

# 混凝—沉淀系统改造为复合生物处理系统的工艺设计

王淑梅<sup>1</sup> 王宝贞<sup>1</sup> 曹向东<sup>2</sup> 金文标<sup>1</sup>

(1 哈尔滨工业大学深圳研究生院, 深圳 518055; 2 深圳市水务局, 深圳 518055)

**摘要** 为了改善深圳河和布吉河的水质, 深圳市政府决定对布吉河水质净化厂原混凝—沉淀系统进行改造。改造工艺采用短水力停留时间的强化淹没生物膜—活性污泥复合工艺。介绍了布吉河水质净化厂原混凝—沉淀系统改造工程的工艺设计参数、工艺特点、技术经济指标及设计经验。为污水处理厂的改造设计提供了一套可靠的方案。

**关键词** 污水处理 混凝—沉淀 强化淹没生物膜—活性污泥复合工艺(EHYBFAS) 工艺设计

## Process design of hybrid biological treatment process reconstructed from coagulation-settlement system

Wang Shumei<sup>1</sup>, Wang Baozhen<sup>1</sup>, Cao Xiangdong<sup>2</sup>, Jin Wenbiao<sup>1</sup>

(1. Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China;

2. Shenzhen Water Bureau, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** Aiming to improve the water quality in Buji Creek and Shenzhen River, the Coagulation-settlement of Buji temporary wastewater treatment plant will be reconstructed with the enhanced hybrid biofilm and activated sludge process which has short HRT. The design parameters for the main structure, process characteristics, techno-economic index, and experience with the design were introduced, which supplied an example for wastewater treatment plant reconstruction.

**Keywords:** Wastewater treatment; Coagulation-settlement; Enhanced hybrid biofilm and activated sludge process; Process design

由于经济的高速发展和城市污水处理、河道污染治理的相对滞后, 使未达标的污水处理厂出水及部分未经处理的工业、生活污水直接排入河道, 深圳市区内河道几乎全部是劣V类水体, 直接影响到城市的经济发展和居民的生活质量。为了改善深圳河水质, 深圳市政府决定对深圳市区内河流进行综合整治, 先支流后干流。

布吉河是深圳河的一级支流, 与福田河、沙湾河、皇岗河、新洲河、凤塘河、大沙河等构成深圳河(湾)水系。由于布吉河特区外流域污水收集系统不完善, 且特区内虽建设了分流制排水系统, 仍存在大量的错接乱排现象, 造成布吉河水质受到严重污染。

针对布吉河特区外污水系统建设严重滞后、短期内无法对污水进行有效收集的现状, 在河道中对污水进行了截流, 并送入布吉河水质净化厂进行处理, 以保证流入特区内的水质有所改善。但布吉河水质净化厂原系统工艺陈旧, 采用传统的混凝—沉淀工艺, 出水水质差, 为了改善布吉河的水质和生态环境, 需对布吉河水质净化厂原系统进行改造。

### 1 现状介绍及改造工艺的确定

布吉河水质净化厂位于布吉镇布吉河草埔河段河湾以西、草埔钱排新村东侧的一低洼地段内, 占地面积 6.8 hm<sup>2</sup>, 平面布置现状见图 1。该厂采用混凝—沉淀工艺, 处理规模 20 万 m<sup>3</sup>/d。共有 2 套污水

处理系统(见图2),每套系统的处理能力均为10万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,要求其综合出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级B标准。其中,新系统采用混凝—沉淀—人工快渗工艺,2006年3月已经完工,目前正在调试,其设计出水水质可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。但由于预处理(混凝—沉淀系统)出水中含有较高的SS、 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 及 $\text{NH}_3\text{—N}$ 等,致使人工快渗系统经常堵塞,翻晒周期缩短,目前尚未正常运行。原系统采用传统混凝—沉淀工艺,在孔室反应池(混凝反应池)内投加PAM和PAC,经混凝反应后污水直接进入平流沉淀池(原设有旋流沉砂池但实际运行中并未使用),其出水水质远达不到一级B标准,工艺改造前系统出水水质见表1。即使新系统出水水质达标,与原系统出水混合后的综合出水水质也不能达标。

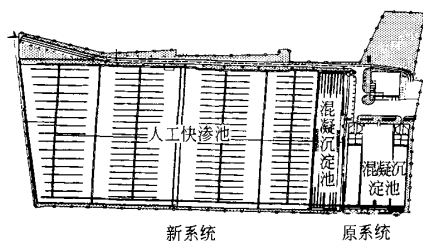


图1 布吉河水质净化厂现状平面示意

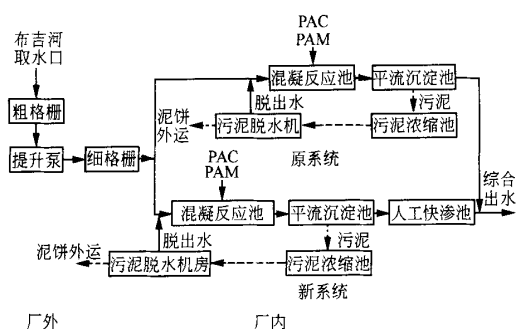


图2 布吉河水质净化厂现状流程

表1 原系统现状进出水水质(2006年3月下旬)

| 指标 | $\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg/L}$ | $\text{NH}_3\text{—N}/\text{mg/L}$ | $\text{SS}/\text{mg/L}$ |
|----|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 进水 | 150~670                              | 30~44                              | 100~1 080               |
| 出水 | 72~170                               | 31~39                              | 40~102                  |

因此,需对原混凝—沉淀系统进行改造以改善布吉河水质净化厂混合出水水质。由于现时布吉河

水质净化厂内已无扩建用地,厂外为已建城区,无扩建可能,工艺改造只能在原有处理构筑物基础上进行,力求以最小的改动和投资达到要求的处理效果。借鉴已有工程的经验<sup>[1]</sup>,决定采用强化淹没生物膜与活性污泥的复合工艺(EHYBFAS)对原系统进行改造,以实现在短HRT下高效地处理污水。

在生物膜与活性污泥的复合生物反应器中同时存在悬浮的活性污泥微生物和固着的生物膜微生物,从而可以大大提高反应器中的微生物浓度,提高对污染物的去除能力<sup>[2,3]</sup>。在曝气池中加入生物膜载体,为世代时间长的硝化菌提供了良好的附着场所和生存条件,因而能在较短的时间内实现硝化;同时,生物膜由外到内依次形成了好氧—缺氧—厌氧环境,为同时硝化反硝化提供了条件,去除有机物的同时能够脱氮除磷<sup>[4]</sup>。微生物附着在纤维载体填料上并在曝气池内一定空间内摆动,曝气气泡的冲刷剪切作用促进生物膜的更新,并使其保持一定的活性<sup>[5]</sup>。随着固着生物膜微生物量的增加,能够减少系统对二沉池的依赖,进而提高生物反应器的运行稳定性。

为了确保改造工程成功,特在布吉河水质净化厂内进行了为期4个月的现场中试研究,中试采用了短HRT的淹没生物膜—活性污泥复合工艺,中试结果表明该工艺可在3~4h内完成 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、TN、 $\text{NH}_3\text{—N}$ 和TP的去除并达到较高的污染物去除率,使出水达到GB 18918—2002的一级B标准。因此,最终决定采用短HRT淹没生物膜—活性污泥复合生物处理工艺取代现状的混凝—沉淀工艺,对规模为10万 $\text{m}^3/\text{d}$ 的原系统进行改造,改造后处理规模不变。

## 2 设计进出水水质

(1) 设计进水水质。根据目前进水实测数值并考虑留有余地,设计进水水质见表2。

表2 改造工程设计进出水水质

| 指标 | $\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg/L}$ | $\text{BOD}_5/\text{mg/L}$ | $\text{NH}_3\text{—N}/\text{mg/L}$ | $\text{SS}/\text{mg/L}$ | $\text{TN}/\text{mg/L}$ | $\text{TP}/\text{mg/L}$ |
|----|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 进水 | 300                                  | 150                        | 30                                 | 150                     | 40~50                   | 4.5                     |
| 出水 | 60                                   | 20                         | 8(15)                              | 20                      | 25                      | 1.0                     |

注:出水 $\text{NH}_3\text{—N}$ 括号内数值为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时,括号外数值为水温 $> 12^\circ\text{C}$ 时。

(2) 设计出水水质。根据布吉河的现状水质状况以及排入深圳河的要求,综合治理后布吉河水质达到 GB 18918—2002 的一级 B 标准(见表 2)。

### 3 工艺流程

在本工程设计中尽量利用了现有设备设施,以求工程改动量最小,改造后工艺流程见图 3。

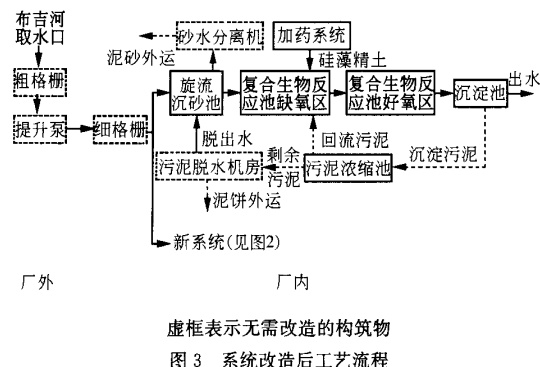


图 3 系统改造后工艺流程

### 4 工程设计

#### 4.1 原系统中主要构筑物及改造设计

##### 4.1.1 粗格栅与进水泵房

粗格栅与进水泵房合建在取水口,泵房内设 4 台潜水泵,2 台格栅置于泵房进水端,能够满足整个污水处理厂的运行要求,改造中未对其进行改动。

##### 4.1.2 细格栅

原系统设有细格栅池 1 座,分 2 格,各安装 XQ1500 格栅 1 座,栅前水深 2.3 m,栅隙 5 mm,能够满足整个污水处理厂的运行要求,不需改造。

##### 4.1.3 旋流沉砂池

污水处理厂内现状设有旋流沉砂池 2 座,直径 11.5 m,深 5.75 m(不含集沙斗),与正常旋流沉砂池相比,口径偏大,且进水管直接对着出水口,使进水无法形成有效旋流。针对旋流沉砂池中存在的问题,改造设计中调整了进水管位置,使进水在最上层空间,沿切线进入,并对称安装 2 台潜水推进器,使其能形成有效旋流。推进器型号为 QJB2.2-8-320/2-740/S,叶轮转速 740 r/min,叶轮直径 320 mm,安装高度及方向可调。集沙斗的泥沙由吸砂泵抽出后进入砂水分离机。

##### 4.1.4 混凝—平流沉淀池

原有混凝—平流沉淀池包括孔室反应池(混凝反应池)和平流沉淀池两部分,孔室反应池分 16 格,每

格尺寸为  $6\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3.9\text{ m}$ ,总 HRT 为 30 min;平流沉淀池 4 座,每座的尺寸为  $75\text{ m} \times 12.5\text{ m} \times 5.9\text{ m}$ ,总 HRT 为 4.3 h。混凝—平流沉淀池是本次改造的重点。

改造设计中将孔室反应池整体及平流沉淀池前端长 47 m 的池体改造成 EHYBFAS 复合生物反应池,剩余部分仍然作为沉淀池(见图 4)。具体包括:将原来孔室反应池改造为复合生物反应池的缺氧反应区,池体结构尺寸不变,在其中布置填料和少量曝气器;将平流沉淀池中的前端(长 $\times$ 宽 $\times$ 高= $47\text{ m} \times 12.5\text{ m} \times 5.9\text{ m}$ )改造为复合式生物反应池的好氧区,并在其内部中间 8 m 宽的区域布置帘帘式生物膜载体填料,在填料下部密集布设曝气棒,以便在曝气时形成横向水力旋流和纵向水力推流的复合水力流态(见图 5)。这样既可增加氧的利用率,又能防止水流短路,提高复合生物反应池的容积有效利用率,从而提高处理效率。改造后,复合式生物反应池的总 HRT 为 3.5 h(容积为  $14\,584\text{ m}^3$ ),其中缺氧区 30 min,好氧区 3 h;其后为平流沉淀池,结构尺寸为  $28\text{ m} \times 12.5\text{ m} \times 5.9\text{ m}$ ,共 4 座,HRT 为 1.3 h。由于受现状池体条件的限制,改造后沉淀池停留时间短,而且长宽比 $<4$ 。为了克服这些缺点,改善沉淀池出水质量,改造设计中增加了溢流堰长度,延长两侧壁的溢流堰的总长度至沉淀池总长度的  $2/3$  处。

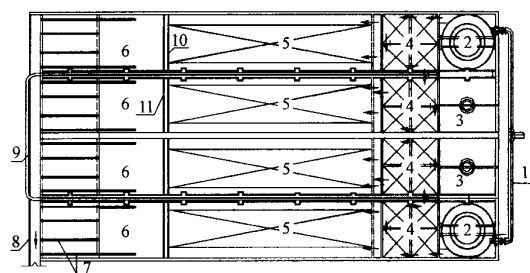


图 4 混凝沉淀池改造平面示意

在复合生物反应池的约  $2/3$  体积中布置填料,即在池中间对称地用槽钢焊接成尺寸  $6\text{ m} \times 8\text{ m} \times 4.7\text{ m}$  的框架,不锈钢钢丝将一排排平行的帘帘式

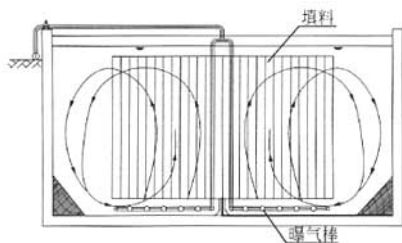


图5 复合生物反应池好氧区填料及曝气系统布置示意

填料在上端和下端分别固定在钢架的上、下横梁的孔眼中,各排填料间距均为10 cm,其生物膜附着的有效比表面积 $>10\,000\text{ m}^2/\text{m}^3$ 。复合生物反应池底部中间布设导流坎,以保证横向旋流的形成。在导流坎两侧各有4 m宽的填料区,与其外侧的无填料区构成生物膜区(约占总容积的2/3)和活性污泥区(约占总容积的1/3)的复合生物处理系统,大大提高了系统的生物量,从而能够比单纯的活性污泥工艺或生物膜工艺更高效地去除各种主要污染物。

#### 4.1.5 曝气系统

原污水处理系统中无曝气系统,改造设计中增设曝气设备(鼓风机)及相应管路系统。根据工程实际情况,对鼓风机等设备只设置简易棚罩进行现场防护,未考虑鼓风机房等建筑设计;但对鼓风机进行单机隔音降噪措施,使距风机5 m处噪音降至55 dB以下。设计选用RT-350型三叶罗茨鼓风机,共4台,3用1备,主要技术参数如下:风量 $193.22\text{ m}^3/\text{min}$ ,风压 $68.6\text{ kPa}$ ,转速 $1\,000\text{ r/min}$ ;配用10 kV高压电机,电机功率315 kW,电极防护等级IP44;防护等级F级。

#### 4.1.6 加药系统

原有加药系统设有3个溶药池,用于投加PAM和PAC,系统采用重力投加。改造设计中采用投加少量硅藻精土取代PAM和PAC,以保证系统的除磷效果,根据现场中试结果,加药量取为 $10\sim 20\text{ mg/L}$ 。为了保证硅藻精土的混合效果,并充分利用现有设施,设计中利用现有的3个溶药池,在池底增设空气搅拌系统,并增设悬浮液计量泵,实现定量投加硅藻精土。为了避免运行中投药暂停时管路堵塞,在计量泵出口处连接清水管道,以便停止加药后对管路系统进行冲洗。

#### 4.1.7 污泥回流系统

现状污泥由平流沉淀池内的吸泥机提升后,通过污泥槽输送至污泥浓缩池,浓缩池内设有搅拌机,并设有4台潜污泵将污泥提升至污泥脱水机房,无污泥回流系统。改造设计中污泥由沉淀池到浓缩池仍使用原来的污泥输送槽,在污泥浓缩池增设4台潜污泵,将部分污泥回流到复合缺氧区,回流比取为5%。回流泵型号:AVG135-10-7.5, $Q=135\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=10\text{ m}$ , $N=7.5\text{ kW}$ 。

#### 4.1.8 污泥处理系统

现状污泥脱水机房设2台一体式污泥浓缩脱水机,能满足系统污泥脱水的要求,不需改造。该工程改造成功后,污泥产量比改造前大大减少,更会减小污泥脱水系统的负荷。

#### 4.2 工艺特点

(1) 最大限度地利用了现有构筑物,对构筑物所做的改动主要是增加了淹没生物膜—活性污泥复合生物反应池到沉淀池的导流墙及配水板,土建工程量小。

(2) 增设填料支架固定填料,并将填料支架延伸,与池壁相抵,起到支撑池壁的作用,同时压缩空气管道的安装支架也可以固定在填料框架上,既不增加池体负担又方便了施工。

(3) 生物膜法与活性污泥法的复合应用,并在池底一半宽度中密集布设曝气设施,运行时能够形成横向旋流和纵向推流的复合水力流态,有效提高了氧的利用率,减少短流现象,强化了处理效果。

#### 4.3 运行调试效果

目前,该工程已经完成施工,正在运行调试,经过一个月的运行调试,运行结果见表3。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TN的去除效果还不明显,主要原因是硝化菌世代时间长,需要较长的培养时间,但从调试运行结果看出,调试一个月后已有一定的硝化效果。

表3 改造工程调试运行情况

| 指标                       | 进水/ $\text{mg/L}$ | 出水/ $\text{mg/L}$ | 平均去除率/% |
|--------------------------|-------------------|-------------------|---------|
| $\text{COD}_{\text{Cr}}$ | 143.5~231.2       | 15.1~54.2         | 84.2    |
| $\text{BOD}_5$           | 67.3~116.4        | 5.0~18.0          | 79.6    |
| SS                       | 105.7~521.5       | 1.0~12.0          | 96.0    |
| TP                       | 1.0~4.9           | 0.5~1.1           | 74.4    |
| $\text{NH}_3\text{-N}$   | 18.1~29.4         | 2.7~20.2          | 38.5    |
| TN                       | 26.1~35.4         | 8.6~27.4          | 30.0    |

# 原子荧光光度法同时测定水中的汞和硒

张 赞<sup>1</sup> 张 勤<sup>1</sup> 孙 琳<sup>1</sup> 刘 成<sup>2</sup>

(1 国家城市供水水质监测网杭州监测站, 杭州 310014; 2 同济大学水污染控制与资源化国家重点实验室, 上海 200092)

**摘要** 应用 AFS-9130 双道原子荧光光度计, 用 5% 的盐酸做介质, 1% 的硼氢化钠做还原剂, 同时测定水中的汞和硒, 检出限分别为汞 0.004 5  $\mu\text{g/L}$ , 硒 0.063  $\mu\text{g/L}$ ; 汞的回归方程  $I_{\text{汞}} = 750.5064C - 4.2849$ , 相关系数 1.000 0; 硒的回归方程  $I_{\text{硒}} = 43.3189C - 6.1387$ , 相关系数 0.999 9; 汞和硒的相对标准偏差分别为 1.36% 和 1.19%。

**关键词** 原子荧光光度法 汞 硒 回归方程

汞为银白色的液态金属, 常温中即有蒸发。汞多为慢性毒性, 主要发生在生产活动中长期吸入汞蒸气和汞化合物粉尘所致。汞的毒性作用主要表现为对神经系统和肾脏的损伤。硒是人体的必需元素, 但是摄入过多会发生硒中毒, 造成皮肤损伤, 神经系统紊乱, 危害人体健康。为了确保饮用水安全, 我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85) 和卫生

部《生活饮用水卫生规范》对其限值均做了规定。本文采用 AFS-9130 双道原子荧光光度计对水中这两种物质进行了测定, 并探讨了其影响因素。

## 1 仪器和试剂

### 1.1 仪器

AFS-9130 双道原子荧光光度计(北京吉天), 汞、硒特种空心阴极灯。

提供了一个良好的借鉴实例, 尤其适于对采用活性污泥工艺的污水处理厂改造, 只需在曝气池增设填料, 分设厌氧区、缺氧区和好氧区, 而无需对沉淀池及回流系统改造, 就可达到脱氮、除磷和提高去除有机物效率的目的。

## 参考文献

- 刘硕, 王宝贞, 王琳, 等. 复合式活性污泥生物膜工艺的工程实例. 给水排水, 2006, 32(8): 28~32
- 沈耀良, 王宝贞. 废水处理新技术—理论与应用. 第 2 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2006
- 丁永伟, 王琳, 王宝贞, 等. 活性污泥和生物膜复合工艺的应用. 中国给水排水, 2005, 21(8): 30~33
- 丁永伟, 王琳, 王宝贞, 等. 活性污泥和生物膜复合/联合工艺在污水处理厂技术改造中的应用. 给水排水, 2005, 31(12): 41~45
- Müller N. Implementing biofilm carriers into activated sludge process - 15 years of experience. Wat Sci Tech, 1998, 37(9): 167~174

✉ 电话: (0755) 26033512

E-mail: shumeiwang@163.com

收稿日期: 2006-09-04

修回日期: 2006-10-16

## 4.4 经济效益分析

该工程建设总投资约为 3 000 万元, 改造后运行费用为 0.4~0.5 元/ $\text{m}^3$ , 与改造前的运行费用 (0.25 元/ $\text{m}^3$ ) 相比, 改造后运行费用有所增加, 但改造前工艺为一级强化工艺, 而改造后工艺为二级处理工艺, 设计出水水质主要指标达到 GB 18918—2002 的一级 B 标准要求。改造后出水水质除了  $\text{NH}_3\text{-N}$  和 TN 外, 在运行调试期间已经达到设计要求, 该工程运行费用与常规具有除磷脱氮功能的活性污泥工艺相比具有明显优势。主要原因是采用了曝气器局部密集布设, 形成独特横向旋流和纵向推流水力流态, 延长了氧与污水的接触时间, 提高了溶解氧的利用率, 降低了鼓风曝气系统功率, 能耗仅为 0.2  $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。

## 5 结语

由于厂内无任何扩建余地, 该工程的改造设计中沉淀池停留时间偏小, 可能会使出水水质受到一定的影响, 在工程条件允许时, 沉淀池停留时间应按相关规范设计。

该工程的改造设计思路为旧污水处理厂的改造