层池体出口堰负荷为  $1.71 \text{ L}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

沉淀池采用机械排泥, 每格沉淀池均设置一套链板式刮泥机, 上下层共用驱动装置。排渣采用电动撇渣管, 共设 3 套, 每组上下格沉淀池共用一套, 浮渣经撇渣管去除。每组沉淀池设一个污泥斗, 接纳上下层沉淀池底泥。池内设有污泥回流及剩余污泥排放系统。设计配置 4 台回流污泥泵 (3 用 1 备), 每台  $Q = 80 \text{ L/s}$ ,  $H = 40 \text{ kPa}$ 。配置 2 台剩余污泥泵 (1 用 1 备), 每台  $Q = 20 \text{ L/s}$ ,  $H = 50 \text{ kPa}$ 。

## 2.3 C 池设计

新建污水总管新西干线输送能力在原老西干线基础上增加了 20% 旱季平均污水量, 存在污水厂旱季污水溢流问题。提标改造考虑该部分增加量, 经现状水力旋流沉砂池分配后进入 C 池调蓄, C 池进水流量为  $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 。经调蓄后的污水泵送至后续污水处理构筑物进行全流程处理。

调蓄区共分 4 组, 并行运行, 每组设计流量为  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 。每组调蓄池沿水流方向分 3 格, 用墙体分隔, 水流从墙体下部设置的过水孔通过。每个调蓄区格沿对角线配置 2 套潜水搅拌器, 调蓄池池底按 1% 坡度坡向出水端, 出水最终汇至溢流水提升区。提升区设 4 台潜水泵, 采用高低扬程泵组合。

## 3 深度处理单元工艺设计

因一体化生反池工艺本身的特殊性, 出水分浑水和清水, 提标改造对浑水进行沉淀处理后与清水汇合进入深度处理单元, 深度处理段设计中若仅考虑生反池清水出水, 将造成各单体设计尺寸偏小, 实际水力负荷及污染物负荷均大于设计值, 出水水质存在不达标风险。具体流量关系见图 3, 其中, 一体化生反池进水高峰流量为  $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ , 综合池 B 池出水流量为  $0.70 \text{ m}^3/\text{s}$ , 两者汇合后进入后续深度处理单元, 深度处理单元设计高峰流量为  $6.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , 平均流量为  $4.63 \text{ m}^3/\text{s}$ , 实际高峰系数为 1.45。

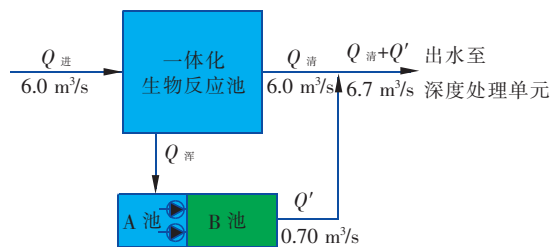


图3 深度处理单元进水量示意

Fig. 3 Schematic diagram of inflow of advanced treatment unit

### 3.1 高效沉淀池工艺设计

高效沉淀池工艺集多种功能为一体, 通过投加水处理药剂, 使药剂与污水充分混合、反应后, 沉淀去除水体中 COD、SS、TP 等污染物。设高效沉淀池两组, 每组 4 格, 并行运行, 单格池设计流量为  $0.84 \text{ m}^3/\text{s}$ 。每组沉淀池由中间配水井配水后, 依次进入后续混合、絮凝和沉淀单元。

① 快速混合单元: 单池混合池设计混合时间

为1.4 min。为了保证混合效果,在快速混合池内安装一个混合搅拌器对原水与混凝剂(PAC)进行快速混合搅拌。混合池速度梯度 $G$ 设计取值为 $279\text{ s}^{-1}$ ,搅拌器功率为5.5 kW,变频调速运行。

② 絮凝单元:絮凝区设计停留时间为12.6 min。由于絮凝区呈狭长形,沿池长方向布置两个导流筒和搅拌器,絮凝回流比设计取6,每个导流筒设计流量为 $2.94\text{ m}^3/\text{s}$ ,导流筒直径为 $\varnothing 2.7\text{ m}$ ,筒内流速为 $0.51\text{ m/s}$ 。絮凝搅拌器桨叶直径为 $\varnothing 2.4\text{ m}$ ,功率为2.2 kW,絮凝池速度梯度 $G$ 值为 $83\text{ s}^{-1}$ 。絮凝池出水采用孔口淹没出流,出水端沿池长方向设4个过水孔,出水过孔流速为 $0.035\text{ m/s}$ 。

③ 沉淀单元:采用异向流斜板沉淀池,斜板尺寸为 $1.5\text{ m}(L) \times 1.3\text{ m}(H)$ ,安装角度为 $60^\circ$ 。设计清水区平面尺寸为 $14.5\text{ m} \times 13.7\text{ m}$ ,斜板面积利用系数取0.91,设计表面水力负荷为 $16.7\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。斜管区上方清水区高度设计取1.0 m,下方布水区高度为1.5 m,污泥浓缩区高度为3.8 m,池底按0.067坡度坡向中心泥斗。每格沉淀池底部预埋一根DN200回流污泥管和一根DN200化学污泥管,回流污泥(回流量2%~5%)由污泥泵抽吸回流至絮凝池,化学污泥由污泥泵压送至污泥处理段。

### 3.2 反硝化深床滤池工艺设计

本工程设两组反硝化深床滤池,镜像对称布置,并行运行。反硝化滤池主要由进水混合池、过滤单元及管廊间三部分组成。高效沉淀池出水进入滤池前端混合池,混合池内设搅拌机1台,功率为11 kW,并设碳源(乙酸钠)投加点,混合池平面尺寸为 $4.45\text{ m} \times 3.86\text{ m}$ ,有效水深为6.54 m。

混合池出水经配水渠进入过滤单元,滤池计算按 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除负荷进行,设计限制条件为冬天,此时水温低,反硝化菌活性较差。本工程反硝化深床滤池设计 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 去除负荷为 $0.73\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,计算得滤料总容积为 $5445.9\text{ m}^3$ ,设计单格滤池尺寸为 $30.48\text{ m} \times 3.56\text{ m}$ ,滤层厚度取2.29 m,共计22格滤池,每组11格。

本工程设计平均滤速为 $6.98\text{ m/h}$ ,最大滤速为 $10.12\text{ m/h}$ ,考虑一格反冲洗,设计平均水量时强制滤速为 $7.68\text{ m/h}$ ,最大水量时强制滤速为 $11.14\text{ m/h}$ 。深床滤池采用气水反冲洗模式,具体反冲洗过程:气洗3~5 min;气水联合冲洗15~20 min;水漂洗5 min。设计反冲洗水强度为 $14.7\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,

反冲洗水流量为 $1592\text{ m}^3/\text{h}$ ,设置5台反冲洗水泵(4用1备),每组滤池配备2台,单台流量为 $796\text{ m}^3/\text{h}$ 。反冲洗气体强度为 $110\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,反冲洗风量为 $11936\text{ m}^3/\text{h}$ ,采用5台罗茨鼓风机(4用1备),每组滤池配备2台,每台风量为 $5968\text{ m}^3/\text{h}$ 。滤池反冲洗水排至废水池调蓄,由废水泵提升至污水厂预处理区,设计配置4台废水提升泵(2用2备),每台 $Q=300\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=95\text{ kPa}$ 。

### 4 污泥杂质分离工艺设计

石洞口污水厂进水杂质及砂含量较大,现有预处理工艺除渣、除砂作用有限,一定量的浮渣和细砂进入剩余污泥中,给后续污泥处理带来了较大影响,不仅引起污泥管道堵塞,还减小了设备使用寿命。

本次提标改造针对剩余污泥杂质含量较高的问题,通过设置污泥杂质分离设备去除剩余污泥杂质,设计采用3套(2用1备)微网杂质分离设备,单套处理能力为 $3500\text{ m}^3$ 污泥/d,出泥浓度为 $18\text{ g/L}$ 。污泥杂质分离流程见图4。杂质分离设备处理对象为一体化生物反应池剩余污泥和综合池B池沉淀污泥。为克服排泥浓度不均给杂质分离设备带来的不利影响,设计利用现状储泥池4格中的一格用作均质调节池,两份污泥均泵送至均质调节池,由池内设置的两台提升泵送至剩余污泥杂质分离设备。剩余污泥杂质分离设备出泥接至4格储泥池中的其余3格,然后进入后续污泥处理设施。

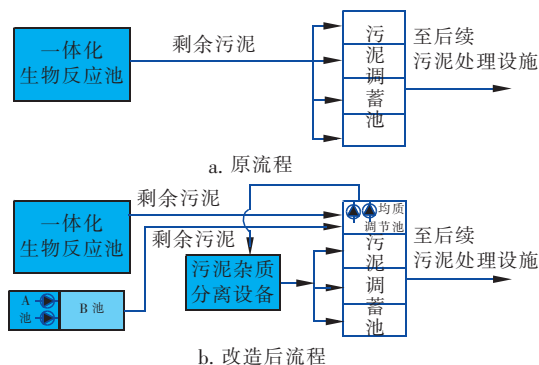


图4 剩余污泥杂质分离流程

Fig.4 Flow chart of excess sludge impurity separation process

### 5 不停水施工方案工艺设计

污水厂原一体化生反池出水经出水箱涵至加氯接触池消毒后排放,提标改造工程在现状出水箱涵边新建切换闸门井,将生反池出水引至深度处理段。提标改造深度处理段水流路径见图5。切换闸门井分为进水井室和出水井室,通过现状箱涵侧边开孔,

实现污水至进水井室,经新建箱涵输送至深度处理区;深度处理区出水通过新建箱涵进出水井室后排入现状出水箱涵。这种改造方案工程量最小,除对现状箱涵进行开孔引水外,其余现状设施均保留利用。但由于现状出水箱涵处于连续有水状态,要进行现状箱涵侧边开孔,必须使箱涵处于排空状态,同时要实现深度处理区进水和出水的分隔,必须对现状出水箱涵进行停水封堵。这些都带来了污水厂停水问题。经比选,提出了不停水施工方案(见图6)。

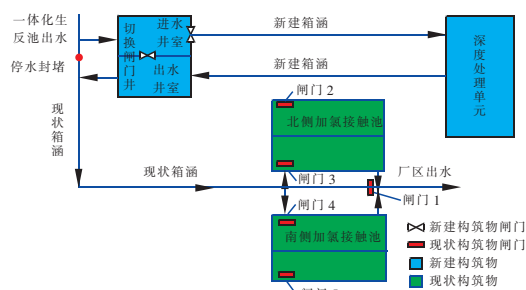


图5 深度处理段原设计水流路径

Fig. 5 Original flow route of the advanced treatment unit

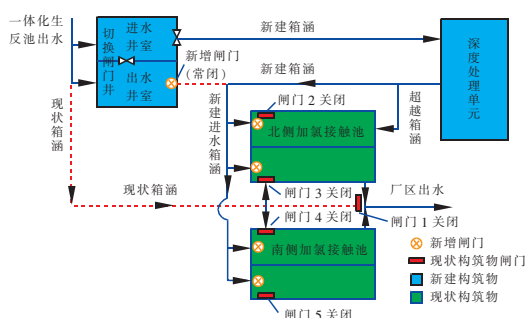


图6 不停水施工方案示意

Fig. 6 Schematic diagram of non-stop construction

方案主要包含如下技术措施:

① 切换闸门井设计优化:改现状箱涵侧边开孔为顶部开孔,通过打开现状出水箱涵超越闸门1,使箱涵处于非满流状态,可实现不停水开孔作业;在出水井室增设电动闸门阻断深度处理段来水。

② 现状加氯消毒池改造:通过新建进水箱涵,将深度处理出水直接引入加氯消毒池,消毒池新建四处进水闸门控制入流,出水利用原设施排走。

如此,关闭现状超越闸门1,关闭现状加氯接触池进水闸门2~5,阻断现状出水箱涵出水,一体化生反池出水经切换闸门井引入进深度处理段后直接进入加氯消毒池消毒后排放,整个过程不停水作业,实现了提标改造不停水施工。

## 6 结语

① 提标改造新建综合池采用集约化布置形式,具有多功能性,其中A、B池进行一体化生反池浑水提升净化,C池实现溢流污水调蓄功能。

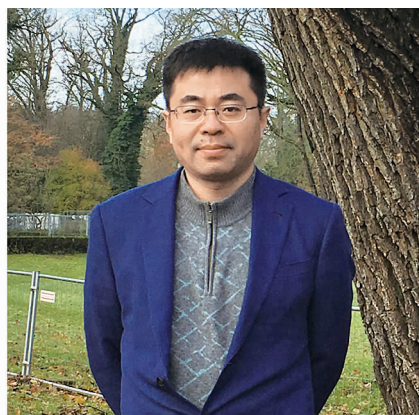
② 高效沉淀池工艺集高效混合、提升絮凝、斜板(管)沉淀三个过程于一体。反硝化深床滤池与高效沉淀池组合确保出水一级A达标排放。

③ 增设污泥杂质分离设备解决剩余污泥杂质含量高的问题,同时对现状污泥储蓄池进行改造,既保留原状储泥功能,又增加了污泥均质调节功能,保证剩余污泥杂质分离设备的稳定运行。

④ 通过切换闸门井设计优化以及对现状加氯接触池和出水箱涵的改造,实现污水厂不停水施工。

## 参考文献:

- [1] 胡维杰. 上海市石洞口污水处理厂提标改造方案探讨[J]. 中国给水排水, 2014, 30(2): 44-47.  
Hu Weijie. Discussion on upgrading and reconstruction scheme of Shanghai Shidongkou WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(2): 44-47 (in Chinese).
- [2] 王学福, 齐敦哲, 朱寅春, 等. 双层平流沉淀池的设计与应用[J]. 净水技术, 2013, 32(1): 83-86.  
Wang Xuefu, Qi Dunzhe, Zhu Yinchun, et al. Design and application of double-deck horizontal sedimentation tank[J]. Water Purification Technology, 2013, 32(1): 83-86 (in Chinese).



作者简介:胡维杰(1972-),男,浙江慈溪人,大本,教授级高工,注册设备(给水排水)工程师,注册咨询工程师,上海市市政总院三院总工程师,研究方向为污水处理及污泥处理等。

E-mail: huweijie@smedi.com

收稿日期:2018-01-22